

M. Annamanow, H. Meläýew

ASTRONOMIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi
tarapyndan hödürlenildi*

Aşgabat
Türkmen döwlet neşirýat gullugy
2016

Annamanow M., Meläýew H.

A 65 Astronomiýa. Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2016.

Okuw kitaby fizika, radiofizika we elektronika hünärleri boýunça okaýan talyplara niýetlenip, onda astronomiýanyň wajyp düşüňjelerine, şeýle hem astronomiýa ylmynyň dürli bölümleri we usullary barada düşünje berilýär.

Şeýle hem bu okuw kitabyndan ýokary okuw mekdepleriniň matematika, geografiýa, geodeziýa hünärleri boýunça bilim alýan talyplar, aspirantlar we mugallymlar peýdalanyp bilerler.



**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY



TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY

TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,
Baýdagyň belentdir dünýäň önünde.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

Gaýtalama:

Halkyň guran Baky beýik binasy,
Berkarar döwletim, jigerim-janym.
Başlaryň täji sen, diller senasy,
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

SÖZBAŞY

Türkmenistanyň hormatly Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedow Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynda eden çykyşynda: «Geçmişde Türkmenistanyň dünýäniň medeni ösüşiniň, ylym we medeni merkezleriniň biri bolandygy hemmelere mälimdir. Ata-babalarymyz astronomiýa, geologiýa, fizika, himiýa, geometriýa, lukmançylyk, dil we edebiýat, şeýle hem ylmyň beýleki esasy ugurlary boýunça ägirt uly üstünlikleri gazanypdyrlar. Indi biziň alymlarymyzyň häzirki döwürdäki wezipesi – bu edebi-ruhy baýlyklaryň adamzadyň medeni ösüşindäki orny hakynda giňden seljermä esaslanýan düýpli ylmy işleri döretmekden ybaratdyr» diýip belleýär. Hormatly Prezidentimiziň tagallalary netijesinde ýurdumyzda bilimiň we ylmyň ösüşini dünýä derejesine ýetirmek üçin möhüm çäreler geçirilýär. Şol sanda ýokary okuw mekdepleriniň talyplaryny döwrüň talaplaryna laýyk gelýän okuw gollanmalary we kitaplary bilen üpjün etmäge aýratyn uns berilýär.

Astronomiýa okuw kitaby Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň fizika, radiofizika we elektronika, matematika hünärleri boýunça okaýan talyplara Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan tassyklanan «Astronomiýa» dersiniň umumy okuw üçin niýetlenen maksatnama esasynda taýýarlanyldy. Okuw kitaby girişden, XIV bapdan, goşmaça maglumatlardan we edebiýatlardan ybaratdyr.

Girişde astronomiýa dersi, onuň döreýşi we taryhy, ösüşiniň esasy tapgyrlary, öwrenýän meseleleri we esasy bölümleri barada düşünje berilýär.

I bap asman sferasy we onuň bilen baglanyşykly bolan esasy düşünelere, II bap planetalaryň görüňän we hakyky hereketlerine, III bap asman jisimleriniň ululyklaryny, görnüşlerini we uzaklyklaryny

kesgitlemäge, IV bap Ýeriň we Aýyň hereketlerine, V bap amaly astronomiýanyň we fundamental astrometriýanyň esasy meselelerine hem-de gurallaryna bagyşlanan. Bu baplarda astronomiýanyň esasy üç meselesiniň biri bolan asman jisimleriniň giňişlikde görünýän, soňra bolsa hakyky ýerleşişlerini we hereketlerini, ölçeglerini we görnüşlerini kesgitlemek meselesi çözülýär.

VI bap astrofizikanyň esaslaryna, VII bap astrofiziki gurallara we gözegçilik etmegiň esasy usullaryna, VIII we IX baplar Güne, Gün sistemasyna, X bap bolsa ýyldyzlara bagyşlanandyr we bu baplarda astronomiýanyň ikinji meselesi – asman jisimleriniň fiziki gurluşyny, ýagny olaryň üstündäki we jümmüşindäki fiziki şertleri, olaryň himiki düzümini öwrenmek meselesi çözülýär.

XI bap biziň Galaktikamyza, XII bap galaktikadan daşary astronomiýa, XIII bap asman jisimleriniň gelip çykyşyna we ewolýusiýasyna, XIV bap bolsa kosmologiýanyň esaslaryna bagyşlanan. Asman jisimleri barada alnan hemme bilimleriň esasynda bu baplarda astronomiýanyň üçünji meselesi çözülýär.

Okuw kitaby ýokary okuw mekdepleriniň astronomiýa, fizika, radiofizika we elektronika, matematika, geografiýa, geodeziýa hünärleri boýunça bilim alýan talyplar, aspirantlar we mugallymlar üçin niýetlenen.

GIRIŞ

§1. Astronomiýa dersi we onuň meseleleri

Astronomiýa asman jisimlerini we olaryň sistemalary bilen baglanyşykly hadysalary, olaryň hereketlerini, gurluşyny, gelip çykyşyny we ösüş ýollaryny öwrenýän, Älem baradaky ylymdyr.

Astronomiýanyň wezipesi Güni we ýyl-dyzlary, planetalary we olaryň hemralaryny, guýrukly ýyl-dyzlary, süýnýän ýyl-dyzlary, dumanlyklary, ýyl-dyz sistemalaryny, planetaara we ýyl-dyzara maddany öwrenmekden ybaratdyr.

Asman jisimleriniň gurluşyny we ösüş ýollaryny, olaryň giňişlikde ýerleşişlerini we hereketlerini öwrenmek bilen, astronomiýa bütin Älemiň gurluşyna we ösüşine düşünmäge mümkinçilik berýär.

Astronomiýa sözi iki sany grek sözünden ybarat bolup, «astron» – türkmençe ýyl-dyz, «nomos» – bolsa kanun diýmekdir, ýagny ýyl-dyzlar dünýäsiniň kanunalaýyklygyny öwrenýän ylym diýmekdir.

Asman jisimleri öwrenilende astronomiýa öz önünde üç sany esasy meseläni goýýar, ýagny:

1. Asman jisimleriniň giňişlikde görünýän, soňra bolsa hakyky ýerleşişlerini we hereketlerini, ölçeglerini we görnüşlerini kesgitlemek.
2. Asman jisimleriniň fiziki gurluşyny, ýagny olaryň üstündäki we jümmüşindäki fiziki şertleri (dykzlygy, temperaturany we ş.m.) we himiki düzümini öwrenmek.
3. Aýry-aýry asman jisimleriniň we olaryň sistemalarynyň gelip çykyşy, ösüş, geljekki ykbaly bilen bagly bolan meseleleri çözmek.

Birinji meseläniň soraglary gadym döwürlerde başlanan dowamly gözegçilikleriň we mehanikanyň üç ýüz ýyldan gowrak wagt



bäri belli bolan kanunlarynyň esaslarynda çözülýär. Şol sebäpli astronomiýanyň bu bölümünde, esasan hem Ýere ýakyn ýerleşen asman jisimlerine degişli has köp maglumat toplanýandyр.

Asman jisimleriniň fiziki gurluşlary barada toplanan maglumatlar azrakdyр. Ikinji meseläni çözmek soňky ýüz ýyldan gowrak wagt içinde, käbir soraglary çözmek bolsa geçen ýüz ýyllygyň ikinji ýarymynda mümkin bolandyр.

Üçünji mesele birinji we ikinji meselelere garanyňda çylşyrymlydyр. Bu meseläni çözmek üçin toplanan maglumatlar ýeterlik däldir we astronomiýanyň bu bölümü boýunça biziň bilimimiz häzirki döwürde umumy pikir ýöretmeler we birnäçe çaklamalar bilen çäklenendir.

§2. Astronomiýanyň döreýşi we ösüş ýollary

Asmanda bolup geçýän hadysalar: Günüň we Aýyň dogup ýaşmagy, aýyň çäryekleriniň (fazalarynyň) wagta görä üýtgemegi, guýrukly we süýnýän ýyldyzlar, Aýyň, Günüň tutulmagy, ýyldyz asmanynyň pasyllara görä çalyşmagy adamlary gadymy zamanlardan bäri gyzyklandyryp gelipdir. Ýyldyzlaryň, Aýyň, Günüň, planetalaryň, süýnýän we guýrukly ýyldyzlaryň gözegçä görä dürli uzaklyklarda hereket edýänligine garamazdan, olaryň hemmesi asman sferasynyň belli bir deň uzaklygynda, ýagny asman sferasynyň iç ýüzünde ýerleşýän ýaly bolup görünýär. Adamlar astronomiýa ylmyňa aň ýetirmezden, ekerançylygy, maldarçylygy we durmuş üçin zerur bolan beýleki köp işleri Günüň we Aýyň hereketlerine görä alyp barypdyрlar. Şeýlelik bilen, astronomiýa adamzat durmuşynyň talabyna laýyklykda emele gelen iň gadymy ylmylaryň biridir. Asman jisimleri baradaky ýazgylaryň ilkinjileri biziň eýýamymyzdan ozalky VIII asyra degişlidir. Ýöne has önki döwürlerde hem adamlar asman jisimleri bilen gyzyklanyp gelipdirler. Hytaý astronomlary biziň eýýamymyzdan 2 müň ýyl ozal Günüň we Aýyň tutuljak wagtynyň hasabyny çykarmagy başarypdyрlar. Üç müň ýyl mundan ozal bolsa Müsüriň ybadathana hyzmatkärleri Nil derýasynyň joşmagyny Ýaldyrak ýyldyzynyň dogýan wagtyna gabat gelýändigini bilen düşündiripdirler. Olar Ýaldyragyň dogan wagtyndan çen tutup, ýylyň dowamlylygyny has takyk kesgitläpdirler.

Häzirki astronomiýa ylmy bolsa Gün sistemasyna degişli planetalaryň, asteroidleriň, guýrukly hem-de süýnýän ýyldyzlaryň we olardan örän uzakda ýerleşýän ýyldyz toparlarynyň, toplumlarynyň, ýyldyzlar sistemasynyň, ýyldyzara şöhlenenýän we şöhlenenmeýän gazlaryň tebigatyny, hereketini we ösüş ýollaryny öwrenýär.

Astronomiýa ylmyna goşant goşan alymlar. Gadymy grek alymy Gipparh astronomiýanyň ylym hökmünde ýüze çykmagyna uly goşant goşupdyr. Ol takmynan biziň eýýamymyzdan öň 190–125-nji ýyllar aralygynda ýaşap geçipdir. Gipparh ilkinjileriň hatarynda asman jisimlerine yzygiderli gözegçilik edipdir, olary san taýdan öwrenipdir. Ol Günüň we Aýyň göze görünýän hereketleriniň hasabyny ýöredipdir. Aýa çenli uzaklygy we ýylyň dowamlylygyny kesgitläpdir. 850 ýyldyzyň orunlaryny görkezýän ýyldyz katalogy düzüpdir we ýyldyzlary ýagtylanyjylyklary boýunça 6 topara bölüpdir. Iň ýagty ýyldyza ol 0 dereje, zordan saýgarylýan ýyldyzlara bolsa 6 dereje beripdir. Onuň girizen ýyldyz ululygy (ý.u.) diýen ýagtylyk birliginiň fizikanyň we matematikanyň kanunlaryna laýykdygy hakdaky subutnamalar köp wagtdan soň takyklanylýar. Şol maglumatlara görä, asman jisimleriniň ýagtylygy bir dereje kiçi bolanda, onuň äleme şöhlenenmesiniň mukdary 2,512 esse azalýar. Gipparhyň girizen ýagtylyk birligi henize çenli ulanylyp gelinýär. Gipparh Demirgazyk polýusyň ornunyň üýtgeýänligini hem subut edipdir.

Gipparhdan soň astronomiýanyň ylym hökmünde ykrar edilmegi üçin köp zähmet çekenleriň biri hem biziň eýýamymyzyň 90–160-njy ýyllarynda ýaşan grek alymy Klawdiý Ptolemeýdir. Ol Älemiň merkezi Ýer diýip hasap edilýän geosentrik sistemasyny, özüniň beýleki asman jisimleri baradaky işleriniň köpüsini, hatda Gipparhyň işlerini hem «Almagest» («Astronomiýanyň Beýik matematiki gurluşy 13 kitapda») atly astronomiýadan ilkinji çap edilen sözlüğe girizipdir. «Almagestdäki» asman jisimleri baradaky maglumatlar 14 asyrlap has takyk we giň düşüňjeli maglumatlar diýlip hasap edilipdir. Ptolemeý tarapyndan düzülen planetalaryň ilkinji tablisalarynyň kömegi bilen, şol wagtky adamlara mälim bolan 5 sany ýagty planetanyň, ýagny Merkuriýniň, Weneranyň, Marsyň, Ýupiteriň we Saturnyň asman sferasyndaky orunlaryny 10 minutlyk takyklyk bilen kesgitlemek



başardypdyr. Şonuň üçin Ptolemeýiň geosentrik sistemasy 14 asyrlap subutnamasyz dogry diýlip kabul edilipdir.

Ptolemeýiň sistemasynyň nädogrulygy polýak alymy Kopernik tarapyndan subut edilse-de, ondan öň hem Älemiň merkezi Ýer dældigi baradaky çaklamany aýdan alymlar az bolmandyr. Emma Ptolemeýiň ylmy abraýynyň örän uly bolany sebäpli, olara gulak asylmandyr. Ptolemeýiň taglymatlaryna garşy çykanlaryň biri hem Türkmenistanyň çäginde ýaşap geçen Abu Reýhan Biruny (973–1048) bolupdyr.

Wagtyň geçmegi bilen, asman jisimlerine edilýän gözegçilikleriň takyklygynyň ýokarlanmagy netijesinde Merkuriý, Wenera, Mars, Ýupiter we Saturn planetalarynyň hereketlerine mahsus bolan aýratynlyklary Ptolemeýiň taglymaty bilen düşündirmegiň mümkin dældigi aýan bolýar. Bu bolsa täze taglymatyň döremegine mümkinçilik döredýär.

Polýak astronomy Nikolaý Kopernik (1473–1543) «Älemiň merkezi Gün» diýen geliosentrik taglymaty 1524-nji ýylda öňe sürýär. Ol taglymat asman jisimleriniň, hususanda planetalaryň hereketlerinde bar bolan nätakyklygyň anygyna ýetmäge ýardam edýär. Kopernigiň taglymaty bilen astronomiýanyň täze ösüş döwri başlanýar. Kopernikden soň Kepler 1609–1618-nji ýyllarda planetalaryň hereket ka-



Welaýat kitaphanasynda gurnalan teleskop

nunlaryny, 1687-nji ýylda bolsa Nýuton bütindünýä dartylma kanunyny açýar.

Ybadathana işgäri Jordano Bruno (1548–1600) bolsa Kopernigiň Älemiň merkezi Gün diýen taglymatyny öwrenip, derňäp, Gün hem asman ýyldyzlarynyň biridir, Älem çäk-gyrasyzdyr diýen netijä gelipdir. «Älem çäksizdir» diýen sözleri üçin katolik ybadathanasynyň kazylary ony otda ýakmaly diýen höküm çykarýarlar. 1600-nji ýylda Jordano Brunony hile bilen Italiýa getirip, ony otda ýakypdyrlar.

Ulugbek, G. Galileý, E. Galley, I. Nýuton, I. Kepler ýaly astronomlar astronomiýanyň mizemez ylmy sütünlerini guran alymlardyr.

Türkmenistanyň hormatly Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýolbaşçylygynda ýurdumyzda bilimiň we ylmyň ösüşini dünýä derejesine ýetirmek üçin möhüm çäreler geçirilýär. Hormatly Prezidentimiziň Permany bilen Türkmenistanyň Prezidentiniň ýanynda Milli Kosmos agentligi döredildi, «Türkmen Älem 52°E» Milli emeli hemramyz geostasionar orbita çykaryldy. Soňky ýyllarda ýurdumyzyň paýtagty Aşgabat şäherinde häzirki zaman enjamlary bilen enjamlaşdyrylan Tehnologiýalar merkezi gurlup ulanylmaga berildi, welaýat merkezlerinde gurlan kitaphanalar bolsa dürli asman jisimlerini öwrenmäge mümkinçilik berýän häzirki zaman optiki teleskoplar bilen enjamlaşdyryldy. Häzirki döwürde ýaşlarymyzyň ylmyň dürli ugurlary boýunça, şol sanda astronomiýa, fizika, matematika ugurlary boýunça çuňňur bilim almaklary üçin giň mümkinçilikler döredilendir.

§3. Astronomiýanyň bölümleri

Häzirki zaman astronomiýasy bir-biri bilen jebis baglanyşygy bolan we belli bir derejede bölünişleri şertli bolan birnäçe sany özbaşdak bölümlere bölünýär.

Astronomiýanyň esasy bölümleri:

1. Astrometriýa giňişlik we wagt ölçemek baradaky ylymdyr. Ol birnäçe bölümden durýar: a) asman jisimleriniň orunlaryny we hereketlerini dürli hasaplaýyş sistemalary boýunça kesgitlemegiň matematiki usulyýetini döredýän, şeýle hem asman jisimleriniň koordinatalarynyň wagta görä kanunalaýyk üýtgemeleriniň nazaryýe-



tini işläp düzýän sferik astronomiýadan; b) gözegçilikler esasynda asman jisimleriniň koordinatalaryny kesgitlemek, ýyldyz kataloglaryny düzmek we esasy astronomik hemişelikleriň san bahalaryny kesgitlemek, ýagny asman jisimleriniň koordinatalarynyň kanunalaýyk üýtgemelerini hasaba almaga mümkinçilik berýän ululyklary kesgitleýän fundamental astrometriýadan; ç) geografik koordinatalary, ugruň azimutyny, takyk wagty kesgitlemegiň usullaryny we ulanylyan abzallaryň ýazgylaryny berýän amaly astronomiýadan ybaratdyr.

2. Nazary astronomiýa asman jisimleriniň görünýän orunlary boýunça olaryň orbitalarynyň elementlerini kesgitlemegiň we asman jisimleriniň orbitalarynyň belli bolan elementleri boýunça olaryň görünýän orunlaryny – efemeridini hasaplamagyň usullaryny işläp düzýär.

3. Asman mehanikasy bütindünýä dartylma kanuny esasynda asman jisimleriniň hereket kanunlaryny öwrenýär, olaryň massalaryny we şekillerini, asman jisimleriniň sistemalarynyň durnuklylygyny kesgitleýär.

Bu üç bölüm astronomiýanyň birinji meselesini çözüändir we olara köplenç klassik astronomiýa diýilýär.

4. Astrofizika asman jisimleriniň gurluşyny, fiziki häsiýetlerini we himiki düzümini öwrenýär.

Astrofizika iki bölümden ybaratdyr: a) amaly astrofizika bölümünde astrofiziki barlaglaryň amaly usullary, enjamlary we gurluşlary işläp düzülýär we ulanylýar; b) nazary astrofizika bölümünde fizikanyň kanunlarynyň esasynda gözegçilik edilýän fiziki hadysalar düşündirilýär.

Astrofizikanyň asman jisimleriniň we ýyldyzara sredanyň radioşöhlenenmesini radiofiziki usullary peýdalanylýan bölüm radioastronomiýa ady bilen bellidir.

5. Ýyldyz astronomiýasy ýyldyzlaryň, ýyldyz sistemalarynyň we ýyldyzara maddanyň hereketiniň giňişlikde paýlanyşynyň kanunalaýyklygyny olaryň fiziki özboluşlyklaryny hasaba almak bilen öwrenýär.

Astrofizika we ýyldyz astronomiýasy bölümleriniň kömegi bilen asman jisimleriniň fiziki gurluşy, olaryň üstündäki we jümmüşindäki fiziki şertler (dykzlygy, temperaturasy we ş.m.) we himiki düzümi öwrenilip, astronomiýanyň ikinji meselesi çözülýär.

6. Kosmogoniýa asman jisimleriniň we olaryň sistemalarynyň, şol sanda Gün sistemasynyň emele gelmegini we ösüş ýollaryny öwrenýän bölümdir.

7. Kosmologiýa Älemiň gurluşynyň we ösüşiniň umumy kanunalaýyklyklaryny öwrenýän bölümdir.

Kosmogoniýa we kosmologiýa bölümlerde, asman jisimleri barada alnan hemme bilimleriň esasynda aýry-aýry asman jisimleriniň we olaryň döredýän sistemalarynyň gelip çykyşy, ösüşi, geljekki ykbaly bilen bagly bolan, astronomiýanyň üçünji meselesi çözülýär.

Astronomiýanyň beýleki ylmlar bilen arabaglanyşygy. Astronomiýanyň beýleki ylmlar bilen baglanyşygy iňňän uludyr, çünki astronomiýa dersi fizika-matematika bilimleriniň dowamydyr. Astronomiýa ylmy fizika, matematika, himiýa we beýleki tebigat ylmlary esasynda döredilen, Älem baradaky ylmyň özboluşly sütünidir. Asman jisimlerini öwrenmek tebigat baradaky beýleki ylmlaryň gazanlary esasynda alnyp barylýar.

Astronomiýanyň halk hojalygynda tutýan orny. Äleme şöhle saçýan asman jisimleri gadym zamanlardan bäri öz hereketleri bilen adamlary haýran galdyrypdyr, şol bir wagtyň özünde-de asman jisimleri dagda, düzde, çölde we deňizde ugur görkeziji bolup hyzmat edipdir. Gije-gündiziň çalyşmagy, aýyň çäryekleriniň üýtgemegi, passyllaryň çalyşmagy bolsa adamlary öz işlerini asman jisimleriniň hereketlerine görä gurnamaga mejbur edipdir. Asman jisimleriniň hereketlerine esaslanyp, hasaplanylýan wagtyň we düzülýän senenamalaryň halk hojalygyndaky tutýan orny iňňän uludyr. Geografik we topografik kartalar düzülende, deňiz daşgynlary we gaýtgyňlary hasaplanylýanda, dürli nokatlar üçin Ýeriň dartyş güýjüniň üýtgeýşi ölçelende we gazylyp alynýan magdanlar gözlenilende, astronomiýa ylmynyň degişli bölümleri ulanylýar.

§4. Astronomik barlaglaryň esasy we çeşmesi

Astronomiýanyň esasy gözegçiliklerdir. Gözegçilikler Älem giňişliginde bolup geçýän astronomik hadysalary dogry düşündirmek, hakykaty anyklamak üçin maglumat almaga mümkinçilik berýär. Köp astronomik hadysalary dogry düşündirmek, bu hadysalary ýüze



çykarýan hakyky ýagdaýlary, sebäpleri anyklamak üçin takyk, esasy ölçegleri we hasaplamalary geçirmek zerurdyr.

Mysal üçin, biziň gözümize hemme asman jisimleri birdeň uzaklykda ýerleşen, Ýer hereket etmeýän we Älemiň merkezinde ýerleşen, hemme ýagtyltgyçlar Ýeriň töwereginde aýlanýan, Gün bilen Aý ululygy boýunça deň ýaly bolup görünýär. Diňe geçirilýän düýpli, esasy ölçegler we şol sanda alnan maglumatlaryň giňişleýin derňewi nädogry göz önüne getirmelerden ýüz döndürmäge kömek edýär.

Asman jisimleri barada alynýan maglumatlaryň esasy çeşmesi, bu jisimler tarapyndan şöhlelendirilýän ya-da serpidirilýän elektromagnit tolkunlarydyr. Elektromagnit tolkunlarynyň Ýeriň üstüne gelýän ugruny kesgitlemek asman jisimleriniň görünýän ýagdaýlaryny we hereketlerini öwrenmäge mümkinçilik berýär. Kabul edilýän elektromagnit tolkunlarynyň spektral derňewi (hil we mukdar taýdan) asman jisimleriniň fiziki ýagdaýlaryny we himiki düzümini kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Astronomik barlaglaryň esasy özboşlugy gözegçilik edilýän hadysalaryň soňky döwre çenli tejribede, eksperimentde goýup, gaýtalap bolmaýanlygy we gözegçilikleriň Ýeriň üstünden alyp barylýanlygydyr. Astronomlar öz islegleri boýunça gözegçilik edilýän, öwrenilýän jisimiň ýerleşen ýagdaýlaryny üýtgedip, ol ýa-da beýleki astronomik hadysalary gaýtalap bilmeýärdiler. 1957-nji ýylda Ýeriň ilkinji emeli hemrasynyň uçurylmagy astronomik barlaglaryň usullarynda düýpli özgertmelere getirdi, ýagny astronomik barlaglaryň täze eýýamy başlandy. Emeli hemralarda, kosmos gämilerinde we stansiýalarynda ýerleşdirilen abzallar we gurallar Ýeriň üstünde alyp bolmaýan gymmatly maglumatlary almaga mümkinçilik berdi. Asman jisimlerini, tutuş Älemi öwrenmegiň täze usullarynyň döremegi we ösmegi bilen astronomiýa gözegçilik ylmyndan tejribe – gözegçilik ylmyna öwrülendir.

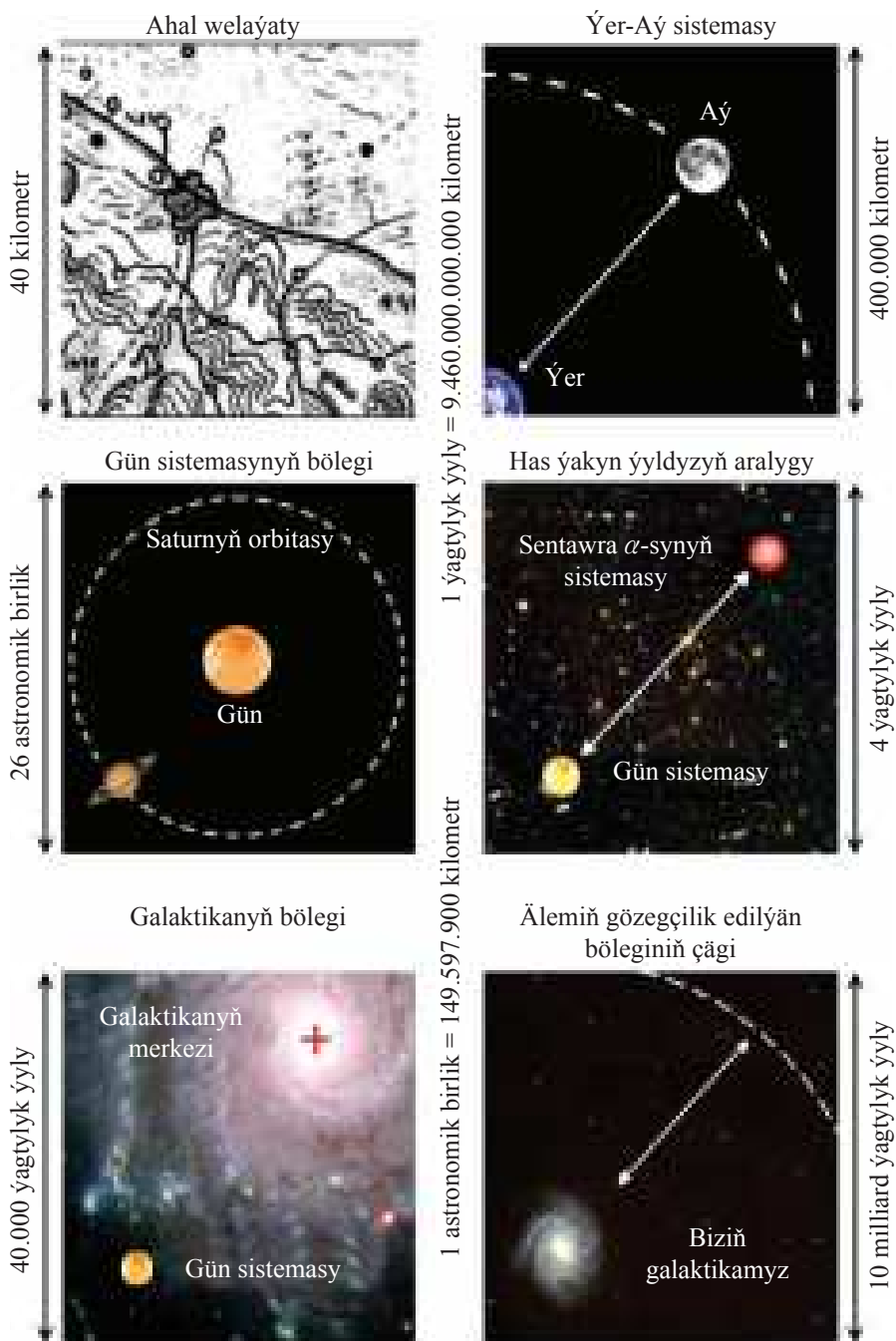
§5. Älemiň gurluşy barada umumy düşüňjeler

Adam çaga wagty gözýetime Älemiň çägidir öýdýär. Ulaldygyça, onuň bilimi we düşüňjesi artyp, hatda çäksiz gum alaňlarynyň ortasynda ýa-da aňyrsy-bärsi görünmeýän okeanlaryň içinde duran pur-

satynda hem, bu çäkleriň bary-ýogy Ýeriň üstüniň belli bir gysgajyk aralygydygyna göz ýetirýär. Soňra ol ynsan kowmunyň ýaşap gelýän çägiň mawy Zeminde sähelçe ýerdigine, mawy Zeminiň bolsa Günüň, ýagny bize iň golaý bolan ýyldyzyň töwereginde aýlanýan münlerçe jisimleriniň arasyndaky 8 sany uly planetanyň biridigine akyl ýetirýär. Netijede, adam ýaşayyşyň Älemde ýekeligini ýa-da ýeke dældigini subut etmek maksady bilen, başga planetalary we asman jisimlerini öwrenýär, onda golaýdaky planetalara barmak arzuwy döreýär. Emma häzirligçe adamzadyň mawy Zeminden uzaklaşmaga ýagdaýy ýok. Şonuň üçin diňe Ýerdäki we kosmosdaky alnan maglumatlara görä, ol Älemiň gurluşy barada düşüňjeleri döretmäge mejbur bolýar. Çünki Äleme düşünmek, olary tükelläp, belli bir netije çykarmak diňe ynsana mahsusdyr. Eger-de gözegçi Ýerden, Günden uzaklaşyp, olara ser salsa, onda ol Aýyň, Ýeriň, hatda Günüň-de şeýle bir uly dældigine göz ýetirip bilerdi. Ekliptikanyň, ýagny Ýeriň hereket edýän tekizliginiň depesine çykyp sereden gözegçi bolsa töwereginde 8 sany uly we münlerçe kiçi planeta aýlanýan täsin Gün sistemasynda syn salardy.

Galaktikanyň tutuş tekizliginiň bir çetine çykyp, oňa nazar salnan halatynda Ýerdäki ösümlükler we haýwanat dünýäsini emele getirip, olary millionlarça ýyllaryň dowamynda saklap gelýän Günüň-de Galaktikanyň 100 milliarddan gowrak ýyldyzlarynyň biridigini we onuň sary reňkli orta ululykdaky ýyldyzdygyny, Galaktikada Günden başga-da dürli reňklerdeki ululy-kiçili ýyldyzlaryň bardygyny anyklap bilerdi. Galaktikanyň çäklerinden çykyp syn edilen halatynda, dürli şekilli, ululy-kiçili galaktikalaryň birgideni ýüze çykarylardy, olaryň belli bir hyýaly merkezden daşlaşma häsiýetiniň bardygy äşgär bolardy. Ähli asman jisimleri ýerleşýän, Älemiň bir çetinden beýleki çetine ýagtylygyň 15–20 milliard ýyla golaý wagtda ýetjekdigini häzirkir alnan maglumatlar görkezýär. Kosmos giňişliginde infragyzy diapazonda gözegçilik edýän, 85 santimetrlik Spitser teleskopynyň kömegi bilen iň uzakdaky galaktikalar üýşmekleriniň suraty alyndy diýlip hasap edilýär. Ol Günden takmynan 9,1 milliard ýagtylyk ýyly uzaklykda ýerleşýär. Şeýlelik bilen, astronomlar Älemdäki iň uzakdaky we iň köne-garry asman jisiminiň suraty alyndy diýip hasap edýärler. Çünki alnan şekil, ol galaktikalaryň üýşmekleriniň hut häzir-



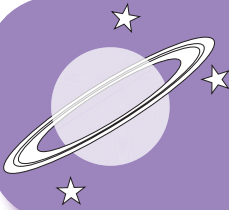


1-nji surat. Älemin dürli ölçegli masştablary

ki döwürden 9,1 milliard ýyl öňki ýagdaýynyň görnüşidir diýip çak edýärler. Golaýda Gawaý adalarynda oturdylan iň uly we iň kuwwatly teleskop hasaplanylýan «Subaru» teleskopynyň kömegi bilen 12,88 milliard ýagtylyk ýyly uzaklykda ýerleşýän galaktikalaryň suratyny almak başartdy. Kosmosdaky «Habbl» teleskopynyň kömegi bilen bolsa, galaktikalaryň 13 milliard ýyl mundan öň goýberen şöhlesini tutmak başardypdy. Ondan uzakdaky galaktikalaryň suratyny almak ne «Habbl» teleskopyna, ne-de beýleki teleskoplara başardýar. Bu täsin galaktikalara Älemdäki iň garry obýektler diýmek bolar. Çünki olar Uly Partlamadan 800–900 million ýyl geçen soň emele gelen asman jisimleridir. Öň iň uzakdaky asman jisimi diýlip, Günden takmynan 7 milliard ýagtylyk ýyly uzaklykda ýerleşýän galaktikalar toplumy hasap edilýärdi. Emma Älemiň bize belli bolan çäginin aňyrsynda nämäniň bardygy we ol ýerde nähili fiziki hadysalaryň bolup geçýändigini astronomlara häzirki döwürde mälim däldir.

Dürli masştablardan peýdalanyň, belli bir çäge dürli ululyklaryň ýerleşýändigine göz ýetirmek bolýar (*1-nji surat*). Meselem, Ahal welaýatynyň ini 40 km, uzynlygy 40 kilometre ýetýän çäginin meýdany 10 müň esse kiçeldilen halatynda, onda ol bary-ýogy 16 kwadrat santimetre ýetýän meýdana ýerleşer. Eger Ahal welaýatynyň şol şekiliniň sygan ýeriniň masştaby ýene-de 10 müň esse kiçeldilse, onda ol 16 kwadrat santimetr çäge indi Gün sistemasynyň Ýerden Aýa çenli aralygy ýerleşer. Eger-de ol ölçeg ýene-de 10 müň esse kiçeldilse, onda ýaňky 16 kwadrat santimetr çäge Gün sistemasynyň Saturn planetasyna ýetýän aralygy sygar. Eger-de ol ölçeg ýene-de 10 müň esse kiçeldilse, onda ol 16 kwadrat santimetr çäge Günden Alfa Sentawra çenli aralyk ýerleşer. Eger-de ol ölçeg ýene-de 10 müň esse kiçeldilse, onda ol 16 kwadrat santimetre Galaktikamyzyň merkezin-den Gün sistemasyna ýetýän aralygy ýerleşer. Eger-de ölçeg indi 100 müň esse kiçeldilse, onda ol 16 kwadrat santimetre Älemiň 4 milliard ýagtylyk ýyly aralygy ýerleşer.





I bap ASMAN SFERASY BARADA ESASY DÜŞÜNJELER

§6. Asman jisimleriniň özara ýerleşşi. Ýyldyz toparlary

Ýer üstüniň haýsy nokadynda ýerleşýändigimize garamazdan, ähli asman jisimleri – ýyldyzlar, Aý, Gün, planetalar, süýnýän we guýrukly ýyldyzlar bize görä dürli uzaklyklarda hereket edýän hem bolsalar, olaryň hemmesi asman sferasynyň belli bir deň uzaklygynda, ýagny asman sferasynyň iç ýüzünde ýerleşýän ýaly bolup görünýärler.

Gündizine bulutsyz asmanyň mawy reňki bardyr we onda iň ýagty asman jisimini – Güni görüp bolýar. Günden başga-da Aýy, amatly şertlerde bolsa Wenera planetasyny görmek mümkindir. Bulutsyz gijäniň asmanynda ýyldyzlary, Aýy, planetalary, dumanlyklary, käwagtlar bolsa guýrukly we süýnýän ýyldyzlary hem görmek bolýar. Ýyldyzly asmana gözegçilikler asmanda tertipsiz ýerleşen sansyz köp ýyldyzlaryň bardygyny görkezýär. Hakykatda abzalsyz, guralсыз ýöne göz bilen seredilende bütin asmanda görüp bolýan ýyldyzlaryň sany alty müňden köp däl, degişlilikde asmanyň ýarysynda üç müňden köp däl.

Asmanda ýyldyzlaryň özara ýerleşişleri örän haýal üýtgeýär. Has takyk ölçegleri geçirmezden ýyldyzlaryň özara ýerleşişlerinde üýtgemeleri yüzlerçe ýyllaryň, köp ýyldyzlar üçin bolsa müňýylyklaryň dowamynda ýüze çykarmak, anyklamak mümkin däl.

Gadym zamanlardan asman boýunça ugur anyklamak amatly bolýandygy, ýagty ýyldyzlary toparlara bölüpdirler. Ýyldyz toparlaryna haýwanlaryň (Ýolbars, Balyk, Aždarha we ş.m.), gadymy rowaýatlaryň gahrymanlarynyň (Kassiopeýa, Perseý, Andromeda we ş.m.),

toparyň ýagty ýyldyzlarynyň emele getirýän şekiliniň meňzeýän predmetinin (Demirgazyk täji, Üçburçluk, Terezi we ş.m.) atlary dakylpdyr.

XVII asyrdaky ýyldyz toparynyň ýagty ýyldyzlaryny grek elipbiýiniň harplary bilen belgiläp başlanylýar. Biraz soňrak ulanylyp başlanan, ýyldyzlary sanlar bilen belgilemek usuly häzirki döwürde esasan hem gowşak ýyldyzlary belgilemek üçin ulanylýar. Ondan başga-da has ýagty ýyldyzlaryň hususy atlary hem bardyr. Mysal üçin: Uly Köpegiň α ýyldyzynyň ady Sirius, Lira ýyldyz toparynyň α ýyldyzy – Wega, Orion ýyldyz toparynyň α ýyldyzy – Betelgeýze, β ýyldyzy bolsa Rigeldir. Ýyldyzlaryň atlary we bu belgileniş usuly häzirki wagtda hem ulanylýandyr. Emma gadymy astronomlaryň ýyldyzlary toparlara bölüp geçiren araçäklerine üýtgeşmeler girizilendir. Käbir uly ýyldyz toparlary birnäçe özbaşdak ýyldyz toparlaryna bölünip, ýyldyz toparlary ýagty ýyldyzlar boýunça däl-de, ýyldyzly asmanyň meýdançalary boýunça bölünendir. Häzirki döwürde ýyldyzly asman 88 sany meýdança – ýyldyz toparlaryna bölünendir.

Ýyldyz toparlaryndaky ýagty ýyldyzlar asmanda gowşak ýyldyzlary, başga asman jisimlerini tapmak üçin ugur görkezijilerdir. Şol sebäpli asmanda ol ýa-da beýleki ýyldyz toparyny çalt tapmany öwrenmek hökmandyr. Şonuň üçin ýyldyz kartalaryny gowy öwrenip, ýyldyz toparlarynyň ýagty ýyldyzlarynyň emele getirýän şekillerini ýatda saklamak zerurdyr.

§7. Ýyldyzlaryň, Günüň, Aýyň we planetalaryň görünýän hereketleri

Bulutsyz gije birnäçe sagadyň dowamynda ýyldyzly asmana gözegçilik edip, ýyldyzly asmanyň hemme ýyldyzlar bilen bütewilikde, gözegçiniň ýerleşen nokadyndan geçýän hyýaly, göz önüne getirilýän okuň daşyndan endigan aýlanýandygyny görüp bolýar. Asmanyň we ýagtylygylaryň aýlawly hereketine günlük (gije-gündiz) hereket diýilýär, sebäbi bir doly aýlaw bir gije-gündiziň dowamynda amala aşyrylýar. Gije-gündiziň dowamynda aýlawly hereket sebäpli ýyldyzlaryň we beýleki asman jisimleriniň gözyetimiň taraplaryna görä ýerleşişleri üýtgäp durýar.



Eger-de gözegçi ýyldyzlaryň gije-gündiziň dowamyndaky aýlawly hereketine Ýer şarynyň demirgazyk ýarymyndan günorta tarapa bakyp gözegçilik edýän bolsa, onda ýyldyzlaryň aýlawly hereketi çepden saga, ýagny sagat diliniň aýlanýan ugrunadyr. Ýyldyzlar gözýetimiň gündogar tarapynda dogýarlar, günorta tarapda iň ýokarky nokadynda bolup, günbatarda ýaşýarlar. Şunlukda her bir ýyldyz elmydama gözýetimiň gündogar tarapynyň şol bir nokadyndan dogup, günbatar tarapyň şol bir nokadynda ýaşýandyr.

Eger-de demirgazyk tarapa bakyp dursak, onda gözegçiliklerden ýyldyzlaryň dogup-ýaşýandygyny, käbir ýyldyzlaryň bolsa hereket etmeýän umumy bir nokadyň töwereginde aýlanyp, doly aýlawlary çyzýandygyny görmek bolýar. Bu nokada dünýäniň demirgazyk polýusy diýilýär.

Dünýäniň demirgazyk polýusynyň çen bilen ýerleşýän ýerini Kiçi Ýediginiň iň ýagty ýyldyzynyň ýerleşşi boýunça kesgitläp bolýandyr. Bu ýyldyz ýyldyz kartalarynda α harpy bilen belgilenýändir we dünýäniň demirgazyk polýusyna ýakyn ýerleşeni üçin Demirgazyk ýyldyzy diýip atlandyrylýandyr. Demirgazyk ýyldyzy bilen dünýäniň demirgazyk polýusynyň aralygy häzirki döwürde 1° kiçidir.

Gün we Aý edil ýyldyzlar ýaly gündogarda dogýarlar, günorta tarapda asmanda iň ýokarky ornuna baryp, günbatarda ýaşýarlar. Ýöne ýyldyzlardan tapawutlylykda, geçirilýän gözegçilikler Günüň we Aýyň ýylyň dürli günlerinde gündogaryň dürli nokatlaryndan dogýandygyny, şeýle hem günbataryň dürli nokatlarynda ýaşýandygyny görkezýär.

Gyş paslynyň başynda Gün günorta-gündogarda dogup, günorta-günbatarda ýaşýandyr. Ýöne gün geçdigiçe onuň dogýan we ýaşýan nokatlary gözýetimiň demirgazyk tarapyna süýşýärler. Şunlukda Günüň günortanyna gözýetimden ýokary galmasy gün-günden artýar we gündiziň dowamlylygy artyp, gije gysgalýar.

Tomsuň başynda demirgazyk-gündogarda we demirgazyk-günbatarda Günüň dogýan we ýaşýan nokatkary käbir çäge ýeten soň, gözýetimiň demirgazyk tarapyndan günorta tarap süýşüp başlaýar. Günüň günortanky beýikligi we gündiziň dowamlylygy kemelep, gijäniň dowamlylygy artýar. Gyşyň başynda Günüň dogýan we

ýaşýan nokatlary belli bir çäge ýetip, ýene-de demirgazyga süýşüp başlaýarlar we ýokarda aýdylanlar ýene-de gaýtalanýar.

Ýönekeý we dowamly bolmadyk gözegçilikler Aýyň asmandaky mydama şol bir ýyldyz toparynda bolman, bir gije-gündiziň dowamynda günbatardan-gündogara takmynan 13° süýşüp, bir ýyldyz toparyndan beýlekisine geçýändigini görkezýär. Ýyldyz toparlarynyň 12-si boýunça süýşüp, Aý asmanda doly bir aýlawy 27,32 gije-gündizde geçýär.

Dowamly gözegçilikler Günüň hem Aýa meňzeşlikde, 12 ýyldyz toparlary boýunça asmanda günbatardan-gündogara ýuwaşlyk bilen süýşýändigini, hereket edýändigini görkezýär. Ýöne onuň tizligi örän kiçidir, ýagny bir gije-gündizde 1° töweregi bolup, doly aýlawy bir ýylda geçýändir.

Günüň we Aýyň ýollarynyň geçýän ýyldyz toparlaryna zodiak («zoon» grek sözi, türkmençe haýwan) ýyldyz toparlary diýilýär. Zodiak ýyldyz toparlarynyň atlary: Hamal (Guzy), Sowur (Öküzçe), Jöwza (Ekizler), Seretan (Leňneç), Eset (Şir), Sünbüle (Gyz), Mizan (Terezi), Akrap (Içýan), Kowus (Keman), Jedi (Owlak), Daluw (Gowa), Hut (Balyk). Gün haýsy ýyldyz toparynda bolsa ol ýyldyz toparyny gözegçilik edip, görüp bolmaýar we diňe takmynan ýarym ýyldan soň gowy görünýär.

Gadym döwürlerde ýyldyz toparlarynyň arasynda daşky görünüşleri boýunça ýyldyzlara örän meňzeş, ýöne olardan tapawutlykda ýyldyz toparlarynda şol bir orunlaryny saklaman, Güne we Aýa meňzeş hereket edýän baş sany asman ýagtyltgyçlaryny anyklapdyrlar. Bu asman jisimlerini planetalar diýip atlandyrypdyrlar. Gadymy rimliler planetalara öz hudaýlarynyň atlaryny dakypdyrlar: Merkuriý, Wenera, Mars, Ýupiter we Saturn.

Günden we Aýdan tapawutlylykda planetalar zodiak ýyldyz toparlary boýunça wagtyň köp bölegini günbatardan gündogara tarap hereket edýärler, süýşýärler. Ýöne wagtal-wagtal gündogardan günbatara hereket edýärler. Günüň we Aýyň hereketine meňzeşlikde, planetalaryň günbatardan gündogara bolan hereketine göni, dogry hereket, gündogardan günbatara bolan herekete bolsa ters, yzlygyna hereket diýilýär.

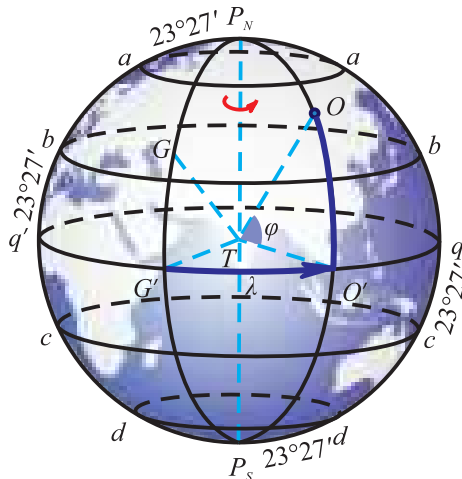


§8. Geografik koordinatalar

Häzirki döwre çenli asman jisimlerine edilýän gözegçilikler Ýeriň üstünden geçirilýär we ol gözegçiniň Ýeriň üstünde ýerleşen ornuna baglydyr. Şonuň üçin geljekde bize gerek boljak käbir geografik düşüňjeleri we adalgalary ýatlap geçeliň.

Ýeriň şar şekilli togalak görnüşi bardyr. Ýeriň aýlanma oky göz önüne getirilýän $P_N P_S$ göni çyzyk, onuň massa merkezinden geçýär we aýlanma oky diýilýär (2-nji surat). Aýlanma oky Ýer üstüni iki nokatda kesýär, ýagny demirgazyk geografik polýusda P_N we günorta geografik polýusda P_S .

Ýeriň aýlanmasy sagat diliniň aýlanýan ugrunyň tersine bolýanyna demirgazyk geografik polýus diýilýär. Ýeriň üstünde ýerleşen we tekizligi aýlanma okuna perpendikulýar bolan $q'G'O'q$ uly aýlawla Ýer ekwatory diýilýär. Ol Ýer üstüni iki sany: demirgazyk (P_N demirgazyk polýusly) we günorta (P_S günorta polýusly) ýarym şarlara bölýär. Tekizlikleri Ýer ekwatorynyň tekizligine parallel bolan kiçi aýlawlara geografik paralleller diýilýär. Ekwatordan $23^\circ 27'$ uzaklykda demirgazykda we günortada ýerleşen bb we cc geografik parallellere degişlilikde demirgazyk tropik we günorta tropik diýilýär. Ýeriň polýuslaryndan $23^\circ 27'$ uzaklykda ýerleşen geografik parallellere demirgazyk (aa) we günorta (dd) polýar aýlawlary diýilýär.



2-nji surat. Geografik koordinatlar

Tropikleriň aralygynda ýerleşen Ýer üstüne (ekwatory öz içine alýar) yssy ýa-da tropik guşaklyk diýilýär. Demirgazyk tropik bilen demirgazyk polýar aýlawynyň aralygyna demirgazyk aram guşaklyk, günorta tropik bilen günorta polýar aýlawynyň aralygyna bolsa günorta aram guşaklyk diýilýär. Polýar aýlawlaryndan aňyrdaky Ýer üstüne bolsa degişlilikde demirgazyk sowuk we günorta sowuk guşaklyk diýilýär.

Ýeriň geografik polýuslaryndan we O nokadyndan geçýän $P_N O O' P_S$ uly ýarym aýlaw O nokadyň geografik meridiany diýilýär. Angliýanyň Grinwiç obserwatoriýasynyň üstünden geçýän $P_N G G' P_S$ geografik meridian nolunjy ýa-da başlangyç meridian hasaplanylýar. Nolunjy meridian we onuň dowamy bolan, 180° uzaklykda ýerleşen meridian Ýeriň üstüni gündogar we günbatar ýarym şarlara bölýär.

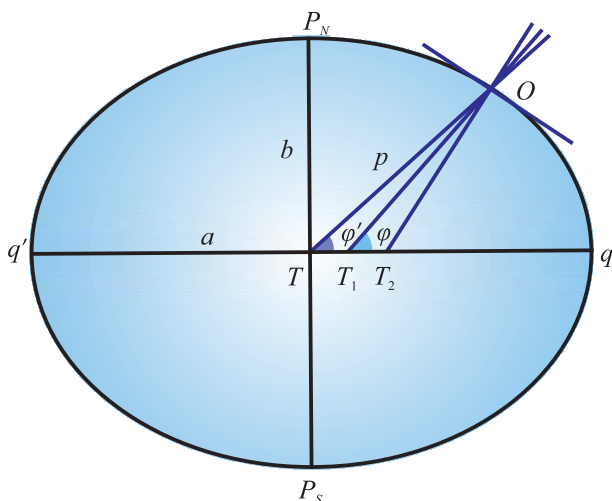
Ýer üstüniň O nokady üçin agyrylyk güýji ugrukdyrylan TO göni çyzyga asma ýa-da wertikal çyzyk diýilýär. O nokadyň Ýer üstünde ýerleşen ýagdaýy iki geografik koordinatalar – geografik giňlik φ we geografik uzaklyk λ bilen kesgitlenýär.

O nokadyň φ geografik giňligi diýip, Ýer ekwatorynyň tekizligi bilen şol nokatdan geçýän asma çyzygynyň emele getirýän $O'TO$ burça aýdylýar. Eger nokat demirgazyk ýarym şarda ýerleşen bolsa, onda onuň geografik giňligi ekwatoran başlap 0° -dan $+90^\circ$ aralygyndaky bahalary, eger günorta ýarym şarda ýerleşen bolsa, onda ekwatoran başlap 0° -dan -90° aralykdaky bahalary alyp bilýär.

O nokadyň λ geografik uzaklygy diýip, başlangyç, nolunjy meridian bilen şol nokatdan geçýän meridianyň tekizlikleriniň arasyndaky $G'TO'$ burça aýdylýar. Geografik giňligi başlangyç meridiandan gündogarlygyna, Ýeriň aýlanma ugruna hasaplamak kabul edilendir we onuň çägi 0° -dan 360° -a (gradus ölçeginde) ýa-da 0^h -dan 24^h -e (sagat ölçeginde) çenli aralyklardaky bahalary alyp bilýär. Geografiýada giňlik başlangyç meridiandan gündogarlygyna hasaplananda 0° -dan $+180^\circ$ -e, günbatarlygyna bolsa 0° -dan -180° -e çenli ölçenýär.

Astronomiýanyň köp meseleleri çözülen-de Ýer birhilli, radiusy $R=6370\text{ km}$ bolan şar görnüşli diýip kabul etmek mümkindir. Bu halatda Ýer üstüniň islendik nokady üçin asma çyzygynyň ugry Ýeriň merkezinden geçer we onuň radiusyna gabat geler. Geografik meridianlar we ekwator, radiusy Ýeriň radiusyna deň bolan birdeň töwerek-





3-nji surat. Geografik giňlikleriň dürli görnüşleri

ler (aýlawlar) bolar. Onda Ýeriň üstüniň islendik nokadynyň geografik giňligi ekwatorдан berlen nokada çenli bolan meridianyň dugasy, geografik uzaklyk bolsa – başlangyç meridiandan berlen nokadyň üstünden geçýän meridiána çenli ekwatoryň dugasy bilen ölçenip bilner.

Ýeriň ölçegleri we görnüşi has takyk hasaplanylmalý meseleler çözülende ony massasynyň paýlanylyşy birhili bolmadyk, sferoid (aýlanma ellipsoidi) görnüşli diýip kabul edýärler. Bu ýagdaýda Ýeriň üstüniň islendik nokady üçin asma çyzygynyň ugry sferoidiň T merkezinden geçmez (3-nji surat), Ýeriň ekwatorynyň tekizligini başga T_1 nokatda keser we sferoidiň T merkezini onuň O nokady bilen birleşdirýän ρ radius-wektor bilen gabat gelmez.

Berlen nokadyň töwereginde massanyň deňölçegsiz paýlananlygy üçin T_1O asma çyzygy sferoidiň üstüne O nokatda galtaşýan tekizlige geçirilen T_2O perpendikulýara gabat gelmän biler. Şonuň üçin Ýeriň üstüniň islendik nokady üçin geografik giňligiň astronomik, geosentrik we geodezik ölçegleri bardyr.

Astronomik giňlik (φ) diýip, Ýeriň ekwatorynyň tekizligi bilen berlen nokadyň asma çyzygynyň aralygyndaky OT_1q burça aýdylýar.

Geosentrik giňlik (φ') diýip, Ýeriň ekwatorynyň tekizligi bilen berlen O nokadyň radius-wektorynyň aralygyndaky OTq burça aýdylýar.

Geodezik giňlik (belgilenişi ýok) diýip Ýeriň ekwatorynyň te-
kizligi bilen sferoidiň berlen nokadyna geçirilen perpendikulýaryň
(normalyň) aralygyndaky OT_2q burça aýdylýar.

Astronomik gözegçiliklerden diňe astronomik giňligi kesgit-
läp bolýar. Geodezik we grawimetrik ölçeglerden berlen nokatda
asma çyzygyň gyşarmasyny, ýagny asma çyzygynyň normal bilen
gabaty gelmezligi kesgitlenýär. Bu gyşarma boýunça φ astronomik
giňlikden geodezik giňligi hasaplanýar. Asma çyzygyň gyşarmasy
adaty 3" kiçidir (anomal ýerlere degişli däl) we astronomiýanyň
meselelerinde astronomik we geodezik giňlikleriň arasynda ta-
pawut etmeýärler. Geosentrik giňlik ony astronomik giňlik bi-
len baglanyşdyrýan analitik geometriýanyň formulalary boýunça
hasaplanylýar. Geosentrik we astronomik giňlikleriň tapawudy
12'-dan uly bolmaýar, Ýeriň polýuslarynda we ekwatorynda ol nola
deň bolýar.

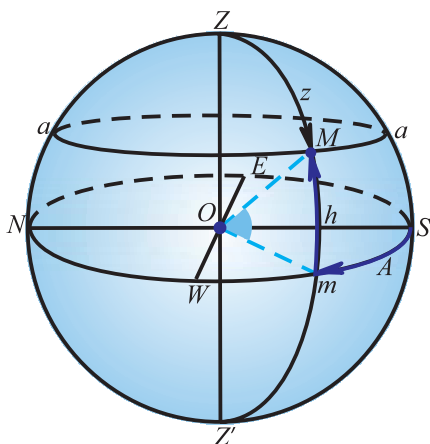
§9. Asman sferasy we onuň bilen baglanyşykly esasy düşüňjeler

Asman jisimleriniň görünýän ýerleşen ýagdaýlary we hereketleri
öwrenilende gözegçilik edilyän pursat üçin belli bir takyklyk bilen
olaryň ýerleşen ýagdaýlaryny kesgitlemek zerurdyr. Şonda olara çenli
uzaklygy bilmek zerurlygy ýokdur, sebäbi hemme jisimler bize erkin
radiusly sferanyň içki üstünde ýerleşen ýaly bolup görünýärler. Şonuň
üçin ýagtyltgyçlaryň görünýän ýerleşen ýagdaýlary diňe ugurlar, öza-
ra ýerleşen ýagdaýlary bolsa ugurlaryň arasyndaky burç ýa-da merke-
zinden hemme burçlar başlanýan sferanyň uly aýlawlarynyň degişli
dugalary bilen kesgitlenilýär.

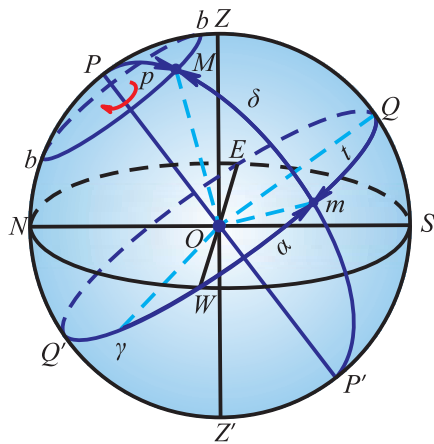
*Merkezi giňişligiň islendik erkin nokadynda ýerleşen, islendik
radiusly, üstünde giňişligiň berlen nokadyndan kesgitli wagty pursady
üçin asman jisimleriniň, ýagtyltgyçlaryň asmanda görünýän ýerleşen
ýagdaýlary bellenen, hyýaly sfera asman sferasy diýilýär.*

Şeýlelikde, asman sferasynyň merkezinde ýerleşen, göz önüne
getirilýän gözegçi hakyky gözegçiniň ýagtyltgyçlary asmanda görüşi
ýaly, asman sferasynyň üstünde ýagtyltgyçlaryň özara ýerleşişini gör-
melidir.





4-nji surat. Asman sferasy we gorizonta koordinatalar sistemasy



5-nji surat. Asman sferasy we
ekwatorial koordinatalar sistemasy

Asman sferasynyň aýlanmasy asmanyň aýlanmasyna meňzeşdir. Asman sferasy asman jisimleriniň görünýän ýerleşen ýagdaýlaryny we hereketlerini öwrenmek üçin hyzmat edýändir. Degişli ölçegleri geçirmek üçin gerek bolan esasy çyzyklary we nokatlary asman sferasynyň üstünde belleýärler.

Asman sferasynyň O merkezinden geçýän we gözegçilik edilýän nokatda asma çyzygyň ugry bilen gabat gelýän ZOZ' göni çyzyga *asma ýa-da wertikal çyzygy* diýilýär (4-nji surat). Asman çyzygy asman sferasynyň üstüni iki nokatda kesýär: gözegçiniň dik depesinde kesýän nokadyna Z zenit, diametral garşylykly kesme nokadyna bolsa Z' nadir diýilýär.

Tekizligi asma çyzygyna perpendikulýar bolan, asman sferasynyň (*SWNE*) uly aýlawyna *hakyky* ýa-da *matematiki gözyetim* diýilýär. Matematiki gözyetim asman sferasynyň üstüni deň iki: depesi *Z* zenitde ýerleşen, gözegçä görünýän ýarpa we depesi *Z'* nadirde ýerleşen, gözegçä görünmeýän ýarpa bölýär.

Matematiki gözyetimi we görünyän gözyetimi biri-birinden tapawutlandyrmak zerurdyr.

M ýagtylgyjyň üstünden geçýän we tekizligi matematiki gözyetimiň tekizligine parallel bolan, asman sferasynyň kiçi (aMa) aýlawyna ýagtylgyjyň *almukantaraty* diýilýär.

Asman sferasynyň zenitden, M ýagtyltgyçdan we nadirden geç-
ýän uly ýarym aýlawyna (ZMZ') ýagtyltgyjyň *beýikliginiň aýlawy*,
wertikal aýlawy ýa-da *ýöne aýlawy* diýilýär.

Asman sferasynyň aýlanýan PP' diametrine *dünýäniň oky*
diýilýär. Dünýäniň oky asman sferasynyň üsti bilen iki nokatda
kesişýär: P dünýäniň demirgazyk polýusynda we P' dünýäniň günor-
ta polýusynda (*5-nji surat*). Demirgazyk polýusy tarapyndan asman
sferasynyň aýlanmasy daşyndan seredilende sagat diliniň ugrunadyr.
Tekizligi dünýä okuna perpendikulýar bolan, asman sferasynyň
 $QWQ'E$ uly aýlawyna *asman ekwatory* diýilýär. Asman ekwatory as-
man sferasyny deň iki: P demirgazyk polýusly demirgazyk we P' gü-
norta polýusly günorta ýarym sfera bölýär.

Tekizligi asman sferasynyň tekizligine parallel bolan, asman
sferasynyň (bMb) kiçi aýlawyna M ýagtyltgyjyň *asman* ýa-da *gi-
je-gündiz paralleli* diýilýär. Ýagtyltgyjyň gije-gündiziň dowamynda
görünýän hereketleri gije-gündiz parallelleri boýunça amala aşyryl-
ýandyr.

Dünýä polýusyndan we M ýagtyltgyçdan geçýän, asman sfera-
synyň PMP' uly ýarym aýlawyna ýagtyltgyjyň *sagat aýlawy* ýa-da
ýapgytlyk aýlawy diýilýär.

Asman ekwatory matematiki gözýetim bilen iki nokatda – gün-
dogar E nokatda we günbatar W nokatda kesişýär. Gündogar we gün-
batar nokatlardan geçýän beýikligiň aýlawlaryna *birinji wertikallar*,
ýa-da degişlilikde *gündogar we günbatar wertikallar* diýilýär.

Tekizligi asma çyzygyndan we dünýä okundan geçýän, asman
sferasynyň $PZQSP'Z'Q'N$ uly aýlawyna *asman meridiany* diýilýär.

Asman meridiany asman sferasynyň üstüni iki sany: *gündogar*
(E gündogar nokady bilen) we *günbatar* (W günbatar nokady bilen)
ýarym sfera bölýär.

Asman meridianynyň tekizligi matematiki gözýetimiň tekizligi
bilen NOS göni çyzyk boýunça kesişýär we oňa *günortan çyzygy* di-
ýilýär.

Asman meridiany matematiki gözýetim bilen iki nokatda:
demirgazygyň N nokadynda we günortanyň S nokadynda kesişýär.
Dünýäniň demirgazyk polýusyna golaýyna *demirgazyk nokat*,
dünýäniň günorta polýusyna golaýyna bolsa *günorta nokat* diýilýär.



Asman meridiany asman ekwatory bilen hem iki nokatda: gü-norta nokada ýakyn ýerleşen, ekwatoryň ýokarky Q nokadynda we demirgazyk nokada ýakyn ýerleşen, ekwatoryň aşaky Q' nokadynda kesişýär.

Asman meridianynyň $PZQSP'$ dugasy onuň ýokarky, $PNQ'ZP'$ bolsa aşaky bölegidir.

§10. Gorizont al we ekwatorial koordinatalar sistemalary

Ýagtyltgyjyň asmanda ýa-da haýsy hem bolsa bir nokadyň sferada orny asman sferasynyň esasy tekizliklerine we olar bilen baglanyşykly çyzyklaryna, nokatlaryna görä anyk kesgitlenýändir hem-de asman koordinatalary diýilýän iki ululyk (merkezi burçlar ýa-da uly aýlawlaryň dugalary) bilen aňladylýandyr.

Astronomiýanyň dürli meselelerini çözmek üçin asman koordinatalar sistemalarynyň dürli görnüşlerinden peýdalanylýar. Olar bir-birlerinden ölçenilýän esasy tekizligiň we hasabyň başlangyjynyň saýlanylyşy bilen tapawutlanýar.

Gorizont al koordinatalar sistemasy

Gorizont al koordinatalar sistemasynyň esasy tekizligi bolup matematiki gözýetimiň tekizligi $NWSE$ hyzmat edýär, hasabyň başlangyjy zenitden we matematiki gözýetimiň nokatlarynyň birinden başlanýar (*4-nji surat*).

Bir koordinatasý bolup z zenit aralygy ýa-da ony çalyşýan, ýagtyltgyjyň gözýetimden h beýikligi hyzmat edýär.

M ýagtyltgyjyň h beýikligi diýip, wertikal aýlawyň matematiki gözýetimden M ýagtyltgyja çenli bolan mM dugasyna ýa-da matematiki gözýetimiň tekizligi bilen M ýagtyltgyja tarap ugruň emele getirýän mOM merkezi burçuna aýdylýar.

Eger ýagtyltgyç asman sferasynyň görünýän böleginde ýerleşen bolsa, onda onuň beýikligi zenite tarap hasaplanýar we onuň ululygy 0° -dan $+90^\circ$ -a çenli bahalary alyp bilýär. Eger ýagtyltgyç asman sferasynyň görünmeýän böleginde ýerleşen bolsa, onda onuň beýikligi n-dira tarap hasaplanýar we onuň ululygy 0° -dan -90° -a çenli bahalary alyp biler.

M ýagtyltgyjyň z zenit aralygy diýip wertikal aýlawyň Z zenitden ýagtyltgyja çenli bolan ZM dugasy ýa-da asma çyzygy bilen M ýagtyltgyja tarap ugruň emele getirýän ZOM merkezi burçuna aýdylýar. Zenit aralyklary zenitden nadira tarap ugurda hasaplanylýar we onuň ululygy 0° -dan 180° -a çenli bahalary alyp bilýär. Asman sferasynyň görüňýän böleginde ýerleşen ýagtyltgyçlar üçin $z \leq 90^\circ$, görünmeýän bölegindäki ýagtyltgyçlar üçin $z > 90^\circ$.

Şol bir ýagtyltgyjyň zenit aralygy we beýikligi üçin

$$z + h = 90^\circ \quad (1.1)$$

gatnaşyk dogrudyr.

Şol bir almukantaratda, şol bir parallelde ýerleşen ýagtyltgyçlaryň beýiklik koordinatalary we zenit aralyklary deňdir.

Beýiklik ýa-da zenit aralygy ýagtyltgyjyň wertikal aýlawdaky ornuny kesgitleýär.

Wertikal aýlawyň özüniň asman sferasyndaky ýagdaýy, ýagny onuň günorta nokadyndan uzaklygy bolsa A azimut koordinata ululygy bilen kesgitlenýär.

M ýagtyltgyjyň A azimuty diýip matematiki gözýetimiň günorta S nokadyndan ýagtyltgyjyň üstünden geçýän wertikal aýlawyna çenli bolan Sm duga ýa-da günortan çyzygynyň we ýagtyltgyjyň üstünden geçýän wertikal aýlawyň tekizliginiň matematiki gözýetimiň tekizligi bilen kesişme çyzygynyň aralygyndaky merkezi SO m burça aýdylýar.

Azimutlar asman sferasynyň aýlanýan ugry boýunça, ýagny S günorta nokatdan günbatara tarap hasaplanylýarlar we olaryň ululyklary 0° -dan 360° -a çenli bahalary alyp bilýärler. Azimutyň günorta S nokatdan günbatarlygyna 0° -dan $+180^\circ$ -a çenli (günbatar azimut) we gündogarlygyna ululyklary 0° -dan -180° -a çenli (gündogar azimut) hasaplanylýan wagtlary hem bolýar.

Şol bir wertikal aýlawda ýerleşen ýagtyltgyçlaryň azimutlary deňdir.

Birinji ekwatorial koordinatalar sistemasy.

Bu koordinatalar sistemasynyň esasy tekizligi bolup asman ekwatorynyň QQ' tekizligi hyzmat edýär, hasabyň başlangyjy bolsa asman ekwatorynyň Q nokadyndan başlanýar (*5-nji surat*).



Koordinatalarynyň biri ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygydyr. M ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygy diýip $PMmP'$ sagat aýlawynyň asman ekwatoryndan ýagtyltgyja çenli bolan mM dugasyna ýa-da asman ekwatorynyň tekizligi bilen ýagtyltgyja tarap ugruň emele getirýän merkezi mOM burçuna aýdylýar.

Ýapgytlyk koordinatasy dünýäniň demirgazyk polýusyna tarap hasaplananda, ýagny ýagtyltgyç asman sferasynyň demirgazyk ýarym sferasynda ýerleşende, onuň ululygy 0° -dan $+90^\circ$ -a çenli bahalary, eger-de dünýäniň günorta polýusyna tarap hasaplananda, ýagny ýagtyltgyç asman sferasynyň günorta ýarym sferasynda ýerleşende, onuň ululygy 0° -dan -90° -a çenli bahalary alyp bilýär

Seýrek ýagdaýlarda δ ýapgytlyk polýar aralyk bilen çalşyrylýar. Polýar aralyk diýip sagat aýlawynyň dünýäniň demirgazyk polýusyndan ýagtyltgyja çenli bolan PM dugasyna ýa-da dünýäniň oky bilen ýagtyltgyja tarap ugruň emele getirýän merkezi POM burçuna aýdylýar. Polýar aralyk dünýäniň demirgazyk polýusyndan günorta polýusyna tarap ugurda hasaplanylýar we onuň ululygy 0° -dan 180° -a çenli bahalary alyp bilýär. Asman sferasynyň demirgazyk ýarym sferasynda ýerleşen ýagtyltgyçlar üçin $p < 90^\circ$, günorta ýarym sferasynda ýerleşenleri üçin bolsa $p > 90^\circ$.

Şol bir ýagtyltgyjyň polýar aralygy we ýapgytlygy üçin

$$p + \delta = 90^\circ \quad (1.2)$$

gatnaşyk dogrudyr.

Şol bir gije-gündiz parallelinde ýerleşen ýagtyltgyçlaryň ýapgytlyk δ koordinatalary we polýar p aralyklary deňdir.

Ýapgytlyk ýa-da polýar aralyk ýagtyltgyjyň sagat aýlawynda ýerleşen ýagdaýyny kesgitleýär. Sagat aýlawynyň özüniň asman sferasynda ýerleşen ýagdaýy bolsa t sagat burçy bilen kesgitleýär.

M ýagtyltgyjyň sagat burçy diýip asman ekwatorynyň ýokarky Q nokadyndan sagat aýlawyna $PMmP'$ çenli bolan asman ekwatorynyň Qm dugasyna ýa-da asman meridianynyň tekizligi bilen sagat aýlawynyň tekizliginiň aralygyndaky merkezi QOm burça aýdylýar.

Sagat burçlary asman sferasynyň aýlanýan ugry boýunça, ýagny asman ekwatorynyň ýokarky Q nokadyndan günbatara tarap hasaplanylýar we olaryň ululyklary 0° -dan 360° -a çenli (gradus ölçeglerde)

ýa-da 0^h -dan 24^h -a çenli (sagat ölçeglerde) bahalary alyp bilýärler. Sagat burçunyň asman ekwatorynyň Q ýokarky nokadyndan günbatarlygyna 0° -dan $+180^\circ$ -a (ýa-da 0^h -dan $+12^h$ -a) çenli (günbatar sagat burçy) we gündogarlygyna 0° -dan -180° -a (ýa-da 0^h -dan -12^h -a) çenli (gündogar sagat burçy) hasaplanylýan wagtlary hem bolýar.

Şol bir ýapgytlyk aýlawynda ýerleşen ýagtyltgyçlaryň sagat burçlary deňdir.

Ikinji ekwatorial koordinatalar sistemasy.

Bu sistemanyň hem esasy tekizligi bolup asman ekwatorynyň tekizligi hyzmat edýär. Koordinatalaryň biri ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygydyr. Beýleki koordinata ululygy bolsa ýagtyltgyjyň sagat aýlawynyň ýerleşen ýagdaýyny kesgitleýän α göni ýokary göterilmedir.

M ýagtyltgyjyň α göni ýokary göterilmesi asman ekwatorynyň γ ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan ýagtyltgyjyň üstünden geçýän sagat aýlawyna çenli bolan γ_m dugasyna ýa-da ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna tarap ugruň we ýagtyltgyjyň sagat aýlawynyň aralygyndaky merkezi γOm burça (asman ekwatorynyň tekizliginde) aýdylýar.

Göni ýokary göterilme koordinatalary asman sferasynyň gije-gündiziň dowamynda aýlanýan ugruna ters bolan ugurda hasaplanylýar we 0° -dan 360° -a çenli (gradus ölçeglerde) ýa-da 0^h -dan 24^h -a çenli (sagat ölçeglerde) bahalary alyp bilýärler.

Şol bir sagat aýlawynda ýerleşen ýagtyltgyçlaryň göni ýokary göterilme koordinatalary deňdir.

Ýagtyltgyjyň gorizont koordinatalary (z , h , A) we t sagat burçy asman sferasynyň gije-gündiziň dowamynda aýlanýanlygy üçin üznüksiz üýtgeýärler, sebäbi olar aýlawly herekete gatnaşmaýan, hereketsiz nokatlar boýunça hasaplanandyrlar.

Ýagtyltgyjyň ekwatorial koordinatalary (α göni ýokary göterilmesi we δ ýapgytlygy) asman sferasynyň gije-gündiziň dowamyndaky aýlanmasy sebäpli üýtgemeyärler, çünki olar aýlawly herekete gatnaşýan asman ekwatorynyň nokatlaryndan hasaplanylýarlar we ýagtyltgyjyň bu nokatlara görä ýerleşen ýagdaýy üýtgeýän däl.

Gorizont koordinatalar sistemasy ýagtyltgyçlaryň görünýän ýerleşen ýagdaýlaryny gös-göni burç ölçeyji abzallaryň kömegi bilen kesgitlemek üçin peýdalanylýar.



Birinji ekwatorial koordinatalar sistemasy (ýapgytlyk we sagat burçy) esasan hem amaly astronomiýanyň esasy meseleleriniň biri bolan takyk wagty kesgitlemekde ulanylýar.

Ikinji ekwatorial koordinatalar sistemasy fundamental astronomiýanyň meseleleri çözüleninde peýdalanylýar. Bu sistemada ýyldyz kataloglary we ýyldyz kartalary düzülýär.

§11. Dünýä polýusynyň beýikligi barada teorema

Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanýanlygy sebäpli Ýerdäki gözegçi asman sferasy Ýeriň aýlanýan ugrunyň tersine, günbatardan gündogara aýlanýan ýaly bolup görünýär. Şonuň üçin, Ýeriň üstüniň islendik nokadynda ýerleşen gözegçi asman sferasynyň dünýäniň okunyň, ýagny Ýeriň aýlanma okuna parallel gönüniň daşyndan aýlanýandygyny görýär.

Gözegçi Ýeriň üstündäki ornuny üýtgedende asma çyzygynyň ugry üýtgeýändir we aýlanma oky bilen dürli burçlary emele getirýändir. Asman sferasynyň aýlawlarynyň we nokatlarynyň özara ýerleşşi dünýäniň oky we asma çyzygy bilen baglydyr. Diýmek, gözegçiniň Ýeriň üstündäki ornuna hem baglydyr.

Bu baglanyşyk teorema görnüşinde kesgitlenilýär: dünýä polýusynyň h_p gözyetimden beýikligi mydama gözegçilik edilýän nokadyň φ astronomik giňligine deňdir.

Teoremanyň subudy çyzgydan gelip çykýandyr (6-njy surat).

Bu ýerde $\angle PON = h_p$ we $\angle OTq = \varphi$ özara perpendikulýar taraplary bolan burçlardyr.

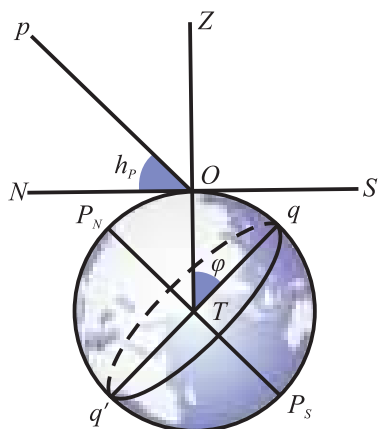
Bu teoremanyň netijesi hökmünde, gözegçilik edilýän nokadyň geografik giňligine aşakdaky ululyklaryň hem deňdigi gelip çykýar (7-nji surat):

- 1) zenidiň ýapgytlygy $\delta_z = \varphi$;
- 2) demirgazyk nokadyň polýar aralygy $p_N = \varphi$;
- 3) ekwatoryň ýokarky nokadynyň zenit aralygy $z_Q = \varphi$.

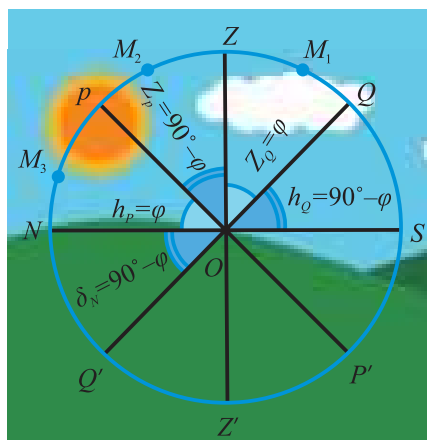
Dünýä polýusynyň zenit aralygy (1.1) gatnaşygynyň esasynda:

$$z_p = 90^\circ - h_p = 90^\circ - \varphi.$$

Diýmek, $(90^\circ - \varphi)$ ululyga aşakdakylar degişlidir:



6-njy surat. Dünýä polýusynyň beýikligi bilen geografik giňligiň arabaglanyşygy



7-nji surat. Asman sferasynyň asman meridianynyň tekizligine proeksiýasy

- 1) zenidiň polýar aralygy $p_Z = 90^\circ - \varphi$;
- 2) demirgazyk nokadyň ýapgytlygy $\delta_N = 90^\circ - \varphi$;
- 3) ekwatoryň ýokarky nokadynyň beýikligi $h_Q = 90^\circ - \varphi$.

§12. Asman sferasynyň aýlanmasy bilen baglanyşykly hadysalar

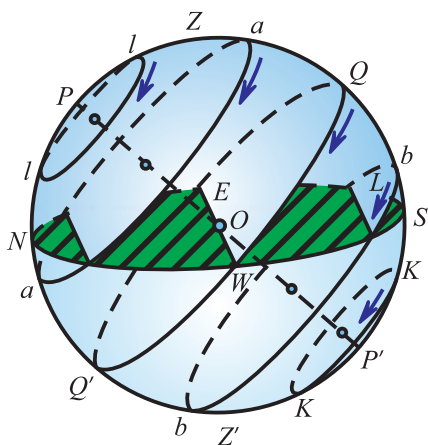
1. Ýagtyltgyçlaryň dogup ýaşmasy.

Asman sferasynyň gije-gündiziň dowamynda aýlanýanlygy sebäpli hemme ýagtyltgyçlar tekizligi asman ekwatorynyň tekizligine parallel bolan aýlawlary çyzýarlar, ýagny olar gije-gündiz ýa-da asman parallelleri boýunça hereket edýärler.

Gözegçiniň ýerleşen ýeriniň φ geografik giňligine we ýagtyltgyçlaryň δ ýapgytlyklaryna baglylykda olaryň gije-gündiz parallelleri matematiki gözýetimi iki nokatda kesýärler, gözýetimden bütewiligine ýokarda ýa-da aşakda ýerleşip bilýärler (*8-nji surat*).

Ýagtyltgyjyň hakyky gözýetimiň gündogar bölegini kesip geçýän nokadyna ýagtyltgyjyň dogýan nokady, hakyky gözýetimiň günbatar bölegini kesip geçýän nokadyna bolsa ýagtyltgyjyň ýaşýan nokady diýilýär.

Eger-de ýagtyltgyjyň ýapgytlygynyň absolyt bahasy



8-nji surat. Orta geografik giňliklerde ýagtyltgyçlaryň gije-gündiziň dowamyndaky hereketi

Eger ýagtyltgyjyň ýapgytlygy $\delta < 0$ bolsa (*bb* asman paralleli), onda ol günorta-gündogarda dogup, günorta-günbatarda ýaşar.

Ýagtyltgyjyň ýapgytlygynyň absolýut bahasy

$$|\delta| \geq (90^\circ - |\varphi|) \quad (1.5)$$

bolsa, onda onuň gije-gündiz paralleli matematiki gözýetimi kesmeýär we ol ýaşmaýan (gije-gündiz paralleli *ll* gözýetimden bütewiligine ýokarda ýerleşýär) ýa-da dogmaýan (gije-gündiz paralleli *kk* gözýetimden bütewiligine aşakda ýerleşýär) ýagtyltgyç bolar.

Eger gözegçi Ýer ekwatorynda ýerleşen bolsa ($\varphi = 0^\circ$), onda onuň üçin (1.4) aňlatma laýyklykda hemme ýagtyltgyçlar dogup-ýaşýan bolarlar. Hakykatdan-da, Ýer ekwatorynda (9-njy surat) dünýäniň *P* demirgazyk polýusy gözýetimde, demirgazygyň *N* nokadynda ýerleşer, *P'* günorta polýus bolsa günorta *S* nokatda ýerleşer. Asman ekwatory *QQ'* matematiki gözýetime perpendikulýar bolar we *Z* zenit nokadyň üstünden geçer. Şonuň üçin hemme ýagtyltgyçlaryň gije-gündiz parallelleriniň tekizlikleri matematiki gözýetimiň tekizligine perpendikulýardyr. Hemme ýagtyltgyçlar dogup ýaşýarlar, gözýetimden 12 sagadyň dowamynda görünýärler we şonça wagtyň dowamynda görünmeýärler.

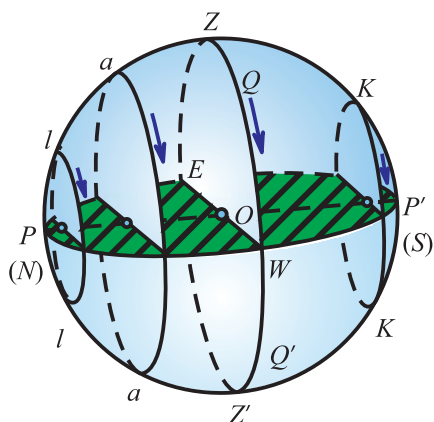
Eger gözegçi Ýeriň demirgazyk geografik polýusynda ýerleşen bolsa ($\varphi = 90^\circ$), onda onuň üçin (1.5) laýyklykda $\delta > 0$ bolan ýagtylt-

$$|\delta| < (90^\circ - |\varphi|) \quad (1.4)$$

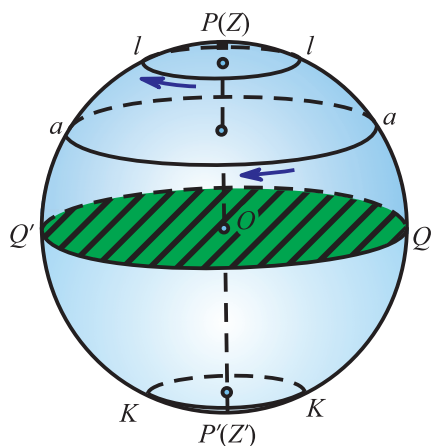
bolsa, onda berlen φ giňlikde ýagtyltgyç dogýar we ýaşýar.

Eger-de ýagtyltgyç asman ekwatorynda *QQ'* ýerleşen bolsa, ýagny onuň $\delta = 0$ bolsa, onda ýagtyltgyç takyk gündogaryň *E* nokadynda dogar we günbataryň *W* nokadynda ýaşar.

Eger ýagtyltgyjyň ýapgytlygy $\delta > 0$ bolsa (*aa* asman paralleli), onda ol demirgazyk-gündogarda dogup, demirgazyk-günbatarda ýaşar.



9-njy surat. Ýer ekwatorynda ýagtyltgyçlaryň gije-gündiziň dowamyndaky hereketi



10-njy surat. Ýeriň demirgazyk polýusynda ýagtyltgyçlaryň gije-gündiziň dowamyndaky hereketi

gyçlar ýaşmaýan, $\delta < 0$ bolan ýagtyltgyçlar bolsa dogmaýan ýagtyltgyçlardyr. Hakykatdan hem (10-njy surat), Ýeriň demirgazyk geografik polýusynda dünýäniň P demirgazyk polýusy Z zenit bilen, asman ekwatory QQ' bolsa matematiki gözýetim bilen gabat gelýär. Şonuň üçin ýagtyltgyçlaryň gije-gündiz parallelleriniň tekizlikleri matematiki gözýetimiň tekizligine paralleldirler, ýagtyltgyçlar dogmaýarlar we ýaşmaýarlar. Asman sferasynyň demirgazyk ýarym şarynyň ýagtyltgyçlary ($\delta > 0$) mydama gözýetimden ýokarda görünýärler, asman sferasynyň günorta ýarym şarynyň ýagtyltgyçlary ($\delta < 0$) hiç haçan görünmeýärler.

Ýeriň günorta polýusynda ýerleşen gözegçi tersligine, mydama asman sferasynyň günorta ýarym şarynyň ýagtyltgyçlaryny ($\delta < 0$) görer, demirgazyk ýarym şarynyň ýagtyltgyçlaryny ($\delta > 0$) bolsa hiç haçan görüp bilmez.

Eger-de gözegçi 0° -a we 90° -a deň bolmadyk, aralyk islendik φ giňlikde ýerleşen bolsa, onda şeýle gözegçi üçin ýagtyltgyçlaryň bir bölegi dogup ýaşar, beýleki bir bölegi bolsa dogmaýan we ýaşmaýan bolar. Merkezi gözýetimden ýokardaky polýusda, radiusy bolsa φ deň bolan töweregiň içinde ýerleşýän ýagtyltgyçlar ýaşmaýan ýagtyltgyçlaryň hataryna girer. Merkezi gözýetimden aşakdaky polýusda, radiusy bolsa φ deň bolan töweregiň içinde



ýerleşýän ýagtyltgyçlar asla dogmaýan ýagtyltgyçlaryň hataryna girer. Bu iki töweregiň arasynda ýerleşen ýagtyltgyçlar bolsa dogup ýaşýan ýagtyltgyçlaryň hataryna girer. Özi hem, dogup ýaşýan ýagtyltgyçlaryň arasynda asman ekwatorynda ýerleşýänleri gije-gündiziň ýarysyny gözýetimden ýokarda, şonça wagty hem gözýetimden aşakda geçirerler. Aşakdaky polýus tarapdaky ýagtyltgyçlar δ ýapgytlyga baglylykda günüň 12 sagatdan artygyny gözýetimden aşakda geçirerler. Ýokarky polýus tarapdaky ýagtyltgyçlar bolsa δ ýapgytlyga baglylykda günüň 12 sagatdan artyk wagty gözýetimden ýokarda geçirerler. Muňa Heýl-Bopuň kometasy mysal bolup biler. Ol demirgazyk gözýetime golaý hereket edenligi sebäpli, Gün ýaşandan soň günbatarda görnüp, Günden öň hem dogup, irden gündogarda hem görnüpdi.

2. Ýagtyltgyçlaryň kulminasiýasy

Her bir ýagtyltgyjyň gije-gündiz paralleli onuň diametriniň uçlarynda ýerleşýän asman meridianyny iki nokatda kesýär.

Ýagtyltgyjyň asman meridianyny kesme hadysasyna ýagtyltgyjyň kulminasiýasy diýilýär.

Ýagtyltgyjyň asman meridianynyň özünde Z zenit nokady saklaýan $PZQSP'$ ýokarky bölegini kesme hadysasyna ýokarky kulminasiýa (7-nji surat), özünde Z' nadir nokady saklaýan $PNQ'Z'P'$ aşaky bölegini kesme hadysasyna bolsa aşaky kulminasiýa diýilýär.

Ýokarky kulminasiýanyň zenitden günorta tarapda ($ZQSP'$ duga boýunça) we zenitden demirgazyk tarapda (PZ duga boýunça) bolýanlaryny tapawutlandyrýarlar.

Berlen φ giňlikde ýaşmaýan ýagtyltgyçlaryň iki kulminasiýasyny hem, ýagny ýokarky we aşaky kulminasiýalaryny görüp bolýar. Dogup ýaşýan ýagtyltgyçlaryň bolsa diňe ýokarky kulminasiýasyny görüp bolýar, aşaky kulminasiýasy gözýetimden aşakda ýerleşýändir. Dogmaýan ýagtyltgyçlaryň iki kulminasiýasy hem gözýetimden aşakda ýerleşendir we gözegçilikde görünmeýär.

§13. Gije-gündiz hereketinde ýagtyltgyçlaryň koordinatalarynyň üýtgemesi

Ýagtyltgyç dogýan ýa-da ýaşýan pursadynda onuň zenit aralygy $z = 90^\circ$, beýikligi $h = 0$ deňdir, dogýan we ýaşýan nokatlarynyň azimuty bolsa ýagtyltgyjyň ýapgytlygyna we gözegçilik edilýän nokadyň giňligine baglydyr.

Ýokarky kulminasiýa pursadynda ýagtyltgyjyň zenit aralygy minimaldyr, beýikligi maksimaldyr, azimuty bolsa $A = 0^\circ$ (eger ýagtyltgyç zenitden günortada kulminasiýada bolsa) ýa-da $A = 180^\circ$ (eger ýagtyltgyç zenitden demirgazykda kulminasiýada bolsa) deňdir.

Aşaky kulminasiýa pursadynda ýagtyltgyjyň zenit aralygy maksimaldyr, beýikligi minimaldyr, azimuty bolsa $A = 180^\circ$ ýa-da $A = 0^\circ$ (eger aşaky kulminasiýa Z' nadir we dünýäniň P' günorta polýusy aralygynda bolup geçýän bolsa) deňdir.

Diýmek, aşaky kulminasiýadan ýokarky kulminasiýa çenli ýagtyltgyjyň zenit aralygy kiçelýär, beýikligi bolsa ulalýär; ýokarky kulminasiýadan aşaky kulminasiýa çenli tersligine, zenit aralygy ulalýär, beýikligi kiçelýär. Ýagtyltgyjyň azimuty hem kesgitli çäklerde üýtgeýär.

Şeýlelikde, ýagtyltgyjyň gorizont koordinatalary (z , h we A) asman sferasynyň gije-gündiz aýlanmasy sebäpli üznüksiz üýtgeýär we eger ýagtyltgyç sfera bilen üýtgewsiz bagly bolsa (ýagny onuň δ ýapgytlygy we α göni ýokary görterilmesi hemişelik galýarlar), onda onuň gorizont koordinatalary öňki bahalaryny sfera bir aýlawy amala aşyrandan soň alýarlar.

Ýagtyltgyçlaryň gije-gündiz parallelleriniň Ýeriň hemme giňliklerinde (polýuslaryndan başga) gözyetime ýapgyt bolanlary üçin, asman sferasynyň gije-gündiz aýlanmasynyň deňölçegli bolmagyna garamazdan, gorizont koordinatalar deňölçegsiz üýtgeýändirler. Ýagtyltgyjyň beýikligi h we zenit aralygy z meridianyň ýakynynda, ýagny ýokarky we aşaky kulminasiýa pursadynda has haýal üýtgeýändir. Ýagtyltgyjyň A azimuty bolsa tersligine, şol pursatlarda has çalt üýtgeýändir.

Ýagtyltgyjyň t sagat burçy (birinji ekwatorial koordinatalar sistemasynda) azimuta meňzeşlikde üznüksiz üýtgeýär. Ýagtyltgyjyň ýo-

karky kulminasiýa pursadynda sagat burçy $t = 0$, aşaky kulminasiýa pursadynda bolsa $t = 180^\circ$ ýa-da 12^h deňdir.

Ýöne azimutlardan tapawutlylykda, ýagtyltgyçlaryň sagat burçlary (eger olaryň δ ýapgytlyklary we α göni ýokary göterilmeleri üýtgemän galýan bolsa) deňölçegli üýtgeýärler, sebäbi olar asman ekwatory boýunça hasaplanylýarlar we asman sferasy deňölçegli aýlananda sagat burçlarynyň üýtgemesi wagt aralyklaryna proporsionaldyrlar, ýagny sagat burçunyň artmasy asman sferasynyň aýlanan (öwürilen) burçuna deňdir. Sagat burçlarynyň deňölçegli üýtgemesi wagt ölçenende wajypdyr.

Ýagtyltgyjyň h beýikligi ýa-da z zenit aralygy kulminasiýa pursatlarynda ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygyna we gözegçiniň ýerleşen yeriniň φ geografik giňligine baglydyr.

Çyzgydan (7-nji surat) gelip çykýar:

1) eger M_1 ýagtyltgyjyň ýapgytlygy $\delta < \varphi$ bolsa, onda ol zenitden günortada

$$z = \varphi - \delta \quad (1.6)$$

zenit aralygynda, ýa-da

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (1.7)$$

beýiklikde kulminasiýada bolýar;

2) eger $\delta = \varphi$ bolsa, onda ýagtyltgyç zenitde kulminasiýada bolýar we şonda

$$z = 0 \quad (1.8)$$

we

$$h = 90^\circ \quad (1.9)$$

beýiklikde bolýar;

3) eger $\delta > \varphi$ bolsa, onda M_2 ýagtyltgyjyň ýokarky kulminasiýasy zenitden demirgazykda

$$z = \delta - \varphi \quad (1.10)$$

zenit aralygynda we

$$h = 90^\circ + \varphi - \delta \quad (1.11)$$

beýiklikde bolýar;

4) aşaky kulminasiýa pursadynda M_3 ýagtyltgyjyň zenit aralygy we beýikligi

$$z = 180^\circ - \varphi - \delta \quad (1.12)$$

$$h = \delta - (90^\circ - \varphi) = \varphi + \delta - 90^\circ. \quad (1.13)$$

Gözegçiliklerden belli bolşy ýaly, berlen φ geografik giňliklerde her bir ýyldyz mydama gözýetimiň şol bir nokadyndan dogýar (ýaşýar), onuň meridiandaky beýikligi mydama birmeňzeşdir. Bu ýerden ýyldyzlaryň ýapgytlygy wagtyň geçmegi bilen üýtgemeyär diýip netije çykarmak bolýar.

Günüň, Aýyň we planetalaryň dogýan we ýaşýan nokatlary, şeýle hem olaryň meridiandaky beýiklikleri ýylyň dowamynda üýtgeýändir. Diýmek, bu asman jisimleriniň ýapgytlyklary wagtyň geçmegi bilen üýtgeýändir.

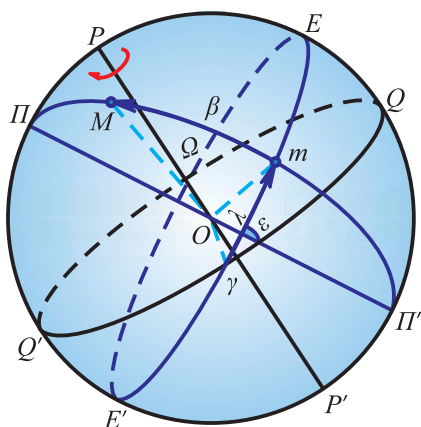
§14. Ekliptika. Ekliptik koordinatalar sistemasy

Günortan (ýagny ýokarky kulminasiýa pursadynda), şol bir geografik giňlikde Günüň zenit aralygyny ýa-da beýikligini ölçemeler netijesinde bir ýylyň dowamynda onuň ýapgytlygynyň iki sapar noldan geçip, $+23^\circ 27'$ -dan $-23^\circ 27'$ -a çenli aralykda üýtgeýändigini kesgitlenendir. Gijeki asmanyň görnüşiniň üýtgemesine edilýän gözegçiliklerden Günüň göni ýokary göterilmesiniň hem ýylyň dowamynda ýuwaşlyk bilen 0° -dan 360° -a çenli, ýa-da 0^h -dan 24^h -a çenli aralykda üýtgeýändigini kesgitlenendir. Hakykatdan hem, göni ýokary göterilmeleri Günüň göni ýokary göterilmesinden 180° ýa-da 12^h tapawutlanýan ýyldyzlar ýarygije ýokarky kulminasiýada bolýarlar. Gözegçilikler bolsa gün-günden göni ýokary göterilmesi has uly bolan ýyldyzlaryň ýarygije ýokarky kulminasiýada bolýandyklaryny görkezýär. Diýmek, Günüň göni ýokary göterilmesi gün-günden artýandyr.

Günüň iki koordinatasynyň hem (zenit aralygy ýa-da beýikligi we göni ýokary göterilmesi) üznüksiz üýtgeýänligine seredip, onuň ekliptika diýip atlandyrylýan asman sferasynyň uly aýlawy boýunça ýyldyzlaryň arasynda günbatardan gündogara hereket edýändigini kesgitlemek mümkindir. Ekliptikanyň $E'\gamma EQ$ tekizliginiň (*11-nji surat*) asman ekwatorynyň tekizligine ýapgytlygy $\varepsilon = 23^\circ 27'$

Ekliptikanyň tekizligine perpendikulýar bolan $IIII'$ diametre ekliptikanyň oky diýilýär we ol asman sferasynyň üsti bilen eklipti-





11-nji surat. Ekliptik koordinatalar sistemasy

kanýň demirgazyk polýusynyň golaýynda Π (demirgazyk ýarym sfera) we ekliptikanyň günorta polýusynyň golaýynda Π' (günorta ýarym sfera) kesişýär.

Ekliptika asman ekwatory bilen iki nokatda: γ ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynda we Ω güýzki gije-gündiz deňleşme nokadynda kesişýär.

γ ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynda Gün asman ekwatoryny asman sferasynyň günorta ýarymyndan demirgazyk

ýarymyna geçende, Ω güýzki gije-gündiz deňleşme nokadynda bolsa demirgazyk ýarym sferadan günorta ýarym sfera geçende kesýär.

Deňleşme nokatlaryndan 90° aralykda ýerleşen ekliptikanyň nokatlaryna Günüň tomusky durýan nokady (demirgazyk ýarym sferada) we Günüň gysky durýan nokady (günorta ýarym sferada) diýilýär.

Ekliptikanyň polýuslaryndan we M ýagtyltgyjyň üstünden geçýän asman sferasynyň $\Pi M \Pi'$ uly ýarym aýlawyna ýagtyltgyjyň giňlik aýlawy diýilýär.

Ekliptika we ýazky gije-gündiz deňleşme nokady ekliptik koordinatalar sistemasynyň esaslarydyr.

Bu sistemada M ýagtyltgyjyň bir koordinatasy β ekliptiki giňlikdir. M ýagtyltgyjyň ekliptiki giňligi diýip, giňlik aýlawynyň ekliptikadan ýagtyltgyja çenli bolan mM dugasyna ýa-da ekliptikanyň tekizligi we ýagtyltgyja tarap ugruň arasyndaky mOM merkezi burça aýdylýar.

Ekliptik giňlik ekliptikanyň demirgazyk Π polýusyna tarap hasaplananda onuň ululygy 0° -dan $+90^\circ$ -a çenli aralykdaky bahalary, günorta Π' polýusyna tarap hasaplananda bolsa 0° -dan -90° -a çenli aralykdaky bahalary alyp bilýär.

Tekizligi ekliptikanyň tekizligine parallel bolan şol bir kiçi aýlawda ýerleşen ýagtyltgyçlaryň ekliptik giňlikleri deňdir.

Ekliptik giňlik ýagtyltgyjyň giňlik aýlawynda ýerleşen ýagdaýyny kesgitleýär. Giňlik aýlawynyň özüniň asman sferasyndaky

ýerleşişini bolsa başga koordinata – λ ekliptik uzaklyk kesgitleýär. M ýagtyltgyjyň λ ekliptik uzaklygy diýip ekliptikanyň γ ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan ýagtyltgyjyň üstünden geçýän giňlik aýlawyna çenli bolan γm dugasyna ýa-da ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna tarap ugruň we ýagtyltgyjyň üstünden geçýän giňlik aýlawynyň tekizliginiň aralygyndaky γOm merkezi burça aýdylýar. Ekliptik uzaklyk Günüň ekliptika boýunça görünýän, ýylyň dowamyndaky hereketiniň ugruna, ýagny günbatardan gündogara tarap hasaplanylýar we ululyklary 0° -dan 360° -a çenli aralykdaky bahalary alyp bilýär.

Şol bir giňlik aýlawynda ýerleşýän ýagtyltgyçlaryň ekliptik uzaklyklary deňdirler.

Ekliptik koordinatalar sistemasy esasan hem nazary astronomiýada asman jisimleriniň orbitalary kesgitlenende peýdalanylýar.

§15. Günüň ekwatorial koordinatalarynyň üýtgemesi

Ekliptika boýunça hereket edende Günüň ekwatorial koordinatalarynyň üýtgemesi aşakdaky ýaly bolup geçýär. Gün γ ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynda bolanda onuň göni ýokary göterilmesi we ýapgytlygy nola deňdir. Soňra Günüň göni ýokary göterilmesi we ýapgytlygy gün-günden ulalýar we tomusky durma nokadyna gelende onuň göni ýokary göterilmesi 90° ýa-da 6^h bolar, ýapgytlygy bolsa maksimal bahasyna $+23^\circ 27'$ -a ýeter. Ondan soňra Günüň ýapgytlygy kemelip başlaýar, göni ýokary göterilmesi bolsa öňküsi ýaly artmasyny dowam etdirýär. Haçan-da Gün güýzki gije-gündiz deňleşme nokadyna gelende onuň göni ýokary göterilmesi $\alpha = 180^\circ$ -a ýa-da 12^h -a, ýapgytlygy bolsa $\delta = 0^\circ$ bolar. Soňra Günüň göni ýokary göterilmesi artmasyny dowam etdirip, Günüň gyşky durma nokadynda 270° -a ýa-da 18^h -a deň bolar, ýapgytlygy bolsa iň minimal bahasyny, ýagny $-23^\circ 27'$ alar.

Şondan soňra Günüň ýapgytlygy artyp başlaýar we Gün ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna gelende onuň ýapgytlygy ýene-de nola deň bolýar, göni ýokary göterilmesi bolsa 360° ýa-da 24^h baha ýetip, nola öwrülýär.



Günüň ekwatorial koordinatalarynyň bu üýtgemeleri ýylyň dowamynda deňölçegsiz bolup geçýändir. Gün deňleşme nokatlarynyň golaýynda hereket edende ýapgytlygy çalt üýtgeýändir, durma nokatlarynyň golaýynda bolsa haýal üýtgeýändir. Göni ýokary göterilmesi bolsa tersligine, deňleşme nokatlarynyň golaýynda haýal üýtgeýär we durma nokatlarynyň golaýynda bolsa çalt üýtgeýär. Şunlukda, Günüň göni ýokary göterilmesiniň üýtgeýiş tizligi tomusky durma nokadynyň golaýynda gysky durma nokadynyň golaýyndakydan kiçidir (degişlilikde $57'$ we $61'$ bir gije-gündizde). Günüň ekliptika boýunça görünýän hereketi Ýeriň hakyky hereketiniň – Günüň töwereginde aýlanmasynyň netijesidir.

Ýeriň Günüň töweregindäki hereketi deňölçegsizdir we ugry Ýeriň öz okunyň töwereginde aýlanýan ugry bilen gabat gelýändir. Şunlukda, Ýeriň aýlanma oky ýolunyň tekizligine mydama $66^{\circ}33'$ ululyga ýapgytdyr. Şonuň üçin Gün hem tekizligi asman ekwatorynyň tekizligine ýapgytlygy $23^{\circ}27' = 90^{\circ} - 66^{\circ}33'$ burça deň bolan töwerek (ekliptika) boýunça asmanda ýyldyzlaryň arasynda, günbatardan gündogara deňölçegsiz hereket edýän ýaly bolup görünýär.

Haçan-da Gün ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynda bolanda, onda ol Ýer üstüniň hemme geografik giňliklerinde gündogaryň *E* nokadynda dogup, günbataryň *W* nokadynda ýaşar. Gije-gündiziň dowamynda geçýän ýolunyň ýarysy gözýetimden ýokarda, ýarysy bolsa gözýetimden aşakda ýerleşer. Netijede, bütin Ýer şarynda gündiziň we gijäniň dowamlylygy deňleşýär. Şol güne ýazky gije-gündiz deňleşme günü diýilýär (21-nji mart töweregi) we demirgazyk ýarym şarynda ýaz pasly başlanýar (günorta ýarym şarda bolsa şol pursat güyz pasly başlaýar).

Ýazky gije-gündiz deňleşme pursadynda Günüň günortanky beýikligi berlen φ geografik giňlikde (1.7) formula görä:

$$h_{\odot} = 90^{\circ} - \varphi.$$

Haçan-da Gün tomusky durma nokadynda bolanda ($\delta = +23^{\circ}27'$), berlen demirgazyk φ giňlikde demirgazyk-gündogarda dogup, demirgazyk-günbatarda ýaşar. Gije-gündiziň dowamynda geçýän ýolunyň köp bölegi gözýetimden ýokarda ýerleşýär. Demirgazyk ýarym şarda gündiziň dowamlylygy maksimal, gijäniň dowamlylygy minimal,

günorta ýarym şarda bolsa tersligine bolýar. Ol hadysa Günün to-musky durmasy diýilýär (22-nji iýun töweregi) we Ýeriň demirgazyk ýarym şarynda tomus başlanýar (günorta ýarym şarynda bu pursat gys başlanýar).

Günün tomusky durma pursadynda Günün günortanky beýikligi demirgazyk φ giňlikde özüniň maksimal bahasyny alýar:

$$h_{\max} = 90^{\circ} - \varphi + 23^{\circ}27'.$$

Haçan-da Gün güýzki gije-gündiz deňleşme nokadynda bolan pursadynda ($\delta = 0$) ol bütin Ýer şarynda gündogaryň E nokadynda dogup, günbataryň W nokadynda bolsa ýaşar we ýene-de hemme giňliklerde gündiziň we gijäniň dowamlylyklary deňleşýär. Şol pur-sada Günün güýzki gije-gündiz deňleşme günü diýilýär (22-nji sen-týabr töweregi) we demirgazyk ýarym şarda güýz başlanýar (günorta ýarym şarda ýaz başlanýar).

Güýzki gije-gündiz deňleşme pursadynda Günün günortanky beýikligi berlen φ giňlikde ýene-de $90^{\circ} - \varphi$ bolýar.

Haçan-da Gün gyşky durma nokadyna ýetende ($\delta = -23^{\circ}27'$) gü-norta-gündogarda dogup, günorta-günbatarda ýaşýar. Gije-gündiziň dowamyndaky geçýän ýolunyň köp bölegi gözýetimden aşakda ýerleşýär. Demirgazyk ýarym şaryň berlen φ geografik giňliginde gündiziň dowamlylygynyň iň gysga, gijäniň dowamlylygynyň bolsa iň uzak döwri bolýar. Şol döwürde günorta giňliklerde ýagdaý tersli-gine, gündiziň dowamlylygy uzyn, gijäniň dowamlylygy bolsa gysga bolýar. Ol nokada Günün gyşky durýan nokady diýilýär. Bu hadysa 22-nji dekabır töweregi bolup geçýär. Şol wagtda Ýeriň demirgazyk ýarym şarynda gyş pasly bolýan bolsa, günorta ýarym şarda tomus pasly bolýar.

Günün gyşky durma pursadynda Günün günortanky beýikligi demirgazyk φ giňlikde özüniň minimal bahasyny alýar:

$$h_{\min} = 90^{\circ} - \varphi - 23^{\circ}27'.$$

Ýylyň beýleki günleri Günün günortanky beýikligi h_{\max} we h_{\min} aralygyndaky bahalary alýar.

§16. Günün dürli giňliklerde gije-gündiz hereketi

a. Ýeriň demirgazyk polýusynda ($\varphi = +90^\circ$) ýerleşen gözegçi üçin ýapgytlygy $\delta \geq 0$ bolan ýagtyltgyçlar ýaşmaýarlar, $\delta < 0$ bolan ýagtyltgyçlar bolsa dogmaýarlar.

Günün asman ekwatoryndan ýokarda hereket etmesi 21-nji martdan 22-nji sentýabr aralygynda, onuň asman ekwatoryndan aşakda hereket etmesi bolsa 23-nji sentýabrdan 21-nji mart aralygynda dowam edýär. Diýmek, Ýeriň demirgazyk polýusynda Gün takmynan ýarym ýyl ýaşmaýan, ýarym ýyl bolsa dogmaýan ýagtyltgyç bolýar. 21-nji martda bu ýerde Gün dogýar we asman sferasynyň gije-gündiz aýlanmasy netijesinde gün-günden ýokary galmak bilen gözýetime parallele ýakyn bolan aýlawlary çyzýar. Tomusky durma gününde (22-nji iýun töweregi) Gün maksimal beýikligine $h_{\max} = +23^\circ 27'$ ýetýär. Şondan soň Gün gözýetime ýakynlap başlaýar, beýikligi peselýär we güýzki gije-gündiz deňleşme gününden (22-nji sentýabrdan) soň ýaşýar (gözýetimden aşak düşýär). Ýarym ýyllap dowam eden gündiz tamamlanyp, dowamlylygy ýarym ýyl bolan gije başlanýar. Gün gözýetimden aşakda parallele ýakyn bolan aýlawlary çyzmak bilen, gün-günden aşak düşýär. Gyşky durma gününde (22-nji dekabir töweregi) Gün gözýetimden $h_{\min} = -23^\circ 27'$ beýiklige aşak düşýär. Soňra Gün gözýetime ýakynlap başlaýar, onuň beýikligi artýar we ýazky gije-gündiz deňleşme günü gözýetimden ýokarda peýda bolýar (dogýar). Ýeriň günorta polýusynda ($\varphi = -90^\circ$) ýerleşen gözegçi üçin Günün gije-gündiz hereketi demirgazyk polýusdaky herekete meňzeş bolup geçýär. Ýöne bu ýerde Gün 23-nji sentýabrda dogýar, 21-nji martda bolsa ýaşýar. Diýmek, Ýeriň demirgazyk polýusynda gije bolanda günorta polýusynda gündiz we tersligine bolýandyr.

b. Demirgazyk polýar aýlawynda, ýagny ($\varphi = +66^\circ 33'$) ýokarda ýerleşen gözegçi üçin ýapgytlygy $\delta \geq +23^\circ 27'$ bolan ýagtyltgyçlar ýaşmaýarlar, $\delta < -23^\circ 27'$ bolan ýagtyltgyçlar bolsa dogmaýarlar. Diýmek, demirgazyk polýar aýlawda Gün tomusky durýan gününde ýaşmaýar (ýarygije Gün diskiniň merkezi gözýetimiň demirgazyk N nokadyna galtaşýar) we gyşky durma gününde bolsa dogmaýar (günortan Gün diskiniň merkezi gözýetimiň günorta S nokadyna diňe galtaşýar, soňra ýene gözýetimden aşak düşýär). Ýylyň galan günleri bu giňlikde Gün dogýar we ýaşýar. Şunlukda, Gün maksimal

beýikligi ($h_{\max} = +46^{\circ}54'$) tomusky durma gününde günortan alýar we gyşky durma gününde günortan bolsa iň minimal ($h_{\min} = 0^{\circ}$) beýikligi alýar. Günorta polýar aýlawda ($\varphi = -66^{\circ}33'$) gyşky durma günü Gün ýaşmaýar, tomusky durma günü bolsa dogmaýar.

Demirgazyk we günorta polýar aýlawlary polýar gündizleriň we gijeleriň (dowamlylygy 24 sagatdan köp bolan gijeler we gündizler) nazary taýdan bolup biljek geografik giňliklerini çäklendirýärler.

Polýar aýlawdan aňyrd a ýerleşen nokat geografik polýusa ýakyn boldugyça, şonça-da köp wagtlaý Gün ýaşmaýar ýa-da dogmaýar. Polýuslara golaýladygymyzça polýar gündiziň we polýar gijäniň dowamlylygy ulalýar.

ç. Demirgazyk tropikde ($\varphi = +23^{\circ}27'$) Gün dogýan we ýaşýan ýagtyltgyçdyr. Günň tomusky durýan günü günortan Gün maksimal beýikligi $h_{\max} = +90^{\circ}$ alýar, ýagny zenitden geçýär. Ýylyň galan günleri Gün günortan zenitden günortada kulminasiýada bolýar. Günň gyşky durýan günü günortan Günň beýikligi minimaldyr we $h_{\min} = +43^{\circ}06'$ deňdir.

Günorta tropikde ($\varphi = -23^{\circ}27'$) hem Gün dogýandyr we ýaşýandyr. Ýöne Gün günortan gözyetimden maksimal beýiklikde ($+90^{\circ}$) gyşky durma günü bolýar, minimal beýiklikde ($+43^{\circ}06'$) bolsa tomusky durma gününde bolýar. Ýylyň galan günleri bolsa Gün günortan zenitden demirgazykda kulminasiýada bolýar.

Polýar aýlawlar bilen tropikleriň aralyklarynda ýerleşen ýerlerde Gün ýylyň hemme günleri dogup ýaşýandyr. Ýarym ýyl gündiziň dowamlylygy gijäniň dowamlylygyndan uludyr, ýarym ýyl bolsa gijäniň dowamlylygy uludyr. Bu ýerde Günň günortanky beýikligi hemişe 90° -dan kiçi (tropiklerden başga) we 0° -dan uludyr (polýar aýlawlardan başga).

Tropikleriň aralygyndaky ýerlerde bir ýylyň dowamynda Gün zenitde iki sapar, ýagny Günň ýapgytlygy geografik giňlige deň bolan günleri bolýar.

d. Ekwatorda ýerleşen gözegçä ($\varphi = 0^{\circ}$) hemme ýagtyltgyçlar, şol sanda Gün hem, dogýan hem ýaşýan bolup görünýärler. Şunlukda olar 12 sagat gözyetimden ýokarda we 12 sagat gözyetimden aşakda bolýar. Diýmek, ekwatorda gündiziň we gijäniň dowamlylygy myda-



ma deňdir. Bir ýylda Gün günortan iki gezek zenitden geçýär (21-nji martda we 23-nji sentýabrda).

21-nji martdan 23-nji sentýabr aralygynda Gün ekwatorda günortan zenitden demirgazykda, 23-nji sentýabrdan 21-nji mart aralygynda zenitden günortada kulminasiýada bolýar. Günün günortanky minimal beýikligi $h_{\min} = 90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$ (22-nji iýunda we 22-nji dekabrdada).

Aýdylanlaryň esasynda ýylylyk guşaklyklarynyň astronomik nyşanlaryny kesgitlemek mümkindir.

1. Sowuk guşaklyklarda ($\varphi = \pm 66^\circ 33'$ -dan $\varphi = \pm 90^\circ$ -a çenli) Gün ýaşmaýan we dogmaýan ýagtyltgyç bolup bilýär. Polýar gündiziň we polýar gijäniň dowamlylygy 24 sagatdan ýarym ýyla çenli bolup bilýär.

2. Aram guşaklyklarda ($\varphi = \pm 23^\circ 27'$ -dan $\varphi = \pm 66^\circ 33'$ -a çenli) Gün her gije-gündiz dogýar we ýaşýar, ýöne hiç haçan zenitde bolmaýar. Gündiziň hem, gijäniň hem dowamlylygy 24 sagatdan gysgadyr. Tomsuna gündiz gijeden dowamlydyr, gysyna bolsa tersinedir.

3. Yssy guşaklykda ($\varphi = +23^\circ 27'$ -dan $\varphi = -23^\circ 27'$ -a çenli) Gün dogýan we ýaşýan ýagtyltgyçdyr hem-de bir ýylyň dowamynda iki gezek günortanyna zenitde bolýandyr (dürli ýerlerinde ýylyň dürli günleri, ekwatorada bolsa ýazky we güýzki gije-gündiz deňleşýän günleri).

§17. Wagt ölçeginiň esaslary

Wagt ölçemek asman sferasynyň gije-gündiz aýlanmasyna we Günün ýylyň dowamyndaky hereketine, ýagny Ýeriň öz okunyň töwereginde aýlanmasyna we Ýeriň Günün töweregindäki aýlawly hereketine gözegçiliklere esaslanandyr.

Ýeriň öz okunyň töwereginde aýlanmasy gözegçiliklerden örän takyk kesgitlenilýän, periody asman sferasynyň aýlanma periodyna deň bolan period bilen deňölçegli bolup geçýändir. Şonuň üçin Ýeriň haýsy hem bolsa bir başlangyç ýagdaýyndan öwrülen burçunyň ululygy boýunça geçen wagt barada netije çykarmak mümkindir. Ýeriň başlangyç ýagdaýy hökmünde gözegçilik edilýän ýeriň Ýer meridianynyň tekizliginiň asmanda bellenen nokatdan geçme pursady,

ýagny bu nokadyň berlen meridianda ýokarky (ýa-da aşaky) kulminasiýa pursady kabul edilýär. Gije-gündiz (gün) diýip atlandyrylýan, wagtyň esasy birliginiň dowamlylygy asmanda saýlanylyp alnan nokada baglydyr. Astronomiýada bu nokatlar hökmünde aşakdaky üç nokat kabul edilendir: a) ýazky gije-gündiz deňleşme nokady; b) Günüň görünýän diskiniň merkezi (hakyky Gün); ç) «ortaça gün» – asmandaky ýerleşşi islendik wagt pursady üçin hasaplap bolýan hyýaly nokat.

Bu üç nokat boýunça kesgitlenilýän üç dürli wagt birligi deňşililikde ýyldyz, hakyky Gün we ortaça Gün gije-gündizi (güni), olar boýunça ölçenilýän wagta bolsa ýyldyz, hakyky Gün we ortaça Gün wagty diýilýär. Wagtyň bu dürli atlandyrmalarynyň hemmesi tebigatda real we obýektiv bolan ýeke-täk wagta deňşilidigini bellemek hökmandyr. Başgaça aýdanymyzda dürli wagt ýokdur, diňe wagtyň dürli ölçeg birlikleri we wagty hasaplamagyň dürli sistemalary bardyr.

Gije-gündiz (gün) we onuň ülüşleri (sagatlar, minutlar we sekuntlar) gysga wagt aralyklary ölçenilende ulanylýandyr. Uly wagt aralyklaryny ölçemek üçin başga ölçeg birligi, ýagny Ýeriň Günüň töwereginde aýlanmagyna esaslanan tropik ýyl ulanylýandyr. Tropik ýyl diýip hakyky Günüň merkeziniň ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan iki yzygider geçmesiniň wagt aralygyna aýdylýar.

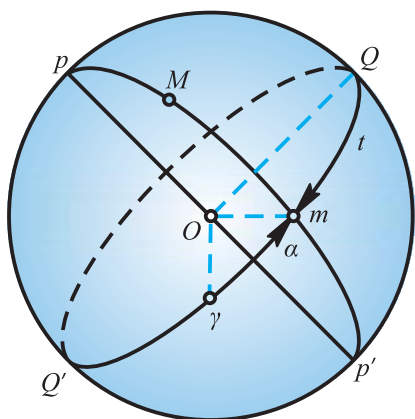
§18. Ýyldyz gije-gündizi. Ýyldyz wagty

Ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň şol bir geografik giňlikde iki yzygider birmeňzeş kulminasiýalarynyň wagt aralygyna ýyldyz gije-gündizi diýilýär. Berlen geografik meridianda ýyldyz gije-gündiziniň başlangyjy diýip ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň ýokarky kulminasiýa pursady kabul edilýär.

Ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň ýokarky kulminasiýa nokadyndan islendik başga yagdaýyna çenli geçen, ýyldyz gije-gündiziniň ülüşlerinde (ýyldyz sagatlarynda, minutlarynda we sekuntlarynda) aňladylan wagta ýyldyz wagty diýilýär we s bilen belgilenýär.

Ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň ýokarky kulminasiýa pursadyndan haýsy hem bolsa bir pursada çenli aýlananda öwrülen





12-nji surat. Ýyldyz wagtynyň ýagtyltgyçlaryň α we t koordinata ululyklary bilen baglanyşygy

meridiandan geçme pursadyny duýup bolmaýar. Şonuň üçin ýyldyz gije-gündiziniň başlangyjyny ýa-da ýyldyz wagtyny kesgitlemek üçin göni ýokary görterilmesi α belli bolan M ýagtyltgyjyň haýsy hem bolsa bir wagt pursadynda sagat burçuny ölçemek (kesgitlemek) ýeterlikdir (12-nji surat). Onda $t = Qm$, $\alpha = \gamma m$ bolany üçin, ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň sagat burçy $t_\gamma = Q\gamma$ kesgitleme boýunça s ýyldyz wagtyna deň, onda

$$s = t_\gamma = \alpha + t. \quad (1.15)$$

Ýyldyz wagty islendik wagt pursadynda haýsy hem bolsa bir ýagtyltgyjyň göni ýokary görterilmesiniň üstüne onuň sagat burçunyň goşulmagyna deňdir.

Ýagtyltgyjyň ýokarky kulminasiýa pursadynda onuň sagat burçy $t = 0$, onda

$$s = \alpha. \quad (1.16)$$

Ýagtyltgyjyň aşaky kulminasiýa pursadynda onuň sagat burçy $t = 12^h$, ýyldyz wagty

$$s = \alpha + 12^h. \quad (1.17)$$

Wagty ýyldyz gije-gündizlerde we onuň ülüşlerinde ölçemek iň ýönekeýdir we astronomik meseleler çözüleni ulanmak üçin amatlydyr. Ýöne gündelik durmuşda ýyldyz wagtyndan peýdalan-

burçy ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň şol pursatdaky sagat burçuna deňdir. Diýmek, berlen meridianda islendik pursatda ýyldyz wagty s ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň sagat ölçeglerinde aňladylan sagat burçuna san taýdan deňdir, ýagny

$$s = t_\gamma. \quad (1.14)$$

Ýazky gije-gündiz deňleşme nokady asmanda hiç-hili bellenen däl. Göş-göni onuň sagat burçuny ölçäp ýa-da onuň

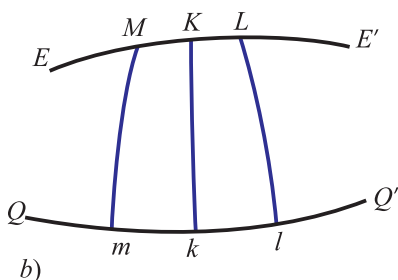
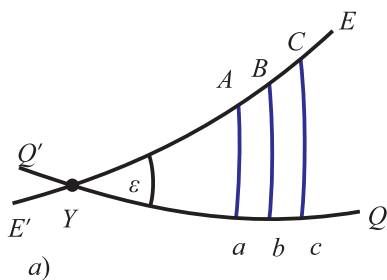
mak amatsyzdyr. Adamlaryň gündelik durmuşy ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň ýerleşen ýagdaýy bilen bagly bolman, Günüň dogup-ýaşmasy, gözýetimden ýokarda ýerleşşi, kulminasiýada bolmasy bilen baglydyr. Ýylyň dowamynda Günüň we ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň özara ýerleşişleri üznüksiz üýtgeýärler. Mysal üçin, Günüň ýokarky kulminasiýasy (günortan) ýylyň dürli günleri ýyldyz gije-gündiziniň dürli pursatlarynda bolýandyr. Hakykatdan-da, ýylyň dowamynda bir sapar, Gün ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan geçende, haçan-da onuň göni ýokary göterilmesi $\alpha = 0^\circ$ bolanda, Gün ýazky gije-gündiz deňleşme nokady bilen bilelikde, ýyldyz wagty boýunça 0^h , günortan kulminasiýada bolar. Bir ýyldyz gije-gündizi geçenden soň ýazky gije-gündiz deňleşme nokady ýene-de ýokarky kulminasiýada bolar, Gün bolsa meridiana, ýagny ýokarky kulminasiýa nokadyna 4 minutdan soň geler. Sebäbi bir ýyldyz gije-gündiziniň dowamynda Gün ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna görä gündogara 1° töweregi süýşýär we onuň göni ýokary göterilmesi $\alpha \approx 0^h 4^m$ bolar. Ýene bir ýyldyz gije-gündizi geçenden soň Günüň göni ýokary göterilmesi ýene 4^m artar, ýagny günortan ýyldyz wagty boýunça takmynan $0^h 8^m$ bolar. Şeýlelikde, Günüň kulminasiýada bolmagynyň ýyldyz wagty üznüksiz artýar we günortan ýyldyz gije-gündiziniň dürli pursatlarynda bolar. Ýyldyz wagtynyň amatsyzlygy aýdyňdyr.

§19. Hakyky Gün gije-gündizi. Hakyky Gün wagty

Günüň, has takygy Gün diskiniň merkeziniň şol bir geografik meridianda iki zygider birmeňzeş kulminasiýalarynyň wagt aralygyna hakyky Gün gije-gündizi diýilýär. Günüň aşaky kulminasiýa pursady (hakyky ýarygije) berlen meridianda hakyky Gün gije-gündiziniň başlangyjy diýip kabul edilendir.

Günüň aşaky kulminasiýa pursadyndan islendik başga bir ýagdaýyna çenli geçen, hakyky Gün gije-gündiziniň ülüşlerinde aňladylan (hakyky Gün sagatlarynda, minutlarynda we sekuntlarynda) wagta hakyky Gün wagty diýilýär we T_θ bilen belgilenýär.





13-nji surat. Hakyky Gün gije-gündizleriň ululyklarynyň deňölçeşsizligi

Berlen meridianda islendik pursatda hakyky Gün wagty T_{θ} Günüň sagat ölçeglerinde aňladylan sagat burçuna 12^h goşulmagyna deňdir, ýagny

$$T_{\theta} = t_{\theta} + 12^h. \quad (1.18)$$

Gün gözýetimden ýokarda ýerleşende we bulutlar önüni ýapmadyk wagty onuň sagat burçuny mydama gös-göni ölçäp kesgitlemek mümkindir. Günüň ýokarky kulminasiýa pursadynda (hakyky günortan) onuň sagat burçy $T_{\theta} = 0^h$ deňdir. Diýmek, günortan hakyky Gün wagty mydama 12 sagada deňdir.

Wagty hakyky Gün wagty boýunça ölçemek ýönekeýdir, ýöne gündelik durmuşda hakyky Gün wagtyny peýdalanmak, edil ýyldyz wagty ýaly amatsyzdyr. Sebäbi hakyky Gün gije-gündiziniň dowamlylygy hemişelik ululyk däl. Günüň ýokarky (aşaky) kulminasiýa pursadynyň ýyldyz wagtyna görä gijä galmasy ýylyň dürli günleri dürli. Diýmek, Gün gije-gündiziniň dowamlylygy hem dürli-dürlüdür. Günüň göni ýokary görterilmesiniň gündelik artmasy hemişelik ululyk bolan bolsa, onda hakyky Gün gije-gündiziň dowamlylygy hemişelik bolardy. Hakyky Gün gije-gündiziniň dowamlylygynyň üýtgemesiniň iki sebäbi bardyr:

- 1) Gün asman ekwatory boýunça hereket edýän däl. Ol asman ekwatoryna ýapgytlygy $\varepsilon = 23^{\circ}27'$ bolan ekliptika boýunça hereket edýändir.
- 2) Günüň ekliptika boýunça hereketi deňölçeşsizdir.

Eger-de Gün ekliptika boýunça deňölçeşli hereket edip, ýagny onuň uzaklygynyň gije-gündiziň dowamynda artmasy $\Delta\lambda$ hemişe

birmeñžeş bolaýanda-da, Günün ekwator boýunça hereket etmeýänligi sebäpli, hakyky Gün gije-gündiziniň dowamlylygy hemişelik bolmaz. Hakykatdan hem, EE' ekliptikanyň gije-gündiz deňleşme nokatlarynyň ýakynyndaky $AB = BC = \Delta\lambda$ deň dugalarynyň asman ekwatoryna QQ' bolan proyeksiýalary ekliptikanyň degişli kesimlerinden kiçi $\Delta\alpha < \Delta\lambda$ bolan, Günün göni ýokary göterilmesiniň $\Delta\alpha$ artmasyny berýär (13-a surat, *ab, bc*).

Günün durma nokatlarynyň ýakynynda bolsa tersligine, sagat aýlawlarynyň polýuslardan daşlaşdyklaryça olaryň aralarynyň açylýandygy sebäpli, Günün göni ýokary göterilmesiniň $\Delta\lambda$ artmasy (13-nji *b* surat, *mk, kl*) ekliptikanyň $MK = KL = \Delta\lambda$ kesimlerinden uludyr. Şeýlelikde bu ýerde $\Delta\alpha > \Delta\lambda$.

Bu iki sebäpleriň täsirleri netijesinde hakyky Gün gije-gündizi 22-nji dekabrdan 23-nji sentýabrdakydan 50–51 sekunt dowamlydyr. Hakyky Gün gije-gündizleriniň dowamlylygynyň üýtgäp durmagy ony gündelik durmuşda wagt hasaplamak üçin ulanmaga amatsyz edýär.

§20. Ortaça Gün gije-gündizi.

Ortaça Gün wagty

Dowamlylygy üýtgemeyän, hemişelik bolan, şol bir wagtyň özünde Günün hereketi bilen baglanyşykly bolan gije-gündiz almak üçin astronomiýada iki sany hyýaly nokat-orta ekliptik we orta ekwatorial Gün diýen düşüňjeler girizilýär. Orta ekliptik Gün ekliptika boýunça Günün orta tizligi bilen deňölçegli hereket edýär we onuň bilen 3-nji ýanwarda we 4-nji iýulda gabat gelýär.

Orta ekwatorial Gün asman ekwatory boýunça orta ekliptik Günün hemişelik tizligi bilen deňölçegli hereket edýär we onuň bilen bir wagtda ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan geçýär.

Diýmek, islendik wagt pursady orta ekwatorial Günün göni ýokary göterilmesi orta ekliptik Günün uzaklygyna deňdir. Olaryň göni ýokary göterilmeleri bir ýylyň dowamynda diňe dört sapa, ýagny olaryň gije-gündiz deňleşme nokatlaryndan geçýän pursatlarynda we orta ekliptik Günün durma nokatlaryndan geçýän pursatlarynda birmeñžeş bolýandyrlar.

Göni ýokary görterilmesiniň gündelik artmalary $\Delta\alpha$ birmeňzeş bolan orta ekwatorial Gün diýen düşünjäniň girizilmegi bilen Gün gije-gündiziniň dowamlylygynyň üýtgemeleri we hakyky Gün wagtynyň deňölçegsizligi aýrylýar. Orta ekwatorial Günüň şol bir geografik meridianda iki yzygider birmeňzeş kulminasiýalarynyň wagty aralygyna orta Gün gije-gündizi ýa-da ýöne orta gije-gündiz diýilýär. Orta ekwatorial Günüň kesgitlemesine görä orta Gün gije-gündiziniň dowamlylygy hakyky Gün gije-gündiziniň bir ýyldaky dowamlylyklarynyň orta bahasyna deňligi gelip çykýar.

Orta ekwatorial Günüň aşaky kulminasiýa pursady (orta ýary gije) berlen meridianda orta Gün gije-gündiziniň başlangyjy diýip kabul edilendir. Orta ekwatorial Günüň aşaky kulminasiýa pursadyndan islendik başga bir ýagdaýyna çenli geçen, orta Gün gije-gündiziniň ülüşlerinde aňladylan (orta Gün sagatlarynda, minutlarynda we sekuntlarynda) wagta orta Gün wagty ýa-da ýöne orta wagty diýilýär we T_m bilen belgilenýär.

Berlen meridianda islendik wagty pursadynda orta wagty T_m orta ekwatorial Günüň sagat ölçeglerinde aňladylan t_m sagat burçuna 12^h goşulmagyna deňdir, ýagny:

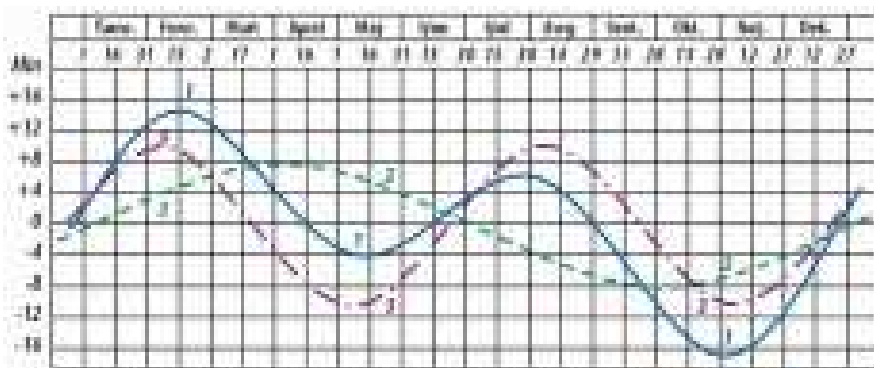
$$T_m = t_m + 12^h. \quad (1.19)$$

Orta ekwatorial Gün asmanda hiç hili bellenen däldir. Şol sebäpli onuň sagat burçuny ölçemek mümkin däldir. Orta Gün wagty gözegçiliklerden kesgitlenen hakyky Gün wagty ýa-da ýyldyz wagty boýunça hasaplamalaryň üsti bilen alynýar.

1925-nji ýyla çenli astronomik gözegçiliklerde orta gije-gündiziň başlangyjy diýip orta Günüň ýokarky kulminasiýa pursady hasaplanylýardy. Şol sebäpli «astronomik» we «raýat» orta wagtlary tapawutlandyrylýardy. 1925-nji ýyldan astronomlar hem orta wagty ýarygijeden hasaplap başladylar, «astronomik wagty» we «raýat wagty» diýen bölünişiğiň zerurlygy aradan aýryldy.

§21. Wagty deňlemesi

Orta wagty bilen hakyky Gün wagtynyň şol bir pursatdaky bahalarynyň aralygyndaky tapawuda wagty deňlemesi diýilýär we η bilen belgilenýär.



14-nji surat. Wagt deňlemesiniň çyzgysy.

1 – wagt deňlemesi, 2 – merkeziň deňlemesi,
3 – ekliptikanyň ýapgytlygynyň deňlemesi

$$\eta = T_m - T_\theta = t_m - t_\theta = \alpha_\theta - \alpha_m. \quad (1.20)$$

Soňky gatnaşykdan alarys:

$$T_m = T_\theta + \eta, \quad (1.21)$$

ýagny, islendik pursatda orta Gün wagty hakyky Gün wagtyň üstüne wagt deňlemesiniň goşulmagyna deňdir.

Şeýlelikde, Günüň t_θ sagat burçuny ölçäp, (1.18) aňlatmadan hakyky Gün wagty kesgitlenilýär we şol pursat üçin wagt deňlemesini bilip, (1.21) aňlatmadan orta Gün wagty tapylýär:

$$T_m = t_\theta + 12^h + \eta.$$

Orta ekwatorial Gün meridiandan hakyky Günden kä öň kä soň geçýär. Şol sebäpli olaryň sagat burçlarynyň tapawudy (wagt deňlemesi) položitel hem, otrisatel hem bolup bilýär.

Wagt deňlemesi we onuň ýylyň dowamyndaky üýtgemesi 14-nji suratda bütewi çyzyk bilen görkezilen. Bu egri bir ýyl we ýarym ýyl periodlary bolan iki sany sinusoidalaryň jemidir. Bir ýyl periody bolan sinusoida (2 çyzyk) Günüň ekliptika boýunça deňölçegsiz hereketiniň netijesi bolan hakyky wagt bilen orta wagtyň tapawudyny berýär. Wagt deňlemesiniň bu bölegine merkeziň deňlemesi ýa-da ekssentrisitetiň deňlemesi diýilýär. Ýarym ýyl periodly sinusoida (3 çyzyk) ekliptikanyň asman ekwatoryna ýapgytlygy sebäpli ýüze çykýan wagtlaryň tapawudyny görkezýär we oňa ekliptikanyň ýapgytlygynyň deňlemesi diýilýär.

Wagt deňlemesi 15-nji aprel, 14-nji iýun, 1-nji sentýabr we 24-nji dekabr töwereginde nola öwrülýär we bir ýylyň dowamynda dört gezek ýokary (ekstremal) bahalary alýar. Olardan 11-nji fewral töweregi ($\eta = +14^m$) we 2-nji noýabr töweregi ($\eta = -16^m$) bellemek bolar. Wagat deňlemesini islendik pursat üçin hasaplamak mümkindir. Wagat deňlemesi Grinwiç meridianynda her bir orta ýary gije üçin astronomik kalendarlarda çap edilýändir. Ýöne olaryň käbirlerinde wagat deňlemesi hakyky wagtdan orta wagat aýrylan görnüşde ($\eta = T_{\odot} - T_m$) berilýär we şol sebäpli alamaty garşylyklydyr.

§22. Wagat hasaplamagyň sistemalary

1. Ýerli wagat we uzaklyk.

Berlen geografik meridianda ölçenen wagta şol meridianyň ýerli wagty diýilýär. Şol bir geografik meridianda degişli hemme ýerlerde islendik pursatda ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň (ýa-da Günüň, ýa-da orta Günüň) sagat burçy deňdir. Şonuň üçin bütün geografik meridianda şol bir pursatda ýerli (ýyldyz we Gün) wagat birmeňzeşdir.

Eger Ýer üstüniň iki nokadynyň geografik uzaklyklarynyň tapawudy $\Delta\lambda$ bolsa, onda islendik ýagtyltgyjyň has gündogarda ýerleşen ýagdaýyndaky sagat burçy şol ýagtyltgyjyň günbatarda ýerleşen ýagdaýyndaky sagat burçundan $\Delta\lambda$ uly bolar. Şonuň üçin iki sany geografik meridianyň şol bir fiziki pursatda islendik ýerli wagtlarynyň tapawudy şol meridianlaryň sagat ölçeglerinde aňladylan uzaklyklarynyň tapawudyna deňdir.

$$\left. \begin{aligned} S_1 - S_2 &= \lambda_1 - \lambda_2 \\ T_{\odot 1} - T_{\odot 2} &= \lambda_1 - \lambda_2 \\ T_{m1} - T_{m2} &= \lambda_1 - \lambda_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.26)$$

Astronomik gözegçiliklerden gözegçilik geçirilýän meridianyň ýerli wagty alynýar.

2. Bütindünýä wagty.

Grinwiç meridianynyň (nolunjy meridianyň) ýerli orta Gün wagtyna bütindünýä wagty diýilýär we T_0 bilen belgilenýär.

$T_{m2} = T_0$ we $\lambda_2 = 0$, $T_{m1} = T_m$ we $\lambda_1 = \lambda$ diýip, (1.26) aňlatmadan alarys:

$$T_m = T_0 + \lambda. \quad (1.27)$$

Ýer üstüniň islendik nokadynyň ýerli orta wagty mydama bütindünýä wagtyna, Grinwiçden gündogarlygyna položitel hasaplanylýan we sagat ölçeglerinde aňladylan, berlen nokadyň uzaklygynyň goşulmagyna deňdir.

Astronomik kalendarlarda köp hadysalaryň pursady T_0 bütindünýä wagtynda berilýär. Bu hadysalaryň pursatlaryny T_m ýerli wagtda (1.27) aňlatmadan hasaplanýar.

3. Guşaklyk wagty.

Gündelik durmuşda ýerli orta Gün wagty, şeýle hem bütindünýä wagty ulanmak amatsyzdyr. Ýerli orta Gün wagty ulanmagyň amatsyzlygynyň sebäbi wagt hasaplamagyň ýerli sistemalarynyň sanyz köplügidir, ýagny geografik meridianlaryň sanyna deňdir. Şonuň üçin ýerli wagtda bellenen wakalaryň we hadysalaryň yzygiderligini kesgitlemek üçin, bu wakalaryň we hadysalaryň bolup geçen pursatlaryndan başga-da meridianlarynyň uzaklyklarynyň tapawudyny bilmek zerurdyr.

Bütindünýä wagtynda bellenen wakalaryň we hadysalaryň yzygiderligini kesgitlemek ýeňildir. Ýöne bütindünýä wagty bilen Grinwiç meridianyndan has uzakda ýerleşen meridianlaryň ýerli wagtlarynyň uly aratapawudy bütindünýä wagtynyň gündelik durmuşda ulanylmagyny çylşyrymlaşdyrýar.

1884-nji ýylda orta wagt hasaplamagyň guşaklyk sistemasy teklipl edilýär. Bu sistema boýunça wagt hasaplamak biri-birinden uzaklygy 15° (ýa-da 1h) bolan, diňe 24 sany esasy geografik, ýagny sagat guşaklygynyň merkezinden geçýän, meridianlar boýunça ýöredilýär. Sagat guşaklygy diýip, esasy meridianlardan takmynan $7^\circ,5$ uzaklykda ýerleşen, demirgazyk polýusdan başlap günorta polýusa çenli geçýän çyzyklar bilen Ýer üstüniň şertli bölünen meýdançalaryna aýdylýar. Bu çyzyklar ýa-da sagat guşaklyklarynyň araçäkleri diňe okeanlarda, deňizlerde we ilatsyz ýerlerde takyk geografik meridianlar boýunça geçýändir. Galan ýagdaýlarda sagat guşaklyklarynyň araçäkleri döwlet, administratiw-hojalyk, geografik serhetler boýunça, degişli meridianlardan eýläk ýa-da beýläk süýşüp geçýändir. Sagat guşaklyklary 0-dan 23-e çenli sanlar bilen belgilenendir. Grinwiç me-

ridiany nolonjy sagat guşaklygynyň esasy meridianydyr. Birinji sagat guşaklygynyň esasy meridiany Grinwiç meridianyndan 15° gündogardan, ikinji – 30° , üçünji – 45° we ş.m. 23-nji sagat guşaklygynyň esasy meridianynyň uzaklygy 345° -a deňdir (günbatar uzaklygy 15°).

Islendik sagat guşaklygynyň esasy meridianynyň ýerli orta Gün wagtyna guşaklyk wagty diýilýär we T_n bilen belgilenýär. Şol guşaklygyň çäginde ýerleşen hemme ýerlerde wagt hasaplamak guşaklyk wagty boýunça ýöredilýär.

Islendik nokadyň ýerli wagty T_m orta wagt bilen T_n guşaklyk wagtyň tapawudy (1.26) aňlatmanyň soňky deňlemesine deňdir:

$$T_m - T_n = \lambda - n^h. \quad (1.28)$$

Bu ýerde λ -nokadyň Grinwiçden gündogar uzaklygy, n^h – nokadyň ýerleşen sagat guşaklygynyň belgilenen sanyna deň bolan bitin sagatlaryň sany (sagat guşaklygynyň esasy meridianynyň uzaklygy). Sagat guşaklyklarynyň araçäkleriniň esasy meridianlardan takmynan $7^\circ,5$ uzaklykda ýerleşýändikleri üçin ($T_m - T_n$) tapawut $\pm 30^m$ töweregi bolup biler we diňe sagat guşaklyklarynyň araçäklerine ýakyn ýerler üçin biraz uly bolmagy mümkin.

Berlen n guşaklygyň guşaklyk wagty bilen bütindünýä wagtyň arabaglanyşygy:

$$T_n = T_0 + n^h. \quad (1.29)$$

Dürli nokatlaryň guşaklyk wagtlarynyň tapawudy, ýerleşen sagat guşaklyklarynyň belgilenen sanlarynyň tapawudyna deň bolan bitin sagada deňdir.

4. Dekret wagty.

Edara-kärhanalary we ýaşayyş jaýlaryny ýagtylandyrmak üçin harçlanýan elektrik energiýasyny has tygşytly paýlamak, tomus aýlary gündiziň ýagty wagtyň doly peýdalanmak maksady bilen köp döwletlerde guşaklyk wagtyň üstüne bir sagat goşulýar, ýagny guşaklyk wagty boýunça işleýän sagatlaryň dilini 1 sagat öňe süýşürýärler.

Wagty süýşürmek ýörite görkezme boýunça amala aşyrylýar. Öňki SSSR döwletiniň hökümetiniň 1930-njy ýylyň 16-njy iýunyndaky karary (dekreti) bilen ýurduň ähli sagat guşaklyklarynda sagat

dili guşaklyk wagtyndan 1 sagat öňe süýşürildi. Bu wagt dekret wagty diýip atlandyryldy. Islendik ýer üçin T_d dekret wagtyňyň, T_n guşaklyk wagtyňyň we T_0 bütindünýä wagtyňyň aralarynda baglanyşyk bardyr:

$$\left. \begin{aligned} T_d &= T_n + 1^h \\ T_d &= T_0 + n^h + 1^h \\ T_d &= T_m - \lambda^h + n^h + 1^h \end{aligned} \right\}. \quad (1.30)$$

Angliýa 1967-nji ýylda dekret wagtyna geçendir, ýagny nolunjy sagat guşaklygynyda ýerleşýändigine garamazdan, birinji sagat guşaklygynyň wagtyna geçendir. Bu wagta Angliýada London wagty diýilýär we ol Grinwiç (bütindünýä) wagtyndan 1 sagat öňdedir.

Gündelik durmuşda dekret ýa-da guşaklyk wagtyna köplenç «ýerli» wagt diýilýär we ony astronomiýada ulanylýan ýerli wagt diýen düşünje bilen bulaşdyrmaly däldir.

§23. Kalendar

Uzak wagt aralyklaryny hasaplamak üçin niýetlenen sistema kalendar diýilýär. Adamzadyň köp asyrylyk taryhynda kalendarlaryň köp dürli görnüşleri düzüldi we ulanylandy. Muňa garamazdan, hemme kalendarlary üç görnüşe bölmek mümkindir: Gün, Aý we aý-gün kalendarlary. Gün senenamasy tropik ýylyň dowamlylygyna, Aý senenamasy sinodik aýyň dowamlylygyna, aý-gün senenamasy bolsa bu hadysalaryň ikisiniň hem periodlaryna esaslanandyr.

Döwletleriň köpüsi tarapyndan kabul edilen häzirki kalendar gün senenamasydyr.

Gün kalendarynyň, öň belleýşimiz ýaly, esasy ölçeg birligi bolup tropik ýyl kesgitlenendir. Tropik ýylyň dowamlylygy orta Gün gije-gündizlerinde 365,2422, ýa-da 365 gije-gündiz 5 sagat 48 minut 46 sekunda ($365^d \ 5^h \ 48^m \ 46^s$) deňdir. Gün kalendary düzülide iki şertiň ýerine ýetirilmegi hökmanydyr:

- 1) kalendar ýylynyň birnäçe ýyl üçin alnan orta dowamlylygy mümkin boldugyça tropik ýylyň dowamlylygyna ýakyn bolmalydyr;
- 2) kalendar ýyly özünde gije-gündizleriň bitin sanyny saklamalydyr. Eger bu şert ýerine ýetmese ýylyň başy gije-gün-



diziň dürli wagtlaryna (irdene, gündize, agşama we ş.m.) gabat geler.

Ýulian senenamasy (köne usul).

Aleksandriýaly astronom Sozigen tarapyndan işlenip düzülen we Ýuliý Sezar tarapyndan biziň eýýamymyzdan öň 46-njy ýylda durmuşa girizilen kalendar bu şertler aşaky ýönekey düzgüni ýerine ýetirmek bilen saklanylýar:

kalendar ýylynyň dowamlylygy yzygider üç ýyl 365 orta Gün gije-gündizine deň, her dördünji ýyl bolsa 366 gije-gündizden ybarat diýip kabul edilýär.

365 gije-gündizli ýyllara ýönekey ýyllar, 366 gije-gündizli ýyllara bolsa uzyn ýyllar diýilýär. Ýulian senenamasyn-da tertip belgisi galyndysyz 4-e bölünýän ýyllar uzyn ýyllardyr. Uzyn ýyllarda fewralda 29 gije-gündiz, ýönekey ýyllarda bolsa 28 gije-gündiz bardyr.

Şeýlelikde, 4 ýylyň dowamynda seredenimizde Ýulian kalendarynyň 1 ýylynyň dowamlylygy 365,25 orta Gün gije-gündizine deňdir, ýagny kalendar ýyl tropik ýyldan bary-ýogy 0,0075 gije-gündiz uzakdyr.

Ýulian senenamasy boýunça ýyl hasaby ýöredilende 128 ýylda 1 gije-gündiz tapawut döreýär, 400 ýylda bolsa 3 gije-gündiz töweregi tapawutlanýar. Diýmek, ýazky gije-gündiz deňleşme güni Ýulian senenamasy boýunça 400 ýylda üç gije-gündiz öňe süýşer. Bu tapawudyň gündelik durmuşa kän bir täsiri bolmanlygy sebäpli, Ýulian senenamasy on alty asyryň dowamynda ulanylypdyr.

Grigorian senenamasy (täze usul).

Bu kalendar 1582-nji ýylda Rim papasy Grigoriý XIII tarapyndan Ýulian kalendaryna dini nukdaý-nazardan girizilen kämilleşdirmeler netijesinde döredilýär.

Ýokarda belleni lip geçilen Ýulian kalendar bilen tropik ýylyň arasyndaky ýüze çykýan tapawut buthana ýyl hasabynyň ýöredilişi üçin amatsyzlyklary ýüze çykarýar. Hristian buthanasynyň düzgünleri boýunça pasha baýramçylygy ýazky gije-gündiz deňleşmesinden soň, doly Aýdan soňky birinji ýekşenbede belleni l ýär. Biziň eýýamymyzyň 325-nji ýylynda bu düzgün kabul edilende ýazky gije-gündiz deňleşme güni 21-nji marta düşüpdir. 1582-nji ýylda, ýagny 1257 ýyldan soň, ýazky gije-gündiz 11-nji marta düşýär. Şonuň üçin

senenama italiýaly matematik we lukman L.Lillio tarapyndan teklipe edilen taslama boýunça kämilleşdirilýär. Özgertme şu bölümlerden ybaratdyr:

- 1) 1582-nji ýylyň 4-nji oktyabryndan soň 5-nji oktyabr hasaplanan, 15-nji oktyabr hasaplamaly;
- 2) geljekde ýüzýyllyklar çalşanda, asyrlary (ýüzýyllyklary) görkezýän san 4-e galyndysyz bölünmese, şol ýyly uzyn ýyl hasaplamaly däl (mysal üçin, 1700, 1800, 1900, 2100 we ş.m.).

Özgertmeleriň birinji bölümi Ýulian kalendar bilen tropik ýyl hasabynyň aratapawudy bolan 10 gije-gündizi aradan aýyrýar we soňky ýylda ýazky gije-gündiz deňleşme güni 21-nji marta düşýär.

Ikinji bölümi bolsa kalendar ýylynyň 400 ýylda ortaça dowamlylygyny 365,2425 orta Gün gije-gündizine deňleýär. Şeýlelik bilen, kalendar ýyly tropik ýyldan bary-ýogy 0,0003 gije-gündize uzak bolýar, ýagny 3300 ýylda tapawut 1 gije-gündize deň bolýar. Şol sebäpli Grigorian kalendaryny bu ugurda kämilleşdirmegiň zerurlygy yokdur.

Grigorian kalendarý günbatar döwletleriň köpüsinde XVI–XVII asyrlarda ulanylyp başlanandyr.

Hijri-kamary senenamasy. Sagadyň oýlanyp tapylmadyk döwürleri Aýyň Ýeriň töwereginde Güne görä hereketine esaslanyp ýöredilýän senenama has amatly bolupdyr. Şol döwürde Aýa seredip, aý-gün hasabyny ýöredipdirler. VII asyrdan başlap Aý senenamasy musulman ýurtlarynda peýdalanylyp, musulman döp-dessurlary berjaý edilip gelinýär. Aýyň Güne görä Ýeriň töwereginde edýän hereketi boýunça ýöredilýän senenama hijri-kamary kalendarý diýilýär. Bu hasap Muhammet pygamberiň we onuň döreden yslam dinine uýan adamlaryň yzylanmadan gaçyp, Mekgeden Medinä göçüp giden döwründen, ýagny biziň eýýamymyzyň 622-nji ýylynyň iýul aýynyň 16-syndan ýöredilýär.

Ylmy düşüňjä laýyklykda hasap Aýyň we Günüň merkezleriniň meridiaňa görä deňleşen pursadyndan başlanýar. Bu senenama boýunça Aý sag tarapdan golaýlaşyp, Günüň yzyndan ýeten pursadyndan köne aý tamamlanyp, täze aý hasaby başlaýar. Ata-babalarymyz hasaby Aýyň ilkaşamdan Gün ýaşan soň günbatarda görnüp başlan pursadyndan ýöredipdirler. Haçan-da täze Aý Gün ýaşandan soň



görünse, şol aňşamy we ertir gündizi aýyň biri hasaplanylýar. Şonuň üçin türkmenlerde: «Görüp ýap-da, görüp aç» diýen ýörgünli sözler bar. Haçan-da täze Aý ýaşmanka, gündogardaky şapak sönse, onda şol aňşam aýyň biri däl-de, ikisi diýlip hasap edilýär.

Hijri-kamary hasabyndaky aýlaryň atlary şeýledir:

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. Aşyr aýy. Ýylyň başy. | 7. Rejep aýy. |
| 2. Sapar aýy. | 8. Meret aýy. |
| 3. Dört tirkeşikleriň 1-nji aýy. | 9. Oraz aýy. |
| 4. Dört tirkeşikleriň 2-nji aýy. | 10. Baýram aýy. |
| 5. Dört tirkeşikleriň 3-nji aýy. | 11. Boş aý. |
| 6. Dört tirkeşikleriň 4-nji aýy. | 12. Gurban aýy |

Ulugbek hijri-kamary senenamasyny iňňän takyk kesgitlemek usulyny döredipdir.

Türkmenlerde milady hasabyna görä ýöredilýän 12 ýyldan ybarat bolan müçe hasaby hem bardyr. Bu hasap, esasan, adamyň ýaşy kesgitlenende ulanylýar. Müçe ýyllary haýwan atlaryndan durýandyr we ol hasabyň milady ýyl hasabyna bolan gatnaşyklary 1-nji tablisada görkezilýär.

1-nji tablisa

Müçe hasabynyň milady senesine bolan gatnaşygy

Syçan	Sygyr	Bars	Towşan	Luw	Ýylan	Ýylky	Goýun (Koý)	Bijin (Maýmyn)	Takyk (Towuk)	It	Doňuz
											1983
1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
2032											

1-nji tablisadaky hasaby täze öýjükler çyzyp, gerekli senä çenli öňe we yza dowam etdirmek bolar.

Hijri-şemsi senenamasy. Hijri-şemsi hasaby hem Günň ortaça hereketine görä ýöredilýän milady hasaby senenamasydyr. Diňe

şol hasap Muhammet pygamberiň Mekgeden Medinä göçen ýylyna, ýagny 622-nji ýyla görä ýöredilýär. Hijri-şemsi hasabynda täze ýyl martyň 21-inden başlanýar.

Kalendar ýylynyň başlangyjy (Täze ýyl) şertli düşünjedir. Geçmişde käbir döwletlerde Täze ýyl 25-nji martda, 25-nji dekabrdä we başga dürli günlerde başlanan wagtlary bolupdyr. Mysal üçin, Russiýada XV asyra çenli ýylyň birinji günü diýip 1-nji marty, XV asyrdan 1700-nji ýyla çenli 1-nji sentýabry hasaplapdyrlar. Diňe wagtyň geçmegi bilen ýuwaş-yuwaşdan, köp ýurtlarda biziň eýýamymyzdan öň 46-njy ýylda Ýulian kalendarý girizilendäki ýaly, kalendar ýylyň başlangyjy diýip 1-nji ýanwar hasaplanyp başlapdyr.

Ýyl hasabynyň başlangyjynyň (eralaryň başlangyjy) saýlanyp alnyşy hem şertlidir. Geçmişde real wakalar bilen ýa-da taryhy, esasan hem dini wakalar bilen bagly bolan 200-e golaý dürli eýýamlar (eralar) bolup geçipdir.

Ýulian günleri. Astronomiýada öňki bolup geçen wakanyň senesiniň soňky bolup geçen wakanyň senesinden aýrylmagy netijesinde bu iki wakanyň aralygy kesgitlenilýär. Bu tapawut alnanda uzak we gysga dowamly ýyllar hasaba alynmalydyr. Eger şeýle edilmese, onda hasaba nätakyklygyň goşulmagy ähtimaldyr. Şonuň üçin astronomiýada bolup geçýän hadysalary ýulian günü boýunça ýöredýärler. Bu hasap biziň eýýamymyzdan öňki 4713-nji ýylyň 1-nji ýanwaryndan başlanýar we şol döwürden başlap, diňe gün hasaby ýöredilýär. Ýulian günlerinde hasap grinwiçiň orta günü boýunça, adaty senenamadaky ýaly ýary gijeden däl-de, Günüň ýokarky kulminasiýasyndan ýöredilýär. Ýulian günleri barada maglumatlar ýörite kalendarlarda ýa-da ýörite tablisalarda çap edilýär. Tütkenistanyň garaşsyzlygy alan günü, ýagny 1991-nji ýylyň 27-nji oktyabry ýulian günleriniň 2 448 557-nji günine gabat gelýär.

Ýulian günleri Skaligeriň 16-njy asyrdä hödürlän teklibi boýunça girizilýär. Ýulian günlerinde hasap üç kiçi hadysanyň uly döwre görä, ýagny 7980 ýyla görä gaýtalanmagy boýunça, ýagny:

1. hepdäniň günleriniň 28 ýyldan gaýtalanmagy;
2. 19 ýyllyk meton aýlawynyň, ýagny Aýyň çärýekleriniň şol bir senelere gabat gelip, gaýtalanýan döwürüne;



3. Rim salgyt sistemasynda ulanylan 15 ýyllyk möhlete görä ýöredilýär.

Skaliger şol döwürde ýöredilýän bu üç hadysasynyň umumy başlangyç nokadynyň biziň eýýamymyzdan öňki 4713-nji ýylyň 1-nji ýanwaryna düşýändigini bilip, şol senäni hasap başy edipdir. Ol bu senenama kakasy Ýuliýniň adyny dakypdyr, şonuň üçin oňa ýulian günleri diýilýär.

Senäniň üýtgeýän çyzygy. Senenamalar ýöredilende hasabyň täze senesiniň üýtgeýän çägi we senäniň sany ylalaşylýar. Halkara ylalaşyklaryna görä senäniň üýtgeýän çyzygy diýlip, Grinwiç meridianyndan 180° uzakda ýerleşýän meridiaňa kabul edilýär. Bu meridiaňa demarkasion çyzyk diýilýär. Ol çyzykdan günbatar tarapda hasap gündogar tarapa garanda bir gün öňde gidýär. Şonuň üçin bu çyzygy günbatardan gündogara kesip geçilen halatynda sene bir gün azalýar, gündogardan günbatara tarap kesip geçilende bolsa sene bir gün artýar.

§24. Sferik üçburçluk we sferik trigonometriýanyň formulalary

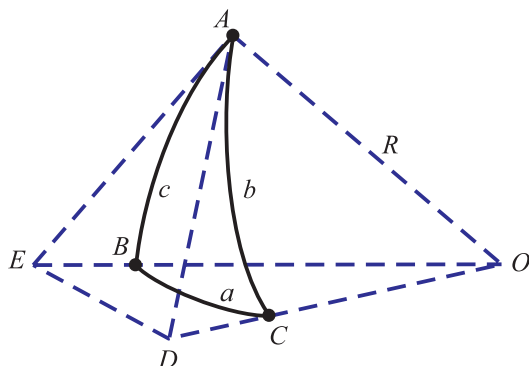
Astronomiýanyň asman jisimleriniň görünýän ýerleşişleri we hereketleri bilen baglanyşykly bolan köp meseleleriniň çözüwi sferik üçburçlugyň çözüwine syrygýandyr.

Sferik üçburçluk diýip sferanyň üstünde üç sany uly aýlawlaryň dugalarynyň emele getirýän ABC şekiline (figurasyna) aýdylýar.

Sferik üçburçlugyň taraplaryny emele getirýän uly aýlawlarynyň tekizlikleriniň aralygyndaky ikigranly (iki taraply) burçlara sferik üçburçlugyň burçlary diýilýär. Bu burçlar üçburçlugyň depesinde taraplaryna geçirilen galtaşýan çyzyklaryň emele getiren tekiz burçlary bilen ölçelýär.

Adatça burçlary we taraplary 180° -dan kiçi bolan üçburçluklar seredilýär. Bular ýaly sferik üçburçluklar üçin burçlarynyň jemi mydama 180° -dan uludyr we 540° -dan kiçidir, taraplarynyň jemi bolsa mydama 360° -dan kiçidir. Sferik üçburçlugyň üç burçlarynyň jemi bilen 180° -yň tapawudyna σ sferik artykmaçlyk diýilýär, ýagny:

$$\sigma = \angle A + \angle B + \angle C - 180^\circ.$$



15-nji surat. Sferik üçburçluk

Sferik üçburçlugyň meýdany S :

$$S = \sigma \frac{\pi R^2}{180^\circ},$$

deňdir. Bu ýerde R – üstünde üçburçluk ýerleşen sferanyň radiusy. Sferik üçburçluk häsiýetnamalary boýunça tekizlikdäki üçburçlukdan tapawutlanýar we onuň üçin tekizlik trigonometriýasynyň formulalaryny ulanyp bolmaýar.

Merkezi O nokatda ýerleşen R radiusly sferanyň üstünde ýerleşen ABC sferik üçburçlugy alalyň (15-nji surat). A depeden b we c taraplara galtaşýan AD we AE geçireliň. Bu galtaşýanlary degişli galtaşýan bilen bir tekizlikde ýatan radiuslaryň OC we OB dowamlary bilen kesişýänçäler dowam edýäris. Kesişme D we E nokatlary göni bilen birikdirip, umumy DE tarapy bolan iki sany tekiz gyýak burçly ADE we ODE üçburçluklary alarys.

Bu üçburçluklara elementar geometriýanyň teoremlaryny ulanyp, ýazarys:

$$DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2OD \cdot OE \cos \alpha$$

$$DE^2 = AD^2 + AE^2 - 2AD \cdot AE \cos A.$$

Ikinji deňlikden birinjini aýryp, alarys:

$$2OD \cdot OE \cos \alpha = OD^2 - AD^2 + OE^2 - AE^2 + 2AD \cdot AE \cos A. \quad (1.31)$$

Göniburçly tekiz OAE we OAD üçburçluklardan alarys:

$$OD^2 - AD^2 = R^2, \quad OE^2 - AE^2 = R^2, \quad AD = R \operatorname{tg} b, \quad AE = R \operatorname{tg} c,$$



$$OD = \frac{R}{\cos b}; \quad OE = \frac{R}{\cos c}.$$

Bu gatnaşyklary (1.31) formulada ýerine goýup, degişli gysgaltmalardan soň alarys:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A. \quad (1.32)$$

Sferik üçburçlugyň islendik tarapynyň kosinusy beýleki iki taraplarynyň kosinuslarynyň köpeltmek hasylyna şol taraplaryň sinuslarynyň aralaryndaky burçuň kosinusyna köpeltmek hasylynyň goşulmagyna deňdir.

(1.32) formulany üçburçlugyň islendik tarapy üçin ýazmak mümkindir. Formulany b tarap üçin ýazalyň:

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

we oňa (1.32) formuladan $\cos a$ bahasyny goýup, alarys:

$$\cos b = \cos c (\cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A) + \sin c \sin a \cos B.$$

ýaýlary açyp, sag bölekdeki birinji agzany çepe geçirip, alarys:

$$\cos b (1 - \cos^2 c) = \sin b \sin c \cos c \cos A + \sin c \sin a \cos B.$$

$(1 - \cos^2 c)$ -ny $\sin^2 c$ bilen çalşyp we aňlatmany $\sin c$ bölüp, alarys:

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A. \quad (1.33)$$

Sferik üçburçlugyň tarapynyň sinusynyň seplesýän burçuň kosinusyna köpeltmek hasyly seplesýän burçy çäklendirýän beýleki tarapyň sinusynyň üçünji tarapyň kosinusyna köpeltmek hasylyndan seplesýän burçy çäklendirýän tarapyň kosinusyny üçünji tarapyň sinusyna we birinji tarapyň garşysyndaky burçuň kosinusyna köpeltmek hasylynyň aýrylmagyna deňdir.

Alnan (1.33) formula baş elementiň formulasy diýilýär. Bu formulany $\sin a \cos C$, $\sin b \cos A$, $\sin b \cos C$, $\sin c \cos A$, $\sin c \cos B$ üçin hem ýazmak bolýar.

(1.32) deňligi $\cos A$ görä çözeliň:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c}.$$

Bu deňligiň iki tarapyny hem kwadrata göterip we 1-den aýryp, alarys:

$$1 - \cos^2 A = \frac{\sin^2 b \sin^2 c - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}$$

ýa-da

$$\sin^2 A = \frac{(1 - \cos^2 b)(1 - \cos^2 c) - (\cos a - \cos b \cos c)^2}{\sin^2 b \sin^2 c}.$$

Ýaýlary açyp we bu aňlatmanyň iki tarapyny hem $\sin^2 a$ bölüp, alarys:

$$\frac{\sin^2 A}{\sin^2 a} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c},$$

Alnan aňlatma a , b we c göre simmetrikdir, diýmek, meňzeşlik (analogiýa) boýunça

$$\frac{\sin^2 B}{\sin^2 b} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c},$$

$$\frac{\sin^2 C}{\sin^2 c} = \frac{1 - \cos^2 a - \cos^2 b - \cos^2 c + 2 \cos a \cos b \cos c}{\sin^2 a \sin^2 b \sin^2 c},$$

bu ýerden

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = \text{const}$$

ýa-da

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}. \quad (1.34)$$

Sferik üçburçlugyň taraplarynyň sinuslary garşy gabatlaryndaky burçlaryň sinuslaryna proporsionaldyr; ýa-da sferik üçburçlugyň tarapynyň sinusynyň garşy gabadyndaky burçuň sinusyna bolan gatnaşygy hemişelik ululykdyr.

(1.32), (1.33), (1.34) gatnaşyklar sferik üçburçlugyň taraplary bilen burçlarynyň aralaryndaky esasy gatnaşyklardyr. Bu gatnaşyklardan sferik trigonometriýanyň başga köp formulalaryny almak mümkin. Gönüburçly sferik üçburçlugyň diňe bir formulasyny çykarmak bilen çäkleneliň. $A = 90^\circ$ diýip alsak, onda $\sin A = 1$, $\cos A = 0$ we (1.33) formuladan alarys:

$$\sin a \cos B = \sin c \cos b.$$



Bu aňlatmanyň iki tarapyny hem $\sin b$ bölüp we $\sin a/\sin b$ gatnaşygy $\sin A/\sin B = 1/\sin B$ bilen çalşyp, (1.34) aňlatma laýyklykda alarys:

$$\operatorname{ctg} B = \sin c \operatorname{ctg} b \text{ ýa-da}$$

$$\frac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{tg} B} = \sin c. \quad (1.35)$$

Gönüburçly sferik üçburçlugyň katetleriniň biriniň tangensiniň garşy gabadyndaky burçuň tangensine bolan gatnaşygy beýleki katetiň sinusyna deňdir.

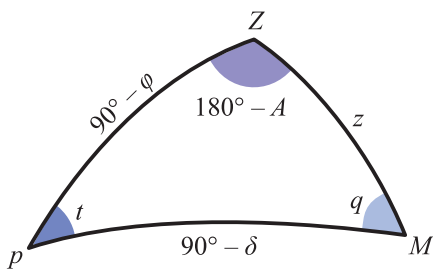
§25. Parallaktik üçburçluk we koordinatalary özürtmek

Asman sferasynda asman meridianynyň, wertikal aýlawyň we ýagtyltgyjyň sagat aýlawynyň kesişmekleri netijesinde alynýan üçburçluga parallaktik üçburçluk diýilýär. Onuň depeleri – P dünýäniň polýusy, Z zenit we M ýagtyltgyçdyr.

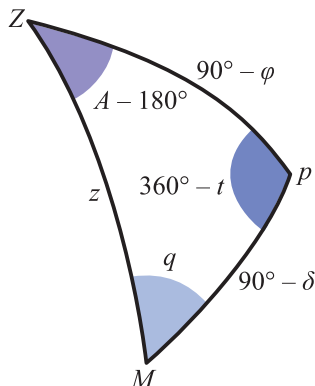
Eger M ýagtyltgyç asman sferasynyň günbatar ýarysynda ýerleşen bolsa (16-njy surat), onda ZP tarap (asman meridianynyň dugasy) $90^\circ - \varphi$ deň, bu ýerde φ – gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligi; ZM tarap (wertikal aýlawyň dugasy) ýagtyltgyjyň zenit aralygy $z = 90^\circ - h$ deň, bu ýerde h – ýagtyltgyjyň beýikligi; PM tarap (sagat aýlawynyň dugasy) ýagtyltgyjyň polýar aralygyna $p = 90^\circ - \delta$ deň, bu ýerde δ – ýagtyltgyjyň ýapgytlygy, burç $PZM = 180^\circ - A$ deň, bu ýerde A – ýagtyltgyjyň azimuty; burç $ZPM = t$ deň, ýagny ýagtyltgyjyň sagat burçy; burç $PNZ = q$ parallaktik burç diýilýär.

Eger ýagtyltgyç asman sferasynyň gündogar ýarysynda ýerleşen bolsa (17-nji surat), onda parallaktik üçburçlugyň taraplary ýagtyltgyç günbatar ýarymda ýerleşen ýagdaýyndaky ýaly bolar. Ýöne Z we P depelerdäki burçlaryň ululyklary üýtgär, ýagny burç $PZM = -180^\circ$, burç $ZPM = 360^\circ - t$ bolar.

Şol bir ýagtyltgyç üçin parallaktik üçburçlugyň görnüşi gözegçilik edilýän nokadyň giňligine φ (P we Z özara ýerleşişinden) we gözegçilik edilýän pursada, ýagny t sagat burçuna baglydyr.



16-njy surat. Parallaktik üçburçluk



17-nji surat. Parallaktik üçburçluk

Parallaktik üçburçluga sferik trigonometriýanyň esasy formula-laryny ulanyp, PM tarapy we t burçy başlangyç hasaplap, alarys:

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos z + \sin(90^\circ - \varphi) \sin z \cos(180^\circ - A),$$

$$\sin(90^\circ - \delta) = \sin z \sin(180^\circ - A),$$

$$\sin(90^\circ - \delta) \cos t = \sin(90^\circ - \varphi) \cos z - \cos(90^\circ - \varphi) \sin z \cos(180^\circ - A)$$

ýa-da

$$\left. \begin{aligned} \sin \delta &= \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A, \\ \cos \delta \sin t &= \sin z \sin A, \\ \cos \delta \cos t &= \cos \varphi \cos z + \sin \varphi \sin z \cos A. \end{aligned} \right\} \quad (1.36)$$

Bu (1.36) formulalar S ýyldyz wagtyň pursady üçin ölçenilen (ýa-da belli bolan) z zenit aralygy we A azimuty boýunça ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygyny we t sagat burçuny (soňra göni ýokary görterilişini $\alpha = s - t$) hasaplamaga mümkinçilik berýär. Başga sözler bilen aýdanymyzda bu formulalar ýagtyltgyjyň gorizontalkoordinatalaryndan ekwatorial koordinatalaryna geçmäge mümkinçilik berýär.

Eger $ZM = z$ tarapy we $180^\circ - A$ burçy başlangyç diýip hasaplasak, onda parallaktik üçburçluk üçin esasy formulalar aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\cos z = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) \cos t,$$

$$\sin z \sin(180^\circ - A) = \sin(90^\circ - \delta) \sin t,$$

$\sin z \sin(180^\circ - A) = \sin(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \delta) - \cos(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) \cos t$
ya-da

$$\left. \begin{aligned} \cos z &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \\ \sin z \sin A &= \cos \delta \sin t, \\ \sin z \sin A &= -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t. \end{aligned} \right\} \quad (1.37)$$

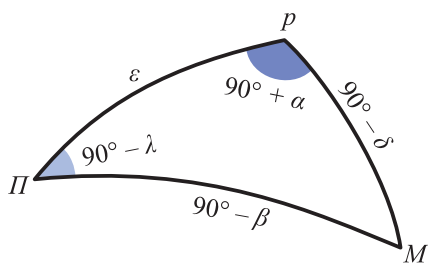
Bu (1.37) formulalar belli bolan δ ýagtylygy we $t = s - \alpha$ sagat burçy boýunça s ýyldyz wagtyň islendik pursady we islendik φ giňlik üçin ýagtylygyň z zenit aralygyny we A azimuthyny hasaplamaga mümkinçilik berýär. Başgaça aýdanymyzda bu formulalar

(1.37) ýagtylygyň ekwatorial koordinatalaryndan onuň gorizontal koordinatalaryna geçmek üçin hyzmat edýär.

Ondan başga-da (1.36) we (1.37) formulalar ýagtylyglaryň dogýan we ýaşýan wagat pursatlaryny, olaryň şol pursatdaky azimuthlaryny hasaplamaga, şeýle hem amaly astronomiýanyň iki sany örän wajyp meselesi çözü-

lende – gözegçilik edilýän ýeriň φ geografik giňligi we ýerli s ýyldyz wagty hasaplananda ulanylýar.

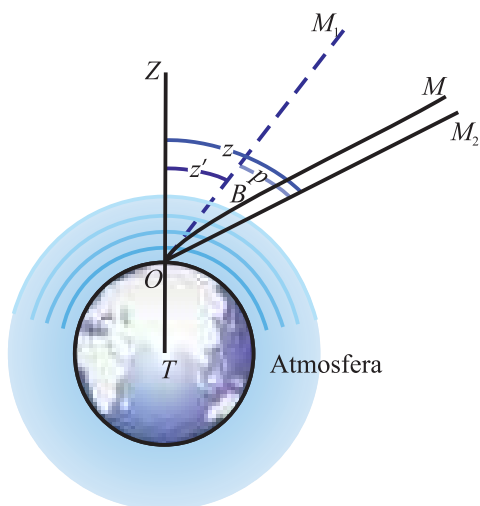
Ýagtylygyň ekwatorial (α we δ) we ekliptik (λ we β) koordinatalarynyň birinden beýlekisine geçmek üçin (1.36) we (1.37) formulalara meňzeşlikde, formulalary alyp bolýar. Ýöne bu ýagdaýda sferik trigonometriýanyň esasy formulalaryny depeleri P – dünýä polýusy, Π – ekliptikanyň polýusy, M – ýagtylygy bolan we taraplary hem burçlary 18-nji suratda görkezilen sferik üçburçluga ulanmaly.



18-nji surat. Dünýäniň polýusyny we ekliptikanyň polýusyny baglanyşdyrýan sferik üçburçluk

§26. Refraksiýa

Ýagtylygyň gözýetimden ýokarda görünýän ýerleşen ýagdaýy (1.37) formula boýunça hasaplanandan tapawutlanýar. Sebäbi asman jisiminden gelýän ýagtylyk şöhleleri gözegçä gelip ýetýänçä, Ýeriň atmosfera gatlaklaryndan geçende, döwürlýärler. Ýeriň üstü-



19-njy surat. Astronomik refraksiýa

ne ýakynlaşylanda atmosferanyň dykzlygynyň artýanlygy sebäpli, ýagtylyk şöhlesiniň ýaýraýan ugry has egrelýär. Netijede O nokatda ýerleşen gözegçiniň, ýagtyltgyjy görýän OM_1 ugry zenide tarap egren bolýar we atmosfera bolmadyk ýagdaýynda onuň ýagtyltgyjy görjek OM_2 ugrundan (BM parallel bolan) tapawutlanýar (19-njy surat).

Ýer atmosferasyndan geçende ýagtylyk şöhleleriniň döwürleme hadysasyna astronomik refraksiýa diýilýär.

M_1OM_2 burça refraksiýa burçy ýa-da ρ refraksiýa diýilýär. ZOM_1 burça ýagtyltgyjyň z' görünýän zenit aralygy diýilýär, ZOM_2 burça bolsa hakyky zenit aralygy diýilýär.

19-njy suratdan alarys:

$$z - z' = \rho \quad \text{ýa-da} \quad z = z' + \rho;$$

Ýagtyltgyjyň hakyky zenit aralygy görünýän zenit aralygyndan refraksiýanyň berýän tapawudyna uludyr. Refraksiýa ýagtyltgyjy gözyetimden ýokary göterýän ýalydyr.

Ýagtylygyň döwürleme kanunyna laýyklykda, düşýän şöhle we döwürlen şöhle bir tekizlikde ýerleşýärler. Diýmek, refraksiýa ýagtyltgyjyň azimutyny üýtgedýän dälär we ondan başga-da ýagtyltgyç zenitde bolanda nola deňdir.

Eger ýagtyltgýç kulminasiýada bolsa, onda refraksiýa diňe onuň ýapgytlygyny, zenit aralygyny üýtgedýän ululygyna deň bolan ululyga üýtgeder, sebäbi bu ýagdaýda sagat we wertikal aýlawlaryň tekizlikleri gabat gelyär. Galan ýagdaýlarda, haçan-da bu tekizlikler haýsy hem bolsa bir burç astynda kesişýän bolsalar, onda refraksiýa ýagtyltgyjyň hem ýapgytlygyny, hem göni ýokary göterilmesini üýtgedýär.

Refraksiýanyň takyk teoriýasy örän çylşyrymlydyr we ýörite derslerde seredilýär. Refraksiýa diňe ýagtyltgyjyň gözýetimden haýsy beýiklikde ýerleşenine bagly bolman, atmosferanyň ýagdaýyna hem, hususan hem atmosferanyň dykyzlygyna baglydyr. Atmosferanyň dykyzlygy bolsa öz gezeginde temperaturanyň we basyşyň funksiýalarydyr. Atmosferanyň basyşy B (mm simap sütüni) we temperatura $t^{\circ}\text{C}$ bolsa, onda refraksiýanyň takmynan bahasy aňlatma boýunça tapylýar:

$$\rho = 60'', 25 \frac{B}{760} \cdot \frac{273^{\circ}}{273^{\circ} + t^{\circ}} \text{tg} z'. \quad (1.38)$$

Temperatura 0°C we basyş 760 mm bolanda, refraksiýa

$$\rho = 60'', 25 \text{tg} z' \quad (1.39)$$

deňdir.

Bu formulalar, ýagny (1.38) we (1.39) boýunça refraksiýa ýagtyltgyjyň görünýän zenit aralygy $z' < 70^{\circ}$ bolanda hasaplanylýar. Görünýän zenit aralygy $z' > 70^{\circ}$ bolanda (1.38) we (1.39) formulalaryň berýän ýalňyşlygy $1''$ deň bolýar. Ýagtyltgýç gözýetime ýakynlaşdygyça ýalňyşlyk tükeniksizlige çenli ulalýar. Refraksiýanyň gözýetimdäki hakyky ululygy $35'$ töweregidir.

Refraksiýa sebäpli Günüň we Aýyň dogýan we ýaşýan wagtlary olaryň diskleriniň görnüşiniň üýtgeýändigini gözegçilikler görkezýär. Bu ýagtyltgyçlar gözýetimde bolanlarynda olaryň diskleriniň aşaky gyralarynyň refraksiýasy ýokary gyralarynyň refraksiýasyndan $6'$ uludyr. Günüň we Aýyň gorizonta diametrleriniň refraksiýa sebäpli üýtgemeyändigleri üçin olaryň diskleriniň görünýän şekili süýnmek bolýar.

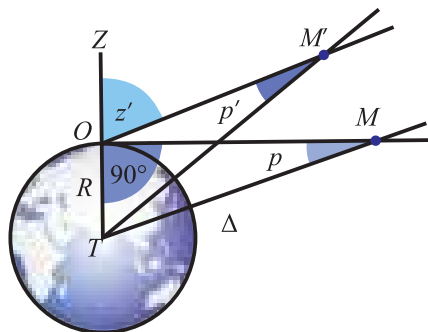
§27. Günlük parallaks

Asman jisimleriniň Ýer üstünden geçirilýän gözegçiliklerden kesgitlenen koordinatalaryna toposentrik koordinatalar diýilýär. Ýagtyltgyjyň şol bir wagt pursadynda Ýer üstüniň dürli nokatlarynda toposentrik koordinatalary tapawutlydyr. Bu tapawut diňe Gün sistemasynyň jisimleri üçin duýarlyk ululykdyr we ýyldyzlar üçin örän kiçi ($0''$, 00004) ululykdyr. Ýagtyltgyjyň Ýer üstüniň dürli nokatlaryndan görünýän ugurlarynyň köplüğinden Ýeriň merkezinden görünýän ugry esasy hasaplanylýar. Ol ýagtyltgyjyň geosentrik ýerleşişini berýär we onuň geosentrik koordinatalaryny kesgitleýär.

Ýagtyltgyjyň Ýeriň merkezinden we üstüniň islendik nokadyndan görünýän ugurlarynyň tapawudyna ýagtyltgyjyň gije-gündiz (günlük) parallaksy diýilýär (20-nji surat).

Başgaça aýdanymyzda günlük parallaksy gözegçilik edilýän nokatda Ýeriň radiusynyň ýagtyltgyçdan görünjek p' burçudyr.

Gözegçilik edilýän pursatda zenitde ýerleşen ýagtyltgyjyň günlük parallaksy nola deňdir. Eger ýagtyltgyç gözýetimde ýerleşen bolsa, onda onuň günlük parallaksy maksimal baha eýe bolýar we oňa gorizontall parallaks diýilýär. Gorizontall parallaks p bilen belgilenýär.



20-nji surat. Gije-gündiz parallaks

TOM' we TOM üçburçluklaryň taraplarynyň we burçlarynyň arasyndaky baglanyşyklardan (20-nji surat) alarys:

$$\frac{R}{\Delta} = \frac{\sin p'}{\sin z'} \quad \text{we} \quad \frac{R}{\Delta} = \sin p.$$

Bu ýerden alarys: $\sin p' = \sin p \sin z'$

Gün sistemasynyň ähli jisimleriniň gorizontall parallaksalary kiçi ululyklardyr (Aý üçin $p = 57'$, Günüň parallaksy $p = 8''$, 79, planetalar üçin bolsa 1'-dan kiçidir). Şol sebäpli soňky formulada p we p' burçlaryň sinuslaryny burçlaryň özlari bilen çalşyp, alarys:



$$p' = p \sin z'. \quad (1.40)$$

Günlük parallaksyň netijesinde ýagtyltgyç Ýeriň merkezinden gözegçilik edilende görünjek ýagdaýyndan gözyetimden aşakda ýaly bolup görünýär. Şunlukda, parallaksyň ýagtyltgyjyň beýikligine täsiri zenit aralygynyň sinusyna proporsionaldyr. Günlük parallaksyň maksimal bahasy p gorizental parallaksa deňdir. Gorizental parallakslar kesgitlenende, Ýeriň sferoid görnüşi bolany sebäpli, düşünişmezlikleriň bolmazlygy üçin, hasaplamalarda Ýeriň kesgitli bir radiusy, ýagny ekwatorial radiusy $R_0 = 6378 \text{ km}$ kabul edilýär we alnan parallaksa p_0 gorizental ekwatorial parallaks diýilýär.

§28. Ýagtyltgyçlaryň dogýan we ýaşýan wagtlaryny hem azimutlaryny kesgitlemek

Ýagtyltgyjyň sagat burçy (1.37) aňlatmanyň birinji formulasy boýunça kesgitlenýär, ýagny

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}. \quad (1.41)$$

Eger asman sferasynyň haýsy hem bolsa bir nokady dogýan ýa-da ýaşýan bolsa, onda ol gözyetimde ýerleşýändir we onuň görünýän zenit aralygy $z' = 90^\circ$ deňdir. Şol pursatda hakyky z zenit aralygy görünýän zenit aralygyndan refraksiýa sebäpli $\rho = 35'$ ululyga uly bolar. Günlük (gije-gündiz) parallaks bolsa ýagtyltgyjy gözyetimi tarap peseldýär, ýagny görünýän zenit aralygyny p parallaksyň ululygyna deň bolan ululyga ulaldýar. Diýmek, ýagtyltgyjyň dogýan ýa-da ýaşýan pursady onuň hakyky zenit aralygy

$$z = z' + \rho_{90} - p = 90^\circ + \rho_{90} - p.$$

Ondan başga hem ýagtyltgyçlaryň dogýan we ýaşýan wagtlary pursatlary hasaplananda Günüň we Aýyň ölçeglerini hasaba almak hökmanydyr. Bu asman jisimleriniň koordinatalary olaryň görünýän diskleriniň merkezlerine degişlidir. Emma Günüň we Aýyň dogýan (ýaşýan) wagtlary pursady olaryň diskleriniň gyrasynyň ýokarky nokadyň gözyetimde görünme (ýitme) pursady boýunça kesgitlenýär. Diýmek, bu ýagtyltgyçlaryň dogýan ýa-da ýaşýan pursatlarynda

diskleriniň merkeziniň zenit aralygy diskleriniň gýralarynyň ýokarky nokadynyň zenit aralygyndan diskiň görünýän R burç radiusyna deň bolan ululyga uly bolar (Günüň we Aýyň görünýän burç radiuslary takmynan meňzeşdir we orta bahasy $16'$ deňdir).

Şeýlelikde, ýagtyltgyjyň dogýan we ýaşýan pursatlarynda onuň sagat burçy (1.41) formula boýunça hasaplanylanda umumy halda $z = 90^\circ + \rho_{90} - p + R$ we ol aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\cos t = \frac{\cos(90^\circ + \rho_{90} - p + R) - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}. \quad (1.42)$$

Bu formula (1.42) boýunça diňe Aýyň dogýan we ýaşýan pursatlary üçin sagat burçuny kesgitläp bolýar. Şonda $R_{Aý} = 16'$; $p_{Aý} = 57'$ we $\rho_{90} = 35'$ bolsa, (1.42) formula aşakdaky ýaly ýazylar:

$$\cos t_{Aý} = \frac{\cos 89^\circ 54' - \sin \varphi \sin \delta_{Aý}}{\cos \varphi \cos \delta_{Aý}}.$$

Günüň dogýan we ýaşýan pursatlarynda sagat burçy hasaplananda onuň gorizontall parallaxsy örän kiçi ululyk bolany sebäpli, hasaba alynmaýar. Onda $R_\odot = 16'$ we $\rho_{90} = 35'$ bolsa, (1.42) formula aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\cos t_\odot = \frac{\cos 90^\circ 51' - \sin \varphi \sin \delta_\odot}{\cos \varphi \cos \delta_\odot}. \quad (1.43)$$

Ýyldyzlar we planetalar üçin olaryň görünýän radiuslaryny hasaba alman bolýandyr, sebäbi ýyldyzlaryň görünýän radiusy nola deň, iň uly görünýän radius $29''$ deň we ol Wenera degişlidir. Olar üçin sagat burçy:

$$\cos t = \frac{\cos 90^\circ 35' - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}.$$

Refraksiýany göz önünde tutmasak, onda

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \quad (1.44)$$

Getirilen deňlemeleriň her biri sagat burçunyň iki bahasyny berýär: $t_1 = t$ we $t_2 = -t$. Položitel baha ýagtyltgyjyň dogýan, otrisatel bolsa ýaşýan pursatlaryna degişlidir. Ýagtyltgyjyň dogýan we ýaşýan pursatlaryny ýerli ýyldyz wagtynda aňlatsak:

$$S_{\text{dogýan}} = \alpha - t.$$

$$S_{\text{ýaşýan}} = \alpha + t.$$

Soňra ýagtyltgyjyň dogýan we ýaşýan wagtlaryny ýerli orta Gün wagtynda we dekret wagtynda hasaplap bolýar.

Eger Günüň dogýan we ýaşýan wagtlyary hasaplanýan bolsa, onda ýyldyz wagtyny hasaplamagyň zerurlygy ýokdur. Sebäbi t_1 we t_2 sagat burçlarynyň üstüne 12^h goşup, hadysalaryň pursatlaryny ýerli hakyky Gün wagtynda $T_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$ alarys. Onda ýerli orta wagt

$$S_{\text{dogýan}} = 12^h - t_{\odot} + \eta,$$

$$S_{\text{ýaşýan}} = 12^h + t_{\odot} + \eta,$$

bu ýerde η – wagt deňlemesi. Bu ululygy, şeýle hem Günüň α we δ koordinatalarynyň bahalaryny Astronomik ýyllyk neşirden alynýar.

Ýagtyltgyçlaryň dogýan we ýaşýan nokatlarynyň azimuty (refraksiýany, parallaksy we burç radiusyny hasaba almazdan) (1.36) aňlatmanyň birinji formulasynda $z = 90^\circ$ goýup, $\cos z = 0$, $\sin z = 1$ göz önünde tutup, alarys

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}, \quad (1.45)$$

Bu formula (1.45) boýunça azimutyň iki bahasyny alarys: $A_1 = A$ we $A_2 = 360^\circ - A$. Birinji baha ýagtyltgyjyň ýaşýan nokadynyň, ikinji bolsa dogýan nokadynyň azimutydyr.

Indi (1.45) we (1.44) formulalary aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\sin(90^\circ - \varphi)} \quad \text{we} \quad \cos t = -\frac{\text{tg} \delta}{\text{tg}(90^\circ - \varphi)}. \quad (1.46)$$

Kosinusyň 1-den uly bolup bilmeýänligi sebäpli ýagtyltgyjyň dogmagy we ýaşmagy diňe aşakdaky şertde ýerine ýetýändir:

$$|\delta| < 90^\circ - |\varphi|.$$

Alagaraňky we ak gijeler. Gün ýaşan soň ýa-da Gün dogmanka, heniz ýyldyzlar doly görünmeýän pursadyna, degişlilikde aňşamky we daňdanky alagaraňky diýilýär. Bu hadysa Gün ýaşan soň ýa-da Gün dogmanka, Günüň şöhesiniň howanyň ýokarky gatlaklaryndan we ondaky owunjak bölejiklerden serpilmegi sebäpli, ýagtylygyň



21-nji surat. «Ak gijeler» hadysasy. Sankt-Peterburg şäheri (iýun, ýarygije)

ýuwaş-ýuwaşdan peselmegi bilen ýüze çykyandyr. Şeýle ýagdaý Gün ýaşyp, gözýetimden 6° golaý aşak düşýänçä dowam edýär. Şeýle ýagdaýa raýat alagaraňkysy diýilýär. Gün gözýetimden 6° golaý aşak düşen soň bolsa, raýatlar üçin gije düşdi diýlip, hasap edilýär. Emma şeýle ýagdaýda-da, asman jisimlerine gözegçilik etmek üçin doly garaňky gatlyşyp ýetişenok. Asman jisimlerine gözegçilik etmek üçin Günüň gözýetimden 18° aşak düşmegi zerurdyr.

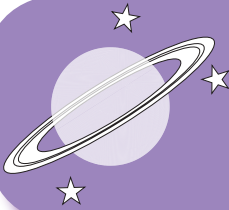
Geografik giňligi $\varphi = 60^\circ 33'$ ýetýän çäkde tomusky gündürmada Gün ýaşyp, gözýetimden bary-ýogy 6° golaý aşak düşüp, ýokary galýar. Şonuň üçin, ol çäkde agşamky alagaraňky tamamlanmanka, ertirki alagaraňky başlaýar. Netijede, Gün ýaşandan tä dogýançä alagaraňky dowam edýär. Şeýlelik bilen, birnäçe günüň dowamynda ak gijelere gözegçilik etmek bolýar (21-nji surat). Ýeriň Günorta ýarym şarynyň $\varphi = 60^\circ 33'$ çäklerinde ak gijeleri gyşky gündurmada hem synlap bolýar. Ak gijeleriň görünmegi we olaryň sany gözegçilik edilýän ýeriň giňligine we Günüň asman ekwatoryndan uzaklygyna baglydyr. Raýat alagaraňky uzak wagtlap dowam eder ýaly aşakdaky şertleriň ýerine ýetirilmegi zerurdyr:

$$\delta_\circ \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ, \quad \text{ýagny} \quad \delta_\circ \geq 84^\circ - \varphi.$$

Astronomik alagaraňkyny bütün gijeläp dowam etmegi üçin aşakdaky şertleriň ýerine ýetirilmegi zerurdyr:

$$\delta_\circ \geq 90^\circ - \varphi - 18^\circ, \quad \text{ýagny} \quad \delta_\circ \geq 72^\circ - \varphi.$$

Diýmek astronomik alagaraňka geografik giňligi $\varphi \geq 48^\circ 33'$ ýokarda bolan çäkden gözegçilik edip bolýar.



II bap PLANETALARYŇ GÖRÜNÝÄN WE HAKYKY HEREKETLERI

§29. Planetalaryň ýyldyzlaryň arasynda görünýän hereketleri

Planetalar ýyldyzlaryň arasynda görünýän hereketleri boýunça iki topara bölünýärler: aşaky (Merkuriý, Wenera) we ýokarky (Mars, Ýupiter, Saturn, Uran, Neptun) planetalar.

Aşaky we ýokarky planetalaryň ýyldyz toparlary boýunça görünýän hereketleri tapawutlydyr. Merkuriý we Wenera asmanda mydama Günüň ýerleşen ýyldyz toparynda ýa-da goňşy ýyldyz toparynda ýerleşýärler we olar Günden gündogarda-da, günbatarda-da ýerleşip bilýärler, ýöne ondan Merkuriý 18–28 gradusdan, Wenera bolsa 45–48 gradusdan uzaklaşmaýar. Planetanyň Günden gündogara iň uly burç daşlaşmasyna *gündogar elongasiýa*, günbatara daşlaşmasyna bolsa *günbatar elongasiýa* diýilýär. Gündogar elongasiýada bolanda planeta günbatarda, Gün ýaşan soň aňşamlaryna görünýär.

Soňra planeta ilki başda haýallyk bilen, soňra çaltrak, ters ugurda (gündogardan günbatara tarap) hereket edip, Güne ýakynlaşyp, onuň şöhlelerinde gözden ýitýär, ýagny görünmän başlaýar. Şol wagt planetanyň Gün bilen aşaky birleşmesi bolup geçýär, ýagny planeta Ýer bilen Günüň aralygyndan geçýär. Günüň we planetanyň ekliptik uzaklyklary deňdir. Aşaky birleşmeden soňra, wagtyň geçmegi bilen planeta ýene-de görnüp başlaýar. Ýöne indi planeta gündogarda, Gündogmazýndan öň, daň şapagynyň şöhlelerinde görnüp başlaýar. Planeta şol wagtda ters ugurda hereketini dowam etdirip, Günden daşlaşýar. Tersleýin hereketiniň tizligi haýallaýar, planeta iň uly günbatar elongasiýasyna ýetip durýar we soňra hereketiniň ugruny üýtgedip, göni

ugurda hereket edip başlaýar. Indi planeta ilki başda haýalrak, soňra tizligini artdyryp, günbatardan gündogara hereket edýär. Günden uzaklygy kemelip, ahyrynda Günüň irdenki şöhlelerinde ýitip gidýär. Şol wagtda planeta Günüň arka ýüzünden geçip gidýär. Ýene-de planeta bilen Günüň ekliptik uzaklyklary deňleşýär, planetanyň Gün bilen ýokarky birleşmesi bolýar. Wagtyň geçmegi bilen planeta ýene-de günbatarda, Gün ýaşayan badyna, agşam şapagynyň şöhlelerinde görünüp başlaýar. Göni ugurda hereketini dowam etdirip, tizligini gitdigiçe haýalladýar. Gündogara tarap uzaklaşmagynyň çäk bahasy-na ýetip, planeta hereketini togtadýar. Soňra hereketiň ugruny üýtgedip, tersleýin hereket edip başlaýar we ýokarda seredilen hereket ýene-de gaýtalanýar. Şeýlelikde aşaky planetalar Günüň daşynda edil maýatnigiň deňagramlylyk ýagdaýynyň töwereginde yrgyldaýşy ýaly «yrgyldylary» amala aşyrýarlar.

Ýokarky planetalaryň asmanda ýyldyz toparlary boýunça görünýän hereketi aşaky planetalaryň hereketinden üýtgeşikdir. Haçan-da planeta Gün ýaşandan soň asmanyň günbatar böleginde görünende, ol ýyldyzlaryň arasynda edil Gün ýaly göni ugurda, ýagny günbatardan gündogara hereket edýändir. Ýöne planetanyň hereketiniň tizligi Günüňkiden kiçidir. Şol sebäpli, wagtyň geçmegi bilen Gün ýuwaş-yuwaşdan planetanyň yzyndan ýetýär. Şonda planeta görünmeýär, sebäbi planeta Gün bilen bir wagtda dogýar we ýaşýar. Haçan-da Gün planetany ozup geçen soň, planeta asmanyň gündogar böleginde, Gün dogmazynyň ön ýanynda görünip başlaýar. Planetanyň göni ugurdaky hereketiniň tizligi ýuwaş-yuwaşdan peselip planeta durýar, soňra ýyldyzlaryň arasynda ters ugurda hereket edip başlaýar, ýagny gündogardan günbatara tarap hereket edýär (*22-nji surat*). Käbir wagt geçen soň planeta durýar, ýene-de hereketiniň ugruny üýtgedip, dogry ugurda hereket edýär. Ýene-de Gün günbatardan planetanyň yzyndan ýetýär, planeta görünmän başlaýar – ýokarda seredilen hereket öňki yzygiderlikde gaýtalanýar.

Ters hereketiň dugasynyň ortaky nokadynda bolanda planetanyň ýerleşýän ýyldyz toparý Günüň ýerleşen ýyldyz toparyna garşylyklydyr. Planetanyň we Günüň ekliptik uzaklyklarynyň tapawudy 180° -a deňdir. Planetanyň bular ýaly ýerleşmesine Güne garşyda durma diýilýär. Dogry ugurda hereketiniň dugasynyň ortasynda, plane-





22-nji surat. Marsyň görnüşiniň hereketi

ta we Gün şol bir ýyldyz toparynda ýerleşenlerinde, olaryň ekliptik uzaklyklary deň bolýar. Bular ýaly ýerleşme ýagdaýyna planetanyň Gün bilen birleşmesi diýilýär.

Ýokarky planetanyň Günden gündogarlygyna 90° -a uzaklaşmasyna *gündogar kwadratura*, günbatarlygyna 90° -a uzaklaşmasyna bolsa *günbatar kwadratura* diýilýär. Planetalaryň ters hereketleriniň dugalarynyň ortaça bahalary: Merkuriý – 12° , Wenera – 16° , Mars – 15° , Ýupiter – 10° , Saturn – 7° , Uran – 4° , Neptun – 3° .

Planetalaryň ýokarda seredilen Güne görä ýerleşiş ýagdaýlaryna *planetalaryň konfigurasiýalary* diýilýär.

§30. Ptolemeýiň Älem baradaky taglymaty

Planetalaryň we asman jisimleriniň görnüşiniň hereketleri düşündirilende bu hereketleriň ählisine gözegçilikleriň Ýeriň üstünden geçirilýänligi çylşyrymlyklary ýüze çykarýar. Asmanda ýa-da Ýerde bolup geýýän hadysalara geçirilýän gözegçilikleriň hiç birisi Ýeriň özüniň hereket edýänligini ýa-da hereket etmeýänligini gös-göni we kesgitli görkezmeýär. Şol sebäpli gadymy astronomlaryň bu meselä iki hili garaýyşy bolupdyr. Gös-göni täsirlere esaslanan, olaryň birine görä Ýer hereket etmeýändir we Älemiň merkezidir. Beýlekisine,

ýagny gözegçiliklere pikir ýöretmelerden netije çykarmaklyga esaslanan garaýyşa görä Ýer öz okunyň daşyndan aýlanýar we dünýäniň merkezi bolan Günüň töwereginden aýlanýandyr. Ýöne Ýer hereket edýär diýen pikirlere ýol bermeklik adaty täsirlere we dini garaýyşlara ters gelipdir. Şol sebäpli ikinji garaýyş takyk ylmy matematiki ösüşe eýe bolmaýar we astronomiýada Ýer hereket etmeýär diýen pikir tas-syklanylýar.

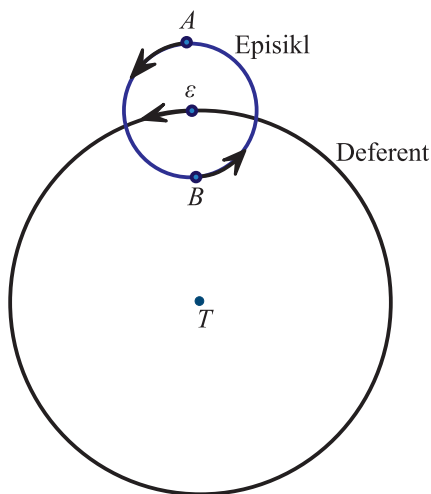
Gadymy astronomlaryň Älemiň gurluşyny göz önüne getirişleri Ptolemeýiň «Almagest» kitabynda çap edilýär. Ptolemeýiň Älemiň gurluşy baradaky taglymatynda dört sany esasy şert kabul edilendir:

- 1) Ýer Älemiň merkezinde ýerleşendir;
- 2) Ýer hereket etmeýär;
- 3) hemme asman jisimleri Ýeriň töwereginde hereket edýärler;
- 4) asman jisimleri töwerekler boýunça deňölçegli, ýagny he-mişelik tizlik bilen hereket edýärler.

Ptolemeýiň Älemiň gurluşy baradaky taglymatyna geosentrik sistema diýilýär (geosentrik-merkezinde Ýer ýerleşýän taglymat). Geosentrik sistemany geometrik nukdaý-nazardan ýönekeýleşdirilen görnüşde aşakdaky ýaly göz önüne getirmek mümkindir: planeta-lar episikl diýip atlandyrylýan aýlawlar boýunça deňölçegli hereket edýärler; episiklleriň merkezleri bolsa öz gezeginde umumy merkez-lerinde hereket etmeýän Ýer ýerleşen aýlawlar-deferentler boýunça hereket edýärler. Gün we Aý Ýeriň daşyndan deferentler (episiklsiz) boýunça hereket edýärler. Güniň we Aýyň deferentleri, planetalaryň deferentleri we episiklleri, üstünde «hereketsiz» ýyldyz ýerleşen sferanyň içinde ýerleşýändirler.

Hemme ýagtyltgyçlaryň gije-gündiziň dowamyndaky hereketi tutuş Älemiň bir bütewilikde, hereket etmeýän Ýeriň töweregindäki hereketi bilen düşündirilipdir. Planetalaryň dogry we ters ugurdaky hereketleri bolsa aşakdaky ýaly düşündirilipdir. Planeta öz episikliniň A nokadynda ýerleşen pursatynda onuň hereket etmeýän T Ýerden gözegçilik edilýän hereketiniň burç tizligi episikliň ε merkeziniň de-ferent boýunça hereketiniň we planetanyň episikl boýunça hereketiniň göşulmagyna deňdir (23-nji surat). Bu ýagdaýda Ýerdäki gözegçä planeta iň uly tizlik bilen dogry ugurda hereket edýän bolup görüner. Haçan-da planeta B nokatda ýerleşen pursatynda onuň episikl boýun-





23-nji surat. Deferent we episikl

ça hareketiniň ugry episikliň merkeziniň hareketiniň ugruna ters (garşylykly) bolar we şol sebäpli Ýerdäki gözegçä görä planetanyň burç tizligi iň kiçi baha eýe bolar. Şonda planetanyň episikl boýunça hareketiniň tizligi episikliň merkeziniň deferent boýunça hareketiniň tizliginden kiçi bolsa, onda bu ýagdaýda planeta dogry ugurda deň haýallaýan hareket edýän ýaly bolup görüner. Eger-de planetanyň episikl boýunça hareketiniň tizligi episikliň merkeziniň tizliginden

uly bolan ýagdaýynda Ýerdäki gözegçä planeta ters hareket edýän bolup görüner.

Şeýlelikde, her bir planetanyň episikliniň we deferentiniň radiuslarynyň ölçeglerini, planetanyň deňişlilikde episikl boýunça we episikliň merkeziniň deferent boýunça hareketleriniň tizliklerini saýlap alyp, onuň deferentiň T merkezine görä hareketiniň biziň Ýerden gözegçilik edenimizde planetanyň görünýän hareketi bilen gabat geler ýaly edip bolýar.

Ptolemeyiň sistemasy planetalaryň görünýän hareketlerini düşündirmek bilen çäklenmän, şol döwürde geçirilýän ýönekeý gözegçilikleriň netijelerini kanagatlandyryýan takyklyk bilen planetalaryň ýerleşiş ýagdaýlaryny önünden hasaplap kesgitlemäge mümkinçilik beripdir. Şonuň üçin, düýbünden nädogry bolan taglymat ilki başda düýpli nägilelikleri ýüze çykarmandyr, soňky ýüze çykan nägilelikler bolsa hristian buthanasy tarapyndan rehimsizlik bilen ýatyrylypdyr.

Gözegçilikleriň takyklygynyň ýokarlanmagy netijesinde nazaryýet bilen gözegçilikleriň arasynda ýüze çykýan näsazlyklar sistemany çylşyrymlaşdyrmak bilen aradan aýrylypdyr. Has soňky gözegçiliklerde planetalaryň görünýän hareketlerinde ýüze çykarylan käbir nädogrulyklar bolsa, birinji episikl boýunça planeta hareket et-

män, planeta hereket edýän ikinji episikliň merkeziniň hereket edýänligi bilen düşündirilipdir. Haçan-da haýsy hem bolsa planetalaryň biri üçin bular ýaly gurnama ýeterlik bolmadyk ýagdaýynda üçünji, dördünji we ş.m. episikller ulanylyp, gözegçiliklerden alynýan netijelere gabat getirilipdir.

XVI asyryň başlaryna çenli Ptolemeýiň sistemasy şeýle bir çylşyrymlaşypdyr we astronomiýa adamyň gündelik durmuşynda bildirilýän talaplara, hususan-da deňizlerde we okeanlarda ýüzülende bildirilýän talaplary ödemän başlaýar. Planetalaryň ýerleşiş ýagdaýlaryny hasaplamak üçin has ýönekeý usullar gerek bolupdyr. Bular ýaly usullar täze astronomiýanyň düýbünü tutan, beýik polýak astronomy, alymy Nikolaý Kopernik tarapyndan esaslandyrylandyr.

§31. Kopernigiň Älem baradaky taglymaty

Beýik polýak alymy Nikolaý Kopernigiň бүтін өmrүni sarp eden işi bolan «Asman sferasynyň aýlanmasy barada» atly kitaby 1543-nji ýylda çap edilýär. Kopernik bu işinde Ýeriň hereketleri baradaky pikiri matematiki nukdaý-nazardan işläp düzýär we täze astronomiýanyň başlangyjyny esaslandyrýar. Älemiň gurluşy baradaky onuň döreden taglymatyna geliosentrik sistema diýilýär. Bu sistemanyň esasyňy aşakdaky tassyklamalar düzýändir: 1) dünýäniň merkezinde Ýer dälde Gün (grekçe gelios) ýerleşýär; 2) şar şekilli Ýer öz okunyň töwereginde aýlanýar, onuň bu hereketi bolsa ähli ýagtyltgyçlaryň gije-gündizlik hereketini düşündirýär; 3) Ýer hem beýleki planetalar ýaly Günüň töwereginde aýlanýar, bu bolsa ýylyň dowamynda Günüň ýyldyzlaryň arasynda görünýän hereketini düşündirýär; 4) planetalaryň ähli hereketleri deňölçegli utgaşykly aýlaw hereketleri hökmünde görünýär; 5) planetanyň ýyldyzlaryň arasyndaky öňe we yza edýän hereketleri olara mahsus bolman, esasan Ýeriň hereketi bilen baglydyr.

Ondan başgada Kopernik Aý Ýeriň daşyndan aýlanýar we hemra hökmünde Ýer bilen bilelikde Günüň daşyndan aýlanýar diýip hasaplapdyr.

Gözegçiliklerden alnan maglumatlara esaslanyp, Kopernik ilki bilen hemme planetalar, şol sanda Ýer hem Günüň daşyndan takmy-



nan şol bir tekizlikde aýlanýar diýen netijä gelipdir. Diňe şu şert ýerine ýeten ýagdaýynda Ýerden planetalaryň asmandaky görünýän ýollary ekliptikanyň golaýynda ýerleşip bilerler.

Merkuriý we Wenera görünýän hereketlerinde Günden gaty daşlaşmaýandyklary sebäpli olaryň giňişlikdäki ýollary, ýa-da başgaça aýdanymyzda orbitalary Ýeriň orbitasyna garanyňda Güne golaý ýerleşendirler. Şunlukda Wenera Merkuriý planetasyna garanymyzda Günden daşda ýerleşendir, sebäbi onuň Günden daşlaşmalary uludyr. Beýleki planetalar Günün daşyndan Ýere garanyňda has daşrakdan aýlanýandyrlar. Mars beýleki planetalara garanyňda Ýere golaý ýerleşendir, sebäbi onuň ýyldyzlaryň arasynda görünýän hereketi iň çaltdyr. Soňra «haýal» Ýupiter we has «haýal» Saturn ýerleşendirler.

Planetalaryň Günden uzaklyklaryny (Ýeriň Günden uzaklygynyň ölçege birliklerinde) we onuň daşyndan aýlanma periodlaryny hasaplap, Kopernik ilkinji gezek astronomiýada Gün sistemasynyň dogry gurluşyny teklipe edýär.

Planetalaryň görünýän hereketleriniň Kopernik tarapyndan düşündirilişi ýönekeý we tebigydyr, hem-de häzirkizaman astronomiýasynyň ylmy nukdaý-nazaryndan bu hadysalaryň düşündirilişine garşy gelýän däldir.

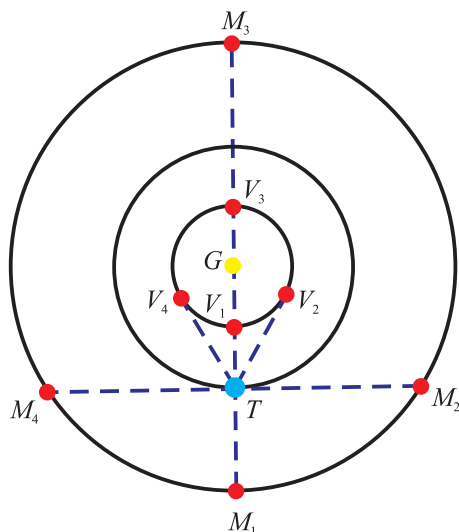
Kopernik asman ýagtyltgyçlarynyň hemmesiniň gije-gündiziň dowamynda aýlanmasyny hakyky däl diýip hasaplapdyr we ony Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmasy bilen düşündiripdir. Kopernik şeýle hem Günün ekliptika boýunça ýylyň dowamyndaky görünýän hereketiniň Ýeriň Günün töwereginde edýän hakyky hereketi netijesinde ýüze çykýar diýip hasaplapdyr.

Ýyldyzlaryň Güne görä Ýerden has uzaklarda ýerleşýändigleri sebäpli Ýer Günün daşynda aýlawly hereket edende bize mydama Gün hereket etmeýän ýyldyzlaryň arasynda şol bir ugurda hereket edýän ýaly bolup görünýär. Planetalaryň (dogry we ters ugurda) görünýän çylşyrymly hereketlerini bolsa Kopernik iki sany hakyky hereketiň – planetanyň we Ýeriň öz orbitalary boýunça Günün daşynda hereketleriniň netijesi hökmünde seredipdir.

§32. Planetalaryň konfigurasiýalarynyň we görnüşän hereketleriniň düşündirilişi

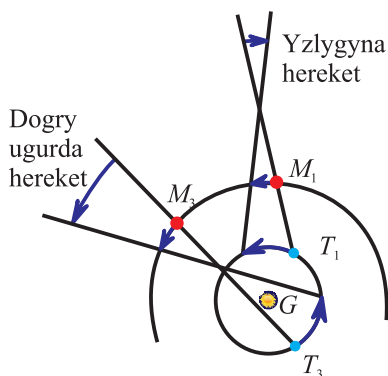
Planetalar orbitalary boýunça hereketlerinde Güne we Ýere görälikde dürli ýagdaýlarda ýerleşip bilýärler. Goý, kesgitli wagt pursatynda T Ýer G Güne görälikde öz orbitasynyň kesgitli nokadynda ýerleşen bolsun. Aşaky ýa-da ýokarky planeta şol wagt pursatynda öz orbitasynyň islendik nokatynda ýerleşip biler. Eger aşaky V planeta çyzgyda görkezilen dört sany V_1, V_2, V_3, V_4 nokatlaryň haýsy hem bolsa birinde ýerleşen bolsa, onda ol Ýerden Gün bilen aşaky (V_1) ýa-da ýokarky (V_3) birleşmede, iň uly günbatar (V_2) ýa-da iň uly gündogar (V_4) elongasiýada bolar. Eger-de ýokarky M planeta M_1, M_2, M_3 ýa-da M_4 nokatlarynda ýerleşen ýagdaýlarynda, onda ol Ýerden garşyda durma (M_1), birleşme (M_3), günbatar (M_2) ýa-da gündogar (M_4) kwadraturada görner (24-nji surat).

Aşaky planeta aşaky birleşme pursatynda Ýere iň golaý we ýokarky birleşme pursatynda bolsa iň daşda ýerleşen ýagdaýy bolýar. Ýokarky planeta garşyda durma pursatynda Ýere iň golaý aralyga çenli ýakynlaşýar we birleşme pursatynda bolsa maksimal aralyga çenli daşlaşýandyr. Planetalaryň konfigurasiýalary ýokardaky ýaly düşündirilýär.

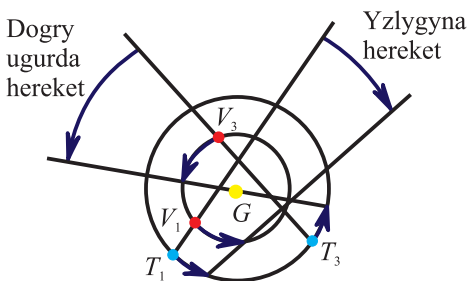


24-nji surat. Planetalaryň konfigurasiýalary





25-nji surat. Ýokarky planetanyň dogry ugurda we yzlygyna hereketi



26-njy surat. Aşaky planetanyň dogry ugurda we yzlygyna hereketi

Planetalaryň dogry we ters hereketleriniň düşündirilişiniň düýp manysy planetanyň we Ýeriň öz orbitalary boýunça hereketleriniň çyzykly tizliklerini deňeşdirmeklige esaslanandyr.

Haçan-da ýokarky planeta (25-nji surat) birleşme ýagdaýynyň golaýynda ýerleşende (M_3) onuň hereketiniň tizliginiň ugrы Ýeriň T_3 hereketiniň tizliginiň ugruna garşydyr. Ýerden seredilende planeta dogry ugurda hereket edýän, ýagny hakyky hereket edýän ugrы bolan, sagdan çepde hereket edýän bolup görünär. Şonda planetanyň tizligi has uly ýaly bolup görünär. Haçan-da ýokarky planeta garşyda durma (M_1) ýagdaýynyň golaýynda ýerleşende onuň hereketiniň tizliginiň ugrы Ýeriň hereketiniň tizliginiň ugrы bilen ugurdaş bolýar. Ýöne Ýeriň çyzykly tizligi ýokarky planetanyň çyzykly tizliginden uly bolar we Ýerden seredilende planeta ters ugra, çepden saga hereket edýän ýaly bolup görünär.

Şular ýaly pikir ýöretmeler aşaky planetalaryň (Merkuriý, Wenera) aşaky birleşme ýagdaýlarynyň golaýynda V_1 näme sebäpli ters hereket edýändigini, ýokarky birleşme ýagdaýynyň (V_3) golaýynda bolsa dogry ugurda hereket edilýändigini düşündirýär (26-njy surat).

§33. Planetalaryň hereketiniň sinodik we siderik periodlary

Planetanyň iki yzygider birmeňzeş konfigurasiýalarynyň gaýtalanmagynyň wagt aralygyna planetanyň aýlawly hereketiniň sinodik periody (S) diýilýär.

Planetanyň öz orbitasy boýunça Günň daşynda bir doly aýlaw etmegi üçin sarp edýän wagt aralygyna planetanyň aýlawly hereketiniň siderik ýa-da ýyldyz (T) periody diýilýär.

Ýeriň aýlawly hereketiniň siderik periodyna ýyldyz ýyly (T_o) diýilýär. Bu üç periodlaryň arasyndaky ýönekeý matematiki baglanyşygy aşakdaky pikir ýöretmelerden alyp bolýar.

Planetanyň orbitasy boýunça bir gije-gündüzde süýşýän burçy $\frac{360^\circ}{T}$ deň, Ýer bolsa $\frac{360^\circ}{T_o}$ burça süýşýär. Planetanyň we Ýeriň ýa-da

Ýeriň we planetanyň gije-gündüzde süýşýän burçlarynyň tapawudy planetanyň gije-gündiziň dowamynda görünýän süýşmesine, ýagny $\frac{360^\circ}{S}$ deňdir. Bu ýerden aşaky planetalar üçin:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}, \quad (2.1)$$

ýokarky planetalar üçin:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_o} - \frac{1}{T}. \quad (2.2)$$

Bu deňlemelere sinodik hereketiň deňlemesi diýilýär.

Gözegçiliklerden diňe planetalaryň aýlawly hereketiniň sinodik periodlaryny (S) we Ýeriň siderik periodyny, ýagny ýyldyz periodyny kesgitlep bolýandyr. Planetalaryň siderik periodlary (T) bolsa sinodik hereketiň degişli deňlemesinden hasaplanylýar.

Ýyldyz ýylynyň dowamlylygy 365,26 orta Gün gije-gündizine deňdir.

§34. Kepleriň kanunlary

Iogann Kepler (1572–1630) Älemiň gurluşynyň geliosentrik sistemasynyň tarapdary bolmak bilen daniýaly astronom Tiho Brage (1546–1601) tarapyndan ýigrimi ýylyň dowamynda we özüniň birnäçe ýylyň dowamynda Marsa eden gözegçilikleri boýunça bu sistemany kämilleşdirmek meselesini öz önünde goýýar.

Ilkibaşda Kelper asman jisimleri diňe töwerek boýunça hereket edip bilerler diýen, dăp bolup galan düşünjeden ugur alyp, Marsa laýyk gelýän töwerek görnüşli orbitany saýlap, köp wagt sarp edipdir.



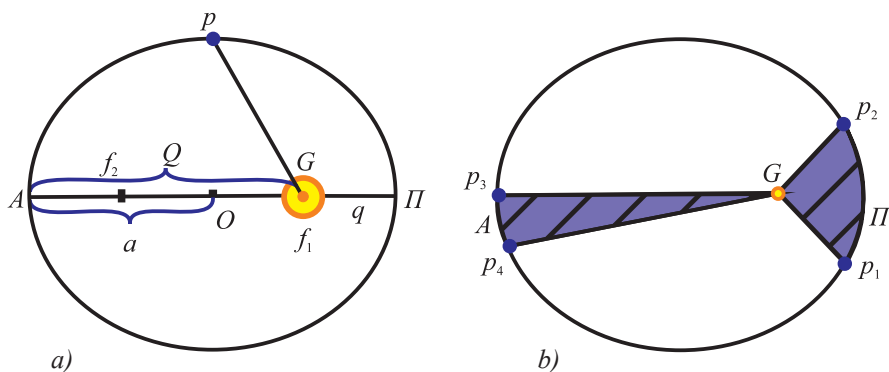
Köp ýyllaryň dowamynda ýerine ýetiren çylşyrymly hasaplama-laryndan soň, planetalaryň hereketleriniň orbitalary töwerek görnüşli bolmaly diýen nädogry düşüňjeden el çekip, Kepler planetalaryň hereketleriniň üç kanunyny açýar. Bu kanunlar häzirki döwürde aşakdaky görnüşde formulirlenýär:

- 1) Hemme planetalar fokuslarynyň birinde (hemme planetalar üçin umumy) Gün ýerleşen ellipsler boýunça hereket edýärler.
- 2) Planetanyň radius-wektory deň wagt aralyklarynda deň meýdanlary çyzýar.
- 3) Planetalaryň Güniň daşyndan aýlawly hereketleriniň siderik periodlarynyň kwadratlary olaryň elliptik orbitalarynyň uly ýarym oklarynyň kublaryna proporsionaldyr.

Belli bolşy ýaly, ellipsiň islendik nokadyndan onuň *AII* okunda ýerleşen, fokuslar diýip atlandyrylýan f_1 we f_2 , nokatlara çenli bolan aralyklaryň jemi hemişelik ululykdyr (27-nji surat).

Bu ýerde O nokat ellipsiň merkezi, $ΠO$ (ýa-da AO) aralyk ellipsiň uly ýarymoky we a bilen belgilenýär, $Of_1 / OΠ = e$ bolsa ellipsiň eks-sentrisiteti. Ekssentrisitet ellipsiň töwerekden süýnmekligini görkezýär. Töwerek üçin $e = 0$.

Planetalaryň orbitalarynyň töwerekden tapawudy örän azdyr, ýagny ekssentrisitetleri kiçi ululyklardyr. Iň kiçi ekssentrisitet Weneranyň orbitasyna ($e = 0,007$), iň uly ekssentrisitet bolsa



27-nji surat. a) Elliptik orbita; b) Kepleriň ikinji kanunynyň çyzgysy

Merkuriýniň orbitasyna ($e = 0,206$) degişlidir. Ýer orbitasynyň eksentrisiteti $e = 0,017$.

Kepleriň 1-nji kanunyna laýyklykda planetanyň elliptik orbitasynyň fokuslarynyň birinde Gün ýerleşendir. Goý, 27-nji suratda Gün f_1 fokusda ýerleşen bolsun. Onda orbitanyň Güne iň golaý ýerleşen Π nokadyna perigeliý diýilýär, Günden iň daşda ýerleşen A nokadyna bolsa afeliý diýilýär. Orbitasynyň $A\Pi$ uly okuna apsid çyzygy, orbitasynda ýerleşen P planetany Gün bilen birleşdirýän f_1P çyzyga bolsa planetanyň radius-wektory diýilýär. Planeta orbitasynyň perigeliý nokadynda bolanda Güne iň golaý barýar, afeliý nokadynda bolsa ondan iň daşda bolýar.

Perigeliýde planetanyň Günden daşlygy

$$q = a(1 - e), \quad (2.3)$$

afeliýde Günden daşlygy

$$Q = a(1 + e). \quad (2.4)$$

Planetanyň Günden uzaklygynyň orta bahasy orbitasynyň uly ýarymoksuna deňdir:

$$a = \frac{q + Q}{2}.$$

Kepleriň ikinji kanunyna laýyklykda, planetanyň radius-wektorynyň Δt wagtda perigeliýniň ýakynynda çyzan CP_1P_2 meýdany onuň afeliýniň ýakynynda şol bir Δt wagtda çyzan CP_3P_4 meýdanyna deňdir (27-nji b surat). P_1P_2 duganyň P_3P_4 dugadan uly bolany sebäpli planetanyň perigeliýniň ýakynyndaky tizligi afeliýdiki tizliginden uludyr. Diýmek planetanyň Günüň daşyndan aýlawly hereketi deňölçeşsizdir. Planetanyň perigeliýdäki tizligi:

$$\vartheta_a = \vartheta_c \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}, \quad (2.5)$$

afeliýdäki tizligi

$$\vartheta_a = \vartheta_c \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}, \quad (2.6)$$

bu ýerde ϑ_c planetanyň orta ýa-da $r = a$ bolandaky aýlaw tizligi, Ýeriň aýlaw tizligi $\vartheta_c = 29,78 \text{ km/s} \approx 29,8 \text{ km/s}$ deňdir.

Keplerin birinji we ikinji kanunlary Kopernigin üçünji we dördünji tassyklamalarynyň nädogrydygyny görkezýär.

Keplerin üçünji kanuny matematiki görnüşde şeýle ýazylýar:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (2.7)$$

Bu ýerde T_1 we T_2 planetalaryň aýlawly hereketiniň siderik periodlary, a_1 we a_2 orbitalarynyň uly ýarymoklary.

Eger planetalaryň orbitalarynyň uly ýarymoklaryny Günden Ýere çenli orta uzaklygyň birliklerinde (astronomik birliklerde), aýlanma periodlaryny bolsa ýyllarda aňlatsak, onda Ýer üçin $a = 1$ we $T = 1$ bolar. Onda islendik başga planetanyň Günüň daşyndan aýlanma periody

$$T = \sqrt{a^3}. \quad (2.8)$$

Keplerin üçünji kanuny planetalar sistemasyny bir bütewilige baglanyşdyrýar.

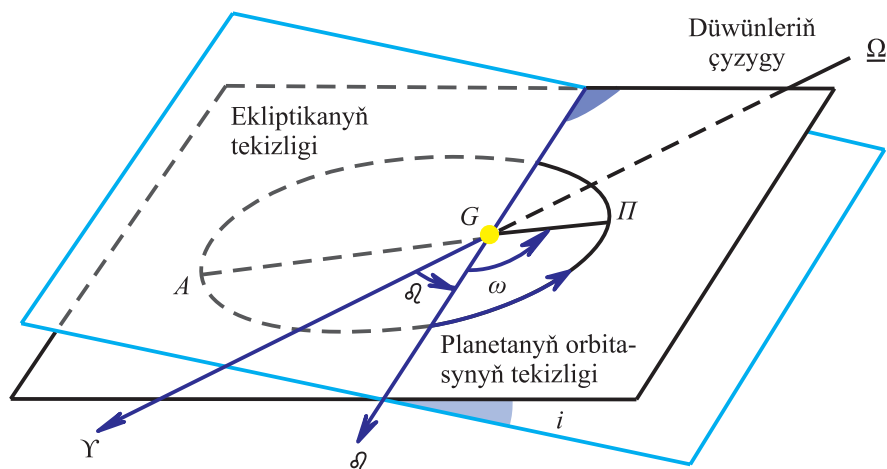
§35. Planetalaryň orbitalarynyň esasy häsiýetnamalary. Nazary astronomiýanyň esasy meseleleri

Eger planetanyň orbitasynyň tekizligi, onuň görnüşü we ölçegi, tekizlikdäki ugry belli bolsa we planetanyň orbitasynyň kesgitli nokadynda boljak wagt pursady anyklanan bolsa, onda planetanyň hereketi doly kesgitlenen bolýar. Planetanyň orbitasyny kesgitleýän ululyklara *planetanyň orbitasynyň elementleri* diýilýär.

Planetanyň orbitasynyň ýerleşiş ýagdaýy kesgitlenende esasy tekizlik diýip kabul edilen, ekliptikanyň tekizligine görä kesgitlenilýär.

Planetanyň orbitasynyň ekliptikanyň tekizligi bilen kesişýän iki nokadyna *dogýan* we *ýaşýan düwünler* diýilýär. Ekliptikanyň günorta polýusyndan demirgazyk polýusyna tarap hereket edip, ekliptikany kesip geçýän nokady planetanyň orbitasynyň dogýan düwnüdür. Planetanyň elliptik orbitasyny 6 sany esasy elementi kesgitleýär (28-nji surat).

1) Planetanyň orbitasynyň tekizliginiň ekliptikanyň tekizligine ýapgytlygy – *i*. Ýapgytlyk 0° -dan 180° -a çenli aralykda islen-



28-nji surat. Orbitalaryň elementleri

dik bahany alyp bilýär. Eger $0 \leq i \leq 90^\circ$ bolsa, onda planeta Günüň (G) daşynda Ýeriň aýlanýan (dogry) ugry boýunça aýlanýar; eger $90^\circ < i < 180^\circ$ bolsa onda planeta ters ugurda aýlanýandyr.

2) Dogýan düwnüň (Ω) uzaklygy (geliosentrik), ýagny Günüň merkezinden dogýan düwne tarap bolan ugur bilen ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna bolan ugruň arasyndaky burç. Dogýan düwnüň uzaklygy 0° -dan 360° -a çenli aralykda islendik bahany alyp bilýär.

Dogýan düwnüň Ω uzaklygy we i ýapgytlyk orbitanyň tekizliginiň giňişlikdäki ýerleşişini kesgitleýärler.

3) Perigeliýniň düwünden ω burç aralygy, ýagny Günüň merkezinden dogýan düwne bolan ugur bilen perigeliýä (Π) bolan ugruň arasyndaky burç. Bu ululyk orbitanyň tekizliginde planetanyň hereket edýän ugry boýunça hasaplanylýar we 0° -dan 360° -a çenli aralykda islendik bahany alyp bilýär. Perigeliýniň ω burç aralygy orbitanyň onuň tekizligindäki ýerleşişini kesgitleýär. (Käwagt ω ýerine perigeliýniň uzaklygy $\pi = \Omega + \omega$ hem berilýär.)

4) Elliptik orbitanyň a uly ýarymoky. Planetanyň Günüň daşyndan aýlanmagynyň siderik peridy esasan hem orbitanyň uly ýarymoky bilen kesgitlenýändir. Köplenç bu ululyk bilen birlikde planetanyň orbitasynyň elementi hökmünde gije-gündiziň dowamyndaky hereke-

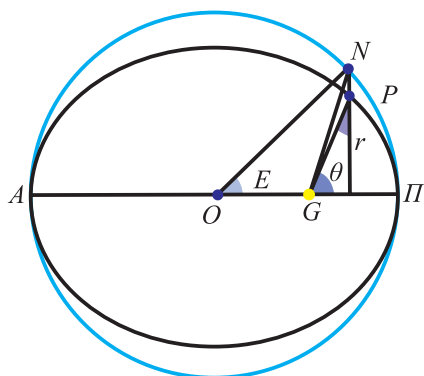


ti $n = \frac{360^\circ}{T} = \frac{2\pi}{T}$, ýagny planetanyň gije-gündiziň dowamyndaky burç tizliginiň orta bahasy berilýär.

5) Orbitanyň ekssentrisiteti $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$, bu ýerde a we b

elliptik orbitanyň ýarymoklary. Uly ýarymok a we ekssentrisitet e orbitanyň ölçeglerini we görnüşini kesgitleýändir.

6) t_0 perigeliýden geçme pursady, ýagny haýsy hem bolsa kesgitli t wagat pursadynda planetanyň orbitasynda ýerleşiş ýagdaýy.



29-njy surat. Hakyky, orta we ekssentrik anomaliýa

Planetanyň perigeliýden geçme wagat pursadyny t_0 we orbitasynyň beýleki elementlerini bilip, onuň islendik t wagat pursadynda orbitasynyň tekizliginde ýerleşjek ýagdaýyny kesgitlemek mümkindir. Planetanyň orbitasynda ýerleşýän ýagdaýy iki ululygyň – r radius-wektoryň we ϑ hakyky anomaliýanyň ululyklary bilen kesgitlenilýändir. Hakyky anomaliýa diýip G Günden Π perigeliý nokadyna

tarap ugur bilen planetanyň radius-wektorynyň aralygyndaky ΠGP burça aýdylýar (29-njy surat). r radius-wektor we ϑ hakyky anomaliýa aşakdaky formulalar boýunça hasaplanýlar:

$$r = a(1 - \cos E) \quad (2.9)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}, \quad (2.10)$$

bu ýerde $E = \angle \Pi ON$ deňdir we oňa ekssentrik anomaliýa diýilýär.

Ekssentrik anomaliýa E Kepleriň deňlemesinden hasaplanýlar:

$$M = E - e \sin E, \quad (2.11)$$

bu ýerde $M = \angle \Pi CN = \Pi N$ we oňa orta anomaliýa diýilýär. Orta anomaliýanyň ululygy eger-de planeta radiusy a bolan töwerek boýunça orta burç tizligi n bilen deňölçegli hereket eden ýagdaýynda $(t - t_0)$ wagat aralygynda çyzýan dugasyňa deňdir, ýagny:

$$M = n(t - t_0) = \frac{2\pi}{T}(t - t_0). \quad (2.12)$$

Planetanyň islendik t wagat pursady üçin ýerleşýän ýagdaýyny hasaplamak aşakdaky zyzgiderlik boýunça ýerine ýetirilýär:

1) T we $(t - t_0)$ belli bolan (2.12) formula boýunça M orta anomaliýa kesgitlenýär;

2) (2.11) formula boýunça, e we M belli bolanda, zyzgiderli ýakynlaşmalar usuly bilen E ekssentrik anomaliýa kesgitlenýär;

3) (2.9) we (2.10) formulalar boýunça r radius-wektor we ϑ hakyky anomaliýa hasaplanylýar.

Berlen wagat pursatlary üçin planetanyň orbitasynda ýerleşen ýagdaýyny kesgitlep, edil şol wagat pursatlary üçin onuň giňişlik geliosentrik koordinatalaryny hasaplamak mümkindir. Ýeriň orbitasynyň elementlerini bilip, şol wagat pursady üçin Ýeriň öz orbitasyndaky ýerleşen ýagdaýyny hasaplap, planetanyň geliosentrik koordinatalaryny we onuň Ýeriň merkezinden uzaklygyny kesgitlemek mümkindir.

Planetalaryň görünýän koordinatalaryny olaryň orbitalarynyň elementleri boýunça kesgitlemäge efemeridleri hasaplamak diýilýär, ýagny planetalaryň ýerleşjek ýagdaýlary uzak möhletler üçin önünden hasaplanan tablisalar görnüşinde getirilýändir.

Ters meselä, ýagny planetalaryň orbitalarynyň elementlerini gözegçilikden alnan koordinatalary boýunça kesgitlemäge orbitalary kesgitlemek diýilýär. Bu mesele efemeridleri hasaplamakdan köp çylşyrymlydyr. Kepler bu meseläni uzak wagtlaryň dowamynda gözegçilik edilen planetalar üçin çözüpdir. Täze planetalar we kometalar açylanda 3-den az bolmadyk gözegçilikleriň esasynda orbitalaryny kesgitlemek usulyýeti XIX asyryň başynda işlenip düzülendir.

Efemeridleri hasaplamak we orbitalary kesgitlemek – nazary astronomiýanyň esasy meseleleriniň biridir.

§36. Mehanikanyň esasy kanunlary

Kepler tarapyndan planetalaryň hereket kanunlary kesgitlenenden soň bu hereketleriň sebäbini kesgitlemek meselesiniň ýüze çykmagy tebigydyr. Bu meseläniň çözüwi ilki bilen tebigy bilimleriň



mehanika bölümüne deęiřli bolan islendik jisimleriň hereket kanunlaryny anyklamagy talap edipdir.

Galileýiň (1564–1642), Gýuýgensini (1629–1695) we beýleki alymlaryň ylmy işleriniň netijesinde mehanikany tejribe üsti bilen esaslandyrmak ýola goýlan döwründe Nýuton jisimleriň hereketleriniň üç esasy kanunyny formulirläpdir.

1-nji kanun

Eger jisime güýç täsir etmese ýa-da täsir edýän güýçler özara deňagramlaşýan bolsalar, onda jisim dynçlykda ýa-da gönüçyzykly deňölçegli hereketde bolar.

Bu kanuna inersiýa kanuny diýilýär. Eger m – jisimiň massasy, v – tizligi bolsa, onda inersiýa kanunyny aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$mv = \text{const.} \quad (2.13)$$

Eger $v=0$ bolsa, onda jisim dynçlykda bolar; eger $v=\text{const} \neq 0$ bolsa, onda jisim deňölçegli we gönüçyzykly hereket eder. mv köpeltmek hasylyna jisimiň hereket mukdary diýilýär. Jisimiň hereket mukdarynyň üýtgemesi diňe başga jisimiň täsiri netijesinde, ýagny güýjüň täsiri netijesinde bolýandyr.

2-nji kanun

Hereket mukdarynyň üýtgemesi üýtgemäni ýüze çykaran güýjüň ululygyna proporsionaldyr we onuň täsir edýän urgy boýunça (üýtgeýändir) bolup geýýändir.

Ikinji kanunyň matematiki aňladylyşy:

$$\frac{d}{dt}(mv) = F \quad \text{ýa-da} \quad F = m\omega. \quad (2.14)$$

Ýagny jisimiň massasynyň m onuň tizlenmesine v bolan köpeltmek hasyly täsir edýän F güýje deňdir.

(2.14) deňlemä material nokadyň dinamikasynyň esasy kanuny diýilýär.

3-nji kanun

Täsir ululugy boýunça deň bolan, ýöne garşylykly ugrukdyrylan garşylykly täsiri döredýändir. Başgaça aýdanymyzda iki jisimiň

biri-birine täsiri ululygy boýunça deň bolup garşylykly ugrukdyrylandyr.

Eger massasy m_1 bolan haýsy hem bolsa bir jisim massasy m_2 bolan başga jisim bilen özara täsirleşmegi netijesinde ikinji jisimiň hereket mukdary $m_2 v_2$ ululyga üýtgeýän bolsa, onda ikinji jisimiň täsiri netijesinde birinji jisimiň hereket mukdary edil şol ululyga deň bolan, ýöne garşylykly ugrukdyrylan $m_1 v_1$ ululyga üýtgär, ýagny

$$\frac{d}{dt}(m_2 v_2) = -\frac{d}{dt}(m_1 v_1) \quad \text{ýa-da} \quad F_2 = -F_1. \quad (2.15)$$

§37. Nýutonyň бүтіндүнйә dartyлма kanuny

Jisimleriň hereketleriniň esasy kanunlary we Kepleriň empiriki kanunlary Nýutona aşakdaky kanuny formulirlemege we matematiki subut etmeklige mümkinçilik berdi:

Planetalary gönüçyzykly hereketden gyşardýan we öz orbitalarynda saklaýan güýç Güne ugrukdyrylandyr we planetanyň Güniň merkezinden uzaklygynyň kwadratyna ters proporsionaldyr.

Soňra planetany öz orbitasynda saklaýan güýjüň tebigatynyň Ýeriň üstünde täsir edýän agyrylyk güýjüniň tebigaty bilen birdigini subut edip, Nýuton bu teoremany umumylaşdyrýar we бүтіндүнйә dartyлма kanunyny formulirleýär:

«Islendik iki material bölejikler massalarynyň köpeltmek hasylyna göni proporsional we aralaryndaky uzaklygyň kwadratyna ters proporsional bolan güýç bilen biri-birine dartylýarlar».

Nýutonyň бүтіндүнйә dartyлма kanuny matematiki aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.16)$$

bu ýerde m_1 we m_2 – bölejikleriň massalary, r – olaryň aralaryndaky uzaklyk, G – proporsionallyk koeffisiýenti. Bu koeffisiýent birlik massaly iki jisim birlik uzaklykda ýerleşenlerinde biri-birine dartyлма güýjüne deňdir. G koeffisiýente dartyлма hemişeligi ýa-da grawitasion hemişelik diýilýär.

§38. Dartyлма güýjüniň massa we şekile baglylygy

Mehanikanyň ikinji esasy kanunyndan (2.14) we bütindünýä dartyлма kanunyndan (2.16) aşakdakylar gelip çykýar:

1. Iki material bölejikler, ýa-da material nokatlar (ýagny ölçegleri aralaryndaky uzaklyk bilen deňeşdirilende örän kiçi bolan material jisimler) birdeň F güýç bilen özara dartylýarlar, ýöne massalaryna ters bolan dürli tizlenme alýarlar. Hakykatdan hem, F güýjüň täsiri netijesinde massasy m_1 bolan birinji jisim ikinji jisime tarap ugrukdyrlan

$\omega_1 = G \frac{m_2}{r^2}$ tizlenme, massasy m_2 bolan ikinji jisim bolsa birinji jisi-

me ugrukdyrlan $\omega_2 = G \frac{m_1}{r^2}$ tizlenme alarlar. Bu ýerden:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Mysal üçin, Aýyň massasy Ýeriň massasydan näçe esse kiçi bolsa, Aýyň dartmagy netijesinde Ýeriň alýan tizlenmesi Ýeriň dartmagy netijesinde Aýyň alýan tizlenmesinden şonça esse kiçidir.

2. Iki sany material nokatlaryň özara (otnositel) tizlenmesi ω_{ot} olaryň tizlenmeleriniň $\omega_{ot} = \omega_1 - \omega_2$ tapawudyna deňdir, sebäbi ω_1 we ω_2 tizlenmeler garşylykly ugrukdyrylandyrlar. Onda

$$\omega_{ot} = G \frac{m_1 + m_2}{r^2} \quad (2.17)$$

otnositel tizlenme bölejikleriň massalarynyň jemine proporsionaldyr.

Diýmek, otnositel hereketiň tizlenmesiniň ululygy eger-de bölejikleriň massalary olaryň birinde jemlenen ýagdaýynda aljak tizlenmesiniň ululygyna deňdir. Şol sebäpli iki sany özara dartylýan jisimleriň hereketi öwrenilýän meseleler çözülen-de, gozganmaýan merkezde ýerleşen jisimiň täsiri netijesinde beýleki jisimiň hereketini öwrenmek ýeterlidir.

3. Massasy m bolan material nokatdan deň uzaklykda ýerleşen, massalary m_1 we m_2 bolan, material nokatlara ululyklary $F_1 G = \frac{mm_1}{r^2}$

we $F_2 = G \frac{mm_2}{r^2}$ bolan dürli güýçler bilen dartylarlar we ululyklary

deň bolan

$$w_1 = w_2 = G \frac{m}{r^2}$$

tizlenme alarlar.

Mysal üçin, Gün Ýeri Aý bilen deňeşdireniňde has uly güýç bilen dartýandyr. Ýöne olar Günden deň uzaklykda ýerleşenlerinde onuň dartylma güýjüniň täsiri netijesinde deň tizlenme alýandyrlar.

Nýutonyň dartylma kanuny material bölejikler üçin döredilen bolsa-da, asman jisimleri-Gün, Aý, planetalar, ýyldyzlar material bölejikler däldir, olaryň hasaba alarlyk göwrümleri bardyr. Oňa garamazdan Nýuton aşakdaky tassyklamalary subut edendir:

1) Eger özara dartylýan iki jisim şar görnüşli we deňölçegli dykzylykly bolsalar, onda olar massalary merkezinde jemlenen jisimler ýaly biri-birine dartylarlar;

2) Umumy merkezli, iki sany şar görnüşli üstler bilen çäklenen, birmenşeş dykzylykly şar görnüşli gatlaklar, massalary merkezinde jemlenen jisimler ýaly biri-birine dartylarlar.

3) Hemme ýerinde dykzylygy birmenşeş bolmadyk, ýöne birmenşeş dykzylykly madda şar görnüşli konsentrik gatlaklary emele getirýän şarlar hem massalary merkezinde jemlenen jisimler ýaly biri-birlerine dartylarlar.

Bular ýaly jisimler üçin (2.16) formuladaky r şarlaryň merkezleriniň arasyndaky uzaklygy aňladýar. Şunlukda, şarlaryň radiuslary r uzaklyk bilen deňeşdirilende islendik ölçeglerde bolup bilerler, ýöne olaryň jemi r uzaklykdan kiçi bolmalydyr. Asman jisimleriniň hemmesiniň diýen ýaly, konsentrik şar görnüşli çäklerinde dykzylygy üýtgemeyär diýip hasaplap bolýan gatlaklardan ybarat bolan şar şekillidigini we olaryň merkezleriniň aralaryndaky uzaklyklaryň olaryň öz ölçeglerinden köp esse uludygyny göz önünde tutup, olaryň özara täsirleri öwrenilende birinji tapgyrda olaryň şar görnüşden gyşarmalaryny hasaba alman bolýandyr.

§39. Dartylma güýjüniň we agyrylyk güýjüniň deňligi

Ýeriň üstünde hemme jisimler agyrylyk güýjüniň täsiri netijesinde erkin gaçanda ululygy $9,81 \text{ m/s}^2$ bolan tizlenme alýarlar.



Goý, agyrlyk güýji jisimiň Ýeriň merkezinden uzaklygynyň kwadratyna ters baglanyşykda üýtgeýän bolsun. Onda Ýeriň merkezinden 60 Ýer radiusyna deň uzaklykda ýerleşen Aý, Ýeriň üstündäki jisimiň alýan g tizlenmesinden 60^2 esse kiçi bolan g' tizlenme almalı, ýagny

$$g' = \frac{g}{60^2} = \frac{9,81}{3600} \text{ m/s}^2 = 0,0027 \text{ m/s}^2.$$

Nazary mehanikadan belli bolşy ýaly, töwerek boýunça deňölçepli hereket edýän nokadyň merkeze ymtylýan tizlenmesi

$$w = \omega^2 r,$$

bu ýerde ω – burç tizligi, r – töweregiň radiusy.

Aýyň orbitasyny takmynan radiusy $r = 60 \cdot 6378 \text{ km}$ bolan töwerek, Ýeriň daşyndan aýlanmasynyň periodyny 27,3 orta gije-gündiz diýip hasaplap, Aýyň orbitasy boýunça hereket edende onuň merkeze ymtylýan tizlenmesi:

$$w = \left(\frac{2\pi}{27,3 \cdot 86400} \right)^2 \cdot 60,6378 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2 = 0,0027 \text{ m/s}^2.$$

g' we w ululyklaryň birdeň san bahalarynyň alynmagy Aýy orbitasynda saklaýan dartylma güýjüniň Ýeriň merkezinden Aýa çenli aralygyň kwadratyna proporsionalykda kemelýän agyrlyk güýjüdir.

Bu netijeleriň esasynda Nýuton agyrlyk güýjüniň Älem giňişligindäki hemme jisimleriň arasynda täsir edýän özara dartylma güýjüne tozdestwolaýyn deňligi barada netije çykarýar we bütindünýä dartylma kanunyny §37 getirilen görnüşde formulirleýär.

§40. Agyrlyk güýjüniň Ýeriň üstünde üýtgemesi

Ýeriň üstünde agyrlyk güýji iki güýjüň, ýagny Ýeriň merkezine ugrukdyrylan dartylma güýjüniň we Ýeriň aýlanma okuna perpendikulýar ugrukdyrylan merkezden daşlaşýan güýjüň deň täsir edijisidir. Ýeriň aýlanma okunyň ugry boýunça gysylan şar (ellipsoid) görnüşli bolany üçin, dartylma güýji polýuslarda başga ýerlerdäkiden uludyr we ekwatora tarap kemelýändir.

Ondan başga-da merkezden daşlaşýan güýç dartylma güýjüniň garşysyna täsir edýändir. Şonuň üçin agyrlyk güýji Ýeriň üstünde polýuslaryndan ekwatora tarap kemelýändir.

Polýuslardaky we ekwatordaky agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň tapawudy $g_{90} - g_0 = 9,832 \text{ m/s}^2 - 9,780 \text{ m/s}^2 = 0,052 \text{ m/s}^2$ deňdir. Bu tapawudyň 2/3 bölegi Ýer ekwatoryndaky merkezden daşlaşýan tizlenme sebäpli we 1/3 bölegi bolsa Ýeriň ellipsoid görnüşli bolany sebäpli ýüze çykýandyr.

Agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň orta bahasy $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ diýip kabul edilendir.

Ýer üstüniň dürli ýerlerinde geçirilen agyrlyk güýjüniň tizlenmesiniň ölçegleriniň netijeleri onuň Ýeriň ellipsoid görnüşliligi bilen baglanyşykly normal üýtgemelerinden gysarmalaryň (tolgunmalaryň) bardygyny görkezýär. Bu gysarmalara agyrlyk güýjüniň anomaliýasy diýilýär we Ýeriň gabygynyň gurluşynyň dürlüligi bilen düşündirilýär. Bu dürlülük Ýer gabygyny düzýän dag jynslarynyň dykyzlygynyň dürlüligi sebäpli döreýär.

Ýer gabygynyň ýokarky gatlaklaryndaky käbir ownuk birhilli dällikler, ýagny dürlülükler agyrlyk güýjüniň ýerli anomaliýasyny ýüze çykarýar. Ýerli anomaliýa dykyzlygy örän uly bolan (mysal üçin demir düzüjili magdanlar) ýa-da dykyzlygy kiçi bolan (mysal üçin nebit, daş duzy) ýerasty peýdaly baýlyklaryň gorlarynyň barlygynyň tassyknamasydyr.

§41. Dartylmanyň tebigaty we tapawutly häsiýetleri

Nýutonyň bütindünýä dartylma kanuny tebigatyň in wajyp kanunydyr. Asman jisimleriniň hereketleriniň hemmesi diýen ýaly we başgada köp sanly örän çylşyrymly hadysalar ýönekeý matematiki formula bilen aňladylan bu kanun bilen düşündirilýär.

Dartylma güýjüni tebigatyň beýleki güýçlerinden, mysal üçin, elektrik we magnit güýçlerinden tapawutlandyryan birnäçe wajyp häsiýetleri bardyr. Dartylmanyň has ajaýyp wajyp häsiýetleri aşakdakylardyr:

1) dartylma güýjüniň uzak aralyklarda täsiri, ýagny biri-birinden nähili uzaklyklarda ýerleşýändiklerine garamazdan, Älem giňişligindäki hemme jisimleriniň arasynda täsir edýändir;

2) dartylma güýji jisimleriniň özara ýerleşişlerine baglydyr we olaryň özara ýerleşiş üýtgände dartylma güýji hem üýtgeýändir;



3) dartylmanyň täsiri jisimleriň himiki düzümine, fiziki ýagdaýyna we beýleki dürli häsiýetlerine bagly bolman, diňe olaryň massalaryna baglydyr;

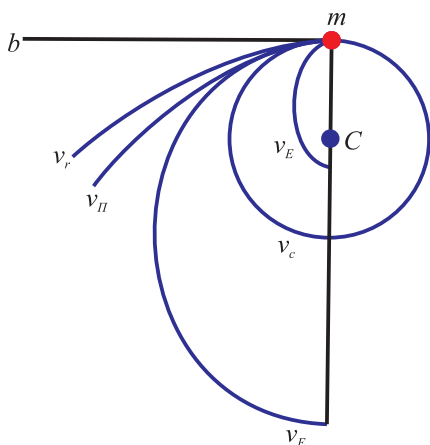
4) dartylma güýji üçin hiç-hili päsgelçilik ýokdur.

Islendik dürli materialdan ýasalan goragyň ýa-da ekranyň kömegi bilen agyrylyk güýjüniň täsirine iň bolmanda bölekleyin hem päsgelçilik döredip bilmeýäris. Biz tebigatda hiç ýerde şular ýaly ýaýraýan fiziki häsiýetli hadysalara we proseslere gabat gelmeýäris. Mysal üçin, ýagtylyk, rentgen şöhleleri, radiotolkunlar, elektrik we magnit güýçleri – bularyň ählisi azda-kände dürli material jisimler, material sredalar tarapyndan siňdirilýändir.

Dartylmanyň tebigaty, onuň fiziki manysy (esasy) häzire çenli doly anyklanan däldir. Eýnşteýniň otnositellik nazarýetine laýyklykda dartylma dünýäniň giňişlik-wagt häsiýetnamalarynyň ýüze çykarmasydyr, hemme hereketleriň esasynda ýatan we düýp manysynda inersiýa bilen toždestwolaýyn deň bolan materialyň esasy häsiýetidir.

§42. Material nokadyň dartylma güýjüniň täsiri astynda hereketi (iki jisim meselesi)

Bu mesele material nokadyň dinamikasynyň esasy deňlemesinden (2.14) alynýan hereketiň differensial deňlemelerini integrirleme ýoly bilen çözülýär. Bu deňlemede F -güýç dartylma güýjüdür. Biz bu deňlemeleriň çözüwlerine sere-dip geçäris.



30-njy surat. Iki jisim meselesi

Eger hereket etmeýän C nokatda jemlenen M massa belli bir pursatda m material nokady aralaryndaky uzaklygyň kwadraty-na ters proporsional bolan güýç bilen özüne dartyp başlasa, onda m nokadyň alýan tizlenmesi mC göni boýunça ugrukdyrylan bolar. Bu nokadyň ondan soňky hereketi C nokatdan uzaklygyna, başlangyç pursatdaky (M



massanyň özüne dartyp başlan pursadyndaky) v_0 tizliginiň ululygyna we ugruna bagly bolar.

Eger tizlik $v_0 > 0$, ýöne käbir çäk v_c tizlikden uly bolmasa, onda m nokat fokuslarynyň birinde C nokat ýerleşen ellips boýunça hereket eder (30-njy surat). Ellipsiň tekizligi v_0 tizligiň ugrunyň we C hem-de m nokatlaryň üstlerinden geçer.

Ellipsiň görnüşi we ölçegleri v_0 tizligiň ululygyna baglylykda dürli bolar. v_0 tizligiň kiçi bahalarynda ellips güýçli gysylan bolar, onuň uly oky Cm uzaklykdan sähelçe uly bolar we C nokat m nokatdan uzakdaky fokusda ýerleşer. Eger v_0 tizlik v_c tizlige golaý, ýöne ondan kiçi bolsa, onda ellipsiň eksentrisiteti kiçi bolar, onuň uly ýarymoky Cm aralykdan sähelçe kiçi bolar, C nokat ellipsiň merkezine ýakynlaşar, ýöne m nokatdan uzakdaky fokusda galar.

Eger başlangyç tizlik $v_0 = v_c$ we Cm çyzyga perpendikulýar ugrukdyrylan bolsa, onda m nokat radiusy Cm deň bolan töwerek boýunça hereket eder.

Eger tizlik $v_0 > v_c$, ýöne käbir çäk $v_n = v_c \sqrt{2}$ tizlikden uly bolmasa, onda m nokat ellips boýunça hereket eder, ýöne C nokat m nokada golaýdaky fokusda ýerleşer, ellipsiň uly oky v_0 tizlik v_π tizlige näçe golaý bolsa, şonçada uly bolar.

Eger tizlik $v_0 = v_\pi = v_c \sqrt{2}$ bolsa, onda m nokat Cm oka parallel bolan ugra ýakynlaşýan iki şahasy hem tükeniksizlige gidýän parabola boýunça hereket eder: m nokat M jisimden daşlaşdygyça onuň tizligi nola ymtylyp başlar.

Eger tizlik $v_0 > v_\pi$ bolsa, onda m nokat şahalary tükeniksizlige gidýän giperbola boýunça hereket eder we örän uly başlangyç tizliklerde şahalar Cm oka perpendikulýar bolan ugra ýakynlaşar. m nokat giperbola boýunça hereket edip daşlaşdygyça onuň tizligi käbir hemişelik ululyga ýakynlaşyp başlar.

Çäk ýagdaýlarda, haçan-da tizlik $v_0 = \infty$ bolanda, m nokat mb göni boýunça hereket eder, haçan-da $v_0 = 0$ bolanda bolsa m nokat mC göni boýunça hereket eder.

m nokadyň C nokatdan islendik r uzaklykdaky v tizligi

$$v^2 = G(M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \quad (2.18)$$



formuladan alynýar, bu ýerde a – ellipsiň uly ýarymoky. Bu formula energiýa integraly diýilýär.

Eger m nokat töwerek boýunça hereket edýän bolsa, ýagny $r = a$ bolsa, onda (2.18) aňlatmadan alarys

$$v_c = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r}}. \quad (2.19)$$

Eger m nokat parabola boýunça hereket edýän bolsa, onda $a = \infty$ we

$$v_\pi = v_c \sqrt{2}. \quad (2.20)$$

v_c – töwerek boýunça tizlik, v_π – parabolik tizlik diýilýär. Elliptik hereketiň tizligi $0 < v_E < v_\pi$ çäklerde kesgitlenendir, giperbolik tizlik bolsa $v_G > v_\pi$. Giperbolik orbita hem edil elliptik orbita ýaly, alty element bopunça kesgitlenýär, ýöne uly ýarymokuň ýerine $a = \infty$, peregeliý q aralygy berilýär. Parabolik orbita baş element: $i, \Omega, \omega, t_0, q$ boýunça kesgitlenýär, sebäbi parabola üçin $a = \infty$ we $e = 1$.

§43. Kepleriň umumylaşdyrylan birinji kanuny

Kepleriň kanunlary empiriki, ýagny planetalaryň görünýän hereketlerine gözegçilikleriň netijelerine esaslanyp alnandyr. Şol sebäpli Kepleriň 1-nji kanunynyň kesgitlemesi uly planetalar we Günň daşynda ýapyk orbitalar boýunça hereket edýän Gün sistemasynyň jisimleri üçin dogrudyr.

Eger asman jisimleriniň hereketlerini doly manyda göz önünde tutjak bolsak, onda geçen paragrafyň esasynda Kepleriň 1-nji kanunyny şu görnüşde formulirlmek bolar:

dartylma güýjiniň täsiri nerijesinde bir asman jisimi beýleki asman jisiminiň dartylma meýdanynda konus kesikleriň biri – töwerek, ellips, parabola ýa-da giperbola boýunça hereket edýär.

Kepleriň şu görnüşde fomulirlenen 1-nji kanuny indi orbitalary ýa ellips, ýa parabola, ýa-da giperbola bolan hemme kometalar üçin dogrudyr. Bu kanun fokuslarynyň birinde planeta ýerleşen elliptik orbitalar boýunça hereket edýän, planetalaryň hemralary üçin hem, umumy massa merkezleriniň daşynda elliptik orbitalar boýunça hereket edýän goşa ýyldyzlar üçin hem dogrudyr. Şunlukda jisimleriň

orbitalarynyň görnüşini we ölçegleri diňe başlangyç tizlige baglydyr (jisimiň tizligi mydama radiusa perpendikulýar bolýan, töwerek boýunça hereketden başga ýagdaýlarda).

§44. Kepleriň ikinji kanuny

Başlangyjy dartýan merkezi M jisimde ýerleşen, xy tekizligi bolsa jisimiň orbitasynyň tekizligi bilen gabat gelýän, gönüburçly koordinatalar sistemasyny saýlap alalyň.

Tizlenmäni we güýji x we y koordinata oklaryna proyektirläp (31-nji surat), dinamikanyň esasy deňlemesini (2.14) aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x, \quad m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_y.$$

Bu deňlemeleri deňişlilikde y -e we x -e köpeldip, hem-de ikinjiden birinjini aýyryp, alarys:

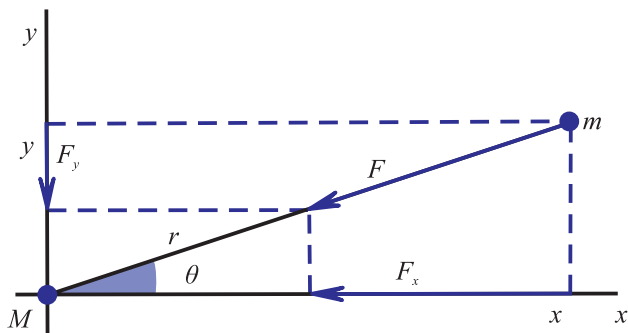
$$m \left(x \frac{d^2 y}{dt^2} - y \frac{d^2 x}{dt^2} \right) = x F_y - y F_x \quad \text{ýa-da}$$

$$m \frac{d}{dt} \left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right) = x F_y - y F_x.$$

Güýç merkezi bolanlygy sebäpli

$$\frac{F_x}{F_y} = \frac{x}{y}, \quad \text{ýagny} \quad y F_x = x F_y$$

dogrudyr.



31-nji surat. Kepleriň ikinji kanunyna deňişli çyzgy



Şonuň üçin

$$\frac{d}{dt}\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right) = 0,$$

ýa-da
$$x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = \text{const.} \quad (2.21)$$

Polýar koordinatalarda

$$\begin{aligned} x &= r\cos\vartheta, \\ y &= r\sin\vartheta. \end{aligned}$$

Bu ýerde r nokadyň koordinatalar başlangyjyndan uzaklygy (nokadyň radius-wektory), ϑ – polýar burç (hakyky anomaliýa).

Eger gönüburçly koordinatalar sistemasyndan polýar koordinatalar sistemasyna geçsek, onda (2.21) aňlatma aşakdaky görnüşli alar:

$$r^2 \frac{d\vartheta}{dt} = \text{const}, \quad (2.22)$$

ýagny, radius wektoryň wagt birliginde çyzýan meýdany hemişelik ululykdyr. Bu formula Kepleriň ikinji kanunynyň metematiki aňlatmasydyr.

§45. Kepleriň üçünji (takyklanan) kanuny

Töwerek boýunça aýlawly hereketde tizlenme $w = \omega^2 r$ deňdir. Bu ýerde burç tizligi $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T bolsa töwerek boýunça aýlanma periody. Onda tizlenme

$$w = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Eger massasy m bolan asman jisiminiň massasy M bolan merkezi jisimiň daşynda töwerek boýunça otnositel hereketine seretsek, onda (2.17) deňlemä görä otnositel tizlenme

$$w_{ot} = G \frac{(M + m)}{r^2}$$

deň bolar. w we w_{ot} – şol bir tizlenme bolany üçin, aňlatmalaryň sag tarapyňy deňläp, alarys

$$\frac{r^3}{T^2 (M + m)} = \frac{G}{4\pi^2} = \text{const.} \quad (2.23)$$



Eger asman jisiminiň ellips boýunça hereketine seretsek, onda (2.23) meňzeş gatnaşyk alarys, ýöne onda töweregiň r radiusy ellipsiň a uly ýarymoky bilen çalşylar we T bolsa jisimiň ellips boýunça aýlanmasynyň periodyny aňladar. Bu aňlatmany massalary m_1 we m_2 , elliptik orbitalarynyň uly ýarymoklary a_1 we a_2 , massalary M_1 we M_2 bolan merkezi jisimleriniň daşyndan aýlanma periodlary T_1 we T_2 bolan iki jisim üçin ýazalyň. Bu aňlatma aşakdaky görnüşde bolar:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2 (M_1 + m_1)} = \frac{G}{4\pi^2}; \quad \frac{a_2^3}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{G}{4\pi^2},$$

bu ýerden

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (2.24)$$

Bu aňlatma Kepleriň üçinji kanunynyň takyk aňlatmasydyr. Eger iki planetanyň Günüň daşyndan aýlawly hereketine seretsek, ýagny şol bir jisimiň daşyndan aýlanmasyna seretsek, onda $M_1 = M_2$ we planetalaryň massalaryny hasaba almasak $m_1 = m_2 = 0$ (Günüň massasy bilen deňeşdireniňde örän kiçi bolanlary üçin), onda Kepleriň gözegçilikleriniň esasynda çykaran (2.7) formulasyny alarys:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Planetalaryň massalarynyň Günüň massasy bilen deňeşdirilende örän kiçidikleri sebäpli Kepleriň formulasy gözegçilikler bilen gowy ylalaşýar.

Asman jisimleriniň massalaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýän (2.23) we (2.24) formulalar astronomiýada wajyp ähmiýete eýedirler.

§46. Tolgunmaly hereket barada düşünje

Eger-de Gün sistemasynyň haýsy hem bolsa bir jisimi diňe Gün tarapyndan dartylýan bolan bolsa, onda ol Günüň daşyndan Kepleriň kanunyna laýyklykda hereket ederdi. Iki jisim meselesiniň çözüwine laýyk gelýän bular ýaly herekete tolgunmasyz hereket diýilýär. Hakykatda bolsa Gün sistemasynyň hemme jisimleri diňe Gün tarapyndan dartylman, biri-birleri bilen hem dartylýandyrlar.



Şonuň üçin Gün sistemasynda hiç bir jisim ellips, parabola, giperbola, aýratyn hem töwerek boýunça takyk hereket edip bilmez. Jisimleriň hereketiniň Kepleriň kanunlaryndan gysarmaklaryna tolgunmalar diýilýär, jisimleriň hakyky herektlerine bolsa tolgunmaly hereket diýilýär. Gün sistemasynyň jisimleriniň tolgunmalary örän çylşyrymly häsiýete eýedir we olaryň uly dældigine garamazdan (sebäbi, bu jisimleriň massalarynyň jemi Günüň massasynyň 1/700 böleginden hem kiçidir), olary hasaba almak örän çylşyrymlydyr. Tolgunmany ýagtyltgyjyň tolgunmaly we tolgunmasyz hereketlerinde ýerleşişleriniň tapawudy ýaly seretmek bolar, jisimleriň tolgunmaly hereketini bolsa elementleri üýtgeýän orbitalar boýunça Kepleriň kanunlaryna laýyk gelýän hereket ýaly göz önüne getirmek bolar.

Merkezi jisimden başga jisimleriň dartmagy netijesinde jisimiň orbitasynyň elementleriniň üýtgemelerine elementleriň tolgunmasy ýa-da deňsizligi diýilýär. Elementleriň tolgunmasy asyryk we periodiki tolgunmalara bölünýär.

Gün sistemasynyň jisimleriniň asyryk tolgunmalary olaryň orbitalarynyň özara ýerleşişlerine baglydyr. Orbitalaryň özara ýerleşişleri örän uzak wagtyň dowamynda örän kiçi üýtgeýändir. Şol sebäpli elementleriň asyryk tolgunmalary şol bir ugurda we wagtda takmynan proporsional bolup geçýändir. Asyryk tolgunmalara orbitalaryň iki elementi – Ω dogýan düwüniň uzaklygy we π perigeliýniň uzaklygy sezewar bolýandyrlar.

Periodik tolgunmalar jisimleriň öz orbitalarynda otnositel ýerleşiş ýagdaýlaryna baglydyr we ol ýapyk orbitalar boýunça hereketde kesgitli wagt aralyklaryndan gaýtalanýar. Şol sebäpli orbitalaryň elementleriniň periodiki tolgunmalary ilki bir ugurda, soňra beýleki ugurda gezekleşip üýtgeýärler we bu üýtgemelere orbitalaryň ähli elementleri azda-kände sezewar bolýandyr. Uly planetalaryň tolgunmasyz hereketleriniň orbitalarynyň ýapyk egrilerdigini (ellipsler), asyryk tolgunmalara düwünleriň uzaklygynyň we perigeliýniň uzaklygynyň sezewardygy sebäpli planetalar sistemasy geljekde-de öz çäklerini häzirkisi ýaly saklar. Ýöne Gün sistemasynyň has uzak wagt aralygynda, mysal üçin, birnäçe milliard ýyllaryň dowamynda durnuklylygynyň meseleleri doly çözülen däldir.



§47. Tolgundyryjy güýç barada düşünje

Üç sany asman jisimleriniň: massasy M bolan G Gün, massasy m_1 bolan we Gün merkezinden r_1 uzaklykda ýerleşen P_1 planetanyň, massasy m_2 bolan we Gün merkezinden r_2 uzaklykda, P_1 planetadan bolsa r uzaklykda ýerleşen P_2 planetanyň özara täsirlerine seredeliň. Bu jisimleriň hemmesi biri-birine Nýutonyň bütindünýä dartylma kanunyna laýyklykda täsir ederler (32-nji surat).

Gün P_1 planetanyň täsiri netijesinde GP_1 ugur boýunça

$$w_1 = G \frac{m_1}{r_1^2}$$

tizlenme alar, P_2 planetanyň täsiri netijesinde bolsa GP_2 ugur boýunça

$$w_2 = G \frac{m_2}{r_2^2}$$

tizlenme alar.

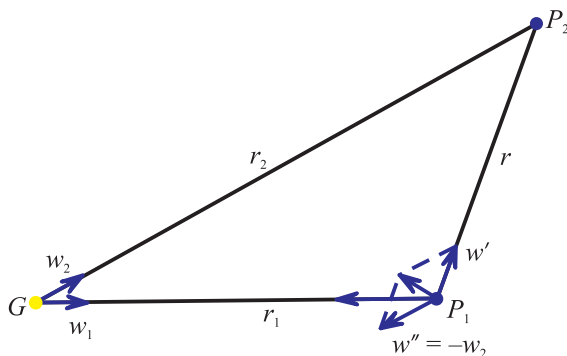
P_1 planetanyň Güne otnositellikde hereketine seredeliň. Bu ýagdaýda P_1 planeta aşakdaký

$$w_1 = G \frac{M + m_1}{r_1^2} \quad P_1 G \text{ ugur boýunça}$$

$$w' = G \frac{m_2}{r^2} \quad P_1 P_2 \text{ ugur boýunça}$$

$$w'' = -w_2 = G \frac{m_2}{r_2^2} \quad P_2 G \text{ ugra parallel bolan ugur boýunça}$$

tizlenmeleri ýüze çykarýan güýçler täsir eder.



32-nji surat. Tolgundyryjy güýç



Birinji w tizlenme Günün dartmagy netijesinde ýüze çykyan, otositel hereketiň tizlenmesidir we ol P_1 planetanyň Günün daşynda Kepleriň kanunlaryna laýyklykda hereketini şertlendirýändir.

w' we w'' tizlenmeler tolgundyryjy güýjüň tizlenmesini düzýärler we P_1 planetanyň hereketinde Kepleriň kanunlaryndan gyşarmalary esaslandyrýar. Diýmek, tolgundyryjy güýç iki güýçden: P_2 planetanyň P_1 planeta täsir güýjünden we P_2 planetanyň Güne täsir edýän güýjünden ybaratdyr. w'' tizlenmäniň w_2 tizlenmä garşylykly ugrukdyrylany üçin, tolgundyryjy güýç tolgunmany ýüze çykarýan jisimiň planeta we Güne edýän täsirleriniň geometrik tapawudyna deňdir. 32-nji suratdan görnüşi ýaly, tolgundyryjy güýç (tolgundyryjy tizlenme) umumy ýagdaýda tolgundyryjy jisime tarap, ýagny P_2 planeta tarap ugrukdyrylan däl. Diňe P_1 we P_2 jisimler Gün bilen bir göniň ugrundan, özi hem Günden bir tarapda (GP_1P_2 ýa-da GP_2P_1 tertipde) ýerleşen ýagdaýlarynda tolgundyryjy güýç takyk P_2 tolgundyryjy jisime tarap ugrukdyrylan bolar. Eger P_1 we P_2 jisimler Gün bilen bir gönide (P_1GP_2), ýöne ondan dürli taraplarda ýerleşenlerinde, tolgundyryjy güýç tolgundyryjy jisimden, ýagny P_2 planetadan ugrukdyrylan bolar. Jisimleriň hereketleri sebäpli tolgundyryjy güýjüň ululygy we ugry üznüksiz üýtgeýändir.

§48. Aýyň hereketini tolgundyryjy güýç

Aý üçin merkezi jisim Ýer, esasy tolgundyryjy jisim bolsa Gündür.

Beýleki planetalaryň dartyлма güýçleriniň Aýyň hereketine täsiri ýetýär, ýöne olaryň ýüze çykarýan tolgunmalary kiçidir we Günün täsiri netijesinde döreýän tolgunmalardan köp esse kiçidir. Günün dartmagy netijesinde Aý

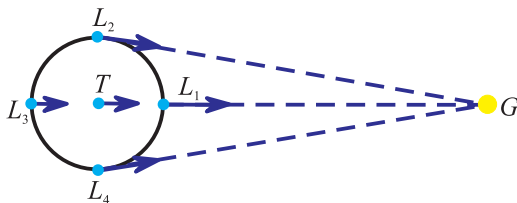
$$w = G \frac{M}{r_1^2} \quad \text{tizlenme alýar.}$$

Bu ýerde M – Günüň massasy, r_1 – Aýyň Günden uzaklygy. Ýeriň dartmagy netijesinde bolsa Aý

$$g = G \frac{m}{r^2} \quad \text{tizlenme alýar.}$$

Bu ýerde m – Ýeriň massasy, r – Aýyň Ýerden uzaklygy. Birinji tizlenmäni ikinjä bölüp, alarys:





33-nji surat. Aýyň hereketini tolgundyryjy güýç

$$\frac{w}{g} = \frac{M}{m} \left(\frac{r}{r_1} \right)^2;$$

$$\frac{M}{m} = 333000; \quad \frac{r}{r_1} = \frac{1}{390}$$

bolany üçin Günüň Aýy dartýan güýji Ýeriň Aýy dartýan güýjünden iki esseden hem uludyr. Emma Aýyň Ýere görä hereketine Günüň ony dartýan güýji täsir etmän, Günüň Aýy we Ýeri dartýan güýçleriniň tapawudy täsir edýändir (§47 seret). Günüň dartmagy netijesinde Ýeriň alýan tizlenmesi:

$$w' = G \frac{M}{a^2}.$$

Bu ýerde a – Ýeriň Günden uzaklygy. Onda Aýyň hereketini tolgundyryjy tizlenme w_1 iki sany w we w' tizlenmeleriň tapawudyna deňdir.

Tolgundyryjy güýç we onuň täsiri netijesinde Aýyň alýan w_1 tizlenmesi iň uly bahany Aý L_1 ýagdaýda, ýagny G Gün bilen T Ýer aralygynda ýerleşende alar (33-nji surat). Şonda tolgundyryjy tizlenme

$$w_1 = G \frac{M}{(a-r)^2} - G \frac{M}{a^2} = GM \frac{2ar - r^2}{(a-r)^2 a^2}.$$

a bilen deňşdirenimizde r kiçi bolany sebäpli $a - r$ tapawut a -dan az tapawutlanýanlygy üçin maýdalawjydaky ýaýyň içini a^2 bilen çalşyp, sanawjyda bolsa r^2 ululygy hasaba alman bolar. Onda

$$w_1 \approx G \frac{2rM}{a^3}.$$

L_3 ýagdaýda hem Günüň täsiri netijesinde Aýyň alýan tizlenmesi edil L_1 ýagdaýdaky tizlenmä ýakyndyr. Hakykatdan-da bu ýagdaýda

$$w_1 = \frac{GM}{a^2} - \frac{GM}{(a+r)^2} \approx G \frac{2rM}{a^3}.$$



Şeýlelik bilen Aýyň hereketini tolgundyryýan güýç, tolgundyryjy jisim bolan Güne çenli uzaklygyň kwadratyna däl-de kubyna ters proporsionaldyr we onuň ululygy

$$\frac{w_1}{g} = 2 \frac{M}{m} \left(\frac{r}{a} \right)^3,$$

ýagny Aýy Ýeriň dartýan güýjüniň takmynan 1/90 bölegine deňdir.

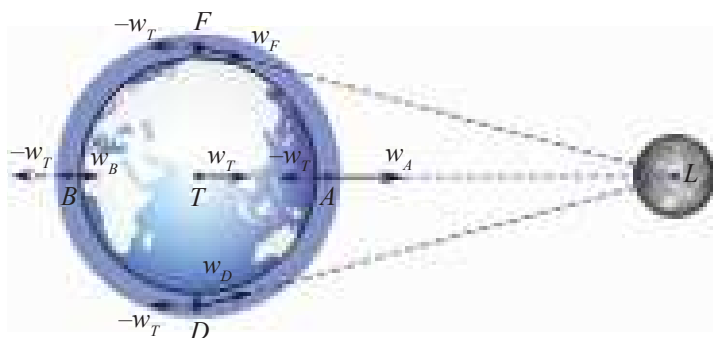
L_1 ýagdaýda Günüň täsiri, ýagny tolgundyryjy güýç Aýy Ýerden daşlaşdyrýar, L_3 ýagdaýda bolsa Ýeri Aýdan daşlaşdyrýar. L_2 we L_4 ýagdaýlarda tolgundyryjy güýç Aý bilen Ýeri biraz ýakynlaşdyrýar, sebäbi Günüň olary dartýan güýçleri bu ýagdaýlarda ululyklary boýunça deňdir, güýçleriň ugurlary bolsa Günüň merkezinde ýiti burç bilen kesişýändirler.

§49. Daşgynlar we gaýtgynlar

Ýeriň ölçegleri Aýa we Güne çenli aralyklar bilen deňeşdireniňde tükeniksiz kiçi däl, şol sebäpli Aýyň we Günüň dartýan güýçleri Ýeriň dürli nokatlarynda birmeňzeş däl. Nerijede bu nokatlara dartýan jisimden uzaklyklaryna we ugurlaryna baglylykda tolgundyryjy güýçler täsir edýär. Eger Ýer absolýut gaty jisim bolan ýagdaýynda, ýagny onuň nokatlary merkezine görä öz ýerleşen ýagdaýlaryny üýtgedip bilmeýän ýagdaýynda, tolgundyryjy güýçleriň täsiri Ýerde çala bildirýän dartgynlyklary ýüze çykarardy. Emma Ýer absolýut gaty jisim däl, Şonuň üçin tolgundyryjy güýçleriň onuň üstüniň käbir böleklerine täsiri, daşgynlar we gaýtgynlar diýip atlandyrylýan hadysalary ýüze çykarýar.

Ýönekeýlik üçin Ýeriň hemme üsti suw bilen deňölçegli örtülen, ýagny umman bilen gurşalan diýip hasaplalyň (34-nji surat). Aý Ýeriň gaty üstüniň her bir bölejigini we ummanyň her bir suw damjasyny özüne dartýar we olara bölejik bilen Aýyň merkeziniň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna ters proporsional bolan tizlenme berýär. Bölejikleriň alýan tizlenmeleriniň deň täsir edijisi T Ýeriň merkezinden geçýär we

$$w_T = G \frac{m}{r^2}.$$



34-nji surat. Daşgynlaryň döremegi

Bu ýerde m – Aýyň massasy, r – Aýyň merkezinden Ýeriň merkezine çenli uzaklyk. Ummanyň suwuna seredeniňde bolsa A nokatdaky tizlenme w_T -den uludyr, B – nokatdaky tizlenme bolsa w_T -den kiçidir, sebäbi

$$w_A = G \frac{m}{(r - R)^2} \quad \text{we} \quad w_B = G \frac{m}{(r + R)^2}.$$

bu ýerde R – Ýeriň radiusy.

A nokatdaky otnositel tizlenme (Ýeriň merkezine görä) $w_A - w_B$ tapawuda deňdir, ýagny

$$w_A - w_T = Gm \left[\frac{1}{(r - R)^2} - \frac{1}{r^2} \right]$$

ýa-da

$$w_A - w_T = Gm \frac{2rR - R^2}{(r - R)^2 r^2}.$$

Ýeriň R radiusy Ýerden Aýa çenli uzaklyk r bilen deňeşdirilende kiçi ululyk bolany üçin sanawjydaky R_2 ululygy hasaba almasak, maýdalawjyda bolsa $(r - R)$ tapawudyň ýerine diňe r ululygy galdyrsak, onda aňlatma şu görnüşini alar:

$$w_A - w_T = Gm \frac{2R}{r^3}.$$

Tizlenmeleriň bu tapawudy Ýeriň merkezinden ugrukdyrylandyr, sebäbi $w_A > w_T$. Tizlenmeleriň $w_B - w_T$ tapawudynyň ululygy hem takmynan şular ýaly ululykdyr we Ýeriň merkezinden ugrukdyrylandyr, sebäbi $w_B < w_T$. Diýmek, A we B nokatlarda Aýyň täsiri netijesinde Ýer üstündäki agyrylyk güýji kemelýändir.



Aýyň täsiri netijesinde F we D nokatlarda bölejikleriň alýan w_F we w_D tizlenmeleriniň ugurlary T nokatdaky tizlenmä garşylykly ugrukdyrylan, $-w_T$ tizlenme bilen kütek burç emele getirýär we tizlenmeleriň deň täsir edijileri Ýeriň merkezine tarap ugrukdyrylandyr. Diýmek, F we D nokatlarda Aýyň täsiri netijesinde agyrylyk güýji ulalýandyr.

F we A , A we D aralyklardaky nokatlaryň deň täsir ediji tizlenmeleri A nokada tarap, F we B , B we D aralyklardaky nokatlar üçin bolsa B nokada tarap ugrukdyrylandyrlar. Eger bu deň täsir ediji tizlenmeleri radius boýunça we galtaşýan çyzyk boýunça dargatsak, onda aralyk nokatlar üçin agyrylyk güýjüniň uly bolmadyk güýçlenmesini ýa-da gowşamasyny alarys. Şeýle hem wajyp bellemeli, Ýeriň bir (FAD) tarapynda A nokada ugrukdyrylan we beýleki (FBD) tarapynda bolsa B nokada ugrukdyrylan tizlenmeler emele geler. Bu tizlenmeleriň täsiri ummandaky suwlaryň Ýeriň bir ýarymynda, ýagny Aýyň zenitde bolýan tarapynda A nokada tarap, beýleki ýarymynda, ýagny Aýyň nadirde bolýan tarapynda bolsa B nokada tarap ymtylmagyna getirýär.

Netijede, Aýyň dartylma güýjüniň täsirinden Ýeriň suw örtügi Aýa tarap süýnmek bolan ellipsoid görnüşini alýar, A we B nokatlaryň ýakynynda daşgynlar, F we D nokatlaryň ýakynynda bolsa gaýtgyňlar bolýar.

Ýeriň aýlanmagy netijesinde daşgynlaryň çykytlary her indiki pursat Ýer üstüniň täze nokatlarynda dörär. Şonuň üçin Aýyň iki yzygiderli ýokarky (ýa-da aşaky) kulminasiýalarynyň aralygyndaky wagat pursadynda, ýagny $24^h 52^m$ deň bolan wagat aralygynda daşgynlaryň çykytlary bütün Ýer şary boýunça aýlanar we her bir ýerde iki daşgyn hem-de iki gaýtgyň bolar.

Ýeriň suw örtügi Günün dartmagy netijesinde hem daşgynlara we gaýtgyňlara sezewar bolýandyr, ýöne Günün döredýän daşgynlary Aý daşgynlaryndan 2,2 esse kiçidir. Hakykatdan hem, Günün daşgynlary döredýän güýjüniň tizlenmesi $GM_\theta \frac{2R}{a^3}$ deňdir. Bu ýerde M_θ – Günün massasy, a – Ýeriň Günden uzaklygy.

Aýyň daşgynlary döredýän güýjüniň tizlenmesini bu tizlenmä bölüp, alarys:

$$\frac{m}{M_{\odot}} \frac{a^3}{r^3} \approx 2,2,$$

sebäbi $M_{\odot} = 333000$ Ýer massasyna, $m = 1/81$ Ýer massasyna we $a = 390r$ deňdir. Diýmek, Günün daşgynlary döredýän güýji Aýyň daşgynlary döredýän güýjünden 2,2 esse kiçidir. Günün döredýän daşgynlary özbaşdak gözegçilik edilmeýär, olar diňe Aý daşgynlarynyň ululygyny üýtgedýärler.

Täze Aý doganda we doly Aýda Gün daşgynlary we Aý daşgynlary bir wagtda bolýar, Aýyň we Günün täsirleri goşulýar we iň uly daşgynlar ýüze çykýar. Aý fazasynyň birinji we ahyrky çäryeklerinde Aý daşgynlary pursadynda Gün gaýtgynlary bolýar, Aýyň täsirinden Günün täsiri aýrylýar we iň kiçi daşgynlar ýüze çykýar.

Hakykatda daşgynlar we gaýtgynlar hadysasy has çylşyrymlydyr. Ýeriň üsti bütewüligine umman suwlary bilen örtülen däldir we daşgyn tolkuný (daşgynlaryň çykydy) ummanyň üstünden geçip, öz ýolunda materikleriň çylşyrymly kenarlaryna, deňiz düýbünüň dürli görnüşine gabat gelýär we sürtülmä sezewar bolýar. Aýdylan sebäplere görä daşgyn pursady Aýyň kulminasiýa pursadyna gabat gelmeýär, takmynan şol bir wagt aralygyna gijä galýar. Gijä galma wagty käwagt alty sagada ýetýär we bu wagt aralygyna goşulan (amaly) sagat diýilýär. Daşgynlaryň beýikligi hemme ýerde meňzeş däl. Içki deňizlerde daşgynlar ujypsyzdyr, ýagny bary-ýogy birnäçe santimetrdir.

Ummanlarda, kenar ýakasyndan uzaklarda daşgynlar zerarly suwuň derejesi 1 metre golaý üýtgeýär. Emma kenar ýakalaryň şekiline we çuňlugyna baglylykda daşgynlaryň beýikliginiň ep-esli derejede üýtgeýändigini mälimdir. Daşgynlar sebäpli suwuň derejesiniň iň ýokary mukdarda üýtgemegine Kanadanyň kenar ýakasynda Fandi aýlagynda gözegçilik etmek mümkindir. Ol ýerde daşgynlaryň beýikligi 18 metre çenli ýetip bilýär.

Daşgynlara we gaýtgynlara Ýer atmosferasy hem sezewar bolýandyr we atmosfera basyşynyň üýtgemelerine täsiri ýetýändir. Daşgyn hadysalary Ýer gabygynda hem ýüze çykarylandyr, ýöne onuň ölçegleri suw örtügindäkiden ep-esli kiçidir.

Daşgynlar sebäpli Ýeriň üstüniň nokatlary bir gije-gündizde iki sapar, ortaça birnäçe desimetr ululyga ýokary galýandyr we aşak düşýändir.



§50. Üç we köp jisim meselesi

Aralyklaryndaky uzaklygyň kwadratyna ters proporsional bolan güýç bilen biri-birini dartýan üç jisimiň hereketini kesgitlemege üç jisim meselesi diýilýär.

1912-nji ýylda finn matematigi Zundman erkin başlangyç şertler üçin üç jisim meselesiniň teoretiki çözüwini ýygnanýan hatarlar görnüşinde aldy. Ýöne bu hatarlar örän çylşyrymly we haýal ýygnanýarlar. Şol sebäpli olar jisimiň giňişlikdäki ýagdaýyny hasaplamağa, şeýle hem jisimleriň hereketiniň häsiýetleri barada netije çykarmaga mümkinçilik bermeýär. Şonuň üçin häzirki döwürde Zundmanyň formulalarynyň amaly ähmiýeti ýokdur.

Üç jisim meselesiniň başlangyç şertleriniň käbir çäklendirilen ýagdaýy üçin çözüwini ilkinji bolup Lagranž 1772-nji ýylda şu iki sert üçin alandyr:

1) eger üç jisim bir göniň üstünde ýerleşen we umumy massa merkeziniň daşyndan şol göniň üstünden üýtgemän aýlanýan bolsalar;

2) eger üç jisim deňtaraply üçburçlugyň depelerinde ýerleşen we umumy massa merkeziniň daşyndan mydama üçburçlugyň deňtaraplygyny saklap aýlanýan bolsalar.

Lagranž alan bu çözüwleriniň diňe teoriýa taýdan ähmiýeti bar diýip hasaplapdyr. Emma XIX asyrda hereketleri takmynan Lagranžyň ikinji çözüwine laýyk gelýän asteroidleriň (kiçi planetalar) iki topary açylandyr.

Biri-birini Nýutonyň kanuny boýunça dartýan dört we ondan hem köp jisimleriň hereketlerini kesgitlemek (n jisim meselesi) meselesi üç jisim meselesinden hem çylşyrymlydyr.

Şonuň üçin n jisimiň hereketi öwrenilende, mysal üçin, Gün sistemasynyň jisimleriniň hereketi öwrenilende tolgunmalary hasaplama usuly ulanylýar. Bu usul kesgitli wagt aralygy üçin meseläniň takyk çözüwine ýeterlik golaý bolan ýakynlaşan çözüwini tapmaga mümkinçilik berýär. Gün sistemasynyň jisimleri üçin tolgunmalary hasaplamak – asman mehanikasynyň çylşyrymly we örän wajyp meseleleriniň biridir. Hasaplamalarda häzirki zaman kompýuterleriniň ulanylmagy bu meseläni çözmekde ýeňillikleri döredýär.

§51. Neptunyň açylyşy

Asman mehanikasynyň gazanan ajaýyp üstünlikleriniň biri Neptun planetasynyň açylmagydyr.

1781-nji ýylda inlis astronomy Gerşel Uran diýip atlandyrylan, öň ýyldyzdyr öýdüp hasaplanan we ýüzýlyklaryň dowamynda koordinatalary kesgitlenen, täze uly planetany garaşylmadyk ýagdaýda, tötänleýin açýar. Haçan-da bu koordinatalar boýunça Uranyň orbitasy kesgitlenende, şol döwürde belli bolan uly planetalaryň täsirleri hasaba alnandan soň hem, onuň hereketiniň Kepleriň kanunlaryna laýyklykda bolmaly hereketden gyşarmalarynyň bardygy ýüze çykarylýar. Bu gyşarmalary düşündirmek üçin, olar Uran planetanyň hereketine ýene bir, näbelli planetanyň täsiri netijesinde ýüze çykýan bolmaly diýen çaklama aýdylýar. Şondan soňra astronomiýanyň önünde Uranyň hereketindäki tolgunmalar boýunça bu tolgunmany döredýän tolgundyryjy planetanyň ýerleşişini (koordinatalaryny) kesgitlemek meselesi goýulýar. Bu çylşyrymly we matematiki kyn mesele, biri-birinden habarsyz, birwagtda fransuz alymy Lawerýe we inlis alymy Adams tarapyndan çözülýär. 1846-njy ýylyň 23-nji sentýabrynda nemes astronomy Galle, Lawerýeniň öz hasaplamalary esasynda planeta bolmaly diýip, asmanda görkezen nokadyndan bary-yogy 1° uzaklykda planetany tapýar. Täze planeta Neptun diýip at dakýarlar.

Ilki hasaplamalarda kesgitlenen Neptunyň açylmagy Nýutonyň bütindünýä dartylma kanunynyň dogrulygynyň wajyp subutnamasydyr. Şonuň üçin Neptuna «galam ujunda» açylan planeta hem diýilýär.

§52. Asman jisimleriniň massalaryny kesgitlemek

Nýutonyň bütindünýä dartylma kanuny asman jisiminiň wajyp fiziki häsiýetnamalarynyň biri bolan massany kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Asman jisiminiň massasyny:

- a) berlen jisimiň üstünde agyrlyk güýjüni ölçemeler esasynda (grawimetrik usul);
- b) Kepleriň üçünji (takyklanan) kanuny boýunça;



ç) asman jisiminiň başga asman jisimleriniň hereketlerinde döredýän, gözegçilik edilýän tolgunmalary derňemegiň esasynda kesgitlemek mümkindir.

Birinji usul diňe Ýer üçin ulanarlyklydyr we ol aşakdakylardan ybaratdyr.

Dartylma kanunyna laýyklykda Ýeriň üstünde agyrylyk güýjüniň tizlenmesi

$$g = G \frac{m}{R^2}$$

deňdir. Bu ýerde m – Ýeriň massasy, R – onuň radiusy.

Bu aňlamadan Ýeriň massasy:

$$m = \frac{gR^2}{G}. \quad (2.25)$$

Agyrlyk güýjüniň tizlenmesi g (has takyk aýdanymyzda agyrylyk güýjüniň diňe dartylma güýji bilen baglanyşykly düzüjisiniň tizlenmesi), edil Ýeriň R – radiusy ýaly, Ýeriň üstünde gös-göni ölçemelerden kesgitleýär. Dartylma hemişeligi ýa-da başgaça grawitasiýa hemişeligi Kawendişiň we Ýolliniň fizikada belli bolan tejribelerinden ýeterlik takyklykda kesgitleýendir.

g , R we G ululyklaryň häzirki döwürde kabul edilen bahalary esasynda (2.25) formula boýunça Ýeriň massasy

$$m = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ kg} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}.$$

Ýeriň massasyny we göwrümini bilip, onuň orta dykzlygyny kesgitlemek mümkindir. Bu ululyk $5,52 \text{ g/sm}^3$ deňdir.

Eger planetanyň iň bolmanda bir hemrasy bolup, onuň planetadan uzaklygy we planetanyň daşyndan aýlanma peridy belli bolsa, onda Kepleriň üçünji takykklan kanuny Günüň massasy bilen planetanyň massasynyň arasyndaky gatnaşygy kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Hakykatdan-da, hemranyň planetanyň daşyndaky aýlawly hereketi hem planetanyň Günüň daşyndaky aýlawly hereketi ýaly şol bir kanunlara boýun egýändir. Onda (2.24) deňleme bu ýagdaý üçin şeýle ýazylar:

$$\frac{T^2(M + m)}{t_h^2(m + m_h)} = \frac{a^3}{a_h^3}.$$



Bu ýerde M , m , m_h – degişlilikde Günüň, planetanyň we onuň hemrasynyň massalary, T we t_h – degişlilikde planetanyň Günüň daşyndan we hemranyň planetanyň daşyndan aýlanma periodlary, a we a_h , degişlilikde planetanyň Günden we hemranyň planetadan uzaklyklary.

Deňlemäniň çep tarapyndaky drobuň sanawjysyny we maýdalawjysyny m bölüp we deňlemäni massalara görä çözüp, alarys:

$$\left(\frac{M}{m} + 1\right) : \left(1 + \frac{m_h}{m}\right) = \frac{t_h^2 a^3}{T^2 a_h^3}. \quad (2.26)$$

$\frac{M}{m}$ – gatnaşyk hemme planetalar üçin örän uludyr, $\frac{m_h}{m}$ – gatnaşyk

bolsa kiçidir (Ýer we onuň hemrasy Aýdan başgalar) we olary hasaba alman bolýar. Onda (2.26) deňlemede diňe bir näbelli $\frac{M}{m}$ gatnaşyk galar, ony deňlemeden ýeňil kesgitlep bolýar. Mysal üçin, bu usul bilen Ýupiter üçin kesgitlenen ters gatnaşyk $\frac{m}{M} = \frac{1}{1050}$ deňdir.

Ýeriň ýeke-täk hemrasy bolan Aýyň massasy Ýeriň massasy bilen deňeşdirilende ýeterlik uly ululyk bolany sebäpli, (2.26) deňlemede $\frac{m_h}{m}$ – gatnaşygy hasaba almak hökmandyr. Şol sebäpli Günüň massasyny Ýeriň massasy bilen deňeşdirmek üçin ilki bilen Aýyň massasyny kesgitlemek zerurdyr. Aýyň massasyny takyk kesgitlemek örän çylşyrymly, kyn meseledir we ol Aýyň täsiri netijesinde Ýeriň hereketindäki ýüze çykýan tolgunmalary derňemek esasynda çözülýändir.

Aýyň dartmagy netijesinde Ýer bir aýyň dowamynda Ýer-Aý sistemasynyň umumy massa merkeziniň daşynda ellips çyzmalydyr.

Günüň görünýän ýerleşiş ýagdaýlarynyň takyk kesgitlemeleri boýunça onuň uzaklyk koordinatasynda «aý deňsizligi» diýip atlandyrylan, periody bir aý bolan üýtgemeler ýüze çykarylandyr. Günüň görünýän hereketinde «aý deňsizliginiň» bolmagy Ýeriň merkeziniň hakykatdan hem bir aýyň dowamynda «Ýer-Aý» sistemasynyň umumy massa merkeziniň daşynda uly bolmadyk ellips çyzýandygyny görkezýär. Ýer-Aý sistemanyň umumy massa merkezi Ýeriň merkezinden 4650 km uzaklykda, ýagny Ýeriň içinde ýerleşendir. Bu



bolsa Aýyň massasynyň Ýeriň massasyna bolan gatnaşygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu gatnaşyk $\frac{1}{81,56}$ deňdir. «Ýer – Aý» sistemanyň massa merkeziniň ýagdaýy Eros asteroidine 1930–1931-nji ýyllarda geçirilen gözegçilikleriň esasynda hem kesgitlenendir. Bu gözegçilikleriň esasynda Aýyň massasynyň Ýeriň massasyna bolan gatnaşygy $\frac{1}{81,27}$ deň. Ýeriň emeli hemralarynyň hereketlerindäki tolgunmalar boýunça kesgitlenen Aýyň massasynyň Ýeriň massasyna bolan gatnaşygy $\frac{1}{81,30}$ deňdir. Bu gatnaşygyň soňky ululygy has takykdyr we ony 1964-nji ýylda Halkara astronomik birleşme beýleki astronomik hemişelikler bilen bir hatarda kabul edendir. Bu ululyk 1966-njy ýylda Aýyň massasyny onuň emeli hemralarynyň aýlanmalarynyň parametrleri boýunça hasaplamalarda hem tassyklanandyr.

Aýyň we Ýeriň massalarynyň kesgitlenen gatnaşygy esasynda (2.26) deňlemenden Günün massasy M_{\odot} Ýeriň massasyndan 333000 esse uludyr, ýagny

$$M_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg.}$$

Günün massasyny we bu massanyň hemrasy bolan islendik planetanyň massasyna bolan gatnaşygyny bilip, bu planetanyň massasyny kesgitlemek ýeňildir.

Hemrasy bolmadyk planetalaryň (Merkuriý, Wenera) massalary olaryň täsirleri netijesinde başga planetalaryň ýa-da kometalaryň hereketlerinde ýüze çykýan tolgunmalary derňemek esasynda kesgitlenýär. Mysal üçin, Wenera bilen Merkuriýniň massalary olaryň täsirleri netijesinde Ýeriň, Marsyň we käbir kiçi planetalaryň hereketlerinde ýüze çykýan tolgunmalary, şeýle hem biri-birlerine täsirleri netijesinde ýüze çykýan tolgunmalar boýunça kesgitlenendir.

§53. Ýeriň emeli hemralarynyň hereketi

1957-nji ýylyň 4-nji oktýabrynda adamzat öz taryhynda ilkinji gezek Ýeriň dartyş meýdanyndan çykyp, Älem giňişliginiň gapysyny açyp, täze kosmiki eýýama gadam basdy. Şol döwürde Ýeriň ilkinji emeli hemrasy goýberildi.



Emeli asman jisimleri tebigy asman jisimleriniň kanunlaryna boýun egýändiglerine garamazdan, olaryň orbitalarynyň we hereketleriniň häsiýetnamalaryny kesgitleýän şertleriniň käbir özboşlyklarynda durup geçmek zerurdyr.

Ýeriň emeli hemralary (ÝEH) orbitalaryna köpbaşgançakly raketalaryň kömegi bilen çykarylýar. Raketanyň in soňky başgançagy berlen beýiklikde hemra kesgitli tizlik berýär. Ýeriň üstünden h beýiklikde gorizonta ugurda uçurylan jisimiň şol pursatdaky tizligi ýeterlik bolsa, onda ol ÝEH bolar.

Emeli hemranyň hereket edýän aýlawynyň şekili hereket etmeli orbitasyna çykarylandaky tizligine baglylykda töwerege, ellipse, parabola ýa-da giperbola meňzäp biler.

Eger emeli hemra Ýerden h beýiklige çykarylandan soň berlen gorizonta tizlik şol beýiklikde töwerek boýunça hereket etmek üçin ýeterlik bolsa, onda ol hemra töwerege laýyk orbita boýunça hereket eder.

Eger-de berlen gorizonta tizlik töwerek boýunça hereket etmeli tizlikden uly, emma parabola aýlawlarda hereket edýän tizliklerden az bolsa, onda emeli hemra perigeýi orbita çykarylan nokatda ýerleşen, ellips boýunça hereket eder.

Eger-de berlen gorizonta tizlik töwerek boýunça hereket etmeli tizlikden biraz kiçi we orbita çykarylan h beýikligi ýeterlik uly bolsa, onda emeli hemra apogeýi orbita çykarylan nokatda ýerleşen ellips boýunça hereket eder.

Emeli hemranyň massasynyň Ýeriň massasyndan örän kiçi bolany üçin ony hasaba almasak, onda Ýeriň merkezinden $r = R + h$ uzaklykda töwerek boýunça hereket etmeli tizligi (2.19) we (2.25) formulalaryň esasynda alarys

$$v_c = \sqrt{\frac{Gm}{R+h}} = \sqrt{\frac{8R^2}{R+h}}. \quad (2.27)$$

Bu ýerde m we R – deňşililikde Ýeriň massasy we radiusy, g – Ýeriň üstünde agyrylyk güýjüniň tizlenmesi, h – gorizonta tizlik bermek üçin hemranyň Ýeriň üstünden çykarylan beýikligi.

Ýeriň üstüne örän ýakyn ($h = 0$) ýerleşen töwerek boýunça hereket edýär diýip göz önüne getirilýän emeli hemranyň tizligi ($R = 6370 \text{ km}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)



$$v_{1k} = 7,91 \text{ km/s.}$$

v_{1k} – tizlige Ýere görä birinji kosmiki tizlik diýilýär.

Ýeriň töwereginde atmosfera gatlagy bolany sebäpli onuň üstüne örän ýakyn ýerleşen orbita boýunça hereket edýän emeli hemra bolup bilmez. Şol sebäpli ÝEH Ýeriň üstünden käbir beýiklige ($h > 150 \text{ km}$) çykarylýp goýberilýär. h beýiklikde töwerek boýunça hereket etmeli tizlik birinji kosmiki tizlikden kiçidir we (2.27) deňleme ýa-da formula boýunça hasaplanylýar

$$v_c = v_{1k} \sqrt{\frac{R}{R+h}}.$$

ÝEH orbitasynyň elementleri onuň uçurylan ýerine we wagtyňa, başlangyç tizliginiň ululygyna we ugruna baglydyr. Emeli hemranyň orbitasynyň uly ýarymoky a bilen onuň başlangyç v_0 tizliginiň arasyndaky baglanyşyk, energiýa integralyna (2.18) laýyklykda, formula boýunça kesgitlenýär:

$$v_0^2 = Gm \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right),$$

bu ýerde r_0 – ÝEH orbita çykma nokadynyň Ýeriň merkezinden uzaklygy.

Adatça ÝEH gorizonta ugurda, takyk aýdanymyzda radial ugra perpendikulýar goýberilýär. Gorizonta goýberilende orbitasynyň eksentrisiteti

$$e = 1 - \frac{q}{a}$$

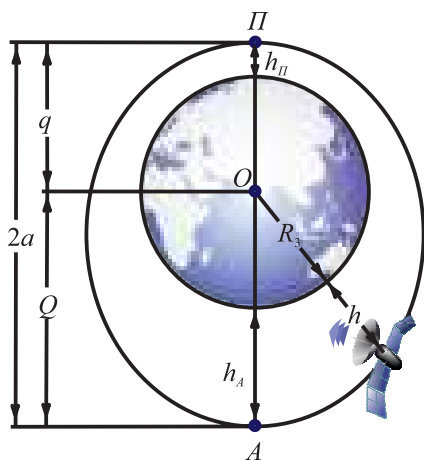
bu ýerde q – perigeý aralygy (Ýeriň merkezinden orbitanyň iň ýakyn nokadyna çenli aralyk).

Elliptik orbita bolan ýagdaýynda (35-nji surat) $q = a(1 - e) = R + h_n$, bu ýerde h_n – perigeýiň Ýeriň üstünden beýikligi. Apogeý aralygy (Ýeriň merkezinden orbitanyň iň uzak nokadyna çenli aralyk) $Q = a(1 + e) = R + h_A$, bu ýerde h_A – apogeýiň Ýeriň üstünden beýikligi. Eger ÝEH perigeýde goýberilen bolsa, onda

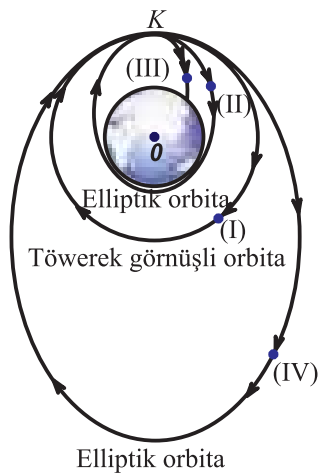
$$r_0 = q = R + h_n.$$

ÝEH orbitasynyň görnüşiniň onuň orbita çykarylan başlangyç tizligine baglylygy 36-njy suratda görkezilendir. Eger k nokatda hemra berlen gorizonta tizlik Ýeriň merkezinden şu beýiklikde töwerek





35-nji surat. Ýeriň emeli hemrasynyň elliptik orbitasy



36-njy surat. Ýeriň emeli hemrasynyň orbitasynyň görnüşiniň başlangyç tizlige baglylygy

boýunça hereket etmeli tizlige deň bolsa, onda ol töwerege laýyk (I) orbita boýunça hereket eder.

Eger k nokatda berlen başlangyç tizlik degişli töwerek boýunça hereket etmeli tizlikden kiçi bolsa, onda hemra ellips (II) boýunça, eger has kiçi bolsa, onda has süýnmek we Ýeriň üsti bilen kesişýän (III) ellips boýunça hereket eder. Bu ýagdaýda goýberilen hemra bir aýlaw hem etmän, Ýeriň üstüne gaçar. Eger k nokatda berlen tizlik degişli töwerek boýunça hereket edýän tizlikden köp, emma degişli parabola aýlawlarda hereket edýän tizliklerden az bolsa, onda şeýle emeli hemra ellips (IV) boýunça hereket eder.

Hemranyň elliptik orbitasynyň giňişlikde çen bilen ýerleşşi 37-nji suratda görkezilen. Bu ýerde i – hemranyň orbitasynyň Ýeriň ekwatoryna ýapgytlygy, Ω_D – we Ω_Y – degişlilikde orbitanyň dogýan we ýaşýan düwünleri, Π – orbitanyň perigeýi, A – orbitanyň apogeýi, \mathcal{T} – ýazky gije-gündiz deňleşme nokady, Ω – dogýan düwnüň göni ýokary göterilmesi, ω – perigeýiň dogýan düwünden burç uzaklygy.

ÝEH aýlanma periodyny Kepleriň üçünji kanuny boýunça (2.23) aňlatmadan alarys:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{Gm}} a^{3/2},$$



ýa-da (2.25) aňlatmany göz öňünde tutsak

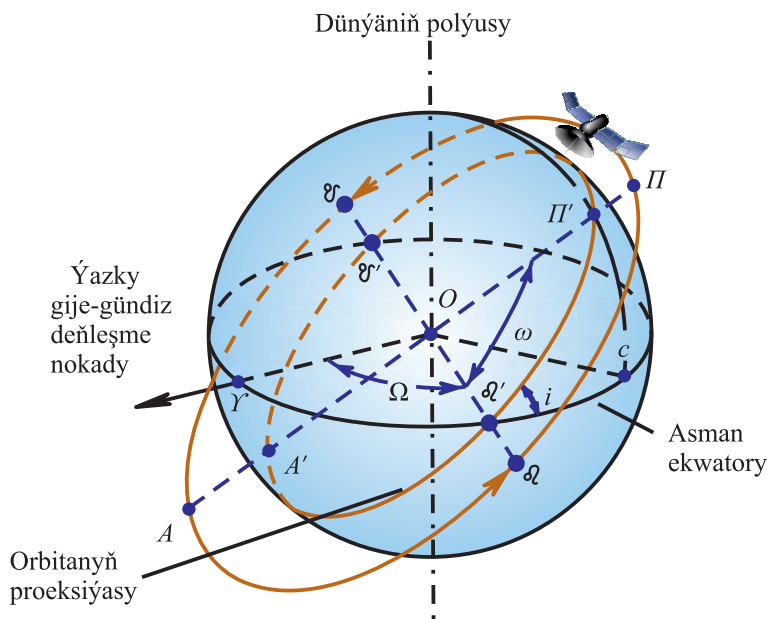
$$T = \frac{2\pi}{R\sqrt{g}} a^{3/2}.$$

Eger uly ýarym oky kilometrlerde aňlatsak we $R = 6370 \text{ km}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ bolanda hemranyň aýlanma peridy minutlarda aşakdaky formuladan hasaplanar:

$$T = 1,659 \cdot 10^{-4} \cdot a^{3/2}.$$

ÝEH orbitasynyň üýtgemegine getirýän esasy iki sany täsir bar. Olaryň birinjisi Ýeriň şar şekilli bolman, polýuslardan ekwatora tarap giňelmegi, ikinjisi bolsa Ýeriň atmosferasynyň garşylygynyň täsiridir. Bu sebäpleriň birinjisi orbitanyň dogýan düwnüniň $\Delta\Omega$ we perigeýiň $\Delta\omega$ asyrylyk tolgunmalaryny ýüze çykarýar we bu tolgunmalar asman mehanikasynyň formulalarynyň esasynda ýeňil hasaba alynýar.

Ikinji sebäp orbitanyň ýarymokunyň a , ýagny h beýikligiň kemelmegine we orbitanyň görnüşiniň üýtgemegine getirýär. Ýeriň atmosferasynyň dykzylygynyň beýiklik boýunça çalt kemelýänli-



37-nji surat. Ýeriň emeli hemrasynyň orbitasy we onuň asman sferasyna proyeksiýasy



gi sebäpli, emeli hemranyň hereketine esasy garşylyk we tizliginiň peselmesi esasan hem perigeýiň ýakynynda bolýandyr. Şol sebäpli hemranyň orbitasynyň apogeýi her aýlawda kemelýär (perigeýiň beýikligi has haýal kemelýär). Netijede orbitanyň uly ýarymoky we ekssentrisiteti kemelýär, hemranyň orbitasy kem-kemden töwerege öwrülip başlaýar. Haçan-da apogeýiň beýikligi perigeýiň beýikligi bilen deňeşdirerlik bolanda, hemra orbitasynyň бүтін ugrunda tormozlanýar we tizligini ýitirýär. Apogeýiň we perigeýiň beýiklikleriniň kemelmesi has çaltlaýar, hemra spiral boýunça Ýeriň üstüne ýakynlaşyp, dykyz atmosfera gatlaklaryna girýär we ýanýar. Hemra her aýlawda Ýere ýakynlaşýanlygy sebäpli onuň potensiýal energiýasy kemelýändir, onuň belli bir bölegi kinetik energiýa geçýär. Kinetik energiýanyň artmasy tormozlanmada ýitirilýän hereket energiýasynyň öwezini dolmaga artykmajy bilen ýetýändir. Şonuň üçin, hemranyň orbitasynyň kiçelýändigine garamazdan, onuň tizligi kemelmän, tersligine, artýandyr. Diýmek, hemra aşak düşdügiçe, onuň Ýeriň daşyndan aýlanma periody gysgalýandyr.

ÝEH tolgunmaly hereketiniň ýazgysy (düşündirilişi) birinji ýakynlaşmada berlendir. Hakykatda hemranyň orbitasynyň elementleri has çylşyrymly we dürli görnüşli tolgunmalara sezewar bolýandyr. Ýeriň polýuslaryndan ekwatora tarap giňelmegi, grawitasiýa meýdanynyň sferik – simmetrik dartýan massasynyň meýdanyndan tapawutlylygy diňe dogýan düwnüň uzaklygynyň Ω_d we perigeýiň düwünden uzaklygynyň ω asyrylyk tolgunmalaryny ýüze çykarman, olaryň periodik üýtgemelerini hem ýüze çykarýandyr. Şeýle hem ekssentrisitetiň e periodiki tolgunmalarynyň we orbitanyň ekwatora ýapgytlygynyň i kiçi yrgyldylarynyň sebäbidir.

Atmosfera gatlagy bolsa diňe uly ýarymoky a we ekssentrisitetiň asyrylyk kemelmelerini ýüze çykarmak bilen çäklenmeýär. Aýlanýan atmosferanyň hemra täsir edýän gapdal basyşy orbitanyň i ýapgytlygynyň birsydyrgyn (monoton) üýtgemegine getirýär. Bu üýtgemäniň alamaty bolsa hemranyň orbitasy boýunça hereket edýän ugruna baglydyr. Atmosfera şeýle hem Ω_d we ω ululyklaryň kiçi, periodiki üýtgemelerini ýüze çykarýar.

Aýyň we Günüň tolgundryjy täsirleri hemranyň orbitasynyň ähli elementleriniň kiçi, periodiki tolgunmalaryny ýüze çykarýar.



§54. Kosmos apparatларыnyň hereketi

Uçurylýan kosmos apparatynyň traýektorıyasy iki bölekden: aktiw we passiw böleklerden ybaratdyr. Aktiw böleginde hereket esasan hem reaktiw hereketlendirijileriň dartuwy we Ýeriň dartmasy bilen kesgitlenýär. Traýektorıyanyň passiw bölegi soňky basgançagyň hereketlendirijisiniň öçürilen pursadyndan başlanýar. Traýektorıyanyň passiw böleginde kosmos apparaty Ýeriň dartmagy we Gün sistemasynyň beýleki jisimleriniň (Aý, Gün, planetalar) täsiri netijesinde hereket edýär.

Kosmos apparatларыnyň traýektorıalarynyň deslapky hasaplamalarynda ýakynlaşan usuldan peýdalanylýar. Bu usul şulardan ybaratdyr. Eger traýektorıyanyň passiw böleginiň başynda apparatyň tizligi Ýere görä parabolik tizlige deň (ýa-da uly) bolsa, tolgunmalary hasaba almasak, onda ol Ýeriň täsir edýän çäğinden çykyp, başga bir asman jisiminiň täsir edýän çäğine girýänçä Ýere görälikde parabola (giperbola) boýunça hereket eder.

Massasy m bolan haýsy hem bolsa bir jisimiň massasy m' bolan başga jisime görä täsir edýän çägi, içinde aşakdaky şertiň ýerine ýetmegi bilen kesgitlenýär:

$$\frac{\Delta g}{g} < \frac{\Delta g'}{g'},$$

bu ýerde g we $g' - m$ we m' jisimleriň dartyлма meýdanynda grawitasiýa tizlenmeleri, Δg we $\Delta g' -$ degişlilikde m' we m jisimleriň täsirinden döreýän tolgunma tizlenmeleri. Täsir edýän çägiň radiusy

$$\rho = r \left(\frac{m}{m'} \right)^{2/5}.$$

Bu ýerde $r - m$ we m' jisimleriň arasyndaky uzaklyk. Mysal üçin, Ýeriň Güne görä täsir edýän çäğiniň radiusy 930000 km , Aýyň Ýere görä täsir edýän çäğiniň radiusy bolsa 66000 km deňdir.

Görkezilen manyda Günüň täsir edýän çägi diýip, takyk aýdanymyzda, ýyldyzlara görä kesgitlenen, giňişligiň bölegidir. Geljekde ýönekeýlik üçin Günüň täsir edýän çägi diýilende, Güne görä planetalaryň täsir edýän çäklerini öz içine almaýan, Günüň töwereginde giňişlik diýip düşüneris.

Başga asman jisiminiň täsir edýän çäğine girenden soň, kosmos apparaty bu jisimiň dartyлма güýjüniň täsiri astynda hereketini do-



wam etdirer. Ýeriň dartmasy apparatyň hereketine kesgitleýji täsirini ýetirer we diňe tolgundyryjy güýç bolup täsirini ýetirer.

Kosmos apparatynyň soňra etjek hereketiniň häsiýeti onuň asman jisiminiň täsir edýän çäginin serhedindäki tizliginiň ululygyna baglydyr. Eger bu tizlik asman jisimine görä nola deň bolsa, onda kosmos apparaty onuň üstüne gaçar.

Eger apparatyň asman jisimine görä tizligi noldan uly, ýöne parabolik tizlikden kiçi bolsa, onda käbir goşmaça şertlerde apparat bu jisimiň emeli hemrasy bolup biler we onuň daşynda töwerek ýa-da ellips görnüşli orbita boýunça hereket edip biler.

Kosmos apparatynyň tizligi parabolik tizlige deň ýa-da ondan uly bolsa, onda ol asman jisimine görä parabolanyň ýa-da giperbolanyň bölegini, ýagny kesimini çyzyp, ondan daşlaşar, soňra bolsa onuň täsir edýän çägindeň çykar.

Şeýlelik bilen, kosmos apparaty Gün sistemasynyň jisimleriniň islendiginiň üstüne gaçyp biler, emeli hemrasy bolup biler we Gün sistemasynyň çägindeň çykyp biler. Soňky ýagdaýda Ýeriň täsir edýän çäginin Günüň täsir edýän çägi bilen serhedinde onuň tizligi Güne görä parabolik tizlige deň ýa-da ondan uly bolmalydyr.

1959-njy ýylyň 2-nji ýanwarynda uçurylan kosmos apparaty ilkinji emeli planeta bolandyr.

Kosmos apparaty Ýeriň dartylma güýjüni ýeňip geçip, kosmos giňişligine gitmegi üçin traýektoriasynyň passiw böleginiň başynda oňa v_n tizlige deň ýa-da uly bolan tizlik bermelidir. v_n aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$v_n = v_c \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2Gm}{R+h}}, \quad (2.28)$$

bu ýerde h – traektoriýanyň passiw böleginiň başlangyç nokadynyň beýikligi (çyzykly ölçeglerde). Ýeriň üstünde $h = 0$ we

$$v_{2k} = v_{1k} \sqrt{2} = 11,2 \text{ km/s},$$

v_{2k} tizlige Ýere görä ikinji kosmiki tizlik diýilýär. h beýiklikde parabolik tizlik ikinji kosmiki tizlikden v_{2k} kiçidir we (2.28) deňlemenden ýa-da aşakdaky formuladan kesgitlenýär

$$v_{II} = v_{2k} \sqrt{\frac{R}{R+h}}.$$

Traýektoriyasynyň passiw böleginiň islendik nokadynda kosmos aparatynyň tizligi (tolgunmalary hasaba almazdan) formula boýunça kesgitlenýär

$$v^2 = Gm\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right). \quad (2.29)$$

Kosmos aparaty Ýeriň dartylma meýdanyndan çykyp, Günün täsir edýän çäğine girenden soň onuň üstüne gaçmazlygy üçin, şol pursatda onuň Güne görä tizligi noldan tapawutly bolmalydyr. Aparatyň V geliosentrik tizligi onuň orbitasynyň Güne görä görnüşini, formasyny kesgitleýär. Aparatyň V geliosentrik tizligi bilen Ýeriň $V_{\dot{Y}}$ geliosentrik tizliginiň tapawudyna aparatyň goşmaça tizligi V_{gos} diýilýär. Güne görä şu tizlik bilen kosmos aparaty Ýeriň täsir edýän çäğinden çykyp gidýär.

Kosmos aparatynyň başlangyç tizligi v_0 (2.29) formula laýyklykda deňlemeden kesgitlenýär.

$$v_0^2 = \frac{2Gm}{R+h} - \frac{Gm}{a}.$$

Aparatyň $r = \rho$ (ρ – Ýeriň täsir edýän çäginin radiusy) uzaklykdaky tizligi, ýagny aparatyň goşmaça tizligi V_{gos} (2.29) formula laýyklykda şu deňlemeden kesgitlenýär.

$$V_{gos}^2 = \frac{2Gm}{\rho} - \frac{Gm}{a}.$$

Iki soňky aňlatmalardan alarys:

$$v_0^2 - V_{gos}^2 = \frac{2Gm}{R+h} - \frac{2Gm}{\rho}.$$

Aňlatmanyň sag böleginiň birinji agzasy (2.26) formula laýyklykda v_H^2 deňdir, ikinji agzasy bolsa $\rho \rightarrow \infty$ bolanda nola öwrülýändir. Onda kosmos aparatynyň başlangyç tizligi aşakdaky formuladan kesgitlenir:

$$v_0 = \sqrt{v_n^2 + V_{gos}^2}. \quad (2.30)$$

Ýeriň üstünden goýberilen (uçurylan) kosmos aparatynyň Gün sistemasyndan çykyp gitmegi üçin nähili başlangyç tizliginiň bolmalydygyny (2.30) formuladan hasaplalyň. Bu ýagdaýda kosmos aparatynyň geliosentrik tizligi V Güne görä parabolik tizligine deň



bolmalydyr. Ýeriň Günüň daşynda töwerek boýunça hereket etmeli tizligi $V_c = 29,8 \text{ km/s}$. Ýeriň Günden uzaklygynda Güne görä parabolik tizligi $V_n = V_c \sqrt{2} = 42,1 \text{ km/s}$. Diýmek, kosmos apparatynyň geliosentrik tizligi $V = V_c = 42,1 \text{ km/s}$ deň bolmalydyr.

Eger Ýeriň geliosentrik tizliginiň $V_{\dot{Y}}$ ýerine töwerekde hereket etmeli tizligini V_c kabul etsek, ýagny $V_{\dot{Y}} = V_c = 29,8 \text{ km/s}$, onda kosmos apparatynyň Ýeriň täsir edýän çäginde onuň (Ýeriň) orbita boýunça hereketiniň ugry boýunça çyksa, kosmos apparatynyň goşmaça tizligi

$$V_{\text{goş}} = V_{\Pi} - V_c = (42,1 - 29,8) \text{ km/s} = 12,3 \text{ km/s}.$$

Ýeriň orbita boýunça hereketiniň tersine çyksa, onda

$$V_{\text{goş}} = V_{\Pi} + V_c = 71,9 \text{ km/s}.$$

Onda kosmos apparatynyň başlangyç tizligi (2.30) formula laýyklykda birinji ýagdaý üçin

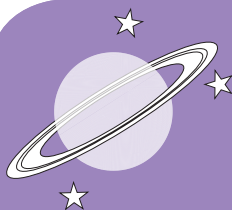
$$v_0 = \sqrt{(11,2)^2 + (12,3)^2} = 16,6 \text{ km/s},$$

ikinji ýagdaý üçin bolsa

$$v_0 = \sqrt{(11,2)^2 + (71,9)^2} = 72,8 \text{ km/s}.$$

Diýmek, Ýeriň üstünden uçurylan kosmos apparatynyň Gün sistemasyndan çykyp gitmegi üçin gerek bolan tizligi apparatyň Ýeriň täsir edýän çäginde onuň orbita boýunça hereket edýän ugruna görä haýsy ugurda çykyanyna baglydyr we $16,6 \text{ km/s} \leq v_0 \leq 72,8 \text{ km/s}$ çäklerde ýerleşendir. Minimal $v_{3k} = 16,6 \text{ km/s}$ tizlige Ýere görä üçünji kosmiki tizlik diýilýär.



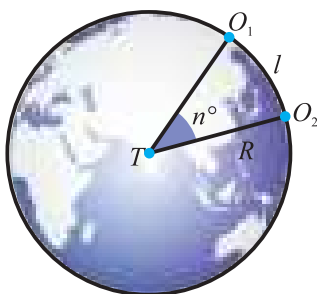


III bap

ASMAN JISIMLERINIŇ ULULYKLARYNY, ŞEKILLERINI WE UZAKLYKLARYNY KESGITLEMEK

§55. Ýeriň radiusynyň kesgitlenilishi. Triangulýasiýa

Bütindünýä dartyлма nazarýetine laýyklykda öz okunyň daşyndan kesgitli tizlik bilen aylanýan (gaty çalt aýlanmaýan), gabaraly, uly massaly, izolirlenen islendik jisim şar şekilli (togalak) görnüşi almalydyr. Hakykatdan-da, hemme gözegçilik edilýän gabaraly asman jisimleriniň (Gün, Aý, planetalar) şardan kân bir tapawutlanmaýan görnüşleri bardyr. Ýeriň şar şekilli görnüşiniň bardygyny kosmosdan alnan fotosuratlar (1967–1969 ý.ý.) hem görkezýär.



38-nji surat. Ýer şarynyň radiusynyň kesgitlemek

Ýeriň şar şekilli görnüşiniň bolmagy onuň ölçeglerini kesgitlemek üçin biziň eýýamymyzdan öň III asyrdan Eratosthen tarapyndan ulanylan usuly peýdalanmaga mümkinçilik berýär. Bu usulyň manysy ýönekeýdir. Ýer şarynyň üstünde, şol bir geografik meridianda ýerleşen O_1 we O_2 iki nokady alalyň (38-nji surat). Meridianyň O_1O_2 dugasynyň uzynlygyny (kilometrlerde) l , onuň burç ululygyny bolsa (graduslarda) n° bilen belläliň. Onda meridianyň 1° dugasynyň

uzynlygy $l_0 = \frac{l}{n^\circ}$ bolar, meridianyň töwereginiň uzynlygy bolsa

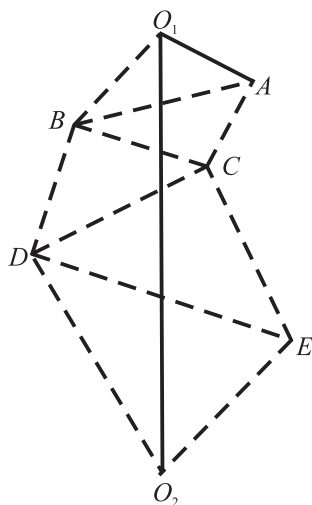


$L = 360^\circ \cdot l_0 = \frac{360^\circ \cdot l}{n^\circ} = 2\pi R$ bolar. Bu ýerde R – Ýer şarynyň radiusy. Onda $R = \frac{180^\circ \cdot l}{\pi \cdot n^\circ}$.

Duganyň n° burç ululygy O_1 we O_2 nokatlaryň geografik giňlikleriniň tapawudyna deňdir, ýagny $n^\circ = \varphi_1 - \varphi_2$. Bu nokatlaryň geografik giňliklerini kesgitlemek bolsa ýönekeý astrometrik meseledir.

O_1 we O_2 nokatlaryň arasyndaky l uzaklygy çyzykly ölçeglerde kesgitlemek çylşyrymlyrakdyr. Biri-birinden ýüzlerçe kilometr uzaklykda ýerleşen, bu nokatlaryň arasyndaky iň gysga uzaklyk bolan göni çyzyk boýunça gös-göni ölçegleri tebigy päsgelçilikler sebäpli (daglar, tokaýlar, derýalar we ş.m) geçirip bolmaýar. Şonuň üçin duganyň l uzynlygy ýörite usulyň kömegi bilen, hasaplamalaryň üsti bilen kesgитlenýär. Geodeziýada işlenip düzülen we triangulýasiýa diýilýän bu usul boýunça bazis diýip atlandyrylýan, uly bolmadyk aralygy we birnäçe burçlary ölçemek ýeterlikdir.

Triangulýasiýa usulynyň manysy şulardan ybaratdyr. Uzynlygyny kesgitlemeli bolan O_1O_2 duganyň iki tarapynda hem biri-birinden 30-40 km aralyklarda ýerleşen birnäçe nokatlar A, B, C, \dots saýlanyp alynýar (39-njy surat). Nokatlar saýlanylanda islendik nokatdan iň bolmanda beýleki nokatlaryň ikisi görünmegi hökmandyr. Belle-nen nokatlaryň hemmesinde beýikligi onlarça metr bolan, geodezik signal diýip atlandyrylýan, piramida görnüşli wyşkalary dikýärler. Bu gurluşda gözegçi we burç ölçenýän abzaly (teodolit) ýerleşdirer ýaly meýdança göz önünde tutulandyr. Islendik iki nokadyň, mysal üçin, O_1A aralygy tekiz ýere düşer ýaly saýlap alynýar we ol bazis diýip kabul edilýär. Bazisiň uzynlygy ýörite ölçeg lentalarynyň kömegi bilen gös-göni ölçeglerden kesgитlenýär. Uzynlygy 10 km bolan bazis has takyk ölçenilende goýberilýän ýalňyşlyk ± 2 mm deňdir.



39-njy surat. Triangulýasiýa



Soňra burç ölçenýän abzaly yzygiderlikde O_1, A, B, C, \dots, O_2 nokatlarda ýerleşdirip, O_1AB, ABC, BCD, \dots üçburçluklaryň ähli burçlary ölçenilýär. O_1AB üçburçlugyň hemme burçlaryny we O_1A (bазis) tarapyňy bilip, onuň beyleki iki tarapyňy O_1B we AB hasaplap bolýar. ABC üçburçlukda AB tarapyňy we hemme burçlaryny bilip, AC we BC taraplaryny hasaplap bolýar we ş.m. Başgaça aýdanymyzda, üçburçluklaryň zynjyrynda diňe bazisi we hemme burçlary bilip, O_1BDO_2 (ýa-da O_1ACEO_2) döwürk çyzygyň uzynlygyny hasaplap bolýar. Bu hasaplamalarda üçburçlyklaryň sferikdigi göz önünde tutulýandyr. Soňra, O_1 nokatdan O_1B (ýa-da O_1A) tarapyň ugrunyň azimutyny kesgitläp, O_1BDO_2 (ýa-da O_1ACEO_2) döwürk çyzygy O_1O_2 meridiaňa proyektirläp bolýar, ýagny O_1O_2 duganyň uzynlygyny çyzykly ölçeglerde kesgitläp bolýar.

§56. Ýeriň ölçegleri we görnüşi

Triangulýasiýa usulyny ilkinji bolup Snellius 1615-nji ýylda Gollandiýada meridiaňyň dugasyny ölçemekde ulanandyr. Şondan soň häzirkiki döwre çenli dürli ýurtlarda, dürli giňliklerde Ýeriň üstüniň köp dugalary meridianlar boýunça-da, paralleller boýunça-da ölçenendir. Bu ölçegler meridiaňyň 1° dugasynyň uzynlygynyň dürli giňlikler üçin birdeň dälidigini görkezdi, ýagny ekwatoryň ýakynynda ol $110,6 \text{ km}$, polýuslaryň ýakynynda bolsa $111,7 \text{ km}$ deňdir. Bu ölçeglerden görnüşi ýaly, polýuslara ýakynladygymyzça bu ululyk ulalýandyr. Bu bolsa Ýeriň üstüniň egriliginiň polýuslaryň golaýynda ekwator dakýdan kiçidigini görkezýär. Diýmek, Ýeriň şardan tapawutly görnüşi, ýagny polýuslaryndan gysylan, sferoida (aýlanma ellipsoidine) ýakyn görnüşi bardyr.

Geçen ýüzyýllygyň dowamynda Ýer sferoidiniň elementleri birnäçe gezek kesgitlenendir. Bu ugurda has düýpli işler 1940-njy ýylda alymlar F.N.Krasowskiý we A.A.Izotow tarapyndan geçirilendir. Olaryň kesgitlemeleri boýunça Ýeriň aýlanma oky bilen gabat gelýän, sferoidiň kiçi ýarymoky $b = 6356,86 \text{ km}$, ekwatoryň tekizliginde ýatan uly ýarymoky bolsa $a = 6378,24 \text{ km}$ deňdir. Sferoidiň gysylmagy diýip atlandyrylýan $\varepsilon = \frac{a-b}{a}$ gatnaşyk $\frac{1}{298,3}$ deňdir.

Ýeriň üstüni has çylşyrymly geometrik şekiliň, mysal üçin, uzynlyklary boýunça tapawutlanýan üç okly ellipsoidiň kömegi bilen şekillendirmek üçin edilen synanyşyklar özara ylalaşýan netijeleri beren däl. Muňa garamazdan, Krasowskiniň ellipsoidiniň elementleri çykarylanda Ýeriň ekwatorial gysylmasy $1/30000$ deň diýip kabul edilendir. Bu bolsa Ýeriň iň uly we iň kiçi ekwatorial radiuslarynyň bary-ýogy 213 m tapawudyna degişlidir. Şunlukda iň uly ekwatorial radiusyň (iň uly meridian) uzaklygy gündogarlygyna 15° deňdir.

Ýeriň emeli hemralarynyň kömegi bilen çözülýän köp sanly we dürli görnüşli ylmy meseleleriň biri hem Ýeriň görnüşini öwrenmekdir. Ýeriň emeli hemralarynyň hereketlerine edilýän gözegçilikler esasynda Ýeriň görnüşiniň elementleri has takyk kesgitlenendir. Ýeriň ekwatorial radiusy $a = 6375,75\text{ km}$ deňdir. Demirgazyk polýar radiusynyň ululygy $6355,39\text{ km}$, günorta polýar radiusy bolsa $6355,36\text{ km}$ deňdir, ýagny günorta polýus Ýeriň merkezine demirgazyk polýusdan 30 m ýakyndyr. Ýeriň gysylmasy $\varepsilon = \frac{1}{298,2}$ deňdir,

bu bolsa alymlar F.N.Krasowskiý bilen A.A.Izotowyň teklipe eden ellipsoidiniň gysylmasyna ýakyndyr.

Köpsanly kesgitlemeleriň esasynda 1964-nji ýylda Halkara astronomik birleşmesi Ýer ellipsoidiniň elementleriniň şu ululyklaryny kabul edendir:

$$a = 6378,16\text{ km},$$

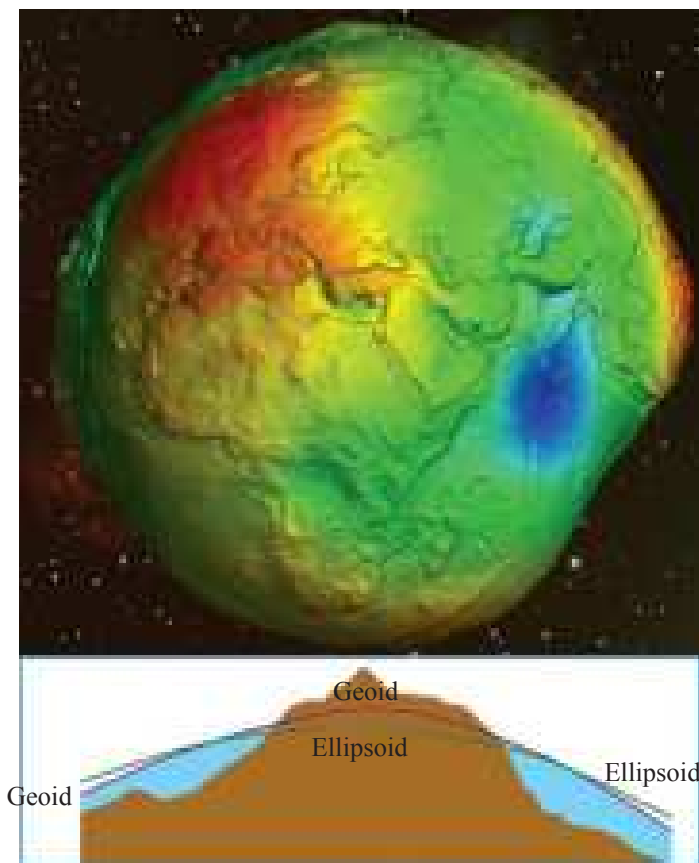
$$b = 6356,78\text{ km},$$

$$\varepsilon = \frac{1}{298,25}.$$

Ýeriň hakyky görnüşi sferoidden hem, üç okly ellipsoidden hem tapawutlanýandyr we belli bolan matematiki şekilleriň hiç birinde gabat gelyän däl. Şonuň üçin, Ýeriň görnüşi diýilende okeanlardan we materiklerden, beýikliklerden we çöketicilerden ybarat bolan Ýeriň üstüniň fiziki görnüşi däl-de, *geoidiň üsti* göz önüne getirilýändir.

Üstün islendik nokady üçin asma çyzygy normal bolýan bolsa (şol nokada galtaşýan tekizlige perpendikulýar we şol nokatdan geçýän), onda ol üste *deňagramlylyk üsti* ýa-da *dereje üsti* diýilýär.





40-njy surat. Geoidiň we ellipsoidiň üsti

Açyk ummanda dynçlykdaky erkin suwuň üsti bilen gabat gelyän deňagramlylyk üste geoid diýilýär.

Geoidiň üsti Ýer ellipsoidiniň üstünden az tapawutlanýandyр, materiklerde ondan ýokarda, ummanlarda bolsa pesde bolýandyр (40-njy surat). Geoidiň we ölçegleri, görnüşі boýunça oňa iň golaý ellipsoidiň derejeleriniň tapawudy 100 metrden kiçidir.

Ýeriň hakyky görnüşini öwrenmek geodeziýanyň we grawimetriýanyň esasy wezipeleriniň, meseleleriniň biridir. Bu mesele geoidi iň ýakyn bolan ellipsoidiň elementlerini kesgitlemekden, geoidiň üstüniň aýry-aýry bölekleriniň ellipsoide görä ýerleşişini kesgitlemekden ybaratdyр.



§57. Asman jisimlerine çenli uzaklyklary kesgitlemek

Asman jisimlerine çenli uzaklyklary kesgitlemek olaryň gorizont tal parallaksalaryny ölçemäge esaslanandyr (§27 seret).

Ýagtyltgyjyň gorizont al ekwatorial parallaksy p_0 belli bolsa, onda onuň Ýeriň merkezinden uzaklygyny kesgitlemek ýeňildir (20-nji surat). Hakykatdan-da, eger $TO = R_0$ Ýeriň ekwatorial radiusy, $TM = \Delta$ Ýeriň merkezinden M ýagtyltgyjyň uzaklygy, p burç ýagtyltgyjyň gorizont al ekwatorial parallaksy bolsa, onda TOM gönüburçly üçburçlukdan alarys:

$$\Delta = \frac{R_0}{\sin p_0}. \quad (3.1)$$

Aýdan başga hemme ýagtyltgyçlar üçin parallaks örän kiçi ululykdyr. Şonuň üçin (3.1) formulada

$$\sin p_0 = p_0'' \sin 1'' = \frac{R_0''}{206265''}$$

bilen çalşyp, aşakdaky görnüşde ýazarys:

$$\Delta = \frac{206265'' \cdot R_0}{p_0''}. \quad (3.2)$$

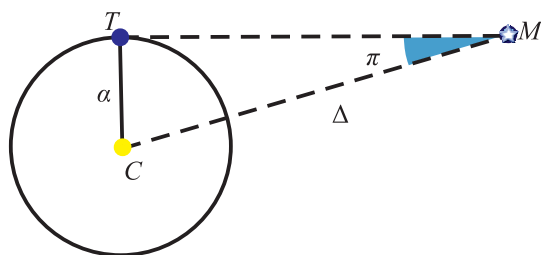
Hasaplanylýan Δ uzaklygyň ölçeg birligi Ýeriň R_0 radiusynyň ölçeg birliklerinde bolar. Bu (3.2) formula boýunça Gün sistemasynyň jisimlerine çenli bolan aralyklar kesgitlenýändir.

Gün sistemasynyň jisimlerine çenli uzaklygy radiolokasiýa usullary bilen kesgitlep bolýandyr. 1946-njy ýylda Aýa, 1957–1963-nji ýyllarda bolsa Güne çenli, Merkuriý, Wenera, Mars, Ýupiter planetalara çenli uzaklyklar radiolokasiýa usullary bilen kesgitlenendir. Radiotolkunlaryň ýaýraýan tizligini $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ we radiosignalyň Ýerden asman jisimine çenli gidip-gelmegi üçin gerek bolan wagt aralygyny t (sekuntlarda) bilip, asman jisiminiň Ýerden uzaklygyny hasaplap bolýar

$$\Delta = \frac{ct}{2}.$$

Ýyldyzlara çenli uzaklyk olaryň ýyllyk parallaks süýşmesi, ýagny gözegçiniň Ýer orbitasy boýunça Ýer bilen bilelikde hereketi bilen baglanyşykly süýşmesi boýunça kesgitlenilýär (41-nji surat).





41-nji surat. Ýyldyzlaryň ýyllyk parallaksy

Ýyldyza tarap ugur Ýeriň orbitasynyň radiusyna perpendikulýar bolan ýagdaýynda bu radiusyň ýyldyzdan görünjek burç ululygyna ýyldyzyň ýyllyk parallaksy π diýilýär. Eger $CT = a$ Ýer orbitasynyň ortaça radiusy, $MC = \Delta$ ýagtyltgyjyň Günden uzaklygy, π ýagtyltgyjyň ýyllyk parallaksy bolsa, onda CTM gönüburçly üçburçlukdan alarys:

$$\Delta = \frac{a}{\sin \pi}. \quad (3.3)$$

Ýyldyzlaryň ýyllyk parallaksy $1''$ kiçidir, şonuň üçin

$$\Delta = \frac{206265'' a}{\pi''}. \quad (3.4)$$

Bu formulalar boýunça hasaplanan uzaklyk Ýeriň Günden ortaça a uzaklygynyň aňladylan ölçeg birliklerinde alynýandyr.

§58. Astronomiýada uzaklyk ölçeg birlikleri

Eger asman jisimlerine çenli uzaklyklar örän uly bolsa, onda olary kilometrlerde aňlatmak amatsyzdyr, sebäbi köp sifrleri özünde saklaýan, örän uly sanlar alynýar.

Şonuň üçin astronomiýada kilometrden başga-da şu uzaklyk ölçeg birlikleri kabul edilendir:

astronomik birlik (a.b.) – Ýeriň Günden ortaça uzaklygy;

parsek (pk) – ululygy $1''$ bolan ýyllyk parallaksa degişli bolan aralyk; *ýagtylyk ýyly* ýagtylygyň 300000 km/s tizlik bilen ýaýranda bir ýylda geçýän aralygy.

Parsek parallaks we sekunt sözleriň birinji bogunlaryndan ýasalan sözdür. Bir parsek uzaklykda ýerleşen ýagtyltgyçdan Ýer orbitasynyň



radiusynyň görünyän burç ululygy $1''$ deňdir. Eger astronomik birlik Ýeriň orbitasynyň uly ýarymokuna, ýagny 149600000 km deň diýip kabul edilse, onda

$$1 \text{ pk} = 30,86 \cdot 10^{12} \text{ km} = 206265 \text{ a.b.} = 3,26 \text{ ýagtylyk ýyly};$$

$$1 \text{ ýagtylyk ýyly} = 9,460 \cdot 10^{12} \text{ km} = 63240 \text{ a.b.} = 0,3067 \text{ pk}.$$

Astronomik birliklerde adatça Gün sistemasynyň jisimlerine çenli uzaklyklar aňladylýar. Mysal üçin, Merkuriý Günden $0,387 \text{ a.b.}$, Neptun bolsa $30,07 \text{ a.b.}$ uzaklykda ýerleşýär.

Gün sistemasynyň çäklerinden daşynda ýerleşen asman jisimlerine çenli uzaklyklar adatça parsekde, kiloparsekde (1000 pk), megaparsekde (1000000 pk), şeýle hem ýagtylyk ýylynda aňladylýar.

Bu ýagdaýlarda:

$$\Delta = \frac{1}{\pi''} \text{ pk} \quad \text{we} \quad \Delta = \frac{3,26}{\pi''} \text{ ýagtylyk ýyly}.$$

Güne iň ýakyn ýerleşen «Sentawryň Proksima» ýyldyzynyň ýyllyk parallaksy $\pi'' = 0'',762$. Diýmek, bu ýyldyz bizden $1,31 \text{ pk}$ ýa-da $4,26 \text{ ýagtylyk ýyly}$ uzaklykdadyr.

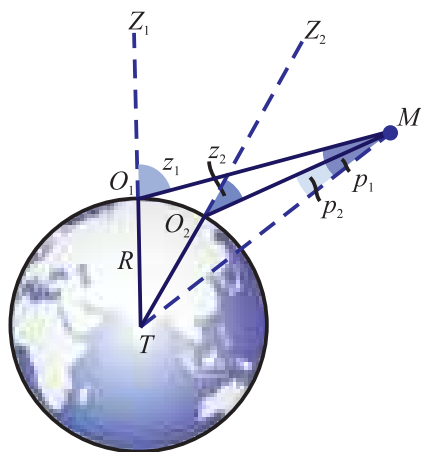
§59. Gözegçiliklerden günlük we ýyllyk parallaksalaryň kesgitlenilişi

Goý, Ýeriň üstünde şol bir geografik meridianda ýerleşen O_1 we O_2 nokatlardan (42-nji surat), şol bir ýagtyltgyjyň asman meridi-anyndan geçme pursadynda z_1 we z_2 zenit aralyklary ölçenilen bolsun. Gözegçilik geçirilýän nokatlaryň ikisi hem demirgazyk ýarym şarda we nokatlaryň ikisi üçin hem ýagtyltgyç zenitden gü-nortada gözegçilik edilen bolsun.

Onda:

$$z_1 = \varphi_1 - \delta_1 \quad \text{we} \quad z_2 = \varphi_2 - \delta_2$$

bu ýerde φ_1 we φ_2 – gözegçilik edilýän nokatlaryň geogra-



42-nji surat. Gije-gündiz parallaksy kesgitlemek



fik giňlikleri, δ_1 we δ_2 – ýagtyltgyjyň toposentrik ýapgytlyklary. Bu ululyklar geosentrik ýapgytlykdan $p_1 = p \sin z_1$ we $p_2 = p \sin z_2$ ululyklara tapawutlanýandyrlar.

O_1TO_2M dörtburçlukda (42-nji surat) O_1MO_2 burç $(p_1 - p_2)$ deň, MO_2T burç küteldir (180° -dan uludyr) we $(180^\circ + z_2)$ deňdir, O_1TO_2 burç $(\varphi_1 - \varphi_2)$ deň we TO_1M burç $(180^\circ - z_1)$ deňdir. Dörtburçlugyň içki burçlarynyň jeminiň 360° -a deň bolany üçin

$$360^\circ = p_1 - p_2 + 180^\circ + z_2 + \varphi_1 - \varphi_2 + 180^\circ - z_1 \quad \text{ýa-da}$$

$$p_1 - p_2 = (\varphi_2 - z_2) - (\varphi_1 - z_1).$$

Ýokarda aýdylan gatnaşyklary göz önünde tutup, alarys

$$p(\sin z_1 - \sin z_2) = [\sin(\varphi_1 - \delta_1) - \sin(\varphi_2 - \delta_2)]p = \delta_2 - \delta_1,$$

bu ýerden ýagtyltgyjyň gorizontallaksy

$$p = \frac{\delta_2 - \delta_1}{\sin(\varphi_1 - \delta_1) - \sin(\varphi_2 - \delta_2)}.$$

Gözegçilik edilýän nokat üçin Ýeriň R radiusynyň we Ýeriň ekwatorial R_0 radiusynyň ululyklary boýunça gorizontallaks hasaplanýar:

$$p_0 = p \cdot \frac{R_0}{R}.$$

Ýagtyltgyjyň gorizontallaksyny Ýeriň şol bir nokadyndan, ýöne dürli wagt pursatlarynda onuň göni ýokary göterilişiniň ölçeglerinden kesgitlemek hem mümkindir. Ölçeg geçirilen pursatlaryň aralygyndaky wagtyň dowamynda Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýandygy sebäpli gözegçi giňişligiň bir nokadyndan başga nokadyna geçýär. Bu bolsa ýagtyltgyjyň degişli parallaktik süýşmesini berýär. Şeýlelik bilen, ýagtyltgyjyň gorizontallaksy, degişli we maksada laýyk geçirilen gözegçiliklerden alnan, ýagtyltgyjyň toposentrik koordinatalary boýunça kesgitlenilýär.

Ýyldyzlaryň ýyllyk parallaksalary hem ýokarda seredilen usula meňzeşlikde kesgitlenilýär. Ýöne bu ýagdaýda biri-birinden ýarym ýyl wagt aratapawudy bolan, Ýeriň orbitasynyň iki dürli nokatlarynda geçirilen gözegçiliklerden ýyldyzyň geosentrik koordinatalary kesgitlenilýär (§84 seret). Ýagtyltgyjyň parallaktik süýşmesi boýunça kesgitlenen parallaksa trigonometrik parallaks diýilýär.



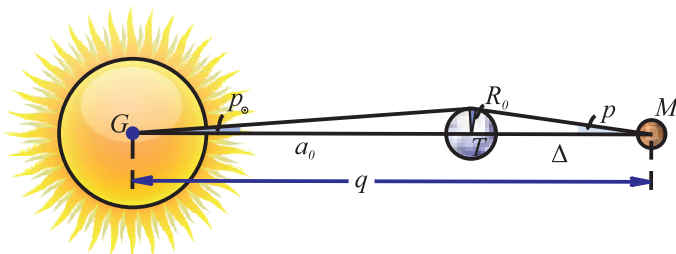
Häzirki döwürde burç ölçeyän gurallar 100 pk çenli uzaklykdaky ýyldyzlaryň ýyllyk parallaktik süýşmesini ($\pi = 0'',01$) kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Şonuň üçin trigonometrik parallaksalary kesgitlenen ýyldyzlaryň sany köp däldir (6000). Has uzakda ýerleşen asman jisimleriniň uzaklyklary başga dürli (gyýtaklaýyn) usullar boýunça kesgitlenilýär.

§60. Astronomik birligiň kesgitlenişi

Eger Ýeriň R radiusy we Günüň p_{\odot} gorizontal parallaksy belli bolsa, onda (3.2) formula boýunça Ýeriň Günden ortaça uzaklygyny, ýagny astronomik birligiň ululygyny kilometrlerde hasaplap bolýar. Astronomik birligiň kesgitlenilişiniň takyklygy bütewiligine Günüň gorizontal parallaksynyň p_{\odot} takyklygyna baglydyr. Emma Günüň gorizontal parallaksyny gös-göni kesgitlemegiň geçen paragrafda seredilen usuly, Günüň gaty uzakda ýerleşenligi we gurallaryň Gün şöhleleriniň täsiri netijesinde gyzyňanlygy sebäpli ölçegleriň takyklygy pesdir. Şonuň üçin Günüň gorizontal parallaksy gyýtaklaýyn ýol bilen kesgitlenilýär, ýagny Ýerden Güne çenli aralygyň ululygyndan Ýere golaý gelýän we gözegçilik üçin amatly bolan planetanyň ölçenen gorizontal parallaksy boýunça kesgitlenilýär.

XX asyra çenli bu maksatlar üçin Marsa beýik garşyda durma wagtynda, ýagny onuň Ýerden 55 mln.km uzaklykda bolanda edilen gözegçilikler peýdalanylýpdyr. Planeta garşyda durma wagtynda orbitasynda perigeliýniň golaýynda bolsa, onda oňa beýik garşyda durma diýilýär.

Meseläni ýönekeýleşdirmek üçin, goý Marsyň beýik garşyda durma pursadynda (43-nji surat) G Gün, T Ýer we M Mars bir göniň



43-nji surat. Günüň parallaksyny kesgitlemek



ugrunda ýerleşen bolsunlar, özi hem Ýer Günden ortaça uzaklykda $a_0 = 1$ a.b., Mars – perigeliýde, ýagny $q = a(1 - e)$ uzaklykda bolsunlar.

Bu ýerde a – Marsyň orbitasynyň uly ýarymoky we e – ekssentrisiteti. Günün gorizontal ekwatorial parallaksyny p_θ , Marsyň gorizontal ekwatorial parallaksyny p , onuň geosentrik uzaklygyny (ýagny Ýerden uzaklygy) Δ , Ýeriň ekwatorial radiusyny R_0 bilen belläliň. Onda

$$R_0 = a_0 \sin p_\theta$$

we

$$R_0 = \Delta \sin p = (q - a_0) \sin p = [a(1 - e) - a_0] \sin p.$$

Aňlatmalaryň sag taraplaryny deňläp we kiçi burçlarynyň sinuslaryny burçlaryň özlери bilen çalşyryp, alarys:

$$a_0 p_\theta = [a(1 - e) - a_0] p$$

bu ýerde

$$p_\theta = \left[\frac{a}{a_0} (1 - e) - 1 \right] p.$$

$\frac{a}{a_0}$ gatnaşyk ýokary takyklyk bilen planetalaryň hereket nazaryýetinden Kepleriň üçünji kanuny boýunça hasaplanýar, Marsyň parallaksy p we orbitasynyň ekssentrisiteti e gözegçiliklerden kesgitlenilýär.

1898-nji ýylda Eros (ýa-da Erot) kiçi planeta açyldy. 37 ýyldan gaýtalanýan, beýik garşyda durma pursatlarynda, käwagt ol Ýere Marsdan 2,5 esse golaý gelýär. Şular ýaly ilkinji garşyda durma 1931-nji ýylda bolup geçdi we şonda Eros Ýere 0,15 a.b. aralyga çenli ýakynlaşdy. Şonda onuň parallaksy 60" ýetdi. Öňünden işlenip düzülen meýilnama boýunça dürli döwletleriň obserwatorialarynyň 24-sinde geçirilen gözegçilikleriň netijesinde Günün gorizontal ekwatorial parallaksy

$$p_\theta = 8'',790 \pm 0'',001 \quad \text{deň boldy.}$$

Günün parallaksyny kesgitlemek parallaktik süýşmäni gös-göni ölçemäge esaslanan, geometrik usullar bilen çäklenmeýär. Bütindünýä dartyлма kanunyna esaslanan dinamiki usullar we radiotolkunlaryň ýaýraýan tizligine esaslanan fiziki usullar giňden peýdalanylýandyr.



Astronomik birligi has takyk kesgitlemek 1961–1963-nji ýyllar-da Merkuriýni we Wenerany radiolokasion gözegçilikler esasynda ýerine ýetirildi. Bu ölçegleriň esasynda astronomik birligiň ululygy 149598500 km deňdigi ± 500 km ýalňyşlyk bilen kesgitlendi.

1964-nji ýylda Halkara astronomik birleşiginiň XII gurultaýynda 1970-nji ýyldan başlap, Günüň parallaksynyň we astronomik birligiň täze ululyklaryny

$$p_{\odot} = 8'',794 \quad \text{we} \quad 1 \text{ a.b.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$$

ulanmak barada karar kabul edildi.

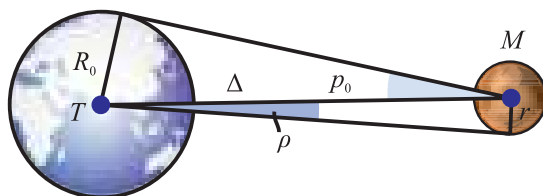
§61. Asman jisimleriniň ölçeglerini we şekilini kesgitlemek

Ýerden ýagtyltgyjyň diskiniň görünyän burç ululygyna onuň burç diametri diýilýär. Käbir asman jisimleriniň (Gün, Aý, planetalar) burç diametrlerini gös-göni gözegçiliklerden kesgitlemek mümkindir.

Eger ýagtyltgyjyň burç diametri (ýa-da radiusy) we Ýerden uzaklygy belli bolsa, onda ýagtyltgyjyň hakyky diametriniň (ýa-da radiusynyň) çyzykly ölçeglerini hasaplamak ýeňildir. Hakykatdan-da, eger (44-nji surat) ρ – M ýagtyltgyjyň burç radiusy, Δ – ýagtyltgyç bilen Ýeriň merkezleriniň arasyndaky uzaklyk, p_0 – ýagtyltgyjyň gorizontal ekwatorial parallaksy, R_0 we r – degişlilikde T Ýeriň we M ýagtyltgyjyň çyzykly radiusy bolsa, onda $r = \Delta \sin \rho$, $R_0 = \Delta \sin p_0$. Bu ýerden

$$r = \frac{\sin \rho}{\sin p_0} R_0$$

ýa-da ρ we p_0 burçlaryň kiçidigini göz önünde tutsak, onda



44-nji surat. Ýagtyltgyçlaryň çyzykly ölçeglerini kesgitlemek

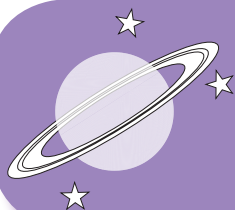


$$r = \frac{\rho}{\rho_0} R_0.$$

Asman jisimleriniň diskleriniň dürli diametrlerini ölçäp, olaryň şekilini kesgitlep bolýandyr. Eger asman jisiminiň diski gysylan bolsa, onda onuň diametrleriniň biri uly, başga biri bolsa beýlekilere göre iň kiçi bolar. Planetalaryň diametrlerini ölçemeler Ýerden başga-da Marsyň, Ýupiteriň, Saturnyň, Uranyň we Neptunyň hem gysylan şekiliniň bardygyny görkezdi.

Burç ölçeglerini gös-göni ölçäp bolmaýan asman jisimleriniň (mysal üçin, kiçi planetalar we ýyldyzlar) burç ölçegleri we şekili ýörite usullar bilen kesgitlenilýär.





IV bap ÝERIŇ WE AÝYŇ HEREKETLERI. TUTULMALAR

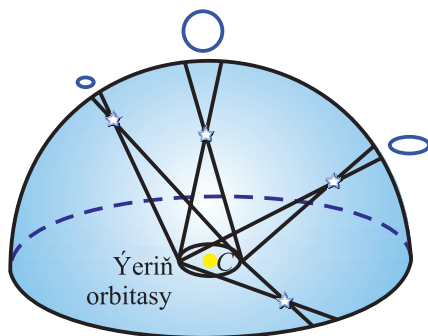
§62. Ýeriň Günüň töweregindäki hereketi

Gözegçiniň Ýer bilen bilelikde giňişlikde Günüň töwereginde töwerege meňzeş orbita boýunça hereket edýänligi üçin, Ýerden ýakyn ýyldyza tarap bolan ugur üýtgeýändir we bu ýyldyz asmanda bir ýylyň dowamynda käbir ellipsi çyzýan bolup görünýär. Parallaktik diýip atlandyrylýan bu ellips, ýyldyz ekliptika näçe golaý boldugyça, şonça-da gysylan, Ýerden näçe uzakda boldugyça, şonça-da kiçi bolar. Ekliptikanyň polýusynda ýerleşýän ýyldyzyň çyzýan ellipsi kiçi töwerege öwrüler, ekliptikada ýatan ýyldyzyň çyzýan ellipsi bolsa uly aýlawyň dugasynyň kesimine öwrüler (45-nji surat).

Parallaktik ellipsleriň uly ýarymoklary ýyldyzyň ýyllyk paralaksyna deňdir.

Şeýlelikde, ýyldyzlaryň ýyllyk parallaksalarynyň bolmagy Ýeriň Günüň töweregindäki hereketiniň subutnamasydyr.

Ýyldyzlaryň ýyllyk parallaksalaryny kesgitlemek boýunça ilkinji işleri 1835–1840-njy ýyllarda W.Struwe (Russiýa – 1835–1838ý.ý.), F.Bessel (Germaniýa – 1837–1840 ý.ý.) we T.Genderson (Angliýa – 1839–1840ý.ý.) ýerine ýetirendirler. Bu kesgitlemeleriň gaty bir takyk bolmanlygyna garamazdan, olar diňe bir Ýeriň Günüň töwere-



45-nji surat. Parallaktik ellipsler



gindäki hereketiniň obýektiw subutnamasy bolmak bilen çäklenmän, Älemde asman jisimleriniň ýerleşen ägirt uly uzaklyklaryny anyk göz önüne getirmäge mümkinçilik berdi.

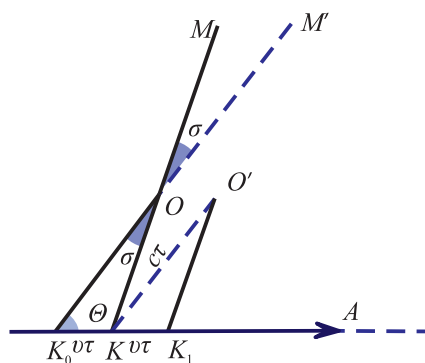
Ýeriň Gününň töweregindäki hereketiniň ikinji subutnamasy inlis astronomy Bradleý Aždarha ýyldyz toparynyň γ ýyldyzynyň ýyllyk parallaksyny kesgitlejek bolanda, 1728-nji ýylda açylan, ýyldyzyň ýyllyk aberrasion süýşmesidir.

Umuman aberrasiýa hadysasy, hereket edýän gözegçiniň gözegçilik edýän ýagtyltgyjyny görýän ugrunyň, şol pursatda hereket etmedik ýagdaýynda görjek ugrundan tapawutlanmagydyr. Aberrasiýa burçy diýip, ýagtyltgyjyň görünýän ugry bilen ýagtyltgyja tarap hakyky ugruň emele getirýän burçuna aýdylýar. Bu ugurlaryň tapawudy ýagtylygyň tizliginiň we gözegçiniň tizliginiň utgaşmasynyň netijesidir.

Goý K nokatda gözegçi we guralyň okulýarynyň sapaklarynyň atanagy, O nokatda bolsa guralyň obýektiwi ýerleşen bolsun (46-njy surat). Gözegçi KA ugurda v tizlik bilen hereket edýär. M ýyldyzyň ýagtylyk şöhlesi guralyň obýektiwine O nokatda düşar we c tizlik bilen hereket edip, τ wagtda $OK = c\tau$ aralygy geçer we K nokada düşer. Ýöne ýyldyzyň şekili sapaklaryň atanagyna düşmez, sebäbi τ wagtyň dowamynda gözegçi we sapaklaryň atanagy $KK_1 = v\tau$ ululyga orun üýtgederler hem-de K_1 nokatda bolarlar. Ýyldyzyň şekiliniň okulýaryň sapaklarynyň atanagyna düşmegi üçin, guraly ýyldyza tarap hakyky KM ugur boýunça ugrukdyrman, K_0O ugur boýunça ugrukdyrmaly, özi hem sapaklaryň atanagy K_0 nokatda bolmaly $K_0K = K_1K = v\tau$. Diýmek, ýyldyzyň görünýän K_0M' ugry KM hakyky ugur bilen σ burçy emele getirýär. σ burça ýagtyltgyjyň aberrasion süýşmesi diýilýär.

KOK_0 üçburçlukdan

$$\sin \sigma = \frac{v}{c} \sin \theta$$



46-njy surat. Ýagtyltgyjyň görünýän ýagdaýyna ýagtylygyň aberrasiýasynyň täsiri



ýa-da σ burçuň kiçidigini göz önünde tutsak, onda

$$\sigma = 206265'' \frac{v}{c} \sin \theta \quad (4.1)$$

bu ýerde θ – gözegçiniň tizliginiň ugrukdyrylan asman nokadyndan ýyldyzyň görünýän ugrunyň burç aralygy. Bu nokada gözegçiniň hereketiniň apeksi diýilýär.

Ýeriň üstünde ýerleşen gözegçi onuň iki esasy hereketine gatnaşýandyr, ýagny öz okunyň daşynda gije-gündiz aýlanmasyna we Günüň töwereginde ýyllyk hereketine. Şonuň üçin gije-gündiz we ýyllyk aberrasiýalary tapawutlandyryrlar. Gije-gündiz aberrasiýa ýagtylygyň tizliginiň gözegçiniň gije-gündiz aýlanma tizligi bilen utgaşmagynyň netijesi, ýyllyk aberrasiýa bolsa onuň ýyllyk hereketi bilen utgaşmagynyň netijesidir.

Gözegçiniň ýyllyk hereketiniň Ýeriň orbitasy boýunça hereket tizligidigini $v = 29,78 \text{ km/s}$ we $c = 300000 \text{ km/s}$ hasaba alyp, (4.1) formuladan alarys:

$$\sigma = 20'',496 \sin \theta \approx 20'',50 \sin \theta.$$

$k_0 = 20'',496 \approx 20'',50$ ululyga aberrasiýa hemişeligi diýilýär.

Gözegçiniň ýyllyk hereketiniň apeksi ekliptikanyň tekizliginde ýerleşendir we bir ýylda 360° üýtgeýänligi sebäpli, ekliptikanyň polýusynda ($\theta = \beta = 90^\circ$) ýerleşen ýyldyzyň görünýän ýagdaýy bir ýylyň dowamynda özüniň hakyky ýerleşen ýagdaýynyň daşynda radiusy $20'',50$ bolan kiçi töwerek çyzýar. Galan ýyldyzlaryň görünýän ýagdaýlary ýarymoklary $20'',50$ we $20'',50 \sin \beta$ bolan aberrasion ellipsleri çyzýarlar, bu ýerde β – ýyldyzyň ekliptik giňligi

Ekliptikanyň tekizliginde ($\beta = 0$) ýerleşen ýyldyzlaryň ellipsi uzynlygy $20'',50 \cdot 2 = 41'',00$ bolan, has takygy $40'',99$ bolan, duganyň kesimine öwrülýär.

Şeýlelik bilen, ýyldyzlaryň ýyllyk aberrasion süýşmeleriniň bolmagynyň özi Ýeriň Günüň töweregindäki hereketiniň subutnamasydyr.

Parallaktik we aberrasion süýşmeleriň tapawudy olaryň birinjisiniň ýyldyza çenli uzaklyga, ikinjisiniň bolsa diňe Ýeriň orbitasy boýunça hereketiniň tizligine baglylygydyr. Parallaktik ellipsleriň uly ýarymoklary Günden dürli uzaklyklarda ýerleşen ýyldyzlar üçin



tapawutlydyr we $0'',76$ -dan uly dälidirler. Aberrasion ellipsleriň uly ýarymoklary bolsa hemme ýyldyzlar üçin, uzaklyklaryna garamazdan, birmeňzeşdir we onuň ululygy $20'',50$.

Ondan başga-da, ýyldyzyň parallaktik süýşmesi Günüň görüňän ýagdaýyna tarap bolýandyр, aberrasion süýşme bolsa Güne tarap ugrukdyrylman, Günden 90° günbatarda, ekliptikada ýerleşen nokada tarap ugrukdyrylandыр.

§63. Ýerde pasyllaryň çalyşmagy

Gözegçilikler dünýäniň polýuslarynyň ýylyň dowamynda ýyldyzlaryň arasyndaky öz ýerleşen ýagdaýlaryny duýarlyk üýtgetmeýändiglerini görkezýär. Bu ýerden bolsa Ýeriň aýlanma okynyň, Ýeriň Günüň töweregindäki hereketinde öz-özüne parallelligini saklaýandyгы gelip çykýar. Ondan başga-da, Günüň ýapgytlygynyň ýylyň dowamynda $+23^\circ27'$ -dan (Günüň tomusky durma pursady) $-23^\circ27'$ -a (Günüň gysky durma pursady) çenli çäklerde üýtgemegi Ýeriň aýlanma okynyň orbitasynyň tekizligine perpendikulýar dældigini, ýagny $66^\circ33' = 90^\circ - 23^\circ27'$ burça ýapgytdygyny görkezýär.

Ýeriň Günüň töweregindäki hereketiniň, Ýeriň aýlanma okunyň orbitasynyň tekizligine ýapgytlygynyň we bu ýapgytlygyň hemişelik bolmagynyň netijesi – Ýerde pasyllaryň yzygiderli çalyşmagydyр.

Ýeriň aýlanma okunyň giňişlikdäki ugrunyň hemişelik bolmagy tropik ýylyň dowamynda bu okuň Ýer bilen Günüň merkezlerini birleşdirýän çyzyga, şeýle hem Gün şöhlelerine görä öz ýagdaýyny üýtgetmegine getirýär.

Gije-gündiz deňleşme günleri we Günüň tomusky hem gysky durma günleri Ýeriň Gün şöhleleriniň ugruna görä ýerleşişі 47-nji suratda görkezilen.

Gün şöhleleriniň ugry bilen Ýeriň üstünde gorizonta ýerleşen tekiz meýdança geçirilen normalyň arasyndaky burç I ýagdaýda $i_1 = \varphi - \varepsilon$, III ýagdaýda $i_3 = \varphi + \varepsilon$, II ýagdaýda bolsa $i_2 = \varphi$ deňdir. Bu ýerde ε – ekliptikanyň ekwatora ýapgytlyгы, φ – Ýer üstüniň nokadynyň geografik giňligi.

Fizikanyň kanunlaryna laýyklykda meýdança düşýän Φ şöhle akymynyň ululygy, şöhleleriň ugry bilen meýdançanyň normalynyň aralygyndaky burçuň kosinusyna proporsionaldyr, ýagny

$$\Phi = \Phi_0 \cos i$$

bu ýerde Φ_0 – meýdança perpendikulýar ($i = 90^\circ$) düşýän akymyň ululygy.

Günüň tomysky durma gününde (I ýagdaý)

$$\Phi_1 = \Phi_0 \cos(\varphi - \varepsilon).$$

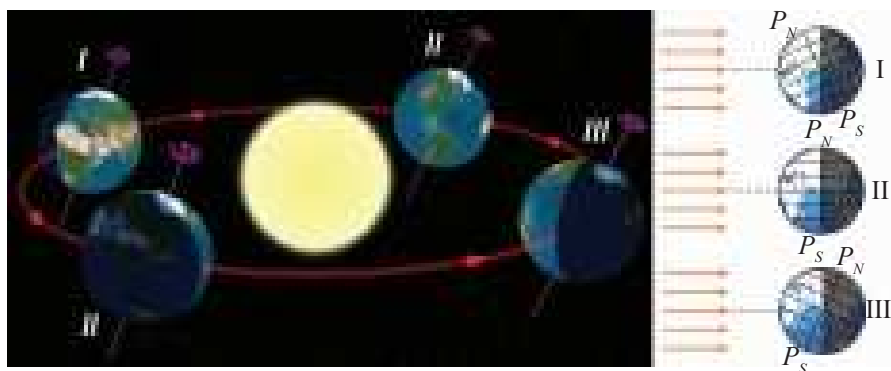
Günüň gyşky durma gününde (III ýagdaý)

$$\Phi_3 = \Phi_0 \cos(\varphi + \varepsilon).$$

Gije-gündiz deňleşme günleri üçin (II ýagdaý)

$$\Phi_2 = \Phi_0 \cos \varphi.$$

Şeýlelikde, ýylyň dowamynda Ýeriň üstüniň meýdançasý, ýerleşen ýeriniň geografik giňligine baglylykda, şöhle energiýasynyň (ýylylygyň) dürli mukdaryny alýar. Mysal üçin, $\varphi = 55^\circ 54'$ giňlikde Φ_1 -iň Φ_3 -den ululygy 4,6 esse uludyr, Φ_2 -i bolsa 1,5 esse Φ_1 -den kiçidir. Diýmek, Ýeriň demirgazyk ýarym şary ýaz we tomus pasyllarynyň dowamynda (21-nji martdan 23-nji sentýabr aralygynda) güýz we gyş pasyllarynyň dowamyndakydan (23-nji sentýabrdan 21-nji mart aralygynda) has köp ýylylyk alýandyr. Günorta ýarym şary bolsa tersligine, 23-nji sentýabrdan 21-nji mart aralygynda köp ýylylyk, 21-nji martdan 23-nji sentýabr aralygynda bolsa az ýylylyk alýandyr.



47-nji surat. Ýylyň dürli pasyllarynda Ýeriň Gün şöhlelerine görä ýerleşşi



Ýeriň üstüne düşýän şöhle energiýasynyň akymy şeýle hem Günüň uzaklygynyň kwadratyna ters proporsional üýtgeýändir. Ýöne bu üýtgemeleriň Ýerde pasyllaryň çalyşmagyna düýpli täsiri ýokdur, sebäbi Ýeriň orbitasy töwerekden az tapawutlanýandyr. Hakykattan-da, eger Ýer afeliýde Günden Φ ýylylyk alýan bolsa, onda ol perigeliýde $1,07\Phi$ ýylylyk alar, ýagny bary-ýogy $1,07$ esse köpdür. Şu tapawut bilen demirgazyk ýarym şarda günorta ýarym şar bilen deňeşdirilende gyşyň gaty gazaply dældigi we tomsuň bolsa birnäçe salkynrakdygy düşündirilýär.

Ýeriň aýlanma okunyň orbitasynyň tekizligine ýapgytlygy bilen şeýle hem Ýeriň üstünde ýylylyk guşaklarynyň paýlanyşy baglydyr.

§64. Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýanlygynyň subutnamasy

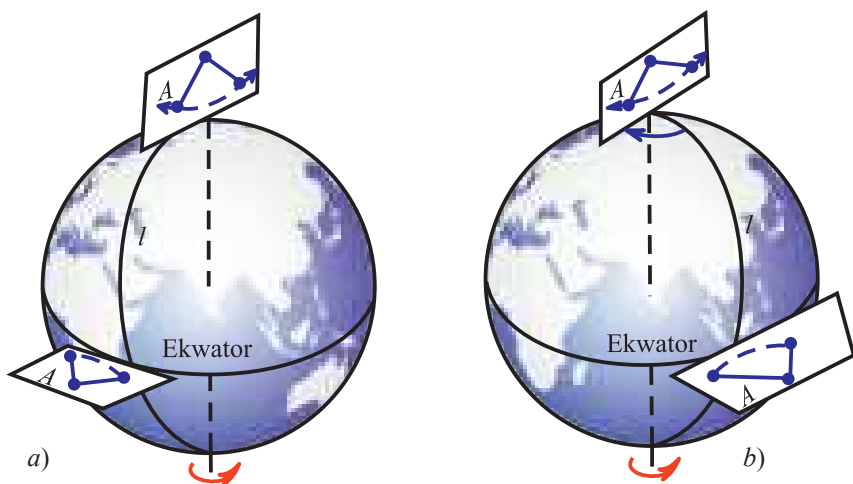
Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýanlygy onuň üstündäki hadysalaryň köpüsinde ýüze çykyýandyr. Mysal üçin, passatlaryň (iki ýarym şarda-da tropiklerde mydam ekwatora tarap öwürýän şemal) Ýeriň günbatardan-gündogara aýlanýanlygy sebäpli demirgazyk ýarym şarda demirgazyk-gündogardan, günorta ýarym şarda bolsa günorta-gündogardan öwürmegi; derýalaryň demirgazyk ýarym şarda sag kenarlaryny, günorta ýarym şarda bolsa çep kenarlaryny ýuwmagy; siklon günortadan demirgazyga hereket edende onuň ýolunyň gündogara gyşarmagy we ş.m.

Ilkinji bolup, fizik Fuko tarapyndan 1851-nji ýylda fiziki maýatnik bilen goýlan tejribe Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýandygynyň göni, ynandyryjy subutnamasydyr.

Fukonyň tejribesi, erkin maýatnige agyrlýk güýjünden başga hiçhili güýç täsir etmeýän ýagdaýynda, onuň yrgyldylarynyň tekizliginiň giňişlikdäki ugruny üýtgetmän saklamak häsiýetine esaslanandyr. Goý, Fukonyň maýatnigi Ýeriň demirgazyk polýusynda haýsy hem bolsa bir pursatda, kesgitli l meridianyň tekizliginde yrgyldaýan bolsun.

Birnäçe wagtdan soň, Ýeriň üstünde ýerleşen we onuň bilen aýlanýanyny duýmaýan gözegçä maýatnigiň yrgyldaýan tekizli-





48-nji surat. Fuko maýatnigi.
A – maýatnigiň yrgyldama tekizligi

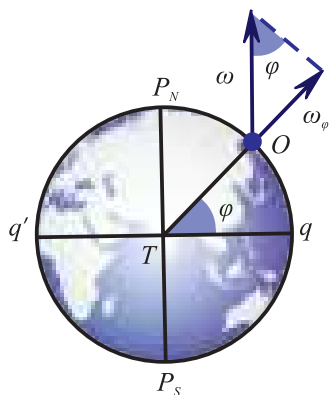
gi gündogardan günbatara tarap, ýagny sagat diliniň ugry boýunça, üznüksiz süýşýän ýaly bolup görner.

Ýöne maýatnigiň yrgyldaýan tekizliginiň ugruny erkin üýtgedip bilmeyändigini ýatlasak, onda hakykatdan hem Ýeriň günbatardan gündogara tarap aýlanýandygyny tassyklamak galýar. Maýatnigiň yrgyldaýan tekizligi bir ýyldyz sagadynda $\omega = 15^\circ$ burç tizligi bilen süýşüp, bir ýyldyz gije-gündizinde Ýeriň üstüne görä bir doly aýlawy amala aşyrýar. Ýeriň günorta polýusynda hem maýatnik 24 ýyldyz sagadynda bir doly aýlaw eder, ýöne ol sagat diliniň ters ugruna bolar.

Eger maýatnigi Ýeriň ekwatorynda ýerleşdirsek we yrgyldylarynyň tekizligini ekwatoryň tekizligi boýunça ugrukdyrsak, ýagny l meridiana göni burç bilen ugrukdyrsak (48-nji surat), onda gözegçi yrgyldylaryň tekizliginiň Ýerdäki predmetlere görä üýtgemesini duýmaz, ýagny ol hereket etmeýän we meridiana perpendikulýar bolup galýan ýaly bolup görner. Eger maýatnik ekwatorda islendik başga tekizlikde yrgyldasa hem, netije üýtgemez. Adatça ekwatorda Fuko maýatniginiň yrgyldylarynyň tekizliginiň aýlanma periody tükeniksiz uly diýip aýdýarlar.

Eger Fuko maýatnigini φ geografik giňlikde ýerleşdirsek, onda maýatnigiň yrgyldylarynyň tekizligi Ýer üstüniň berlen nokadynyň wertikalynyň töwereginde aýlanýan ýaly bolup görner. Bu hereketiň



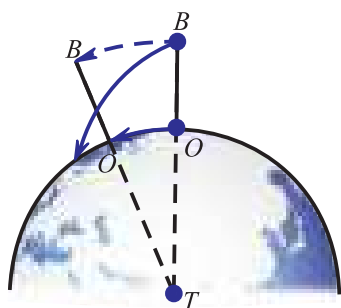


49-njy surat. Fuko maýatnigi

Aşgabatda takmynan $\approx 9^\circ, 2$; Sankt-Peterburgda $\approx 13^\circ$; Moskwada bolsa $\approx 12^\circ, 5$.

Fuko tejribesini goýanda, maýatnigi Parižde Panteonyň gümme-zinden asypdyr. Maýatnigiň uzynlygy 67 m , çeçewisa görnüşli ýüküň massasy 28 kg bolupdyr. 1931-nji ýylda Peterburgda, Isaakiýew soboryň binasyndan uzynlygy 93 m we massasy 54 kg bolan maýatnik asylýar. Bu maýatnigiň yrgyldylarynyň amplitudasy 5 m , periody 20 s töweregi. Maýatnik gyraky ýagdaýlarynyň birine her indiki sapa gelende öňki ýagdaýyna görä 6 mm süýşýär. Şeýlelik bilen, 1-2 minudyň dowamynda Ýeriň hakykatdan hem öz okunyň töwereginde aýlanýandygyna göz ýetirmek mümkindir.

Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanýanlygynyň ynandyryjy subut-



50-nji surat. Ýere gaçýan jisimiň gündogara tarap süýşmesi. O we B nokatlaryň çyzykly süýşmeleri peýkamjyklar bilen görkezilen

burç tizligi ω_p Ýeriň aýlanmasynyň burç tizliginiň ω berlen O nokadyň wertikalyna bolan proyeksiýasyna deňdir (49-njy surat), ýagny:

$$\omega_p = \omega \sin \varphi = 15^\circ \sin \varphi.$$

Şeýlelik bilen, maýatnigiň yrgyldylarynyň tekizliginiň Ýeriň üstüne görä görünýän öwrülmesiniň burçy geografik giňligiň sinusyna proporsionaldyr. Maýatnigiň yrgyldylarynyň tekizliginiň bir sagatda öwrülme burçy

namasynyň biri Ýere gaçýan jisimiň gündogara tarap süýşmesidir. Bu tejribe, saýlanyp alnan nokadyň Ýeriň aýlanma okundan näçe uzakda ýerleşdigiçe, Ýeriň aýlanmasy netijesinde onuň günbatardan gündogara hereketiniň çyzykly tizliginiň şonça uludygyna esaslanandyr. Şonuň üçin, beýik minaranyň B depesi O esasynda görä gündogara tarap has uly çyzykly tizlik bilen hereket edýändir (50-nji surat).



Minaranyň depesinden erkin gaçýan jisim inersiýa kanunyna görä aýlanmasynyň başlangyç çyzykly tizligini saklar we şonuň üçin Ýere gaçanda minaraň düýbüne gaçman, biraz öňe, ýagny minaraň düýbünden Ýeriň aýlanýan ugruna, gündogara gyşarar.

Nazary mehanikada jisimiň gündogara gyşarmasynyň ululygyny hasaplamak üçin

$$x = 0,022h\sqrt{h} \cos \varphi$$

formula alnandyr. Bu ýerde h – jisimiň gaçýan beýikligi, metrlerde; x – millimetrlerde aňladylandyr.

Häzirki döwürde Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmasyna gös-göni kosmosdan gözegçilik edilýändir.

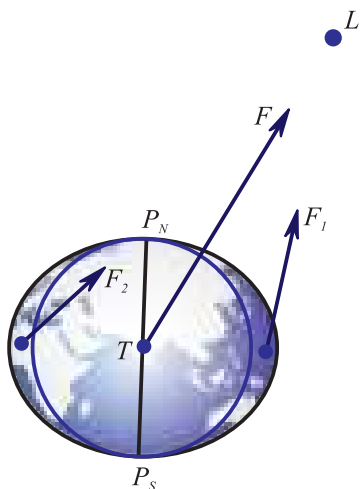
§65. Ýeriň okunyň precession we nutasion hereketi

Eger Ýer şar görnüşli bolup, özi hem birhilli ýa-da deň dykzlykly gatlaklardan ybarat, absolýut gaty jisim bolan bolsa, onda mehanikanyň kanunlaryna görä Ýeriň aýlanma okunyň ugry we aýlanma peridy islendik wagt aralygynyň dowamynda üýtgemeýän, hemişelik bolardy.

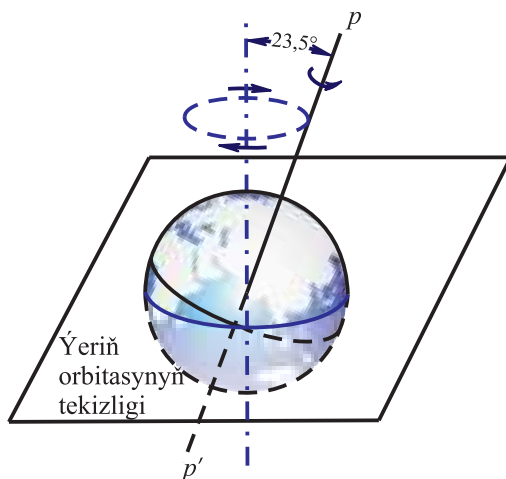
Emma Ýeriň takyk sferik görnüşli bolman, sferoide ýakyn görnüşli bardyr. Sferoidiň haýsy hem bolsa bir L material jisim tarapyndan dartylmasy, sferoidiň şar görnüşli F böleginiň dartylmasynyň (bu güýç sferoidiň merkezine goýlan), şeýle hem sferoidiň şar görnüşli böleginden ekwatoryndaky artykmaç böleginiň, ýagny çykydynyň dartýan L jisime golaý böleginiň F_1 dartylmasynyň we beýleki tarapynda ýerleşen ekwatorial çykydyň F_2 dartylmasynyň jemine deňdir (*51-nji surat*). F_1 we F_2 jübüt güýçlerdir we birinji güýç ikinjiden uly bolany sebäpli, L dartýan jisimiň täsiri, sferoidiň ekwatorynyň tekizligini TL ugur bilen gabat getirjek bolup, sferoidiň $P_N P_S$ aýlanma okuny öwürmäge ymtylar. Mehanikadan belli bolşy ýaly, bu ýagdaýda $P_N P_S$ aýlanma oky jübüt güýçleriň ýatan tekizligine perpendikulýar bolan ugurda hereket eder.

Sferoid görnüşli Ýere Aý we Gün tarapyndan jübüt güýçler täsir edýär. Netijede, Ýeriň aýlanma oky giňişlikde örän çylşyrymly hereket edýär.





51-nji surat. Sferoidiň material jisim tarapyndan dartylmasy



52-nji surat. Ýeriň aýlanma okunyň precession hereketi

Ilki bilen ol Ýeriň hereket edýän tekizligine takmynan $66^{\circ}33'$ ýapgytlygyny üýtgetmän, ekliptikanyň okunyň daşynda ýuwaşlyk bilen konus çyzýar (52-nji surat). Yeriň aýlanma okunyň bu hereketine precession diýilýär we onuň periody takmynan 26000 ýyl töweregidir. Ýeriň aýlanma okunyň presessiýasy sebäpli dünýäň polýuslary şol periodyň dowamynda ekliptikanyň polýusynyň daşynda radiusy takmynan $23^{\circ}27'$ bolan kiçi halkalary çyzýarlar. Günüň we Aýyň täsiri netijesinde döreýän presessiýa Aý-Gün presessiýasy diýilýär.

Ondan başga-da, Ýeriň aýlanma oky, özüniň ortaça ýagdaýynyň töwereginde, Ýeriň aýlanma okunyň nutasiýasy diýilýän, dürli ow-nuk yrgyldylary amala aşyrýar. Nutasion yrgyldylaryň döremeginiň sebäbi Günüň we Aýyň precession güýçleriniň (F_1 we F_2 güýçler) ululygynyň we ugrunyň üznüksiz üýtgemesidir. Haçan-da Gün we Aý Ýeriň ekwatorynyň tekizliginde ýerleşenlerinde bu güýçler nola deňdir, ekwatoryň tekizliginden iň daşlaşan ýagdaýynda bolsa maksimuma deňdir.

Ýeriň aýlanma okunyň iň esasy nutasion yrgyldysynyň periody Aý düwünleriniň aýlanma periodyna (§69 seret), ýagny 18,6 ýyla deňdir. Ýeriň okunyň bu hereketi netijesinde dünýä polýuslary asman sferasynda uly ýarymoky $18^{\circ},42$ we kiçi ýarymoky $13^{\circ},72$ bolan ellipsleri çyzýarlar.



Ýeriň okunyň presessiýasy we nutasiýasy netijesinde dünýäniň polýuslary hakykatda asmanda tolkun görnüşli çylşyrymly çyzyklary çyzýarlar

Planetalaryň dartýş güýji Ýeriň aýlanma okunyň ýagdaýyny üýtgederden kiçidir, ýöne ol Ýeriň Günüň töweregindäki hereketine täsir edip, Ýeriň orbitasynyň tekizliginiň, ýagny ekliptikanyň tekizliginiň giňişlikdäki ýagdaýyny üýtgedýär. Ekliptikanyň tekizliginiň ýagdaýynyň bu üýtgemelerine planetalardan presessiýa diýilýär.

§66. Ýeriň okunyň presession hereketiniň netijesi

Öň belläp geçişimiz ýaly, Ýeriň presession hereketi netijesinde dünýä polýuslary ekliptikanyň polýuslarynyň daşynda, 26000 ýylyň dowamynda, radiusy takmynan $23^{\circ},5$ bolan halkalary, töwerekleri çyzýarlar. Ýöne ekliptikanyň polýuslarynyň özleriniň hem asman sferasy boýunça hereket edýändikleri (planetalardan presessiýa) sebäpli dünýä polýuslarynyň çyzýan egrileri ýapylýan däldirler. 53-nji suratda dünýäniň demigazyk polýusynyň ýyldyzlaryň arasyndaky presession hereketi görkezilen.

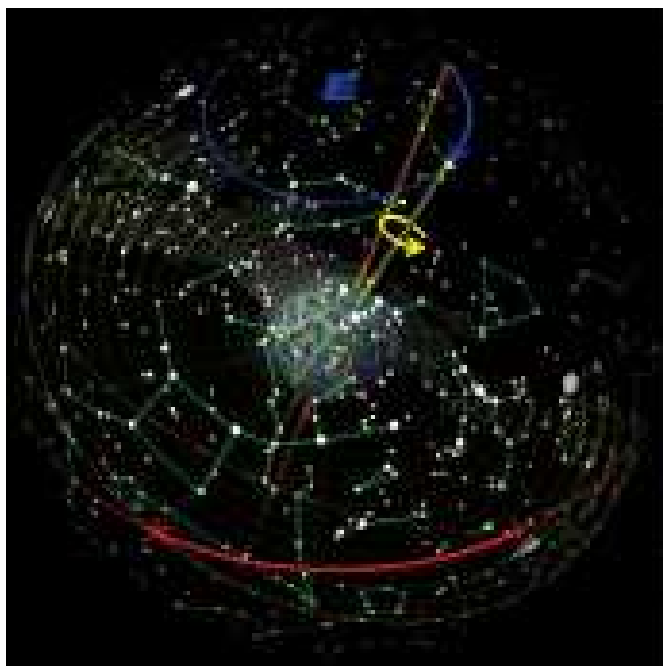
Häzirki wagtda dünýäniň demirgazyk polýusy Kiçi Ýedigeniň α – ýyldyzynyň golaýynda ýerleşendir we şonuň üçin oňa Demirgazyk ýyldyzy diýilýär. 4000 ýyl mundan öň dünýäniň demirgazyk polýusyna iň ýakyn Aždarha ýyldyz toparynyň α ýyldyzy bolupdyr, ýene-de 12000 ýyldan Lira (Owlakly geçi) ýyldyz toparynyň α ýyldyzy demirgazyk ýyldyzy bolar.

Dünýäniň okunyň ugrunyň üýtgemesi bilen bilelikde, tekizligi Ýer ekwatorynyň tekizligine parallel bolan, asman ekwatorynyň ýagdaýy hem üýtgeýändir. Ekliptikanyň tekizligi hem giňişlikdäki ýagdaýyny planetalardan presessiýa sebäpli birneme üýtgedýändir. Şonuň üçin asman ekwatorynyň ekliptika bilen kesişme (gije-gündiz deňleşme) nokatlary ýyldyzlaryň arasynda ýuwaşlyk bilen günbatara süýşýändirler.

Bu süýşmäniň bir ýylyň dowamyndaky tizligi $l = \frac{360^{\circ}}{26000} = 50'',26$

deňdir we oňa ekliptikadaky umumy ýyllyk presessiýa diýilýär.





53-nji surat. Dünýäniň demirgazyk polýusynyň precession hereketi



Ekwatordaki umumy ýyllyk presessiýa $m = 50'', 26 \cos \varepsilon = 46'', 11$ deňdir. Bu ýerde ε – ekliptikanyň ekwatora ýapgytlygy. Häzirki döwürde ε ululyk haýallyk bilen kiçelýändir (bir ýylda $0'', 47$), ýöne birnäçe mün ýyldan bu kiçelme, edil şular ýaly haýallyk bilen üýtgeýän ulalma bilen çalşar, sebäbi bu tolgunma (planetalardan presessiýa) periodik häsiýetlidir.

Biziň eýýamymyzyň başynda ýazky gije-gündiz deňleşme nokady Guzy, güýzki gije-gündiz deňleşme nokady bolsa Mizan ýyldyz toparlarynda ýerleşipdirler. Deňleşme nokatlary şol ýyldyz toparlarynyň belgileri γ we Ω bilen degişlilikde bellendir. Şol döwürden bäri ýazky gije-gündiz deňleşme nokady Balyk, güýzki gije-gündiz deňleşme nokady bolsa Gyz ýyldyz toparyna süýşenligine garamazdan, olaryň belgilenilişi öňkiligine saklanylyar.

Deňleşme nokatlarynyň hereketi we Günün ekliptika boýunça hereketi biri-birine tarap ugrukdyrylanlygy sebäpli, Gün her gezek bu nokatlara presessiýasyz ýagdaýlarynda barmaly wagtyndan $50'', 26$ ir barýar. Şonuň üçin, tropik ýyl diýilýän, Günün merkeziniň ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyndan yzygider geçmeginiň wagty aralygy, ýyldyz ýyly diýilýän, Ýeriň Günün daşyndan aýlanma periodyndan gysgadyr. Bu tapawut 20 minuda deňdir.

Edil şonça wagty bir gije-gündizde 1° tizlik bilen ekliptika boýunça hereket edýän Güne $50'', 26$ ululygy geçmek üçin gerekdir.

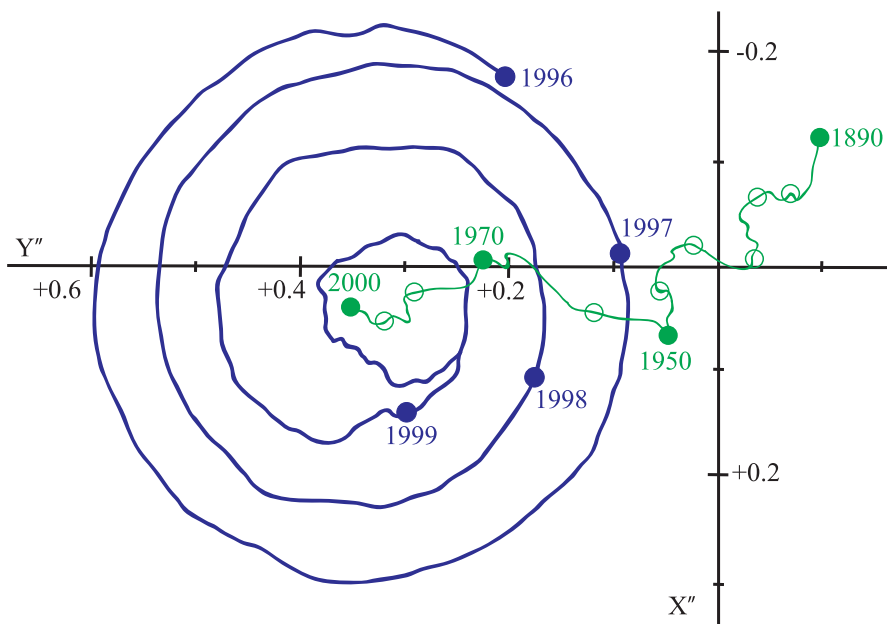
Ýazky gije-gündiz deňleşme nokady ekwatorial we ekliptik koordinatalar sistemalarynyň hasap başlangyjydyr. Ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyň günbatara hereketi sebäpli hemme ýyldyzlaryň ekliptik uzaklygy ýylda $50'', 26$ ululyga ulalýandyr, ekliptik giňligi bolsa üýtgeýän däl. Bu bolsa Aý-Gün presessiýasynyň ekliptikanyň tekizliginiň ýagdaýyny üýtgetmeýändigini görkezýär. Hemme ýyldyzlaryň ekwatorial koordinatalary, ýagny göni ýokary göterilmesi we ýapgytlygy üznüksiz üýtgeýärler. Netijede, Ýeriň üstüniň berlen nokady üçin ýyldyzly asmanyň görmüşiniň haýallyk bilen üýtgemesi bolýar. Käbir ön görünmeýän ýyldyzlar dogup ýaşarlar, käbir görünýän ýyldyzlar bolsa dogmaýan ýagtyltgyçlar bolarlar. Mysal üçin, birnäçe mün ýyldan, Ýewropa da häzirki wagtda görünmeýän Günorta Haç ýyldyz toparyny görüp bolar, ýöne häzirki wagtda görünýän Siriusy (Ýaldyragy) we Orion (Üç Ýyldyz) ýyldyz toparynyň bir bölegini görüp bolmaz.



§67. Ýeriň polýuslarynyň hereketi

Köp ýyllaryň dowamynda Ýeriň üstüniň birnäçe nokatlarynda geçirilen geografik giňligiň ölçeglerinden nokatlaryň giňlikleriniň hemişelik bolman, orta bahasyndan $0'',3$ ululyga gysaryp, periodiki üýtgeýändigleri ýüze çykarylandyr. Özi hem, haçanda bir nokatda geografik giňlik birneme ulalýan bolsa, onda garşylykly geografik meridianda ýerleşen beýleki nokatda şonça ululyga kiçelýändir. Geografik giňlikleriň bu üýtgemeleri Ýeriň göwresiniň aýlanma okuna görä süýşmesi bilen düşündirilýär. Bu süýşme Ýeriň aýlanma okuna täsir etmeýär, onuň giňişlikdäki ugry fiksirlenen ýagdaýynda galýanlygy sebäpli, dürli wagtlarda aýlanma polýuslary bilen Ýer üstüniň dürli nokatlary gabat gelýär. Netijede, Ýeriň polýuslary onuň üsti boýunça «ygyp», hereket edýärler.

Ýeriň demirgazyk polýusy onuň üstünde çylşyrymly egrini çyzýar we taraplary 30 metr töweregi bolan kwadratyň içinden çykmaýar. Şunlukda onuň hereketi demirgazyk polýusyna daşyndan sere-denimizde sagat diliniň tersine bolýar (54-nji surat).



54-nji surat. Ýeriň demirgazyk polýusynyň onuň üstünde çylşyrymly hereketi



Ýeriň polýuslarynyň hereketi, edil geografik giňlikleriň üýtgemeleri (yrgyldylary) ýaly, periodik häsiýete eýedir. Esasy periodlary 14 aýlyk Çandleriň periody we 12 aýlyk ýa-da ýyllyk periodydyr. Ýyllyk period howa massalarynyň paýlanyşynyň pasyallar boýunça üýtgemesi, şeýle hem suw massalarynyň gar görnüşinde Ýeriň bir ýarym şaryndan beýlekisine geçmesi bilen baglanyşyklydygy aýdyňdyr.

Çandleriň periody – Ýeriň yrgyldylarynyň tebigy periodydyr we ol Eýler tarapyndan baryp XVIII asyrdan nazaryýetde düşündirilendir. Eger Ýer absolýut gaty jisim bolan bolsa, onda tebigy period 10 aý töweregi bolardy. Emma Ýeriň plastik bolany we maýyşgak deformasiýalara sezewar bolýanlygy sebäpli, tebigy period 14 aýa çenli ulalýar.

Ýeriň polýuslarynyň onuň üsti boýunça hereketi XIX asyryň ahyrynda ýüze çykaryldy. 1898-nji ýylda Halkara Giňlik gullugy döredilip, onuň düzümine şol bir geografik giňlikde ýerleşen 6 beket (stansiýa) girýär. Şolaryň biri Türkmenistanyň Türkmenabat şäherinde ýerleşipdir. XX asyryň 30-njy ýyllarynda ol beket Özbegistanyň Maýdanak obserwatoriýasyna göçürilýär. Häzirki döwürde gullugyň düzümine dürli giňliklerde ýerleşen onlarça beketler girýändir. 1899-njy ýyldan bäri gullugyň düzümine girýän beketleriň gözegçilikleri netijesinde Ýeriň demirgazyk polýusynyň Ýeriň üstünde ýerleşýän ýagdaýy ýylyň ondan bir ülüşleri üçin yzygiderli çykarylýandyr.

§68. Ýeriň öz okunyň töwereginde aýlanmagynyň deňölçeşizligi. Efemerid wagty

Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanma periody onuň haýsy hem bolsa bir hereket etmeýän ugra görä doly bir aýlaw edýän wagty aralygyna deňdir. Bu wagty aralygy dowamlylygy boýunça ýyldyz gije-gündizine ýakyndyr, ýöne oňa deň däldir. Sebäbi ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna tarap ugur (asman ekwatorynyň tekizliginde) presessiýa netijesinde bir ýylda takmynan $46''$ üýtgeýär. Ýyldyz gije-gündiziniň dowamynda ýazky gije-gündiz nokadyna tarap ugur $0'', 126 = 46'' : 366$ ululyga üýtgeýär. Ýer öz okunyň daşynda bu burç ululygyna $0^{\circ}, 008$ wagtda öwrülýär. Ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň günbatara tarap, ýagny Ýeriň aýlanýan ugry bilen biri-birine tarap hereket edýändikleri sebäpli, Ýeriň öz okunyň



daşyndan aýlanma periody ýyldyz gije-gündizinden $0^s,008$ uludyr we $23^h56^m04^s,098$ orta Gün wagtyna deňdir.

Köp sanly barlaglaryň netijesinde Ýeriň öz okynyň daşynda aýlanmasynyň burç tizliginiň hemişelik däldigi, ýagny Ýeriň aýlanmasynyň deňölçeşsizdigi ýüze çykaryladyr.

Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanma tizliginiň üýtgemeleri üç görnüşe: asyrlyk, tertipsiz (regulýar däl, böküş görnüşli) we periodiki, ýagny pasyllaýyn üýtgemelere bölünýär.

Asyrlyk üýtgemeleriň netijesinde, Ýeriň öz okunyň daşyndan bir aýlawynyň dowamlylygy, soňky 2000 ýylyň içinde her ýüz ýylda ortaça $0^s,0023$ ulalandyr (gözegçilikler boýunça soňky 250 ýylda bu artma kiçidir, ýagny ýüzýyllykda takmynan $0^s,0014$ deňdir). Ýeriň aýlanmasynyň tizliginiň asyrlyk haýallamalarynyň sebäbi Aý we Gün daşgynlarynyň tormozlaýjy täsirleridir.

Aýlanmanyň böküş görnüşli, tertipsiz üýtgemeleri gije-gündiziň dowamlylygyny $0^s,004$ ululyga kiçeldip ýa-da ulaldyp bilýär. Bu üýtgemeleriň sebäbi takyk anyklanar däl.

Ýeriň aýlanma tizliginiň pasyllaýyn üýtgemeleri netijesinde gije-gündiziň dowamlylygy ýylyň dowamynda bir ýylky orta dowamlylygyndan $\pm 0^s,001$ tapawut edip biler. Şunlukda in gysga gije-gündiz iýul-awgust, in uzak gije-gündiz bolsa mart aýlaryndadyr. Tizligiň periodiki üýtgemeleriniň has ähtimal sebäbi Ýeriň üstündäki suw we howa massalarynyň paýlanyşynyň pasyllaýyn üýtgemegidir. Ýeriň aýlanma tizliginiň bu üýtgemeleri geçen asyryň 40-njy ýyllarynda kwars sagadynyň kömegi bilen tejribede ýüze çykarylady.

Ýeriň aýlanmagynyň asyrlyk we tertipsiz häsiýetli deňölçeşsizligi Aýyň we Ýere ýakyn planetalaryň (Merkuriý we Wenera) görünýän ýagdaýlary bilen bu jisimleriň hasaplanan ýagdaýlarynyň tapawutlarynda ýüze çykarylýar. Baryp XIX asyryň ortalarynda Aýyň görünýän hereketinde dartyлма nazaryýeti düşündirmeýän, hasaplanan hereketinden gyşarmalary tapyladyr. Eýýäm şol döwürde aýdylan çaklamalara görä bu gyşarmalar hakyky däl-de, görünýändir we ol Ýeriň öz okunyň daşynda deňölçeşsiz hereketi bilen baglanyşyklydyr. Hakykatdan hem, haçan Ýeriň aýlanmasy haýallanda, bize Aý orbitasy boýunça çalt hereket edýän ýaly bolup, haçan-da Ýeriň aýlanmasy çaltlaşanda bolsa, Aýyň hereketi haýallan ýaly bolup görünýär.



Bu düşündiriş XX asyrdä Merkuriniň we Weneranyň hereketinde Aýyň hereketindäki gyşarmalara meňzeş, wagt boýunça gabat gelýän we bu planetalaryň orta hereketlerine proporsional gyşarmalar ýüze çykarylandan soň tassyk bolandyr.

Ýeriň deňölçegsiz aýlanýanlygy sebäpli orta gije-gündiz üýtgeýän ululyk bolýar. Şol sebäpli astronomiýada wagt hasaplamagyň iki sistemasy: a) gözegçiliklerden alynýan we Ýeriň hakyky aýlanmasyndan kesgitlenýän deňölçegsiz wagt; b) planetalaryň efemeridi hasaplananda argument bolýan we Aýyň, planetalaryň hereketinden kesgitlenýän deňölçegli wagt ulanylýar. Deňölçegli wagta Nýutonyň ýa-da efemerid wagt diýilýär.

1960-njy ýyldan başlap Astronomik ýyllyk neşirde Günň, Aýyň, planetalaryň we olaryň hemralarynyň efemeridleri efemerid wagt sistemasynda berilýär. Bu asman jisimleriniň ýagdaýlaryny bütindünýä wagty sistemasynda hasaplamak üçin TE efemerid wagty bilen T_0 bütindünýä wagtyňyň ΔT aratapuwudyny bilmek zerurdyr. ΔT aratapawudyň takyk bahasy diňe geçen wagt pursatlary üçin Aýyň gözegçiliklerden kesgitlenen koordinatalaryny hasaplanan koordinatalary bilen deňeşdirmelerden alynýar. Şonuň üçin Astronomik ýyllyk neşirde şol ýyl üçin ΔT aratapawudyň ekstrapolirlenen bahalary çap edilýär.

ΔT tapawut 1900-nji ýylda nola deň bolupdyr. Ýöne Ýeriň aylanma tizliginiň XX asyrdä ortaça alanymyzda kiçelendigi, ýagny gözegçilik edilen gije-gündizleriň deňölçegli (efemerid) gije-gündizlerden uzandygy sebäpli, geçen 75 ýylyň içinde efemerid wagty bütindünýä wagtyna görä 46s öňe gidendir, 1982-nji ýylda $\Delta T = TE - T_0 = +52^s$ kabul edilendir.

Efemerid wagt sistemasynyň peýdalanyp başlanmagy bilen baglylykda, 1956-njy ýylyň oktýabrynda Halkara ölçeg we agram býurosy karar kabul etdi. Oňa görä «sekunt tropik ýylyň

$\frac{1}{31556925,9747}$ üleşine deň». Tropik ýylyň dowamlylygy efemerid

wagt sistemasynda 1900-nji ýylda 365,2421988 orta Gün gije-gündizine deňdir ($31566925,9747 = 365,2421988 \cdot 86400 -$ şol tropik ýylyň dowamyndaky sekuntlaryň sany). Şu usulda kesgitlenen sekunda efemerid sekunt diýilýär.



Şeýlelikde, sekundyň bu kesgitleniş usuly orta Gün gije-gündiziniň hemişelik dældigini hasaba alýar.

Ýygylygyň atom we molekulýar etalonlarynyň (nusgalarynyň) döredilmegi, Ýeriň aýlanmasyna bagly bolmadyk, ilkinji, düýpgöter täze wagt şkalasyny almaga mümkinçilik döredendir.

1967-nji ýylda atom wagty sistemasy – IAT girizilendir. Onuň birligi, seziý-133 atomynyň esasy ýagdaýynyň iki aşýuka derejeleriniň arasyndaky geçişin rezonans ýygylygyna degişli şöhlelenmäniň 9192631770 yrgyldysynyň dowamlylygy bilen kesgitlenýän, atom sekundydyr.

Halkara atom wagty wagtyň Halkara Býurosý tarapyndan käbir obserwatoriýalaryň atom etalonlaryny yzygiderli deňşdirmeleriniň esasynda hasaplanylýar. Birnäçe ýyllaryň dowamynda geçirilen barlaglaryň we atom etalonlarynyň özara deňşdirmeleriniň netijeleri, etalonlaryň kömegi bilen alynýan wagt şkalasynyň ýokary durnuklylygyny görkezdi, atom sekundyň dowamlylygy dürli obserwatoriýalarda biri-birinden tapawudy $1 \cdot 10^{-10}$ -dan uly däl.

Atom wagty astronomik gözegçiliklere we asman jisimleriniň hereketine bagly däl. Şol sebäpli, şeýle hem deňölçegli wagt şkalasynyň ýokary takyklyk bilen alyp bolýanlygy sebäpli, ol Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmagynyň periodiki deňölçegsizligini öwrenmek üçin esas bolup durýandyr.

§69. Aýyň orbitasy we onuň tolgunmalary

Aýyň Ýeriň töweregindäki tolgunmasyz hereketiniň orbitasy eksentrisiteti 0,055, ýa-da $1/18$, uly ýarymoky 384000 *km* bolan ellipsdir. Perigeýde Ýerden Aýa çenli uzaklyk orta bahasyndan 21000 *km* kiçidir, apogeýde bolsa şonça uludyr.

Aýyň orbitasynyň tekizliginiň ekliptikanyň tekizligine bolan ýapgytlygynyň burçy $5^{\circ}09'$. Aý Ýeriň töwereginde günbatardan gündogara tarap, ýagny Ýeriň Günüň töweregindäki hereketiniň ugry boýunça hereket edýändir. Aýyň Ýeriň töweregindäki aýlanmasynyň periodyna siderik ýa-da ýyldyz aýy diýilýär. Onuň dowamlylygy 27,32 orta Gün gije-gündizine deňdir. Bu wagtyň geçmegi bilen Aý ýyldyzlara görä orbitasynda ýene öňki ýagdaýyna gaýdyp gelýär.



Oña garamazdan, Aýyň hereketi iki sebäp boýunça öwrenmek üçin has çylşyrymlydyr:

1) Aýyň hereketiniň tolgunmalary has uludyr (§48 seret);

2) Aý Ýere ýakynlygy sebäpli, onuň hereketinde, has uzakdaky asman jisimleriniň hereketine gözegçilik edilende duýulmaýan, gyşarmalaryň ýüze çykarylmagydyr.

Tolgunmalaryň netijesinde Aý orbitasynyň elementleri hemişe üýtgäp durýandyr. Periodiki tolgunmalara Aýyň orbitasynyň hemme elementleri sezewardyr. Mysal üçin, orbitanyň, orta bahasy $5^{\circ}09'$ bolan ýapgytlygy, ýarym ýyldan biraz kem bolan wagtyň dowamynda $4^{\circ}58'$ -dan $5^{\circ}20'$ -a çenli çäklerde yrgyldaýandyr. Aýyň orbitasynyň elementleriniň her biriniň bir däl, ýüzlerçe dürli periodly we amplitudaly periodiki tolgunmalary bardyr. Şol sebäpli Aýyň hakyky hereketi aýratyn çylşyrymlydyr we ony öwrenmek asman mehanikasynyň iň çylşyrymly meseleleriniň biridir.

Asyrlyk tolgunmalara Aýyň orbitasynyň dogýan düwnüniň uzaklygy we perigeýiniň uzaklygy sezewar bolýandyr. Aý düwünleri ekliptika boýunça günbatara tarap, ýagny Aýyň hereket edýän ugry bilen biri-birine tarap üznüksiz hereket edýär we ekliptika boýunça bir doly aýlawy 18 ýyl 7 aýda (6793 orta gije-gündiz) edýär. Aýyň orbitasynyň perigeýi bir aýlawy 9 ýylda (3232 orta gije-gündiz) tamamlap, gündogara üznüksiz hereket edýändir.

Aýyň Ýeriň daşynda her aýlawynda onuň düwünleriniň süýşmesi $1^{\circ},5$ töweregidir. Diýmek, siderik (ýyldyz) aý geçenden soň, Aý hiç haçan takyk öňki ýagdaýyna gaýdyp gelmeýär we takyk aýdylanda her indiki aýlawy täze ýol boýunça başlaýar. Diňe 18 ýyl 7 aýdan soň, haçan-da Aý düwünleri ekliptika boýunça doly aýlaw edenden soň, Aý orbitasy ýene öňki ýagdaýyna gelýär.

Düwünleriň hereketi Aýyň görünmek şertlerine duýarlykly täsirini ýetirýändir. Haçan-da Aý orbitasynyň dogýan düwni ýazky gije-gündiz deňleşme nokady bilen gabat gelse, onda Aýyň orbitasy asman ekwatory bilen ekliptikanyň arasyndaky burçuň daşynda bolýar. Netijede, bu ýagdaýda Aý orbitasy bilen asman ekwatorynyň arasyndaky burç $28^{\circ}36'$ ($23^{\circ}27' + 5^{\circ}09'$) deňdir. Eger ýazky gije-gündiz deňleşme nokadyna ýaşýan düwni gabat gelse, onda Aý orbitasy asman ekwatory bilen ekliptikanyň aralygynda ýerleşer, Aý orbitasy bi-

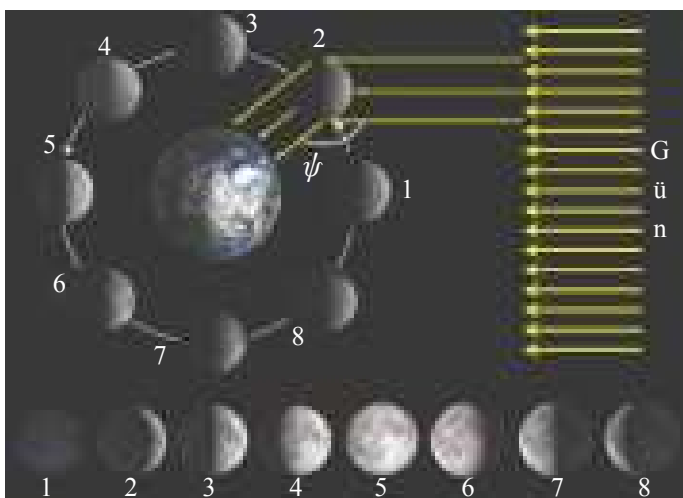


len asman ekwatorynyň aralygyndaky burç bolsa $18^{\circ}18'$ ($23^{\circ}27'-5^{\circ}09'$) deň bolar. Şeýlelikde, birinji ýagdaýda Aýyň ýapgytlygy aýyň dowamynda $+28^{\circ}36'$ -dan $-28^{\circ}36'$ -a çenli aralyklarda üýtgär, ikinji ýagdaýda bolsa $+18^{\circ}18'$ -den $-18^{\circ}18'$ -a çenli, ýagny kiçi çäklerde üýtgär. Aýyň ýapgytlygynyň üýtgeýän çäkleriniň üýtgemegi onuň görünmek şertlerine düýpli täsirini ýetirýär.

§70. Aýyň görünýän hereketi we çärýekleri

Aýyň ýyldyzlaryň arasyndaky görünýän hereketi onuň Ýeriň töweregindäki hakyky hereketiniň netijesidir. Aý ýyldyz aýynyň dowamynda ýyldyzlaryň arasynda mydama şol bir ugurda – günbatar-dan gündogara, ýagny dogry ugurda hereket edýär. Aýyň asmandaky görünýän ýoly, zodiak ýyldyz toparlarynyň arasynda mydama öz ýagdaýyny üýtgedýän, utgaşmaýan (ýapylmaýan) egridir.

Aýyň görünýän hereketi onuň daşky görnüşiniň üznüksiz üýtgemesi bilen bolup geçýär we Aý fazasy bilen häsiýetlendirilýär. Aý fazasy Φ onuň ýagtylanýan böleginiň iň uly d' giňliginiň onuň diskiniň d diametrine bolan $\Phi = \frac{d'}{d}$ gatnaşygyna deňdir. Käbir günler Aý asmanda düýbünden görünmeýär. Başga günler bolsa ol inçejik orak



55-nji surat. Aýyň fazalary

şekilli, ýarym tegelek, doly tegelek bolup görünýär. Aýyň fazalary, onuň hem edil Ýer ýaly, dury däl, gara, şar şekilli jisimdigi we Ýeriň töwereginde hereket edende Güne görä dürli ýagdaýlarda bolýandygy bilen düşündirilýär (55-nji surat).

Günüň uzakda ýerleşenligi sebäpli, Aýa düşýän Gün şöhleleri parallel diýen ýalydyr we mydama Aý şarynyň dogry ýarysyny ýagtylandyrýar, beýleki ýarysy bolsa garaňkylygyna galýar. Ýöne Aý bize köplenç doly bolmadyk tegelek bolup görünýär, sebäbi onuň ýagty we garaňky ýarym şarlarynyň bölegi Ýere tarap bakyp durýar (öwrülen bolýar). Aý diskiniň garaňky bölegini ýagty böleginden çäklendirýän çyzyga terminator diýilýär we ol mydam ýarym ellips görnüşlidir. Günden Aýa we Aýdan Ýere tarap ugurlaryň arasyndaky ψ burça faza burçy diýilýär.

Aýyň birinden beýlekisine aşakdaky yzygiderlikde endigan geçýän dört sany esasy fazalaryny tapawutlandyrýarlar: täze Aý, birinji çärýek, doly Aý, ahyrky çärýek.

Täze Aý döwründe Aý Gün bilen Ýeriň aralygyndan geçýär (ýagny Gün bilen birleşmede bolýar), faza burçy $\psi = 180^\circ$, Ýere Aýyň garaňky tarapy öwrülen we asmanda ol görünmeýär. Täze Aýdan iki gün geçenden soň, Gün ýaşayan badyna, agşam şapagynyň şöhlelerinde, günbatarda Aý inçejik orak ýaly bolup görünýär. Güberçek tarapy Güne bakýan orak şekilli Aý gün-günden giňelýär we täze aýdan takmynan 7 gije-gündizden soň ýarym töwerek görnüşi alýar. Birinji çärýek diýip atlandyrylýan faza gelýär. Bu wagtda Aý gündogar kwadraturada, ýagny Günden 90° gündogarda ýerleşýär, faza burçy $\psi = 90^\circ$, Ýere tarap Aýyň ýagtylanýan ýarym şarynyň ýarysy we ýagtylanmaýan ýarym şaryň ýarysy bakýan bolýar. Bu fazada Aý gijäniň birinji ýarymynda görünýär, soňra ýaşýar.

Aýyň ýagtylanýan ýarym şarynyň Ýerden görünýän bölegi gün-günden ulalýar we birinji çärýekden takmynan 7 gije-gündizden soň doly Aý wagty gelýär we doly ýagtylanyp görünýär. Doly Aý wagtynda Aý Gün bilen garşyda durma ýagdaýynda bolýar, $\psi = 0^\circ$ we Aýyň ýagtylanýan ýarym şary bütewüligine Ýere tarap öwrülen bolýar. Doly Aý asmanda Günüň görünýän ugrunyň garşylykly tarapynda görünýär (onuň ekliptiki uzaklygy Günüň ekliptiki uzaklygyndan 180° tapawutlanýar). Şonuň üçin doly Aý asmanda bütin



gije görünýär, takmynan Gün ýaşaýan badyna dogýar we Gün dogýan pursadynda bolsa ýaşýar.

Doly Aýdan soň Aý «kiçelip» başlaýar, onuň diskiniň günbatar tarapyndan ýagtylanýan üsti kemelýär. Gün-günden Ýerden Aýyň ýagtylanýan ýarym şarynyň görünýän bölegi kiçelýär. Doly aýdan takmynan 7 gije-gündizden soň Aý ýene-de ýagtylanýan ýarym tegelek bolup görünýär. Ahyrky çäryek gelýär. Şol wagtda Aý günbatar kwadraturada bolýar, $\psi = 90^\circ$ we ýene-de Ýere tarap Aýyň ýagtylanýan ýarym şarynyň we ýagtylanmaýan ýarym şarynyň ýarysy öwrülen bolýar. Ýöne indi Aý Günden 90° günbatarda ýerleşýär we gijäniň ikinji ýarymyndan tä Gün dogýança görünýär.

Kem-kemden Aý diskiniň garaňky bölegi ulalýar, Aý ýene inçejik orak görnüşi alýar we gündogarda, Gün dogmazynyň ön ýa-nynda, daň şapagynyň şöhlelerinde görünýär. Iki-üç gije-gündizden orak şekilli Aý ýityär we ol asmanda görünmeýär. Ahyrky çäryekden takmynan 7 gije-gündizden soň ýene täze Aý wagty gelýär. Aýyň Gün bilen täze Aý wagtynda birleşmesine we doly Aý wagtynda garşyda durmasyna sizigiýalar diýilýär.

§71. Aýyň aýlanma periodlary

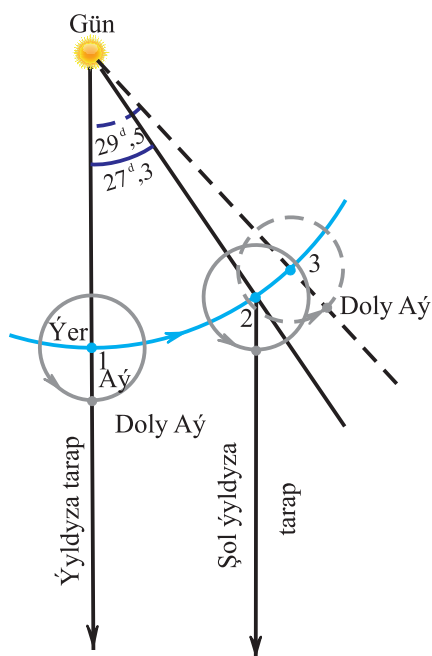
Aýyň yzygider birmeňzeş fazalarynyň (mysal üçin, iki yzygider doly Aý wagty) wagt aralygyna sinodik aý diýilýär. Sinodik aýyň dowamlylygynyň gözegçiliklerden kesgitlenen orta bahasy 29,53 orta Gün gije-gündizine deňdir. Şeýlelikde, sinodik aý siderik (ýyldyz) aýdan dowamlydyr. Onuň şeýledigine 56-njy suratdan düşünmek ýeňildir. Bu suratda 1-nji ýagdaý Aýyň, Ýeriň we Günüň doly Aý pursadynda özara ýerleşişlerine degişlidir. 27,32 gije-gündizden, ýagny siderik aýdan soň, Aý öz orbitasy boýunça doly aýlaw edip, ýyldyzlara görä öňki ýagdaýyna gaýdyp geler. Ýöne Ýer bu wagtyň dowamynda orbitasy boýunça hereket edip, 2-nji ýagdaýa geler we şol sebäpli doly Aý pursady (fazasy) bolmaz. Doly Aý pursady käbir wagtdan soň, ýagny Ýer 3-nji ýagdaýa gelende bolar.

Aýyň sinodik we siderik periodlarynyň matematiki baglanyşygy içki planetalar üçin alnan (§33 seret) baglanyşyga deňdir.

Aýyň hereketinde aýlanmalarynyň sinodik we siderik periodlaryndan başga-da üç sany peridy tapawutlandyryrlar: anomalistik



áy-Aýyň perigeýden yzygider iki sapar geçmesiniň wagt aralygy (27,55 orta gije-gündiz); drakonik áy-Aýyň öz orbitasynyň şol bir düwnünden yzygider iki sapar geçmesiniň wagt aralygy (27,21 orta gije-gündiz); tropik áy-Aýyň uzaklyk koordinatasynyň 360° -a ulalmagy üçin gerek bolan wagt aralygy. Presessiýa sebäpli tropik áy siderik aýdan takmynan 7 sekunt gysgadyr. Áy orbitasynyň düwünleriniň hereketiniň we Áýyň hereketiniň biri-birine tarap ugrukdyrylandygy sebäpli drakonik áy siderik aýdan gysgadyr. Anomalistik áy bolsa, Áy orbitasynyň perigeýiniň hereketiniň we Áýyň hereketiniň ugurdaşdyklary sebäpli, siderik aýdan dowamlydyr.



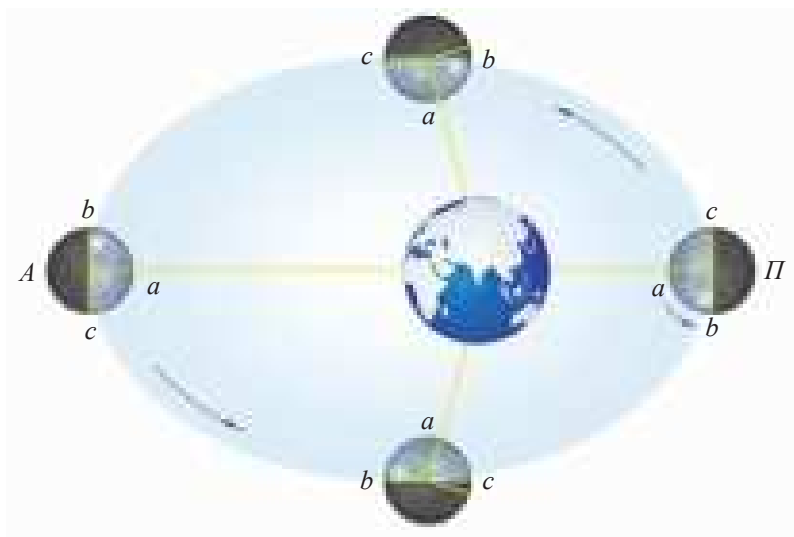
56-njy surat. Sinodik we siderik aýlaryň dowamlylyklary

§72. Áýyň öz okunyň töwereginde aýlanmagy we librasiýa

Áýyň öz okunyň töwereginde aýlanma periody onuň Ýeriň töwereginde aýlanma periodyna deň bolany sebäpli (aýlanma ugurlary hem ugurdaş) Ýere onuň mydama şol bir tarapy, ýagny şol bir ýarym şary bakyp durýar. Şonuň üçin Ýerdäki gözegçi mydama Áýyň diňe şol bir tarapyny görüp bilýär. Áýda «ýyldyz gije-gündiziniň» dowamlylygy 27,32 ýerdäki orta gije-gündize deňdir. Áýyň aýlanma oky orbitasynyň tekizligine $83^\circ 21'$ ýapgytdyr ($83^\circ 10'$ -dan $83^\circ 31'$ -a çenli çäklerde üýtgeýär).

Şeýlelikde, Áýyň ekwatorynyň tekizligi Áýyň orbitasynyň tekizligi bilen $6^\circ 39'$ burç, ekliptikanyň tekizligi bilen bolsa $1^\circ 30'$ burç emele getirýär. Özi hem ekliptikanyň tekizligi Áýyň ekwatorynyň we





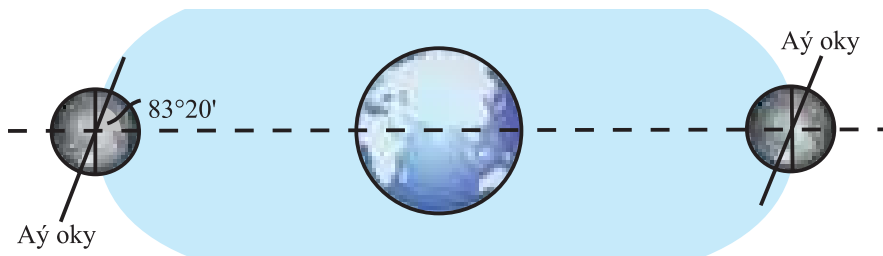
57-nji surat. Uzaklyk boýunça Aýyň librasiýasy

orbitasynyň tekizlikleriniň aralygynda ýerleşendir, tekizlikleriň üçüsi hem bir gönüde kesişýändirler. Bu ajaýyp ýagdaý 1721-nji ýylda Kassini tarapyndan açyldy we oňa Kassiniň kanuny diýilýär.

Islendik wagt pursadynda Ýerden Aýyň üstüniň deň ýarysy görünýändir, ýöne dowamly gözegçilikler onuň üstüniň 60% golaýyny öwrenmäge mümkinçilik berýär. Bu mümkinçilik Aýyň librasiýasy diýip umumy atlandyrylýan çätkanmalar sebäpli döreýär.

Optiki ýa-da görünýän librasiýanyň (haçan-da Aý hakykatda hiç hili «yrgyldylary» etmeýän ýagdaýy) üç görnüşi bardyr: uzaklyk boýunça, giňlik boýunça we parallaktik.

Uzaklyk boýunça librasiýa hadysasynyň sebäbi-Aý öz okunyň töwereginde deňölçegli aýlanýar, ýöne orbitasy boýunça Kepleriň ikinji kanunyna laýyklykda perigeýiň golaýynda çalt, apogeýiň golaýynda bolsa haýalrak, ýagny deňölçegsiz hereket etmesidir. Aý Π perigeýden (57-nji surat) geçenden soň, çärýek aýyň dowamynda orbitasynyň dörtten bir böleginden köp ýoly geçer, öz okunyň töwereginde bolsa 90° deň burça öwrüler. Öň Aý diskiniň merkezinde ýerleşen *a* nokat indi diskiň merkezinden çepräkde bolup görner (gündogara süýşer). Öň Aý diskiniň sag (günbatar) gyrasynda bolup görnen *b* nokat hem şol ugurda aýlanar we öň görünmeýän, günbatar



58-nji surat. Giňlik boýunça Aýyň librasiýasy

gyrasyndan (çäginden) aňyrda ýerleşen üstüniň bölegi görünýän bolar. Aý apogeýe baranda perigeýde görünýän üsti görner. Aý apogeýden geçenden soň, aýyň dördten bir böleginiň dowamynda öz orbitasynyň dördten bir böleginden az ýoly geçer, öz okunyň töwereginde bolsa 90° deň burça öwürler we indi Aýyň diskiniň gündogar gyrasyndan aňyrda ýerleşen üstüniň bölegi görner. Uzaklyk boýunça librasiýa peridy anomalistik aýa deňdir, alyp bilýän in uly bahasy $7^\circ 54'$ deňdir.

Giňlik boýunça librasiýa Aýyň aýlanma okunyň orbitasynyň tekizligine ýapgytlygy we orbita boýunça hereket edende aýlanma okunyň giňişlikdäki ugrunyň üýtgemeyänligi sebäpli döreýär (58-nji surat). Netijede, Ýerden seredilende gezekli-gezegine demirgazyk polýusynyň töweregindäki üstüniň bölegi ýa-da günorta polýusynyň töweregindäki üstüniň bölegi görünýär. Giňlik boýunça librasiýa peridy drakonik aýa deňdir, alyp bilýän ululygy $6^\circ 50'$ deňdir.

Gije-gündiz ýa-da parallaktik librasiýa Aýyň Ýere ýakynlygy sebäpli döreýändir. Şonuň üçin Ýeriň üstüniň dürli nokatlaryndan Aýyň üstüniň görnüşi meňzeş däl. Ýeriň ekwatorynyň garşylykly iki nokadynda ýerleşen iki gözegçi şol bir wagt pursadynda Aýyň üstüniň biri-birinden biraz tapawutly çäklerini görerler. Şeýlelikde, birinji gözegçi üçin Aý ýaňy dogýan bolsa, onda ol Aýyň diskiniň günbatar gyrasyndan aňyrda ýerleşen üstüniň bölegini hem görer. Ikinji gözegçi üçin Aý eýýäm ýaşyp barýan bolar, ol birinji gözegçiniň görýän Aý üstüni görmez, ýöne Aý diskiniň gündogar gyrasyndan aňyrda ýerleşen üstüniň bölegini görer. Parallaktik librasiýa 1° töweregidir.

Fiziki librasiýa, ýagny Aýyň hakyky «çaýkanmasy» Aý ellipsoidiniň uly ýarymoky Ýere tarap ugrukdyrylan ýagdaýyndan periodiki gyşarýar, Ýeriň dartylma güýji bolsa ony öňki ýagdaýyna getir-



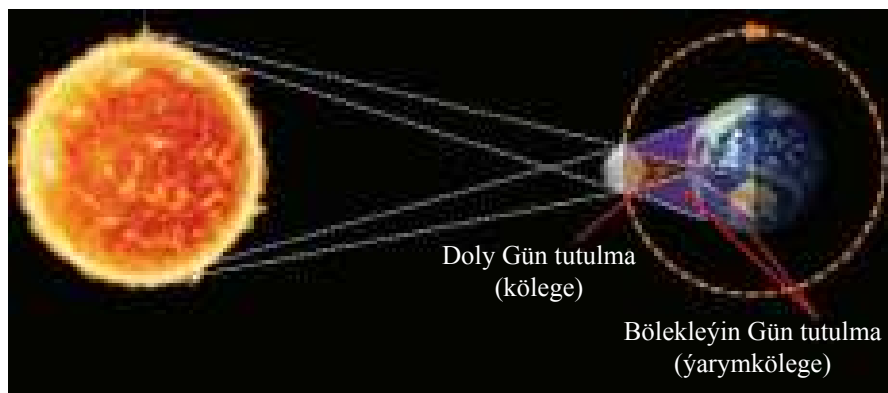
mäge ymtylýandygy netijesinde döreýär. Fiziki libراسیýanyň ululygy örän kiçidir, ýagny 2" töweregidir.

§73. Gün we Aý tutulmalary

Aýyň ýyldyzlaryň arasyndaky günbatardan gündogara tarap edýän hereketi, onuň Ýeriň töwereginde edýän aýlawy netijesinde döreýän hadysadyr. Aý Ýeriň töwereginden aýlananda, onuň ýolunda ýerleşýän uzakdaky ýagtyltgyçlaryň ählisiniň önünden geçýär we ol öz diski bilen olaryň önüni ýapyp bilýär. Bu hadysa ýagtyltgyçlary Aýyň ýapmasy diýen umumy at bilen atlandyrylýar. Uzakdaky ýagtyltgyçlaryň önüni ýapma hadysasynyň başlanýan we tamamlanýan pursatlaryny takyk kesgitlemek Aýyň hereketini we onuň diskini kesgitlemek üçin wajypdyr. Köplenç ýyldyzlaryň önüni ýapma hadysasy bolýandyr, planetalary ýapma hadysasy seýrek bolýandyr.

Gün tutulmasy.

Aýyň Günüň önüni ýapma hadysasyna Gün tutulmasy diýilýär. Gün tutulmasy Ýeriň üstüniň dürli nokatlaryndan seredilende dürli görnüşlere eýedir. Ýeriň üstünde maksimal diametri 270 km uly bolmadyk Aýyň kölegesiniň konusynyň içinde ýerleşen gözegçi üçin doly Gün tutulma hadysasy bolar, ýagny Aý Günüň diskini doly ýapar (59-njy surat). Ýeriň üstüne Aýyň ýarym kölegesini düşýän, Aýyň ýarym kölegesiniň konusy diýilýän çäklerde bölekleyin Gün tutulmasy görner, ýagny Aýyň diski Günüň diskiniň diňe bölegini



59-njy surat. Gün tutulmasy

ýapar. Gözegçi kölegäniň okuna näçe ýakyn ýerleşdigiçe, sonça-da Günüň diskiniň köp bölegi ýapyk we tutulma fazasy uly bolar. Ýarym kölegäniň konusynyň çäklerinden daşynda Gün diski doly görner we tutulma hiç-hili gözegçilik edilmez.

Aýyň Ýerden uzaklygy 405500 *km*-den 363300 *km*-e çenli aralyklarda üýtgeýär, Aýyň doly kölegesiniň konusynyň uzynlygynyň ortaça ululygynyň 374000 *km* bolany sebäpli, käbir ýagdaýlarda Aý kölegesiniň konusynyň depesi Ýeriň üstüne ýetmeýär. Bu ýagdaýda Aý kölegesiniň konusynyň okuna ýakyn ýerleşen gözegçi üçin tutulma halkalaýyn bolar, ýagny Gün diskiniň gyalary ýapylman galar we Aýyň garaňky diskiniň daşynda inçejik, ýalpyldaýan halka emele geler.

Ýeriň dürli nokatlarynda Gün tutulmasy dürli wagtda bolýar. Aýyň Ýeriň töwereginde hereket edýändigini we Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýandygy sebäpli, Aýyň kölegesi Ýeriň üstünde uzynlygy birnäçe müň kilometr we giňligi ortaça 200 kilometr töweregi bolan, takmynan günbatardan gündogara hereket edýän kölege zola-gyny emele getirýär.

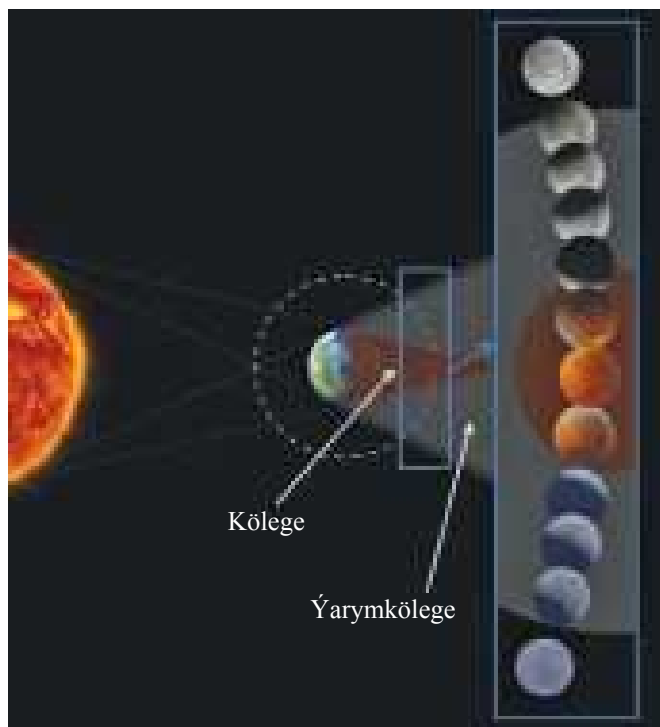
Aýyň günbatardan gündogara hereket edýänligi sebäpli Gün tutulmasy Gün diskiniň günbatar gyrasyndan başlanýar. Ilki bada Gün diskiniň gyrasynda Gün radiusyna deň radiusly töweregiň dugasy görnüşde gädik emele gelýär. Soňra gädik gitdigiçe ulalýar, Günüň orak ýaly ýagtylanýan bölegi bolsa kiçelýär. Gün diskiniň iň soňky nokady ýapylan pursadyndan doly tutulma fazasy başlanýar. Onuň dowamlylygy bary-ýogy birnäçe minut-7 minutdan az, köplenç bolsa 2-3 minut dowam edýär. Soňra Aýyň garaňky diski Gün diskiniň önünden ýuwaş-ýuwaşdan aýrylýar we tutulma tamamlanýar. Gün tutulmasynyň hemme fazalarynyň umumy dowamlylygy iki sagatdan hem uzak dowam edip bilýär.

Gün tutulma hadysasynyň diňe täze Aý döwründe bolup biljekdigini aýdyňdyr.

Aý tutulmasy.

Gün tarapyndan ýagtylandyrylýan Ýeriň kölegesi Günden garşylykly tarapa düşýär (60-njy surat). Günüň diametriniň Ýeriň diametrinden uly bolany üçin onuň kölegesi Aýyň kölegesine meňzeşlikde, kem-kemden gysylýan konus şekillidir. Ýeriň





60-njy surat. Aý tutulmasy

kölegesiniň konusy Aýyň kölegesiniň konusyndanda uzyndyr, diametri bolsa Aýyň uzaklygynda onuň diametrinden 2,5 esse uludyr.

Aý Ýeriň töwereginde hereket edende Ýeriň kölegesiniň konusyna gabat gelip bilýär we şonda Aý tutulma hadysasy bolýar. Aý tutulma wagtynda ol hakykatda üstüne düşýän Gün şöhlelerinden mahrum bolýar we şol sebäpli Aý tutulma hadysasy Ýer şarynyň gije (garaňky) ýarym şarynyň hemme nokatlaryndan görner. Gije ýarym şaryň hemme nokatlary üçin tutulmanyň başlanýan we tamamlanýan wagty deň bolar. Ýöne bu pursatlar Ýeriň üstüniň dürli nokatlary üçin ýerli wagt boýunça tapawutlanar we bu tapawut gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligine baglydyr.

Aýyň günbatardan gündogara hereket edýändigini sebäpli ilki bilen Ýeriň kölegesine Aýyň çep gyrasy girer. Onuň çep gyrasynda kem-kemden ululýan gädik emele geler, Aýyň görünýän diskini orak şekilli görnüşi alar. Ýöne bu görnüş Aý fazalaryna baglylyk-



da alýan orak şekilli görnüşden Áýyň diskini ýagty we garaňky böleklere bölýän çyzygyň görnüşi bilen tapawutlanýar. Áý tutulma hadysasynda bu çyzygyň egrilik radiusy Áýyň radiusyndan takmynan 2,5 esse uludyr, Áý fazalarynda terminator ýarym ellips görnüşlidir.

Eger Áý Ýeriň kölegesine bütewiligine girse, onda doly Áý tutulmasy, eger kölegä Áýyň käbir bölegi girse, onda tutulma bölekleyin bolar. Ýerden Áýyň uzaklygynda Ýeriň kölegesiniň diametri Áýyň diametrinden 2,8 essä çenli uly bolup bilýänligi üçin, doly Áý tutulmasy iki sagada golaýrak dowam edip biler.

Doly ýa-da bölekleyin tutulma hadysalarynyň başlangyjy (tamamlananda hem) ýarym kölege Áý tutulmasy bilen başlanýar, ýagny Áý Ýeriň ýarym kölegesinden geçýär. Ýarym kölege tutulma hadysasy (kölege) doly ýa-da bölekleyin tutulmasyz, özbaşdak hem bolup biler.

Áýdylanlardan Áý tutulmasynyň doly Áý wagtynda bolup biljekdigi aýdyňdyr.

§74. Tutulma pursatlaryny kesgitlemek

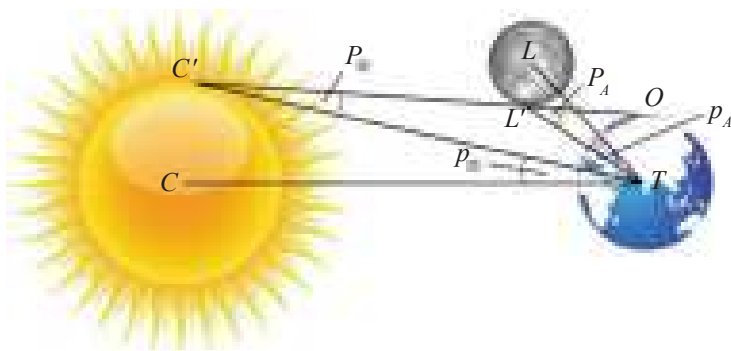
Eger Áý orbitasynyň tekizligi ekliptikanyň tekizligi bilen gabat gelýän bolsa, onda her sinodik aýda Gün we Áý tutulmalary bolup geçerdi. Ýöne bu tekizlikler gabat gelýän däl, ýagny Áý orbitasynyň tekizligi ekliptikanyň tekizligine $5^{\circ}09'$ burça ýapgytdyr. Şonuň üçin doly Áý ýa-da täze Áý wagtynda Áý ekliptikanyň tekizliginden uzakda ýerleşip bilýär we Günüň diskinden ýa-da Ýeriň kölegesiniň konusyndan ýokarda ýa-da aşakda geçip biler, şonda hiç-hili tutulma bolmaz.

Gün ýa-da Áý tutulmasynyň bolmagy üçin, hökman täze Áý ýa-da doly Áý wagtynda Áý orbitasynyň düwnüniň, ýagny ekliptikanyň ýakynynda bolmalydyr.

Goý, 61-nji suratda C , T we L bilen degişlilikde Günüň, Ýeriň we Áýyň merkezleri bellenen bolsun we olar ekliptikanyň tekizligine perpendikulýar bolan bir tekizlikde ýerleşen bolsunlar.

Onda $\angle LTC = \beta$ burç Áýyň geosentrik ekliptik giňligidir. Eger bu burç çyzgyda görkezilenden kiçi bolsa, onda Ýeriň üstüniň O no-





61-nji surat. Gün tutulmasynyň başlangyç pursadynda Günüň, Aýyň we Ýeriň özara ýerleşişleri

kady üçin, iň bolmanda dowamlylygy gysga bolan bölekleyin Gün tutulmasy bolar. β burç üç burçuň jemine deňdir:

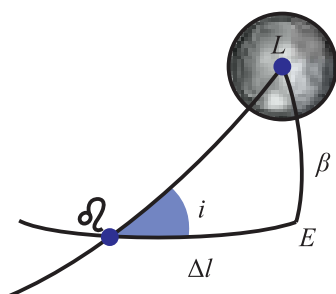
$$\beta = \angle LTL' + \angle L'TC' + \angle C'TC.$$

Ýöne LTL' burç Aýyň burç radiusyna deňdir, ýagny $\angle LTL' = \rho_A$, $C'TC$ burç bolsa, Günüň burç radiusydyr, ýagny $\angle C'TC = \rho_\odot$; burç $\angle L'TC' = \angle TL'O - \angle TC'O$ deňdir. Bu ýerde $\angle TL'O = p_A$ Aýyň gorizont parallaksy, $\angle TCO = p_\odot$ Günüň gorizont parallaksy. Onda

$$\beta = \rho_A + \rho_\odot + p_A + p_\odot$$

Deňligiň sag tarapyndaky ululyklaryň orta bahalaryny $\rho_A = 15',5$; $\rho_\odot = 16',3$; $p_A = 57',0$; $p_\odot = 8'',8$ alsak, onda $\beta = 88',7$ deň bolar.

Diýmek, iň bolmanda dowamly bolmadyk bölekleyin Gün tutulmasy bolmagy üçin Aýyň geosentrik ekliptik giňligi $88',7$ -dan kiçi bolmaly.

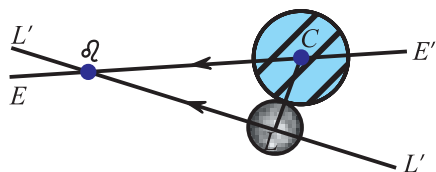


62-nji surat. Gün tutulmasynyň başlangyç pursadynda Aýyň aý düwünlerine görä ýerleşşi

Aýyň merkeziniň düwünden burç aralygy, ýagny Aýyň düwne görä Δl uzaklygy gönüburçly $\Omega \in L$ sferik üçburçlykdan formula boýunça hasaplap bolar (62-nji surat):

$$\sin \Delta l = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tgi}}.$$

$\beta = 88',7$ we $i = 5^\circ,09'$ bolanda $\Delta l = 16^\circ,5$ deň bolar. Gün tutulmasy Aý



63-nji surat. Aý tutulmalarında Ýer kölegesiniň merkeziniň Aý düwnünden çäk uzaklygy

düwnüniň beýleki tarapynda ondan Δl uzaklykda hem bolup biljekdigi düşnükli. Ekliptikanyň 33° dugasyny Gün her gije-gündiziň dowamynda $59'$ ortaça tizlik bilen hereket edip, 34 gije-gündizde geçýär. Ýöne 34 gije-gündiziň dowamynda hökman bir täze Aý bolýar, iki bolmagy hem mümkin, sebäbi sinodik aýyň dowamlylygy $29,5$ gije-gündize deňdir. Diýmek, her ýyl hökman Gün tutulmasy (Aýyň orbitasynyň iki düwünleriniň ýakynynda) bolýar, ýöne 4 ýa-da 5 tutulma bolmagy hem mümkin. Baş tutulma bolýan ýyly, birinji Gün tutulmasy 1-nji ýanwaryň yz ýanynda bolýar. Ikinji Gün tutulmasy indiki täze Aý wagtynda, 3-nji we 4-nji tutulmalar bolsa ýarym ýyldan biraz öň, başynjy tutulma bolsa birinji tutulmadan 354 gije-gündizden soň (354 gije-gündiz 12 sinodik aýa deňdir) bolýar.

Goý, indi C Aýyň Ýerden orta uzaklygynda burç radiusy $41'$ bolan Ýeriň kölegesiniň merkezi; $L'L'$ – burç radiusy $15',5$ bolan, Aýyň L merkeziniň hereket edýän, Aý orbitasynyň bölegi; Ω – Aý orbitasynyň dogýan düwni bolsun (63-nji surat).

Aý tutulmasy bolmagy üçin, doly Aý wagtynda Ýeriň kölegesiniň we Aýyň merkezleriniň aralygy $41' + 15',5 = 56',5$ -den kiçi bolmalydyr. $CL\Omega$ sferik üçburçlukdan alarys:

$$\sin CL = \sin C\Omega \cdot \sin \angle C\Omega L$$

ýa-da

$$\sin 56',5 = \sin C\Omega \cdot \sin 5^\circ,09',$$

bu ýerden alarys:

$$C\Omega = \Delta l = 10^\circ,6.$$

Diýmek, Aý tutulmagy üçin (iň bolmanda dowamly bolmadyk) Ýeriň kölegesiniň merkezi Aýyň orbitasynyň düwnüniň ol ýa-da beýleki tarapynda $10^\circ,6$ -dan ýakyn bolmalydyr. Ýeriň kölegesi ekliptika boýunça bir gije-gündizde $59'$ tizlik bilen hereket edip, bu aralygy $10,8$ gije-gündizde, ikeldilen aralygy, ýagny $21^\circ,2$ (düwünden



iki tarapy hem hasaba alsak) aralygy bolsa 21,6 gije-gündizde geçer. Ýöne sinodik aýyň dowamlylygy 29,5 gije-gündize deň bolany sebäpli, doly Aý düwünden günbatar 10°,6-dan uly aralykda, indiki doly Aý bolsa gündogarda şolar ýaly aralykda bolmagy mümkindir. Şonda bu aýda Aý tutulmaları bolmaz. Tutulma soňky aýda hem bolmaz, sebäbi Aý merkezi bu düwünden 27,2 gije-gündizden (drakonik aý) soň geçer, doly aý bolsa 2,3 gije-gündizden soň bolar. 2,3 gije-gündiziň dowamynda Aý düwünden 30° aralyga gider we onuň merkezi Ýer kölegesiniň merkezinden 56/,5 aralykdan uzakda sowaşyk geçer.

Indiki Aý tutulması diňe ýarym ýyldan soň, Aý orbitasynyň beýleki düwnüniň ýakynynda bolup biler, ýöne ýokarda agzalan sebäplere görä bolman hem biler.

Şeýlelikde, bir ýylyň dowamynda bir Aý tutulmasynyň bolmazlygy hem mümkindir, iň köp bolan ýagdaýynda iki ýa-da üç Aý tutulması bolmagy mümkindir. Bir ýylyň dowamynda üç sapa Aý tutulması bolmagy üçin olaryň birinjisi 1-nji ýanwaryň yz ýanynda, ikinjisi – iýunyň aýagynda, üçünjisi – dekabryň ahyrynda, birinji tutulmadan 12 sinodik aýdan (354 gije-gündizden) soň bolmalydyr.

§75. Tutulmalarıň bir ýylyň dowamyndaky sany.

Saros

Tutulma hadysalarynyň bolmagynyň şertlerini göz önünde tutup, bir ýylyň dowamynda bolup biljek tutulmalarıň ýedä deňdigini, ýagny iki Aý we baş Gün tutulması ýa-da üç Aý we dört Gün tutulmasynyň bolup biljekdigini kesgitlemek çylşyrymly däl. Birinji ýagdaýda ýylyň başynda iki Gün tutulması, olaryň aralygynda bolsa bir Aý tutulması, soňra ýylyň ortasynda ýene-de iki Gün we bir Aý tutulması, ýylyň ahyrynda bolsa başynjy gezek Gün tutulması bolýar. Ikinji ýagdaýda bolsa ýylyň başynda bir Aý tutulması we ondan soň Gün tutulması, ýylyň ortasynda iki Gün tutulması we bir Aý tutulması, ýylyň ahyrynda bolsa bir Gün tutulması we ondan soň üçünjy gezek Aý tutulması bolýar. Emma ýedi tutulma bolýan ýyllar seýrekdir, köplenç bir ýylyň dowamynda iki gezek Gün we iki gezek Aý tutulması bolýandyr. Bir ýylyň dowamynda bolýan tutulmalarıň sany ikidir, ikisi hem Gün tutulmasıdyr.

Tutulmalaryň yzygiderligi takyk diýen ýaly, saros diýilýän wagt aralygyndan soň öňki tertipde gaýtalanýar (Saros – türkmençe terjimesi gaýtalanmak diýmekdir). Baryp gadym döwürlerde belli bolan saros 18 ýyl 11,3 gije-gündize deňdir. Hakykatdan hem, tutulmalar öňki tertipde (haýsy hem bolsa bir tutulmany başlangyç diýip alsak) Aýyň fazasy we onuň Aýyň orbitasynyň düwnünden daşlygy başlangyç tutulmadaky ýaly ýagdaýda bolmagy üçin gerek bolan wagtdan soň gaýtalanar.

Aýyň fazalary ortaça 29,53 gije-gündizden soň gaýtalanýar; Aýyň öz orbitasynyň şol bir düwnüne gaýdyp gelmesi 27,21 gije-gündizden bolýar. Günüň merkeziniň Aý orbitasynyň şol bir düwnünden iki yzygider geçmeginiň wagt aralygy, drakonik ýyl diýilýän wagt aralygy 346,62 gije-gündize deňdir. Diýmek, tutulmalaryň gaýtalanma peridy (saros) şu üç periodlaryň başlangyçlarynyň ýene-de gabat gelmegi üçin gerek bolan wagta deň bolar. 242 drakonik aý takyk diýen ýaly 223 sinodik aýa, şeýle hem 19 drakonik ýyla deňdir.

242 drakonik aý = 6585,36 gije-gündiz;

223 sinodik aý = 6585,32 gije-gündiz = 18 ýyl 11 gije-gündiz 7 sagat 42 minut;

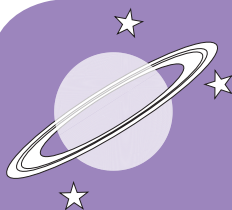
19 drakonik ýyl = 6585,78 gije-gündiz.

223 sinodik aýyň 242 drakonik aýdan 0,04 gije-gündiz gysga bolandygy sebäpli, 6585 gije-gündizden soň täze Aý (ýa-da doly Aý) Aý orbitasynyň düwnünden 18 ýyl öňküsinden başgarak aralykda bolar. Şol sebäpli tutulma şertleri takyk gaýtalanmaz. Ondan başga-da, saros gije-gündizleriň bitin sanyndan we ýene-de 1/3 böleginden durýandygy sebäpli, tutulmalaryň görünýän çäkleri 18 ýylyň dowamynda Ýeriň üsti boýunça takmynan 120° günbatara süýşýändir.

Her bir sarosyň dowamynda 70 tutulma bolup, olaryň 41 Gün, 29-sy bolsa Aý tutulmasydyr. Şeýlelikde, Gün tutulmalary Aý tutulmalaryndan ýygý bolýandyr, ýöne Ýeriň üstüniň berlen nokadynda Aý tutulmalaryny köp görüp bolýandyr. Sebäbi Aý tutulmalaryny Ýeriň bütin ýarym şarynda görüp bolýandyr, Gün tutulmalary bolsa Ýeriň üstüniň uly bolmadyk, kesgitli zolagynda görünýändir. Her sarosyň dowamynda 10-a golaý doly Gün tutulmasynyň bolýandygyna garamazdan, ony görmek seýrek başardýandyr. Ýeriň berlen nokadynda doly Gün tutulmasy 200-300 ýylda bir gezek görünýändir.

Türkmenistanyň çäginde doly Gün tutulmasy 1952-nji ýylda bolup geçdi.





V bap

AMALY ASTRONOMIÝANYŇ WE FUNDAMENTAL ASTROMETRIÝANYŇ ESASY MESELELERI WE GURALLARY

§76. Amaly astronomiýanyň meseleleri

Astronomiýanyň adamzat jemgyýetiniň önümçilik durmuşynyň goýýan meselelerini çözmekde ulanylýan gözegçilikleriň usullary we degişli gurallary seredilýän bölümine amaly astronomiýa diýilýär. Bu meseleleriň iň wajyplary şulardyr: wagty kesgitlemek, geografik koordinatalary (φ giňlik we λ uzaklyk) kesgitlemek, Ýerdäki jisimleriň azimutlaryny kesgitlemek.

Adamyň gündelik durmuşynda wagty bilmek meselesiniň wajyp däl ýerini kesgitlemek mümkin däldir. Wagty dürli takyklyk derejesinde bilmek ylmy häsiýetli meseleler çözülide hem, halk hojalyk meseleleriniň bir topary çözülide hem, şeýle-de adamyň gündelik durmuşynda hem wajypdyr. Gündelik durmuşda wagt kesgitlemek zerurlygy döwletleriň radioiberiji beketleri tarapyndan her sagadyň ahyrynda takyk wagtyň alty sany signalyny ýaýlyma bermegi bilen kanagatlandyrylýar.

Ylmyň we tehnikanyň takyk wagty bilmek boýunça talaplaryny üpjün etmek üçin, köp döwletleriň radiobeketleri gije-gündiziň dowamynda diýen ýaly, takyk wagtyň ýörite signallaryny ýaýlyma iberýärler. Bu signallary kabul edip, wagty sekundyň on müňden bir ülüşleriniň takyklygynda kesgitlemek mümkindir. Takyk wagtyň signallaryny ibermek «wagt gullugy» adyny göterýän ylmy laboratorýalar amala aşyýarlar.

Takyk wagty bilmek Ýeriň üstündäki nokatlaryň geografik koordinatalary kesgitlenende, has hem geografik uzaklyk λ kesgitlenende hökmandyr (§22 seret). Ýeriň üstündäki jisimleriň geografik koordinatalaryny we azimutlaryny kesgitlemek bolsa triangulýasiýa usuly (§55 seret) bilen Ýeriň görnüşini we ölçeglerini öwrenmek üçin zerurdyr. Amaly astronomiýa bu meseleleri çözmekde geodeziýa, gravimetriýa ylmy bilen jebis arabaglanyşykdadyr we halk hojalygy üçin örän wajypdyr. Triangulýasiýa nokatlarynyň koordinatalary dürli masştablarda topografik surata düşürmelerde daýanç bolup hyzmat edýärler. Şolaryň esasynda bolsa kesgitli ýer üstüniň plany we kartalary düzülýändir.

XIX asyryň ahyrynda ýüze çykarylan, geografik giňlikleriň üýtgemeleri (§67 seret), ony yzygiderli öwrenmegi we hasaba almagy talap edýär. Şonuň üçin giňlik gullugynyň ýörite ylmy beketleri özleriniň ýerleşen nokatlarynyň geografik giňligini yzygiderli kesgitleýärler.

Ugur kesgitlemegiň astronomik usullary (geografik koordinatalary we ugurlaryň azimutlaryny kesgitlemek), häzirki döwürde beýleki usullaryň ösýänligine we bu maksatlar üçin dürli gurallaryň barlygyna garamazdan, deňiz gämileriniň uzak ýüzüşlerinde we häzirki zaman howa gämileriniň uzak aralyklara uçuşlarynda häzirki wagtda hem iň ygtybarly usullaryň biridir. Ugur kesgitlemegiň astronomik usullary kosmos uçuşlarynda aýratyn wajyp ähmiýete eýedir. Şonuň üçin indiki paragraflarda bu usullaryň esasynda durýan prinsiplere we gurallara gysgaça seredip geçeris.

§77. Wagtyň we geografik giňligiň kesgitlenişi

a) Takyk wagty kesgitlemek. Islendik wagt pursady üçin takyk T wagt bilen şol pursatda sagadyň görkezýän T' wagtynyň arasyndaky tapawuda sagada düzediş diýilýär we u bilen belleniýär, ýagny

$$u = T - T'. \quad (5.1)$$

Bu ýerden

$$T = T' + u. \quad (5.2)$$



Başgaça aýdanymyzda, sagada düzediş diýilýän u ululyk, takyk T wagty almak üçin sagadyň görkezýän T' wagtynyň üstüne goşmaly ululykdyr.

Diýmek, takyk wagty kesgitlemek, sagada ýa-da hronometre düzedişi kesgitlemäge syrygýandyr.

Sagada düzediş u položitel hem (sagadyň görkezýän T' wagty takyk T wagtdan kiçi – sagat «gijä galypdyr»), otrisatel hem (sagadyň görkezýän T' wagty takyk T wagtdan uly – sagat «öňe gidipdir») bolup biler. Eger $T' = T$, ýagny sagat takyk wagty görkezýän bolsa, onda sagada düzediş $u = 0$.

Sagatlaryň tehniki kämil dældikleri we daşky gurşawyň täsiri netijesinde sagada düzediş hemişelik ululyk dälidir.

Sagada düzedişiň kesgitli wagt aralygynda üýtgemesine *sagadyň gidişi* diýilýär we ω bilen bellenilýär, ýagny

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2' - T_1'}.$$

Eger sagada düzediş wagtyň geçmegi bilen ulalýan bolsa, onda sagadyň gidişi položitel (sagat «yza galýar») we sagada düzediş kiçelýän bolsa, onda sagadyň gidişi otrisatel (sagat «öňe gidýär») hasaplanlyýar.

Astronomik gözegçiliklerden adatça bu gözegçilikleriň geçirilen ýeriniň meridiany üçin ýerli ýyldyz wagty s kesgitlenilýär, soňra onuň esasynda ýerli orta Gün wagty T_m tapylýar. Soňra ýerli orta Gün wagty wagt hasaplamagyň islendik başga sistemasynda aňladylyp bilner (§22 seret). Ýyldyz wagty $s = \alpha + t$ (§18 seret). Onda (5.2) aňlatmanyň esasynda, alarys:

$$s = T' + u = \alpha + t,$$

bu ýerden

$$u = \alpha + t - T'. \quad (5.3)$$

Şeýlelikde, sagada düzedişi u kesgitlemek üçin, (takyk wagty), göni ýokary görterilmesi α belli bolan haýsy hem bolsa bir ýagtyltgyjyň sagat burçuny t ölçemek we burç ölçenen pursady sagadyň görkezýän wagtyny T' bellemek hökmandyr.

Eger sagadyň görkezýän wagtyny ýagtyltgyjyň ýokarky kulminasiýa pursadynda ($t = 0$) bellesek, onda sagada düzediş:



$$u = \alpha - T' \quad (5.4)$$

bolar.

Takyk wagty ýyldyzlara kulminasiýa pursatlarynda gözegçiliklerden kesgitlemek bu meseläni çözmegiň iň giňden ýaýran usulydyr.

b) λ geografik uzaklygy kesgitlemek. Bu meseläniň çözüwi, iki meridianyň ýerli wagtlarynyň şol bir pursatdaky ululyklarynyň tapawudy, sagat ululyklarda aňladylan, şol meridianlaryň uzaklyklarynyň tapawudyna deňdigine esaslanandyr (§22 seret). Häzirki döwürde geografik uzaklyklar, uzaklygy nola deň diýip kabul edilen, Grinwiç meridianyndan hasaplanylýar. Diýmek, eger T_m – grinwiçden gündogar uzaklygy λ bolan haýsy hem bolsa bir meridianyň ýerli wagty, T_0 – grinwiç wagty bolsa, onda

$$\lambda = T_m - T_0. \quad (5.5)$$

Şeýlelikde, haýsy hem bolsa bir nokadyň geografik uzaklygyny kesgitlemek, şol bir wagtyň özünde şol nokatda we başlangyç meridianda ýerli wagty kesgitlemäge syrygýar. Radionyň oýlanyp tapylmazyndan öň bu meseläniň çözüwi ýeterlik çylşyrymly bolupdyr. Esasy kynçylyk T_0 grinwiç wagty kesgitlemekde jemlenipdir. Geografik uzaklyklary kesgitlemegiň öňki usullary takmynan bolupdyr we köp zähmet talap edipdir.

Geografik uzaklyklary kesgitlemegiň häzirki zaman usullarynda grinwiç wagty takyk wagtyň signallaryny radio boýunça kabul etmäge esaslanandyr (§77 seret). Astronomik gözegçiliklerden öň we soň kabul edilen radiosignallar boýunça grinwiç meridianyna görä sagada düzediş u_0 kesgitlenilýär, gözegçiliklerden bolsa gözegçilik geçirilen nokadyň meridianyna görä sagada düzediş u kesgitlenilýär. Onda (5.2) we (5.5) gatnaşyklardan degişli nokadyň geografik uzaklygy

$$\lambda = u - u_0, \quad (5.6)$$

sebäbi

$$T_m = T' + u, \quad T_0 = T' + u_0.$$



§78. φ geografik giňligi we u sagada düzedişi kesgitlemek

a) Ýagtyltgyjyň ölçenen zenit aralygy boýunça φ we u kesgitlemek.

Bu iki meseläniň çözülişi parallaktik üçburçlugyň (1.37) formulasyny peýdalanmaga esaslanandyr

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (5.7)$$

bu ýerde $t = s - \alpha$, ýa-da (5.3) aňlatmanyň esasynda

$$t = T' + u - \alpha. \quad (5.8)$$

Eger ýagtyltgyjyň zenit aralygy z ýa-da beýikligi $h = 90^\circ - z$ ölçenen we şol pursat ýyldyz sagady boýunça T' bellenen bolsa, ýagtyltgyjyň α we δ koordinatalary ölçeg geçirilen pursat üçin Astronomik ýyllyk neşirden alynsa, onda (5.7) aňlatmada näbelli ululyk φ we u galýar. Diýmek, olary kesgitlemek üçin öňkä meňzeş, ýöne oňa bagly bolmadyk, ikinji deňleme gerek, ýagny in bolmanda ýene-de bir ýagtyltgyjyň zenit aralygyny ölçemeli we bu ýagtyltgyçlara gözegçilik edilýän wagtyň dowamynda u üýtgemeyär diýip hasaplamaly. Adatça bu usul giňlik we sagada düzediş bilelikde kesgitlenen-de ulanylýar. Ýöne şonda birnäçe ýyldyza gözegçilik edilýär we alnan deňlemeler in kiçi kwadratlar usuly ýa-da yzygider ýakynlaşmalar usuly bilen çözülýär.

Eger-de iki näbelli ululyklaryň haýsy hem bolsa biri belli bolsa, onda ikinjisini (5.7) we (5.8) deňlemelerden hasaplap bolýar.

Goý, gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligi φ belli bolsun. Onda (5.7) deňlemeden alarys:

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$$

bu aňlatmadan t -ni hasaplanymyzdan soň, (5.8) deňlemeden $u = t - T' + \alpha$ taparys.

Eger-de sagada düzediş u belli bolsa, onda (5.8) deňlemeden geografik giňlik φ hasaplanýlyar.

Bu meseleleri çözmek üçin gözýetimden ýokarda, asmanyň islendik nokadynda ýerleşen islendik ýagtyltgyjyň zenit aralygyny ölçäp

bolar. Ýöne sagada u düzedişi kesgitlemek üçin, gözegçilik geçirilýän wagtynda birinji wertikala ýakyn, ýagny azimutlary 90° ýa-da 270° ýakyn bolan ýagtyltgyçlaryň zenit aralygyny kesgitlemek amatlydyr. Bu ýagdaýda ýagtyltgyçlaryň zenit aralyklary has çalt üýtgeýärler, diýmek, gözegçilik edilýän T' wagt has takyk belenilýär.

φ geografik giňligi kesgitlemek üçin, tersligine, meridiaňa ýakyn ýerleşen ýagtyltgyçlaryň zenit aralyklaryny ölçemek amatlydyr. Bu ýagdaýda zenit aralyklary has haýal üýtgeýärler we T' wagt pursady belenende mümkin bolan ýalňyşlyklaryň ahyrky netijä täsiri kiçi bolar. Bu nukdaýnazardan Demirgazyk ýyldyza gözegçilik etmek amatlydyr. Sebäbi ol mydama meridiaňa ýakynydyr we islendik wagt gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligini takyk kesgitlemek üçin amatlydyr. Ondan başga-da, onuň gözyetimden beýikligi gözegçilik edilýän ýeriň giňliginden mydama az tapawutlanýandyr we $\pm 1^\circ$ -dan geçmeýän ýalňyşlyk bilen bu ululygyň (giňligiň) ýakynlaşan bahasy hökmünde kabul etmek bolar.

b) φ we u -ny ýagtyltgyçlara kulminasiýa pursadynda gözegçiliklerden kesgitlemek.

Eger ýagtyltgyç kulminasiýada bolsa, onda onuň t sagat burçy 0-a ýa-da 180° -a (12^h) deňdir. Onda (5.7) formuladan alarys:

1) eger ýagtyltgyç zenitden günortada kulminasiýada bolsa, onda

$$\varphi = \delta + z,$$

2) eger zenitden demirgazykda bolsa, onda

$$\varphi = \delta - z, \quad (5.9)$$

3) eger ýagtyltgyç aşaky kulminasiýada bolsa, onda

$$\varphi = 180^\circ - \delta - z.$$

(5.8) deňlemelerden alarys:

$$\begin{array}{ll} \text{ýokarky kulminasiýa pursady üçin} & u = \alpha - T', \\ \text{aşaky kulminasiýa pursady üçin} & u = \alpha - T' + 12^h \end{array} \quad (5.10)$$

Şeýlelikde, ýagtyltgyjyň diňe zenit aralygyny ölçäp, (5.9) deňlemeleriň birinden ölçeg geçirilen ýeriň geografik giňligini alyp bolýar, ýagtyltgyjyň meridiandan geçme pursadyny belläp, (5.10) deňlemelerden sagada düzedişi tapyp bolýar.

ç) φ we u -ny ýagtyltgyçlara deň beýikliklerde (deň zenit aralyklarda) gözegçiliklerden kesgitlemek.



Eger göni ýokary göterilmeleri α_1 we α_2 ýapgytlyklary δ_1 we δ_2 bolan iki ýagtyltgyjyň umumy almukantaratdan geçme pursatlaryny, ýagny haçan-da olar deň z uzaklykda bolýan pursatlaryny T_1' we T_2' bilen bellesek, onda (5.7) we (5.8) aňlatmalaryň esasynda alarys:

$$\begin{aligned} \sin\varphi \sin\delta_1 + \cos\varphi \cos\delta_1 \cos(T_1' + u - \alpha_1) = \\ = \sin\varphi \sin\delta_2 + \cos\varphi \cos\delta_2 \cos(T_2' + u - \alpha_2). \end{aligned} \quad (5.11)$$

bu deňlikde geografik giňlik φ we sagada düzediş u näbellidir. Bu (5.11) deňlik φ we u -ny aýry-aýrylykda kesgitlemegiň, şeýle hem bilelikde kesgitlemegiň dürli usullarynda giňden peýdalanylýar.

Bu usullaryň hemmesi üçin bellemeli zat, ýagtyltgyçlaryň zenit aralyklaryny ölçemek zerurlygynyň ýoklugydyr. Gözegçilikden ýagtyltgyçlaryň haýsy hem bolsa bir almukantaratdan geçme pursadyny sagatda bellemek ýeterlikdir.

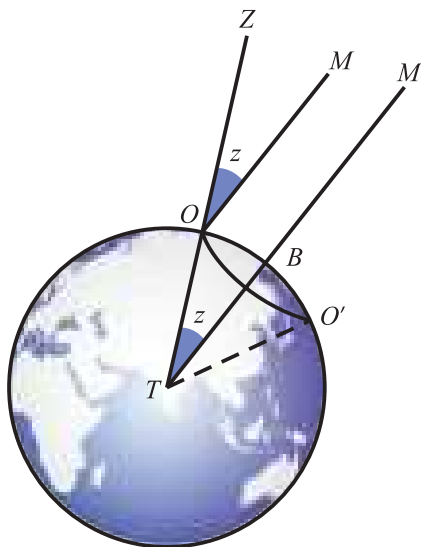
§79. φ we λ geografik koordinatalary bilelikde kesgitlemek

Häzirki wagt pursadynda Ýer üstüniň haýsy hem bolsa bir nokady üçin ýagtyltgyç zenitde bolýan bolsa, onda Ýer üstüniň bu nokadyna bu ýagtyltgyjyň geografik orny (ýeri) diýilýär. Eger ýagtyltgyjyň α we δ koordinatalary hem-de zenitden geçme pursadynda Grinwiçde ýyldyz wagty s_0 belli bolsa, onda ýagtyltgyjyň geografik ornunyň giňligi φ we uzaklygy λ kesgitlenip bilner. Hakykatdan hem, haçan-da ýagtyltgyç zenitde bolanda, onuň zenit aralygy $z = 0$, diýmek ýagtyltgyjyň geografik ornunyň giňligi $\varphi = 0$. Ýöne şonda ýagtyltgyç ýokarky kulminasiýa nokadyndadyr hem, onda onuň sagat burçy $t = 0$, ýagtyltgyjyň geografik ornunyň meridianyndaky ýerli ýyldyz wagty bolsa $s = \alpha$. Diýmek, ýagtyltgyjyň geografik ornunyň uzaklygy $\lambda = \alpha - s_0$.

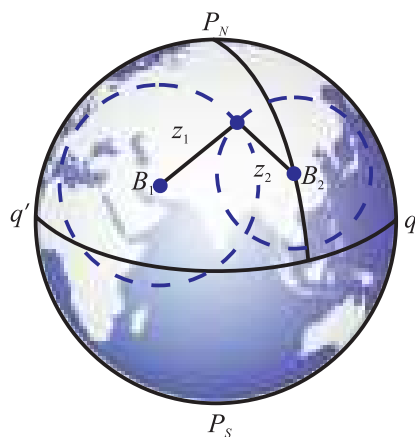
Eger gözegçi M ýagtyltgyjyň geografik orny bilen gabat gelmeýän, Ýeriň üstüniň O nokadynda ýerleşen bolsa (64-nji surat), onda ol ýagtyltgyjy s_0 pursatda z zenit aralykda görýär (ýagtyltgyçdan Ýer üstüniň hemme nokatlaryna düşýän şöhleleri parallel hasaplap bolýar.). Başgaça aýdanymyzda, gözegçi ýagtyltgyjyň geografik ornundan ýagtyltgyjyň zenit aralygyna deň bolan burç aralykda

ýerleşendir. Eger Ýeri şar we asma çyzyklaryny bolsa Ýeriň radiuslary bilen gabat gelýär diýip hasaplasak, onda Ýer üstüniň berlen ýagtyltgyç z zenit aralykda bolýan nokatlarynyň hemmesi, merkezi B nokatda ýerleşen, BO radiusy ýagtyltgyjyň z zenit aralygyna deň bolan, OO' kiçi töweregiň (aýlawyň) üstünde ýerleşerler. Bu aýlawa deň beýiklikler aýlawy ýa-da pozision aýlaw diýilýär.

Goý, gözegçi grinwiç wagty boýunça s_{01} we s_{02} wagt pursatlarynda, koordinatalary λ_1, δ_1 we λ_2, δ_2 bolan M_1 we M_2 ýagtyltgyçlaryň z_1 we z_2 zenit aralyklaryny ölçän bolsun. Onda gözegçi koordinatalary $\varphi_1 = \delta_1$ we $\lambda_1 = \alpha_1 - s_{01}$ bolan B_1 geografik orundan (M_1 ýagtyltgyç üçin), sferik radiusy z_1 bolan pozision aýlawyň üstünde ýerleşendir (65-nji surat). Şol wagtyň özünde gözegçi koordinatalary $\varphi_2 = \delta_2$ we $\lambda_2 = \alpha_2 - s_{02}$ bolan, B_2 geografik orunda merkezi ýerleşen, z_2 sferik radiusly pozision aýlawyň üstünde hem ýerleşendir. Bu bolsa gözegçiniň iki pozision aýlawlaryň iki kesişme nokatlarynyň birinde ýerleşendigini aňladýar. Pozision aýlawlaryň kesişme nokatlarynyň haýsynda gözegçiniň ýerleşendigini kesgitlemek çylşyrymly däl, sebäbi pozision aýlawlaryň radiuslary Ýer üstünde uludyr we kesişme nokatlary biri-birinden uzak aralykda



64-nji surat. Ýagtyltgyjyň geografik orny we deň beýiklikleriň aýlawy



65-nji surat. Deň beýiklikleriň iki aýlawy boýunça geografik koordinatalary kesgitlemek



ýerleşendirler. Gözegçiniň Ýeriň üstünde ýerleşen nokadynyň çäklerini çen bilen belläp, kesişme nokatlarynyň haýsynda ýerleşendigini mydama anyklap bolýandyr.

Şeýlelikde, eger Ýeriň globusynda bu iki pozision aýlawy çyzyp, kesişme nokatlarynyň gözegçiň ýerleşen nokadyna degişlisiniň φ we λ koordinatalaryny kesgitlesek, onda bu koordinatalar gözegçiniň ýerleşen nokadynyň gözlenýän koordinatalary bolar.

Gözegçilik edilýän nokadyň geografik koordinatalaryny kesgitlemegiň bu usuly (bu ýerde usulyň manysy gysgaça beýan edilen) deňizlerde ýüzülende we howada uçuşlarda giňden peýdalanylýar.

Azmutlarynyň tapawudy 90° töweregi bolan iki ýagtyltgyjyň beýiklikleri adatça sekstant bilen ölçenilýär. Gözegçiligiň ýyldyz grinwiç wagty awiasiýa sagady ýa-da deňiz hronometri boýunça bellenilýär, grinwiç meridianyna göre oňa girizilmeli düzediş bolsa wagt radiosignallaryny kabul etmek arkaly kesgittenilýär (§77 seret). Gözegçiliklerden alnan maglumatlar işlenende globus ulanylman, geografik kartanyň degişli proyeksiýalary ulanylýar. Kartada doly aýlawlar çyzylman, olaryň kiçi bölekleri çyzylýar we bu çyzyklar egri bolman, göni çyzyklar görnüşinde bolýar. Bu çyzyklar amerikaly kapitan Somneriň ady dakylany sebäpli somneriň çyzyklary diýilýär. Somner çyzyklarynyň kesişmesi kartada gäminiň ýa-da uçaryň gözegçilik wagtyndaky ornuny görkezýär.

§80. Ýerdäki jisimiň azimutyny kesgitlemek

Ýerdäki P jisimiň azimutyny kesgitlemek, haýsy hem bolsa bir M ýagtyltgyjyň astronomik A azimutyny kesgitlemekden we ýagtyltgyjyň wertikal aýlawy bilen Ýerdäki jisimiň wertikal aýlawynyň arasyndaky gorizont ΔA burçy ölçemekden ybaratdyr (*66-njy surat*). Onda Ýerdäki jisimiň A_n azimutyny aňlatmadan alarys

$$A_n = A - \Delta A. \quad (5.12)$$

Iki jisimiň azimutlarynyň tapawudyny, ýagny ΔA burçy ölçemek barada §87-de aýdylýar.

M ýagtyltgyjyň astronomik A azimutlaryny iki formula boýunça hasaplap bolýar. Olaryň biri (1.36) formulanyň birinji aňlatmasyndan alynýar:



$$\cos A = \frac{\sin \varphi \cos z - \sin \delta}{\cos \varphi \sin z};$$

bu ýerde ýagtyltgyjyň z zenit aralygyny ölçemek ýeterlikdir (φ geografik giňlik we ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygy belli bolmalydyr).

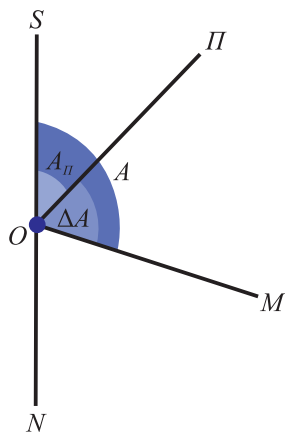
Beýleki formula bolsa (1.37) formulalaryň ikinjisini üçünjä bölüp alynýar:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos \delta \sin t}{-\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t}.$$

A azimuty kesgitlemek üçin hronometr ýa-da sagat boýunça ýagtyltgyja gözegçilik edilen T' wagat pursadyny bellemek gerek. Onda, sagada u düzedişi we ýagtyltgyjyň göni ýokary görterilmesini bilip, ilki bilen gözegçilik edilýän pursat üçin ýagtyltgyjyň sagat burçy $t = T' + u - \alpha$ tapylýar, soňra bolsa giňlik φ we ýapgytlyk δ boýunça ýagtyltgyjyň A azimuty hasaplanylýar.

Iki ýagdaýda hem ýagtyltgyjyň A azimuty hasaplanylýar, soňra (5.12) deňlemiden Ýerdäki jisimiň A_Π azimuty kesgitlenilýär.

Ýeriň berlen nokadyndaky jisimiň azimutyny bilip, bu nokatda islendik wagat pursadynda guralyň turbasy asman meridianynyň tekizliginde ýerleşer ýaly goýup bolýandyr.



66-njy surat. Ýer üstündäki jisimiň azimutyny kesgitlemek

§81. Fundamental astrometriýanyň meseleleri

Fundamental astrometriýa – astronomiýada inersial hasaplaýyş sistemalar, ýagny aýlawсыз, diňe deňölçegli we göniçyzykly hereket edýän sistemalar baradaky ylymdyr. Inersial hasaplaýyş sistemasyny döretmäge asman sferasynda koordinatalar sistemasyny we ýyldyzlaryň hususy hereketlerini gurmak, wagtyň geçmegi bilen koordinatalaryň üýtgemelerini hasaba almaga mümkinçilik berýän ululyklary, ýagny astronomiýanyň fundamental hemişelikler sistemasyny anyklamak esas bolýar. Bu ýerden fundamental astrometriýanyň esasy iki meselesi gelip çykýar:

1) ýyldyzlaryň koordinatalaryny we hususy hereketlerini kesgitlemek;



2) fundamental astronomik hemişelikleriň san bahalaryny kesgitlemek.

Käbir esasy astronomik hemişelikleri kesgitlemegiň esaslary (presessiýa, nutasiýa, aberrasiýa, Günüň parallaksy) bu hadysalaryň deňişli paragraflarda berlen ýazgylaryndan düşnüklidir. Şol sebäpli indiki paragraflarda birinji meselä, ýagny ýyldyzlaryň koordinatalaryny we hususy hereketlerini kesgitlemäge seretmek bilen çäkleneris, sebäbi bularsyz fundamental hemişelikleri kesgitlemek mümkin däldir.

Häzirki döwürde fundamental koordinatalar sistemasy bütün asman boýunça ýerleşen birnäçe ýyldyzlaryň göni ýokary görterilmesi we ýapgytlygy bilen berilýär. Bu koordinatlary döretmek üçin, umuman alnanda köp bolmadyk ýyldyzyň koordinatalaryny we hususy hereketlerini bilmek ýeterlikdir. Ýöne amaly, ýyldyz astronomiýasynyň we asman jisimleri baradaky ylmyň başga bölümleriniň meseleleri çözüleninde mümkin boldugyça köp ýyldyzlaryň göni ýokary görtermesini we ýapgytlygyny bilmek hökmandyr.

Göni ýokary görterilmesi we ýapgytlygy kesgitlenen ýyldyzlaryň sany ýüzlerçe müňden köpdür. Ýöne muňa garamazdan, ýyldyzlaryň ekwatorial koordinatalaryny kesgitlemek şu günki döwre çenli wajyplygyny ýitiren däldir. Sebäbi ýyldyzlaryň köpüsiniň koordinatalarynyň ýakynlaşan bahalary bellidir we olary anyklamak üçin ölçegleri geçirmek zerurdyr. Bu ölçegler şeýle hem ýyldyzlaryň hususy hereketlerini kesgitlemek we astronomik hemişelikleriň san bahalaryny takykklamak üçin zerurdyr.

§82. Ekwatorial koordinatalary (α we δ) kesgitlemegiň absolýut we otnositel usullary

Ýagtyltgyçlaryň ekwatorial koordinatlary absolýut usul bilen, otnositel ýa-da differensial usul bilen kesgitlenip bilner.

Koordinatalary kesgitlemegiň absolýut usuly öň belli bolan koordinatalaryň hiç birine daýanmaýar. Differensial usulda bolsa ýüzlerçe ýyldyzlaryň göni ýokary görterilmesi we ýapgytlygy öňünden belli bolmalydyr. Bu ýyldyzlara daýanç ýyldyzlary diýilýär.

a) Absolýut usul. Absolýut usul bilen ýyldyzlaryň ýapgytlygyny kesgitlemek §13 formulalaryna we pikir ýöretmelerine esaslanandyr.

Hakykatdan hem, eger ýaşmaýan ýyldyzlaryň zenit aralygy ilki bilen ýokarky kulminasiýa pursadynda (z_Y), soňra bolsa ýyldyz wagty boýunça 12 sagatdan soň, aşaky kulminasiýa (z_A) pursadynda ölçäsek, onda (§13 formulalary boýunça) alarys:

$$z_Y = \delta - \varphi$$

we
$$z_A = 180^\circ - \varphi - \delta,$$

bu ýerden
$$\delta = 90^\circ - \frac{(z_A - z_Y)}{2}$$

we
$$\varphi = 90^\circ - \frac{(z_A + z_Y)}{2}.$$

Şeýlelikde, başga ýagtyltgyçlaryň koordinatalaryny bilmezden, berlen ýyldyzyň δ ýapgytlygyny we gözegçilik edilen ýeriň φ geografik giňligini alarys.

Gözegçilik edilýän ýeriň φ geografik giňligi birnäçe ýaşmaýan ýyldyzlara gözegçilikler boýunça köp gezek kesgitlenenenden soň, onuň orta arifmetik bahasy φ_0 we islendik ýyldyzyň ýokarky kulminasiýa pursadynda zenit aralygyny ölçäp, şu formulalaryň biri boýunça ýyldyzyň ýapgytlygyny alarys:

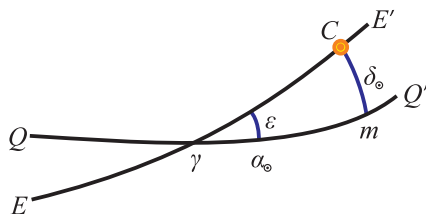
$\delta = \varphi_0 - z$, eger ýyldyz zenitden günortada kulminasiýada bolan bolsa;

$\delta = \varphi_0 + z$, eger ýyldyz zenitden demirgazykda kulminasiýada bolan bolsa;

$\delta = 180^\circ - \varphi - z$, eger ýyldyz aşaky kulminasiýada bolan bolsa.

Göni ýokary görilmäni kesgitlemegiň absolyut usuly başga ýagtyltgyçlaryň göni ýokary görilişini bilmezden, gözegçiliklerden Günüň göni ýokary görilmesini kesgitlemek mümkin diýen düşüňjä esaslanandyr.

Hakykatdan hem, goý 67-nji suratda QQ' – asman ekwatory, $\varepsilon\varepsilon''$ – ekliptika, γ – ýazky gije-gündiz deňleşme nokady, ε – asman ekwatorynyň ekliptika ýapgytlygy, C – berlen pursatda Günüň ekliptikada ýagdaýy.



67-nji surat. Günüň göni ýokary görilmesini kesgitlemek



Onda Cm duga Günün δ_{\odot} ýapgytlygy, γm duga bolsa onuň α_{\odot} göni ýokary görterilmesi bolar.

$Cm\gamma$ gönüburçly üçburçlukdan, (1.35) formula laýyklykda, alarys:

$$\sin \alpha_0 = \frac{\operatorname{tg} \delta_0}{\operatorname{tg} \varepsilon}. \quad (5.13)$$

Diýmek, eger kesgitli wagt pursady Günün δ_{\odot} ýapgytlygy we ε burç belli bolsa, onda (5.13) formula boýunça şol pursat üçin Günün göni ýokary görterilmesini hasaplap bolar.

Günün zenit aralygyny z_{\odot} ýokarky kulminasiýa pursadynda, ýagny hakyky günortan ölçemeleri boýunça, ölçegleriň geçirilen her bir günü üçin onuň ýapgytlygyny δ_{\odot} kesgitläp bilýäris. Günün ýapgytlygy gün-günden üýtgeýändir (§15 seret). Günün tomusky we gysky durma günleriniň golaýynda geçirilen gözegçiliklerden onuň ekstremal bahalaryny kesgitläp bolýar. Ýapgytlygyň absolýut ululygy bolsa ekliptikanyň ekwatora ýapgytlyk burçuna ε deň bolar. ε alnan bahasy boýunça (5.13) formuladan gözegçilikleriň her bir günü üçin hakyky günortan pursadynda α_{\odot} ýapgytlygy hasaplap bolar. Ondan başga-da, eger zenit aralygy ölçenende sagat boýunça Günün meridiandan geçme pursadyny T'_{\odot} bellesek, onda deňlemeden

$$s = \alpha_{\odot} = T'_{\odot} + u \quad (5.14)$$

gözegçiligiň her bir günü üçin sagada u düzediş we sagadyň ω gitmesi (§77 seret) belli bolar.

Şeýlelikde, göni ýokary görterilmeleri kesgitlemegiň absolýut usuly aşakdakylara syrygýar. Güne gözegçilik edip bolnandan soň ýa-da öň, her birini gündizine hem gözegçilik edip bolar ýaly, ekliptikanyň we ekwatoryň ugry boýunça azda-kände deňölçegli ýerleşen, örän ýagty, birnäçe (mysal üçin, 30-40 sany) ýyldyz saýlanylýar. Bu ýyldyzlara esasy ýa-da sagat ýyldyzlary diýilýär.

Sagat ýyldyzlaryna gözegçilik edilende olaryň meridiandan geçme pursatlary T'_1, T'_2, T'_n bellenilýär. Güne gözegçilik edilende bolsa meridiandan geçme pursady T'_{\odot} bellenilýär we z_{\odot} zenit aralygy ölçenilýär. Günün ölçenen zenit aralygy boýunça, ölçegleriň her günü üçin onuň ýokarky kulminasiýa pursadynda δ_{\odot} ýapgytlygy we α_{\odot} göni ýokary görterilmesi hasaplanylýar. (5.14) deňleme boýunça Güne gözeg-



çilik edilen pursat üçin sagada düzediş, olar boýunça bolsa sagadyň gidişi hasaplanylýar.

Soňra Güne we sagat ýyldyzlara gözegçilik edilen günleriň her biri üçin deňlemeler düzülýär:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{\theta} &= T_{\theta}' + u, \\ \alpha_1 &= T_1' + u_1, \\ \alpha_2 &= T_2' + u_2, \\ &\dots\dots\dots \\ \alpha_n &= T_n' + u_n. \end{aligned} \right\} \quad (5.15)$$

Bu deňlemeleriň birinjisinde hemme ululyklar, galanlarynda bolsa diňe ýyldyzlaryň meridiandan geçme pursatlary T_i' bellidir. Sagat ýyldyzlaryň α_i göni ýokary görterilmeleri we sagada u_i düzedişler näbellidirler. Ýöne, her bir sagat ýyldyzlarynyň kulminasiýa pursady üçin sagada u_i düzedişleri belli bolan u düzediş we sagadyň gidişi ω boýunça tapmak ýeňildir, ýagny

$$u_i = u + \omega(T_1' - T_{\theta}').$$

Onda (5.15) deňlemeler aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\begin{aligned} \alpha_{\theta} &= T_{\theta}' + u, \\ \alpha_1 &= T_1' + u + \omega(T_1' - T_{\theta}'), \\ \alpha_2 &= T_2' + u + \omega(T_2' - T_{\theta}'), \\ &\dots\dots\dots, \\ \alpha_n &= T_n' + u + \omega(T_n' - T_{\theta}'). \end{aligned}$$

Bu deňlemelerden Günüň we sagat ýyldyzlarynyň göni ýokary görterilmeleri absolýut usul bilen kesgitlenilýärler. Şunlukda, bu hasaplamalary Günüň ýapgytlygynyň ululygynyň absolýut uly bolmadyk bahalarynda, ýagny ýazky we gýýzki deňleşme günleriniň töwereginde geçirilen gözegçilikler boýunça kesgitlemek amatlydyr. Bu ýagdaýda göni ýokary görterilmeler takyk kesgitlenýär.

Ýyldyzlaryň göni ýokary görterilmeleri absolýut usul boýunça kesgitlenende Güne gözegçilik etmek, ýazky gije-gündiz deňleşme nokadynyň asmanda ýyldyzlara görä ýerleşişini bellemek üçin zerurdyr. Bu maksatlar üçin Günüň deregine, orbitasynyň elementleri ýeterlik takyklykda belli bolan, Gün sistemasynyň islendik planetasyna gözegçilik etmek bolar. Planetalara gözegçilik etmegiň takyk-



lygy Güne gözegçilik edenden ýokarydyr. Bu nukdaý nazardan kiçi planetalar has amatlydyr. Kiçi planetalara gözegçilik etmegiň şertleri ýyldyzlara gözegçilik etmegiň şertlerinden tapawudy ýokdur we şol sebäpli alynýan netijeler Güne we uly planetalara gözegçilik edilende mahsus bolan ýalňyşlyklardan azatdyr.

b) Otnositel ýa-da differensial usullar. Ýyldyzlaryň koordinatalaryny otnositel usul bilen kesgitlemek, koordinatalary kesgitlenilýän ýyldyz bilen daýanç ýyldyzynyň $\Delta\alpha$ we $\Delta\delta$ koordinatalarynyň tapawudyny ölçemäge syrygýandyр.

Ýyldyzlara meridianda edilýän gözegçiliklerden her bir daýanç we her bir kesgitlenilýän ýyldyzlar üçin meridiandan geçme pursatlary T we T_i hem-de zenit aralyklary z we z_i alynýar.

Gözegçilikleriň meridianda geçirilýändigleri sebäpli, sagadyň gidişi hasaba alnandan soň, daýanç (T) we kesgitlenilýän (T') ýyldyzlaryň meridiandan geçme pursatlarynyň tapawudy olaryň göni ýokary görterilmeleriniň tapawudyna deňdir, ýagny

$$T - T_i = \alpha - \alpha_i = \Delta\alpha,$$

zenit aralygynyň tapawudy bolsa bu ýyldyzlaryň ýapgytlyklarynyň tapawudyna deňdir, ýagny

$$z - z_i = \delta_i - \delta = \Delta\delta_i \text{ (kulminasiýa zenitden günortada)}$$

$$z - z_i = \delta - \delta_i = \Delta\delta_i \text{ (kulminasiýa zenitden demirgazykda)}.$$

Bu gatnaşyklardan kesgitlenilýän ýyldyzyň gözlenilýän α_i we δ_i koordinatalary hasaplanylýar, daýanç ýyldyzlaryň α we δ koordinatalary bellidir.

Bu ýerde biz ekwatorial koordinatalary kesgitlemegiň diňe esaslaryny beýan etdik, amalyýetde bu mesele has çylşyrymlydyр.

§83. Ýyldyzlaryň hususy hereketleri

Şol bir ýyldyzlaryň ekwatorial koordinatalaryny uzak wagт geçenden soň ölçenen ekwatorial koordinatalary bilen deňeşdirip, wagtyň geçmegi bilen olaryň göni ýokary görterilmesiniň we ýapgytlygynyň üýtgeýändigleri ýüze çykarylandыр. Bu üýtgemeleriň agramly bölegi presessiýa, nutasiýa, aberrasiýa, az bölegi bolsa ýyllyk paralaks sebäpli ýüze çykýandyр (§§ 57, 62, 66 seret). Eger bu sebäpleri göz önünde tutsak, onda üýtgemeler kiçelýär, ýöne doly ýitip gitmeýär.

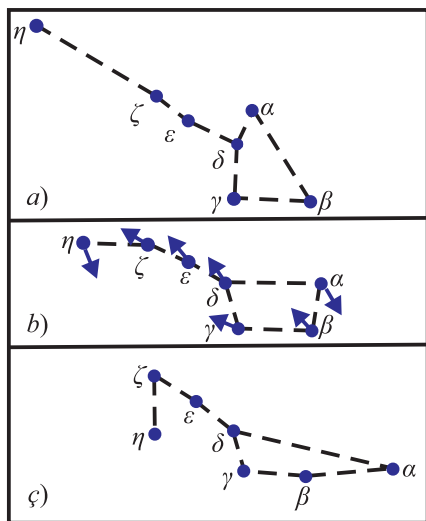


Ýyldyzyň asman sferasynda bir ýylyň dowamynda galan süýşmesine ýyldyzyň μ hususy hereketi diýilýär. Ol bir ýylda duganyň sekuntlarynda aňladylýar.

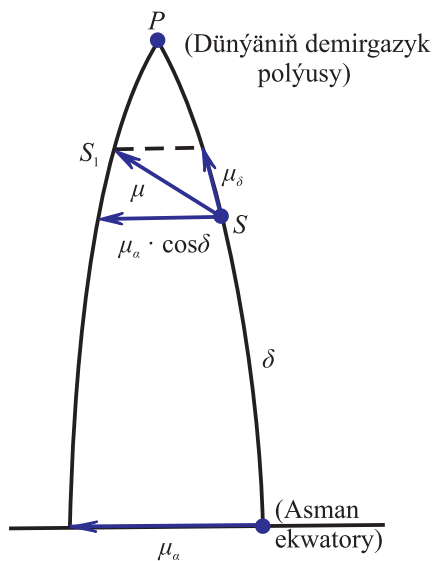
Dürli ýyldyzlaryň hususy hereketleri ululygy we ugry boýunça tapawutlanýandyrlar. Diňe köp bolmadyk (ýüzlerçe) ýyldyzlaryň hususy hereketleri bir ýylda 1"-dan uludyr. Belli bolan in uly hususy hereket $\mu = 10'',27$ deňdir (Barnardyň «uçýan» ýyldyzyna degişlidir). Ýyldyzlaryň örän köpüsi üçin ölçenilen hususy hereketleri ýylda duganyň sekundynyň ýüzden bir we müňden bir ülüşlerine deňdir.

Hususy hereketleriniň kiçiligi sebäpli ýyldyzlaryň görünýän ýagdaýlarynyň üýtgemeleri guralsyz seredilende duýarlyk däl. Öz wagtynda bu ýagdaý «hereket etmeýän ýyldyzlar» terminiň döremegine sebäp bolandyr. Emma örän uzak wagt aralygynda ýyldyz toparlarynyň şekilleri duýarlyk üýtgeýändirler. Mysal üçin, 68-nji suratda Uly Ýedigeniň ýedi ýagty ýyldyzynyň häzirki wagtda (b), 50000 ýyl mundan ozal (a) we 50000 ýyldan soň (ç) özara ýerleşişleri şekillendirilen.

Her ýyldyzyň hususy hereketi uly aýlawyň dugasy boýunça we hemişelik tizlik bilen bolýandyr. Diňe birnäçe ýyldyzyň hususy hereketinde uly aýlawyň dugasyndan periodiki gyşarmalar anyklanandyr.



68-nji surat. 100 000 ýylda Uly Ýedigeniň görnüşiniň üýtgemesi



69-nji surat. Ýyldyzyň hususy hereketiniň düzüjileri



Uly aýlawyň SS_1 dugasy boýunça (69-njy surat) ýyldyzyň hususy μ hereketi netijesinde onuň göni ýokary göterilmesi, göni ýokary göterilmesi boýunça μ_α hususy hereketi diýilýän ululyga, ýapgytlygy bolsa ýapgytlyk boýunça μ_δ hususy hereketi diýilýän ululyga üýtgeýär. Ýyldyzyň koordinatalaryny deňşdirmeden duganyň sekuntlarynda aňladylan μ_α we μ_δ kesgitlenilýär. Eger μ_α sagat ölçeginiň sekuntlarynda aňladylýan bolsa (μ_α^s bellenilýär), onda $\mu_\alpha = 15\mu_\alpha^s \cdot \cos \delta$.

Ýyldyzyň hususy hereketi μ şu formula boýunça hasaplanylýar:

$$\mu = \sqrt{\mu_\delta^2 + \mu_\alpha^2}.$$

Eger 69-njy suratda hususy hereketiň μ kiçiligi sebäpli, ýyldyzyň gije-gündiz paralleliniň $\mu_\alpha \cdot \cos \delta$ dugasyny, ýyldyzyň ýapgytlyk aýlawynyň μ_δ dugasyny we ýyldyzyň hususy hereketiniň μ dugasyny göni çyzyklar diýip hasaplasak, ýokarky formulany alarys.

§84. Fotografik astrometriýa

Bütün Älemiň, ilki bilen hem Galaktikanyň gurluşyny we ösüşini öwrenmek üçin, onuň düzümine girýän obýektleriň mümkin bolan köp sanynyň ýerleşen ýagdaýlaryny (koordinatalaryny we uzaklyklaryny) we hereketlerini bilmek zerurdyr.

Astrometriýanyň wizual usullary has ýagty asman jisimleriniň koordinatalaryny, hususy hereketlerini we ýakyn asman jisimleriniň uzaklyklaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär (§59 seret). Gowşak we uzakda ýerleşen obýektler üçin bu maglumatlary almak XIX asyryň ortalaryna çenli mümkin bolmandyr. Fotografiýanyň astronomiýada peýdalanylmagy onuň hemme bölümlerinde diýen ýaly, şeýle-de astrometriýada hem fotografik usullaryň ösmegine getirendir.

Gözegçilikleriň fotografik usullarynyň astrometriýa üçin aşakdaky gymmatlyklary bardyr:

1. Wizual gözegçiliklerde alyp bolmaýan, has gowşak obýektleri öwrenmäge mümkinçilik berýär;

2. Bir astronegatiwde bir wagtda köp sanly ýyldyzlaryň (birnäçe müň sany) we beýleki asman obýektleriniň, şol sanda aýratyn gyzyklanma döredýän galaktikadan daşary dumanlyklaryň şekillerini almağa mümkinçilik berýär;

3. Fotografik plastinkada, kesgitli wagt pursadynda asmanyň belli çäklerinde asman obýektleriniň özara ýerleşişleri surata düşürilýär we ony geljekde barlaglar üçin ulanmak mümkindir.

Gözegçilikleriň fotografik usullary astrometriýada esasan hem asman jisimleriniň otnositel koordinatalaryny, hususy hereketlerini we otnositel parallakslaryny kesgitlemek üçin ulanylýar.

Otnositel ekwatorial koordinatalary kesgitlemek üçin, asmanyň aýry-aýry bölekleri surata düşürilende alnan astronegatiwler biri-biriniň üstüni ýapýan hatarlar emele getirer ýaly, ýagny şol bir asman obýektiniň koordinatasyny iki plastinka (surat) boýunça kesgitläp bolar ýaly şert ýerine ýetirilmelidir. Ondan başga-da her plastinkada göni ýokary görterilmesi we ýapgytlygy belli bolan, 10-15 sany daýanç ýyldyzyň şekili bolmalydyr. Has takyk abzallaryň kömegi bilen daýanç ýyldyzlaryň we kesgitlenýän obýektleriň özara uzaklyklaryny ölçäp, ilki bilen käbir erkin sistemada (adatça gönüburçly) olaryň koordinatalary tapylýar, soňra bolsa α we δ koordinatalary belli bolan daýanç ýyldyzlaryň kömegi bilen obýektleriň sferik koordinatalary hasaplanýar.

Asman jisimleriniň hususy hereketini kesgitlemek üçin, asmanyň şol bir meýdançasynyň surata düşürilen wagt aralyklary 20-30 ýyldan golaý bolmadyk, azyndan iki astronegatiwiniň bolmagy zerurdyr. Ikinji plastinka alnanda, mümkin boldugyça birinji plastinka alnandaky şertleri saklamalydyr. Ýörite ölçeýji gurallar şol bir obýektiň iki plastinkada şekilinin gönüburçly koordinatalarynyň tapawudyny ölçemäge mümkinçilik berýär. Soňra daýanç ýyldyzlaryň hususy hereketleriniň kabul edilen sistemasynda öwrenilýän obýektiň hususy hereketi hasaplanylýar.

Otnositel parallakslary kesgitlemek üçin, asmanyň şol bir meýdançasynyň, ýarym ýyl wagt tapawutlary bolan üç astronegatiwi gerekdir. Kesgitlenýän otnositel parallaks hakyky, absolýut parallaksdan kiçi bolýar, sebäbi ol ýakyndaky we uzakdaky ýyldyzyň parallakslarynyň tapawudydyr. Muňa garamazdan, parallakslary kesgitlemek diňe fotografik usul bilen ýerine ýetirilýär. Geçirilýän işler ýyldyzlaryň absolýut koordinatalarynyň üýtgemesini kesgitländen, olaryň özara ýerleşişleriniň üýtgemelerini ýeňil we has takyk ölçäp bolýandygyny görkezýär. Astrometrik maksatlar üçin fotosuratlar astrograf diýilýän teleskoplaryň kömegi bilen alynýar.



§85. Astronomiýa kataloglary we ýyldyz kartalary

Gözegçilerden gös-göni alnan we refraksiýanyň täsiri düzedilen (§26 seret), ýagtyltgyjyň ekwatorial koordinatalaryna görünýän koordinatalary diýilýär. Eger görünýän koordinatalardan ýagtylygyň aberrasiýasynyň täsirini aýyrsak (§62 seret), onda hakyky koordinatalary alarys. Hakyky koordinatalardan nutasiýanyň täsirini (§65 seret) aýyrsak, onda gözegçilik edilýän pursat üçin ýagtyltgyjyň orta ekwatorial koordinatalaryny alarys. Eger presessiýanyň täsirini hasaba alsak, onda ýagtyltgyjyň orta ekwatorial koordinatasyny islendik wagt pursady üçin hasaplap bolýar.

Ýyldyzlaryň orta ekwatorial koordinatalary haýsy hem bolsa bir ýylyň başlangyjyna degişli edilýär, olaryň sanawy düzülýär we oňa ýyldyzlaryň ýerleşişiniň katalogy ýa-da ýyldyz katalogy diýilýär.

Ýyldyzlaryň orta koordinatalary degişli edilen ýylyň başyna katalogyň gije-gündiz deňleşmesi diýilýär. Ýyldyz kataloglary absolýut (absolýut gözegçiliklerden alnan) we otnositel (differensial usul boýunça alnan) görnüşlere bölünýärler. Absolýut we otnositel kataloglarda ekwatorial koordinatalardan başga-da, hökman her ýyldyzyň gözegçilikleriniň orta senesi (gözegçiligiň döwri) görkezilýär.

Dürli döwürlerde alnan absolýut we otnositel kataloglaryň esasynda ýyldyzlaryň ýerleşişleriniň fundamental kataloglary düzülýär. Bu kataloglarda ekwatorial koordinatalardan başga-da, her ýyldyz üçin hususy hereketi μ_{α} , μ_{δ} we ýyldyzyň başga häsiýetnamalary, şeýle hem precession ululyklary berilýär. Fundamental kataloglar astronomiýada fundamental hasaplaýyş sistemasydyr.

Ýyldyzlaryň ýerleşişleriniň takyk kataloglaryndan başga, ýyldyzlaryň takmynan koordinatalaryny özünde saklaýan, «Asmana syn» diýilýän kataloglar düzülýär. Bu kataloglaryň esasy maksady gözegçiliklerde we ýyldyzly asmanyň fotosuratlary öwrenilende katalogda getirilen ýyldyzlary tapmaga we tanamaga ýeňilleşdirmekdir. Bu kataloglar ýyldyz kartalary görnüşde hem çap edilýär.

Taryhy maglumatlara görä, ilkinji ýyldyz kartasyny we katalogyny Gipparh döredipdir. Onuň katalogyny Ptolemeý özüniň «Almagest» kitabynyň üsti bilen bize ýetiripdir. Onda 850 ýyldyzyň asman sferasyndaky ýerleşen ýagdaýlary berlipdir. Ulugbeg köp ýyllaryň dowamynda asman jisimlerine eden gözegçilikleriniň esasynda 1019



ýyldyzyň katalogyny döredipdir. Onuň katalogynda ozal asla hasaba alynmadyk 700 ýyldyzyň koordinatalary berlipdir.

Has giňişleýin fundamental katalog 1937-nji ýylda çap edilen, düzüminde 33342 ýyldyzyň ýerleşişlerini we hususy hereketlerini saklaýan, Bossyň «Umumy katalogdyr» (gysgaça GC). 1532 ýyldyzyň has takyk koordinatalary we hususy hereketleri Astronomiýa jemgyýetiniň dördünji fundamental katalogynda (gysgaça FK-4) getirilýär. Astronomik ýyllyk neşirlerde getirilýän maglumatlaryň hemmesi şu katalogyň esasynda hasaplanylýar.

1859–1887-nji ýyllarda Argelanderiň ýolbaşçylygynda döredilen «Bonner Durchmuster», ýagny Germaniýanyň «Bonndan ýyldyzlara syn» atly ýyldyz kartasy we katalogy (gysgaça BD), ýagtylanyjylygy 10-11 ýyldyz ululygyna ýetýän, demirgazyk polýusdan tä asman sferasynyň günorta ýarymynyň -23° ýapgytlygy arasynda ýerleşýän 324000 ýyldyzyň ýakynlaşan koordinatalaryny saklaýar. Kordowa syny (gysgaça CD ýa-da CoD) we Kap fotosurat syny (CPD) asmanyň günorta ýarymşary üçin BD dowamydyr.

Ýyldyzlaryň kataloglaryndan başga-da, beýleki asman jisimleriniň kataloglary hem bardyr. Mysal üçin, Messýe katalogy (1784-nji ýyl) 108 sany dumanlyklar we ýyldyz üýşmekleri barada maglumatlary özünde saklaýandyr. Häzirki wagtda giňden ulanylýan «Dumanlyklaryň we ýyldyz üýşmekleriniň täze umumy katalogy» Dreýer tarapyndan düzüldi we 1888-nji ýylda çap edilendir (gysgaça NGC). Bu katalog 7840 obýekt barada, onuň iki goşmaçasyny bolsa (IC we ICII) 5386 obýekt barada maglumatlary saklaýandyr. Şeýle hem özünde ýyldyzlaryň parallakslary, şöhle tizlikleri, ýyldyz ululyklary we spektral häsiýetnamalary barada maglumatlary saklaýan kataloglar bardyr.

§86. Burç ölçýän gurallar. Astronomik turba

Astronomik meseleleri çözmegiň esaslaryndan gözegçilikler wagtynda burçlary gorizonta we wertikal tekizliklerde ölçemek, wagt pursatlaryny bellemek zerurlygy gelip çykýar.

Burçlary ölçemek dürli çylşyrymlykly gurluşlary bolan, burç ölçýän gurallaryň kömegi bilen ölçenýär. Häzirki zaman burç ölçýän



astronomik gurallar örän çylşyrymly, presezion enjamlardyr. Bu ýerde burç ölçeýän gurallaryň köp dürli tehniki gurluşlaryny jikme-jik seretme zerurlygy ýokdur. Şonuň üçin, burç ölçeýän gurallaryň iň esasylarynyň gurluşyna we işleýşine gysgaça seredip geçeris.

Burç ölçeýän guralyň esasy bölekleri-takyk bölünen tegeleklerden we wiziriň wezipesini ýerine ýetirýän, astronomik turbadan ybaratdyr.

Astronomik turba tubusdan we onuň uçlarynda ýerleşdirilen iki goşa güberçek ýygnaýjy linzalardan ybaratdyr. Linzalaryň birine, obýekte gönükdirilenine obýektiw diýilýär. Linzalaryň beýlekisine, gözegçiniň gözüne gönükdirilenine bolsa okulýar diýilýär. Obýektiwiň we okulýaryň merkezlerini birleşdirýän gönä turbanyň optiki oky diýilýär.

Obýektiw asman ýagtyltgyçlarynyň şekilini almak üçin hyzmat edýär. Optikadan belli bolşy ýaly, güberçek linzalar uzakda ýerleşen jisimleriň hakyky, kiçeldilen we tersligine öwrülen şekilini berýärler. Şeýle hem asman ýagtyltgyçlarynyň örän uzakda ýerleşýändikleri sebäpli, olaryň şekilleri mydama obýektiwiň fokusyndan geçýän we onuň optiki okuna perpendikulýar bolan, obýektiwiň fokal tekizliginde ýerleşýärler. Astronomlar gysgalyk üçin ýagtyltgyjyň şekili obýektiwiň fokusynda alynýar diýýärler. Bu şekile okulýardan seredilýär we okulýar ulaldygy aýna (lupa) ýaly täsir edýär. Şekil ýiti bolar ýaly okulýaryň fokusy obýektiwiň fokusy bilen gabat gelmelidir.

Turbanyň ulaldyşy n obýektiwiň fokus aralygy F we okulýaryň fokus aralygy f boýunça hasaplanylýar:

$$n = \frac{F}{f}.$$

Astronomik turbada obýektiwleriň fokus aralyklary adatça birnäçe desimetrden iki metre çenli çäklerde, seýrek ýagdaýlarda bu ölçeğerden uly bolýar. Okulýaryň fokus aralygy bolsa 0,5 sm-den 5-6 sm-e çenli bolýar.

Burç ölçeýän gurallaryň uly astronomik turbalary mydama onuň ulaldyşyny 100-den 300-e çenli aralykda alyp bolar ýaly, dürli fokus aralyklary bolan, birnäçe okulýar bilen üpjün edilýär.

Burç ölçeýän gurallaryň astronomik turbalarynda hökman obýektiwiň fokal tekizliginde ýerleşdirilen sapajyklaryň atanagy bol-

malydyr. Obýektiwiň merkezini sapajyklaryň kesişýän atanagynyň merkezi bilen birleşdirýän göni çyzyga wizir çyzygy diýilýär. Eger ýagtyltgyjyň haýsy hem bolsa bir nokadynyň şekili sapajyklaryň atanagynda ýerleşse, onda wizir çyzygynyň ugry, ýagtyltgyjyň şol nokadynydan gözegçä gelýän ýagtylyk şöhlesiniň ugry bilen gabat gelýändir.

Giňişlikde ugry bellemekde ýerine ýetirilýän wajyp wezipesinden başga-da, astronomik turba gözegçiniň gözüne düşýän ýagtylygyň mukdaryny köpeldýär we ýöne göz bilen görüp bolmaýan, gowşak ýyldyzlary görmäge mümkinçilik berýär. Hakykatdan-da, turbanyň obýektiwiniň diametri mydama görejiň diametrinden uludyr we gözegçi turba seredende onuň gözüne her ýagtylanýan nokatdan düşýän ýagtylyk turbasyz seredendäkiden köpdür.

§87. Uniwersal gural

Ýeriň üstüniň islendik nokadynda ýagtyltgyjyň gorizont alkoordinatalaryny ölçemäge mümkinçilik berýän, burç ölçenýän gurallaryň iň esasyalarynyň biri uniwersal guraldyr (*70-nji surat*). Ol uly bolmadyk, özara perpendikulýar bolan iki sany – wertikal we gorizont oklaryň daşynda öwrülip bilýän, astronomik turbadan ybaratdyr. Oklary matematiki gözyetimiň tekizligine we wertikal tekizlige sazlamak dereje boýunça we sazlaýjy wintleriň kömegi bilen ýerine ýetirilýär.

Turbanyň wertikal we gorizont oklarynyň daşynda öwrülen burçy iki tegelek, ýagny wertikal we gorizont limbler boýunça hasaplanýar. Wertikal tegelek gorizont oka oturdylan we wertikal tekizlikde burçlary hasaplamak üçin hyzmat edýär.



70-nji surat. Uniwersal gural



Gorizontaal tegelek bolsa wertikal oka oturdyran we gorizontaal tekizlikde burçlary hasaplamak üçin hyzmat edýär.

Tegelekler (aýlawlar) çyzyklar çyzylyp graduslara, her gradus bolsa 2,3,6 ýa-da 12 bölege, ýagny her iki goňsy çyzyklaryň aralygy degişlilikde 30', 20', 10' ýa-da 5' deň bolan böleklere bölünýär. Adatça 10 graduslyk, kähalatlarda bolsa 5 graduslyk çyzyklar sifrlar bilen bellenýär.

Her limbiň görkezýän burç ululygy, limbiň bütin böleklerini sanamak üçin niýetlenen we nol çyzygy çyzylan, konsentrik tegelegiň ýa-da tegelegiň böleginiň kömegi bilen hasaplanýlar.

Limbiň bitin bölekleriniň üleşlerini hasaplamak üçin, burçlary 30", 20", 10" ýa-da 5" takyklyk bilen ölçemäge mümkinçilik berýän, wernýer ýa-da nonius ulanylýar.

Tegelekleriň çyzyklar bilen bölünen bölekleriniň örän ownuk bolanlygy sebäpli, hemme burç hasaplamalarynda görkezmeleri takyk almak üçin lupa ýa-da mikroskop peýdalanylýar.

Eger limbiň merkezi aýlanma okunyň merkezi bilen gabat gelmese, onda wernýeriň biri boýunça hasaplamalar ýalňyş bolar. Hasaplamalardaky bu ýalňyşlyga eksentrisitetiň ýalňyşy diýilýär. Bu ýalňyşlygy aýyrmak üçin limbiň görkezmeleri tegelegiň diametral garşylykly iki nokadynda alynýar we olaryň orta arifmetik bahasy alynýar. Şol sebäpli hemme burç ölçeyän gurallaryň her limbi iki sany wernýer bilen enjamlaşdyrylýar.

Ideal guralda wertikal we gorizontaal oklar özara perpendikulýar bolmaly, wizir çyzygy gorizontaal oka perpendikulýar, aýlanma oklarynyň merkezleri bolsa bölünen tegelekleriň takyk merkezlerinden geçmelidir. Ýöne ideal gural bolmaýar. Şonuň üçin, amaly astronomiýanyň wajyp meseleleriniň biri gurallaryň mümkin bolan ýalňyşlyklaryny öwrenip, olaryň ölçenilýän ululyga täsirini hasaba almak ýa-da gözegçiliklerden alynýan netijelerden aýyrýan usullary işläp düzmekdir. Mundan beýläk gurallar ýalňyşlyk girizmeýär, ýalňyşsyz işleýär ýa-da ýalňyşlyklar hasaba alnan diýip kabul edýäris.

Uniwersal gurallar uly bolmadyk ölçeglerde ýasalýarlar. Bölünen tegelekleriniň diametrleri 10-dan 30 *sm* aralykda, turbanyň fokus aralygy bolsa 10-dan 50 *sm* aralygynda bolýar.

Eger uniwersal guralyň wertikal tegelegi gorizont al tegelege garanyňda has takyk bölünen bolsa, onda olar ýaly gurala wertikal tegelek diýilýär. Eger gorizont al tegelek wertikaldan takyk bolsa, onda oňa teodolit diýilýär. Teodolit esasan hem geodezik işlerde gorizont al burçlary ölçemekde ulanylýar.

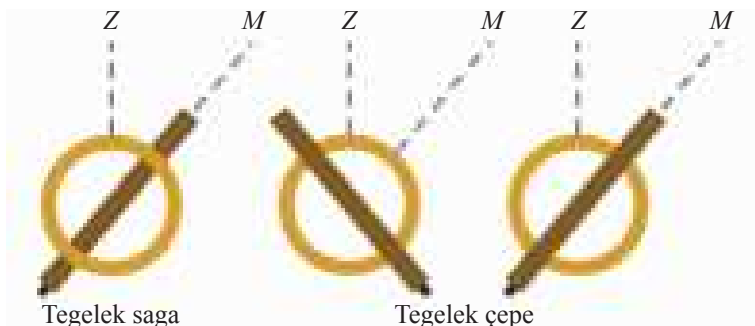
Uniwersal gural göçme meýdan ýagdaýlarynda, esasan hem gözegçilik geçirilýän ýeriň geografik koordinatalaryny (λ we φ) we ýerdäki jisimleriň azimutlaryny kesgitlemek üçin ulanylýar.

Eger uniwersal gural ýalňyşsyz bolsa we derejeleriň kömegi bilen gorizont al oky takyk matematiki gözyetimiň tekizliginde ýerleşdirilen bolsa, onda turbany bu okuň daşynda aýlanymyzda turbanyň wizir çyzygy wertikal tekizlikde öwrüler.

Turba zenite ugrukdyrylanda wertikal tegelekden hasaplanan ululygyny Z_0 bilen belläliň. Bu hasaplama tegelegiň nol ýeri ýa-da zenitiň ýeri diýilýär. Zenitiň ýerini kesgitlemek üçin wertikal tegelek sagyndaka TS (ýa-da çepindekä $TÇ$) turbany gözyetimden käbir beýiklikde ýerleşen, hereketsiz, uzakdaky jisime ugrukdyrmaly. Wertikal tegelegiň görkezmesini belläp, turbany wertikal okuň daşynda 180° -a öwürmeli, soňra gorizont al okuň daşynda öwürüp, ýene-de şol öňki jisime ugrukdyrmaly, wertikal tegelegiň $TÇ$ (ýa-da TS) görkezmesini bellemeli.

Görkezmeleriň tapawudy $TS-TÇ$ (ýa-da $TÇ-TS$, haýsy ugurda tegelegiň belgilenine baglylykda) jisimiň ikeldilen zenit aralygyna (71-nji surat), ýagny $2z$ deňdir. Onda:

$$z = \pm \left(\frac{TS - TÇ}{2} \right), \quad (5.16)$$



71-nji surat. Zenitiň ýerini kesgitlemek



tegelekde zenitiň ýeri

$$Z_0 = \left(\frac{TS - T\zeta}{2} \right). \quad (5.17)$$

Bu iki formuladan alarys:

$$z = \pm(Z_0 - T\zeta) \quad (5.18)$$

ýa-da
$$z = \pm(TS - Z_0). \quad (5.19)$$

Zenit aralyklary üznüksiz üýtgeýän ýagtyltgyçlara gözegçilik edilende, (5.16) formulany ulanyp bolmaýar, sebäbi TS we $T\zeta$ hasaplamalar dürli wagt pursatlarynda alynýar. Ýagtyltgyçlaryň zenit aralyklary (5.18) ýa-da (5.19) formulalar boýunça diňe Z_0 öňünden ýerdäki jisim boýunça kesgitlenen bolsa hasaplanylýar.

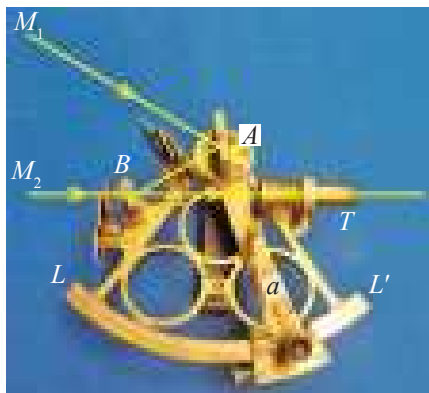
Wertikal tegelegi okunyň daşynda aýlap, Z_0 nula ýakyn bolar ýaly ýagdaýyny tapyp bolýar. Soňra islendik jisimiň zenit aralygyny ölçesek, onda onuň ululygy wertikal tegelegiň görkezýän burç ululygyna deň bolar. Ýöne bu ölçegleri 1"-a çenli takyklyk bilen geçirip bolýan däl. Has ýokary takyklyk bilen geçirilýän ölçeglerde ýokarda beýan edilen, ölçeglerden öň zenit ýeriniň Z_0 takyk kesgitlemek usuly ulanylýar.

Turbany haýsy hem bolsa bir jisime ugrukdyranymyzda gorizonta tegelegiň görkezmesi jisimiň beýiklik aýlawynyň ýerleşen ýagdaýyna deň bolar. Turbany ikinji jisime ugrukdyryp we gorizonta tegelegiň görkezmesini hasaplap, ikinji jisimiň beýiklik aýlawynyň ýerleşiş ýagdaýyny alarys. Şol sebäpli, gorizonta tegelegiň iki görkezmeleriniň tapawudy, bu iki jisimiň azimutlarynyň tapawudyna deň bolar. Islendik jisimiň azimutyny kesgitlemek üçin turba asman meridianynyň tekizliginde ýerleşende gorizonta tegelegiň görkezmelerini bilmek hökmanydyr.

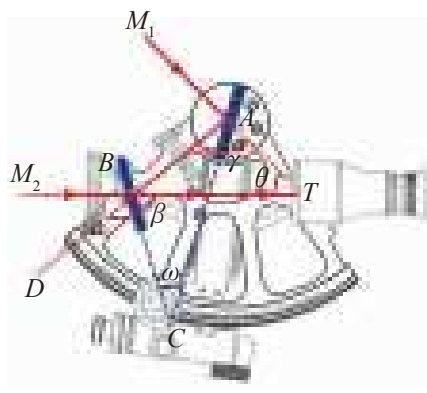
§88. Sekstant

Gözegçilikler deňizde (gämide) ýa-da howada (uçarda) geçirilende göterilýän burç ölçeyän gural-sekstant ulanylýar. Ony berk ornaşdyрма (gaty üstde goýmak) zerurlygy ýokdur, ölçegler geçirilende guraly gözegçi elinde saklaýar. Bu guralyň düýpli tapawudy,





72-nji surat. Sekstantyň çyzgysy



73-nji surat. Sekstantda şöhleleriň ýollary

aralaryndaky burç ölçenýän jisimleri wizirlemek (nyşana almak) aýry-aýrylykda däl-de bir wagtyň özünde amala aşyrylýar, ýagny gözegçilik edilýän nokatlaryň ikisiniň hem şekilleri turbanyň görüş meýdanynyň çäklerinde gabat getirilýär.

Sekstant (72-nji surat) şu böleklerden, ýagny 60° -dan ulurak töweregiň böleginden ybarat bolan LL' limbli metallik ramadan; limbiň merkezinden geçýän we oňa perpendikulýar bolan okuň daşynda aýlanyp bilýän a alidadadan; alidada limbiň tekizligine perpendikulýar berkidilen we onuň bilen hereket edýän A zerkalodan; rama berkidilen T görüş turbadan; T turbanyň optiki okunyň dowamynda rama, limbiň tekizligine perpendikulýar berkidilen, hereketsiz B zerkalodan ybaratdyr. Hereketsiz B zerkalonyň beýikliginiň ýarysyndan aşagy serpidiriji zerkalo, ýokarky ýarysy bolsa durudyr. B zerkalo we T turba, hereketli A zerkalonyň merkezinden gelýän ýagtylyk B zerkalodan serpigip, turbanyň oky boýunça gider ýaly edip ugrukdyrylandyr.

Iki obýektiň aralygyndaky burçy sekstantyň kömegi bilen ölçemegiň esaslary aşakdakylardan ybaratdyr (73-nji surat). M_1 obýektiden gelýän şöhle A we B zerkalolardan serpigip, BT ugur boýunça gözegçiniň gözüne düşýär. Bu ugur M_1 şöhläniň ilkibaşdaky ugry bilen θ burç emele getirýär. M_2 obýektiden gelýän şöhle B zerkalonyň dury böleginden geçip, gözegçiniň gözüne şol BT ugur boýunça düşer.



Diýmek, M_1 we M_2 şöhleleriň aralygyndaky burç hem θ burça deňdir. Bu burç A we B zerkalolaryň aralygyndaky ω burçdan iki esse uludyr, sebäbi

$$\theta = \beta - \gamma = 2\left(\frac{\beta}{2} - \frac{\gamma}{2}\right) = 2\omega.$$

Şeýlelikde, haçan-da iki obýektiň şekilleri turbanyň görüş meýdanynyň çäklerinde gabat gelenlerinde, şol obýektleriň arasyndaky θ burç, sekstantyň limbi boýunça hasaplap bolýan, zerkalolaryň arasyndaky ω burçuň ikeldilen ululygyna deňdir.

Ýöne her sapa bu burçuň ululygyny ikä köpeldip durmaz ýaly, limbiň çyzyklary ω burçuň ikeldilen ululygyny, ýagny obýektleriň arasyndaky ölçenilýän θ burçy görkezەر ýaly sanlar bilen bellendir. Töweregiň 60°-lyk dugasynda biri-birinden 1° tapawutlanýan goňşy çyzyklar 0°, 2°, 4°, 6° we ş. m. sanlar bilen 120°-a çenli belgilenendir.

Gäminiň üstünden ýagtyltgyjyň beýikligi ölçenilende, gözegçi görünýän gözýetimiň çyzygyny, hereketsiz B zerkalonyň dury böleginden geçenden soň, turbanyň görüş meýdanynyň çäginin ortasynda görner ýaly edip sekstanty saklamaly. A zerkalo berkidilen a alidadany ilki bilen görüş meýdanynyň çäklerinde ýagtyltgyjyň şekili düşer ýaly, soňra ýagtyltgyjyň şekili gözýetimiň çyzygy bilen gabat geler ýaly öwürmeli. Şol pursat sagat boýunça wagty bellemeli we limbiň görkezmesini hasaplamaly. Netijede, ýagtyltgyjyň görünýän gözýetimden beýikligi alynýar. Ýagtyltgyjyň hakyky, matematiki gözýetime görä beýikligini almak üçin, gözýetimiň pese düşmesi diýilýäni hasaba almak zerurdyr.

Awiasiýa sekstantynda gözýetimiň ýerine, guralyň içinde ýerleşdirilen, dereje ulanylýar. Gözegçiliklerde ýagtyltgyjyň şekili derejäniň düwmejiginiň (köpürjiginiň) şekili bilen gabat getirilýär.

Sekstant bilen geçirilýän gözegçilikleriň takyklygy uniwersal guralyňkydan pesdir, ýöne amaly maksatlar üçin ýeterlik takyklykda, ýeňil we çalt geografik koordinatalary kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

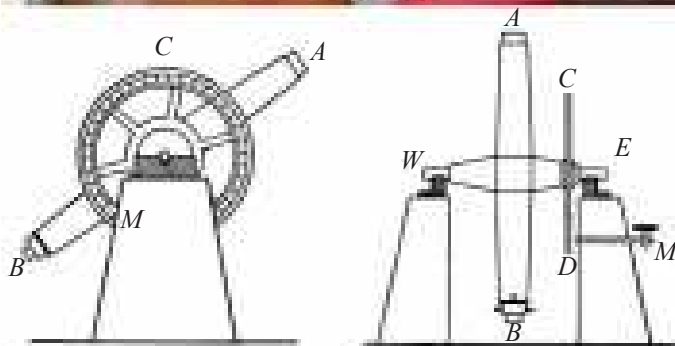
Kosmos gämilerinde ugur kesgitlemek üçin ýörite gurluşy bolan sekstantlar ulanylýar.

§89. Meridian tegelek

Meridian tegelek (74-nji surat), diňe gorizont EW okuň daşyndan aýlanyp bilýän, AB astronomik turbadan ybaratdyr.

Gorizont EW ok kerpiçden ýa-da daşdan örülen sütünlerde, ýörite gönüburçly ýarçyk görnüşli ýasalan orunlarda ýerleşendir. Meridian tegelegiň gorizont oky takyk gündogardan günbatara ugrukdyrylan bolmalydyr. Şonda turba takyk asman meridianynyň tekizliginde ýerleşer we aýlanar.

Gorizont EW oka, AB turba bilen bilelikde aýlanar ýaly, CD tegelek (ýa-da iki sany tegelek) berk oturdylan. Tegelekde ýokary takyklyk bilen her $2'$ -dan ýa-da $4'$ -dan çyzyklar çyzylan. Tegelegiň görkez-



74-nji surat. Meridian tegelek



mesini hasaplamak sütünde berkidilen, hereket etmeýän M görkeziji boýunça alynýar. Tegelegiň görkezmesini hasaplamagyň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin, hereket etmeýän M görkezijiniň ýanynda goýlan ölçeýji enjam-mikrometri bolan mikroskop ulanylýar.

Mikroskop-mikrometr görkezijiniň tegeleginiň iň ýakyn çyzyjagyna çenli aralygy $0'', 1$ -e çenli takyklyk bilen ölçemäge mümkinçilik berýär. Has takyk ölçeglerde mikroskop-mikrometrleriň 2-si ýa-da 4-si ulanylýar we olar tegelegiň diametral garşylykly nokatlarynda ýerleşdirilýär. Meridian tegelegiň turbasy zenite ugrukdyrylanda, görkezijileriň biri tegelegiň nolunjy çyzygynyň garşy gabadynda bolmagy zerurdyr. Onda bu görkeziji boýunça hasaplama, turba islendik ýagtyltgyja ugrukdyrylanda, tegelegiň çyzyklarynyň haýsy ugur boýunça sanlar bilen bellenenligine baglylykda, gös-göni bu ýagtyltgyjyň zenit aralygyny ýa-da 360° -a çenli zenit aralygyna goşmaçany berer.

Eger görkezijiniň garşy gabadynda meridian tegelegiň nolunjy çyzygy duran ýagdaýynda, turba hem asman ekwatorynyň ýokarky nokadyna ugrukdyrylan bolsa, onda turba ýagtyltgyja ugrukdyrylanda görkeziji boýunça hasaplanan ululyk, gös-göni ýagtyltgyjyň ýapytylgyny ýa-da 360° -a çenli goşmaçany berer.

Tegelegiň we görkezijiniň ýerleşişleriniň birinji we ikinji ýagdaýlary tegelegi gorizonta okuň daşynda öwürmek arkaly alynýar. Eger haýsy bir sebäplere görä ýokarky şerti ýerine ýetirip bolmasa, onda ýörite gözegçiliklerden tegelekde zenitiň ýeri Z_0 ýa-da ekwatoryň ýeri Q_0 kesgitlenilýär.

Meridian tegelekleriň ölçegleri dürlüdür. Çyzyjaklar bilen bölekler bölünip, bellik edilen tegelekleriň diametrleri 0,5-den 1 metre çenli, turbanyň uzynlygy 1,5-den 3 metre çenli, turbanyň obýektiwiniň diametri bolsa 10-dan 20 santimetre çenli bolup bilýär. Meridian tegelek esasan hem ýagtyltgyçlaryň ekwatorial koordinatalaryny (α we δ) kesgitlemek üçin ulanylýar.

Meridian tegelegiň turbasynyň diňe asman meridianynyň tekizligi boýunça aýlanyp bilýänligi sebäpli, islendik ýagtyltgyja asman meridianyny kesip geçme-kulminasiýa pursadynyň golaýynda gözegçilik etmek mümkindir. Şonda sapajyklaryň atanagy turbanyň fokal tekizliginde, ýyldyzyň şekili gorizonta sapajyk boýunça hereket eder

ýaly, sazlanyp goýulýandyр. Tegelegiň görkezijisiniň hasaplamasy ýagtyltgyjyň δ ýapgytlygyny ýa-da ýagtyltgyjyň ýapgytlygyny hasaplamağa mümkinçilik berýän, kulminasiýa pursadyndaky z zenit aralygyny berer.

Ýagtyltgyjyň göni ýokary göterilmesini hasaplamak üçin, gözegçi ýagtyltgyjyň atanagyň wertikal sapajygyny kesip geçme kulminasiýa pursadyny sagat boýunça bellemeli. Sebäbi wertikal sapajyk takyk asman meridianynyň tekizliginde ýerleşen bolmalydyр. Bu wagт pursady boýunça soňra ýagtyltgyjyň göni ýokary göterilmesi hasaplanylýar (§82 seret).

§90. Passaž guraly

Stasionar passaž guralynyň gurluşy edil meridian tegeleginiň gurluşyna meňzeşdir, ýöne çyzyklar bilen takyk bölünen tegelegiň ýerine gorizontalka, turbany gözýetimden gerekli bolan beýiklige takmynan ugrukdyrmak üçin niýetlenen, uly bolmadyk tegelek-gözleýji oturdylandыр. Bu gural diňe ýagtyltgyçlaryň asman meridianyndan geçme pursatlaryna gözegçilik etmek üçin peýdalanylýar. Soňra bu maglumatlar boýunça ýagtyltgyçlaryň göni ýokary göterilmeleri hasaplanylýar.

Ýagtyltgyçlaryň asman meridianyndan geçme pursatlaryna gözegçiliklerden alynýan takyk wagty kesgitlemek üçin uly bolmadyk göterilýän passaž guraly ulanylýar (75-nji surat). Ölçeglerinden başga-da onuň gurluşynda stasionar passaž guralyndan käbir tapawutlyklary bardыр. Olaryň iň esasy, ýörite gurluşyň kömegi bilen, şol bir ýagtyltgyja gözegçilik edilýän wagty, çalt we ýeňillik bilen gorizontalka turba bilen bilelikde öwürp bolýanlygydyр, ýagny okuň günbatar daýançda duran ujuny gündogar



75-nji surat. Fotoelektrik passaž guraly



daýanja, gündogar daýançada duran ujuny bolsa günbatar daýanja geçirip bolýanlygydyr. Bular ýaly öwürme guralyň ýalňyşlygyny aýyrmak üçin zerurdyr.

Meridianda goýlan, göterilýän passaž guraly esasan hem ýyldyzlar boýunça takyk wagty kesgitlemek üçin ulanylýar. Gözegçilikler döwründe ýyldyzyň takyk meridianda ýerleşen, turbanyň merkezi sapagyny kesip geçme pursadyny bellemek bilen çäklenmän, ondan öň we soň ýerleşen sapajyklary kesme pursatlary hem belleniýär. Soňra gapdaldaky sapajyklaryň merkezi sapajykdan belli bolan uzaklyklary boýunça, bellenen wagt pursatlarynyň hemmesi ýyldyzyň merkezi sapajygy kesip geçme pursadyna getirilýär. Alnan wagt pursatlarynyň ululyklarynyň orta arifmetiki bahasy hasaplanýar we şeýlelikde ýyldyzyň kulminasiýa pursadynyň has takyk bahasy kesgitlenýär.

Fotoelektrik passaž guralynda obýektiwiň fokal tekizliginde sapajyklaryň torunyň ýerine parallel dury ýslaryň hatary bolan, dury däl plastina görnüşli wizir gözenegi goýulýar. Wizir gözenegi ýyldyzyň şekili görüş meýdanýnda onuň ýslaryna perpendikulýar ugurda hereket eder ýaly ýerleşdirilýär, ýslaryň arka ýüzünde bolsa fotoköpeldiji ýerleşdirilýär (§105 seret). Ýyldyz hereket edende ondan gelýän ýagtylyk ýslardan zygiderlikde geçip, fotoköpeldijä düşýär. Ýagtylygyň täsiri netijesinde fotoköpeldijiniň anod zynjyrynda fototok ýüze çykýar. Onuň ýüze çykma pursatlary ýörite enjamlaryň kömegi bilen hasaba alynýar.

Turbany ýyldyza ugrukdyrmak üçin fotoelektrik passaž guraly goşmaça turba-gözleýji bilen üpjün edilýär.

Fotoelektrik gözegçilikleriň wizual gözegçiliklerden düýpli artykmaçlygy bardyr, sebäbi bu gözegçilikler gözegçiniň girizýän ýalňyşlyklaryndan azatdyr.

§91. Zenit teleskop, prizmalı astrolýabiýa, fotografik zenit turba

Häzirki zaman observatoriýalarynda, geçen paragraflarda ýazgylary getirilen esasy gurallardan başga-da, käbir gözegçiliklerde ýörite gurallar hem ulanylýar. Mysal üçin, zenit-teleskop (76-njy surat) zenidiň golaýynda ýyldyzlaryň uly bolmadyk zenit aralyklaryny

takyk ölçemek üçin ulanylýar. Zenit-teleskopda yzygiderli gözegçilikler esasan hem gözegçilik edilýän ýeriň takyk geografik giňligini kesgitlemek üçin geçirilýär. Bu maglumatlar boýunça Ýeriň polýuslarynyň hereketi öwrenilýär (§74 seret).

Prizmaly astrolýabiýa ýyldyzlara diňe käbir hemişelik h_0 beýikliklerde, adatça 60° -a ýakyn beýikliklerde gözegçilik etmek üçin niýetlenendir. Prizmaly astrolýabiýanyň gurluşynyň çyzgysy 77-nji suratda getirilen. Ýyldyzlardan gelýän ýagtylyk

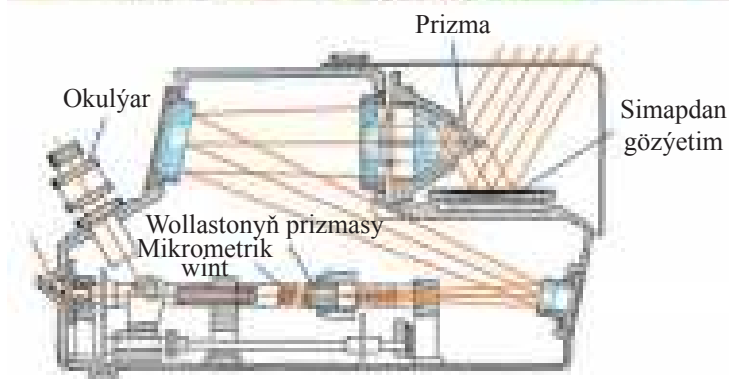


76-njy surat. Zenit-teleskop

lyk deňtaraply üçburçly prizmanyň ýokarky gapdalyna (granyna) we tekiz gapdaky simabyň üstüne («simapdan gözýetim») düşýär. Prizmanyň ýokarky granyndan geçip we onuň aşaky granyndan serpigip, ýyldyzdan gelýän ýagtylyk şöhleleri obýektiwe düşýärler, ondan geçip we iki zerkalodan serpigip, obýektiwiň fokal tekizliginde, ýyldyzyň gözýetimden beýikligi ulalanda, ýokarlygyna hereket edýän ýyldyzyň şekilini berýärler. Tekiz gapdaky simabyň üstünden serpigip şöhleler prizmanyň aşaky granyna düşýär, ondan geçip prizmanyň ýokarky granyndan serpigip şöhleler obýektiwe düşýär. Bu şöhleler obýektiwiň fokal tekizliginde ýyldyzyň beýikligi ulalanda aşaklygyna hereket edýän ýyldyzyň ikinji şekilini berýär. Prizmaly astrolýabiýada geçirilýän gözegçilikler şu iki şekiliň biri-birine gabat gelen wagt pursadyny bellemekden ybaratdyr. Şekilleriň gabat gelmesi bolsa ýyldyz h_0 almukantarata ýetende bolup geçer. Bellenilen wagt pursady we ululygy belli bolan h_0 beýiklik gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligini we takyk ýerli wagty hasaplamaga mümkinçilik berýärler.

Geçirilýän gözegçilikleriň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin astrolýabiýanyň ýörite prizması (Wollastonyň prizması) bardyr. Mikrometrik wintiň kömegi bilen bu prizmany süýşürüp, ýyldyzyň iki şekilini biri-birinden şol bir uzaklykda saklap bolýar. Mikrometriň





77-nji surat. Prizmaly astrolýabiýa

barabanynyň kontaktlaryndan bellenen wagt pursady ýyldyzyň h_0 almukantaraty geçme pursadyny takyk kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Dürli azimutlarda gözegçilikleri geçirmek üçin astrolýabiýa wertikal okuň daşynda aýlanýan bolup biler.

Fotografik zenit turba (FZT) hem gözegçilik edilýän ýeriň geografik giňligini we takyk wagty kesgitlemek üçin ulanylýar. Fotografik zenit turbanyň gurluşy we onda gözegçilikleriň geçirilişi öň sere-dilen gurallaryň gurluşyndan we olarda gözegçilikleriň geçirilişinden düýpgöter tapawutlydyr. Fotografik zenit turba optiki oky takyk wertikal ýerleşen, hereket etmeýän wertikal turbadan we obýektiwiň aşagynda, onuň fokus aralygynyň ýarysyndan uzagrakda ýerleşdirilen simap gözýetiminden ybaratdyr (78-nji surat)



78-nji surat. Fotografik zenit turba



79-njy surat. Fotografik zenit turbanyň işleýşini düşündirýän çyzgy

Zenide ýakyn ýerleşen ýyldyzlardan gelýän şöhleler obýektiwden geçip we simabyň üstünden serpigip, ýokaryk gidýärler we obýektiwden birazrak aşakda ýyldyzlaryň şekillerini döredýärler. Bu ýerde optiki oka perpendikulýar edip, sagat mehanizminiň kömegi bilen asman meridianynyň tekizligine perpendikulýar ugurda endigan süýşýän, fotoplastinka ýerleşdirilýär.

Fotografik zenit turbada gözegçilikler şu yzygiderlikde geçirilýär: saýlanan ýyldyzyň kulminasiýa pursadynyň ön ýanynda fotoplastinkanyň önüni açýarlar we ony sagat mehanizminiň kömegi bilen ýyldyzyň şekiliniň tizligi bilen hereketlendirip, kä wagt bolsa az wagtlyk durzup, ýyldyzyň meridiany kesip geçmezinden ön birnäçe şekilini alýarlar (79-njy a surat, 1, 2, 3 nokatlar). Kulminasiýa pursadynyň golaýynda obýektiwi fotoplastinka bilen bilelikde wert-



kal okuň daşynda 180° -a öwürýärler we ýyldyz meridiandan geçenden soň ýyldyzyň birnäçe şekili alynýar (79-njy *b surat*, 4, 5, 6 nokatlar).

a we *b* nokatlaryň aralygyndaky we ýyldyzyň şekilleriniň aralygyndaky uzaklyklary ölçemeler we şu fotoplastinka awtomatiki usulda ýazylýan, wagt bellikler boýunça ýyldyzyň kulminasiýa wagty we şol pursatdaky zenit aralygy hasaplanylýar.

Ýyldyzyň ýapgytlygyny we göni ýokary göterilmesini bilip, bu maglumatlar boýunça gözegçilik edilýän ýeriň geografik koordinatalaryny we takyk wagty kesgitleýärler.

§92. Astronomik sagatlar we hronometrler

Hemme astronomik gözegçiliklerde dürli takyklyk bilen hadysalara gözegçilik edilýän wagt pursatlaryny bellemek we ýazmak zerurdyr. Bu maksatlar üçin dürli görnüşli çylşyrymlykdaky gurluşlary bolan astronomik sagatlar we hronometrler ulanylýar.

Maýatnikli sagat, maýatnigiň ideal şertlerde öz yrgyldylarynyň maýatnigiň uzynlygyna bagly bolan, periodyny hemişelik saklama häsiýetine esaslanandyr. Astronomik sagatlarda sekuntlyk maýatnikleri, ýagny bir sekuntda bir yrgyldy (sagdan çepe, ýa-da çepden saga) amala aşyrylan bolýarlar. Şular ýaly maýatnigiň uzynlygy 1 metr töweregidir. Sagadyň sagady, minuty we sekundy görkezýän dilleri bardyr. Sagadyň mehanizmi, maýatnigiň her yrgyldysy birnäçe metreden gowy eşidilýän, takyk urgy bilen bolup geçer ýaly gurulandyr. Bu bolsa sagada seretmezden, sekuntlary sanamaga we sagat boýunça, sekundyň ondan bir üleşleriniň takyklygynda, wagt pursatlaryny bellemäge mümkinçilik berýär.

Maýatnigiň yrgyldylarynyň periody daşky şertleriň, esasan hem temperaturanyň we atmosfera basyşynyň üýtgemelerine örän duýgurdyr. Temperaturanyň üýtgemesi maýatnigiň uzynlygynyň üýtgemesine getirýär, diýmek maýatnigiň yrgyldylarynyň periody hem üýtgär. Bu üýtgemeleri azaltmak üçin maýatnigiň sterženini, çyzykly giňelmesiniň temperatura baglylyk koeffisiýenti kiçi bolan materiallardan (inwardan ýa-da superinwardan) ýasalýar we maýatnigiň uzynlygynyň temperatura baglylykda üýtgemesiniň öwezini dolýan gurluşlar bilen üpjün edilýär.





80-nji surat. Şortyň sagady.
Çepde – erkin maýatnik, sagda – ikinji maýatnik

Ondan başga-da sagadyň maýatnigi temperaturasyny saklaýan jaýda ýerleşdirilýär ýa-da temperaturasynyň gije-gündizlik üýtgemesi $0^{\circ},5$ -dan uly bolmadyk, çuňlugy 10-20 *m* bolan ýerzeminde ýerleşdirilýär.

Atmosfera basyşynyň üýtgemeleriniň, ýagny maýatnigiň ýerleşen gurşawynyň dykzlygynyň üýtgemeleriniň täsirini aýyrmak üçin, maýatnigi içinde hemişelik pes basyş (20 *mm* simap sütüni) saklanýan, jebis mis silindrde ýerleşdirýärler.

Şortyň sagady we Fedçenkonyň sagady has kämil maýatnikli sagatlardyr.

İňlis inženeri Şortyň sagady (80-nji surat) iki maýatnikden bir-biri bilen sinhronlaşdyrylan erkin we ikinji maýatniklerden ybaratdyr. Erkin maýatnigiň sagadyň mehanizmi bilen göni baglanyşygy





81-nji surat. Fedçenkonyň maýatnikli sagady



82-nji surat. Hronometr

ýokdur we ol jebis mis silindrde ýerzeminde ýa-da temperaturasyny saklaýan (üýtgetmeýän) jaýda ýerleşdirilýär. Elektrik baglanyşygyň kömegi bilen erkin maýatnik adaty şertlerde ýerleşdirilen, sagat mehanizmi bilen baglanyşykda bolan, ikinji maýatnigiň yrgyldylaryny dolandyryýar.

Konstruktor Fedçenkonyň maýatnikli sagady özara diňe elektrik zynjyry bilen baglanyşykly bolan bir erkin maýatnikden we sagat mehanizminden ybaratdyr (81-nji surat). Erkin maýatnik mis silindrde ýerzeminde ýa-da temperaturasyny saklaýan jaýda ýerleşdirilýär, sagat mehanizmini bolsa adaty şertlerde ýerleşdirip bolýar.

Hronometrler (göterilýän, göçürilýän sagat) esasan hem ekspedisiýalarda we deňizlerde ýüzülende ulanylýar (82-nji surat). Hronometriň gurluşy jübi sagatlarynyň gurluşyna meňzeşdir. Jübi sagatlaryndan hronometrler uly ölçegleri we mehanizminiň uly takyklygy bilen tapawutlanýarlar. Hronometriň siferblatynyň ölçegleri 10 sm töweregidir. Onuň sagat, minut we sekunt dilleri bardyr. Hronometriň mehanizmi onuň sekunt dili her ýarym se-

kuntndan, birnäçe metr uzaklykdan eşidilýän urgy bilen böküp üýtgär ýaly gurnalandyr.

Hronometrleriň takyklygy maýatnikli sagatlaryň takyklygyndan pesdir, ýöne olaryň sagatlardan artykmaçlygy, işleýşini bozman bir ýerden başga ýere göçürip bolýanlygydyr. Onuň üçin hronometr kardanly asmada (özara perpendikulýar okly iki asma) gapyrjakda ýerleşdirilýär we gapyrjagyň islendik gyşarmalarynda hronometriň gorizonta ýagdaýyny saklamagyny üpjün edýär.

Sagatlaryň we hronometrleriň hili ýörelşiniň deňölçeçliligi we hemişeligi bilen häsiýetlendirilýär. Mysal üçin, Fedçenkonyň maýatnikli sagadynyň ýörelşiniň gije-gündiziň dowamynda üýtgemesi $\pm 0^s,0003$ -den, Şortyň sagady üçin bolsa $\pm 0^s,001 \div 0^s,002$ -den uly däl-dir. Gowy hronometriň ýörelşiniň gije-gündiziň dowamynda üýtgetmesi adatça $\pm 0^s,3$ -den uly däl-dir.

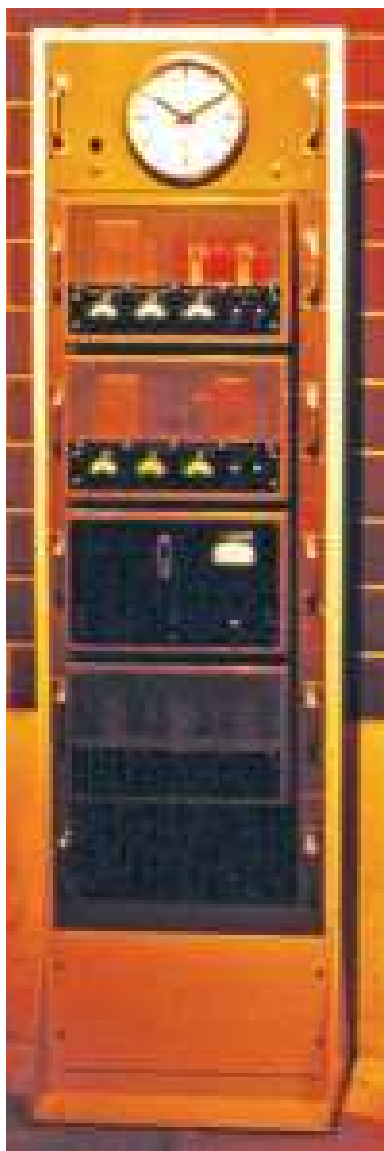
Sagatlar ýa-da hronometrlar siferblatlarynyň dilleri bir ýyldyz gije-gündiziniň dowamynda ýa-da orta gün gije-gündiziniň dowamynda takyk $24^h00^m00^s$ hasaplar ýaly sazlanýlar. Birinji ýagdaýda sagat ýyldyz wagty boýunça ýörär we şonda olara ýyldyz sagatlary, ikinji ýagdaýda bolsa orta Gün wagty boýunça ýörärler we olara orta Gün sagatlary diýilýär.

Gözegçilikler döwründe wagt pursatlaryny has takyk bellemek üçin sagatlar we hronometrlar bellige alýan guralyň elektrik zynjyrynda togy utgaşdyrýan ýa-da ýazdyrýan, ýörite kontaktly enjam bilen üpjün edilýär. Bu enjamlar ol ýa-da beýleki hadysalar gözegçilik edilende sagadyň ýa-da hronometriň görkezýän wagtyny has takyk bellemäge (enjamyň özi ýazýar, surata düşürýär) mümkinçilik berýär.

Radiotehnika we elektronika ösmegi kesgitli şertlerde durnuklylygy maýatnikli sagatlaryň durnuklylygyndan ep-esli ýokary bolan yrgyldyly sistemalaryň döredilmegine getirdi. Şonuň üçin, häzirki döwürde maýatnikli sagatlar diňe wagty uly bolmadyk takyklyk bilen kesgitlemek ýeterlik bolan ýagdaýlarda ulanylýar. Häzirki zaman wagt gulluklarynda wagty saklamak we ýaýratmak üçin kwars sagatlaryny, ýygylýgyň molekulýar we atom standartlaryny peýdalanýarlar.

Bu enjamlaryň ählisinde wagt ölçemek, enjamlaryň sistemalarynda döreýän we takyk hemişelik ýygylýk bilen bolup geçýän





83-nji surat. Kwars sagady

yrgyldylaryň sanyny takyk hasaplamaga esaslanandyr.

Kwars sagady (83-nji surat), yrgyldylary üýtgeýän elektrik meýdanynda ýerleşdirilen kristallik kwars plastinkasynda bolup geçýän pýezoelektrik deformasiýalary tarapyndan berilýän, üýtgeýän elektrik naprýaženiýasynyň generatorydyr. Kwars plastinkasynyň görnüşine we ölçeglerine baglylykda yrgyldylaryň ýygylgy ýüzlerçe kGs ýa-da onlarça MGs bolup biler. Kwars plastinkanyň maýyşgak deformasiýalary adaty sagatlardaky maýatnigiň yrgyldylaryna meňzeşlikde, kwars generatorynyň ýygylgynyň hemişeligini 10^{-10} – 10^{-11} -e ýetýän otnositel durnuklylyk bilen üpjün edýär. Bu bolsa, mysal üçin, 1 MGs ýygylgynyň 10^{-4} – 10^{-5} Gs takyklyk bilen saklanýandygyny görkezýär. Kwars sagadyň kömegi bilen, edil şular ýaly takyklykda haýsy hem bolsa bir wagt aralygyny ölçäp bolar. Şeýlelikde, kwars sagadynyň ýöreýşiniň (işleýşiniň) bir gije-gündiziň dowamynda (ýagny 10^5 sekunda) üýtgemesi 10^{-5} – 10^{-6} se-

kunda deňdir. Bu bolsa maýatnikli sagatlaryň takyklygyndan 10^2 -ä ýokarydyr. Emma dowamly wagt aralygynda kwars sagadynyň ýöreýşi kwars kristallynyň «garramasy» diýilýän, kwarsyň kristallik gurluşynyň deformasiýasynyň hasabyna endigan üýtgeýändir.

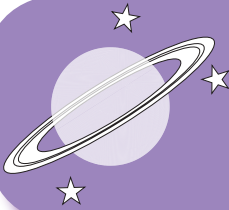
Atom sagatlarda atomyň energetik derejeleriniň arasynda, spektral çyzyklaryň şöhlenenmesi bilen bolup geçýän, diskret geçişlerde ýüze çykýan elektromagnit yrgyldylarynyň ýygylgy peýdalanylýandyr. Emma, atomlaryň ýylylyk herektleriniň netijesinde, adaty spektral çyzyklar has giňdir, ýagny duýarlyk ýygylgy çäklerde şöhlenenmeleri saklaýandyr. Şonuň üçin olary ýygylgyň takyk nusgasy (etalony) hökmünde ulanyp bolmaýar.

Bu maksatlar üçin diňe inçejik spektral çyzyklaryň çeşmeleri, mysal üçin, metastabil derejelerden geçişlerde ýüze çykýan, gadagan edilen spektral çyzyklary şöhlelendirýän kwant generatorlary ýaramlydyr. Atom sagatlarynda, ammiakda we atomar wodorodda işleýän, ýygylgyň otnositel durnuklylygyny 10^{-12} – 10^{-13} çenli almaga mümkinçilik berýän, mazerler ulanylýandyr. Gözegçiliklerde wagt pursatlaryny bellemek üçin mazerleriň, iň bärkisi kwars generatorlarynyň ýygylklaryndan hem pes ýygylkly yrgyldylary almak zerurdyr. Onuň üçin kwars we atom sagatlaryny ýygylgy elektron bölüjileri bilen üpjün edýärler.

Bu bölüjileriň çykyşynda 1 Gs ýygylkly, ýagny sekunt impulsary alynýar we olar sagadyň sekunt dilini herekete getirmek, ýagny süýşürmek üçin ulanylýar. Atom sagatlary şeýle hem kwars sagatlary bilen, onuň yrgyldylarynyň ýygylgyna yzygiderli düzediş girizip, bilelikde işläp bilýärler.

Molekulýar generatory ulanmagyň başga bir usulynda ony oýandyrmak üçin kwars generatorynyň degişli esse köpeldilen ýygylgy ulanylýar. Şonda kwant generatory kwarsyň yrgyldylarynyň ýygylgyny barlaýan, görkeziji bolup hyzmat edýär. Häzirki döwürde giňden ýaýran ýygylgy etalony – Seziý standarty, 10^{-12} töweregi takyklyk bilen esasy wagt ölçeg birligini, atom sekundynyň nusgasy almaga mümkinçilik berýär.





VI bap ASTROFIZIKANYŇ ESASLARY

§93. Astrofizikanyň meseleleri we esasy bölümleri

Astrofizikanyň maksady – aýry-aýry kosmos jisimleriniň, şeýle hem bütin Älemiň fiziki tebigatyny we ewolýusiýasyny (özüşini) öwrenmekdir. Şeýlelik bilen, astrofizika astronomiýanyň has umumy meselelerini bütewilikde çözüär. Soňky onýyllyklarda astrofizika astronomiýanyň esasy, öňdebaryjy bölümi boldy. Ýöne beýle diýildigi astronomiýanyň «klassiki» bölümleriniň, ýagny asman mehanikasynyň, astrometriýanyň we beýlekileriň wajyplygynyň pese düşenligini aňlatmaýar. Tersine, häzirkî döwürde astronomiýanyň adaty bölümlerinde ýerine ýetirilýän işleriň sany we wajyplygy artýar, ýöne astrofizikada bu ösüşler uly depgine eýedir. Umuman, astronomiýa bütewi ylym hökmünde sazlaşykly ösýär we onuň dürli bölümlerinde geçirilýän barlaglaryň ugurlary özara bähbitleri, şol sanda astrofizikanyň bähbitlerini göz önünde tutýar. Mysal üçin, kosmos barlaglarynyň ösmegi asman mehanikasynyň täze bölüminiň – astrodinamikanyň döremegine ýardam edendir. Älemiň kosmologik modelleriniň gurulmagy astrometriýanyň «klassiki» meselelerine aýratyn talaplary bildirýär.

Belli bolşy ýaly, astronomiýa özüniň köpasyrlyk taryhynda, onuň häsiýetnamalaryny doly üýtgeden, birnäçe rewolýusion ösüşlere eýe bolandyr. Astrofizikanyň döremegi we çalt depginler bilen ösmegi olaryň netijesidir. Muňa esasan XVII asyryň başyndan teleskopyň ulanylyp başlanmagy, XIX asyrdaky spektral derňewiň açylmagy we fotografiýanyň oýlanyp tapylmagy, XX asyrdaky radioastronomiýanyň we barlaglaryň atmosferadan daşary usullarynyň döremegi ýardam



edendir. Bularyň hemmesi gözegçilik, ýagny amaly astrofizikanyň mümkinçiliklerini has giňeldendir. Netijede XX asyryň ikinji ýarymyndan astronomiýa hemme tolkunlaýyn bolandyr, ýagny elektromagnit şöhlemenmesiniň spektriniň islendik çäğinden diýen ýaly maglumatlary almaga mümkinçilik dörändir.

Amaly astrofizikanyň usullarynyň ösmegi bilen bir hatarda, fizikanyň ösüşleri, esasan hem atomyň gurluşynyň we şöhlemenmesiniň nazaryýetiniň döredilmegi netijesinde, nazary astrofizika ösüşlere eýe boldy. Onuň maksady – gözegçiliklerden alnan netijeleri düşündirmekden, barlaglaryň önünde täze meseleleri goýmakdan, amaly astrofizikanyň usullaryny esaslandyrmakdan ybaratdyr.

Astrofizikanyň iki esasy bölümleri birnäçe hususy bölümçelere bölünýär. Nazary astrofizika, düzgün boýunça, öwrenilýän obýektlerine görä ýyldyzlaryň, Günün, planetalaryň, dumanlyklaryň, kosmos şöhleleriniň fizikasyna, kosmologiýa we ş.m. bölünýär. Amaly astrofizikanyň bölümçeleri adatça olarda ulanylýan usullar boýunça astrofotometriýa, astrospektroskopiýa, astrofotografiýa, kolorimetriýa we ş.m. bölünýär.

Barlaglarda düýpgöter täze usullary ulanmaga esaslanan we öz düzüminde nazary astrofizikanyň degişli bölümlerini saklaýan astrofizikanyň bölümleri radioastronomiýa, ballon astronomiýasy, atmosferadan daşary astronomiýa (kosmiki barlaglar), rentgen astronomiýasy, gamma astronomiýa we ş.m. atlar bilen bellidir.

Astrofiziki barlaglaryň netijelerine seretmezden ön birnäçe esasy kesgitlemelere we düşünjelere seredip geçeliň.

§94. Astrofizikada öwrenilýän elektromagnit şöhleleri

Belli bolşy ýaly, görünýän ýagtylyk üznüksiz däl-de, aýry-aýry kwantlar görnüşinde şöhlelendirilýän we özüniň energiýasy bilen häsiýetlendirilýän elektromagnit şöhlemenmesiniň hususy görnüşidir. Şöhlemenmäniň ähli görnüşleriniň köplüğine elektromagnit şöhlemenmeleriniň spektri diýilýär. Kwantlaryň energiýalarynyň ölçeg birliги adatça elektron-wolt (eW) kabul edilendir. Bu energiýa potensialarynyň tapawudy $1\text{ Wolt} = 1/300\text{ SGSE}$ bolan, elek-



trik meýdanynda tizlendirilen erkin elektronyň (elektrik zarýady $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl} = -4,8 \cdot 10^{-10} \text{ SGSE}$) alýan energiýasydyr. Onda

$$1 \text{ eW} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,60 \cdot 10^{-12} \text{ erg}.$$

Görünýän ýagtylygyň kwantlarynyň energiýalary 2-3 eW deňdir we astrofizikada öwrenilýän elektromagnit spektriniň uly bolmadyk zolagyny eýeleýändir. Astrofizikada energiýalary million elektron-wolt bolan (MeW) gamma şöhlelerden başlap, elektron-woltyň milliondan bir bölegine (10^{-6} eW) deň energiýaly, metr uzynlykly radio-tolkunlara çenli aralykdaky elektromagnit tolkunlary öwrenilýär. Elektromagnit şöhlenenmesiniň bu gyraky görnüşleriniň aralygynda rentgen, ultramelewşe, wizual (görünýän) we infragyzyň şöhleler yzygider ýerleşendir (2-nji tablisa).

Elektromagnit şöhlenenmesi interferensiýa we difraksiýa ýaly hadysalarda ýüze çykyan, tolkun häsiýetlere eýedir. Şonuň üçin, islendik yrgyldy ýaly, ony tolkun uzynlygy λ we ýygylýk ν bilen häsiýetlendirip bolýar we olaryň köpeltmek hasyly yrgyldylaryň ýaýrama tizligine deňdir:

$$c = \lambda \nu. \quad (6.1)$$

Hemme elektromagnit tolkunlarynyň wakuumda ýaýrama tizligi deňdir we onuň ululygy 299792 km/s ýa-da takmynan

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Kwantyň energiýasy ε elektromagnit yrgyldylarynyň ýygylýgyna ν proporsionaldyr (ýagny λ tolkun uzynlygyna ters proporsionaldyr). Proporsionallyk koeffisiýenti-Plankyň hemişeligidir

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Şeýlelikde

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (6.2)$$

Energiýasy 1 eW bolan kwanta

$$\lambda_1 = 12400 \text{ Å} = 1,24 \text{ mkm}$$

tolkun uzynlygy we

$$\nu_1 = 2,42 \cdot 10^{14} \text{ Gs}$$

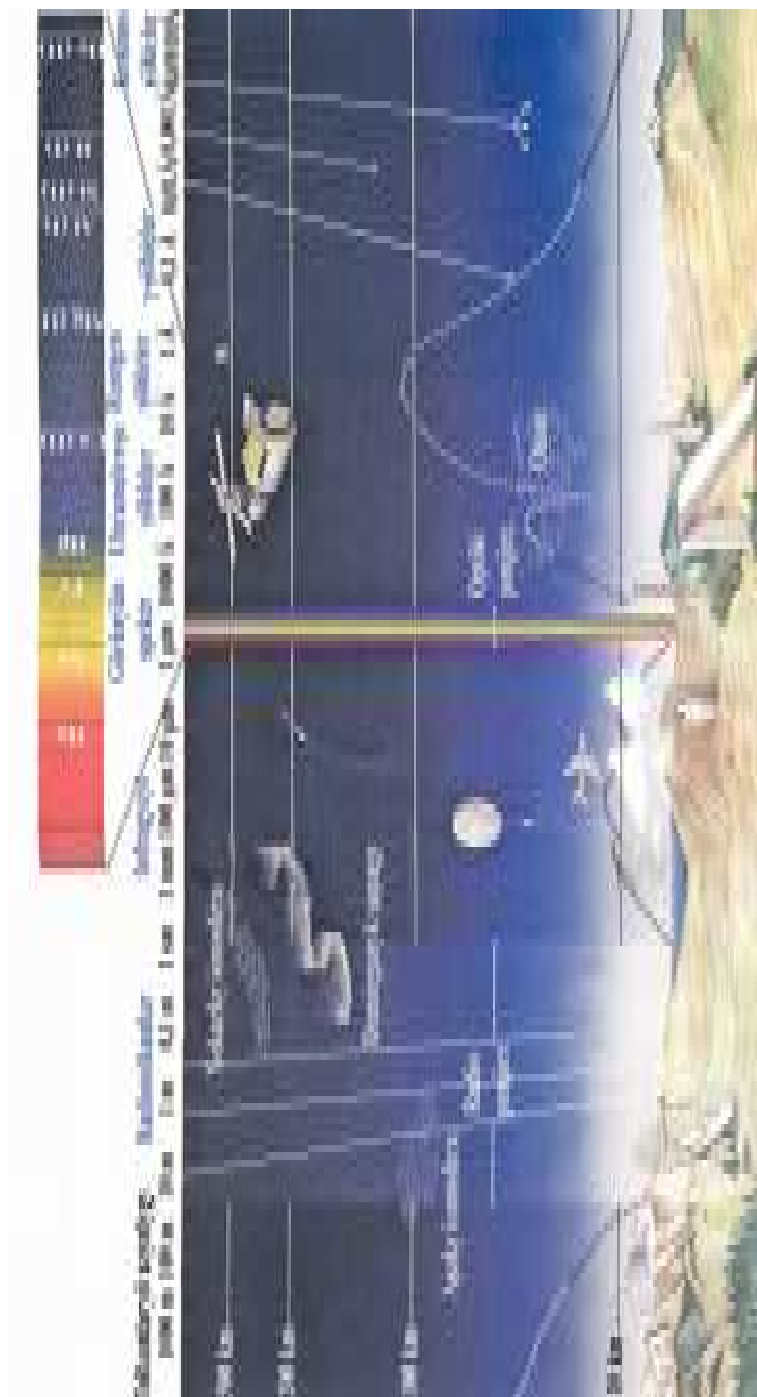
ýygylýk degişlidir.



Astrofizikada öwrenilýän elektromagnit tolkunlary

Tolkunlaryň görnüşi	Tolkun uzynlyklary	Ýeriň atmosferasyndan geçişi	Barlaglaryň usullary	Kabul edijiler
Gamma şöhleleri	$<0,1\text{Å}$	Howanyň N, O, N ₂ , O ₂ , O ₃ we beýleki molekulalary tarapyndan güýçli siňdirilmesi	Esasan atmosfera-dan daşary (kosmos raketalary, emeli hemralar)	Fotonlaryň hasapçylary, ionizasiýa kameralary, fotoemulsiýa lýuminofor.
Rentgen şöhleleri	$0,1\text{Å}-100\text{Å}$	Howanyň N, O, N ₂ , O ₂ , O ₃ we beýleki molekulalary tarapyndan güýçli siňdirilmesi	Esasan atmosfera-dan daşary (kosmos raketalary, emeli hemralar)	Fotonlaryň hasapçylary, ionizasiýa kemeralary, fotoemulsiýa lýuminofor.
Uzak ultramelewşe şöhleler	$100\text{Å} - 3100\text{Å}$	Howanyň molekulalary tarapyndan siňdirilmesi	Atmosfera-dan daşary	Fotoelektron köpeldijiler, fotoemulsiýa.
Ýakyn ultramelewşe şöhleleri	$3100\text{Å}-3900\text{Å}$	Gowşak siňdirilme	Ýeriň üstünden	
Göze görünýän şöhleler	$3900\text{Å}-7600\text{Å}$	Gowşak siňdirilme	Ýeriň üstünden	Göz, fotoemulsiýa fotokatodlar.
Infragyzyň şöhleler	$0,76\text{ mk}-15\text{ mk}$ $15\text{ mk}-1\text{ mm}$	Siňdirmäniň ýygý zolaklary H ₂ O, CO ₂ we başgalar Güýçli molukulýar siňdirme	Ýeriň üstünden bölekleyin Aerostatlardan	Bolometrler, termopara-lar, fotogarşylyklar, ýörite fotokatodlar we fotoemulsiýalar.
Radio-tolkunlar	$1\text{ mm}-\text{den uzyn}$	1 mm , $4,5\text{ mm}$, 8 mm we $1\text{ sm}-\text{den } 20\text{ m}$ çenli geçýär	Ýeriň üstünden	Radioteleskoplar.





84-nji surat. Elektromagnit şöhlelenmesiniň spektriniň Ýer atmosferasyndan geçişi

Göze görünýän şöhlelere takmynan 3900\AA -den (görünýän spektriň melewşe çägi) 7600\AA -e (gyzyl çägi) çenli tolkun uzynlyklary degişlidir. Bularyň aralygynda görünýän spektriň hemme: melewşe ($3900\text{--}4500\text{\AA}$), gök ($4500\text{--}4800\text{\AA}$), mawy ($4800\text{--}5100\text{\AA}$), ýaşyl ($5100\text{--}5700\text{\AA}$), sary ($5700\text{--}5850\text{\AA}$), mämişi (oranžewyý) ($5850\text{--}6200\text{\AA}$) we gyzyl ($6200\text{--}7600\text{\AA}$) reňkleri ýerleşýändirler. Görkezilen çäkler şertlidir we hakykatda reňkler bir-birine endigan geçýändir.

Spektriň göze görünýän zolagyndaky şöhlelenme astronomiýada uly ähmiýete eýedir, sebäbi olary Ýeriň atmosferasy siňdirmän diýen ýaly gowy geçirýändir. Spektriň beýleki ýerlerinde siňdirilme güýçli täsirini ýetirýär, kosmiki şöhlelenme Ýeriň atmosferasynyň diňe käbir derejesine çenli geçýär (*84-nji surat*). Ýeriň atmosferasy ultramelewşe, rentgen we gamma şöhleleri ýerleşen, spektriň gysga tolkunly bölegini has güýçli siňdirýändir. Olaryň hemmesine ýakyn ultramelewşeden ($3100\text{--}3900\text{\AA}$) başga, diňe ýörite enjamlaşdyrylan raketalardan we emeli hemralardan gözegçilik edip bolýar.

Spektriň göze görünýän zolagyndan uzyn tolkunlar tarapynda infragyzyň şöhleler we radiotolkunlar ýerleşendir. Infragyzyň şöhleleriniň uly bölegi, takmynan 1 mikron tolkun uzynlygyndan başlap, howanyň molekulalary tarapyndan, esasan hem suw buglarynyň we kömürturşy gazynyň molekulalary tarapyndan siňdirilýär.

Şöhlelenmä Ýerden gözegçilik diňe käbir dar zolaklarda, molekulýar siňdirmiş zolaklarynyň aralygynda ýerleşen görüň «äpişgelerinde» mümkindir. Spektriň galan böleklerindäki şöhlelenmelere uly bolmadyk beýikliklerden gözegçilik edip bolýar, aerostatlaryň we şar-zondlaryň kömegi bilen, beýik dag gerişlerinde ýerleşen käbir observatoriýalarda öwrenip bolýar.

Ýeriň atmosferasy takmynan 1 *sm*-den 20 *m*-e çenli uzynlykly radiotolkunlar üçin durudyr. 1 *sm*-den gysga tolkunlar (takmynan 1 *mm*, 4,5 *mm* we 8 *mm* uzynlykly tolkunlardan başga) Ýeriň atmosferasynyň aşaky gatlalary tarapyndan doly siňdirilýär, onlarça metrden uzyn tolkunlar bolsa atmosferanyň has ýokarky gatlalary-ionosferadan serpigýär we onda siňdirilýär.



§95. Astrofotometriýa barada düşünje

Jisimiň şöhlelendirilýän ýagtylyk energiýasynyň mukdary onuň wajyp häsiýetnamalarynyň biridir. Bu ululygy ölçemegiň iki esasy, ýagny berlen jisimden ölçýji enjama çenli gelip ýeten ýagtylyk energiýasynyň mukdaryny gös-göni kesgitlemek ýa-da öwrenilýän asman jisiminiň şöhlelenmesini, şöhlelenijilik ukyby ön kesgitli bolan başga bir jisim bilen deňeşdirmek arkaly kesgitlemek usuly bardyr.

Kuwwatlary deň bolan ýagtylyk çeşmeleri hem öz şöhlelenmeleriniň spektral düzümi boýunça biri-birinden düýpli tapawutlanyp bilerler. Mysal üçin, Gün sary-ýaşyl şöhleleri beýleki şöhlelerden köp şöhlelendirýär, käbir ýyldyzlar bolsa esasan hem mawy we gök şöhleleri şöhlelendirýärler. Başga bir tarapdan bolsa, şeýle bir obýektler bar (mysal üçin, radiogalaktikalar), olaryň radiotolkunlary şöhlelendiriji spektriň beýleki çäklerindäkiden birnäçe esse güýçlidir. Bu ýerden görnüşi ýaly, iki jisimiň şöhlelenmesini diňe şol bir spektral çäklerde deňeşdirmegiň manysy bardyr.

Ýagtylyga duýgur enjama (şöhlelenmäni kabul ediji), düzgün boýunça, dürli tolkun uzynlykly şöhleler dürlüçe täsir edýändir. Şonuň üçin, ýagtylyk mukdaryny ölçemeleriň netijeleri kabul ediji enjamyň haýsy şöhlelere has duýgurdygyna, ýagny onuň spektral duýgurlygyna baglydyr. Adatça berlen enjamyň duýýan spektriniň çäklerini tolkun uzynlyklarynda görkezmek bolýar (spektral duýgurlygynyň çäkleri). Bu spektriň giňligine berlen enjamyň goýberýän zolagy diýilýär.

Ýagtylyk energiýasynyň kuwwaty, fotometriýanyň esasy düşüňjeleriniň biri bolan, şöhlelenmäniň akymy (ýagtylyk akymy) bilen häsiýetlendirilýär. Şöhlelenmäniň akymy diýip, berlen meýdançadan (mysal üçin, teleskopyň girişinde, obýektiwinde) wagt biriginde geçýän şöhle energiýasynyň mukdaryna aýdylýar.

Meýdany 1 sm^2 bolan käbir üste düşýän ýagtylyk akymyna bu üstün ýagtylandyrylyşy diýilýär. Eger Φ ýagtylyk akymy S meýdany deňölçegli ýagtylandyrylan bolsa, onda ýagtylandyrylyş

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (6.3)$$

Astrofizikada ýagtylandyrylyş wajyp düşüňjeleriň biridir, sebäbi diňe şu ululygy gözegçiliklerde ölçäp bolýandyr.

Hakykatdan hem, ýagtylyga duýgur enjam, berlen gural üçin meýdany kesgitli we hemişelik bolan, enjamyň girişindäki yşdan (mysal üçin, fotoelementiň ýagtylyk äpişgesi) düşen, ýagtylyk energiýasynyň mukdarynyň täsirini duýýar. Şonuň üçin, enjamyň görkezýän hasaplamalary, öwrenilýän obýektiň, şöhlelenmäniň galan hemme çeşmeleriniň täsiri aýrylan ýagdaýynda, gözegçilik geçirilýän ýerde dördedýän ýagtylandyrylyşyna proporsionaldyr.

Belli bolşy ýaly, ýagtylandyrylyş çeşmeden uzaklygyň kwadraty-na ters proporsionaldyr we şöhläniň düşme burçunyň kosinusyna bolsa göni proporsionaldyr. Emma bu kanun astrofizikada peýdalanylanda, şöhlelenýän jisim bilen gözegçiniň aralygyndaky giňişligi doldurýan gurşawyň optiki häsiýetnamalaryny hasaba almak zerurdyr. Mysal üçin, ýyldyzlaryň ýagtylygy ýyldyzara giňişligi doldurýan gaz-tozan gurşawda we Ýeriň atmosferasynda birazrak siňdirilýändir.

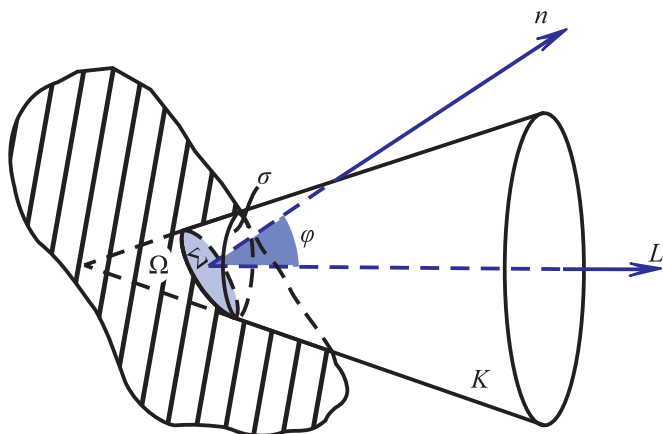
Şöhlelenmäniň çeşmesiniň daşyny gurşaýan, ýapyk üstden wagt birliginde geçýän hemme energiýa onuň ýagtylanyjylygy diýilýär.

Şöhlelenmäniň akymy (şeýle hem ýagtylandyrylyş) şöhlelenmäni бүтін спектре (doly ýa-da integral akym) ýa-da onuň kesgitli böleginde häsiýetlendirip biler. Eger-de şol bölek (zolak) örän darajyk bolsa, onda şöhlelenme, şeýle hem şöhlelenmäniň akymy monohromatik diýilýär. Soňky ýagdaýda şöhlelenmäniň kuwwaty birlik ýygylyga (1 Gs) ýa-da birlik tolkun uzynlygyna (1 sm) degişli edilen bolmalydyr. Şeýlelik bilen, integral ýagtylandyrylyşyň ölçeg birligi $\text{erg}/(\text{sm}^2 \cdot \text{s})$ ýa-da Wt/m^2 , monohromatik üçin bolsa $\text{erg}/(\text{sm}^3 \cdot \text{s})$ we erg/sm^2 ýa-da $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{Gs})$, degişlilikde tolkun uzynlyklarynyň we ýygylygyň şkalalarynda aňladylýar.

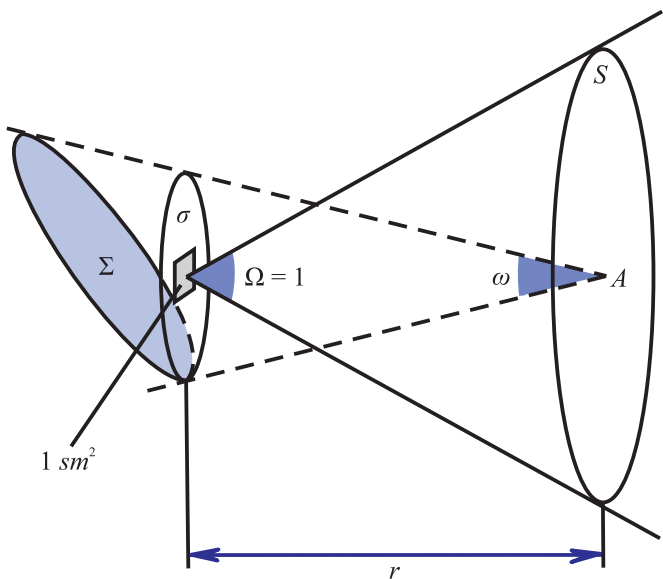
Ýagtylanýan üstüň berlen ugurda şöhlelenmesi ýitilik bilen häsiýetlendirilýär. Ýitilik diýip şöhlelenýän üst bilen galtaşýan we berlen ugra perpendikulýar bolan, şol ugurda birlik jisim (giňişlik) burçy bilen çäklenen birlik meýdandan geçýän şöhlelenmäniň akymyna aýdylýar. Bu kesgitlemäni giňişligiň islendik nokadyndaky şöhlelenme meýdanyna degişli edip bolar. Onda «ýitilik» sözüň ýerine «intensiwlilik» sözi ulanylýar.

Eger ýagtylanýan üstüň Σ elementi (85-nji surat), L oky Σ elementiň n normaly bilen φ burç emele getirýän, jisim burçy Ω bolan





85-nji surat. Şöhlelenýän üstüň ýitiligi



86-njy surat. Şöhlelenýän jisimiň döredýän ýagtylandyrylyşy

K konusyň içinde Φ akymy şöhlelendirýän bolsa, onda edil şolar ýaly akym görüň şöhlesine perpendikulýar bolan $\sigma = \Sigma \cos \varphi$ meýdançadan hem geçer we onuň ýitiligi

$$B = \frac{\Phi}{\Omega \Sigma \cos \varphi}. \quad (6.4)$$

Berlen ýerde käbir ýagtylanýan üst tarapyndan döredilýän ýagtylandyrylyşyň, onuň ölçegleriniň we ýitiliginiň arasynda wajyp gatnaşyk bardyr. Goý biz r uzaklykda ýerleşen, asman sferasy-na σ meýdança proyektirlenýän Σ obýekte gözegçilik edýän bolalýň (86-njy surat) we onuň ýitiligi B deň bolsun. Ýitiligiň kesgitlemesine laýyklykda, σ üstüň 1 sm^2 tarapyndan normalyň ugrunda, jisim burçy $\Omega = 1$ bolan konusyň içinde döredýän ýagtylyk akymy san taýdan B deňdir. Şol konusyň içinde bütin obýektiň döredýän Φ akymyny, B ýitiligi proyeksiýanyň σ meýdanyna köpeldip alarys, ýagny

$$\Phi = B\sigma.$$

Gözegçilik edilýän ýerde bu ähli $B\sigma$ akym $S = \Omega r$ üst boýunça paýlanar we jisim burçy $\Omega = 1$ steradiana deň bolany üçin $S = r^2$ bolar. Şonuň üçin gözegçilik edilýän ýagtylandyrylyş

$$E = \frac{B\sigma}{S} = \frac{B\sigma}{r^2}. \quad (6.5)$$

Ýöne $\sigma/r^2 = \omega$, ýagny asmanda obýektiň görünýän jisim burçuna deňdir. Şonuň üçin

$$E = B\omega. \quad (6.6)$$

Diýmek, gözegçilik edilýän ýerde käbir obýekt tarapyndan döredilýän maksimal ýagtylandyrylyş onuň orta ýitiliginiň obýektiň asmanda görünýän jisim burçuna köpeldilmegine deňdir. Bu netije teleskopyň we onuň fokusynda ýerleşdirilen şöhlemenmäni kabul edijiniň kömegi bilen dowamly (gabaraly) obýektleriň ýitiligini kesgitlemegiň ýönekeý usulyň berýär. Jisim burçy ω , teleskopyň fokal tekizliginde alynýan obýektiň şekiliniň s meýdanynyň onuň F fokus aralygynyň kwadratyna bölünmegine deňdir (ýagny $\omega = s/F^2$), ýagtylandyrylyş E bolsa obýektiwden geçen şöhlemenmäniň akymynyň teleskopyň ysynyň (obýektiwiň) meýdanyna bolan gatnaşygyna deňdir. Ýagtyltygýlaryň köpüsi (mysal üçin, ýyldyzlar) bizden örän uzakdadyr we şol sebäpli güýçli gurallaryň kömegi bilen hem olaryň burç ölçeglerini kesgitläp bolmaýar. Bular ýaly obýektlere nokatlanç diýilýär. Nokatlanç obýektleriň burç ölçegleri haýsy hem bolsa bir ýörite usullar bilen kesgitlenýänçä, Ýerde döredýän ýagtylandyryşy olaryň şöhlemenmeleriniň kuwwatyny häsiýet-

lendirýän ýeke-täk ululykdyr. Burç ölçeglerini göni ýollar bilen ölçäp bolmaýan obýektler, ýagny ýyldyzlar üçin ýitiligi hem kesgitläp bolýan däldir. Diňe olardan gelýän şöhlelenmäniň akymyny ýa-da olaryň döredýän ýagtylandyrylyşyna gözegçilik edip bolýar. Astronomiýada bu ýagtylandyrylyşy ýörite logarifmik şkalada – ýyldyz ululyklarynda ölçemek kabul edilendir (bu ululyk ýyldyzlaryň ölçeglerini häsiýetlendirýän däldir). Bir ýyldyz ululygy (1^m bilen bellenilýär) ýagtylandyryşlaryň 2,512... esse gatnaşygy kabul edilendir. Bu sanyň saýlanyp alynmagy, onuň onluk logarifminiň takyk 0,4-e deň, 5^m ýyldyz ululygy bolsa 100 esse gatnaşyga deň bolýanlygydyr. Gowşak ýagtylandyryşy döredýän ýyldyzlaryň ýyldyz ululyklary uly bolmaly diýip kabul edilendir. Seýlelik bilen, obýektleriň döredýän ýagtylandyryşy $-3^m, -2^m, -1^m, 0^m, 1^m, 2^m, 3^m, \dots$ maýdalawjysy 2,512 bolan, tükeniksiz kemelýän geometrik progressiýa emele getirýär.

Ýyldyz ululyklarynyň bular ýaly şkalasyna, biziň eýýamymyzdan öň II asyrdan Gipparh tarapyndan girizilen, fotometrik sistema ýakyndyr. Gipparh guralсыз, ýöne göz bilen görünýän ýyldyzlaryň hemmesini 6 topara bölüp, iň «ýiti» ýyldyzlary birinji topara, iň gowşaklaryny bolsa soňky topara degişli edipdir.

Seýlelikde, ýyldyz ululygy diýip, berlen obýekt tarapyndan ýagtylyk şöhlelerine perpendikulýar bolan meýdançada döredýän ýagtylandyryşyndan 2,512 esas boýunça alnan logarifmiň minus alamaty bilen alnan ululygyna aýdylýar. E_1 we E_2 ýagtylandyryşy döredýän iki ýyldyz üçin ýyldyz ululygynyň m_1, m_2 tapawudy

$$m_1 - m_2 = -\log_{2,512} \frac{E_1}{E_2} \quad \text{we} \quad \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{-(m_1 - m_2)}, \quad (6.7)$$

onluk logarifmlerde bolsa

$$\log \frac{E_1}{E_2} = -0,4(m_1 - m_2) \quad \text{we} \quad m_1 - m_2 = -2,5 \lg \frac{E_1}{E_2} \quad (6.8)$$

gatnaşyklary kanagatlandyryandygy kesgitlemeden gelip çykýar. Eger ikinji ýyldyzyň döredýän ýagtylandyryşyny birlik diýip kabul etsek, onda onuň ýyldyz ululygy $m_2 = 0$ bolar. Adatça ýyldyz ululyklarynyň nol-nokady, döredýän ýagtylandyryşlary dürli usullar bilen takyk ölçenen ýyldyzlaryň köplüginin netijeleri boýunça şertli kabul edilýär. Ýyldyz ululygy 0^m bolan ýyldyz Ýeriň atmosferasynyň

serhedinde $2,54 \cdot 10^{-6}$ lýuks bolan ýagtylandyrylyşy döredýär we ol 1 kandellanyň (kd) 600 m uzaklykda döredýän ýagtylandyryşyna deňdir. Düzgüne laýyklykda, astronomiýada energiýanyň ölçeg birlikleri bilen aňladylan ululyklar bilen işlenilýär. Bu ölçeg birliklerine geçmek üçin, ýyldyz ululygy 0^m bolan ýyldyzyň bütin göze görünýän spektrde $10^6 \text{ kwant}/(\text{sm}^2 \cdot \text{s})$, ýaşyl reňke degişli çäkde bolsa $10^3 \text{ kwant}/(\text{sm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Å})$ bolan akymy döredýändigini ýatda saklamak peýdalydyr.

Ýyldyz ululygynyň ýagtyltgyçdan gelýän şöhlelenmäniň akymyny häsiýetlendirýänligi üçin, onuň kesgitlemesini nokatlanç bolmadyk, ga-baraly obýektler üçin hem ulanmak mümkindir. Mysal üçin, Günň, doly Aýyň, planetalaryň we beýlekileriň döredýän ýagtylandyryşlaryny ölçäp, olara degişli ýyldyz ululyklaryny tapyp bolýar. 3-nji tablisada birnäçe asman ýagtyltgyçlarynyň ýyldyz ululyklary getirilen.

Ýyldyz ululyklarynyň şkalasynyň kesgitlemesinden görnüşi ýaly, ony doly şöhlelenmä, şeýle-de kesgitli spektral çäklerde-de ulanmak mümkindir.

3-nji tablisa

Käbir asman obýektleriniň fotometrik häsiýetnamalary

Obýekt	Ýyldyz ululygy	Jisim burçy (steradian)
Gün	$-26^m,8$	$6,7 \cdot 10^{-5}$
Aý	$-12,7$	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Merkuriý (iň uly elongasiýada)	$-0,2$	$1,4 \cdot 10^{-9}$
Wenera (iň uly elongasiýada)	$-4,1$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Mars	$-1,9$	$3,8 \cdot 10^{-9}$
Ýupiter	$-2,4$	$3,4 \cdot 10^{-8}$
Saturn	$+0,8$	$5,7 \cdot 10^{-9}$
Uran	$+5,8$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
Neptun	$+7,6$	$9,8 \cdot 10^{-11}$
Garaňky, Aýsyz, dury gije asmanyň 1 kwadrat gradusy (zenitde)	$+3,5$	$3 \cdot 10^{-4}$

Bütin spektrde şöhlendirilýän doly energiýany kesgitlemegiň esasynda alnan ýyldyz ululygyna bolometrik diýilýär. Ondan tapawutlylykda, şöhlelenmäniň akymynyň wizual, fotografik, fotoelektrik usullar bilen ölçemeleriniň netijeleri degişlilikde wizual, fotografik, fotoelektrik ýyldyz ululyklaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.



§96. Molekulýar fizikadan käbir maglumatlar

Ideal gaz. Astronomik obýektleriň köpüsi ideal gaz ýaly seredip bolýan gazdan ybaratdyr we olar üçin gaz halynyň esasy deňlemesi dogrudyr

$$p = \frac{\rho RT}{\mu}. \quad (6.9)$$

Bu formulada p – gazyň içki basyşy, ρ – onuň dykyzlygy, μ – molýar massa, T – onuň absolýut temperaturasy, $R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ – uniwersal gaz hemişeligi.

Belli bolşy ýaly, madda aýry-aýry molekulalardan ybaratdyr we olar tertipsiz ýylylyk hereketdedirler. Eger massasy m bolan molekula v tizlik bilen hereket edýän bolsa, onda onuň kinetik energiýasy

$$\varepsilon = \frac{mv^2}{2}. \quad (6.10)$$

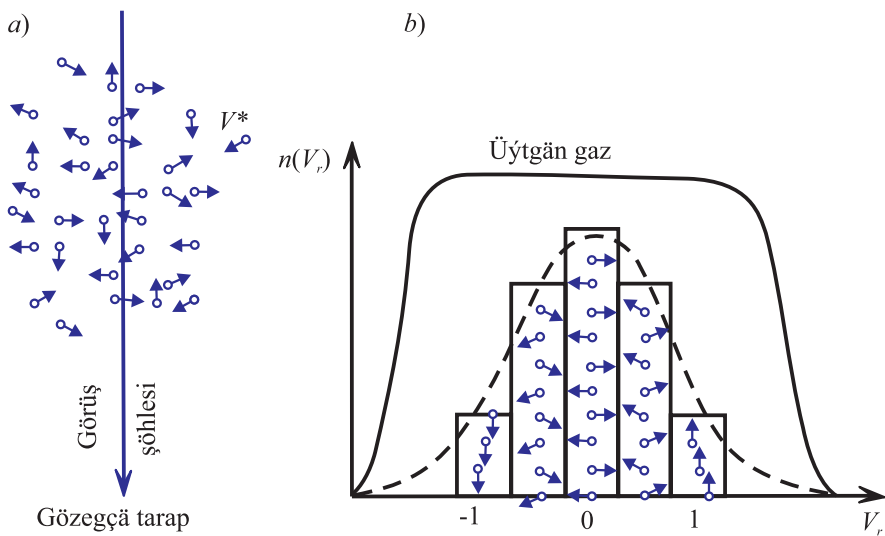
Jisimiň ýylylyk energiýasy onuň ähli molekulalarynyň kinetik energiýalarynyň jeminden ybaratdyr. Ýygy-ýygydan çakyşmalar sebäpli molekulalaryň tizligi, onuň bilen bilelikde ýylylyk hereketleriniň kinetik energiýasy hemişe üýtgäp durýar. Emma her bir kesgitli wagat pursady üçin bir bölejige düşýän ýylylyk energiýasynyň orta ululygy barada aýtmak mümkindir. Jisimiň ýylylyk ýagdaýyny häsiýetlendirýän we bir bölejige düşýän orta kinetik energiýa proporsional bolan ululyga temperatura diýilýär. Eger temperaturany Kelwinlerde, energiýany bolsa Halkara Sistemada (Joul) ölçäsek, onda gazyň bir molekulasynda düşýän orta energiýa

$$\varepsilon_0 = \frac{3}{2} kT. \quad (6.11)$$

Bu ýerde $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – Bolsmanyň hemişeligi. Bu ululyk 1 mol üçin däl-de, bir molekula üçin hasaplanan uniwersal R gaz hemişeligidir, ýagny

$$k = \frac{m}{\mu} R. \quad (6.12)$$

Bolsmanyň hemişeliginiň wajyp fiziki manysy bardyr. Gazyň näçe molekulasyň berlen wagat pursadynda energiýanyň haýsy kesgitli bahasyna eýedigini barada biz hiç zat aýdyp bilmeýäris, sebäbi ol molekulalaryň tötänleýin çakyşmalaryna baglydyr. Emma



87-nji surat. Gazyň bölejikleriniň tizlik boýunça paýlanyşy

biz molekulalaryň energiýalarynyň ol ýa-da beýleki ululyga deň bolan bahalary almagynyň ähtimallygy barada aýdyp bileris. Sebäbi k hemişelik, 1 K üçin hasaplanan, bir molekulanyň iň ähtimal alyp biläýjek energiýasydyr. Diýmek, T temperaturada gazyň molekulalarynyň köpüsi kT ululyga ýakyn energiýa eýe bolmalydyrlar. Eger bu energiýa 1 eW deň bolsa, onda gazyň temperaturasy

$$T_{\text{lew}} = \frac{1,60 \cdot 10^{-12} \text{ erg}}{1,38 \cdot 10^{-16} \text{ erg/grad}} \approx 11600\text{ K}. \quad (6.13)$$

Energiýasy kT ululykdan iki esseden köp tapawutlanýan (köp ýa-da az) molekulalaryň sany käbir göwrümde ýerleşen gazyň molekulalarynyň ýarysyndan azdyr. Energiýasy ε -den $\varepsilon + \Delta\varepsilon$ çenli çäklerde bolan energiýaly bölejikleriň sany, $|kT - \varepsilon|$ tapawudyň absolýut ululygy artdygyça, örän çalt kemelýändir. Bölejikleriň tizlikleri hem edil şular ýaly häsiýete eýedir. Emma bu ýagdaýda bölejikleriň hereketi ugurlary boýunça hem tapawutlanýandygyny hasaba almak zerurdyr. Kinetik energiýanyň kT iň ähtimal ululygynyň bahasyna eýe bolan molekula seredeliň. Bu molekula, absolýut ululygy boýunça iň ähtimal tizlige deň bolan tizlik bilen hereket etmelidir we ol

$$v^* = \sqrt{\frac{2kT}{m}}. \quad (6.14)$$



deňdir. Goý, hemme molekulalar ululygy boýunça v^* deň bolan, orta tizlik bilen hereket edýän bolsunlar. Molekulalaryň tertipsiz, haotik hereket edýänlikleri üçin aýry-aýry molekulalaryň tizliginiň wektory mümkin bolan, islendik ugur boýunça ugrukdyrylan bolup biler (87-nji a surat). Hususan-da, gaza gapdalyndan seredýän gözegçä görälikde, molekulalaryň umumy sanynyň ýarysy, berlen wagt pursadynda oňa tarap ýakynlaşýan, beýleki ýarysy bolsa ondan daşlaşýan bolmalydyr. Molekulalaryň esasy köplügi, görüş şöhlesine perpendikulýar bolan tekizlige ýakyn tekizliklerde hereket edýän bolmalydyr. Bu molekulalaryň görüş şöhlesiniň ugry boýunça tizliginiň düzüjileri ýok diýen ýalydyr we olaryň sany, görüş şöhlesiniň ugry boýunça hereket edýän molekulalaryň sanýndan has köpdür (87-nji b surat).

Indi, molekulalaryň tizlikleriniň diňe ugry boýunça däl-de, ululyklary boýunça-da tapawutlanýandygyny hasaba alsak, onda görüş şöhlesiniň ugry boýunça tizlikleriniň düzüjisi v_r -den $v_r + dv_r$ çenli çäklerde bolan molekulalaryň sany $e^{-\left(\frac{v_r}{v^*}\right)^2}$ eksponenta proporsionaldyr, ýagny

$$n(v_r)dv_r = \frac{n}{v^* \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\left(\frac{v_r}{v^*}\right)^2} dv_r \quad (6.15)$$

deňdir. Bu ýerde $e = 2,718...$ – natural logarifmiň esasy, $n - 1 \text{ sm}^2$ -daky molekulalaryň umumy sany. Bu Makswelliň paýlanyşynyň kanunydyr.

Köp astronomik meseleleriň çözüwiniň ýakynlaşan bahalaryny almak üçin, hemme bölejikleriň energiýasy birmeňzeş, ululygy bolsa $\frac{3}{2}kT$ deň we olar (6.14) gatnaşyk boýunça kesgitlenen, iň ähtimal v^* – tizlige deň bolan, birdeň ortaça tizlik bilen hereket edýärler diýip hasaplamak mümkindir. Bu tizlikler, hemme bölejikler üçin degişli bolan orta energiýa

$$\varepsilon_0 = \frac{3}{2}kT$$

eýe bolan molekulanyň orta kwadratik tizliginiň

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3}{m}kT} = 1,22v^* \quad (6.16)$$

ululygyna ýakyndyr.

Üýtgän gaz. Ideal gazyň bölejikleriniň sany köpelende, olaryň tizlikleri boýunça paýlanyşy 87-nji b suratda, arasy üzülyän egri bilen görkezilen görnüşini saklaýar. Ýöne, bu egri bilen çäklenen, bölejikleriň doly sanyna proporsional bolan meýdanyň ululygy artýar. Haçan-da tizlikleri berlen tizlikleriň çäginde bolan bölejikleriň sany has köp bolan ýagdaýynda, kwant mehanikasynyň kanunlary bilen kesgitlenýän çäklendirme ýüze çykýar we bu ýagdaý «*üýtgame*» diýip atlandyrylýar.

Bu çäklendirme, bölejikleriň impulsalarynyň diňe diskret bahalary alyp bilýändigleri, birdeň impulsly has ýakyn bölejikleriň bolup bilmeýändigleri (Pauli prinsipi, düzgüni) bilen baglanyşyklydyr. Şonuň üçin, dykzlygyň käbir bahalaryndan başlap ($T = 10^7 K$ temperaturada bu dykzlyk 10^3 g/sm^3 deňdir), dykzlygyň ondan beýläk artmasy has çalt bölejikleriň çäginin doldurylmagynyň hasabyna bolup geçýändir. Doly *üýtgame* bolanda paýlanyşygyň görnüşü 87-nji b suratda bütewi egri çyzyk bilen görkezilendir. Şeýlelikde, göwrüm birliginiň jemleýji impulsy (ýagny basyş) temperatura bagly bolman başlaýar we diňe bölejikleriň konsentrasiýasy (ýagny dykzlygy) bilen kesgitlenýär. Netijede, bölejikleriň tizligi hem dykzlygyň artmagy bilen ulalýar. Kwant statistikasynda *üýtgän* gaz üçin (6.9) formulanyň ýerine $P \approx \rho^{5/3}$ deň bolan baglanyşyk alynýar.

Elementar prosesslerer barada düşünje.

Astrofizikada atomlaryň energiýalarynyň üýtgemesi bilen bagly bolan, gazyň ýylylyk energiýasy bilen onuň şöhlelenmesiniň arasyndaky baglanyşygy kesgitlemäge mümkinçilik berýän, elementar prosesslereri derňemek wajyp ähmiýete eýedir. Ilki bilen, gazyň bölejikleri özara nähili ýygylkda çakyşandyklaryny bilmek wajypdyr. Başda ýönekeýleşdirilen ýagdaýa – şarjagaz görnüşli, kese-kesigi σ bolan bir uly molekula hereket edýär, beýleki hemme molekular bolsa hereket etmeýän nokatlar diýip kabul edip bolýan ýagdaýa seredeliň. Şonda, uly molekulanyň ýolunda islendik başga bir molekula her sapar gabat gelende, özara täsirleşme bolup geçýän bolsun. Onda bu molekula diňe bir bölejige düşýän boş göwrümi geçýänçä, çakyşman hereket edip biler. Eger molekulalaryň konsentrasiýasy $n \text{ bölejik/sm}^3$ bolsa, onda olaryň her birisine ortaça, giňişligiň $1/n \text{ sm}^3$ göwrümi ýetýär.



Kese-kesigi σ bolan bölejik v^* tizlik bilen hereket edip, bu göwürümi

$$t = \left(\frac{1}{n}\right) / v^* \sigma = 1 / n v^* \sigma \quad (6.17)$$

wagtda geçer. Bu aňlatma iki yzygider çakyşmalaryň wagt aralygynyň orta ululygyny berýär. Bu ululyga ters bolan ululyk 1 sekundyň dowamynda ortaça näçe çakyşmalaryň boljakdygyny görkezýär we *çakyşmalaryň ýygylgy* diýilýär.

$$N = n v^* \delta. \quad (6.18)$$

Bölejigiň yzygider çakyşmalaryň arasynda geçýän ýoluna *erkin ylgaw ýolunyň uzynlygy* diýilýär we ol

$$\Lambda = v^* \cdot t = \frac{1}{n \delta} \quad (6.19)$$

deňdir. Beýleki bölejikleriň kese-kesikleriniň hem ortaça ululygy σ deňdir, onuň meýdanynyň bolsa radiusyň kwadratyna proporsional bolany üçin, alnan formulalarda σ ululygyň ýerine dört esse köp ululygy goýmak gerekdir. Ondan başga-da, hemme bölejikleriň hereketlerini birdeň diýip hasaba alsak, onda ýene-de $\sqrt{2}$ esse artmany alarys.

Emma biz bu takyklamalary alnan formulalara girizmeris, sebäbi mikrobölejikler (atomlar, ionlar, erkin elektronlar) üçin geometrik ölçegleri göz önüne getirmäniň manysyny ýitirýänligi has wajypdyr. Şonuň üçin, eger σ berlen hadysa bilen tamamlanýan, seredilýän bölejikleriň ýakynlaşmasynyň ähtimallygyny häsiýetlendirýän, käbir ululyk diýip düşünilende we diňe şonda (6.17)–(6.19) formulalaryň manysy bardyr.

Bu hadysalara kinetik energiýanyň täzeden paýlanmasy bilen bolup geçýän maýyşgak çakyşma ýa-da molekulanyň, atomyň içki energiýasynyň kesgitli görnüşde üýtgemesi bilen bolup geçýän çakyşmalary mysal getirmek bolar. Görşümüz ýaly, bu parametr meýdan ölçeg birliklerinde aňladylýar we şonuň üçin effektiv kese-kesik diýilýär. Bu ululyk, berlen prosessde seredilýän bölejigiň özüni alyp barşynyň geometrik ölçegi σ bolan bölejik ýaly, onuň özara täsirleşýän bölejikleriniň bolsa hereket etmeýän nokatlar ýalydygyny görkezýär.

Mysal üçin, adaty şertlerde howada molekulalaryň çakyşmagy üçin effektiv kese-kesik takmynan 10^{-14} sm^2 . Gazdaky erkin elektron-



lar ýokary temperaturalarda neýtral atomlar bilen çakyşyp, olardan elektronlary goparyp bilýärler (ionlaşma). Bu prosesiniň 10000K temperaturada wodorod üçin effektiv kese-kesigi takmynan 10^{-16} sm^2 . Ionlaşan atom bilen duşuşyp, erkin elektron onuň täsirine düşüp, öňki ornuna gaýdyp gelip bilýär (rekombinasiýa). Bu proses üçin temperaturanyň öňki bahalarynda effektiv kese-kesik takmynan 10^{-21} sm^2 deňdir.

(6.17)–(6.19) formulalardan peýdalanmak üçin, ilki bilen (6.14) formula boýunça berlen temperaturada seredilýän bölejigiň alyp biljek iň ähtimal tizligini v^* hasaplamaly. Howanyň molekulalary ortaça 400 m/s tizlik bilen hereket edýärler, wodorod atomlary bolsa 10000 K temperaturada 10 km/s tizlik bilen hereket edýärler. Bölejikleriň orta energiýasy birdeňdir. Şonuň üçin has ýeňil bolan erkin elektronlar wodorodyň atomlaryndan 37 esse çalt hereket edýärler.

Normal şertlerde howada çakyşmalar örän ýygdyr (bir sekuntda on milliard töweregi), erkin ylgaw ýolunyň uzynlygy bolsa mikronyň ýüzden bir bölegine deňdir. Emma käbir kosmiki şertlerde, mysal üçin, ýyldyzlaryň atmosferasynyň daşky gatlaklarynda, erkin ylgaw ýolunyň uzynlygy ep-esli uludyr we santimetrlerä ýetip biler. Dumanlyklarda gaz gaty seýreklandirilendir we olarda bölejikleriň çakyşmasy onlarça we yüzlerçe ýylda bir gezek bolýar. Bu wagtyň dowamynda bölejikler onlarça astronomik birlige deň bolan örän uly aralyklary geçip ýetişýärler.

§97. Ýagtylygyň maddadan geçende gowşamasy

Gurşawyň siňdirmе häsiýetlerini, seredilýän gatlakdan geçme-zinden öňki ýagtylyk akymynyň geçenden soňky ýagtylyk akymyna bolan gatnaşygynyň natural logarifmi bilen kesgitlenýän, τ optiki galyňlyk bilen häsiýetlendirmek kabul edilendir, ýagny

$$\tau = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi}. \quad (6.20)$$

Bu gatnaşygyň onluk logarifmine, ýagny $\lg \frac{\Phi_0}{\Phi}$ bolsa, optiki dykyzlyk diýilýär. Bu kesgitlemeden, optiki galyňlygy τ bolan gat-



lakdan geçenden soň ýagtylyk akymynyň, şeýle hem I intensiwliginiň e^τ esse kiçelýändigini gelip çykýar, ýagny

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\tau} \quad (6.21)$$

we
$$I = I_0 e^{-\tau} \quad (6.22)$$

bu ýerde $e = 2,718...$ – natural logarifmiň esasydyr. Hususy halda, ýagtylygyň gowşamasyny ýyldyz ululyklarynda ölçesek, onda (6.8) we (6.20) aňlatmalary deňeşdirip, ýyldyz ululyklarda aňladylan, ýagtylygyň gowşamasyny alarys:

$$\Delta m = 1,08\tau. \quad (6.23)$$

Birnäçe parallel gatlaklaryň optiki galyňlygy olaryň optiki galyňlyklarynyň jemine deňdir. Hakykatdan hem, mysal üçin, optiki galyňlyklary τ_1 we τ_2 bolan, iki parallel gatlak bar bolsun, özi hem birinji gatlak Φ_0 akymdan Φ_1 akymy geçirýän, ikinji gatlak bolsa Φ_1 -den onuň Φ_2 bölegini geçirýän bolsa, onda kesgitlemä görä

$$\tau_1 = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi_1} \quad \text{we} \quad \tau_2 = \ln \frac{\Phi_1}{\Phi_2}.$$

Iki gatlagyň içinden hem yzygider geçmegi netijesinde, Φ_0 akym Φ_2 ululyga çenli kiçelýär we iki gatlagyň umumy optiki galyňlygy aňlatma boýunça kesgitlenilýär:

$$\tau = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi_1} = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi_1} + \ln \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \tau_1 + \tau_2. \quad (6.24)$$

Birnäçe gatlak üçin hem ýokarky pikir ýöretmäniň dogrudygyny subut etmek ýeňildir. Hususy hal hökmünde, bu ýerden, birmeňzeş gatlaklaryň köplüğine bölüp bolýan, birhilli gurşaw üçin, optiki galyňlygyň geometrik galyňlyga proporsionaldygy gelip çykýar.

(6.22) formuladan görnüşi ýaly, optiki galyňlygy $\tau = 1$ bolan gatlakdan geçende ýagtylyk $e = 2,718$ esse peselýär. τ bahasy 1-den duýarlykly uly bolanda, gatlak dury däl bolýar (optiki galyň). Mysal üçin, $\tau = 3$ bolan gatlak düşýän ýagtylygyň diňe 5% geçirýär.

Optiki galyňlygy $\tau < 1$ bolan gatlagda optiki ýuka diýilýär. (6.22) formulanyň sag bölegini hatara dargadyp, kiçi τ -lar üçin alarys:

$$I = I_0(1 - \tau) \quad (6.25)$$

Bu ýerden, ýuka gatlagyň optiki galyňlygynyň ondan geçýän şöhlemenäniň intensiwliginiň otnositel kemelmesine deňdigi gelip çykýar, ýagny

$$\tau = \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{\Delta I}{I_0}. \quad (6.26)$$

Başga bir tarapdan, siňdirilen energiýa üçin $\frac{\Delta I}{I_0}$ gatnaşyk siňdirýän gatlagyň 1 sm^2 üstüne degişli q massa proporsionaldyr. Eger τ optiki galyňlyga l geometriki galyňlyk degişli bolsa, onda

$$\tau = \Delta I / I_0 = \chi q = \chi \rho \ell. \quad (6.27)$$

bu ýerde χ – maddanyň 1 g mukdary üçin hasaplanan siňdirme koeffisiýenti, ρ – dykzlyk. Siňdirme koeffisiýentini, her kwadrat santimetrine 1 g massasy düşýän maddanyň gatlagynyň optiki galyňlygy ýaly seretmek mümkindir. Hakykatdan-da:

$$\chi = \frac{\tau}{q}. \quad (6.28)$$

$$\text{Köplenç} \quad \tau = \chi \rho \ell \quad (6.29)$$

aňlatmanyň optiki galyňlygyň kesgitlemesi hökmünde seredilýändigini belläliň.

(6.20) formuladan optiki galyňlygyň ölçeg birleksiz ululykdygy görünýär. Diýmek, (6.29) formulada χ siňdirme koeffisiýentiniň ölçeg birligi sm^2/g . Bu netijäniň fiziki manysyny anyklamak üçin massanyň birligi ýerine siňdirýän maddanyň bir bölejiginiň (ýa-da aýry atomyň) massasyny kabul edeliň. Onda q massa san taýdan kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 we uzynlygy l bolan sütünde ýerleşen maddanyň atomlarynyň mukdaryna deňdir. Eger 1 sm^3 göwrümdäki bölejikleriň sany n (sm^{-3}) bilen bellesek (konsentrasiýa), onda

$$\begin{aligned} q &= nl \\ \text{we} \quad \tau &= \chi_a n \ell \end{aligned} \quad (6.30)$$

bu ýerde χ_a – bir atom üçin hasaplanan siňdirme koeffisienti.

Formuladan görnüşi ýaly, bir bölejik üçin hasaplanan siňdirme koeffisiýenti meýdanyň ölçeg birliklerinde aňladylýandyr. Eger-de atomyň siňdirme täsirini gelýän şöhlemenäni geometrik ekranirleme ýaly seretmek bolýan bolsa, onda χ_a koeffisiýent, täsiri bir bölejigiň



şöhlelenmäni siňdirmesine deň bolan ekranjygyň meýdany bolardy. $\tau = 1$ bolar ýaly, maddanyň gatlagynyň l galyňlygyny alalyň. Onda bu gatlagyň her kwadrat santimetr üstüne proyektirlenýän «ekranjyklaryň» hemmesiniň meýdany 1 sm^2 deň bolar. Bular ýaly siňdirme, kese-kesiginiň meýdany 10^{-8} sm^2 bolan bölejikleriň (mysal üçin, tozanjyk) ekranirleýji täsiri diýip hasaplalyň. Onda ýönekeý hasaplamalardan, görüş şöhlesiniň ugry boýunça ýerleşen 1 sm^2 kese-kesikli sütünde 10^8 sany ekranirleýji tozanjyklar ýerleşendir. Eger siňdirýän gatlagyň geometriki galyňlygy belli bolsa, onda 1 sm^3 göwürimdäki bölejikleriň n konsentrasiýasyny tapmak mümkindir.

Bu pikir ýöretme §96 seredilen effektiw kese-kesik düşünjesine meňzeşdir. Bu düşünje siňdirýän atomlaryň mukdaryny tapmak üçin ulanylyp bilner. Emma bu ýagdaýda «ekranjyk» bilen deňeşdirmäniň fiziki manysynyň yokdugyny göz önünde tutmalydyr, sebäbi atomlaryň siňdirme häsiýetnamalary olaryň içki energiýalary bilen kesgitlenýändir. Ýyldyzyň atmosferasynyň şertlerinde, esasy ýagdaýda ýerleşen wodorod atomy üçin χ_a siňdirme koeffisiýentiniň ululygy 10^{-13} sm^2 töweregidir. Özi hem bu siňdirme spektriň darajyk zolaгыnda, ýagny spektral çyzyk diýilýän zolaгыnda bolýar. Üznüksiz spektrde siňdirme 4 dereje kiçidir.

§98. Şöhlelenmäniň häsiýetnamalary we spektral derňewiň esaslary

Şöhlelenmäni derňemek has wajyp astrofiziki usuldyr, onuň kömegi bilen kosmos jisimleri baradaky biziň bilimlerimiziniň esasy bölegi alnandyr.

Ýylylyk şöhlelenmesi.

Islendik, iň bärkisi çalaja gyzdyrylan jisim hem elektromagnet tolkunlaryny şöhlelendirýändir (ýylylyk şöhlelenmesi). Emma 1000 K -den geçmeýän, pes temperaturalarda esasan hem infragyzyly şöhleler we radiotolkunlar şöhlelendirilýär. Ondan ýokary gyzdyrylmagy bilen ýylylyk şöhlelenmesiniň spektri üýtgeýär: birinjiden, şöhlelendirilýän energiýanyň umumy mukdary artýar; ikinjiden, has gysga tolkun uzynlyklary bolan, ýagny görünýän (gyzyldan melewsä çenli), ultramelewşe, rentgen we ş.m. şöhleler ýüze çykyp başlaýar.

Temperaturanyň her bir kesgitli bahasynda gyzdyrylan jisim hemmesinden güýçli, şöhlelenme spektriň käbir çäklerinde, jisimiň reňkini kesgitleýän çäklerde şöhlelenýär. Mysal üçin, 2000 K temperaturada gyzyl şöhleler has güýçli şöhlendirilýär, 6000 K temperaturada bolsa sary, ýaşyl, has ýokary temperaturalarda (10000-20000 K) mawy, gök we melewşe şöhleler şöhlendirilýär. Energiýanyň takyk paýlanylyşy we spektriň anyk görnüşi umumy ýagdaýda diňe temperatura bagly bolman, şöhlelenýän jisimiň himiki düzümine we fiziki ýagdaýyna baglydyr.

Absolýut gara jisimiň şöhlelenmesi.

Ýylylyk şöhlelenme kanunlarynyň has ýönekeý görnüşi alýan, bir hususy ýagdaý esasy wajyp orna eýedir. Eger şöhlelenýän jisimi daşky gurşawdan düýbünden ýylylyk geçirmeýän diwarlar bilen çäklendirsek (izolirlesek), onda şol çäkleriň hemme ýerinde temperatura birmeňzeş bolandan (deňleşenden) soň, ol ýylylyk deňagramlyk ýagdaýyna geler (termodinamiki deňagramlylyk). Bu ýagdaýda onuň şöhlelenmesi diňe temperatura bilen kesgitlenýär we oňa deňagramly şöhlelenme diýilýär. Hakykatda bular ýaly şertler hiç ýerde ýerine ýetýän däldir, sebäbi ideal ýylylyk izolirleýji ýokdur. Ýöne köplenç termodinamiki deňagramlylyga ýakyn şertlere gabat gelinýändir. Mysal üçin, şöhlendirýän jisim, aýdalyň, dury bolmadyk gaz gatlagy-atmosfera bilen gurşalan, ýyldyzyň içki gatlaklary bolanda. Termodinamiki deňagramlylyk şertindäki jisime absolýut gara diýilýär, sebäbi ol öz ýylylyk energiýasyny ýitirip bilmeyär we ol islendik şöhlelenmäni doly siňdirýär.

Absolýut gara jisimiň şöhlelenijilik ukybyny Plankyň formulasy boýunça hasaplap bolýandyr:

$$\varepsilon_\nu d\nu = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu$$

ýa-da

$$\varepsilon_\lambda d\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda \quad (6.31)$$

şöhlelenijilik ukyby ε_λ kesgitlenende, $\varepsilon_\lambda d\lambda$ köpeltmek hasyly, jisimiň 1 sm^2 üstüniň ähli ugurda spektriň λ -dan $\lambda + d\lambda$ -a çäklerinde şöhlendirýän akymyna deň diýip hasaplanylýar. Şonuň üçin onuň ölçeg birligi $J/(m^2 \cdot s \cdot m) = J/(m^3 \cdot s)$. Eger (6.31) aňlatmany π böl-



sek, onda şöhlelenýän üstüň ýitiligini alarys. Absolýut gara jisimiň energiýasynyň spektr boýunça paýlanyşy, Plankyň formulasy bilen häsiýetlendirilýän, temperaturanyň birnäçe bahalary üçin grafiki görnüşde 91-nji suratda şekillendirilen. Çyzgydan görnüşi ýaly, hemme egriler aýdyň görüňýän, santimetrlerde aňladylan tolkun uzynlykly

$$\lambda_{\max} = \frac{0,290 \text{ sm} \cdot \text{grad}}{T} \quad (6.32)$$

maksimuma eýedir. Bu aňlatma Winiň şöhlelenmäniň maksimumynyň süýşme kanuny diýilýär: *temperaturanyň artmagy bilen absolýut gara jisimiň şöhlelenmesiniň maksimumy spektriň gysga tolkunly çägene süýşýär.*

Temperaturanyň artmagy bilen şöhlelenmäniň diňe reňki üýtgemän, onuň kuwwaty hem üýtgeýändir. *Absolýut gara jisimiň şöhlelenmesiniň kuwwaty temperaturanyň dördünji derejesine proporsionaldyr (Stefan-Bolsman kanuny).* Absolýut gara jisimiň her-bir kwadrat santimetr üsti 1sekundyň dowamynda ähli ugurlar boýunça hemme tolkun uzynlyklarda şöhlelendirýän energiýasy

$$\varepsilon = \sigma T^4 \quad (6.33)$$

bu ýerde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ – Stefan-Bolsmanyň hemişeligi. ε ululygyň şöhlelenmäniň akymyny berýänligi üçin, onuň ölçeg birligi $\text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, san taýdan bolsa Plankyň egrisi we absissa oky bilen çäklenen meýdana deňdir.

Maksimumdan iki gapdalda, Plankyň formulasy boýunça häsiýetlendirilýän şöhlelenijilik ukyby, dürliçe kemelýändir. Gysga toklunlarda Plankyň formulasyndaky ikinji köpeldijiniň maýdalawjysy uludyr we şonuň üçin birligi hasaba alman hem bolýar. Onda Winiň formulasyň alarys:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{hc}{\lambda kT}}, \quad (6.34)$$

bu formula spektriň melewşe gyrasynda şöhlelenijilik ukybynyň örän kert pese düşmesini häsiýetlendirýändir. Spektriň garşylykly tarapyň ahyrynda (infragyzyl şöhleler we radiotolkunlar) şöhlelenijilik ukyby tolkun uzynlygyna baglylykda has haýal pese düşýändir, sebäbi λ -nyň uly bahalarynda

$$e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT},$$

we Plankyň formulasy Releý-Jinsiň formulasyna geçýändir

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT. \quad (6.35)$$

Şeýlelikde, spektriň uzyn tolkunly çäginde şöhlelenijilik ukyby temperatura proporsionaldyr. Bu formula radioastronomiýada kosmiki radioşöhlelenmäni häsiýetlendirmek üçin ulanylýar. Şöhlelenmäniň akymynyň temperatura proporsionallygy, gözegçilik edilýän radioşöhlelenmäniň intensiwligini şöhlelenijilik ukyby deň bolan, absolýut gara jisimiň temperaturasynyň üsti bilen aňlatmaga mümkinçilik berýär.

Berlen jisimiň spektriň käbir çäklerinde siňdirýän şöhlelenmesiniň bölegine onuň *siňdirijilik ukyby* (ýa-da *siňdirme koeffisiýenti*) diýilýär we χ_{λ} bilen belenilýär. Kesgitleme boýunça, absolýut gara jisimiň siňdirijilik ukyby $\chi_{\lambda} = 1$. Şonuň üçin absolýut gara jisimiň şöhlelenijilik ukybynyň siňdirijilik ukybyna bolan gatnaşygy Plankyň funksiýasyna deňdir. Bu Kirhgofyň belli kanunydyr. *Kesgitli tolkun uzynlygynda şöhlelenme üçin absolýut gara jisimiň şöhlelenijilik ukybynyň siňdirijilik ukybyna bolan gatnaşygy diňe temperatura baglydyr.*

Şöhlelenmäniň we siňdirmäniň elementar prosessleri.

Seýreklandirilen gazlar (mysal üçin, Maýa Ýolunda gabat gelýän diffuz dumanlyklar) *çyzykly spektri* berýär. Olarda şöhlelenme, kesgitli tolkun uzynlygy bilen häsiýetlendirilýän, darajyk çäklerde ýiti spektral çyzyklarda jemlenendir. Spektriň dürli çäklerinde spektral çyzyklaryň ýerleşşi we mukdary şöhlelenirýän gazyň himiki düzümine, şeýle hem onuň temperaturasyna we dykzlygyna baglydyr.

Her bir spektral çyzygy, kesgitli içki energiýasy bolan, haýsy hem bolsa bir himiki elementiň atomy tarapyndan şöhlelenirilýändir. Bular ýaly atoma *oýandyrylan* diýilýär. Atomlar özleriniň oýandyrylma energiýalaryny, siňdirýän şöhlelenmelerinden, şeýle hem yzygiderli çakyşmalar netijesinde, çakyşýan bölejikleriniň kinetik energiýalaryndan alýarlar. Her bir himiki elementiň atomy diňe oňa mahsus bolan häsiýetli, içki energiýanyň kesgitli takyk bahalarynyň (diskret) tükeniksiz köplüğine eýedir. Içki potensial energiýanyň bu diskret bahalaryna *energetiki derejeler* diýilýär. Adatça, atom



oýandyrylan ýagdaýda bary-ýogy mikrosekundyň ýüzden bir ülüşleriniň dowamynda bolýar, ondan soňra ol öz-özünden (spontan) pes energetiki derejä geçýär we şonda elektromagnit şöhlelenmesiniň kwanty görnüşinde, potensial energiýasyny bütewiligine ýa-da onuň bölegini şöhlelendirýär. Kwantyň energiýasy başlangyç we soňky ýagdaýlarynyň energiýalarynyň tapawudyna deňdir. Energetik derejeleriň diskret bahalarynyň barlygy sebäpli, kesgitli energetik derejeleriň aralaryndaky geçişlerde, şol bir spektral çyzyklarda kwantlar şöhlelendirilýär.

Şeýlelik bilen, spektral çyzyklaryň ýüze çykması atomyň içki energiýasynyň, energiýany şöhlelendirme ýa-da siňdirmе sebäpli üznüksiz üýtgemesi bilen baglydyr.

Atomyň içki energiýasynyň üýtgemesi onuň bir ýa-da birnäçe elektronynyň barlygy bilen baglydyr. Şonuň üçin köplenç şöhlelenmede ýa-da siňdirmede atomyň elektrony bir energetik derejeden beýleki energetik derejä geçýär diýilýär. Ýöne beýle diýmegiň doly takyk dældigine garamazdan (atom we onuň bilen baglanyşykly elektronlaryň bütewi sistemasynyň energiýasy barada aýtmak mümkin), içki energiýanyň käbir kritiki ululygynda elektron atomdan goparylýar we erkin bölejik ýaly hereket edýänligi bilen bu pikir öz-özünü ödeýär. Bu prosese ionlaşma, energiýanyň kritiki bahasyna bolsa ionlaşma energiýasy diýilýär. Edil oýandyrylmadaky ýaly, ionlaşma hem haýsy hem bolsa bir çalt bölejik bilen çakyşmanyň ýa-da ýeterlik kuwwatly ýagtylyk kwantynyň (mysal üçin, ultramelewşe şöhleleri) siňdirilmegi netijesinde ýüze çykyp biler. Eger-de ionlaşdyrýan bölejigiň ýa-da kwantyň energiýasy ionlaşma energiýasyndan köp bolsa, onda goparylan elektron energiýanyň artykmaç bölegini erkin hereketiniň kinetik energiýasy görnüşde alýar. Bu bolsa, köp ultramelewşe kwantlaryny şöhlelendirýän gyzgyn ýyldyzlaryň öz töweregindäki gazy gyzdyrmagynyň sebäbidir. Neýtral atomyň siňdiren her bir kuwwatly kwanty ony diňe ionlaşdyrmak bilen çäklenmän, goparylan elektrona uly tizlik hem berýär. Beýleki erkin bölejikler bilen çakyşyp, goparylan elektronlar özleriniň kinetik energiýalarynyň belli bir bölegini olara berýär we gazy gyzdyrýar.

Bölekleyin ionlaşan gazda (plazma) fotonlardan başga-da üç görnüşli bölejikler: neýtral atomlar, ionlar we erkin elektronlar

bardyr. Köplenç kwantlaryň şöhlendirilmesi ýa-da siňdirilmesi bilen bolup geçýän, elementar atom prosesleriniň hemme köplügi, bu bölejikleriň şöhlelenmäniň hem gatnaşmagyndaky özara täsirlerine syrygýandyr. Ionlaşmadan başga-da, elektronlaryň neýtral atomlar bilen çakyşmalary olaryň içki energiýalarynyň artmagyna (oýandyrylmagyna) ýa-da şöhlelenmesiz onuň kemelmegine, ýagny dezaktivasiýa (bu ýagdaýda oýandyрма energiýasy çakyşýan bölejikleriň kinetik energiýalaryna geçýär, ýagny ýylylyga öwrülýär) getirip biler. Şöhlelenme hem elektronyň energiýasynyň artmagyny (ýagtylyk bilen oýandyрма-fotooýandyрма ýa-da fotoionlaşma) ýa-da kemelmegini (mysal üçin, mejbury şöhlelenme) ýüze çykaryp biler.

Ion bilen duşanda, elektron atom bilen bagly bolan «ýerine» gaýdyp gelip bilýär. Şonda elektronyň kinetik energiýasynyň we ionlaşma energiýasynyň jemine deň bolan energiýaly kwant bölünýär. Şular ýaly *rekombinasiýanyň* netijesinde *üzniüksiz spektri* bolan, şöhlelenmäniň wajyp bir görnüşi ýüze çykýar. Çyzykly spektrden tapawutlylykda, üzniüksiz spektrlerde intensiwlik uly çäklerde haýallyk bilen üýtgeýär.

Tizlikleri nola ýakyn bolan haýal elektronlar rekombinirläp, energiýalary ionlaşma energiýasyna ýakyn bolan kwantlary döredýärler. Uly tizlikleri bolan galan hemme elektronlar gysga tolkunly şöhlelenme berýärler. Şonuň üçin, erkin elektronlaryň atomyň her bir berlen energetik derejesine rekombinirlände ýüze çykýan üzniüksiz şöhlelenmesiniň spektriň gyzyly gyrasynda ýerleşýän serhedi bardyr. Gysga tolkunly çäklerde bu baglanyşyk gowşaýandyr. Sebäbi, has kuwwatly kwantlar has ýokary tizlikli elektronlar rekombinirlände ýüze çykýandyr, olaryň sany bolsa gazyň berlen temperaturasynda, görşümüz ýaly, eksponensial pese düşýändir.

Gowşak fon görnüşindäki üzniüksiz spektr (kontinuum) ýagtylanýan gazyň umumy massasy uly bolan has dykyz we ýagty dumanlyklaryň spektrlerinde gözegçilik edilýär.

Real jisimleriň şöhlelenmesi.

Plankyň kanuny diňe absolýut gara jisimiň şöhlelenmesini beýan edýändir (häsiýetlendirýändir). Hakyky jisimleriň şöhlelenmesi Plankyň şöhlelenmesinden tapawutlanýandyr, käbir ýagdaýlarda bu tapawut düýplüdir. Bu tapawut Maýa Ýolunyň diffuz dumanlyklarynyň



seýreklenen dury gazlarynyň şöhlelenmesinde has güýçli ýüze çykýar. Olaryň, şöhlelenmäniň ýagty çyzyklaryndan ybarat bolan, çyzykly emission spektrleri bardyr. Şöhlendirýän gaz gatlagynyň dury ýagdaýy üçin, çyzyklaryň intensiwligi görüş şöhlesi boýunça maddanyň mukdaryna proporsionaldygy aýdyňdyr. Intensiwlige I bilen, şöhlelenme koeffisiýenti bolsa ε bilen belläp, alarys

$$I = \varepsilon \rho l. \quad (6.36)$$

Kesgitleýji (6.29) aňlatmany göz önünde tutup, optiki ýuka gatlagyň şöhlelenmesiniň onuň optiki galyňlygyna proporsionaldygyny alarys:

$$I = \frac{\varepsilon}{\chi} \tau. \quad (6.37)$$

Eger gazyň gözegçä has golaý ýerleşen gatlaklary uzakdaky gatlaklarynyň şöhlelenmesini duýarlyk siňdirýän bolsalar, onda bu proporsionallyk bozulýar we şonda *öz-özünden siňdirmе* döreýär diýilýär. ε/χ gatnaşyk şöhlelenýän бүтін газ üçin бирмеңзеş болан ýagdaýynda, өз-өзүnden siňdirmäni hasaba almak bilen, çykýan şöhlelenme

$$I = \frac{\varepsilon}{\chi} (1 - e^{-\tau}) \quad (6.38)$$

deňdir.

(6.37) formulada τ optiki galyňlygyň has kiçi bahalary üçin (6.38) formulanyň hususy ýagdaýydyr. Has uly optiki çuňluklar üçin (6.38) aňlatma ε/χ gatnaşygyň çäk bahasyna ymtylýar. Gaz näçe dury däl boldugyça, şonça-da termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýyna ýakyndygyny, ýagny Kirhgofyň kanunynyň ýerine ýetýändigini we ε/χ gatnaşygyň Plankyň funksiýasyna deň bolýandygyny ýatlasak, onda örän wajyp netije alarys. *Spektriň berlen çäginde газ näçe dury däl boldugyça, degişli tolkun uzynlygynda onuň şöhlelenmesi, temperaturanyň käbir bahasynda Plankyň funksiýasy boýunça kesgitlenýän ululyga şonça-da ýakyndyr.* Bu temperaturanyň maddanyň hakyky temperaturasyna ýakynlygy §100 serediler.

Indi bolsa dumanlygyň maddasynyň dykzyzlygyny üznüksiz ýokarlandyranymyzda onuň spektriniň nähili üýtgemelidigine seredeliň. Gözegçilik edilýän dumanlyklaryň has ýitileriniň şöhlelenme çyzyklary üznüksiz spektriň gowşak fonunda (düşekliginde) görünýär, bu

bolsa rekombinasiýanyň täsiriniň güýçlenendigini görkezýär. Optiki galyňlygyň ondan beýläk artmagy bilen üznüksiz spektriň intensiwligi hem artýar, emma çyzyklaryň ýitiligi öz-özünden siňdirme sebäpli üýtgemeyär diýen ýalydyr. Emission (şöhlelenme) çyzyklar üznüksiz spektriň fonunda gitdigiçe az seljerilip başlaýar. Iň soňunda olar kontinuum bilen garyşýarlar we spektriň бүtewi çäginin görnüşi Plankyň görnüşine meňzeş bolýar. Şol sebäpli, gazlaryň örän galyň gatlagynyň şöhlelenmesi, has köp derejede bolsa suwuk we gaty jisimleriň şöhlelenmesi absolýut gara jisimiň deňagramly şöhlelenmesini ýada salýar.

Dykyz we gabaraly gaz emele gelmesiniň mysaly hökmünde ýyldyzlary görkezmek mümkindir. Ýöne olaryň şöhlelenmesiniň Plankyň şöhlelenmesini ýatladýandygyna garamazdan, olaryň spektrlerinde köp sanly garamtyl çyzyklar (siňdirme spektri) gözegçilik edilýär. Plankyň formulasy boýunça bu çyzyklar bolmaly däl.

Spektral çyzyklarda atomlar şöhlelenmäni üznüksiz spektrdäkidən ep-esli güýçli siňdirýärler. Şonuň üçin siňdirme çyzyklarynda ýyldyzyň iň daşky gatlaklary görünýär. Bu çyzyklaryň olary gurşap alan üznüksiz spektrden garamtyl görünmegi, daşky gatlaklaryň maddasynyň şöhlelenijilik ukybynyň peselýändiginiň netijesidir.

Astrofizikada, sereden spektrlerimiziň üç görnüşiniň – çyzykly, üznüksiz we siňdirme (absorbsion) spektrleriň hemmesi öwrenilýändir. Üznüksiz spektrleri öwrenmek, şöhlelendirýän gazyň temperaturasy, dykzylygy we mukdary barada düşünje almaga mümkinçilik berýär.

Spektral çyzyklary belli himiki elementleriň spektrleri bilen deňeşdirmek, anyklamak, kosmos obýektlerinde bu himiki elementleriň barlygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Aýry-áýry spektral çyzyklaryň has anyk öwrenilmegi temperatura, basyş, şöhlelendirýän ýa-da siňdirýän atomlaryň mukdary, gazdaky içki hereketler, magnit meýdanynyň ululygy we beýleki fiziki häsiýetleri barada maglumat berýär.

Astrofiziki şertlerde gözegçilik edilýän spektral çyzyklar.

Berlen himiki elementiň atomyna degişli bolan spektral çyzyklarynyň ýerleşişleri onuň ýadrosynyň zarýady we daşky, walent elektronlarynyň sany bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin, D.I. Men-



deleýewiň periodiki sistemasynda bir topardaky elementleriň spektrleri, şeýle hem walent elektronlarynyň sany deň bolan ionlaryň spektrleri özara meňzeşdir. Mysal üçin, wodorodyň we ionlaşan geliýniň, natriniň we ionlaşan kalsiniň, neýtral kalsiniň we magniniň spektrleri meňzeşdir.

Astronomik obýektleriň köpüsiniň spektrlerinde, hususan-da ýyldyzlaryň ählisiniň diýen ýaly spektrlerinde wodorodyň intensiw çyzyklary gözegçilik edilýär. Onuň energetik derejeleriniň hasaby, atomyň minimal energiýasyna degişli bolan, esasy ýagdaýyndan ýöredilýär. Spektriň göze görünýän çäklerinde Balmer seriýasynyň çyzyklary ýerleşendir, olar hemme energetik derejelerden ikinji energetik derejä geçişlerde döreýärler: gyzyl çyzyk H_α ($\lambda = 6563\text{Å}$); mawy H_β ($\lambda = 4861\text{Å}$) we iki melewşe H_γ ($\lambda = 4340\text{Å}$), H_δ ($\lambda = 4102\text{Å}$) bilen bellenilýär. Bu seriýanyň beýleki çyzyklary, elektronlar ikinji energetik derejä rekombinirlänlerinde döreýän we $\lambda = 3646\text{Å}$ töwereginde başlanýan, Balmer kontinuumy bilen bilelikde spektriň ultramelewşe böleginde ýerleşendirler. Ähli elementler üçin adatça, atomyň esasy energetik derejesine geçişlerde döreýän, esasy seriýanyň çyzyklary has intensiw bolýandyr. Bu esasan hem elektronyň atomda mydama iň pes potensial energiýaly ýagdaýa ymtylýanlygy bilen baglanyşyklydyr.

Wodorodyň esasy seriýasyna Laýman seriýasy diýilýär (L_α , L_β , L_γ , ...) we ol uzak ultramelewşe çäklerde ýerleşendir (tolkun uzynlyklary 1216Å , 1026Å , 972Å we ş.m.). Esasy seriýanyň birinji çyzygyna rezonans çyzygy diýilýär. 912Å tolkun uzynlygyndan Laýman kontinuumy başlanýar. Ähli ýokarky energetik derejelerden üçünji we dördünji derejelere geçişler, spektriň infragyzyň çäginde ýerleşen, degişlilikde Paşen we Brekket seriýalaryny berýärler.

Halkalaýyn toga meňzeşlikde, proton (wodorod atomynyň ýadrosy) magnit momentine eýedir. Elektronyň hereket mukdarynyň momenti (spin) ýadronyň magnit momentine parallel ýa-da antiparallel ugrukdyrylan bolup biler. Bu iki ýagdaýlar birneme tapawutly energiýalara eýedirler. Wodorod atomynyň esasy ýagdaýy üçin energiýalaryň bu tapawudy $6 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$ deňdir. Hereket mukdarynyň momentiniň wektoryny burç tizliginiň wektoryna meňzeşlikde, elektronyň aýlanma oky hökmünde seretmek mümkindir. Eger-de

bu ok ýadronyň magnit momentiniň ugry bilen ugurdaş bolsa, onda esasy ýagdaýda ýerleşen wodorod atomy oýandyrylan bolýar. Emma bu aýratyn özboluşly oýandyrylan dereje, metastabil diýip atlandyrylýar we atomyň mikrosekundyň ýüzden bir ülüşleriniň dowamynda bolup bilýän adaty oýandyrylan ýagdaýyndan tapawutlylykda, bu oýandyrylan ýagdaýda atom örän uzak, 11 million ýyl töweregi wagtyň dowamynda bolup bilýär. Eger şu wagtyň dowamynda elektronyň spini spontan (öz-özünden) ugruny garşylykly tarapa üýtgetse (elektron tersligine «dünđerilse»), atom pes energetik ýagdaýa geçär we 21 *sm* tolkun uzynlykly radioşöhlenenmä degişli bolan, $6 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$ energiýaly kwanty şöhlelendirer. Bu çyzyk wodorodyň wajyp çyzyklarynyň biridir we onuň bolmagy kosmos giňişliginiň iň sowuk çäklerindäki maddany öwrenmäge mümkinçilik berýär.

Käbir jisimleriň, esasan hem gyzgyn ýyldyzlaryň spektrinde geliýniň çyzyklaryna gözegçilik edilýär. Ionlaşan geliýniň spektri wodorodyň çyzyklaryna örän meňzeşdir we has gyzgyn ýyldyzlaryň spektrinde gözegçilik edilýär. Neýtral geliýniň çyzyklaryna ýygy-ýygydan gabat gelinýär. Geliý Ýeriň üstünde tapylmazyndan öň, onuň spektral çyzyklarynyň, spektriň görünýän çägendäki iň intensiwi (sary çyzygy, $\lambda = 5876\text{\AA}$), Günüň spektrinde ýüze çykarylanyl, bu bolsa himiki elementiň ady bilen baglanyşyklydyr (gelios grek sözi, türkmençe Gün diýmekdir).

D_3 bilen belleniýän geliýniň çyzygynyň ýanynda, D_1 we D_2 bilen belleniýän, tolkun uzynlyklary 5896 \AA we 5890 \AA bolan, ýyldyzlaryň we ýyldyzara gurşawyň spektrlerinde köp gözegçilik edilýän, iki intensiw çyzyklar ýerleşendir. Olar natriniň rezonans çyzyklarydyr. Göze görünýän spektriň melewşe çäginin ýakynynda ýerleşen, ionlaşan kalsiniň rezonans çyzyklary has hem intensiwdir. Olar H ($\lambda = 3968\text{\AA}$) we K ($\lambda = 3934\text{\AA}$) bilen belleniýär. Asman jisimleriniň spektrlerinde, şeýle hem beýleki atomlaryň we käbir ýönekeý molekulýar birleşmeleriň çyzyklaryna gabat gelinýär.

Käbir asman jisimleriniň spektrlerini häsiýetlendirýän aýratynlygy olarda *gadagan çyzyklaryň* bolmagydyr. Bular ýaly gadagan çyzyklaryň biri bolan, ýyldyzara wodorodyň 21 *sm* tolkun uzynlykda şöhlelenmesini öwrenipdik. Beýleki çyzyklar, adaty has ýiti çyzyklar, spektriň görünýän çäklerinde ýerleşendir (mysal üçin, Gün täjini

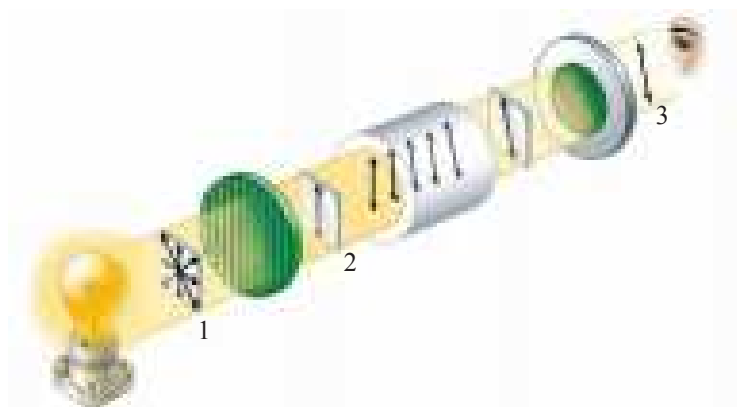


däki emission çyzyklar, dumanlyklaryň spektrindäki nebulýar çyzyklar, Ýeriň atmosferasynyň ýokarky gatlaklarynda oýandyrylan awroral çyzyklar).

Bu spektral çyzyklary Ýerdäki tejribehanalarda gaýtalamak boýunça geçirilen ymykly synanyşyklar, başda näbelli, gipotetik elementler – «koroniý», «nebuliý» we ş.m. bolmaly diýip, göz önüne getirilipdir. Bilşimiz ýaly, bular ýaly göz önüne getirme diňe geliý üçin dogrudyr. Galan ýagdaýlaryň ählisinde, näbelli çyzyklary ön belli bolan, ýöne aýratyn, özboluşly oýandyрма şertlerindäki himiki elementleriň spektrlerine deňdigini görkezmek başardandyr. Mysal üçin, koronal çyzyklar demriň, nikeliň, argonyň, kalsiniň we beýleki elementleriň 10–15 elektronlary «goparylan», köp sapar ionlaşan atomlary tarapyndan şöhlendirilýändir. Nebulýar we awroral çyzyklar bolsa bir sapar we iki sapar ionlaşan, kisloroda degişli bolup çykdy. Gadagan çyzyklaryň ýüze çykması gazlaryň ýokary derejede seýreklenendiginiň subutnamasydyr. Edil 21 *sm* tolkun uzynlygyndaky ýaly, gadagan çyzygy şöhlendirmek üçin, atom oýandyrylan ýagdaýda ýeterlik uzak bolmalydyr. Bu wagt, optiki çäklerde ýerleşen gadagan çyzyklar üçin 21 *sm* çyzyklardaky ýaly uly bolmasa-da, sekundyň ondan bir ülüşlerine ýa-da bütün sekunda ýetýär. Bu bolsa adaty spektral çyzyklaryňkydan ýüz millionlarça esse uludyr. Öz-özünden (spontan) şöhlelenmäniň bolup geçmegi üçin, atom şol wagtyň dowamynda özüniň oýandyрма energiýasyny «ýitirmezlik üçin», başga bölejikler bilen çakyşmaly däl. Diýmek, gadagan çyzyklary şöhlendirýän, seýreklendirilen gazda bölejikleriň yzygider çakyşmalarynyň aralygyndaky wagt sekunt töweregi bolmalydyr. (6.17) formulada $\sigma = 10^{-16} \text{ sm}^2$ we $v^* = 10^8 \text{ sm/s}$, Gün täjindäki şertlere laýyk diýip hasaplap, bölejikleriň konsentrasiýasynyň $10^8 \text{ bölejik/sm}^3$ -dan uly bolmaly daldigini alarys. Gaz dumanlyklarynda bölejikleriň konsentrasiýasy köp esse kiçidir.

Şöhlelenmäniň polýarlanmasy.

Her bir aýry elementar prosesiniň netijesinde döreýän elektromagnit şöhlelenmesi, üýtgeýän elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektory ýatan, kesgitli tekizlik bilen häsiýetlendirilýär (ýaýrama tekizligi). Oňa perpendikulýar bolan, üýtgeýän magnit meýdanynyň wektoryny saklaýan tekizlige polýarlanma tekizligi diýilýär. Köplenç



88-nji surat. 1 – polýarlanmadyk, tebigy;
2 – bölekleyin we 3 – doly polýarlanan ýagtylyk

gözegçilik edilýän şöhlelenme polýarlanmadykdyr, sebäbi ol ähli mümkin bolan ugurlarda polýarlanan, örän köp sanly atomlaryň bir-wagtda şöhlelenmeleriniň goşulmaklary netijesinde döreýändir. Bular ýaly polýarlanmadyk ýagtylyga tebigy diýilýär (88-nji surat).

Ýagtylygy ýörite polýarizator (mysal üçin, kwarsyň, şpatyň kristallary) ýa-da käbir kristallik maddalaryň emulsiýalary çalnan polýaroid plenkalaran geçirip, berlen şöhlelenmeden polýarizatoryň ýa-da polýaroid plenkalaryň esasy tekizligi boýunça polýarlanan bölegini alyp bolýar. Bu tekizligi öwürüp, dürli ugurlarda polýarlanan şöhlelenmäniň intensiwligini ölçeyärler. Eger intensiwlik ähli ugurlar boýunça birdeň bolsa, onda ýagtylyk polýarlanan däldir. Eger haýsy hem bolsa bir ugurda polýarlanmanyň maksimumy gözegçilik edilýän bolsa, onda oňa perpendikulýar tekizlikde hökman polýarlanmanyň minimumy bolmalydyr. Polýarlanmanyň maksimumy we minimumy ugurlardaky intensiwlikleriniň tapawudynyň, olaryň jemine bolan gatnaşygyna polýarlanmanyň derejesi diýilýär:

$$p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (6.39)$$

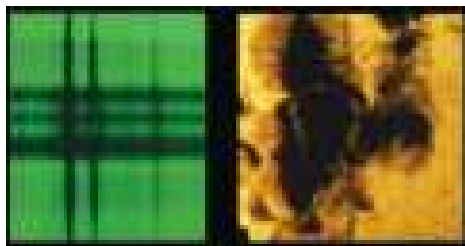
Ýönekeý ýagdaýda, polýarlanma käbir üstlerden, esasan hem düşme we serpişme burçlarynyň kesgitli bahalarynda, serpişmede ýüze çykýar (döreyär). Mysal üçin, adaty aýna plastinkadan 58° burç-

dan serpiggen ýagtylyk, doly diýen ýaly polýarlanandyr, özi hem polýarlanma tekizligi aýna plastinkanyň tekizligine perpendikulýardyr. Serpiggen ýagtylygyň bu häsiýeti serpikdirýän üstleriň, mysal üçin, planetalaryň tebigaty öwrenilende ulanylýar.

Ýagtylyk köp sanly aýry-aýry bölejiklerden dagynyk (pytraňňy) serpigende hem polýarlanyp biler. Esasan hem erkin elektronlarda dagynyk serpikme ýagdaýy wajypdyr. Başlangyç ugur bilen laýyk 90° burç emele getirýän ugurda, erkin elektronlarda dagynyk serpiggen ýagtylyk bütewiligine (100%) polýarlanandyr. Ondan başga-da, owunjak tozanjyklarda, şeýle hem aýry-aýry molekulalarda dagynyk serpikmelerde polýarlanma ýüze çykýandyr. Günün ýagtylygy howanyň molekulalarynda dagynyk serpigip, asmana mawy reňk berýär we bölekleyin polýarlanýar.

Spektral çyzyklary magnit meýdanynnda.

Magnit meýdanynnda ýerleşen atom tarapyndan şöhlelendirilýän spektr, ýakyn ýerleşen birnäçe düzüjilere-komponentlere bölünýär. Ýönekeý ýagdaýda, gözegçi magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugruna seredende, spektral çyzyk ikä bölünýär, keseligine seredende bolsa üçe bölünýär. Bu çyzyklaryň her birinde şöhlelenme özboluşly polýarlanandyr. Bu hadysa *Zeyeman effekti* diýilýär. Düzüjilere bölünen spektral çyzyklaryň arasyndaky uzaklyk magnit meýdanynyň güýjenmesine proporsionaldyr. Bu bolsa spektroskopik gözegçilikleriň esasynda kosmiki magnit meýdanlaryny ölçemäge mümkinçilik berýär. 89-njy suratda Gün tegmiliniň spektri getirilen. Spektrografyň ysynyň ýagdaýy sagdaky çyzgyda gara çyzyk bilen görkezilen. Çepdäki çyzgyda wertikal zolak, tegmiliň magnit meýdanynyň täsiri netijesinde merkezi böleginde giňelýän, Günün siňdirme çyzygydyr. Çyzgydan güýjenmesi 1000 ersted töweregi bolan güýçli magnit meýdanynyň bardygy görünýär.



89-njy surat. Gün tegmiliniň spektrinde Zeyeman effekti



§99. Spektral çyzyklaryň Dopler hadysasy sebäpli süýşmesi

Eger şöhlelendirýän jisim bilen gözegçiniň aralygy üýtgeýän bolsa, onda olaryň otnositel hereketiniň tizliginiň görüş şöhlesiniň ugry boýunça, şöhle tizligi diýilýän düzüjisi bardyr. Çyzykly spektrler boýunça şöhle tizlikleri *Dopler hadysasynyň* esasynda ölçenilip bilner. Şöhlelenme çeşmesiniň uzaklygyna garamazdan, spektral çyzyklaryň süýşmesiniň ululygynyň şöhle tizligine proporsional bolmagyna Dopler hadysasy diýilýär. Şunlukda, eger aralyk ulalýan bolsa (şöhle tizligi položitel), çyzyklaryň süýşmesi gyzyt tarapa bolýar, tersligine, aralyk kiçelýän bolsa (şöhle tizligi otrisatel), spektrleriň süýşmesi gök tarapa bolýar.

Bu hadysany şu ýönekeý pikir ýöretmeleriň esasynda düşündirmek bolýar. Obýektden ýagtylyk şöhlesini kabul edýän gözegçini göz önüne getireliň. Bu şöhle öňbaşdak, aýry üznüksiz elektromagnit yrgyldylary bolsun. Goý, 1 sekundyň dowamynda çeşme her biriniň tolkun uzynlygy λ bolan ν tolkun şöhlelendirsin. Bu ýerde ν ýygalyk bolany üçin, $\nu = c/\lambda$. Çeşmä görä hereket etmeýän gözegçi şol bir sekundyň dowamynda şonça, ýagny ν tolkunly kabul eder. Indi, goý gözegçi ýa-da çeşme ν_r otnositel tizlik bilen hereket edýän bolsun. Onda üznüksiz elektromagnit yrgyldylaryna görä gözegçi 1 sekundyň dowamynda ν_r/λ tolkun ýerleşýän, ν_r aralygy geçer. Şeýlelik bilen, gözegçi görüş şöhlesiniň ugry boýunça hereket edende, çeşme bilen aralygy ulalýan bolsa, onda ol ν tolkunly kabul etmän, ν_r/λ ululyga kem bolan, eger aralyk kiçelýän bolsa, onda ν_r/λ ululyga artyk bolan tolkunlary kabul eder. Netijede, gözegçilik edilýän şöhlelenmäniň ν ýygalygy üýtgär. Ýygalygyň bu üýtgemesini $\Delta\nu$ bilen belläp we ν_r şöhle tizliginiň položitel bahalarynyň aralygyň ulalmagyna degişlidigini göz önünde tutup, alarys:

$$\Delta\nu = \nu_{\text{gözegçi}} - \nu_{\text{şöhle}} = -\nu \frac{\nu_r}{c}.$$

ν bilen λ arasyndaky baglanyşygy göz önünde tutup, görüş şöhlesiniň ugry boýunça hereket edilende kabul edilýän şöhlelenmäniň diňe ýygalygynyň üýtgemän, onuň tolkun uzynlygynyň hem üýtgeýändigini göreris



$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{gözegçi}} - \lambda_{\text{şöhle}} = \frac{c}{\nu_{\text{gözegçi}}} - \frac{c}{\nu_{\text{şöhle}}} = \frac{c\Delta\nu}{\nu_{\text{gözegçi}} - \nu_{\text{şöhle}}} = -\lambda \frac{\Delta\nu}{\nu}.$$

Bu aňlatmanyň öň ýanyndaky aňlatma bilen birleşdirip, spektral çyzyklaryň dopler süýşmesiniň ululygy üçin formulany alarys:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\nu_r}{c}. \quad (6.40)$$

Dopler süýşmesiniň formulasynyň has takyk çözüwini almak üçin otnositellik teoriýasyny ulanmak gerekdir. Şonda alynýan aňlatma, $\nu_r \ll c$ bolanda, (6.40) formuladan az tapawutlanýandyr. Ondan başga-da, spektral çyzyklaryň süýşmesiniň diňe görüş şöhlesiniň ugry boýunça däl-de, oňa perpendikulýar bolan ugurda hereket edilende hem bolup biljekdigi gelip çykýar (dopleriň kese hadysasy diýilýär). Emma bu hadysa, edil (6.40) formula relýatiwistik düzediş ýaly, $(\nu/c)^2$ ululyga proporsionaldyr we diňe ýagtylygyň tizligine golaý tizliklerde göz önünde tutulmalydyr.

Dopleriň hadysasy astrofizikada aýratyn wajyp orun eýeleýändir, sebäbi ol spektral çyzyklaryň ýerleşişini ölçemeleriň esasynda asman jisimleriniň hereketleri barada netije çykarmaga mümkinçilik berýär.

Birnäçe mysallara seredeliň. Ýeriň Gününň daşynda aýlanýanlygy sebäpli, onuň absolýut ululygy $\nu = 30 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ töweregi bolan tizligi özüniň giňişlikdäki ugruny üýtgedýär. Şonuň üçin, berlen wagt pursadynda Ýeriň hereketi ugrukdyrylan ýyldyzlaryň spektrlerindäki çyzyklary çalaja melewşe tarapa, $\Delta\lambda$ ululyga süýşýär, özi hem

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = 10^{-4}.$$

Tolkun uzynlygy $\lambda = 5000 \text{ Å}$ bolan ýaşyl çyzyk üçin süýşme $0,5 \text{ Å}$ deňdir we ony ýeňil ölçäp bolýandyr. Ýeriň ýyllyk hereketiniň tizliginiň wektory ekliptikanyň tekizliginde ýerleşendir we Güne tarap ugra perpendikulýardyr. Şonuň üçin, spektral çyzyklaryň süýşmesiniň iň uly bahasy ekliptikanyň golaýynda, Günden 90° uzaklykda ýerleşen ýyldyzlaryň spektrlerine degişlidir. Ýeriň Gününň daşyndan aýlanmasynyň ekliptikanyň demirgazyk polýusyndan sere-denimizde sagat diliniň tersine bolýandygy sebäpli, gündogara tarap 90° -da ýerleşen nokatda çyzyklar gyzyň çäge tarap, garşylykly tarapda bolsa melewşe çäge tarap süýşýändirler.



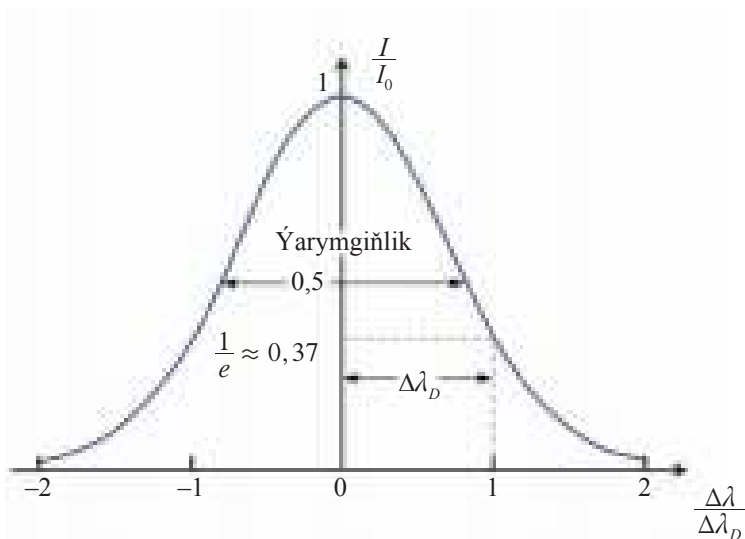
Asman sferasynyň galan ähli nokatlarynda ýerleşen ýyldyzlaryň spektrlerindäki çyzyklaryň, Ýeriň ýyllyk hereketi netijesinde ýüze çykýan süýşmesi kiçidir. Bu süýşme ekliptikanyň polýusynda ýerleşen ýyldyzlar üçin, Güne tarap we ondan gaýdýan ugurlarda nola deňdir. Ekwatoryndaky çyzykly tizligi $0,5 \text{ km/s}$ uly bolmadyk, Ýeriň gije-gündiz öz okunyň daşynda aýlanmasy sebäpli ýüze çykýan spektral çyzyklaryň süýşmesi has kiçidir (angstreiniň müňden bir ülüşlerine deň).

Spektral çyzyklaryň süýşmesini ölçemek üçin öwrenilýän obýektiň, mysal üçin, ýyldyzyň, spektral çyzyklary düşürilen foto-plastinka, spektral çyzyklary belli bolan, tejribe çeşmesiniň spektri surata düşürilýär. Soňra, takyk mikrometrler bilen üpjün edilen mikroskoplaryň kömegi bilen öwrenilýän obýektiň çyzyklarynyň tejribe çeşmesiniň tolkun uzynlyklary belli bolan çyzyklaryna görä $\Delta\lambda$ süýşmesini ölçeyärler, (6.40) formula boýunça bolsa v_r şöhle tizligi hasaplanylýar. Eger bu tizlikden Ýeriň ýyllyk hereketiniň tizliginiň görüş şöhlesine bolan proyeksiýasyny aýyrsak, onda ýyldyzyň Gün sistemasyna görä şöhle tizligini alarys.

Dopleriň hadysasy öwrenilýän jisimiň diňe hereketi barada däl-de, onuň aýlanmasy barada hem netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Mysal üçin, Gününň öz okunyň daşynda aýlanýanlygy sebäpli onuň gündogar gyrasy bize tarap golaýlaşýar, günbatar tarapy bolsa daşlaşýar. In uly tizlik (Gün ekwatorynda) 2 km/s ululyga ýetýär we $\lambda = 5000\text{\AA}$ tolkun uzynlygy üçin $\Delta\lambda = 0,035\text{\AA}$ süýşmäni berýär. Gün diskiniň merkezine we polýuslaryna ýakynlaşdygymyza, şöhle tizligi, şeýle hem onuň bilen bilelikde dopler süýşmesi nola çenli kemelýär. Ýyldyzlar üçin olaryň üstleriniň aýry-aýry bölekleriniň şöhlelenmesine gözegçilik edip bolmaýar. Ýyldyzyň gözegçilik edilýän spektri onuň diskiniň, aýlanýan ýyldyz üçin spektriň çyzyklarynyň dürli süýşmelerini berýän, hemme nokatlarynyň spektrleriniň biri-biriniň üstüne goýulmagy netijesinde alynýandyr. Netijede, spektral çyzyklaryň giňelmesi ýüze çykýar we olar boýunça ýyldyzyň öz okunyň daşynda aýlanmasynyň çyzykly tizligi barada netije çykarmak mümkindir. Kābir ýyldyzlaryň aýlanmasynyň çyzykly tizligi örän uly bahalara, sekuntda yüzlerce kilometre ýetýändir.

Hatda şöhlendirýän gaz бүтewiligine, görüş şöhlesiniň ugry boýunça oňnositel hereket etmeýän ýagdaýynda hem, aýry-aýry atom-





90-njy surat. Spektral çyzygyň Dopler profili

lar tarapyndan şöhlelendirilýän spektral çyzyklary, tertipsiz ýylylyk hereketi sebäpli, dopler süýşmesine eýedirler. Her bir wagt pursadynda, ähli mümkin bolan tizlikli atomlaryň köplügi bize ýakynlaşýandyr we sonça sany atomlar şol tizliklerde bizden daşlaşýandyr. Şonuň üçin spektral çyzygyň simmetrik giňelmesi bolup geçýär (90-njy surat).

Spektral çyzygyň çäklerinde, darajyk zolakda şöhlelendirilýän energiýanyň paýlanyşyny görkezýän, bular ýaly grafige onuň profili diýilýär. Eger spektral çyzygyň giňelmesi şöhlelendirýän atomlaryň diňe ýylylyk hereketleriniň netijesi bolsa, onda profilň giňligi boýunça ýagtylanýan gazyň temperaturasy barada netije çykaryp bolýandyr. Hakykatdan-da, öň §96 belleýşimiz ýaly, görüş şöhlesiniň ugry

boýunça dürli v_r tizlikli bölejikleriň sany, $|v_r|$ artmagy bilen $e^{-\left(\frac{v_r}{v^*}\right)^2}$ ka-nun boýunça kemelýändir. Şonuň bilen birlikde, $|v_r|$ näçe uly boldugyça, degişli atom sonça-da uzakda, spektral çyzygyň ganatlarynyň ýakynynda şöhlelendirýär. $v_r > 0$ bolanda şöhlelenme gyzyl ganatda, $v_r < 0$ bolanda bolsa gök ganatda bolýar.

Eger gaz seredilýän çyzykda şöhlelenme üçin dury (öz-özünden siňdirilme ýok bolsa) we netijede profilň her bir nokadynda intensiwlik, degişli v_r tizlige eýe bolan atomlaryň mukdaryna propor-

sional bolsa, onda spektral çyzygyň profili atomlaryň tizlik boýunça paýlanyşynyň kanunyny (6.15) gaýtalaýar we 90-njy çyzygyda şekillendirilen egri, formula bilen berilýär:

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{\nu_r}{\nu^*}\right)^2} \quad (6.41)$$

$\nu_r = \nu^*$ tizlikli bölejikleriň sanynyň $\nu_r = 0$ tizlikli bölejikleriň sanynyndan e esse azdygy (6.15) formuladan görünýär. ν^* tizlikli atomlar merkezi I_0 intensiwlikden e esse kiçi bolan, profiliň I intensiwlikli nokadyndaky çyzyklara degişli şöhlelenmäni döredýärler. Intensiwligi merkezi çyzygyň intensiwliginiň $1/e$ (37%) bölegine deň bolan profiliň çyzyklarynyň nokatlarynyň aralygynyň ýarysyna spektral çyzygyň dopler giňligi $\Delta\lambda_D$ diýilýär. $\Delta\lambda_D$ ululyga deň bolan süýşmesi bolan spektral çyzygy şöhlelendirýän atomlar iň ähtimal ν^* tizlik bilen hereket edýän bolmalydyrlar, onda

$$\frac{\Delta\lambda_D}{\lambda} = \frac{\nu^*}{c}.$$

Eger bu tizlik diňe ýylylyk hereketleriniň netijesi bolsa, onda (6.14) formulany göz önünde tutup, alarys:

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}, \quad (6.42)$$

bu ýerden
$$T = \frac{mc^2}{2k} \left(\frac{\Delta\lambda_D}{\lambda} \right)^2. \quad (6.43)$$

Eger ýylylyk hereketlerinden başga, gazda akymalar ýa-da uly ölçegli başga hereketler (mysal üçin, turbulენტlik) gözegçilik edilýän bolsa, onda spektral çyzyk has hem giňelýär, kähalatlarda bolsa dürli akymlara degişli bolan birnäçe çyzyklara bölünýär. Şeýlelik bilen, spektral çyzyklaryň profillerini öwrenip, şöhlelendirýän gazyň temperaturasy barada, şeýle hem ondaky hereketler barada netije çykaryp bolýar.

§100. Temperaturany kesgitlemegiň usullary

Ilki bilen temperaturanyň jisimiň bir bölejiginiň orta kinetik energiýasyny häsiýetlendirýändigini ýatlamak möhümdir (§96). Köplenç temperatura diýip ony ol ýa-da beýleki usul bilen ölçemegiň



netijesine aýdýarlar. Şonuň üçin, «temperatura» termininiň ýokarda görkezilen manyda ulanylýandygy nygtaljak bolsa, onda *kinetik temperatura* diýilýär.

Temperatura maddanyň ýagdaýynyň örän wajyp häsiýetnamasydyr we maddanyň esasy fiziki häsiýetleri oňa baglydyr. Temperaturany kesgitlemek in çylşyrymly astrofiziki meseleleriň biridir. Bu kynçylyk temperaturany kesgitlemegiň ulanylýan usullarynyň çylşyrymlylygy, şeýle hem olaryň käbirleriniň prinsipial nätakyklygy bilen baglanyşyklydyr. Astronomlar, käbir seýrek ýagdaýlardan başga wagty, öwrenilýän jisimiň özünde goýlan, haýsy hem bolsa bir enjamyň kömegi bilen temperaturany gös göni ölçäp bilýän dälдилer. Emma temperaturany ölçemäge mümkinçilik döräýende-de, köp ýagdaýlarda temperatura ölçeyän enjamlar peýdasyz bolardy, sebäbi olaryň görkezmeleri temperaturanyň hakyky ululygyndan düýpli tapawutlanar. Termometr diňe temperaturasy ölçenýän jisim bilen ýylylyk deňagramlylykda bolanda, temperaturanyň dogry ululygyny berýändir. Şol sebäpli, ýylylyk deňagramlylyk ýagdaýynda bolmadyk jisimler üçin termometr ulanmak prinsipial mümkin däldir we olaryň temperaturalaryny kesgitlemek üçin ýörite usullary ulanmak zerurdyr. Temperaturany kesgitlemegiň esasy usullaryna we olary ulanmagyň wajyp ýagdaýlaryna seredeliň.

Spektral çyzyklaryň giňligi boýunça temperaturany kesgitlemek.

Bu usul, gözegçiliklerden şöhlelenme ýa-da siňdirme spektral çyzyklarynyň dopler giňligi belli bolanda, (6.43) formulany peýdalanmaga esaslanandyr. Eger gaz gatlagy optiki ýuka bolsa (öz-özünden siňdirilme ýok), onuň atomlary diňe ýylylyk hereketine eýe bolsalar, onda bu usul bilen gös-göni kinetik temperaturanyň bahasy alynýar. Emma köplenç bu şertler ýerine ýetirilmeýär. Gözegçilik edilýän profilleriň, 90-njy suratda şekillendirilen Gaussyň egrisinden tapawutlanmalary, agzalan şertleriň ýerine ýetmeýändigini görkezýär. Hakykatdan hem, bu ýagdaýlarda spektral çyzyklaryň profilleriniň esasynda temperaturany kesgitlemek meselesi has hem çylşyrymlaşýar.

Gözegçilik edilýän şöhlelenmäniň döremegine getirýän, elementar prosesleri öwrenmegiň esasynda temperaturany kesgitlemek.

Temperaturany kesgitlemegiň bu usuly spektri teoriýa boýunça hasaplap, netijeleri gözegçiliklerden alnan maglumatlar bilen deňeşdirmäge esaslanandyr. Bu usulyň ulanylyşyny öň seredip geçilen, Gün täjiniň mysalynda görkezeliň. Gün täjiniň spektrinde, atomlary onlarça daşky elektronlaryny ýitiren we onuň üçin azyndan birnäçe ýüzlerçe elektron-wolt energiýa gerek bolan, birnäçe gezek ionlaşan elementlere degişli bolan şöhlenenme çyzyklary bardyr. Gazyň bular ýaly güýçli ionlaşmasyny ýüze çykarmak üçin Gün şöhlenenmesiniň kuwwaty ýeterlik däl. Ony diňe örän uly energiýaly, çalt bölejikler bilen, esasan hem erkin elektronlar bilen çakyşma esasynda düşündirmek mümkindir. Diýmek, Gün täjindäki bölejikleriň esasy köplügiň ýylylyk energiýasy birnäçe yüz elektron-wolta deň bolmalydyr. Elektron-woltlarda aňladylýan energiýany ε bilen belläp we (6.13) aňlatmany göz önünde tutup, alarys

$$T = 11600 \varepsilon.$$

Onda gazyň bölejikleriniň 100 eV energiýaly esasy köplügi million gradusdan uly temperaturalarda bolar.

Absolýut gara jisimiň şöhlenenme kanunyny ulanmagyň esasynda temperaturany kesgitlemek.

Temperaturany kesgitlemegiň iň köp ýaýran usullarynyň bir topary gözegçilik edilýän şöhlenenmä absolýut gara jisimiň şöhlenenme kanunlaryny (takyk aýdylanda, diňe termodinamiki deňagramlylyga degişli) ulanmaga esaslanandyr. Emma şu paragrafyň başynda beläp geçen sebäplerimize görä, bu usullaryň ählisi prinsipial taýdan nätakykdyr we özünde azda-kände ýalňyşlyklary saklaýan netijelere getirýär. Şonuň üçin, bu usullary temperatura takmynan baha bermek üçin ýa-da bu ýalňyşlyklaryň, ölçenilýän temperaturanyň ululygy bilen deňeşdirilende hasaba alardan kiçi ululykdygyny subut edip bolanda ulanylýar. Bu ýagdaýlara seredeliň.

Optiki galyň, dury däl gaz gatlagy, Kirhgofyň kanunyna laýyklykda, üznüksiz spektrde güýçli şöhlenenme berýär. Oňa mysal edip, ýyldyzyň atmosferasynyň has içinde ýerleşen gatlaklaryny görkezmek mümkindir. Bu gatlaklar näçe içgin ýerleşdikeriçe, şonça-da daşky gurşap alan giňişlikden gowy izolirlenen bolýarlar we olaryň şöhlenenmesi deňagramly şöhlenenmä ýakyn bolýar. Şol sebäpli,



şöhlelenmeleri bize çenli düýbünden ýetmeýän, ýyldyzyň içki gatlaklary üçin ýylylyk şöhlelenmesiniň kanunlary ýokary takyklyk bilen ýerine ýetýändirler.

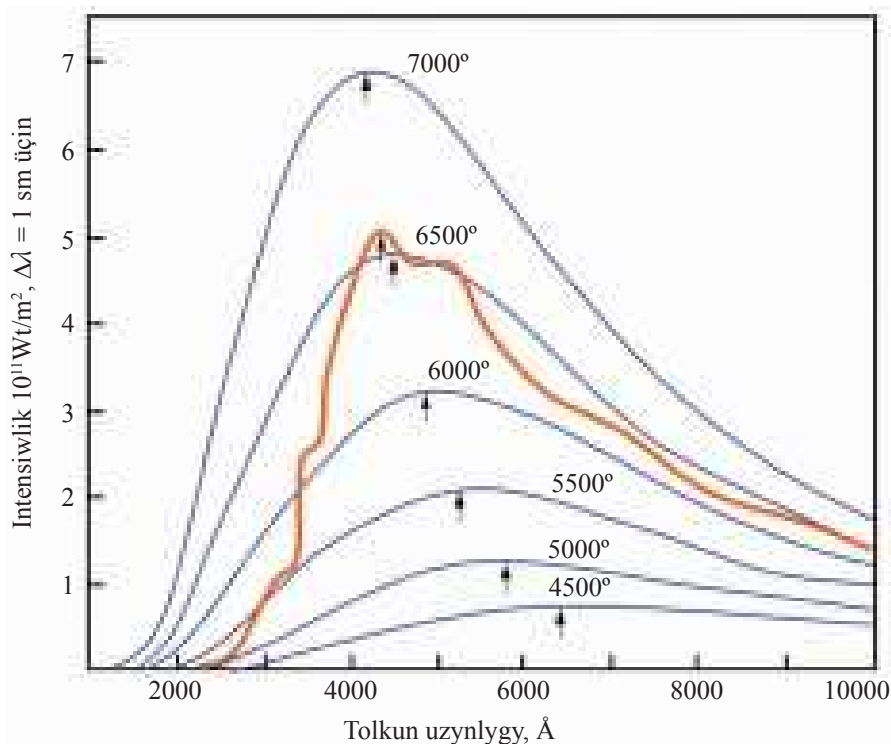
Ýyldyzyň daşky gatlaklary üçin düýbünden başgaçadyr. Olar, ýyldyzyň doly izolirlenen içki gatlaklary bilen bütewiligine dury bolan daşky (görünýän şöhlelenme göz önünde tutulýar) gatlaklarynyň arasyndaky aralyk ýagdaýy eýeleýär. Hakykatdan-da biz τ optiki galyňlyklary 1-den uly tapawutlanmaýan gatlaklary görýäris. Has içgin, çünäde ýerleşen gatlaklar, dury dälliginiň çuňluk boýunça örän çalt artýandygy sebäpli erbet görünýärler, τ ululygy örän kiçi bolan, has daşky gatlaklar bolsa gowşak şöhlelendirýändirler (optiki ýuka gatlagyň şöhlelenmesi onuň optiki galyňlygyna proporsionaldygyny ýatladýarys). Diýmek, berlen jisimiň çäklerinden daşyna çykýan şöhlelenme, esasan hem $\tau \approx 1$ bolan gatlaklarda döreýändir. Başgaça aydanymyzda, biziň görýän gatlaklarymyz gazyň dury däl bolup başlaýan çuňluklarynda ýerleşendir. Olar üçin ýylylyk şöhlelenme kanunlary takmynan ýerine ýetýändir. Şeýlelikde, ýyldyzlar üçin spektrlerinde energiýanyň paýlanylyşyny ýatladýan, örän gödek hem bolsa, Plankyň egrisini saýlamak başardýandyr. Bu bolsa ýyldyzlaryň şöhlelenmesine uly çäklendirmeler bilen Plankyň, Stefan-Bolsmanyň we Winiň kanunlaryny ulanmaga mümkinçilik berýär.

Bu kanunlaryň Günün şöhlelenmesine ulanylyşyna seredeliň. 91-nji suratda gözegçilik edilýän, Günün diskiniň merkeziniň spektrinde energiýanyň paýlanylyşy dürli temperaturalar üçin Plankyň birnäçe egrisi bilen şekillendirilen. Suratdan görnüşi ýaly, egrileriň hiç biri hem Gün üçin egri bilen gabat gelmeýär. Bu egride şöhlelenmäniň maksimumy çürt-kesik, aýdyň däl. Eger maksimum $\lambda_{\max} = 4300\text{\AA}$ degişli diýip kabul etsek, onda Winiň süýşme kanuny boýunça kesgitlenen temperatura $T(\lambda_{\max}) = 6750\text{K}$ bolar. Gün üstüniň 1 sm^2 -ynyň şöhlelendirýän doly energiýasy

$$\varepsilon_{\theta} = 6,28 \cdot 10^{10} \text{ erg}/(\text{sm}^2 \text{ s}) = 6,28 \cdot 10^7 \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ s}).$$

Bu ululygy Stefan-Bolsmanyň kanunynyň (6.33) formulasynda goýup, effektiw temperatura diýilýän temperaturany alarys

$$T_{\text{eff}} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{\theta}}{\sigma}} = 5770\text{K}.$$



91-nji surat. Günň spektrinde energiýanyň paýlanylyşy we plankyň egrileri

Şeýlelikde, jisimiň effektiv temperaturasy diýip, her kwadrat santimetriniň bütin spektrde şöhlendirýän energiýasynyň akymy, berlen jisimiň bir kwadrat santimetriniňkä deň bolan, absolýut gara jisimiň temperaturasyna aýdylýar.

Edil şuna meňzeşlikde, ýitilik we reňk temperaturasy diýen düşüňjeler girizilýär. Ýitilik temperaturasy diýip, her kwadrat santimetriniň käbir tolkun uzynlygynda şöhlendirýän energiýasynyň akymy, berlen jisimiň şol tolkun uzynlygyndaky şöhlendirýän energiýasynyň akymyna deň bolan, absolýut gara jisimiň temperaturasyna aýdylýar. Ýitilik temperaturasyny kesgitlemek üçin, şöhlendirýän üstüň gözegçilik edilýän monohromatik ýitiligine Plankyň formulasyny ulanmak gerekdir. Real jisim spektriň dürli çäklerinde dürli ýitilik temperaturasyna eýe bolup biljekligi aýdyňdyr. Mysal üçin, 91-nji suratdan görnüşi ýaly, Güne degişli egri Plankyň egrileriniň birnäçesini kesýär, bu egrileriň degişli temperaturalary



Günüň ýitilik temperaturasynyň göze görünýän spektriň dürli çäklerinde üýtgemesini görkezýär.

Ýitilik temperaturasyny kesgitlemek üçin absolýut birliklerde şöhlenenmäniň intensiwliginiň örän çylşyrymly ölçeglerini geçirmek zerurdyr. Oňa görä spektriň käbir çäklerinde şöhlenenmäniň intensiwliginiň üýtgemelerini kesgitlemek köp ýeňildir.

Spektriň käbir çäklerinde energiýanyň paýlanyşy öwrenilýän jisimiňkä meňzeş bolan, absolýut gara jisimiň temperaturasy jisimiň reňk temperaturasy diýilýär. Günüň spektrinde energiýanyň paýlanyşyna seretsek, 5000-6000Å tolkun uzynlyklarynda Güne degişli egriniň ýapgytlygy, 6500 K temperaturada Plankyň egrisiniň şol tolkun uzynlyklarynda ýapgytlygyna gabat gelýändir.

Şeýlelikde, temperaturany kesgitlemegiň dürli usullary şol bir asman jisimi – Günüň temperaturasyny kesgitlemek üçin ulanylanda dürli netijeleri berýär. Emma bu netije, Günüň temperaturasyny düýbünden kesgitlemek mümkin däldir diýmegi aňlatmaýar. Dürli usullar boýunça alnan netijeleriň tapawudy, Gün maddasynyň çuňluk boýunça temperaturasynyň üýtgeýändigini we daşky gaz gatlaklarynyň absolýut gara jisim ýaly şöhlelendirmeyändikleri bilen düşündirilýär, ýagny (6.31–6.33) formulalar birinji ýakynlaşmada ulanarlyklydyr.

Şeýlelikde, ýokarda girizilen effektiw, ýitilik, reňk temperaturalary diýen düşüňjeler gözegçilik edilýän şöhlenenmäniň häsiýetlerini görkezýän parametrlerdir. Olaryň haýsy takyklykda we jisimiň haýsy çuňlugyndaky hakyky temperatura barada düşüňje berýändiklerini anyklamak üçin goşmaça barlaglar zerurdyr.

§101. Asman jisimleriniň himiki düzümini we dykzlygyny kesgitlemek

Spektrde käbir himiki elementleriň çyzyklarynyň bolmagy, adatça öwrenilýän jisimiň düzüminde şol himiki elementiň barlygy barada maglumatdyr (düzgünden çykmalar bolýar, mysal üçin, ýyldyzlaryň spektrlerinde gözegçilik edilýän, ýöne olaryň aralygyndaky giňişlikde döreýän, ýyldyzara siňdirmiş çyzyklary). Şöhlelendirýän gaz gatlagyny tä optiki ýuka diýip hasaplap bolýança, ýagny onda öz hususy şöhlenenmesi düýbünden diýen ýaly siňdirilmeýän ýagdaýynda,

spektral çyzygyň ýitiligi, görüş şöhesinde ýerleşen, şöhlelendirýän oýandyrylan atomlaryň mukdaryna proporsionaldyr. Berlen spektral çyzykda atomyň şöhledenijilik ukybyny, edil şonuň ýaly hem onuň siňdirmе koeffisiýentini tejribeden ýa-da teoriýadan tapyp bolýandyр, ol atomyň oýandyrylan ýagdaýda bolup bilýän wagtyna ters proporsionaldyр.

Berlen spektral çyzykda şöhlelendirilýän ýa-da siňdirilýän energiýany ölçäp, atomlaryň mukdaryny hasaplap we şonuň üsti bilen maddanyň şöhledenmäni döredýän böleginiň massasyny kesgitleýärler. Eger bu massa ölçegleri belli болan, öwrenilýän obýektiň massasynyň esasy bölegini düzýän bolsa, onda dykыzlygy tapmak ýeňildir. Bu usul bilen dury gaz dumanlyklaryndaky şöhlelendirýän maddanyň konsentrasiýasyny kesgitlemek mümkindir. Dury bolmadyk (optiki galyň) obýektlerde (mysal üçin, ýyldyzlar) biz hemme şöhlelendirýän gatlaklary görmeýäris. Şonuň üçin olaryň dykыzlyklaryny bu usul bilen kesgitlep bolmaýar. Ýöne jisimiň dykыzlygy, has takygy ondaky basyş, aýry spektral çyzygyň görnüşine, formasyna, merkezinden uzaklarda (ganatlarynda) täsirini ýetirýändir. Bu täsiri dykыzlygy kesgitlemek üçin peýdalanmak mümkindir. Has takyk aýdanymyzda, seýreklendirilen gazlara degişli spektral çyzyklary şol temperaturadaky dykыzlygy uly болan maddanyň spektral çyzyklaryndan inçedir.

Belli болşы ýaly, berlen spektral çyzykda jisimiň atomlarynyň belli bir böleginiň şöhledenmesi (ýa-da siňdirmesi) görünýändir. Haýsy hem bolsa bir çyzykda «gözegçilik edilýän» atomlaryň paýы (mukdary), birinjiden: berlen himiki elementiň hemme atomlary bu çyzykda şöhlelendirmek ýa-da siňdirmek üçin zerur болan oýandyrylan ýagdaýda dälдirler; ikinjiden bolsa, öwrenilýän jisimde beýleki himiki elementleriň болmagy hem mümkindir.

Şonuň üçin, maddanyň dykыzlygyny kesgitlemek üçin, ilki bilen onuň himiki düzümini öwrenmek zerurdyр.

Kosmiki obýektleriň esasy köplüginin spektrlerinde wodorodyň çyzyklary gözegçilik edilýändir. Bu bolsa wodorod tebigatda iň көp ýaýран himiki element diýip tassyklamaga esas berýär, sebäbi dürli asman jisimleriniň himiki düzüminiň mukdar taýdan derňewleri hem bu tassyklamanyň dogrudygyny görkezýär.



Tebigatda ikinji orny, spektral çyzyklarynyň wodorodyň çyzyklaryna garanyňda seýrek gözegçilik edilýändigine garamazdan, geliý eýeleýändir. Bu bolsa, spektrde käbir himiki elemente degişli çyzyklaryň bolmazlygy, bu elementniň öwrenilýän jisimde ýokdugyny aňlatmaýandygynyň ýene bir mysalydyr. Gün spektriniň siňdirmе çyzyklarynyň arasynda geliý elemente degişli çyzyklar ýok diýen ýalydyr. Ýöne has ýokarky gatlaklaryň, hususan-da gaty gyzdyrylan gaz bulutlary-protuberanesleriň spektrinde, geliýniň ýagty emission çyzyklary görünýändir. Bu bolsa geliýniň Günde bardygyny görkezýändir. Gün täjiniň spektrinde wodorodyň çyzyklary düýbünden görünýän dälidirler. Ýöne bize belli bolşy ýaly, Gün täjiniň maddasynyň düzümi Gününkä meňzeşdir, diýmek onuň düzüminde wodorod bolmalydyr. Seredilen mysallaryň ikisinde hem degişli atomlar ýerleşen ýagdaýlarynda ýeňil gözegçilik edilýän çyzyklary şöhlелendirmeýärler (we siňdirmеýärler). Gün täjindäki wodorod şeýle bir güýçli ionlaşan, hatda şöhlеленmesini duýup bolýjak, neýtral atom düýbünden diýen ýaly ýokdur. Tersligine, wodorodyň siňdirmе çyzyklarynyň emele gelýän gatlaklarynda, geliý atomlarynyň oýandyrylyşy örän pes bolýar we spektrde oňa degişli çyzyklaryň bolmazlygyna getirýär.

Diýmek, himiki düzümi dogry kesgitlemek üçin, käbir atomlaryň gözegçilik edip bolmaýan ýa-da kynlyk bilen gözegçilik edilýän ýagdaýlarda bolup biljekdiklerini hasaba almak zerurdyr. Mysal üçin, haçan-da oýandyrylýan spektral çyzyklaryň ählisi uzak ultramelewşe çäklerde ýerleşen ýagdaýlarynda.

Has intensiw çyzyklaryň iň köp duş gelýän himiki elemente degişli bolmagy hökman dälidir. Gadagan edilen çyzyklaryň mysalynda görşümüz ýaly, käbir aýratyn şertlerde, «adaty» ýagdaýlarda düýbünden görünmeýän ýa-da gowşak bolan çyzyklar, has intensiw bolýarlar.

Bu ýerden görşümüz ýaly, asman jisimleriniň himiki düzümini olaryň spektrlerini öwrenmegiň esasynda kesgitlemek örän çylşyrymly meseledir we ony çözmek üçin öwrenilýän jisimiň fiziki ýagdaýlaryny (esasan hem temperaturasyny) bilmek, nazary astrofizikanyň usullaryny ulanmak zerurdyr.

Käbir jisimleriň (mysal üçin, ýyldyzlaryň kesgitli görnüşleri) himiki düzüminiň ol ýa-da beýleki özboluşlylygynyň bardygyny alnan

netijeler görkezýär. Emma galan obýektleriň esasy köplüginin düzümi şol bir himiki elementleriň otnositel mukdaryndan ybaratdyr. Şonuň üçin, haýsy hem bolsa bir kesgitli göwrümdäki atomlaryň otnositel sany boýunça baha berilýän, kosmosyň ortaça düzümine girýän elementler barada aýtmak bolar. 4-nji tablisada ýyldyzlaryň spektrlerini öwrenmegiň esasynda alnan we himiki elementleriň kosmosda gabat gelişleri barada düşünje berýän, has köp gabat gelýän himiki elementleriň otnositel sanlary getirilen.

Ähli atomlaryň sany wodorod atomlarynyň sanyna görä getirilendir, onuň sany bolsa 10^6 deň diýip şertli kabul edilendir.

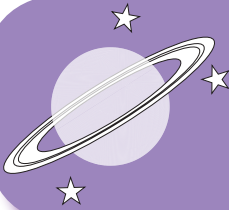
Tablisadan görnüşi ýaly, kosmosdaky geliýniň atomlarynyň sany wodoroda görä 10 esse azdyr. Has takyk aýdanymyzda, bu elementiň mukdaryna baha bermek çylşyrymlydyr, sebäbi onuň çyzyklary seýrek gözegçilik edilýändir. Galan ähli himiki elementleriň atomlarynyň mukdary wodorodyň atomlarynyň 0,14% düzýändir, ähli metallar bolsa takmynan 10 000 esse azdyr.

4-nji tablica

Kosmos şertlerinde himiki elementleriň otnositel sany

Element	Atomlaryň otnositel sany	Element	Atomlaryň otnositel sany
Wodorod	1 000 000	Kükürt	20
Geliý	100 000	Magniý	20
Kislorod	1 000	Demir	6
Uglerod	400	Natriý	2
Neon	200	Alýuminiý	2
Azot	100	Argon	2
Kremniý	60	Kalsiý	1





VII bap ASTROFIZIKI GURALLAR WE GÖZEGÇILIK ETMEĞIŇ ESASY USULLARY

§102. Teleskoplar

Galileý 1609-njy ýylda ilkinji gezek teleskopy asmana ugrukdyrandan soň, astronomik gözegçilikleriň mümkinçilikleri örän ýokary derejede artandyr. Bu ýyl ylymda täze eýýamyň – teleskoplar astronomiýasynyň eýýamynyň başlangyjy bolandyr. Galileýiň teleskopy häzirki döwriň nukdaýnazaryndan kämil bolmandyr, ýöne şol döwürde ajaýyp täsinlik bolupdyr. Teleskopa seredip, Aýyň çylşyrymly, Ýere meňzeş dünýäsiniň bardygyna, Ýupiteriň daşynda, edil Ýeriň daşyndan Aýyň aýlanyşy ýaly, dört sany kiçi hemrasynyň aýlanýandygyna we şuna meňzeşlere göz ýetirip bilipdirler. Bularyň ählisi Älemiň çylşyrymlylygy, materiallygy, ýaşalýan dünýäniň köplügi barada aňlary oýandyryp, pikirlenmäge mejbur edipdir. Teleskopyň oýlanyp tapylmagy Kopernigiň geliosentrik sistemasy bilen bilelikde orta asyr dini garaýyşlary ýeňip geçmekde wajyp ähmiýete eýe bolandyr.

Teleskopyň oýlanyp tapylmagy hem, beýik açyşlaryň köpüsi ýaly, tötänleýin däldir, ylmyň we tehnikanyň bütin öňki ösüşi bilen taýýarlanandyr. XVI asyrdan senetçi ussalar äýnekler üçin linzalar ýasamagy gowy öwrenipdirler, ondan teleskopa we mikroskopa çenli bolsa bary-ýogy bir ädimdir.

Teleskop üç esasy maksat üçin niýetlenendir:

1) asman ýagtyltgyçlarynyň şöhlelenmesini kabul ediji gurluşda (göz, fotoplastinka, spektrograf we ş. m.) ýygnamak;



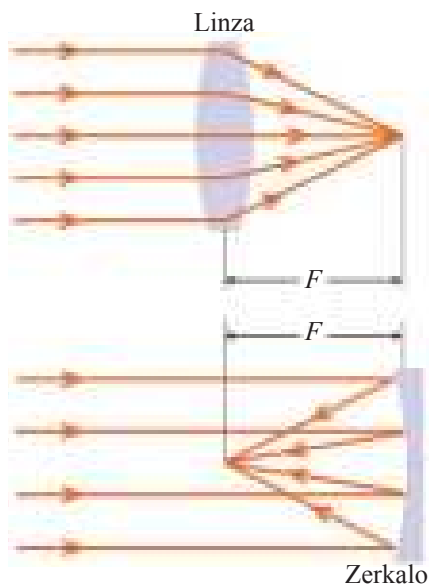
2) fokal tekizliginde obyektin ýa-da asmanyň kesgitli meýdançasynyň (böleginiň) şekilini gurmak;

3) biri-birine golaý burç aralygynda ýerleşen we şol sebäpli guralсыз seredilende seljerip bolmaýan obýektleri seljermäge, tapawutlandyrmaga ýardam etmek.

Teleskopyň esasy optiki bölegi, ýagtylygy ýygnaýan we obýektin ýa-da asmanyň kesgitli meýdançasynyň şekilini gurýan, *obyektivdir*. Obyektiv kabul ediji gurluş bilen turbanyň (tubus) kömegi bilen birleşýändir. Turbany saklaýan, göterýän we ony asmana ugrukdyrmaga mümkinçilik berýän mehaniki gurluşa *gural* (montirowka) diýilýär. Eger ýagtylygy kabul ediji adamyň gözi bolsa (wizual gözegçiliklerde), onda obýektiviň fokal tekizliginde gurlan şekile seretmek üçin, hökman okulýar gerekdir. Fotografik, fotoelektrik, spektral gözegçiliklerde *okulýar* gerek däldir. Fotografik plastinka, elektrofotometriň giriş diafragmasy, spektrografyň ýşy we ş.m. teleskopyň fokal tekizliginde ýerleşdirilýär.

Obyektiwinde esasy şöhle ýygnaýjy hökmünde linza peýdalanylýan teleskopa *refraktor* diýilýär. Optikanyň kanunlaryna laýyklykda dürli tolkun uzynlykly ýagtylyk şöhleleriniň dürlüçe döwürýändikleri sebäpli, ýeke linza reňklenen şekili berýär. Bu hadysa *hromatik aberrasiýa* diýilýär. Hromatik aberrasiýanyň täsirini belli bir derejede azaltmak üçin, döwme koeffisiýentleri üýtgeşik bolan aýnalardan ýasalan, iki sany lizadan ybarat bolan obýektivler (ahromatik obýektiv ýa-da *ahromat*) ulanylýar.

Serpikme kanuny tolkun uzynlygyna bagly däldir we lizaly obýektivi oýuk sferik zerkalo bilen çalşmak pikiriniň döremegi tebigydyr (92-nji surat). Bular ýaly teleskopa *reflektor*, ýagny serpidirýän teleskop



92-nji surat. Linzaly we zerkaloly obýektivler



diýilýär. Ilkinji reflektor Nýuton tarapyndan 1671-nji ýylda gurlandyr (diametiri bary-ýogy 3 *sm* we uzynlygy 15 *sm*).

Sferik zerkalo parallel şöhleleriň dessesini nokada ýygnaýan däldir, ol fokusunda birneme bulaşygrak tegmiljik berýändir. Bu ýoýulma *sferik aberrasiýa* diýilýär. Eger zerkalo aýlanma paraboloidi görnüşinde bolsa, onda sferik aberrasiýany aýryp bolýandyr. Bular ýaly paraboloidiň okunyň ugry boýunça ugrukdyrylan parallel şöhleleriň dessesi, ýoýulmasyz diýen ýaly (eger difraksiýa sebäpli gutulgysyz ýüze çykýan bulaşyklygy hasap etmesek) fokusda ýygnaýandyr. Şonuň üçin, häzirki zaman reflektorlarynda paraboloid şekilli, köplenç bolsa ýöne parabolik görnüşli diýilýän zerkalo ulanylýandyr.

XIX asyryň ahyryna çenli teleskoply geçirilýän gözegçilikleriň esasy maksady asman ýagtyltgyçlarynyň görünýän ýerleşiş ýagdaýlaryny kesgitlemek bolupdyr. Şeýle hem kometalara we planetalaryň diskleriniň detallaryna gözegçilikler wajyp orun eýeläpdir. Bu gözegçilikleriň ählisi wizual geçirilipdir we iki linzaly obýektiwli refraktor astronomlaryň talaplaryny doly ödäpdir.

XIX asyryň ahyrynda, essasan hem XX asyrdan astronomiýa ylmy uly ösüşlere eýe boldy. Barlaglaryň agramly bölegi astrofizika we ýyldyz astronomiýasy bölümlerine geçdi. Barlaglaryň esasy predmeti Gün, planetalaryň, ýyldyzlaryň, ýyldyz sistemalarynyň fiziki häsiýetnamalaryny öwrenmek boldy. Şöhlenenmäni kabul edijiler – fotoplastinka we fotoelement ulanylyp başlandy. Spektroskopiýa giňden peýdalanylyp başlandy. Netijede, teleskoplara bildirilýän talap hem üýtgedi.

Astrofiziki barlaglar üçin teleskopyň optikasynyň tolkun uzynlyklarynyň elýeterli bölegini hiç-hili çäklendirmezligi örän wajypdyr. Sebäbi Ýeriň atmosferasy hem ony ýeterlik çäklendirýändir. Linzalar ýasalyan aýna ultramelewşe we infragyzyň şöhlenenmäni siňdirýändir. Fotoemulsiýalar we fotoelementler göz bilen deňeşdirilende spektriň has giň çäklerinde duýgurlygy ýokarydyr, şol sebäpli bu kabul edijiler bilen işlenilende hromatik aberrasiýanyň täsiri has uludyr.

Şeýlelikde, astrofiziki barlaglar üçin reflektory peýdalanmak amatlydyr. Şeýle hem reflektoryň uly zerkalosyny taýýarlamak, iki-

linzaly ahromaty taýýarlandan has ýeňildir. Sebäbi optiki takyklyk bilen (λ tolkun uzynlygynyň $1/8$ böleginiň ýa-da göze görünýän şöhleler üçin 0.07 mikron takyklykda) dört sany üstüň ýerine birini işläp taýýarlamak ýeterlikdir we şunlukda ulanylýan aýnanyň birhiliğine ýörite talaplar bildirilýän däl. Bularyň ählisi reflektoryň astrofizikanyň esasy guraly bolmagyna getirdi. Astrometrik işlerde öňküsi ýaly, refraktorlar peýdalanylýandyr. Reflektorlar zerkalonyň gönükdirilen ugrundan tötänleýin çala üýtgemelerine örän duýgurdyr, sebäbi düşme burçunyň serpiçme burçuna deň bolany üçin, zerkalonyň käbir β burça öwrülmesi şekili 2β burça süýşürýändir. Edil şolar ýaly burça obýektiwiň öwrülmesi refraktorda şekiliň örän kiçi süýşmesini berýär. Astrometriýada bolsa ýagtyltgyçlaryň ýerleşen ýagdaýlaryny ýokary takyklyk bilen ölçemeli bolany üçin refraktorlar saýlanyp alnandyr.

Belläp geçişimiz ýaly, parabolik zerkaloly reflektor şekili örän takyk gurýandyr, ýöne şu ýerde bir şert barada aýtmak zerurdyr. Şeýil optiki okuň golaýynda bolan ýagdaýynda ony kemsiz, ideal diýip hasaplamak mümkindir. Okdan daşlaşdygyça ýoýulmalar ýüze çykýandyr (*okdan daşary aberrasiýa*). Şonuň üçin, diňe ýeke parabolik zerkaloly reflektor ýyldyz üşmekleri, galaktikalar we galaktik dumanlyklar öwrenilende zerur bolan, asmanyň uly ölçegli, aýdaly $5^\circ \times 5^\circ$ meýdanyny surata düşürmäge mümkinçilik bermeýär. Uly görüş meýdanyny talap edýän gözegçilikler üçin kombinirlenen zerkalo-linzaly teleskoplar gurlup başlanýar. Bu teleskoplarda zerkalonyň aberrasiýasy ýuka, köplenç ultramelewşe şöhleleri geçirýän aýnadan ýasalan linzanyň kömegi bilen düzedilýär.

Reflektorlaryň zerkalolary geçmişde (XVIII-XIX asyrlarda) ýörite metal garyndydan ýasalypdyr. Ýöne soňra tehnologik sebäplere görä optikler aýnadan ýasalan zerkalolara geçýärler. Aýna zerkalo ýörite işlenip taýýarlanandan soň, ýukajyk edip, ýokary serpiçdirme koeffisiýenti bolan metal gatlak çalylýar (alýumin plýonka).

Teleskopyň esasy häsiýetnamalary onuň obýektiwiniň D diametri we F fokus aralygydyr. Diametr näçe uly boldugyça, teleskop şonça-da köp Φ ýagtylyk akymyny ýygnaýandyr:

$$\Phi = ES = \frac{\pi D^2 E}{4}, \quad (7.1)$$

bu ýerde E – obýektiwiň ýagtylandyrylyşy, S – onuň meýdany. Ýene bir wajyp häsiýetnamalaryň biri otnositel yş diýilýän ululykdyr:

$$A = \frac{D}{F}. \quad (7.2)$$

Nokatlanç däl, gabaraly obýektiň fokal tekizlikde döredýän ýagtylandyryşy

$$E' \sim \left(\frac{D}{F}\right)^2 \quad (7.3)$$

deňdigine göz ýetirmek aňsatdyr.

Şonuň üçin, gabaraly gowşak obýektler, dumanlyklar, kometalar surata düşürilende otnositel ulurak yş bolmagy wajypdyr. Emma otnositel yşyň ulalmagy bilen okdan daşary aberrasiýalar örän çalt artýandyr. Otnositel yş näçe uly boldugyça, aberrasiýany aýyrmak sonça-da çylşyrymlaşýandyr. Şonuň üçin adatça reflektorlaryň otnositel yşy 1:3-den uly bolmaýar. Zerkalo-linzaly sistemalar we çylşyrymly obýektiwler käbir ýagdaýlarda otnositel yşy 1:1 we ondan hem uly bolmagyny üpjün edýärler.

Wizual teleskop üçin, obýektiwiň we okulýaryň fokus aralyklarynyň gatnaşygy bilen kesgitlenýän, ulaldyş wajyp häsiýetnamalaryň biridir:

$$W = \frac{F}{f}.$$

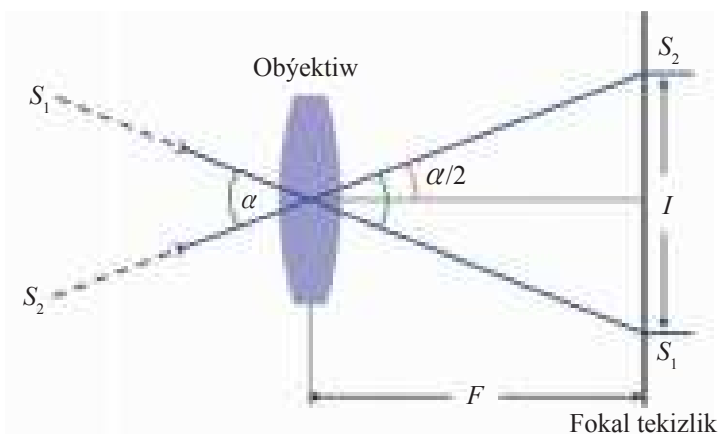
Eger guralсыз, ýöne göz bilen burç aralyklary 2'-dan kiçi bolmadyk iki ýyldyzy tapawutlandyryp, seljerip bolýan bolsa, onda teleskop bu çägi n esse kiçeldýändir (emma bu gowulandyрма çäksiz dälär).

Surata düşürilen ýagdaýda fokal tekizlikde *şekiliň masştaby* wajypdyr. Bu ululyk 1 mm-e düşýän burç ölçeg birliklerinde aňladylyp bilner. Şekiliň masştabyny tapmak üçin, burç aralyklary α bolan şekiliň iki nokadynyň aralyklarynyň çyzykly ölçegini bilmek zerurdyr:

$$\ell = 2F \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (7.4)$$

bu ýerde F – obýektiwiň fokus aralygy. Bu formulanyň alnyşy 93-nji suratdan düşnükli.

α burçuň kiçi bahalarynda, eger α radianlarda bolsa



93-nji surat. Fotografik şekiliň çyzykly ölçegleri

$$\ell = F\alpha,$$

eger α graduslarda bolsa:

$$\ell = F \cdot \frac{\alpha}{53^{\circ},7}.$$

Onda şekiliň masştaby:

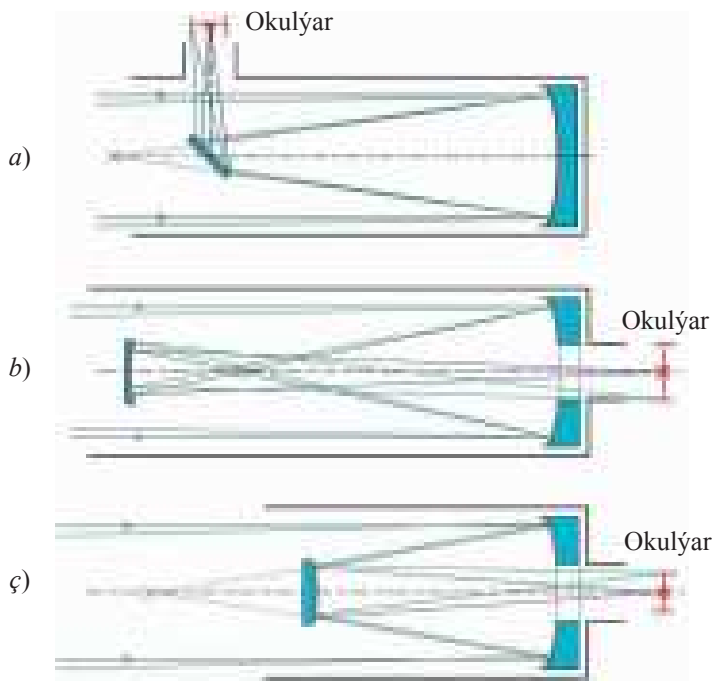
$$\mu = \frac{\alpha}{\ell} \quad (7.5)$$

eger F ululyk mm -de aňladylan bolsa, ℓ hem mm -de bolar. μ masştab α ululygyň ölçeg birligine baglylykda gradus gatnaşan millimetrlerde ($^{\circ}/mm$), duganyň minutlary gatnaşan millimetrlerde ($'/mm$), duganyň sekundy gatnaşan millimetrlerde ($''/mm$) ölçenýär.

Günüň we Aýyň burç diametrleri takmynan $0^{\circ},5$ deňdir. Teleskopyň fokus aralygy $F = 1000 \text{ mm}$ bolanda, onuň fokal tekizliginde alynýan Günüň we Aýyň şekiliniň diametri 10 mm töweregidir. Onda masştab $\mu = 0^{\circ},5/10 = 0^{\circ},05/mm$ ($0^{\circ},05 \text{ mm}^{-1}$).

Parabolik zerkalonyň gös-göni fokusynda gözegçilik etmek göz önünde tutulan teleskop-reflektora *göni fokusly reflektor* diýilýär. Köplenç reflektorlaryň has çylşyrymly sistemalary ulynylýar. Mysal üçin, fokusyň önünde goýlan tekiz zerkalonyň kömegi bilen fokusy turbanyň çäklerinden gapdala çykarmak bolýar (*Nýutonyň fokusy*). Fokusdan öňde ýerleşdirilen güberçek zerkalonyň kömegi bilen fokus aralygy uzaldyp, esasy zerkalonyň merkezindäki yşdan





94-nji surat. Reflektor-teleskoplaryň käbir görnüşleri.
a – Nýuton, *b* – Gregori, *ç* – Kassegren sistemalary

daşyna çykaryp bolýar (*Kassegren fokusy*) we ş.m. Reflektorlaryň has çylşyrymly sistemalarynyň birnäçesi 94-nji suratda görkezilendir. Bu sistemalar teleskopa kabul ediji gurluşlary birikdirmek üçin amatlydyr, ýöne goşmaça serpikmeler sebäpli ýagtylygyň köp ýitgisine getirýändir.

Teleskopy obýekte ugrukdyrmak we ony yzarlamak çylşyrymly tehniki meseledir. Häzirki zaman obserwatoriýalary diametri onlarça santimetrden birnäçe metre ýetýän teleskoplar bilen enjamlaşdyrylandyr. Häzirki döwürde iň uly teleskoplaryň biri diýip Ýewropanyň Günorta obserwatoriýasynda oturdylan, uly aýnasynyň diametri 8,2 metre ýetýän, VLT teleskop sistemasy hasaplanylýar. Bu sistema 4 teleskopdan ybarat bolup, bir teleskop sistemasyny emele getirýär we aýnasynyň ululygy 16 metre ýetýän teleskop ýaly işleýär. Bulardan başga-da Gawaý adalaryndaky diametri 10 metre ýetýän «Kek-1», diametri 8,2 metre ýetýän «Subaru» we ýene-de birnäçe teleskoplar uly teleskoplar diýlip hasaplanylýar.

Teleskopyň guralynyň (montirowkasy) özara perpendikulýar bolan iki oky bardyr we olaryň daşynda öwürüp, teleskopy asmanyň islendik ýerine ugrukdyryp bolýandyr. *Wertikal-azimutal* diýilýän guralda oklaryň biri zenite ugrukdyrylandyr, beýlekisi bolsa gorizontal tekizlikde ýerleşdirilendir. Bu guralda uly bolmadyk, göçürüp bolýan teleskoplar gurnalýar. Uly teleskoplar, düzgün boýunça, *ekwatorial* guralda gurnalýar. Onuň oklarynyň biri dünýäniň polýusy-na ugrukdyrylan (polýar oky), beýleki oky bolsa asman ekwatorynyň tekizliginde ýatýar (ýapgytlyk oky). Ekwatorial guralda guralan teleskopa *ekwatorial* diýilýär.

Ekwatorialda asman ýagtyltgyjyny yzarlamak üçin ony diňe polýar okuň daşynda, sagat burçunyň artýan ugrunda öwürmek ýeterlikdir, sebäbi ýagtyltgyjyň ýapgytlygy üýtgeýän däl. Bu öwürme sagat mehanizmi tarapyndan awtomatik ýerine ýetirilýär. Ekwatorial gurluşyň birnäçe görnüşleri bardyr. Aram diametrli (50-den 100 *sm*-e çenli) teleskoplary köplenç «nemes» guralynda gurýarlar (95-nji surat). Onuň polýar oky bilen ýapgytlyk oky sütünä direlýän parallaktik di-regi emele getirýär. Ýapgytlyk okunda, sütüniň bir tarapynda turba, beýleki tarapynda bolsa deňagramlaşdyrýan ýük ýerleşdirilendir.

«İňlis» guralynyň «nemes» guralyndan tapawudy onuň polýar oky, oňa goşmaça durnuklylyk berýän, uçlary bilen iki, demirgazyk we günorta sütünlere oturdylandyr (96-njy surat). Kä-



95-nji surat. Nemes guraly



96-njy surat. İňlis guraly





a)



b)

97-nji surat. Ramaly gural



98-nji surat. Amerikan guraly



99-nji surat. Selostat

wagt inlis guralynda polýar oky dörtburç rama bilen çalyşýarlar, turba ramanyň içinde ýerleşen bolýar (97-nji a surat). Bular ýaly gurluş teleskopy asmanyň polýar bölegine ugrukdyrmaga mümkinçilik bermeyär. Eger polýar okuň demirgazyk podşipnigini nal görnüşli etsek (97-nji b surat), onda bu çäklendirilmeler bolmaz.

Demirgazyk sütün bilen podşipnigi düýbünden aýryp hem bolýar. Onda «amerikan» guraly bolýar we oňa «wilka» hem diýilýär (98-nji surat).

Sagat mehanizmi mydama takyk täsir etmeyär we ekspozisiýasynyň dowamlylygy kä halatlarda birnäçe sagatlara ýetýän surat-

lar düşürilende teleskopyň ugrukdyrylyşynyň takyklygyny yzarlamaly we wagtal-wagtal oňa düzediş bermeli bolýar. Düzediş girizmek üçin esasy teleskop bilen bir guralda bile gurnalan, uly bolmadyk, kömekçi teleskop peýdalanylýar. Kompýuterleriň ulanylmagy we wertikal-azimutal guralda iki okuň daşynda endigan öwürmek asman jisimlerini has takyk yzarlamaga mümkinçilik berýär. Ilkinji wertikal-azimutal guralda gurnalan in uly optiki teleskop, ol alty metrlik reflektordyr.

Güni öwrenmek bilen baglanyşykly meseleleriň köpüsinde şekiliň örän uly masştabyny, ýagny uly fokus aralygyny almak zerurdyr. Şol sebäpli Güni öwrenmek üçin niýetlenen teleskoplary köplenç hereket etmez ýaly berkidýärler. Bu ýagdaýda teleskopyň optiki sistemasyna ýagtylyk *selostat* diýilýän ýörite gurluşyň kömegi bilen ugrukdyrylýar (*99-njy surat*).

Selostat tekiz zerkalolar (adatça iki) sistemasydyr. Bu sistema asmanyň gije-gündizlik aýlanmasyna garamazdan, asman ýagtyltgyjyndan gelýän ýagtylyk şöhlesiniň dessesini mydama berlen, üýtgemeyän ugurda serpikdirýändir. Onuň üçin selostatyň zerkalalarynyň biri polýar okuň daşynda, asmanyň gije-gündizlik aýlanma ugry boýunça, 48 sagatda bir aýlaw tizlik bilen, haýallyk bilen aýlanýar. Hereket etmeyän ýagtyltgyçdan gelýän ýagtylyk şöhlesi şunlukda iki esse uly tizlik bilen öwrülüp, 24 sagatda bir aýlaw ederdi (serpikme burçunyň düşme burçuna deň bolany üçin). Ýagtyltgyjyň özüniň edil şol tizlik bilen hereket edýänligi sebäpli, bu öwrülme kompensirlenýär we şöhle üýtgemeyär, şol bir ugur boýunça serpikdirilýär.

Güne gözegçilik etmek üçin niýetlenen uly teleskoplaryň iki esasy: *wertikal* we *gorizontal* görnüşleri bardyr. Wertikal görnüşe başgaça minara görnüşli hem diýilýär.

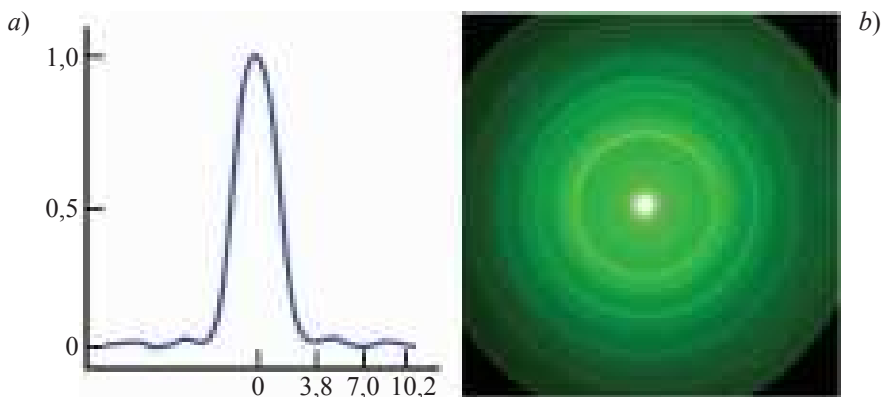
Minara görnüşli teleskopda selostat şöhläni wertikal aşak ugrukdyrýar, Günün şekilini gurýan optiki sistema wertikal boýunça ýerleşdirilýär. Spektral we beýleki kabul ediji, derňeýji enjamlar minaranyň düýbünde ýerleşýän tejribehanada gurulýar. Gorizontal teleskopda selostat şöhläni, şekili gurýan optiki sistemanyň ýerleşen ugry bolan, gorizontal ugurda ugrukdyrýar. Gurluşy boýunça gorizontal teleskop has amatlydyr, ýöne Ýer üstüne ýakyn gatladaky atmosfera tolgunmalarynyň şekiliň hiline ýetirýän täsiri wertikal teleskopdakydan güýçlüdir.



Gün atmosferasynyň iň daşky we seýreklendirilen bölegi bolan Gün täjini, köp ýyllaryň dowamynda, diňe seýrek doly Gün tutulma pursatlarynda gözegçilik edip bolupdyr. Gün täjiniň ýitiligi onuň diskiniň ýitiliginden 10^6 esse azdyr. Adaty şertlerde Günden gelýän ýagtylyk şöhleleri Ýeriň atmosferasynda we teleskopda dagynyk serpigip, Günün daşynda ýalkym halkasyny döredýär, onuň fonunda täji saýgaryp bolýan dälidir.

Gün tutulmasynyň doly fazasy wagtynda Aý Günün diskini ýapýar, garaňkyran asmanda, Aýyň garaňky diskiniň daşynda ýalpyldap, Günün täji görünýär. Köp astronomlar we optikler Günün täjini tutulmalardan başga wagty görmäge mümkinçilik berýän teleskopy ýasamaga synanyşypdyrlar. Bular ýaly teleskopy gurmak, ilkinji bolup belli fransuz astrofizigi Lio başardypdyr we ol bu maksat üçin bir linzaly obýektiwli refraktory ulanypdyr. Bu sistema teleksopda dagynyk serpigen ýagtylygyň minimumyny üpjün edýär. Atmosferada dagynyk serpikmäni azaltmak üçin, Lio öz enjamyny dagyň üstünde ýerleşdirýär. Bu guraly *tutulmasyz* (tutulmadan daşgary) *koronograf* diýip atlandyrýar. Ol teleskopyň içinde gözegçiden Günün diskiniň şekiliniň önüni ýapýan, «emeli Aýy» ýerleşdirýär. Bu enjam Günün täjine wizual gözegçilik etmäge we onuň iň ýiti emission çyzyklarynyň şöhlelerinde surata düşürmäge mümkinçilik beripdir. Häzirki döwürde tutulmadan daşgary koronograflar köp ýaýrandyr we olarda geçirilýän gözegçilikler Gün Gullugynyň maksatnamasyna girýändir. Umumy maksatlar üçin niýetlenen Gün teleskoplaryndan tapawutlylykda, tutulmadan daşgary koronograflar adaty ekwatorial guralda gurnalýarlar.

Ýagtyltgyjyň teleskopda alynýan şekiliniň hili näme bilen çäklendirilýär diýlen soragyň ýüze çykmagy tebigydyr. Bu soraga ýüzleý seredilende ulaldyş näçe uly boldugyça (ýa-da fotografik teleskopda masştab näçe uly boldugyça), planetalaryň disklerinde şonça köp detallary seljermek, biri-birine has golaý ýerleşen goşa ýyldyzlary tapawutlandyrmak we ş.m. mümkin bolýajak ýalydyr. Hakykatda bolsa bu beýle dälidir. Bu ýerde difraksiýa hadysasy bilen baglanyşykly bolan prinsipial çäklendirme bardyr. Difraksiýa sebäpli kemsiz, ideal obýektiw hem nokatlanç obýektiň şekilini nokat görnüşinde gurup bilmeyär. Nokadyň ýerine, intensiwligi şekiliň merkezinden



100-nji surat. a) Nokatlanç çeşmäniň difraksion şekilinde ýitiligiň paýlanyşy;
b) Nokatlanç çeşmäniň güýçli ulaldylan difraksion fotosuraty

daşlaşdygymyzça kemelýän, difraksion halkalaryň sistemasy daşyny gurşap alan, tegelek tegmil alynýandyr (100-nji surat).

Merkezi tegmiliň burç diametri

$$\delta = \frac{\lambda}{D} \text{ radian}, \quad (7.6)$$

bu ýerde λ – tolkun uzynlygy, D – teleskopyň diametri. $\lambda = 0,55 \text{ mk}$ (ýaşyl ýagtylyk) we $D = 100 \text{ sm}$ bolsa, onda $\delta = 0,55 \cdot 10^{-6} \text{ radian} = 0'',1$. Iki nokady (mysal üçin, biri-birine golaý ýerleşen ýyldyzy) biri-birinden diňe aralaryndaky uzaklyk δ -dan uly bolan ýagdaýynda seljerip bolýandygy aýdyňdyr. Şu minimal δ burça teleskopyň *nazaryýet burç çözüp bilijiligi* diýilýär. Amalyýetde uly teleskoplaryň burç çözüp bilijiligi başga täsir – *atmosferanyň sandyramasy* bilen çäklendirilýändir.

Sandyrama atmosferanyň optiki birhilli dälligi we asuda dälligi sebäpli ýüze çykýandyr. Uly bolmadyk aýry-aýry howa massalary biri-birine otnositellikde hereket edýärler, olardaky basyş üýtgeýär, netijede şöhläniň ýolunyň ugrunda, atmosferanyň dürli nokatlarynda döwürleme koeffisiýenti dürlüdür. Şöhle atmosferadan geçende döwürlýär we gyşarýar, bu gyşarmanyň ululygy we ugry wagtyň geçmegi bilen üýtgeýändir. Atmosferadaky birhilli dällikleriň minimal ölçegi 10 sm töweregidir, şonuň üçin teleskopyň diametri 10 sm -den köp uly bolsa, ýyldyzyň şekili bulaşyk bolýandyr. Eger teleskopyň diametri kiçi



bolsa, onda şekil бүтewiligine yrgyldaýandyr. Atmosfera sandyramasy sebäpli ýyldyzyň alynýan bulaşyk şekiline sandyrama diski diýilýär. Sandyrama diskiniň diametri ýerli tebigy şertlere, ýagny «astroklimate», şeýle hem teleskopyň we guralyň ölçeglerine, gurluşyna baglydyr.

Kosmiki jisimler elektromagnit energiýasyny ýygylgyň örän giň çäklerinde gamma şöhlelerinden başlap tä has uzyn radiotolkunlara çenli aralykda şöhlelendirýändirler (§94 seret). Kosmiki obýektleriň radioşöhlelenmesi, radioteleskop diýilýän, antennadan we örän duýgur kabul edijiden ybarat bolan gurluşyň kömegi bilen kabul edilýär. Häzirki wagtda kosmiki radioşöhlelenme bir millimetrden başlap onlarça metrler çenli tolkun uzynlyklarda öwrenilýändir. Millimetr, santimetr, desimetr we metr uzynlykly tolkunlary kabul edýän radioteleskoplaryň antennalary, köplenç adaty astronomik reflektorlaryň zerkalalaryna meňzeşlikde, parabola görnüşli serpikdirijilerdir. Paraboloidiň fokusynda, zerkalo tarapyndan oňa ugrukdyrylýan radioşöhlelenmäni ýygnaýan gurluş-şöhlelendiriji ýerleşdirilýär. Şöhlelendiriji kabul edilen energiýany kabul edijiniň girişine berýär, güýçlendirilenden we detektirlenenden soň ölçeýji enjama berilýär, maglumaty göterijä ýazylýar.

Radioastronomik zerkalolar optiki zerkalolar ýaly takyklyk bilen taýýarlamagy talap etmeýärler. Zerkalo ýoýulma bermez ýaly, berlen parabolik görnüşden gyşarmalar, ön belläp geçişimiz ýaly, λ tolkun uzynlygynyň $\lambda/8$ böleginden uly bolmaly däl. Mysal üçin, $\lambda = 10\text{ sm}$ tolkun uzynlygy üçin zerkalonyň takyklygy 1 sm bolsa ýeterlikdir. Ondan başga-da, radioteleskopyň zerkalosyny bir бүтеwi materialdan etmän, paraboloidal görnüşli bolan karkasa (sudura) metallik tor çekmek hem mümkindir. Eger zerkalonyň oklar boýunça öwrülmesini şöhlelendirijiniň süýşmesi (10° -dan 20° -a çenli çäklerde) bilen çalşysak, onda radioteleskopy hereket etmez ýaly berkidip bolýandyr. Bu özbuluşlyklaryň esasynda radioteleskoplar optiki teleskoplardan ölçegleri boýunça köp uly bolup bilýärler.

Dünýäde iň uly bir бүтеwi zerkaloly (doly profilli) radioastronomik antennanyň 300 m diametri bardyr we ol Aresibo (Puerto-Riko) obserwatoriýasynda ýerleşendir. Bu antenna paraboloid görnüşli berlen, beton bilen berkidilen we betonyň üstüne metal örtük örtülen tebigy çöketlikde, ýagny öçen wulkanyň kraterinde gurlandyr (*101-nji*

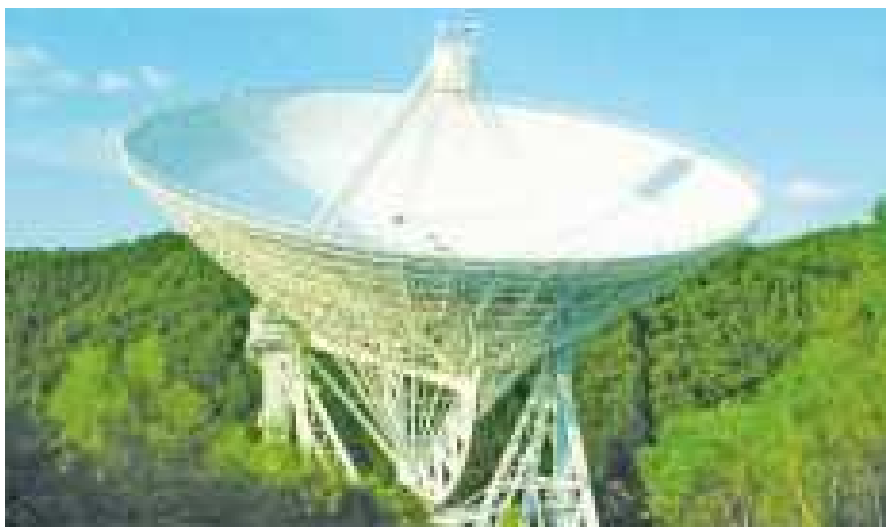


101-nji surat. Aresibodaky (Puerto-Riko) 300-metrlik radioteleskop

surat). Zenite ugrukdyrylan, hereket etmeýän bu antenna asman sferasynyň islendik nokadyndan gelýän radiotolkunlary kabul etmäge mümkinçilik bermeyär. Ýöne Ýeriň gije-gündiziň dowamyndaky hereketi we antennanyň şöhlelendirijisini süýşürüp bolýandygy asmanyň ep-esli bölegine gözegçilik etmäge mümkinçilik berýär.

Ölçepleri kiçi bolan radioastronomik zerkalolar wertikal-azimutal ýa-da ekwatorial guralda (montirowka) gurnalýar. Bular ýaly görnüşli iň uly, diametri 100 m bolan antenna Germaniýa Federativ Respublikasynda gurnalandyr (*102-nji surat*). Emma äpet antennalar millimetr uzynlykly tolkunlarda işläp bilmeýärler. Sebäbi uly ölçegli parabolik görnüşli üsti millimetriň ondan bir üleşleriniň takyklygynda işläp taýýarlamak örän çylşyrymlydyr. Has gysga tolkunlarda işlemek üçin niýetlenen, ýokary takyklygy bolan gurallara Russia Federasiýasyndaky 22 metrlik radioteleskoplary degişlidir. Örän uly ölçegli radioteleskoplar kabul edilýän şöhlenenmäni bir şöhlelendirijä fokusirleýän, köp sanly, aýry-aýry zerkalolardan gurnalyp bilýändir. Oňa mysal edip, Russia Federasiýasynyň RATAN-600 radioteleskopyny görkezmek bolar. Bu radioteleskop 600 metr diametrli, paraboloidiň segmentini emele getirýän, $2 \times 7,4 m$ ölçegli 900 sany tekiz zerkalolardan ybarat bolan, ýapyk halka görnüşlidir. Kiçi zenit aralyklarda

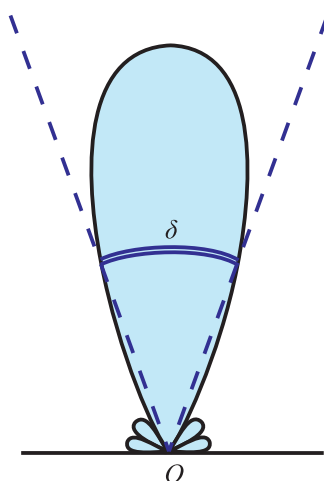




102-nji surat. 100-metrlik radioteleskop

bütün halka, uly zenit aralyklarda bolsa onuň käbir bölegi işläp bilýändir. Bu görnüşli antennalara doldurylmadyk aperturaly antenna diýilýär.

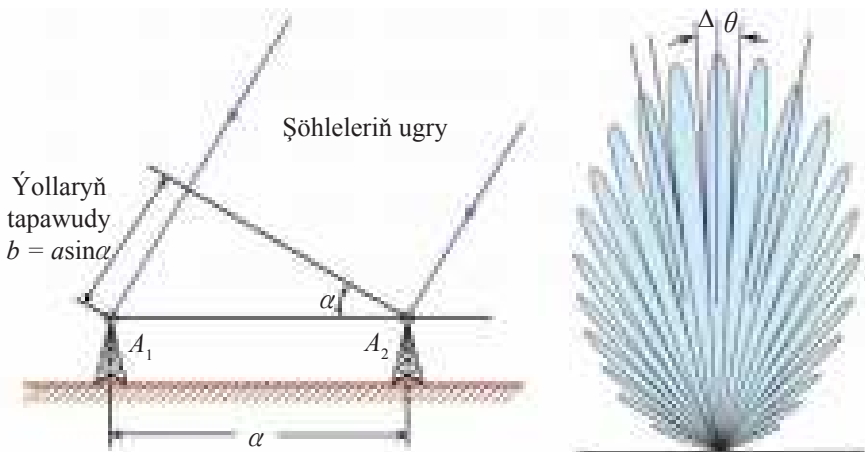
Uzynlygy birnäçe metr we ondan hem uly bolan tolkunlarda parabolik antennalar ulanylmaýar. Onuň üçin, özara elektrik baglanyşygy, radioteleskopyň kabul etmegi üçin zerur bolan ugrukdyryşy üpjün edýän, köp sany dipol antennalardan ybarat sistemalar peýdalanylýar.



103-nji surat. Antennanyň ugrukdyrylyş diagrammasy

Radioteleskoplaryň burç çözüp bilijilik güýjüni beýan etmek üçin ýörite häsiýetnama bolan ugrukdyrylyş diagrammasy ulanylýar. Radioteleskopyň duýgurlygynyň radioşöhlenenmäniň nokatlanç çeşmesiniň antenna görä ýerleşişine baglylygyna ugrukdyrylyş diagrammasy diýilýär. Simmetrik parabolik antennaly radioteleskopyň ugrukdyrylyş diagrammasy onuň okuna görä simmetrikdir. Bular ýaly diagrammanyň görnüşiniň mysaly 103-nji suratda gör-





104-nji surat. Radiointerferometr:
 çepde – ikiantennaly radiointerferometriň çyzgysy;
 sagda – ikiantennaly interferometriň ugrukdyryş diagrammasy

kezilen. Radioteleskopyň burç çözüp bilijiligi (iki çeşmäniň aýry-aýrylygyny seljerip kabul edýän, çeşmeleriň arasyndaky iň kiçi burç), «kuwwadyň ýarysy boýunça» ugrukdyrylyş diagrammasyň giňligine takmynan deňdir (*103-nji surat*, δ – burç). Nazaryýet boýunça burç çözüp bilijiligi çäklendirýän fiziki sebäp, edil optiki teleskopdaky ýaly, difraksiýadyr.

Kabul edilýän tolkun uzynlyklaryň örän ululygy sebäpli, örän uly ölçeglerine garamazdan, radioastronomik zerkalalaryň burç çözüp bilijiligi boýunça optiki teleskoplardan köp pesdirler.

300 metrlik Aresibo antennasy 70 sm işçi tolkun uzynlykda üpjün edýän burç çözüp bilijiligi

$$\delta = \frac{0,7}{300} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{radian} \approx 8',$$

ýagny, orta optiki teleskopyň çözüp bilijiliginiň (1-2") çäğinden birnäçe ýüz esse pesdir. Oňa garamazdan, teleskoplaryň çözüp bilijiligini deňleşdirmäge mümkinçilik berýän ýörite usul bardyr. Ony radiointerferometriň kömegi bilen ýerine ýetirip bolýandyr.

Ýönekeý *radiointerferometr* biri-birinden interferometriň esasy (bazasy) diýip atlandyrylýan, a aralykda ýerleşdirilen, iki antennadan ybarat bolan sistemadyr (*104-nji surat*). Antennalaryň ikisiniň hem



şöhlelendirijisi ýörite simler (fider) boýunça kabul edilen signaly şol bir kabul edijiniň girişine berýär.

A_1 antenna elektromagnit tolkun A_2 antenna garanynda käbir gijä galma bilen gelýär. Eger gijä galma («ýollaryň tapawudy») bitin tolkun uzynlygyna deň bolsa,

$$b = a \sin \alpha = n \lambda$$

onda signallar kabul edijiniň girişinde goşulýarlar, sebäbi olaryň fazalary birmeňzeş bolýar. Eger-de

$$b = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

bolsa, onda signallar ters fazada gelýändigleri üçin aýrylýarlar. Netijede interferometriň ugrukdyrylyş diagrammasy esasa parallel bolan ugurda maksimumlarynyň (minimumlarynyň) burç aralygy

$$\Delta \theta = \arcsin \frac{(n+1)\lambda}{a} - \arcsin \frac{n\lambda}{a} \approx \frac{\lambda}{a} \quad (7.7)$$

deň bolan, insizje ýapraklardan ybaratdyr. Doly ugrukdyrylyş diagrammasynyň görnüşi (esasyň çyzygynyň üstünden geçýän tekizligiň kese-keseginde) 104-nji suratda görkezilen.

a esasyň aralygyny örän uly alyp hem bolýar:

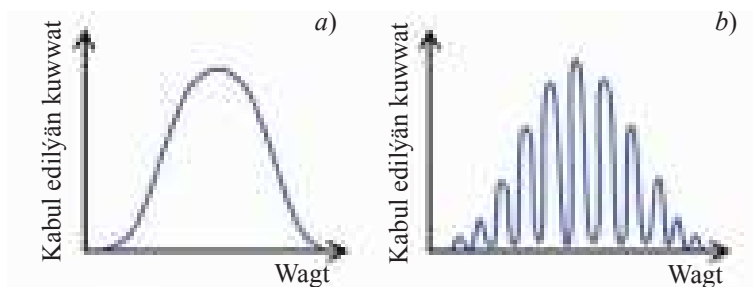
$$a \gg D,$$

şonuň üçin interferometrleriň kömegi bilen örän golaý ýerleşen nokatlanç çeşmeleri biri-birinden seljerip, çözüp bolýar.

Nokatlanç çeşmäniň radioşöhlelenmesi gözegçilik edilende bir antenna kabul edilýän bolsa, onda 105-nji a suratda görkezilen ýaly ýazgy, interferometre kabul edilýän bolsa, onda 105-nji b suratda görkezilen ýaly şekili alarys. Eger çeşmäniň burç ölçegleri $\Delta \theta$ -dan köp uly bolsa, onda çeşme interferometr tarapyndan kabul edilmeýär (registrirlenmeýär). Esasyň uzynlygyny üýtgedip, çeşmäniň bir koordinata boýunça ölçeglerini we onuň ýitiligiňiň paýlanylyşyny kesgitläp bolýar. Şu ölçegleri a esasyň ugrukdyrylyşyny üýtgedip geçirsek, onda ýitiligiň başga koordinata boýunça paýlanylyşyny bilip bileris.

Iki özbaşdak kabul edijileri ulanyp radiointerferometrik gözegçilikleri geçirmegiň usulyýeti işlenip düzülendir. Bu usulda interferometriň antennalary biri-birinden münlerçe kilometr uzak-





105-nji surat. Radioşöhlenenmäniň nokatlanç çeşmesiniň ugrukdyrys diagrammasyndyň geçende ýazgysy:

a) ýeke antennada; b) ikiantennaly interferometrde

lykda bolup bilerler. Bu sistemalaryň kömegi bilen radioastronomiýada optiki teleskoplarda alynýan burç çözüp bilijiliginden köp ýokary, duganyň 10^{-4} sekundyna deň ululyklary almak başardandyr.

Radioastronomik usullar bilen Günüň we Aýyň, Gün sistemasyň planetalaryndan Merkuriýden başlap Uran, biziň Galaktikamyza degişli köp obýektleriň (aşatäze ýyldyzlaryň galyndylarynyň, pulsarlaryň, diffuz we planetar dumanlyklaryň, ýyldyzara gaz bulatlarynyň), galaktikadan daşary obýektleriň radioşöhlenenmeleri öwrenilendir. Radioastronomik gözegçilikleriň netijesinde galaktikadan daşary obýektleriň täze görnüşi – kwazarlar açylandyr. Radioastronomik barlaglar astrofizikanyň köp bölümlerinde örän wajyp netijeleri almaga mümkinçilik berdi.

Gözegçilik etmek üçin radiodiapazonyň optiki diapazon bilen deňeşdirilende käbir özboluşly artykmaçlyklary bar. Bulutlaryň radiotolkunlara täsiriniň ýetmeýänligi üçin radioteleskoplarda gözegçilikler bulutly howada hem geçirilýär. Ondan başga-da, has gowşak radioşöhlenenmeleriň kosmos çeşmelerine gündizine-de edil gijesine ýaly gowy gözegçilik edip bolýar, sebäbi Gün radiodiapazonda Ýeriň atmosferasyny «ýagtylandyрмаýar».

Infragyzyl çäklerde (1 mikrondan 1 millimetre çenli tolkun uzynlyklarda) adaty optiki teleskoplar peýdalanylýar. Bu tolkun uzynlyklarda esasy kynçylyk teleskopyň we atmosferanyň ýylylyk şöhlenenmesiniň päsgelçiligidir. Ondan başga-da, atmosfera infragyzyl şöhlenenmäniň köp bölegini güýçli siňdirýär. Ýöne spektriň käbir zolaklaryndaky şöhlenenmäni atmosfera ýeterlik derejede geçirýär.



Aýratyn kynçylyklar rentgen şöhlelenmelerine (0,1-den 10 angstrom tolkun uzynlyklary) gözegçilik edilende ýüze çykýar. Häzirki zaman ýalpyldatma we tekizleme usullary bu tolkunlary kabul etmäge mümkinçilik berýän takyklykda serpikdiriji üstleri (zerkalolary) ýasamaga mümkinçilik bermeýär. Emma, şöhläniň düşme we serpikme burçy normala görä 90° -a golaý bolanda («gyýtaklaýyn düşme») serpikdiriji üstüň işläp taýýarlanylyşyna bildirilýän talaplar peselýändir. Bu esasda işleýän teleskoplara gyýtak düşme teleskoplar diýilýär. Olar emeli hemralarda ýerleşdirilip, kosmos jisimleriniň rentgen şöhlelenmesini ölçemek üçin ulanylýar.

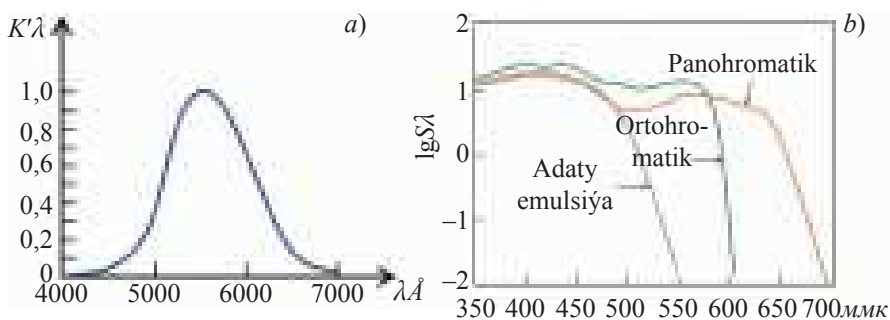
§103. Adamyň gözi kabul ediji hökmünde

Häzirki döwürde astronomiýada gözegçiniň gözi kabul ediji hökmünde köp ulanylýan däl, diňe astrometrik gözegçiliklerde we esasy teleskopyň ugrukdyrylyşyna düzediş girizilende ulanylýandyr. Astrofiziki barlaglaryň ähli görnüşleri diýen ýaly kabul edijiniň başga görnüşlerinde ýerine ýetirilýär.

Gözüň duýgurlygy tolkun uzynlygyna baglydyr. Ortaça gözegçiniň gözi tolkun uzynlygy $\lambda_m = 5550\text{\AA}$ (ýaşyl reňk) bolan şöhlelenmä has duýgurdyr. λ_m tolkun uzynlygyndan daşlaşdygymyzça (iki tarapa-da) gözüň duýgurlygy pese düşýär we 3900\AA hem-de 7600\AA tolkun uzynlyklarda nola öwrülýär. Bu tolkun uzynlyklary elektromagnit şöhlelenmesiniň wizual, göze görünýän böleginiň melewşe we gyzyl çäkleridir. Şöhlelenmäni kabul edijiniň duýgurlygynyň tolkun uzynlygyna baglylygyna onuň *spektral häsiýetnamasy* diýilýär. Adamyň gözünüň spektral häsiýetnamasyna köplenç *görüş egrisi* diýilýär. Dürli gözegçileriň görüş egrileri biri-birinden tapawutlanýandyr. Halkara ylalaşygy boýunça kabul edilen orta görüş egrisi gündiz wagty üçin 106-njy *a* suratda görkezilendir. Gijeki wagt üçin görüş egrisiniň maksimumy gysga tolkunlara tarap takmynan 450\AA süýşýändir.

Kabul edijiniň duýup bilýän, şöhlelenmäniň minimal akymyna onuň *duýgurlygynyň bosagasy* diýilýär. Adamyň gözünüň duýgurlygynyň bosagasy örän kiçidir we takmynan $10^{-9} \text{ egr} \cdot \text{s}^{-1} = 10^{-16} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ töweregidir. Bu ululyk takmynan 10^3 kwant/s degişlidir. Adamyň





106-njy surat. a) Gündiz üçin görüş egrisi;
b) fotoemulsiýalaryň spektral häsiýetnamalary

gözünüň bu duýgurlyga ýetmegi üçin, gözegçi garaňkyda käbir wagt bolup, oňa uýgunlaşmalydyr. Gözüň garaňka uýgunlaşmasy görejiň diametriniň ulalmagy, gije görüşiň duýgurlygynyň dikeldilmegi we ýagtylyga duýgur maddanyň ýüze çykmagy bilen baglanyşyklydyr. Netijede, göz gowşak ýagtylandyryşa duýgur bolýar. Uýgunlaşmak ukyby gözüň ýagtylandyryşyň giň çäklerinde (gündizden aňsama geçende ýagtylandyryş, mysal üçin, 10^8 esse üýtgeýär) işlemäge mümkinçilik berýär.

§104. Astrofotografiýa

XIX asyryň ikinji ýarymyndan başlap astronomiýada şöhlelenmäni bellige almak üçin fotografik usullar (surata düşürmek) giňden ulanylyp başlandy. Bu usul häzirki döwürde astronomiýanyň optiki usullarynda wajyp orun eýeleýändir. Uzak wagtyň dowamynda ýokary duýgurlygy bolan fotoplastinka eksponirläp, örän gowşak, ýagny wizual gözegçiliklerde görüp bolmaýan obýektleriň fotosuratlaryny alyp bolýandyr. Gözden tapawutlylykda fotoemulsiýa ýagtylygyň uzak wagtyň dowamyndaky täsirini toplamaga ukyplydyr. Fotografiýanyň wajyp häsiýetnamalarynyň biri onuň panoramalaýynlygy, ýagny birwagtyň özünde elementleriň örän köp sanynan ybarat bolan çylşyrymly şekiliň bellige alynmagy, surata düşürilmegidir. Ondan başga-da fotografik usul bilen alnan maglumat, wizual gözegçiliklerden tapawutlylykda, gözegçiniň gözünüň häsiýetnamalaryna bagly däldir.





107-nji surat. Siriusyň fotosuratlary

Bir sapar alnan fotografik şekil islendikçe wagtlap saklanýar we tejribehanalarda öwrenilýär. Ýyldyzlaryň fotosuratlary tegelekler görnüşinde alynýar (*107-nji surat*). Ýyldyz näçe ýiti boldugyça, şol bir ekspozisiýada, şonça-da uly diametrli tegelek alynýar. Ýyldyzlaryň fotografik şekilleriniň diametrleriniň tapawutlylygy diňe fotosurat bilen baglydyr we ýyldyzyň hakyky burç diametri bilen baglanyşykly däl. Ylmy maglumatlar almak üçin diňe negatiwler ulanylýar. Astronomiýada aýna plastinkalar, şeýle hem plýonkalar peýdalanylýar.

Negatiwler boýunça asman obýektleriniň otnositel ýerleşişleri öwrenilende fotoplastinkalary ulanmak amatlydyr. Asmanyň şol bir böleginiň dürli günlerde, aýlarda, ýyllarda alnan fotosuratlaryny özara deňeşdirip, üýtgeşmeler barada netije çykarylýar.

Kiçi planetalaryň we kometalaryň (Günden uzakda ýerleşen we guýruklary ýok wagty) ýyldyzlaryň arasyndaky süýşmesini, surata düşürilen wagtlarynyň tapawudy birnäçe gün bolan negatiwleri deňeşdirip, ýüze çykaryp bolýandy. Ýyldyzlaryň hususy hereketlerini, şeýle hem gaz dumanlyklaryndaky ýyldyzara maddanyň aýry-aýry goýalmalarynyň hereketlerini, surata düşürilen wagtlarynyň tapawudy onlarça ýyllara ýetýän fotosuratlary boýunça öwrenilýär. Üýtgeýän ýyldyzlaryň ýalpyldylarynyň üýtgemeleri, täze we aşatäze ýyldyzlaryň partlamalary dürli wagtlar pursatlary alnan negatiwleri deňeşdirilende ýeňil ýüze çykarylýandy.

Bular ýaly üýtgemeleri öwrenmek üçin ýörite enjamlar-stereo komparotor we blink-mikroskop ulanylýar. Stereokomparator üýtgemeleri ýüze çykarmak üçin hyzmat edýär. Ol gurluşy boýunça stereoskopa meňzeşdir. Dürli wagtda düşürilen iki plastinka, gözegçi olardaky şekilleri gabat gelyän ýagdaýda görer ýaly edip, ýerleşdirilýär. Eger, haýsy hem bolsa bir ýyldyz duýarly süýşen bolsa, onda ol surat tekizlikden «çykýar». Blink-mikroskop stereokomparatoradan deňeşdirilýän ýa birinji ýa-da ikinji plastinkanyň önüni ýapmaga mümkinçilik berýän ýapgyjyň barlygy bilen tapawutlanýar. Eger bu ýapgyjy çalt-çaltdan üýtgetsek, onda ýyldyzlaryň diňe ýerleşişlerini deňeşdirmek bilen çäklenmän, plastinkalardaky ýyldyzlaryň şekilleriniň ululyklaryny hem deňeşdirip bolýar. Şunlukda ýyldyzyň ýerleşişiniň üýtgemesi ýa-da ululygynyň üýtgemesi ýeňil ýüze çykarylýar. Ýyldyzlaryň şekilleriniň plastinkalardaky ýerleşen ýagdaýlaryny takyk ölçemek üçin koordinat ölçeýji enjamlar ulanylýar.

Negatiwiň garalmasy takmynan *E ýagtylandyrylyşyň* ekspozisiýaň *t* dowamlylygyna köpeldilmegi bilen kesgitlenýär. Bu baglanyşyk ýagtylandyrylyşyň kesgitli çäklerinde ýerine ýetýändir. Emulsiýanyň her görnüşü üçin onuň iň gowy işleýän ýagtylandyrylyşy we ekspozisiýanyň dowamlylygyny görkezmek mümkindir. Ýokary duýgurlygy bolan, az wagt ekspozisiýa üçin niýetlenen kino we fotoplýonkalar astronomiýada ulanyp bolýan dälidir.

Fotosurtalar astronomik obýektleriň fotometrik barlaglaryny geçirmäge, ýagny ýitiligini we ýyldyz ululygyny mukdar taýdan kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Onuň üçin negatiwiň garalmasynyň ýagtylandyrylyşa baglylygyny bilmek, ýagny negatiwi *kalibrowka* etmek zerurdyr. Garalma derejesini ölçemek üçin, intensiwligi bellige alynýan, ýagtylyk dessesini negatiwden geçirmeli. Onda *D* garalmany negatiwiň optiki dykzylygynyň üsti bilen aňladyp bolýar:

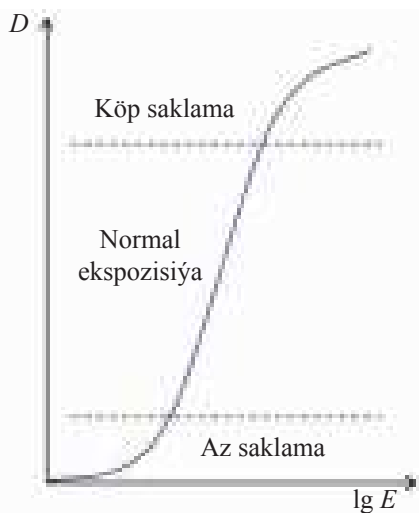
$$D = \lg \frac{I_0}{I}, \quad (7.8)$$

bu ýerde I_0 – düşýän şöhleleriň dessesiniň intensiwligi, I – negatiwden geçen dessäniň intensiwligi.

$$D = f(\lg Et) \quad (7.9)$$

baglanyşyga emulsiýanyň *häsiýetlendiriji egrisi* diýilýär (*108-nji surat*). Bu egriniň üç bölegini görkezmek bolar: az saklama bölegi,





108-nji surat. Fotoemulsiýanyň häsiýetlendiriji egrisi

bu ýerde egriniň dikligi Et -niň kiçelmegi bilen peselýär; normal ekspozisiýalar bölegi, bu ýerde egriniň dikligi maksimal we baglanyşyk çyzykly diýen ýalydyr; köp saklama bölegi, Et -niň ulalmagy bilen egriniň dikligi peselýändir. Dogry saýlanyp alnan ekspozisiýada garalma egriniň çyzykly bölegine degişli bolmalydyr. Häsiýetlendiriji egrini gurmak üçin, ýagtylandyrylyşlary belli gatnaşykda bolan, birnäçe (adadça 10 töweregi) meýdançanyň şekili emulsiýa çykarylýar. Bu işe *negatiwi kalibrlemek* diýilýär.

Häsiýetlendiriji egrini bilip, negatiwiň dürli nokatlaryna degişli ýagtylandyrylyşlary deňeşdirip bolýar. Nokatlanç däl obýektler, ýagny dumanlyklar ýa-da planetalar üçin izofotlary gurmak mümkin. Bulary bilmek ýitiligiň ýa-da ýalpyldynyň otnositel ölçegleri, ýagny otnositel fotometriýa üçin ýeterlikdir. Absolýut fotometriýa, ýagny ýitiligiň ýa-da ýalpyldynyň absolýut ululyklarynyň ölçegleri üçin kalibrowkadan başga *standartlaşdyrmany* geçirmek hökmandyr. Standartlaşdyrmak üçin emulsiýa ýitiligi belli bolan meýdançanyň şeklini çap etmeli (nokatlanç däl çeşmeler üçin) ýa-da negatiwde ýyldyz ululyklary belli bolan ýyldyzlaryň şekilleri bolmaly. Otnositel fotometriýada nokatlanç obýektleriň kalibrowkasy adadça ýalpyldysy belli bolan ýyldyzlar boýunça ýerine ýetirilýär.

Negatiwiň garalmalaryny ölçemek üçin fotoelektrik *mikrofotometrler* peýdalanylýar. Bu enjamlarda negatiwden geçen ýagtylyk dessesiniň intensiwligini fotoelement ölçelýär.

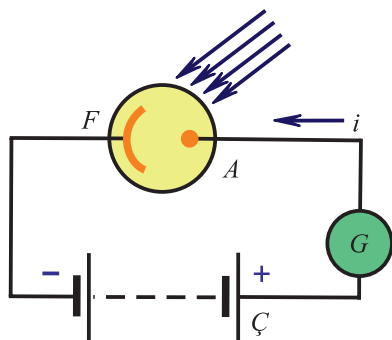
Fotografik plastinkany şöhlelenmäni kabul ediji hökmünde ulanylanda onuň esasy ýetmezçiligi – garlmanyň ýagtylandyrylyşa çyzykly däl baglylygydyr. Ondan başga-da garalma plastinkanyň

işläp taýýarlanylşyna hem baglydyr. Netijede, fotografik usul bilen geçirilýän fotometrik ölçegleriň takykglygy adatça 5-7%-den ýokary bolmaýar.

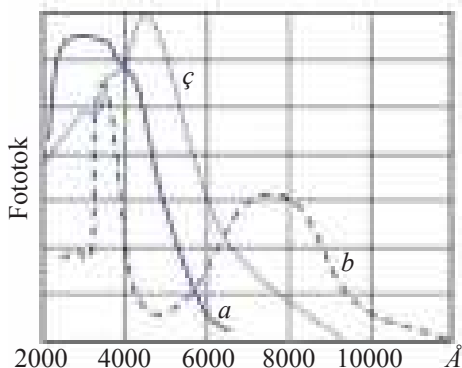
§105. Şöhlemenäni fotoelektrik kabul edijiler

Fotometriýanyň takykglygyny ýokarlandyrmak üçin teleskopyň fokusynda ýerleşdirilýän fotoelementler peýdalanylýar. Daşky fotoeffekt hadysasyna esaslanan fotoelementiň ulanylyşy 109-njy suratda görkezilen.

Fotoelementiň fotokatodyndan ýagtylygyň täsiri netijesinde elektronlar goparylýar we olar anoda tarap hereket edýär, fotoelementiň zynjyry boýunça tok (fototok) akýar. Fototok nokada düşýän ýagtylyk akymyna göni proporsionaldyr we bu proporsionallyk giň çäklerde saklanýandyr. Fotokatodyň duýgurlygy we spektral häsiýetnamasy wagtyň geçmegi bilen üýtgemeyär diýen ýalydyr. Fotoelementiň bu häsiýetnamalary olaryň kömegi bilen fotometrik ölçegleri, fotografik usullar bilen alyp bolmaýan, örän ýokary takykglyk (0,1% çenli) bilen geçirmäge mümkinçilik berýär. Ýokary takykglygy üçin fotoelektrik tehnikaýy häzirkizaman astrofizikada wajyp orun eýeleýändir.



109-njy surat. Daşky fotoeffekt hadysasyna esaslanan fotoelementiň ulanylyşy. F – fotokatod; A – fotoelementiň anody; G – galwanometr; Ç – iýmitlendiriji çeşme; i – fototok



110-njy surat. Fotokatodlaryň spektral häsiýetnamalary:
a) surma-seziýli;
b) kislorod-seziýli;
ç) multiaşgarly fotokatodlardyr



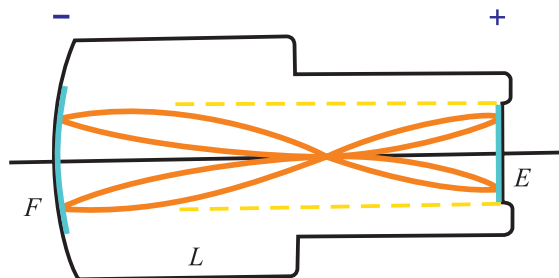
Belli bolşy ýaly, kwantyň energiýasy $\varepsilon = h\nu$ deňdir. Şonuň üçin fotoeffekti ýygylgy ν_0 -dan uly bolan şöhlemenme ýüze çykaryp biler (Eýnşteýniň kanuny)

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h}, \quad (7.10)$$

bu ýerde W_0 – çykyş işi. ν_0 – ýygylgyga fotoeffektiň gyzyly araçägi diýilýär. Bu ululyk fotokatodyň materialyna baglydyr. Arassa metallaryň çykyş işi örän uludyr we $\lambda > 3000 \text{ Å}$ bolan tolkun uzynlyklary üçin fotokatod taýýarlap bolmaýar. Şonuň üçin, çylşyrymly fiziki-himiki düzümi we çykyş işi kiçi bolan, ýörite fotokatodlar ýasalýar. Olaryň köp ulanylýanlary surma-seziýli, multiaşgarly we kislorod-seziýli fotokatodlardyr. Bu fotokatodlaryň spektral häsiýetnamalary 110-njy suratda görkezilen. 12500 Å-den uly tolkun uzynlyklary üçin fotokatodlar ýokdur. Sebäbi fotokatodyň çykyş işiniň kiçi bolýanlygy üçin fotoelektronlar bilen birlikde, ýylylyk hereketiniň netijesinde alan energiýalary çykyş işinden uly bolup, fotokatodtan gopan termoelektronlar hem ýüze çykýar. Termoelektronlaryň döredýän togy gowşak fototoklary ölçemäge päsgelçilik berýär.

Häzirki döwürde fotoelektrik kabul edijiniň çylşyrymly görnüşleri-fotoelektron köpeldijiler ulanylýar. Bu enjamlarda ikilenç elektron emissiýa hadysasy peýdalanylýar. Fotoköpeldijiden soň orta anod toguny ölçeyän ýa-da anod toguny düzýän aýry-aýry impuls-lary sanayan enjam ýerleşdirilýär. Her bir impulsyň bir fotoelektrona degişlidigi sebäpli bu usula elektronlary hasaplamak usuly diýilýär.

Ýagtylygy kabul ediji hökmünde fotoelement ýa-da fotoköpeldiji ulanylýan fotometrik enjama elektrofotometr diýilýär. 111-nji suratda ýyldyz elektrofotometriniň ýyldyz ululyklaryny fotoelektrik usul bilen ölçeyän enjamyň ýönekeýleşdirilen çyzgysy görkezilen. Bu ýerde a – diafragma, teleskopyň fokusynda ýerleşen; b – ýyldyza ugrukdyrmaga mümkinçilik berýän, prizmalı, süşürilýän okulýar; ζ – duýgurlygyň üýtgemeyänligini barlamak üçin niýetlenilen radioaktiw lýuminofor; d – ýagtylyk filtri; L – fotokatoda teleskopyň şekilini proyektirleýän linza, F – fotoköpeldiji, ζ_1 – fotoköpeldijini iýmitlendiriji çeşme; G – güýçlendiriji; ζ_2 – güýçlendirijini iýmitlendiriji çeşme; B – bellige alýan elektroölçeýji enjam.



112-nji surat. Elektron-optiki özgerdiji

Gaty gowşak bolmadyk ýyldyzlar üçin, elektrofotometriň köme­gi bilen $0^m,005\text{--}0^m,01$ takyklykda ölçemek mümkindir. Ýagtylyk fil­tr­lerini peýdalanyp, elektrofotometriň köme­gi bilen ýyldyzlaryň reňk häsiýetnamalaryny, eger optiki ýoluň ugrunda polýarlanmany derňeýji goýulsa, onda ýokary takyklyk bilen ýyldyzlaryň ýagtylygynyň polýarlanmasyny ölçäp bolýandyr.

Astronomik gözegçiliklerde şekili özgerdijiler, ýagny *elektron-optiki özgerdijiler* (EOÖ) we *television sistemalar* giňden ula­nylýar. Elektron-optiki özgerdiji (112-nji surat) fotokatoddan *F*, elek­tron linzadan *L* we lýuminofor ekrandan *E* ybaratdyr.

Elektron linza elektronlary ýeterlik uly energiýalara çenli tizlen­dirýän we olary kesgitli traektoriýalar boýunça hereket etmäge mej­bur edýän, položitel zaryadlanan elektroddyr. Özi hem katodyň her bir nokadyndan goparylan fotoelektronlaryň hersi ekranda diňe özüne degişli nokadyna düşýändir.

Netijede, ekranda fotokatoddaky şekile meňzeş, ýöne has ýiti­rāk şekil alynýar. Fotokatodlardan kwant çykyşynyň köplügi üçin EOÖ-ler adaty fotografiýalardakydan has gysga ekspozisiýaly şekilleri hasaba almaga mümkinçilik döredýär. Ekspozisiýada uly utuşlary kislorod-seziýli katodly EOÖ-ler berýändir.

Ýokary duýgurlygy bolan television trubkaly television sis­temalary hem örän gowşak obýektleri, kontrasty uly güýçlendi­rip, bellige almaga mümkinçilik döredýär. Ýöne bu sistemalar örän çylşyrymlydyr.

Spektriň infragyzyň çäginde ($\lambda > 1\text{ mk}$) şöhlelenmäni bel­lige almak üçin esasan hem, zaryady äkidijileriň konsentrasiýasy ýa-da şöhlelendirilende hereketi artýan, käbir ýarymgeçiriji mad-

dalaryň plýonka gatlaklaryndan ýa-da kristallaryndan ybarat bolan *fotogarşylyklar* ulanylýar. Bu hadysa fotogeçirijilik diýilýär we şöhlelenmäni millimetr tolkun uzynlyklara çenli bellige almaga mümkinçilik berýär.

Fotogarşylygyň spektral häsiýetnamasynyň gyzyň araçägi onuň materialynyň tebigatyna baglydyr. Spektriň infragyzyň çäginde duýgur bolan fotogarşylyklar düzgün boýunça pes temperatura çenli sowadylmagyny talap edýär.

Infragyzyň çäklerde ýokary duýgurlygy suwuk geliý bilen sowadylýan, *bolometrleriň* käbir görnüşleriniň kömegi bilen alnyp bilner. Bolometrler ýylylyk kabul edijileriniň şöhlelenmäni siňdirenlerinde temperaturasynyň ýokarlanmagyna esaslanan toparyna degişlidir. Bolometrlerde elektrik garşylygynyň temperatura baglylygy ulanylýar. Ýylylyk kabul edijileriň toparyna termoelektrik hadysasyna esaslanan termoparalar, şeýle hem şöhlelenme käbir göwrümde ýerleşen gaz tarapyndan siňdirilip, ony gyzdyryp giňeltmesine esaslanan optiki-akustik özgerdijiler (OAÖ) degişlidir. Termoparalar we OAÖ sowadylmasyz işleýärler we şöhlelenmäniň uly akymalaryny ölçemek üçin ýaramlydyr. Ýylylyk kabul edijileriň fotoelektrik kabul edijilerden artykmaçlygy olaryň duýgurlygynyň tolkun uzynlygyna bagly daldigi, ýagny selektiw daldigidir.

Emeli hemralarda oturdylan, rentgen şöhlelenmelerini kabul etmek üçin niýetlenen enjamlarda Geýgeriň hasapçylary, ssintillýasion hasapçylary we özboluşly fotokatodly fotoköpeldijiler ulanylýar. Geýgeriň hasapçylary iki elektrodly, rentgen şöhleleri üçin dury penjiresi bolan we ol şöhleleriň täsiri netijesinde ionlaşýan gaz bilen doldurylan, kolbadan ybaratdyr. Rentgen kwantlary gazdan geçýär we ion-elektron jübüdi emele getirýär, elektrodларыň aralygyndaky elektrik meýdanynda tizlendirilýärler, neýtral molekulalar bilen çakyşyp, olary ionlaşdyrýarlar. Netijede, ionlaryň we elektronlaryň sil görnüşli akymy döreýär we ol toguň impulsy görnüşinde bellige alynýar. Her bir impuls bir kwanta degişlidir.

Ssintillýasion hasapçy rentgen kwanty düşende ýagtylyk şöhlelenmesini berýän, maddanyň plastinkasyndan ybarat bolan ssintillýatordan we bu ýagtylyk şöhlelenmesini bellige alýan fotoköpeldijiden ybaratdyr. Rentgen kwantlaryny gös-göni kabul edýän katodly



fotoköpeldijiler hem bardyr. Olar ýaly ýagdaýda ssintillýatoryň zerurlygy aradan aýrylýar.

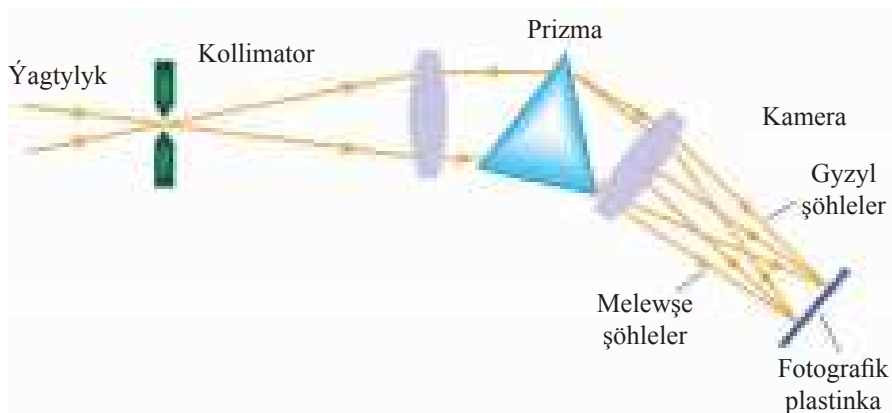
Ssintillýasion hasapçylaryň ýörite görnüşleri energiýalary 30MeW kiçi bolan gamma kwantlary ýüze çykarmak üçin hem ulanylýar. Energiýalary 30 *MeW* uly bolan gamma-kwantlar madda bilen özara täsirleşmesi netijesinde elektron-pozitron jübüdini emele getirýär we olar ionizasion kameralaryň, ýadro emulsiýalaryň kömegi bilen bellige alynýar. Eger kwantyň energiýasy 1000 *MeW* uly bolsa, onda onuň döredýän elektron-pozitron jübüdi atmosferada hereket edende ýeterlik ýitiligi bolan ýagtylanmany döredýär we ol Ýeriň üstünde ýörite gurnalan teleskopyň kömegi bilen ýüze çykarylyp bilner. Bu ýagtylanma akademik P.A.Çerenkow tarapyndan açylan optiki hadysasy bilen düşündirilýär. Bu hadysa elektron ýa-da pozitron, ýagtylygyň käbir gurşawda hereket edýän tizliginden (bu tizlik ýagtylygyň wakuumdaky tizliginden mydama kiçidir) uly tizlik bilen hereket edende ýagtylyk energiýasyny şöhlelendirýänligindedir. Bu şöhlelenme örän inçe (kiçi) burçda jemlenendir we oňa gözegçilik edip, elektron-pozitron jübüdiniň we ony döreden kwantyň gelen burçuny kesgitläp bolýar.

§106. Spektral abzallar

VI bapda asman ýagtyltgyçlarynyň spektrlerini öwrenip, olaryň himiki düzümi, temperaturasy, basyşy, aýlanmasy we beýleki häsiýetnamalary barada maglumat almagyň usullary görkezilipdi. Indi biz astronomiýada peýdalanylýan abzallaryň esasy görnüşlerine sere dip geçeliň. Ýyllyzlaryň we planetalaryň spektrlerine ilkinji bolup italýan astronomy Sekki XIX asyrdan gözegçilik edipdir. Ondan soňra köp alymlar spektral derňew bilen meşgullanandyrlar. Ilkibaşda wizual spektroskop ulanylypdyr, soňra spektrleri fotosurata düşürüp başlaýarlar, häzirki döwürde şeýle hem fotoelektrik ýazgylar etmek ulanylýandyr. Spektri fotografik usul bilen bellige alýan spektral abzallara spektrograf, fotoelektrik usul bilen bellige alýan abzallara bolsa spektrometr diýilýär.

Prizmalı spektrografyň optiki çyzgysy 113-nji suratda görkezilen. Prizmanyň önünde kollimatory emele getirýän ýarçyk we obýek-





113-nji surat. Prizmalı spektrografyň optiki çyzgysy

tiw ýerleşendir. Kollimator prizma parallel şöhleleriň dessesini ugradýar. Prizmanyň materialynyň döwme görkezijisi tolkun uzynlygyna baglydyr. Şonuň üçin, prizma düşen parallel şöhleleriň dessesi prizmadan tolkun uzynlygyna baglylykda dürli burçlar boýunça çykýar, ikinji obýektiv (kamera) fokal tekizlikde spektri berýär, bu spektr fotosurata düşürilýär. Eger kameranyň fokal tekizliginde ikinji ýarçygy ýerleşdirsek, onda spektrograf monohromatora öwrüler. Ikinji ýarçygy spektr boýunça süýşürüp ýa-da prizmany öwürüp, spektriň aýry-aýry inçejik böleklerini alyp bolýar. Indi monohromatoryň çykyş ýarçygyndan soň fotoelektrik kabul ediji ýerleşdirilse, onda spektrometri alarys.

Prizmalı spektrograflar bilen bir hatarda difraksion spektrograflar giňden ulanylýandyр. Bu abzallarda prizmanyň ýerine difraksion gözenek peýdalanylýar. Serpikdirýän difraksion gözenekler köp ulanylýandyр.

Serpikdiriji gözenek, parallel çyzyjyklar çyzylan, alýumin çaýylan zerkalodan ybaratdyр. Çyzyjyklaryň aralyklary we çuňluklary tolkunyň uzynlygy bilen deňeşdirerlikdir. Spektriň göze görüňän çäklerinde işleýän difraksion gözenekleriň çyzyjyklarynyň aralyklary $1,66 \text{ mkm}$ (1 mm -de 600 çyzyjyk) deňdir. Çyzyjyklar gözenegiň бүтін üsti boýunça göni we biri-birine parallel bolmalydyр hem-de çyzyjyklaryň aralyklary ýokary takyklyk bilen saklanylmalydyр. Şonuň üçin difraksion gözenekleri ýasamak örän çylşyrymly optiki önümçilikleriň biridir.



Prizmanyň kömegi bilen spektr alnanda, ýagtylygyň iki gurşawyň araçäginde döwülme hadysasy peýdalanylýar. Difraksion gözenegiň täsiri bolsa başga görnüşli hadysa-ýagtylygyň difraksiýasyna we interferensiýasyna esaslanandyr. Difraksion gözenek, prizmadan tapawutlykda, bir däl-de birnäçe spektri berýändir. Bu bolsa prizma bilen deňeşdirenimizde, belli bir derejede ýagtylygyň ýitgisine getirýär. Netijede, difraksion gözenekleri astronomiada ulanmak uzak wagtyň dowamynda diňe Günüň barlaglary bilen çäklenendir. Bu ýetmezçiligi amerikan optigi Wud aradan aýyrmagy başarandyr. Ol energiýanyň köp bölegi spektrleriň birinde toplanar ýaly, gözenegiň çyzyklaryna kesgitli profil bermegi teklipe edýär. Bular ýaly gözeneklere ugrukdyrylan ýa-da ešelettalar diýilýär.

Spektral abzalyň esasy häsiýetnamasy onuň *spektral çözüp bilijilik güýjüdir*

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda},$$

bu ýerde $\Delta\lambda$ – iki ýakyn goňşy çyzyklary biri-birinden seljerip bolýan iň kiçi aralyk. Çözüp bilijilik güýji näçe ýokary boldugyça, spektr şonça-da takyk derňeler we netijede şöhlelendirýän obýektiň häsiýetnamalary barada maglumat alnar. Ugrukdyrylan difraksion gözenekli spektral enjamlar, şol bir deň şertlerde, prizmalı enjamlar bilen deňeşdirilende, has ýokary çözüp bilijilik güýjüni üpjün edýärler.

Spektral enjamlaryň ýene bir wajyp häsiýetnamalarynyň biri burç dispersiýasydyr

$$C = \frac{\Delta\alpha}{\Delta\lambda}, \quad (7.11)$$

bu ýerde $\Delta\alpha$ – dispergirleýän elementden geçen we tolkun uzynlyklary $\Delta\lambda$ – tapawutlanýan parallel desseleriň aralygyndaky burç.

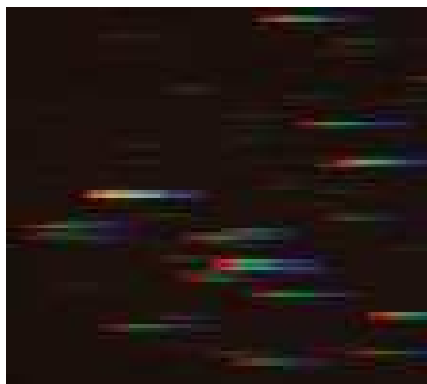
$$C' = f \frac{\Delta\alpha}{\Delta\lambda}, \quad (7.12)$$

bu ýerde f – kameranyň fokus aralygy. C' – ululyga çyzykly dispersiýa diýilýär we ol kameranyň fokal tekizliginde spektriň masştabyny aňladýar, millimetr gatnaşan angstromlerde ýa-da angstrom gatnaşan millimetrlerde bellenilýär. Mysal üçin, spektrografyň 250 Å/mm dispersiýasy spektrogrammanyň bir millimetrine tolkun uzynlygynyň $\Delta\lambda = 250 \text{ Å}$ aralygyna deňdigini aňladýar.

Astronomik spektral enjamlaryň gurluşlary we optiki sistemasy olaryň haýsy takyk häsiýetli meseleleri çözmek üçin niýetlenendiklerine örän baglydyr. Ýyldyzlaryň spektrlerini almak üçin niýetlenen spektrograflar (ýyldyz spektrograflary) dumanlyklaryň spektri öwrenilýän, nebulýar spektrograflardan düýpli tapawutlanýar. Gün spektrograflarynyň hem öz aýratynlyklary bardyr. Astronomik enjamlaryň hakyky çözüp bilijilik güýjüniň obýektiň häsiýetlerine baglydygyny bellemek zerurdyr. Eger obýekt gowşak bolsa, ýagny ondan örän gowşak ýagtylyk gelýän bolsa, onda onuň spektrini has takyk derňäp bolmaýar. Sebäbi çözüp bilijilik güýjüniň ulalmagy bilen spektriň her bir elementine düşýän enenergiýanyň mukdary kemelýändir. Şonuň üçin in ýokary çözüp bilijilik güýji Gün spektral enjamlaryna degişlidir. Gün üçin niýetlenen uly spektrograflaryň çözüp bilijilik güýji 10^6 ýetýändir. Çyzykly dispersiýasy bolsa $10 \text{ mm}/\text{\AA}$ ($0,1 \text{ \AA}/\text{mm}$) ýetýändir.

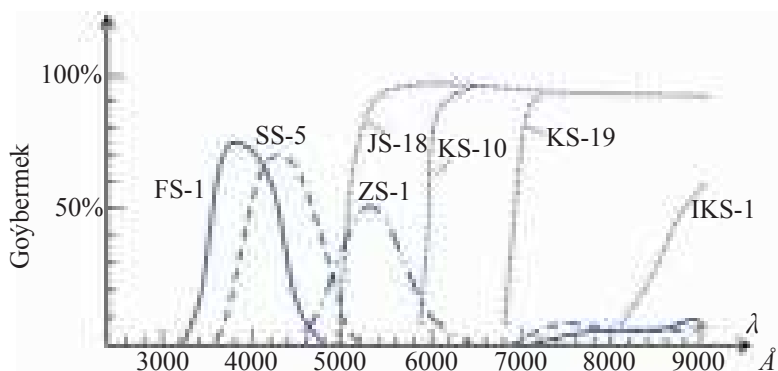
Has gowşak obýektler öwrenilende çözüp bilijilik güýjüniň 100 ýa-da kä wagtlar bolsa 10-a, dispersiýanyň $\sim 1000 \text{ \AA}/\text{mm}$ bahalary bilen çäklenmeli bolýandyr. Mysal üçin, gowşak ýyldyzlaryň spektrleri ýönekeý spektral enjam bolan obýektiw prizmasynyň kömegi bilen alynýandyr. Obýektiw prizma edil teleskopyň obýektiwiniň önünde ýerleşdirilýär we netijede ýyldyzlaryň şekilleri spektrlere süýnýärler. Kamera bolup teleskopyň özi hyzmat edýär, kollimator gerek däl, sebäbi uzakda ýerleşen ýyldyzdan ýagtylyk parallel şöhle dessesi görnüşinde gelýändir. Enjamyň bu gurluşy onda ýagtylygyň siňdirilmegi sebäpli yitgileri in az ýagdaýa getirýär. 114-nji suratda obýektiw prizmasynyň kömegi bilen alnan ýyldyzly meýdanyň fotosuraty görkezilen.

Şöhlelenmäniň spektral düzümi barada ýüzleý maglumaty ýagtylyk filtrlriniň kömegi bilen alyp bolýar. Spektriň fotografik we göze görünýän çäklerinde köplenç reňkli aýnadan bolan ýagtylyk filtrlri peýdalanylýar.



114-nji surat. Ýyldyzlaryň spektrleriniň obýektiw prizmasynyň kömegi bilen alnan fotosuratlary





115-nji surat. Ýagtylyk filtrlriniň birnäçe görnüşleri üçin şöhlemenäni göýbermekleriniň tolkun uzynlygyna baglylygynyň egrileri

Ýagtylyk filtrlriniň birnäçe görnüşleri üçin olaryň şöhlemenäni göýbermekleriniň tolkun uzynlygyna baglylygynyň egrileri 115-nji suratda görkezilen. Ýagtylyk filtrlrini deňişli kabul edijiler bilen ylalaşykly saýlap alyp, spektriň giňligi birnäçe ýüz angstromdan dar bolmadyk zolagyny bölüp alyp bolýar. Reňkli aýnadan bolan ýagtylyk filtrlrinde ýagtylygy siňdirmäniň tolkun uzynlygyna bagly bolmagy peýdalanylýar. Bu görnüşdäki ýagtylyk filtrlrine absorpsion diýilýär. Ýagtylygyň interferensiýa hadysasy esasynda spektriň dar zolagyny bölüp almaga mümkinçilik berýän ýagtylyk filtrlri bardyr. Olara *interferension* filtrlr diýilýär we olar ýeterlik dar, ýagny giňligi onlarça angstrom bolan zolagyny almaga mümkinçilik berýär. Spektriň has dar zolagyny almaga (giňligi 1 Å töweregi) *interferension-polýarizatsion* ýagtylyk filtrlri mümkinçilik berýär.

Dar zolakly ýagtylyk filtrlriniň kömegi bilen obýektiň şekilini spektriň gözegçi üçin wajyp, gyzykly çäklerinde alyp bolýar. Mysal üçin, Günüň hromosferasyny H_{α} şöhlelerde (wodorodyň spektriniň balmer seriýasynyň gyzyk çyzygy), Gün täjini bolsa ýaşyl we gyzyk çyzyklarda, gaz dumanlyklaryny emission çyzyklarda surata düşürmek.

Günüň häsiýetnamalaryny öwrenmek üçin niýetlenen, ýagny islendik tolkun uzynlygynda onuň monohromatik şekilini almaga mümkinçilik berýän enjamlar döredilendir. Olara *spektrogeliograf* we *spektrogelioskop* diýilýär. Spektrogeliograf çykyşdaky ýarçykdan soň fotografik kasseta ýerleşdirilen monohromatordyr. Kasseta çykyş ýar-

çygyna perpendikulýar ugurda hemişelik tizlik bilen hereket edýär. Edil şol tizlik bilen çykyş ýarçygyň tekizliginde Günün şekili hereket edýär. Netijede, bu ýagdaýda fotografik plastinkada, berlen tolkun uzynlygynda, *spektrogeliogramma* diýilýän, Günün şekili alynýar.

Spektrogeliografda çykyşdaky ýarçykdan öň we soň, aýlanýan, kese-kesikleri kwadrat bolan prizmalar ýerleşdirilendir. Birinji prizmanyň aýlanmagy netijesinde Güniň şekiliniň käbir meýdançasý girişdäki ýarçygyň tekizliginde periodiki hereket edýär. Prizmalaryň hereketleri ylalaşyklydyr we bu aýlanma ýeterlik çalt bolýan bolsa, onda görüş turbasynyň kömegi bilen ikinji ýarçyga gözegçilik edip Günün monohromatik şekilini göreris.

Radioastronomik kabul edijileri bir tolkun uzynlykdan beýleki tolkun uzynlygyna çalt we duýgurlygyny ýeterlik pese düşürmän geçirip bolýan dälidir. Şonuň üçin kosmiki çeşmeleriň radioşöhlenenmeleriniň spektrini dürli ýygýlyklarda geçirilen aýry-aýry ölçegler boýunça gaýtadan dikeltmeli bolýar. Üznüksiz spektr bolan ýagdaýynda, eger ol endigan bolsa, kanagatlanarlydyr. Ýöne bu usul bilen şöhlenme we siňdirmе çyzyklaryny kesgitlemek çylşyrymlydyr. Şonuň üçin, monohromatik radioçyzyklar (neýtral wodorodyň $\lambda = 21 \text{ sm}$ tolkun uzynlygynda şöhlenenmesi, ýyldyzara molekulalaryň siňdirmе çyzyklary) nazaryýet usullaryň kömegi bilen bolup biljekdikleri çaklanandan we tolkun uzynlyklary hasaplanyp aýdylandan soň açylandyrlar.

§107. Aerostatlaryň, uçarlaryň we kosmos apparatlarynyň astrofiziki barlaglarda ulanylyşy. Radiolokasiya barada düşünje

XX asyryň kyrkynjy yyllaryna çenli astronomlar geçirýän gözegçiliklerinde esasan hem spektriň göze görünýän we oňa ýakyn ýerleşen bölegini, ýagny 3000-den 7000 \AA aralygyny ulanypdyrlar. Şol asyryň ikinji ýarymyndan başlap barlaglaryň radioastronomik usullary örän çalt depginler bilen ösüp başlandyr (radioastronomiýa). Radioastronomiýanyň üstünlikleri barlaglary spektriň täze çäklerinde alyp barmalydygyny, gözegçilikleri tolkun uzynlyklarynyň has giň çäklerinde geçirmelidigini anyk görkezdi. Emma Ýeriň atmosferasy



$\lambda < 3000 \text{ \AA}$ we $15 \text{ mk} < \lambda < 1 \text{ mm}$ tolkun uzynlyklary üçin dury dälidir. Netijede, astronomik barlaglary Ýeriň atmosferasynyň çäklerinden daşynda geçirmek meselesi dörändir.

Infragyzył we submillimetr şöhlelenmeler üçin ($15 \text{ mk} < \lambda < 1 \text{ mm}$) bu meseläniň çözüwi, umuman alanymyzda, çylşyrymly dälidir. Infragyzył radiasiýany siňdirýän esasan hem suw buglarydyr. Suw buglarynyň konsentrazyýasy bolsa beýiklik boýunça çalt kemelýändir. 25-30 km beýikliklerde Ýer atmosferasy infragyzył şöhlelenme üçin durudyr. Bu beýikliklere, ýük göterijiligi diametri 1 metre çenli teleskopy götermek üçin ýeterlik bolan, howa şarlary (ballonlary) baryp bilýändir. Bu beýikliklerde gözegçilikleri spektriň göze görünýän çäklerinde geçirmegiň özboluşly manysy bardyr. Sebäbi bu beýikliklerde, teleskopyň çözüp bilijilik güýjüni çäklendirýän, atmosferanyň sandyramalarynyň täsiri ýeterlik kemelýändir. Ilkinji «ballon» teleskopy «Stratoskop-1» (diametri 50 sm) ABŞ-da, Günün granularyny fotosurata düşürmek üçin gurlandy. Amerikan ballon teleskopy «Stratoskop-2» (diametri 90 sm) planetalaryň we ýyldyzlaryň infragyzył spektrlerini öwrenmek üçin uçurylandyr. Uçuş döwründe bu teleskoplar Ýerden dolandyrylýarlar. 2005-nji ýylda ABŞ-nyň kosmos gullugy (NASA) tarapyndan diametri 120 metre, uzynlygy bolsa 140 metre ýetýän äpet howa şarynyň kömegi bilen, diametri 2 metre ýetýän, «BLAST» atly teleskop 40 km beýiklige galdyryldy. Bu teleskopyň kuwwaty kosmosdaky «Habb» teleskopyň kuwwatyndan sähelçe pesdir. Bu teleskop Ýeriň stratosferasynyň ýokarky çäklerinden 6-9 gije-gündiziň dowamynda, Ýeriň üstünde gözegçilik edip bolmaýan, infragyzył we submillimetr şöhlelenmelerine, täze ýyldyzlaryň emele gelişlerine, galaktikalaryň ewolýusiýasyna gözegçilik etmek üçin uçuryldy.

Infragyzył astronomiýa üçin teleskoplaryň uçarlarda ýerleşdirilmegi uly mümkinçilikleri açandyr. Uçarlarda gurnalan obserwatiýalar ballon teleskoplary ýaly uly beýikliklere galyp bilmeýärler, ýöne olaryň birnäçe artykmaçlyklary bardyr (dolandyrylýan uçuşlar, gözegçiniň uçarda ýerleşmegi we ş.m.).

Spektriň ultramelewşe we rentgen tolkunlarynyň çäklerinde Ýeriň atmosferasynyň siňdirmesi örän güýçlüdir. Bu şöhlelenmeleri öwrenmek üçin enjamlary Ýeriň üstünden iň bolmanda 100 km beýik-

lige galdyrmak zerurdyr. Onuň üçin raketalary we Ýeriň emeli hemralaryny ulanýarlar. Raketalary ýygy-ýygydan uçuryp bolýar, ýöne olaryň uçuş wagty bary-ýogy birnäçe minutlar bilen çäklenendir. Raketalarda we hemralarda fotoelektrik fotometrli, spektral enjamly teleskoplar, rentgen şöhlemenmelerini kabul ediji enjamlar oturdylýar. Enjamlar öňünden düzülen maksatnama boýunça awtomatik işleýärler.

«Uhuru» atly amerikan emeli hemrasy rentgen şöhlelerinde (kwantlaryň energiýasy 2-den 10 *KeV*) бүтін asmanyň kartasyny almak üçin, 1970-nji ýylda uçurylandyr. Onuň kömegi bilen 125 sany rentgen şöhlemenmesiniň çeşmeleri ýüze çykaryldy, olaryň ýarysyndan köpüsi öň belli bolmadyk çeşmelerdir. 1973-nji ýylda uçurylan, Kopernigiň 500 ýyllyk ýubileýi mynasybetli «Kopernik» diýip atlandyrylan hemrada ultramelewşe spektrometr bilen üpjün edilen, 80 santimetr diametrli teleskop-reflektor oturdylandyr. Onuň kömegi bilen, Ýerden gözegçilik edip bolmaýan, 700-den 3000 *Å* çäklerde köp sanly ýyldyzlaryň spektrleri alyndy. Spektrler bellige alnanlarynda teleskopyň ugrukdyrylyşyny awtomatik sistema ýerine ýetirýär we onuň takyklygy 0",1-e ýetýär.

1990-njy ýylda Ýeriň golaýyndaky orbita 2,4 metrlik «Habbl» teleskopy 15 ýyllyk möhlet bilen çykaryldy. Onuň kömegi bilen örän gowşak, ýyldyz ululygy 30-a ýetýän asman jisimleriniň fotosuratlaryny alyp bolýar. «Habbl» teleskopyndan başga-da kosmosda «Spiser», «Çandra», «SWAS» teleskoplary bardyr. Bu teleskoplary asman sferasynyň islendik nokadyna ugrukdyrmak, ýagny olary dolandyrmak Ýerden radio- we telearagatnaşyk sistemalarynyň kömegi bilen amala aşyrylýar.

Raketa tehnikasynyň ösmeginiň ýene-de bir netijesi Gün sistemasyny öwrenmekde awtomatik planetaara stansiýalaryň ulanylmagydyr. Planetalary öwrenmek üçin awtomatik planetaara stansiýalaryň (APS) üç dürli görnüşleri peýdalanylýar:

- a) uçup geçýän, ýagny öwrenilýän planetanyň ýakynyndan bir sapar (kähalatlarda iki ýa-da üç sapar) uçup geçýän;
- b) orbital, ýagny emeli hemralaryň orbitasyna çykarylýan;
- ç) gonýan, ýagny planetanyň üstüne gonýan.

Uçup geçýän apparatlar özboluşly gözlegçilerdir, olar göwrümi boýunça uly bolmadyk maglumatlary toplamaga mümkinçilik berýär.

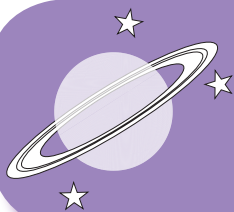


Orbital apparatlar aralykdan, optiki we radiofiziki usullar bilen planetany öwrenmäge mümkinçilik berýär. Gonýan apparatlar bolsa planetanyň üstüne gonan ýeriniň atmosferasy we üsti barada maglumat berýär. Planetalar öwrenilende maglumatlary toplamak üçin in amatlysy orbital we gonýan apparatlary bilelikde ulanmakdyr.

Ýeriň tebigy hemrasy Aýy we beýleki planetalary öwrenmek üçin awtomatik planetaara stansiýalaryň uly möçberi goýberilendir we olaryň kömegi bilen wajyp işler geçirilendir.

Soňky döwre çenli ähli astronomik usullaryň umumy häsiýetnamasy olaryň passiwligidir, ýagny biz tebigatda bolup geçýän hadysalara gözegçilik edip, bellige alýardyk. Şunuň bilen astronomiýa, esasynda barlaglaryň aktiw usullary tejribe bolan fizikadan tapawutlanýandyr. Tejribeçi tebigatyň hadysalaryna ýöne gözegçilik etmän, oňa öz täsirini ýetirýär, ýagny tejribäniň geçiş şertlerine täsirini ýetirýär, gaýtadan geçirip bilýär we hadysany dogry düşünmek üçin mümkinçiligi köpeliýär.

Kosmos gämileriniň uçuşlary, planetalary we planetaara giňişligi öwrenmekde, astronomik hadysalary öwrenmekde adamyň täsiriniň artýandygyny görkezýär. Onuň ýene bir mysaly-planetalaryň radiolokasiýasydyr. Kosmos jisimine tarap kuwwatly radioimpuls iberilýär we jisimden serpigen impuls kabul edilýär. Serpigen impulsyň eglenme wagty boýunça uzaklyk, ululygy boýunça bolsa serpikme koeffisiýentini kesgitleýär. Impulsyň görnüşi bolsa jisimiň ölçegleri we üstüniň tekizligi barada maglumat berýär. Öwrenilýän jisimiň öz okunyň daşyndan aýlanmasy dopleriň hadysasy netijesinde impulsyň ýygylýan boýunça giňelmegine getirýär, giňelmäniň ululygy boýunça bolsa öwrenilýän jisimiň tizligi kesgitlenýär. Radiolokasiýa Gün sistemasynda öwrenmekde uly mümkinçilikleri döredendir.



VIII bap GÜN

Gün – adaty ýyldyz we Ýere golaý ýerleşenligi üçin beýleki ýyldyzlara garanyňda häsiýetnamalary has gowy we anyk öwrenilendir. Bu bapda biz Gün baradaky maglumatlary gysga seretmek bilen çäklenmän, ähli ýyldyzlar üçin umumy bolan we olaryň fiziki tebigaty öwrenilende peýdaly boljak häsiýetnamalara has anyk serederis.

§108. Gün barada umumy maglumatlar

Gün çürt-kesik çäklenen gyralary (limbi) bolan tegelek görnüşlidir. Ýeriň Günden ortaça uzaklygynyň, onuň elliptik orbita boýunça hereket edýänligi sebäpli üýtgemesi, Günüň görünýän radiusynyň ýylyň dowamynda birneme üýtgemegine getirýär.

Haçan-da Ýer perigeliýde (ýanwaryň başynda) bolanda, Günüň görünýän diametri $32'35''$, afeliýde (iýulyň başynda) bolsa $31'31''$ deňdir. Ýerden orta uzaklykda (1 a.b.) Günüň görünýän radiusy $960''$, çyzykly radiusy bolsa

$$R_{\odot} = \frac{149,6 \cdot 10^6 km}{206265''} \cdot 960'' = 696000 km.$$

Günüň göwrümi

$$V_{\odot} = \frac{4}{3} \cdot \pi R_{\odot}^3 = 1,41 \cdot 10^{18} km^3 = 1,41 \cdot 10^{27} m^3$$

massasy bolsa

$$M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{33} g \approx 2 \cdot 10^{30} kg,$$

bu ýerden onuň maddasynyň dyklygyny kesgitleseň



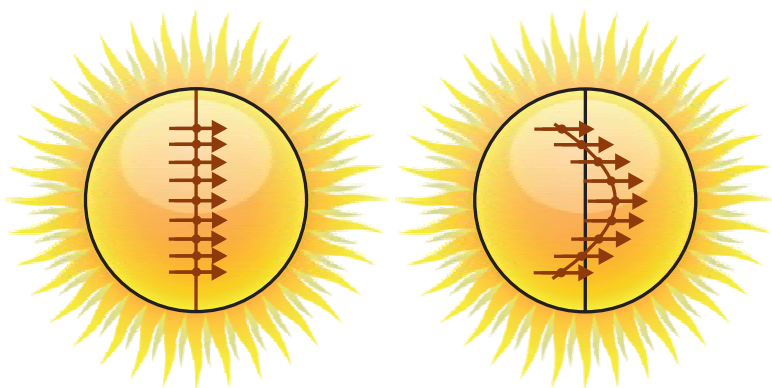
$$\rho_{\Theta} = \frac{M_{\Theta}}{\frac{4}{3}\pi R_{\Theta}^3} = 1,41 \text{ g/sm}^3.$$

Günüň üstünde agyrlýk güýjüniň tizlenmesi

$$g_{\Theta} = G \frac{M_{\Theta}}{R_{\Theta}^2} = 274 \cdot 10^4 \text{ sm/s}^2 = 274 \text{ m/s}^2.$$

Gün diskindäki aýry-aýry detallara gözegçilikler, şeýle hem onuň dürli nokatlarynyň spektral çyzyklarynyň süýşmeleriniň ölçemeleri Günüň maddasynyň onuň diametrleriniň biriniň daşyndan aýlanýandygyny görkezýär. Oňa Günüň *aýlanma oky* diýilýär. Günüň merkezinden geçýän we aýlanma okuna perpendikulýar bolan tekizlige Gün *ekwatorynyň tekizligi* diýilýär. Bu tekizlik ekliptikanyň tekizligi bilen $7^{\circ}15'$ burç emele getirýär we Günüň üstüni ekwator boýunça kesýär. Ekwatoryň tekizligi bilen Günüň merkezinden üstüniň berlen nokadyna geçirilen radiusyň emele getirýän burçuna *geliogeografik giňlik* diýilýär.

Günüň öz okunyň daşyndan aýlanmasynyň wajyp aýratynlygy bardyr, ýagny onuň ω burç tizligi ekwatoran daşlaşyp, polýusa ýakynlaşdygymyzça kemelýändir (*116-njy surat*). Burç tizliginiň orta bahasy $\omega = 14^{\circ},4 - 2^{\circ},7 \sin^2 B$ aňlatma boýunça kesgitlenýär, bu ýerde B – geliogeografik giňlik. Bu formulada ω burç tizligi bir gije-gündiziň dowamynda öwürülen burç ululygynda ölçenýär.



116-njy surat. Günüň öz okunyň daşyndan aýlanmasy.
Çepde – merkezi meridianyň ugry boýunça ýerleşen detallar;
sagda – bir aýlawdan soň olaryň ýerleşişleri



Şeýlelikde, Günün dürli nokatlary aýlanma okunyň daşynda dürli periodlar bilen aýlanýarlar. Ekwatorda ýerleşen nokatlaryň siderik (ýyldyz) periody 25 gije-gündiz, polýuslaryň ýakynynda bolsa 30 gije-gündize ýetýär. Ýeriň Günün daşyndan aýlanýanlygy sebäpli, Günün öz okunyň daşyndan aýlanmasy, Ýerdäki gözegçä birneme haýal bolup görünýär. Ekwatorynda aýlanma periody 27 gije-gündize, polýuslarynyň golaýynda bolsa 32 gije-gündize deňdir (aýlanmasynyň sinodik periody).

Günün öz okunyň daşyndan bir bütewi gaty jisim ýaly aýlanmaýanlygy sebäpli, geografik koordinatalar sistemasyny onuň üstüniň ähli nokatlary bilen berk baglanyşdyryp bolmaýar. Geliogeografik meridianlar diňe geliogeografik giňligi $B = \pm 16^\circ$ bolan nokatlar bilen şertli berk baglanyşdyrylýar. Olar üçin aýlanmanyň siderik periody 25,38 gije-gündize, sinodik periody bolsa 27,28 gije-gündize deňdir. Başlangyç geliogeografik meridian diýlip, 1854-nji ýylyň 1-nji ýanwarynda bütindünýä wagty boýunça 0^h -da Gün ekwatorynyň ekliptika bilen kesişme nokadyndan geçen meridian kabul edilendir.

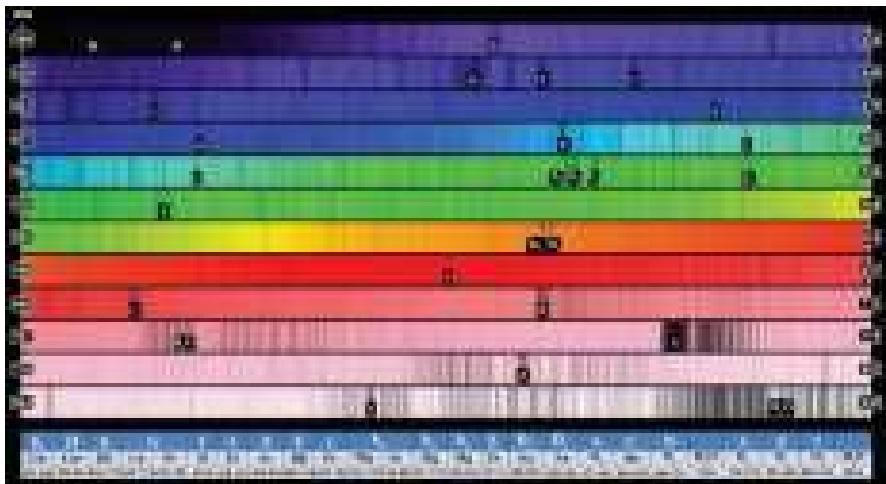
§109. Günün spektri we himiki düzümi

Günün şöhlelenmesiniň göze görünýän tolkun uzynlyklarda üznüksiz spektriniň düşekliginde onlarça mün garamtyl, siňdirme çyzyklary bolan spektri bardyr (*117-nji surat*).

Bu siňdirme çyzyklaryna, olary ilkinji bolup 1814-nji ýylda beýan eden awstriýaly fizik Fraungoferiň ady boýunça fraungoferiň çyzyklary diýilýär.

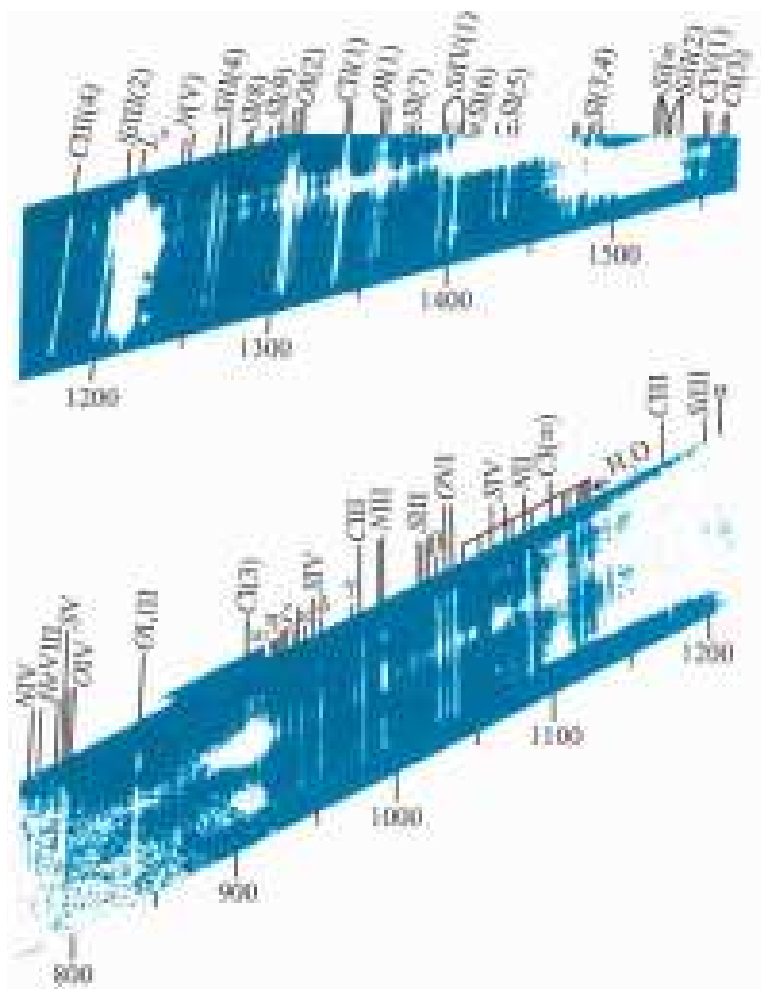
Üznüksiz spektriň iň uly intensiwligi spektriň gök-ýaşyl bölegine, ýagny 4300-5000 Å tolkun uzynlyklara degişlidir (*91-nji surat*). Maksimumdan iki tarapa-da şöhlelenmäniň intensiwligi kemelýändir. Günün spektri göze görünmeýän gysga tolkunly we uzyn tolkunly çäklerini hem öz içine alýandyr. Günün spektrine atmosferanyň daşyndan raketalaryň we emeli hemralaryň kömegi bilen geçirilen gözegçilikler 2000 Å tolkun uzynlyklaryna çenli Günün spektriniň häsiýetiniň göze görünýän çäklerdäki spektre meňzeşdigini görkezýär. Emma, has gysga tolkunlaryň çäklerinde üznüksiz spektriň intensiwligi çalt kemelýär, garamtyl fraungofer çyzyklary bolsa, ýiti emission çyzyklary bilen çalşylýar (*118-nji surat*).





117-nji surat. Günüň görnýän spektriniň fotosuraty

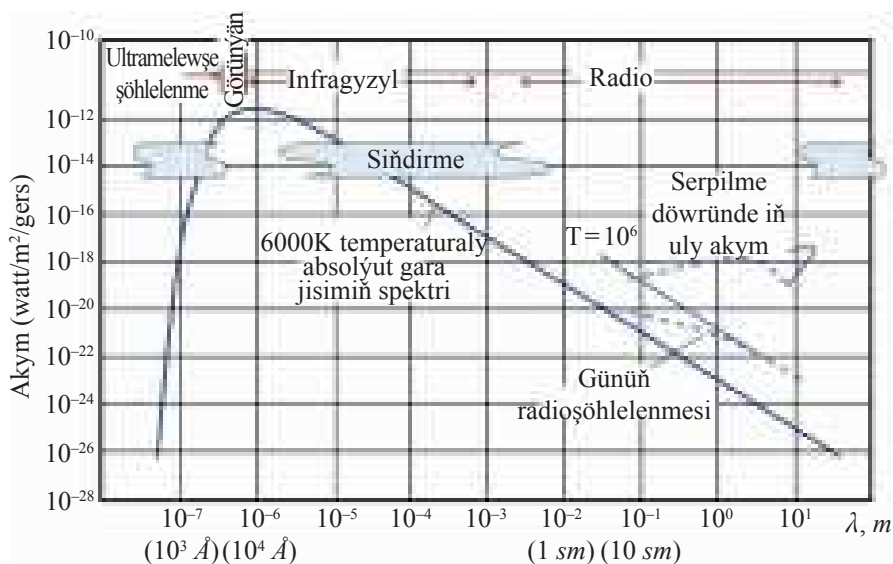
Günüň spektriniň infragyzyň bölegi, ýagny 15 mk tolkun uzynlyklara çenli, Ýeriň atmosferasyndan geçende bölekleyin siňdirilýär (119-njy surat). Bu ýerde esasan suw buglaryna, kisloroda we kömürturşy gazyň molekulýar siňdirme zolaklary ýerleşendir. Ýerden Günüň spektriniň bu zolaklarynyň aralyklarynyň käbirleri görnýändir. 15 mk -den uly bolan tolkun uzynlyklary tutuşlygyna siňdirilýär, bu çäklerde Günüň spektrine diňe atmosferanyň daşyndan gözegçilik edip bolýandyr. Günüň spektriniň howanyň molekulalary tarapyndan güýçli siňdirilmesi tä 1sm uzynlykly radiotolkunlara çenli dowam edýändir. 1sm uzynlykly radiotolkunlardan başlap Ýeriň atmosferasy durudyr. Günüň spektriniň radiotolkunlaryň çäklerinde intensiwligi temperaturasy 6000 K bolan jisimiňkiden ep-esli uludyr. Metr tolkun uzynlyklaryň çäklerinde tolkun uzynlygynyň ulalmagy bilen, Günüň radiospektriniň intensiwliginiň kemelmesi, temperaturasy million gradus bolan absolýut gara jisimiň şöhlelenmesiniň intensiwliginiň pese düşmesine meňzeş bolýar. Günüň radioşöhlelenmesiniň ýene-de bir wajyp aýratynlygy onuň üýtgeýänligidir, tolkun uzynlygynyň ulalmagy bilen bu üýtgame has hem artýandyr. Bu häsiýeti bilen Günüň radioşöhlelenmesi, intensiwligi hemişelik bolan, spektriň göze görnýän böleginden düýpli tapawutlanýandyr. Bular ýaly üýtgemeler Günüň rentgen şöhlelenmelerine hem degişlidir.



118-nji surat. Günün spektriniň ultramelewşe çäginin fotosuraty

Günün spektriniň 1600 Å tolkun uzynlyklardan başlap, infragyzył tolkunlara çenli aralyklarda özboluşly aýratynlygy garamtyl siňdirmiş fraungofer çyzyklaryň bolmagydyr. Fraungofer çyzyklarynyň döremeginiň sebäbi, Gün atmosferasynyň üznüksiz spektriniň käbir tolkun uzynlyklarynda şöhlelenmesiniň ýokarky gaz gatlaklary tarapyndan siňdirilmesidir. Siňdirilen energiýanyň hasabyna atomlar oýandyrylýar we oýandyrylan atomlaryň öz-özünden şöhlelenmesi bolup geçýär. Netijede, siňdirilen energiýa ýene-de täzeden şöhlendirilýär. Bular ýaly täzeden şöhlelenmä atomlardan





119-njy surat. 1 astronomik birlik uzaklykda Günüň şöhlelenme spektrinde kuwwatyň paýlanyşy

dagynyk serpinkme diýilýär. Bu proses fraungofer çyzyklarynyň döremeginde has wajypdyr.

Aşaky gatlaklardan gelýän radiasiýa atomlar tarapyndan gaýtdan şöhlendirilende hemme ugurlar boýunça, şol sanda başlangyç ugra garşylykly ugurda hem bolýandyr. Şonuň üçin, spektriň spektral çyzyk ýerleşen ýerinden çykýan kwantlaryň sany, onuň bilen goňşy bolan üznüksiz spektrde çykýandan az bolýar we üznüksiz spektriň düşekliginde garamtyl bolup görünýär. Sindirme çyzyklarynyň intensiwligi boýunça dagynyk serpinkdirýän atomlaryň mukdary barada netije çykaryp bolýar.

Gün spektriniň iň güýçli çyzygy uzak ultramelewşe çäklerde ýerleşendir. Bu çyzyk, tolkun uzynlygy 1216 Å bolan, wodorodyň L_α (Laýman-alfa), rezonans çyzygydyr (118-nji surat).

Spektriň göze görünýän çäklerinde ionlaşan kalsiniň H we K rezonans çyzyklary has intensiwdir. Olardan soň intensiwligi boýunça wodorodyň balmer seriýasynyň H_α , H_β , H_γ çyzyklary, soňra bolsa natriniň D_1 we D_2 rezonans çyzyklary, magniniň, demriň, titanyň we beýleki elementleriň çyzyklary gelýär (117-nji surat). Galan köp sanly çyzyklar D.I.Mendeleyewiň tablisasyndaky belli bolan 70 sany himi-

ki elementleriň tejribede öwrenilen çyzyklary bilen deňeşdirip, olara degişli edilendir. Günüň spektrinde bu çyzyklaryň bolmagy Günüň atmosferasynda degişli elementleriň barlygynyň subutnamasydyr. Şu usul bilen Günde wodorodyň, geliniň, azodyň, uglerodyň, kislorodyň, magniniň, natriniň, kalsiniň, demriň we beýleki elementleriň barlygy tassyklanandyr.

Dürli himiki elementleriň Günüň düzümindäki mukdaryny kesgitlemek üçin §101-de beýan edilen usul peýdalanylýar. Barlaglaryň netijeleri Günüň maddasynyň himiki düzüminiň, beýleki kosmos obýektleriniň (Ýerden we beýleki planetalardan başga) himiki düzümine (*4-nji tablisa*) meňzeşdigini görkezýär.

Günüň düzüminde agdyklyk edýän himiki element-wodorod. Atomlaryň sany boýunça wodorod galan himiki elementleriň hemmesiniň atomlaryndan 10 esse köpdür, Günüň massasynyň 70% wodoroda degişlidir (wodorod iň ýeňil elementdir).

Mukdary boýunça indiki element geliý, ol Günüň massasynyň 29% tutýar. Galan himiki elementleriň ählisi bilelikde 1%-den az-kem köprükdir. Käbir ýagdaýlarda, umumy häsiýetleri bolan elementleriň mukdaryny bilmek wajyp bolýar. Mysal üçin, Günüň atmosferasynda metallaryň atomlarynyň umumy mukdary wodorodyň atomlarynyň sanyndan 10000 esse azdyr.

§110. Gün hemişeligi we onuň ölçenilişi

Astrofizikanyň we geofizikanyň köp meseleleri üçin Günüň şöhlelenmesiniň kuwwatynyň takyk ululygyny bilmek wajypdyr. Günden gelyän şöhlelenmäniň akymyny Gün hemişeligi diýilýän ululyk bilen häsiýetlendirmek kabul edilendir. *Ýeriň Günden orta uzaklygynda, Gün şöhlelerine perpendikulýar ýerleşen, 1 sm² meýdançadan 1 minutyň dowamynda geçýän Günüň energiýasynyň dolý mukdaryna Gün hemişeligi diýilýär.* Köp sanly ölçegleriň netijesinde Gün hemişeligi Q häzirki döwürde 1%-e çenli takyklyk bilen kesgitlenendir:

$$Q = 1,36 \cdot 10^6 \text{ erg}/(\text{sm}^2 \cdot \text{s}) = 1360 \text{ Wt}/\text{m}^2 = 1,36 \cdot 10^3 \text{ Wt}/\text{m}^2.$$

Bu ululygy radiusy 1 a.b. (1 astronomik birlik = $149 \cdot 10^6 \text{ km}$) bolan sferanyň üstüniň meýdanyna köpeldip, Günüň wagt birliginde



ähli ugurlarda şöhlelendirýän energiýasynyň doly mukdaryny, ýagny integral ýagtylanyjylygyny alarys:

$$L_{\odot} = Q \cdot 4\pi a^2 = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ J/s.}$$

Bu ululygy Günün üstüniň meýdanyna bölüp, onuň bir birlik üstüniň (1 m^2) wagt birliginde şöhlelendirýän energiýasyny alarys:

$$\varepsilon_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} = 6,28 \cdot 10^7 \text{ Wt.}$$

Köp sanly takyk ölçemeleriň netijesinde Günün integral ýagtylanyjylygynyň ýokary takyklyk bilen hemişeligini saklaýan ululykdygy anyklanandyr. Eger Gün hemişeliginiň üýtgemeleri bar hem bolsa, onda onuň ululygy 1%-den kiçi bolmalydyr.

Atmosferada siňdirilmegi we dagynyk serpikdirilmegi netijesinde Günün şöhlelenmesiniň akymy gowşap, Ýeriň üstünde ortaça $800\text{--}900 \text{ Wt/m}^2$ deňdir.

Gün hemişeligini ölçemek, enjamlaryň iki dürli görnüşlerini ulanmak bilen, ygtybarly we has takyk, köp sanly gözegçilikleri geçirmegi talap edýän çylşyrymly meseledir. Enjamlaryň bir görnüşine *pirgeliometr* diýilýär. Olaryň esasy maksady meýdany belli bolan üste kesgitli wagtyň dowamynda düşýän Gün energiýasynyň doly mukdaryny energiýanyň absolýut birliklerinde kesgitlemekdir. Emma pirgeliometriň görkezmeleri Gün hemişeliginiň bahasyny berýän däl, sebäbi Günün şöhlelenmesi Ýeriň atmosferasyndan geçende bir bölegi siňdirilýär. Bu siňdirilmäni hasaba almak üçin, pirgeliometrde geçirilýän ölçegler bilen birwagtda ýene bir enjamda, *spektrobolometrde* ölçegleriň toplumy geçirilýär. Spektrobolometr dürli tolkun uzynlyklarda birmeňzeş duýgurlygy bolan, energiýanyň Günün spektrinde paýlanylyşyny ölçemäge mümkinçilik berýär.

Atmosferadan daşynda, raketalaryň we emeli hemralaryň kömegi bilen geçirilýän gözegçilikler, Gün hemişeliginiň hakyky bahasyny gös-göni kesgitlemäge mümkinçilik berýär, şol sebäpli ýazgysy getirilen usul soňky döwürde ulanylmaýar diýen ýalydyr.

§111. Günün daşky gatlaklarynyň temperaturasy

Jisimiň şöhlenenmesiniň intensiwligi boýunça onuň daşky gatlaklarynyň temperaturasy barada netije çykaryp bolýandygy §100-de görkezilipdi. Temperaturany kesgitlemegiň seredilen usullary Günün mysalynda görkezilipdi (91-nji surat).

Bu usullary ulanyp, alnan netijeleri derňäp geçeliň. Şöhlenenmäniň doly akymy boýunça kesgitlenýän effektiv temperatura Gün üçin 5770 K deňdir, emma Günün spektrinde şöhlenenmäniň maksimumynyň ýerleşşi, Winiň kanuny boýunça kesgitlenen temperaturasy takmynan 6750 K deňdir. Spektriň dürli çäklerinde energiýanyň otnositel paýlanylyşy reňk temperaturasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Reňk temperaturalary in bärkisi, göze görünýän çäklerde hem güýçli üýtgeýändir. Mysal üçin, $4700\text{--}5400\text{ Å}$ tolkun uzynlyklaryň çäginde reňk temperaturasy 6500 K deňdir, $4300\text{--}4700\text{ Å}$ tolkun uzynlyklarda bolsa 8000 K töweregidir. Spektr boýunça ýitilik temperaturasy has uly çäklerde üýtgeýär. Spektriň $1000\text{--}2500\text{ Å}$ tolkun uzynlyklaryň çäginde ýitilik temperaturasy 4500 K -den 5000 K -e çenli, ýaşyl şöhlelerde (5500 Å) bolsa 6400 K , metr uzynlykly radiotolkunlaryň çäginde bolsa million gradusa ýetýär. Bu maglumatlar 5-nji tablisada görkezilendir.

5-nji tablisada getirilen maglumatlaryň tapawutlarynyň wajyp manysy bardyr we şu netijeleri çykarmaga mümkinçilik berýär:

1. Günün şöhlenenmesi, absolyut gara jisimiň şöhlenenmesinden tapawutlanýandyr. Başgaça bolan ýagdaýynda, 5-nji tablisada getirilen temperaturanyň ähli bahalary birmeňzeş bolardy.

2. Günün maddasynyň temperaturasy çuňluk boýunça üýtgeýär. Hakykatdan hem, gaty gyzdrylan gazyň dury dälligi dürli tolkun uzynlyklary üçin birmeňzeş däl. Ultramelewşe şöhleleriň siňdirilmesi, göze görünýän şöhleleriňkiden köpdür. Şol wagtyň özünde bular ýaly gazlar radiotolkunlary has güýçli siňdirýändir. Şonuň üçin radio, ultramelewşe we göze görünýän şöhlenenme deňişlilikde Günün has çuň gatlaklaryna deňşlidir. Gözegçilik edilýän ýitilik temperaturasynyň tolkun uzynlygyna baglylygyny göz önünde tutup, Günün görünýän üstüniň ýakynynda, minimal temperaturasy (takmynan 4500 K) bolan, uzak ultramelewşe şöhlelerde gözegçilik edip bolýan gatlagyň bolmalydygyny alýarys. Bu gatlakdan ýokarda we aşakda temperatura çalt artýandyr.



**Günüň daşky gatlaklarynyň dürli usullar bilen kesgitlenen
temperaturasy**

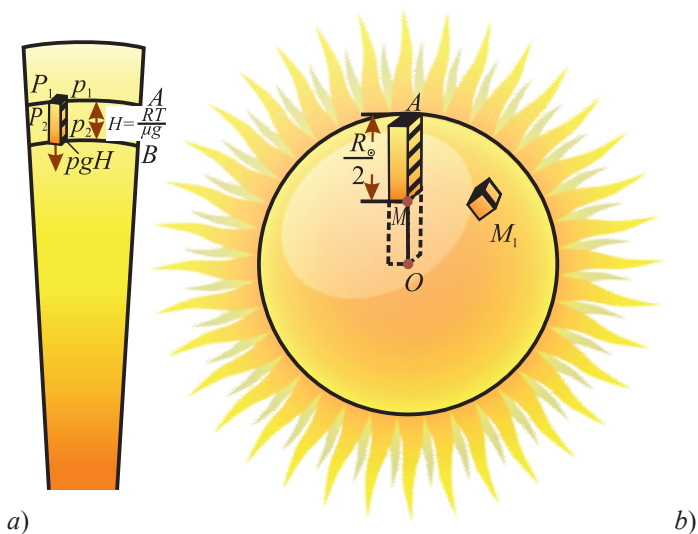
Usul	Netije	Temperaturany häsiýetlendirýän parametriň ady
Şöhlelenmäniň maksimumy boýunça (Winiň kanuny)	6750	
Şöhlelenmäniň umumy akymy boýunça (Stefanyň-Bolsmanyň kanuny)	5770	Effektiw temperatura
Monohromatik şöhlelenmäniň inten- siwligi boýunça (Plankyň formulasy) $\lambda = 1000\text{Å}$ $\lambda = 2500\text{Å}$ $\lambda = 5500\text{Å}$ $\lambda = 1\text{ m}$	4500 5000 6400 1 000 000	Ýitilik temperatura
Energiýanyň oňnositel paýlanyşy boýun- ça çäklerde: 4700-5400Å 4300-4700Å	6500 8000	Reňk temperatura

3. Gün maddasynyň esasy böleginiň örän güýçli ionlaşan bolmalydygy ýokarky, 2-nji bölümçeden gelip çykýar. Eýýäm, 5-6 müň kelwin temperaturada köp metallaryň atomlary ionlaşýar, 10-15 müň kelwin temperaturadan ýokarda bolsa, Günde iň köp bolan element-wodorod hem ionlaşýar. Diýmek, Gün maddasy plazma, ýagny atomlarynyň köpüsi ionlaşan gaz bolmalydyr. Diňe göze görünýän gyrasyna ýakyn ýerleşen ýuka gatlakda ionlaşma gowşakdyr we onda neýtral wodorod agdyklyk edýändir.

§112. Günüň içki gurluşy

Günüň has çuň gatlaklarynda temperaturanyň artmagy bilen bir wagtda, ähli ýokarda ýerleşen gatlaklaryň agramy bilen kesgitlenýän, basyş hem artmalydyr. Diýmek, dykzlyk hem artmalydyr. Günüň her bir içki nokadynda gidrostatik deňagramlylyk şerti ýerine





120-nji surat. Günň merkezinde basyşy kesgitlemek

ýetmelidir. Bu şert, haýsy hem bolsa bir elementar gatlagyň (mysal üçin, 120-nji *a* suratda *AB* gatlak) sezewar bolýan basyşlarynyň tapawudy has çuň ýerleşen gatlaklaryň ählisiniň grawitasion dartmasy bilen deňagramlaşmaly diýmegi aňladýar. Eger gatlagyň ýokarky (*A*) araçägindeki basyşy P_1 , aşaky (*B*) araçägindeki basyşy bolsa P_2 bilen bellesek, onda deňagramlylyk aşakdaky şertde ýerine ýeter:

$$P_2 - P_1 = \rho g H, \quad (8.1)$$

bu ýerde ρ – *AB* gatlagyň orta dykzlygy, *H* – onuň galyňlygy, *g* – agyrlýk güýjüniň tizlenmesiniň deňişli bahasy. Orta dykzlygy *AB* gatlagyň ýokarky we aşaky araçäklerindeki ρ_1 we ρ_2 dykzlyklaryň orta arifmetiki bahasyna deň diýip kabul edýäris:

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}. \quad (8.2)$$

Gaz halynyň deňlemesini (6.9) ulanyp, alarys:

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2) = \frac{\mu}{2RT}(P_1 + P_2). \quad (8.3)$$

Bu aňlatmany (8.1) formulada ornuna goýup, alarys:

$$P_2 - P_1 = \frac{P_2 + P_1}{2} \frac{\mu g}{RT} H. \quad (8.4)$$



$RT/\mu g$ – aňlatmanyň ölçeg birligi uzynlyk birliklerdedir we wajyp fiziki manysy bardyr: eger gatlagyň temperaturasy hemişelik, galyňlygy

$$H = \frac{RT}{\mu g} \quad (8.5)$$

bolsa, onda şu gatlagyň çäklerinde basyş we dykzlyk takmynan üç esse üýtgeýär. Hakykatdan hem, (8.5) aňlatmany (8.4)-e goýup, alarys:

$$P_2 = 3P_1. \quad (8.6)$$

H ululyga beýiklik şkalasy diýilýär, sebäbi ol dykzlygyň haýsy aralykda duýarlyk üýtgeýändigini görkezýär. Günün daşky gat-laklaryndaky şertlere ýakyn bolan şertlerde: $T = 10000 \text{ K}$; $\mu = 1/2$ (ionlaşan wodorod) we $g = 2,7 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$ bolanda, $H = 6 \cdot 10^5 \text{ m}$, ýagny basyşyň üç esse artmasy çuňlugyna 600 km uzaklykda bolup geçýär. Çuňlugyna temperatura artýar, dykzlygyň artmasy haýallaýar.

Günün jümmüşindäki şertler barada käbir maglumatlary, onuň maddasy deňölçegli paýlanan diýip hasaplap, alyp bolýar. Bular ýaly «birhilli» Günün häsiýetnamalarynyň aralyk nokatdaky, ýagny ýarym radiusynyň çuňlugyndaky hakyky häsiýetnamalara deň bolmalydygy aýdyňdyr. Massa deňölçegli paýlanan ýagdaýynda dykzlyk hemme ýerinde, bize belli bolan orta ululyga $\bar{\rho}_\Theta = 1,4 \text{ g/sm}^3$ -e deň bolmalydyr. Aralyk nokatda basyş kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 we beýikligi $R_\Theta/2$ bolan radial sütünjigiň agramyna deňdir (*120-nji b surat*), ýagny

$$P = \bar{\rho}_\Theta \frac{R_\Theta}{2} g. \quad (8.7)$$

Aralyk nokatdaky agyrylyk güýjüniň tizlenmesi

$$g = G \frac{\frac{1}{8} M_\Theta}{\left(\frac{R_\Theta}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \frac{GM_\Theta}{R_\Theta^2} = \frac{1}{2} g_\Theta = 1,37 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2 \quad (8.8)$$

deňdir, sebäbi massa deňölçegli paýlananda radiusy $R_\Theta/2$ bolan sfe-rada Günün ähli massasynyň $1/8$ bölegi jemlenendir. Diýmek, Günün aralyk nokadyndaky basyş

$$P = \frac{G}{4} \bar{\rho}_\Theta \frac{M_\Theta}{R_\Theta} = 6,6 \cdot 10^{14} \text{ din/sm}^2 = 6,6 \cdot 10^{13} \text{ Pa}. \quad (8.9)$$

Basyşy we dykzlygy bilip, gaz halynyň deňlemesinden T temperaturany kesgitlemek ýeňildir:

$$T = \frac{\mu P}{R \rho_{\odot}} = \frac{\mu}{4} \frac{GM_{\odot}}{RR_{\odot}} = 2,8 \cdot 10^6 K. \quad (8.10)$$

Şeýlelik bilen, biz «birhilli Gün» üçin, radiusyň ýarysyna deň bolan $R_{\odot}/2$ çuňlukda, fiziki häsiýetnamalarynyň aşakdaky bahalaryny aldyk:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,4 \text{ g/sm}^3 & (1,3 \text{ g/sm}^3), \\ P &= 6,6 \cdot 10^{13} \text{ Pa} & (6,1 \cdot 10^{13} \text{ Pa}), \\ T &= 2\,800\,000 \text{ K} & (3\,400\,000 \text{ K}). \end{aligned}$$

Ýaýlaryň içinde şol ululyklaryň, Günüň massasynyň paýlanyşynyň birhilli dälligini göz önünde tutýan, has takyk usullar bilen hasaplanan bahalary getirilen. Şeýlelik bilen, aralyk nokat üçin massa deňölçegli paýlanan diýip hasap eden çaklamamyz hakykata ýakyn netijeleri berýär.

Günüň merkezinde basyş, dykzlyk we temperatura has hem ýokary bolmalydyr. 6-njy tablisada Günüň içki gurluşynyň modeli, ýagny onuň fiziki häsiýetnamalarynyň çuňluga baglylygy getirilen.

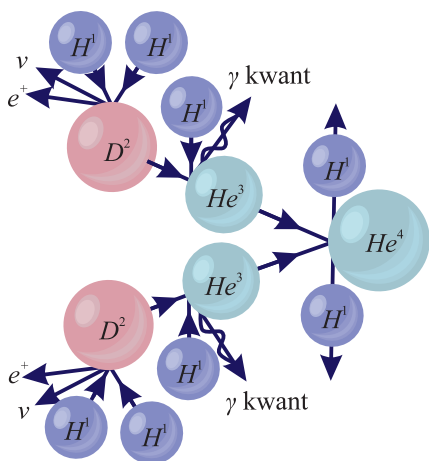
6-njy tablisadan görnüşi ýaly, Günüň jümmüşinde temperatura 10 million gradusdan hem ýokarydyr, basyş bolsa ýüzlerçe milliard atmosfera deňdir. Bu şertlerde aýry-aýry atomlar ägirt, örän uly, wodorod atomy üçin bir sekuntda ýüzlerçe kilometre ýetýän, tizlik bilen hereket edýärler. Şol bir wagtyň özünde maddanyň dykzlygynyň örän uludygy sebäpli atomlaryň çakyşmasy ýygy-ýygýdan bolýandyr. Bular ýaly çakyşmalaryň käbirleri, ýadro reaksiýalarynyň döremegi üçin zerur bolan, atom ýadrolarynyň örän jebis ýakynlaşmagyna getirýär.

6-njy tablisa

Günüň içki gurluşynyň modeli

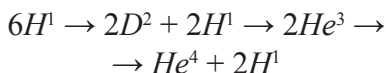
Merkezden uzaklygy R/R_{\odot}	Temperatura T (K)	Basyş P (Pa)	Dykzlyk g (g/sm ³)
0	$1,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{16}$	150
0,2	10^7	$4,6 \cdot 10^{15}$	36
0,5	$3,4 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^{13}$	1,3
0,8	$1,3 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^{11}$	0,035
0,98	10^5	10^9	0,001





121-nji surat. Proton-proton reaksiýasy

Günň jümmüşinde ýadro reaksiýalarynyň iki görnüşi wajyp orun tutýandyr. 121-nji suratda çyzgysy getirilen, ýadro reaksiýalaryň biriniň netijesinde, wodorodyň dört atomyndan geliniň bir atomy emele gelýär.



H^1 – proton, D^2 – deýteriýniň ýadrosy, He^3 , He^4 – geliniň izotoplary, e^+ – pozitron.

Reaksiýanyň aralyk tapgyrlarynda agyr wodorodyň ýadrolarynda

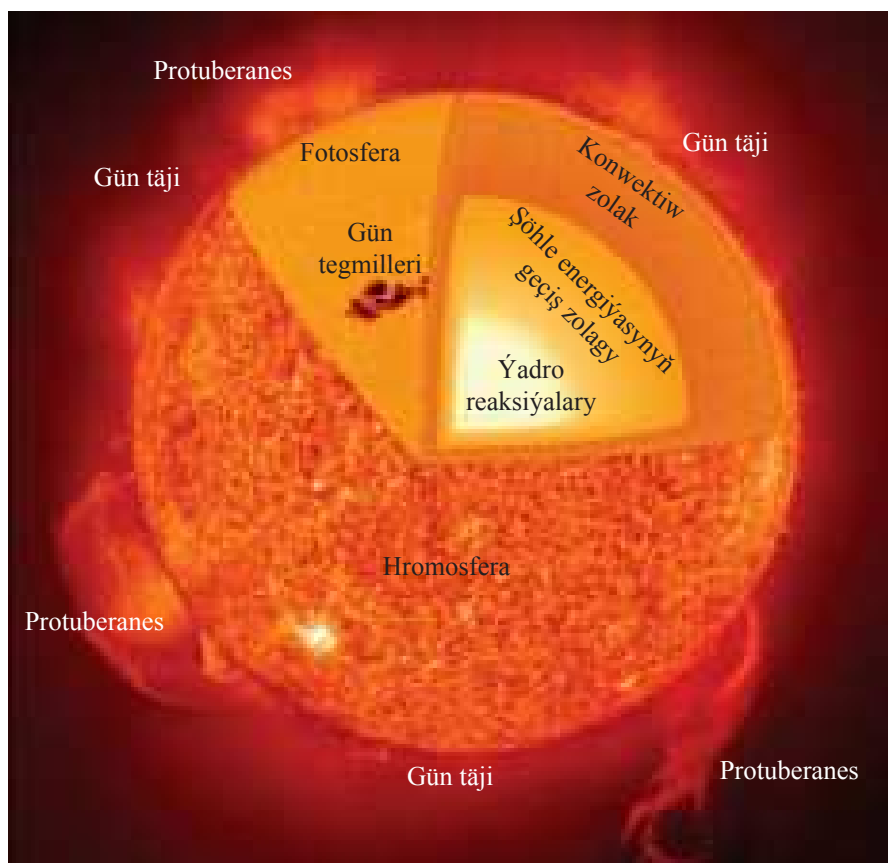
(deýteriý) we He^3 izotopyň ýadrolary emele gelýär. Bu reaksiýa proton-proton reaksiýa diýilýär.

Ýadro reaksiýalaryň beýleki görnüşiniň Günň şertlerinde wajpylygy pesräkdir. Ahyrky netijede bu reaksiýa hem dört sany protondan geliý ýadrosynyň emele gelmegine getirýär. Bu reaksiýanyň geçişi çylşyrymlydyr we diňe uglerodyň bolan mahaly geçýändir, onuň ýadrolary başlangyç tapgyrlarda reaksiýa girip, ahyrky tapgyrlarda bölünýändir. Şeýlelikde, uglerod bu reaksiýanyň katalizatorydyr, şonuň üçin oňa uglerod aýlawy diýilýär.

Geliniň ýadrosynyň massasynyň dört sany protonyň massasyndan 1%-e golaý kiçidigini aýratyn wajyp bellemek zerurdyr. Massanyň bu kem gelmesine massanyň defekti diýilýär we ýadro reaksiýalarynda köp mukdarda energiýa bölünip çykmagynyň netijesidir. Eýnşteýniň formulasyna görä, massa bilen baglanyşykly bu energiýa $E = mc^2$ deňdir.

Ýazgysy getirilen reaksiýalar Günň Älem giňişligini şöhlelendirýän energiýasynyň çeşmesidir.

Iň uly temperatura we basyş Günň iň çuň gatlaklarynda bolýandygy sebäpli, ýadro reaksiýalary we onuň bilen baglanyşykly energiýanyň bölünip çykmasy Günň merkezinde has intensiw bolup geçýändir. Diňe şu ýerde proton-proton reaksiýa bilen bir hatar-



122-nji surat. Günüň we onuň atmosferasynyň kese-kesiginiň çyzgysy

da uglerod aýlawy hem uly orun eýeleýändir. Günüň merkezinden daşlaşdygymyzça temperatura we basyş kemelýär, uglerod aýlawyň hasabyna energiýanyň bölünmesi örän çalt tamamlanýar we tä merkezden 0,2-0,3 radiusa çenli aralykda diňe proton-proton reaksiýa wajyp bolup galýar. Merkezden 0,3 radiusdan uly bolan aralykda temperatura 5 million kelwinden, basyş bolsa 10 milliard atmosferadan kiçi bolýar. Bu şertlerde ýadro reaksiýalary düýbünden geçip bilmelýär. Bu gatlarlar, has içki gatlaklarda gamma kwantlar görnüşinde bölünip çykan şöhlelenmäni, aýry-aýry atomlary tarapyndan siňdirilip we täzeden şöhlelendirme esasynda daşky gatlaklara geçirilýär. Her bir siňdirilen uly energiýaly kwantyň ýerine atomlar, düzgün boýunça, kiçi energiýaly birnäçe kwantlary



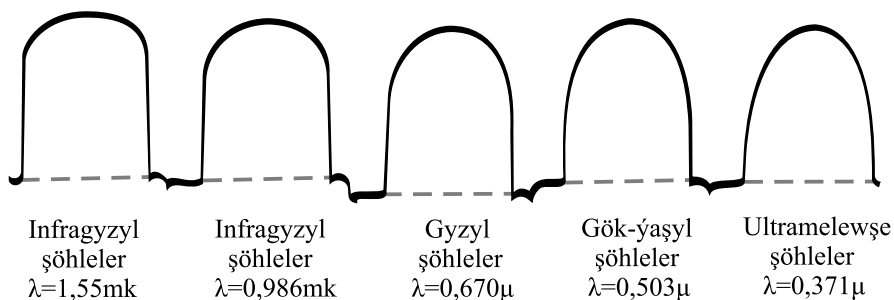
şöhlelendirýändikleri wajypdyr. Bu esasan hem aşakdaky sebäpler boýunça bolýar. Siňdirme netijesinde atom ionlaşýar ýa-da güýçli oýandyrylýar we şöhlenenmäge ukyply bolýar. Ýöne elektronýň başlangyç energetik derejä gaýdyp gelmesi gös-göni bolmaýar, aralyk ýagdaýlaryň üsti bilen bolýar we şol geçişlerde kiçi energiýaly kwantlar şöhlelendirilýär. Şonuň netijesinde has uly energiýaly gaty kwantlaryň kiçi energiýaly kwantlara «owradylmasy» bolýar. Şonuň üçin gamma şöhleleriň ýerine rentgen, rentgen şöhleleriň ýerine ultramelewşe we olar bolsa eýýäm daşky gatlaklarda göze görünýän we ýylylyk şöhleleriň kwantlaryna owradylýarlar, olar hem Gün tarapyndan şöhlelendirilýär.

Ýadro reaksiýalaryň hasabyna energiýanyň bölünip çykmasyňň ähmiýetini ýitirip, energiýany şöhlenenmäni siňdirme we soňra ony gaýtdan, şöhlelendirme esasynda geçirme prosesi başlanýan Günüň bölegine şöhle deňagramlylyk zolagy diýilýär. Onuň tutýan çäkleri Günüň merkezinden 0,3-den 0,7-i R_{\odot} -a çenli aralykdyr. Bu derejeden ýokarda energiýanyň geçirilişine maddanyň özi gatnaşyp başlaýar we Günüň gös-göni gözegçilik edilýän daşky gatlaklarynyň aşagynda, onuň 0,3 R_{\odot} -na deň bolan aralykda, energiýanyň konweksiýanyň hasabyna geçirilýän, *konwektiv zolagy* döreýär.

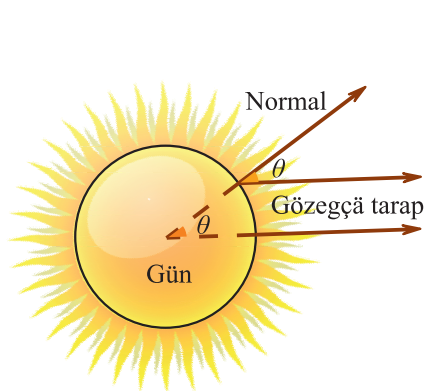
Şöhlenenmesini gözegçilik edip bolýan, Günüň iň daşky gatlaklaryna *Gün atmosferasy* diýilýär. Ol esasan hem üç gatlakdan ybaratdyr we olara *fotosfera*, *hromosfera* we *Gün täji* diýilýär. Günüň, umuman beýan edilen gurluşy 122-nji suratda getirilen.

§113. Fotosfera

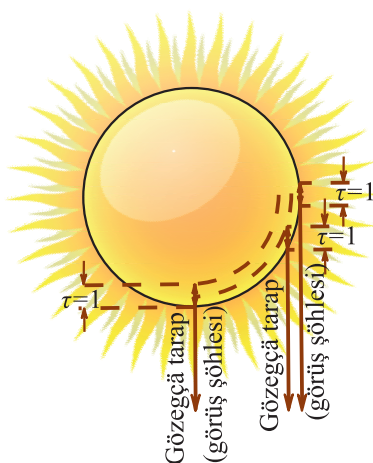
Üznüksiz spektri we göze görünýän şöhlenenmäniň döreýän ýeri bolan Günüň atmosferasynyň esasy bölegine fotosfera diýilýär. Şeýlelik bilen, fotosfera bize gelýän Gün energiýasynyň ählisini şöhlelendirýär diýen ýalydyr. Fotosfera Güne gös-göni ak ýagtylykda gözegçilik edilende onuň «üsti» ýaly bolup görünýär. Bular ýaly gözegçiliklerde ilki bilen Gün diskiniň (togalagynyň) gyralaryna tarap süýşdügiňçe, onuň endigan garamtyllaşmagy göze ilýändir. Merkezden näçe daşlaşdygymyzça ýitilik has çalt kemelýär, esasan hem gyralarda bu kemelme çürt-kesikdir. 123-nji suratda Günüň diskiniň



123-nji surat. Günň diskiniň ýitiliginiň merkezden gyralaryna tarap dürli şöhlelerde gözegçilik edilýän kemelmesi



124-nji surat. Günň diskinde ýerleşen nokadyň ýagdaýyny kesgitlemek



125-nji surat. Günň diskiniň ýitiliginiň merkezden gyralaryna tarap kemelmesiniň düşündirilişi

ýitiliginiň merkezden uzaklyga baglylykda, dürli şöhlelerde gözegçilik edilen üýtgemesi şekillendirilen.

Gün diskiniň gyralaryna tarap garalmagy, fotosferada çuňluga baglylykda temperaturanyň artýanlygy bilen düşündirilýär. Gün diskiniň dürli nokatlary, görüş şöhlesiniň Günň üstüniň seredilýän nokadynyň normaly bilen emele getirýän θ burçy bilen häsiýetlendirilýär (124-nji surat).

Diskiň merkezinde bu burç nola deň we görüş şöhlesi Günň radiusy bilen gabat gelýär. Gün diskiniň gyrasynda $\theta = 90^\circ$ -a deň



we görüş şöhlesi Günün gatlaklaryna galtaşýan ugur bolýar. §97-de görkezilişi ýaly, käbir gaz gatlagy üçin şöhlenenmäniň köp bölegi $\tau \approx 1$ bolan optiki çuňlukda ýerleşen derejä degişlidir. Haçan-da görüş şöhlesi fotosferanyň gatlaklaryny uly θ burç bilen kesende, $\tau = 1$ optiki çuňluk temperaturasy pes bolan, has daşky gatlaklarda ýetilýär. Şol sebäpli Gün diskiniň gyralarynyň şöhlenenmesiniň intensiwligi onuň merkeziniň şöhlenenmesiniň intensiwliginden kiçidir (*125-nji surat*).

Günün diski boýunça ýagtylygyň ýitilginiň paýlanyşynyň takyk ölçemeleri fotosferanyň esasy häsiýetnamalarynyň çuňluk boýunça üýtgemelerini hasaplamaga mümkinçilik berýär. Bular ýaly hasaplamalara fotosferanyň modelini gurmak diýilýär.

Temperaturanyň çuňluga baglylygyny kesgitlemek. Günün diskiniň gyralarynda ýitilginiň kemelmegi birinji ýakynlaşmada $\cos \theta$ proporsionaldyr we empiriki formula bilen aňladylyp bilner:

$$I(\theta) = I_0(1 - u + u \cos \theta), \quad (8.11)$$

bu ýerde $I(\theta)$ – görüş şöhlesiniň normal bilen θ burç emele getirýän nokadyndaky ýitilik, I_0 – diskiň merkezindäki şöhlenenmäniň ýitiligi, u – tolkun uzynlygyna bagly bolan proporsionallyk koeffisiýenti. 123-nji surata laýyklykda, gyzyň şöhleler üçin u bahasy gök reňkinkiden kiçidir. Tolkun uzynlygy $\lambda = 5000 \text{ Å}$ bolan ýaşyl şöhleler üçin $u = 0,65$ -e deň, $\Delta \lambda = 1 \text{ m}$ üçin

$$I_0 = 4,6 \cdot 10^{13} \text{ Wt}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr}).$$

Indi bolsa gözegçilik edilýän ýitilgiň maddanyň $\tau = 1$ optiki çuňlukda şöhlenenijilik ukybyna takmynan deňdiginden peýdalanalyň. Gün diskiniň merkezinden gyralaryna geçeniňde gözegçilik edilýän burçuň üýtgeýändigini sebäpli, disk boýunça $I(\theta)$ ýitilgiň üýtgemesi atmosferanyň çuňluk boýunça şöhlenenijilik ukybynyň deňişli üýtgemesini görkezýär (ýa-da radius boýunça ölçenilýän optiki galyňlygyň üýtgemesi boýunça). 125-nji suratdan görnüşi ýaly, radiusyň kesiminiň ugry boýunça maddanyň mukdary, şol konsentrik gatlaklar bilen çäklenen, görüş şöhlesiniň kesiminiň ugry boýunça ýerleşen maddanyň mukdaryndan $\sec \theta$ esse azdyr. Diýmek, diskiň berlen nokadynda hakyky gözegçilik edilýän gatlak (ýagny görüş şöhlesiniň ugry boýunça $\tau = 1$ bolan optiki çuňlukda ýerleşen), radiusyň ugry boýunça $\tau = \cos \theta$ deň bolan optiki çuňlukda ýerleşendir. Bu bahany



(8.11) aňlatmada ornuna goýup, radiusyň ugry boýunça optiki çuňluga görä atmosferanyň şöhlelenijilik ukybynyň üýtgemesini alarys:

$$I(\tau) = I_0(1 - u + u\tau), \quad (8.12)$$

ýa-da ýaşyl şöhleler üçin:

$$I_{5000}(\tau_{5000}) = (0,35 + 0,65\tau_{5000}) \cdot 4,6 \cdot 10^{13} \text{ Wt}/(m^3 \cdot sr).$$

Şeýlelikde, fotosferanyň radiusyň ugry boýunça hasaplanylýan τ_λ optiki çuňlukda şöhlelenmesi, Gün diskiniň $\cos \theta = \tau_\lambda$ bolan no-kadyndaky ýitiligine takmynan deňdir.

Fotosferanyň şöhlelenmesi güýçlüdir, diýmek, göze görünýän bütin üznüksiz spektrde şöhlelenmäni siňdirýändir. Bu bolsa fotosferanyň şöhlelenmesine §98-de formulirlenen, ýylylyk deňagramlylyk kanunyny ulanmaga mümkinçilik berýär. Onda, fotosferanyň kesgitli çuňlukda ýerleşen her bir gatlagy üçin, seredilýän şöhlelenmäniň (biziň mysalymyzda tolkun uzynlygy $\lambda = 5000 \text{ Å}$) ýitiligi (8.12) formula boýunça kesgitlenýän $I(\tau)$ deň bolar ýaly temperaturanyň bahasyny tapyp bolýar. Bu ýol bilen kesgitlenen temperaturanyň optiki çuňluga baglylygy 7-nji tablisada getirilen.

Tablisadan görnüşi ýaly, fotosferada temperatura çuňluk boýunça artýar we onuň ortaça bahasy 6000 K deň. §111-de alnan netijeleri ýatlasak, şonda temperaturanyň ýüze çykarylan minimumynyň fotosferanyň ýokarky gatlaklary bilen gabat gelýändigini görmek bolýar. Şeýle hem fotosferada wodorodyň gowşak ionlaşandygy gelip çykýar.

7-nji tablica

Fotosferada fiziki şertler

Optiki çuňluk ($\lambda = 5000 \text{ Å}$)	Temperatura $T \text{ (K)}$	Geometrik çuňluk $h \text{ (km)}$	Basyş $P \cdot 10^{-5} \text{ (Pa)}$	Dykyzlyk $\rho \cdot 10^7 \text{ (g/sm}^3\text{)}$
0,01	4500	+148	0,1	0,04
0,10	4900	-155	2,5	1,0
0,50	5900	-280	10	2,7
1,00	6400	-330	12	3,6

Fotosferanyň ölçegini kesgitlemek. Fotosferanyň ölçegini kesgitlemek üçin, §112-de girizen beýiklik şkalasy diýen düşünjeden

peýdalanalyň. Atmosferanyň ýokarky araçäginde P_1 basyş nola ymtylýar, onda onuň esasyndaky basyş

$$P_2 \approx \rho g H. \quad (8.13)$$

H ululygy, esasynda döredýän basyşy öwrenilýän gatlagyň basyşyna deň bolan, hemişelik ρ dykzlykly birhilli atmosferanyň ölçegi hökmünde seretmek bolar. Şol sebäpli H ululygyna, köplenç, *birhilli atmosferanyň beýikligi* diýilýär. Ol atmosferanyň ölçegini häsiýetlendirýär. Hakykatdan-da, (8.13) aňlatmany şu görnüşde ýazyp bileris:

$$mg_{\Theta} H = kT. \quad (8.14)$$

Soňky aňlatmadan, atmosfera gazlarynyň bölekleriniň ähtimal kinetik energiýalary, beýiklik şkalasy bilen gabat gelýän H beýiklige (8.5) degişli potensial energiýa deň bolar ýaly paýlanandyr.

Fotosfera esasan hem ionlaşmadyk wodoroddan ybaratdyr we onuň üçin $\mu \approx 1$. Bu bahany (8.14) formulada ornuna goýup we $T = 6000 \text{ K}$, $g_{\Theta} = 2,7 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$ diýip kabul edip alarys:

$$H = \frac{RT}{\mu g_{\Theta}} \approx 180 \text{ km}. \quad (8.15)$$

Diýmek, fotosferada dykzlygyň ýeterlik üýtgemesi ýüzlerçe kilometriň dowamynda bolýar, bu bolsa Gün radiusynyň 1/3000 bölegine deňdir.

Fotosferada maddanyň dykzlygy we basyşy. §108-de iň köp şöhlelenme döredýän gatlagyň optiki galyňlykda ýerleşmelidigi görkezilipdi. Şonuň üçin, optiki galyňlygyň kesgitlemesine laýyklykda (6.29):

$$\tau = \chi \rho H \approx 1. \quad (8.16)$$

Bu aňlatmada $\chi - 1 \text{ gram}$ madda üçin hasaplanan siňdirmе koeffisiýenti. Fotosferanyň maddasy üçin onuň orta bahasy $0,6 \text{ sm}^2/\text{g}$ deňdir. Onda, $H = 180 \text{ km}$ diýip alarys:

$$\rho = \frac{1}{\chi H} = \frac{1}{0,6(\text{sm}^2/\text{g}) \cdot 1,8 \cdot 10^7 \text{ sm}} = 10^{-7} \text{ g/sm}^3.$$

Has takyk hasaplamalar, dykzlygyň fotosferanyň ýokary gatlaklarynda $0,1 \cdot 10^{-7} \text{ g/sm}^3$ -dan başlap, aşaky çuň gatlaklarynda $5 \cdot 10^{-7} \text{ g/sm}^3$ -a çenli aralykda üýtgeýändigini görkezýär. Wodorod



atomynyň massasy $1,6 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ bolany üçin, fotosferanyň 1 sm^3 göwrümünde $6 \cdot 10^{15}$ -den $3 \cdot 10^{17}$ -ä çenli atom bardyr (adaty şertlerde howanyň 1 sm^3 göwrümünde takmynan $2,7 \cdot 10^{19}$ molekulalary bolýandyr). Indi, $\mu = 1 \text{ g/mol}$ we $T = 6000 \text{ K}$ diýip kabul edip, (6.9) formula boýunça gazyň basyşyny tapmak ýeňildir, onuň bahasy $5 \cdot 10^2$ -dan $2,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ -a çenli aralyklarda üýtgeýär. 10^4 Pa basyş 100 millibar ýa-da 0,1 atmosfera basyşyna deňdir.

Ulanylan pikir ýöretmeler, fotosferanyň maddasynyň fiziki häsiýetlerini kesgitlemek üçin hasaplamalaryň esasy tapgyrlaryny görkezýär. Alnan netijeleriň ähli san ululyklary takmynandyr. Emma muňa garamazdan, alnan netijeler fotosferadaky şertler barada dogry düşünje berýär we 6-njy tablisada getirilen has takyk ululyklar bilen gowy ylalaşyklygy görkezýär. Bu tablisada geometrik çuňluk h , Günüň gözegçilik edilýän gyrasyna degişli derejeden ýokarlygyna «+» alamaty, fotosferanyň içine tarap bolsa «-» alamaty bilen alnandyr.

Şeýlelikde, fotosfera konsentrasiýasy 1 sm^3 -da 10^{16} - 10^{17} bölejik bolan, 5-6 müň kelwin temperaturaly we 0,1 atmosfera basyşy bolan, has dury däl, galyňlygy birnäçe ýüz kilometr bolan, ýuka gaz gatlagydyr.

Bu şertlerde uly bolmadyk ionlaşma potensialy bolan ähli himiki elementler (birnäçe wolt, mysal üçin, Na, K, Ca) ionlaşýar. Beýleki elementler, şol sanda wodorod hem, esasan neýtral ýagdaýda bolýar.

Neýtral wodorodyň Günde bar ýeri diňe fotosferadyr. Emma wodorodyň ujypsyzja ionlaşmasy we metallaryň tutuşlygyna ionlaşmasy netijesinde fotosferada erkin elektronlar bar. Bu elektronlaryň wajyp ähmiýeti bardyr, olar wodorodyň neýtral atomlary bilen birleşip, wodorodyň otrisatel ionlaryny emele getirýär (H^-). Bu ionlar proton bilen baglanyşykly bolan iki elektrondan ybarat. Wodorodyň otrisatel ionlary ujypsyzja mukdarda emele gelýär, ýagny ýüz million wodorod atomyndan ortaça diňe biri otrisatel iona öwürülýär. Otrisatel ionlar şöhlelenmäni, esasan hem spektriň infragyzyly we göze görünýän çäklerinde örän güýçli siňdirýär. Şonuň üçin, konsentrasiýasynyň örän ujypsyz bolmagyna garamazdan, wodorodyň otrisatel ionlary, fotosfera maddasynyň spektriň göze görünýän şöhlelenmesini siňdirmesini kesgitleýän, esasy sebäbidir.

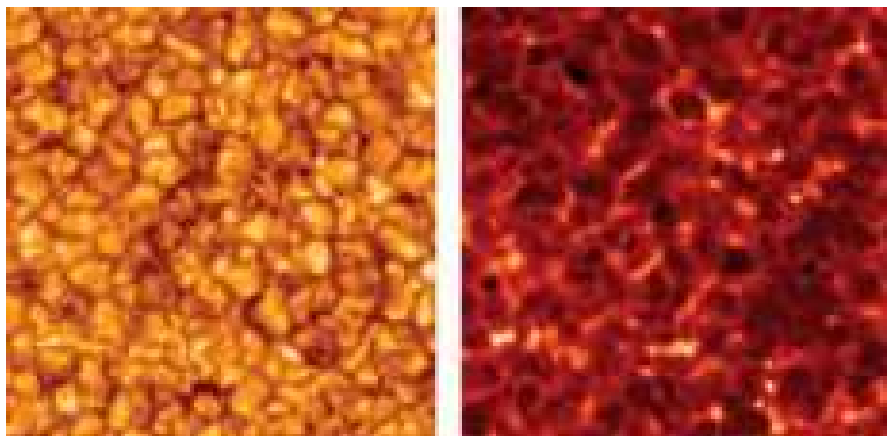


§114. Granulýasiýa we konwektiw zolak

Fotosfera atmosferanyň örän amatly şertleri dörän wagtynda geçirilýän wizual we fotografik gözegçilikler, onuň örän ýakyn ýerleşen, topbak bulutlary ýa-da sepelenen şaly dänelerini ýadyňa salýan, has ownuk, ýuka gurluşynyň bardygyny ýüze çykarmaga mümkinçilik berýär (*126-njy surat*). Ýagty tegelek emele gelmelere granular diýilýär, bütin struktura bolsa granulýasiýa diýilýär. Granulalaryň burç ölçegleriniň orta bahalary duganyň 1"-dan uly däldir, bu bolsa Günün üstünde 700 km-den az däldir. Her bir aýry granularyň «ýaşayşynyň» dowamlylygy ortaça 5-10 minut töweregidir, soňra ol dargaýar we onuň ýerinde täzeleri döreýändir.

Granular öýjükleri emele getirýän, garamtyl aralyklar bilen çäklenendirler. Granulalaryň we olaryň garamtyl araçäkleriniň spektrleri degişlilikde gök we gyzyt tarapa süýşendir. Bu bolsa granulalaryň maddasynyň ýokarlygyna, araçäkleriň maddasynyň bolsa aşaklygyna hereket edýändigini aňladýar. Bu hereketleriň tizligi 1-2 km/s.

Granulýasiýa-fotosferadan aşakda ýerleşen konwektiw zolagyň fotosferada gözegçilik edilýän ýüze çykarmasydyr. Konwektiw zolakda gazyň aýry-aýry massalarynyň (konweksiýa elementleriniň) ýokary göterilmesi we aşaklygyna gaýtmany netijesinde maddanyň garyşmasy bolýar. Takmynan öz ölçeglerine deň bolan ýoly geçip, daşky gurşawda eräp gidýän ýaly bolýar. Daşky, has sowuk gatlaklarda bular ýaly birhilli dällikleriň ölçegleri kiçiräk bolýar.



126-njy surat. Günün granulýasiýasy

Günüň daşky gatlaklarynda konweksiýanyň döremeginiň sebäbiniň iki wajyp ýagdaýy bardyr. Bir tarapdan, fotosferanyň gös-göni aşagynda temperatura çuňlugyna tarap örän çalt artýar we has çuňlukda ýerleşen gyzgyn gatlaklaryň şöhlenenmesiniň daşyna çykmagyny şöhle göýberme üpjün edip bilmeýär. Şonuň üçin energiýany hereket edýän birhilli dällikleriň özleri geçirýär. Beýleki bir tarapdan bolsa, bu birhilli dälliklerdäki gaz doly däl-de bölekleýin ionlaşan bolsa, onda ionlaşma energiýasynyň hasabyna olaryň temperaturasy üýtgemeyär diýen ýalydyr we temperaturanyň artykmaçlygy uzak wagtlaý saklanýar, birhilli dälligiň «ýaşaýyş» wagty uly bolýar.

Fotosferanyň aşaky gatlaklaryna geçilende bu iki ýagdaýyň täsiri ýitýär. Sebäbi, şöhlenenme sebäpli ýitgiler üçin temperatura çürt-kesik peselýär we onuň ýokarlygyna kemelme tizligi peselýär, gaz bolsa bütewüligine neýtrallaşyp, ionlaşma energiýasy bolmany üçin durnukly birhilli dällikleri emele getirip bilmeyär. Şonuň üçin, konwektiw zolagyň iň ýokarky gatlaklarynda, fotosferanyň gös-göni aşagynda, konwektiw hereketler çürt-kesik togtatýar we konweksiýa duýdansyz tamamlanýar. Şeýlelik bilen, fotosfera mydama aşagyndan konwektiw elementler tarapyndan «bombalanýan» ýaly bolýar. Bu urgulardan onda, granular görnüşinde gözegçilik edilýän, tolgunmalar döreýär, onuň özi bolsa fotosferanyň hususy yrgyldylarynyň ýygylmagyna (5 min) deň bolan, period bilen yrgyldap başlaýar. Fotosferada döreýän bu yrgyldylar we tolgunmalar, onda tebigaty boýunça howadaky ses tolkunlaryna meňzeş bolan tolkunlary döredýär. Bu tolkunlaryň Gün atmosferasynyň has ýokarky gatlaklary üçin wajyp ähmiýetiniň bardygyny indiki paragraflarda göreris.

§115. Gün atmosferasynyň daşky gatlaklary

Öň belleýşimiz ýaly, fotosferada maddanyň dykzlygy beýiklik boýunça çalt kemelýär we Gün atmosferasynyň ýokarky gatlaklary örän seýreklandirililen bolýarlar.

Fotosferanyň daşky gatlaklarynda, ýagny dykzlygyň $3 \cdot 10^{-8} \text{ g/sm}^3$ ululyga çenli kemelýän ýerinde temperatura takmynan 4500 K çenli kemelýär. Temperaturanyň bu bahasy bütin Gün atmosferasynda iň pes temperaturadyr. Has ýokarky gatlaklarda temperatura ýene ýo-



kary galyp başlaýar. Ilkibaşda temperaturanyň haýallyk bilen onlarça müň gradusa çenli artmasy bolýar. Temperaturanyň bu artmasy wodorodyň, şeýle hem geliniň ionlaşmasy bilen bolup geçýär. Gün atmosferasynyň bu bölegine hromosfera diýilýär.

Hromosferanyň ýokarky, seýreklenmäniň 10^{-15} g/sm^3 -e ýetýän gatlaklarynda, ýagny her bir santimetr kub göwrümde bary-ýogy 10^9 atom bolanda, temperaturanyň çürt-kesik, takmynan million gradusa ýetýän, artmasy bolup geçýär. Şol ýerden Gün atmosferasynyň iň daşky we iň seýreklendirilen, Gün täji diýip atlandyrylýan gatlagy başlanýar.

Gün atmosferasynyň has daşky gatlaklarynyň örän ýokary temperaturalara çenli gyzdyrylmagynyň sebäbi, §114-de belläp geçişimiz ýaly, konweksiýa elementleriniň hereketi netijesinde döreýän akustik tolkunlaryň energiýasydyr. Ýokarlygyna, dykzlygy az bolan gatlaklara ýaýranda, bu tolkunlaryň amplitudasy birnäçe kilometrlere ýetýär we olar urgy tolkunlaryna öwrülýärler.

Urgy tolkunlary adaty tolkunlardan, tolkundaky bilen deňeşdireniňde tolgundyrylmadyk gurşawdaky gazyň temperaturasynyň, basyşynyň we dykzlygynyň çürt-kesik pese düşmesi bilen tapawutlanýar. Onuň bolmagynyň esasy sebäbi, Gün atmosferasynyň gysylýan ýerinde temperatura we dykzlyk artýandyr, diýmek sesiň ýaýraýyş tizligi hem artýandyr. Şol sebäpli uly amplitudaly tolkunlar öz gurluşyny (strukturasyny) ýeterlik üýtgedýärler, gysylan ýerlerinde tolkunyň ýaýraýan ugry boýunça maddanyň akymy (joşmagy) bolýar we tolkunyň tolgundyrylmadyk madda bilen aralygynda çürt-kesik araçäk-urgy tolkunyň kert fronty döreýär.

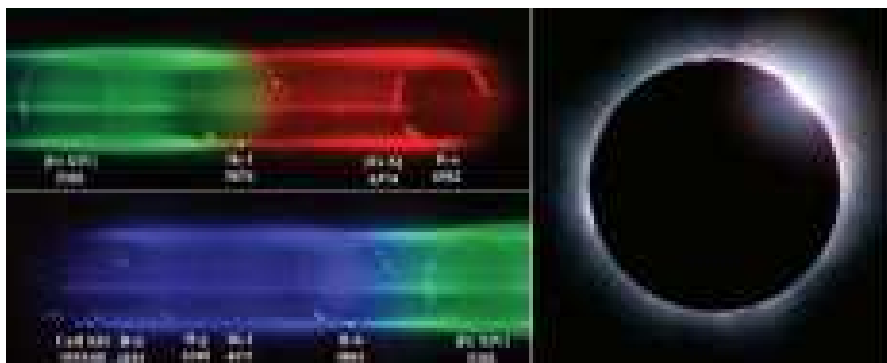
Urgy tolkunlarynyň döremegi netijesinde atmosferanyň uly gabaraly çäkleriniň tolkun şekilli dogry hereketleri has ownuk, tertipsiz hereket edýän, aýry-aýry gaz massalaryna bölünýär. Bu proses tolkunlaryň dissipasiýasy diýilýär. Dissipasiýanyň has hem güýçli bolup geçýän ýeri bolan hromosferada we Gün täjinde, aýry-aýry atamlaryň tertipsiz hereketiniň tizlikleri artýar, ýagny bölejikleriň ýylylyk hereketleri güýçlenýär. Onuň netijesinde bolsa, hromosferada we Gün täjinde temperaturanyň ulalmasy bolýar.

§116. Hromosfera

Hromosferanyň integral, ýagny bütin spektr boýunça ýitiligi, has intensiw çyzyklarda şöhlelenmeleriniň deňdigine garamazdan, fotosferanyň ýitiliginden ýüzlerçe esse kiçidir. Şol sebäpli hromosferany gözegçilik etmek üçin onuň gowşak şöhlelenmesini fotosferanyň radiasiýasynyň kuwwatly akymyndan bölüp almaga mümkinçilik berýän ýörite usullary peýdalanmak zerurdyr.

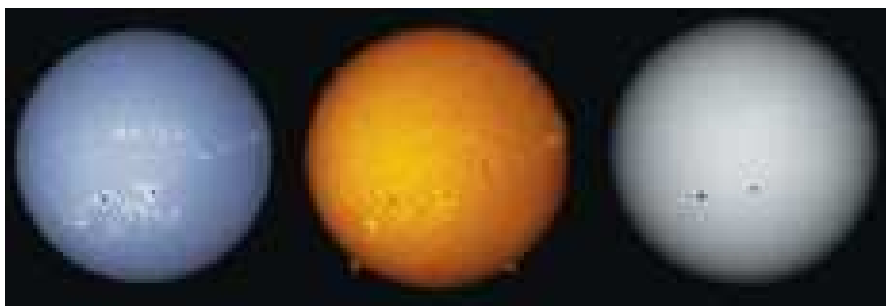
Hromosfera gözegçilik etmegiň has amatly we taryhy ilkinji usullaryň biri, doly Gün tutulanda ikinji we üçünji kontaktlaryň ýakynynda geçirilýän gözegçiliklerdir. Haçan-da Aý fotosferany doly ýapan wagtynda, kontakt nokadynyň ýanynda hromosferanyň ýalpyldaýan gülgüne oragy lowurdaýar. Bular ýaly oragyň giňligi hromosferanyň ölçegi (dowamlylygy) barada düşünje berýär. Onuň ölçegleri 16-20", ýagny çyzykly ölçegi 12-15 müň kilometrdir. Hromosferanyň ýiti çyzyklardan ybarat bolan, emission spektri bar (*127-nji surat*).

Gözegçiliklerde olar tutulmanyň doly fazasy bolan pursadynda lowurdap görünýän ýaly bolýar. Onuň üçin hromosferanyň spektri *lowurdama spektri* diýlip atlandyrylandyr. Bu spektr, hemme siňdirme çyzyklary şöhlelenme çyzyklary bilen çalşylan, üznüksiz spektri bolsa düýbünden bolmadyk, Gün spektrine meňzeşdir. Emma hromosferanyň spektrinde ionlaşan elementleriň çyzyklary fotosferanyň spektrindäkiden güýçlüdir. Mysal üçin, hromosferanyň spektrinde geliniň çyzyklary güýçlüdir, ýöne şol wagtyň özünde bu çyzyklar fraungofer spektrinde düýbünden görünmeýär. Spektriň bu



127-nji surat. Hromosferanyň spektri





128-nji surat. Ionlaşan kalsiniň K , wodorodyň H_α çyzyklarynda alnan spektrogrammalar we şol wagtda fotosferanyň ak ýagtylykda düşürilen fotosuraty

áýratynlyklary hromosferada temperaturanyň artýandygyny tassyklaýar. Hromosferanyň spektrinde ionlaşan kalsiniň, wodorodyň we geliniň çyzyklary has intensiwdir. Bu çyzyklarda hromosfera dury däl-dir, ýöne göze görünýän üznüksiz şöhlelenme üçin áýratyn durudyr. Netijede, güýçli fraungoferiň çyzyklarynyň merkezi böleklerinde biz fotosferanyň däl-de, hromosferanyň şöhlelenmesini görýäris. Bu ýagdaý, hromosferany haýsy hem bolsa bir çyzygyň (köplenç, wodorodyň H_α ýa-da ionlaşan kalsiniň K çyzygynda) merkezi bölegine degişli bolan, spektriň örän darajyk çäginde öwrenmegiň wajyp usulyň esasynda durandyr. Onuň üçin Güni ýörite enjamyň-spektrogeliografyň kömegi bilen fotosurata düşürýärler. Bu çyzyklarda şöhlelenme üçin hromosfera dury däl-dir we şonuň üçin fotosuratda (spektrogeliogrammada) gözegçilik edilýän şekilleriň detallary hromosfera degişlidir (128-nji surat).

Şeýlelik bilen, fraungoferiň çyzyklarynyň şöhlelenmesine gözegçilik edip, Gün atmosferasynyň dürli çuňluklarda ýerleşen gatlaklaryny öwrenmek mümkindir. Siňdirmе koeffisienti näçe kiçi boldugyça, ýagny madda näçe dury boldugyça, şonça-da has çuňda ýerleşen gatlaklary gözegçilik edip bilýäris. §99-da görkezilişi ýaly, spektral çyzyklarda merkezinden ganatlaryna tarap uzaklaşdygymyzça siňdirmе kemelýändir. Şonuň üçin çyzyklaryň ganatlarynda, şeýle hem gowşak çyzyklaryň merkezlerinde fotosferanyň beýikligi boýunça dürli derejelerini gözegçilik edip bolýar, güýçli çyzyklaryň merkezi bölekleri bolsa hromosferany öwrenmäge mümkinçilik berýär.

Hromosferanyň fotosuratlary öwrenilende, fotosferadaky granulyásiýa bilen deňeşdirilende has aýdyň we ýiti ýüze çykýan, birhilli dällikler ilki bilen ünsi özüne çekýär. Hromosferada has ownuk düzüm emele gelmelere *spikula* diýilýär. Olaryň süýnmegräk görnüşi bolup, süýnmegi esasan radial ugurda ugrukdyrylandyr. Olaryň uzunlygy birnäçe mün, galyňlygy bolsa bir mün kilometre deňdir. Spikulalar sekuntda onlarça kilometr tizlik bilen hromosferadan ýokarlygyna galyp, Gün täjine ýetýärler we onda ereýärler. Şeýlelikde, spikulanyň üsti bilen hromosferanyň we ýokarda ýerleşen Gün täjiniň arasynda maddanyň çalyşmasy bolýar. Gün täjiniň maddasynyň hem öz gezeginde aşak, hromosfera düşüp bilýändigini görkezers. Öz gezeginde spikulalar hem has uly düzümi emele getirýärler. Oňa hromosferatary diýilýär. Olaryň emele gelmesiniň esasy sebäbi fotosferadan hem çünä ýerleşen konwektiw zolagyň elementleri bilen baglydyr.

§117. Gün täji

Gün täjiniň ýitiligi fotosfera bilen deňeşdirilende millionlarça esse kiçidir we doly Aý döwründe onuň ýagtylygyndan uly däl. Şonuň üçin Gün täjini Gün tutulmalarynyň doly fazasy döwründe, galan wagtlary bolsa koronograflaryň kömegi bilen gözegçilik edip bolýandyr.

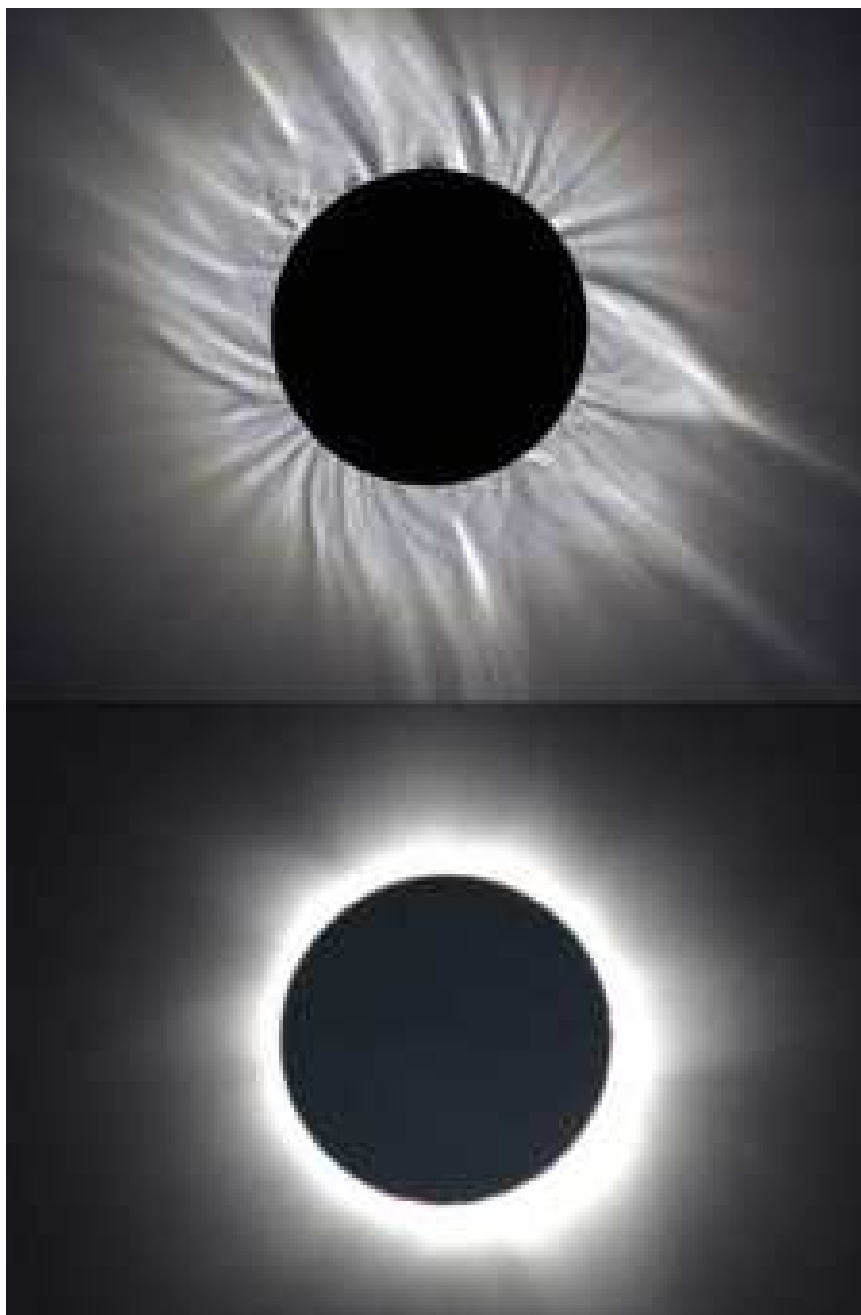
Gün täjiniň çürt-kesik çäkleri ýokdur, wagta görä güýçli üýtgeýän, nädogry görnüşi bardyr. Onuň şeýledigine, dürli Gün tutulmalarynda düşürilen fotosuratlary deňeşdirip, göz ýetirmek bolýar (*129-njy surat*).

Täjiň ýitiligi, Günüň gyrasyndan onuň radiusyna deň aralyga uzaklaşanymyzda, onlarça esse kemelýär. Täjiň has ýagty, limbdan 0,2-0,3 Gün radiusyna deň uzaklyga çenli dowam edýän bölegine – *içki täç*, galan has dowamly bölegine bolsa – *daşky täç* diýilýär.

Gün täjiniň wajyp aýratynlygy onuň şöhle düzümidir. Şöhleler dürli uzynlyklarda, ýagny onlarça we ondan hem köp Gün radiusyna çenli bolup bilýärler. Esasyň ýakynynda şöhleler adatça giňelýärler, käbirleri bolsa goňşularyna tarap egrelýärler.

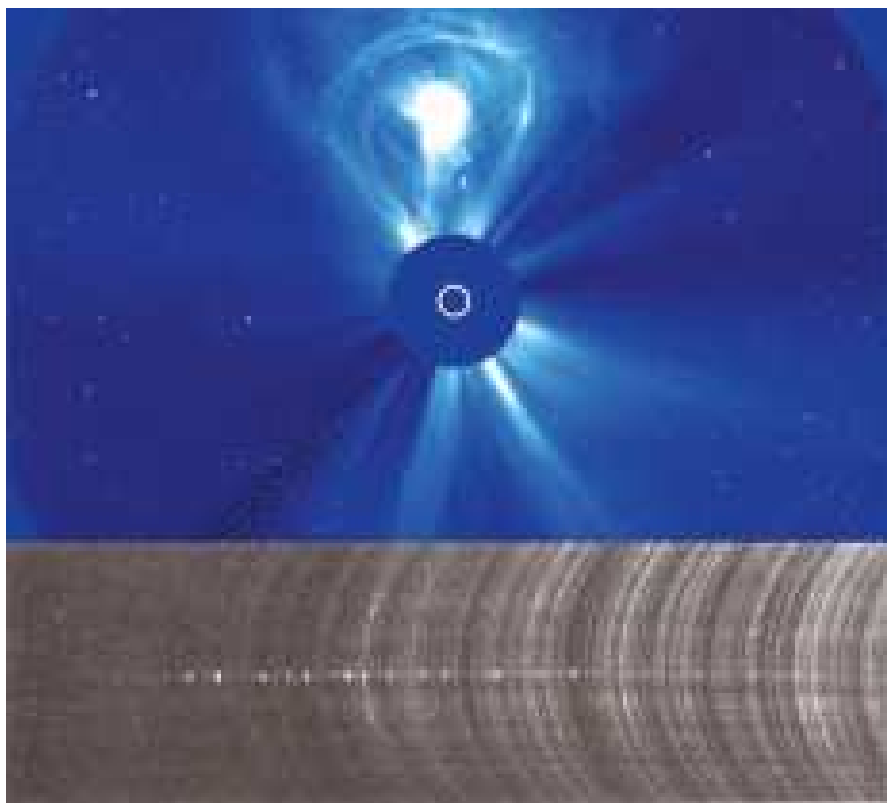
Içki täçde hem dugany, aýry-aýry bulutlary (täç kondensasiýalary) ýadyňa salýan, dürli görnüşli düzüm emele gelmeleri bardyr.





129-njy surat. Gün täjiniň tegmilleriň maksimumy we minimumy döwründe alnan fotosuratlary





130-njy surat. Gün täjiniň we protuberanesiň koronografyň kömegi bilen alnan spektrleri

Ony esasy häsiýetlendiriji emele gelme, käwagtlar polýuslarynda gysga göni şöhleleriň emele getirýän we polýar çotgajyklary diýilýän görnüşidir.

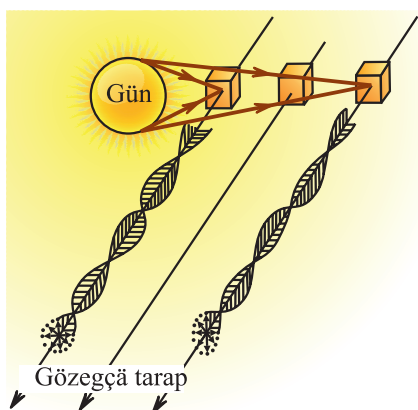
Gün täjiniň spektriniň birnäçe wajyp özboluşlygy bardyr. Onuň esasy gowşak üznüksiz fon bolup, onda energiýanyň paýlanylyşy Günüň üznüksiz spektrinde energiýanyň paýlanyşyna meňzeşdir. Bu üznüksiz spektriň fonunda içki täçde, Günden daşlaşdygyňa intensiwligi kemelýän, ýiti emission çyzyklar gözegçilik edilýändir (*130-njy surat*). Bu çyzyklaryň aglabasyny tejribede alynýan spektrlerde alyp bolmaýar. Daşky täçde, fotosferadakydan uly galyndy intensiwligi bilen tapawutlanýan, Gün spektriniň fraungofer çyzyklary gözegçilik edilýär.

Täjiň şöhlenmesi polýarlanandyr, özi hem Günň gyrasyndan $0,5 R_{\odot}$ aralykda polýarlanma 50%-e çenli ýetýär, has uzak aralyklarda bolsa ýene kemelýändir.

Täjiň we fotosferanyň üznüksiz spektrlerinde energiýanyň paýlanyşynyň meňzeş bolmagy, täjiň şöhlenmesiniň, fotosferanyň ýagtylygynyň dagynyk serpikdirilmesidigini görkezýär.

Bu ýagtylygyň polýarlanan bolmagy, ony dagynyk serpikdirýän bölejikleriň tebigatyny anyklamaga mümkinçilik berýär. Bular ýaly güýçli polýarlanmany diňe erkin elektronlar döredip bilerler.

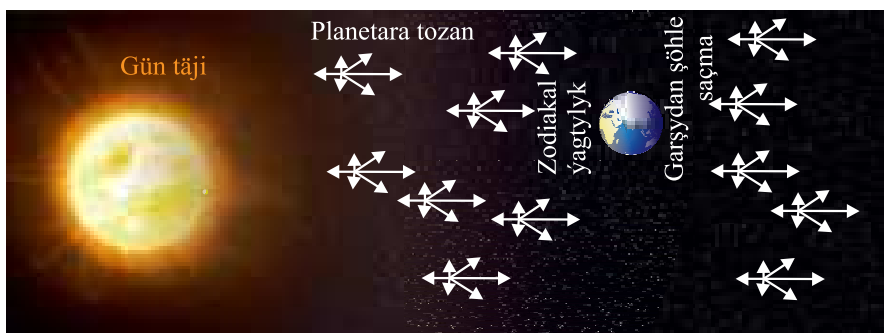
Görüş şöhesiniň ugry boýunça, üstüne düşýän fotosferanyň şöhlenmesini diňe 90° burç bilen däl-de, islendik burç bilen dagynyk serpikdirýän, Gün täjiniň meýdançalarynyň ýerleşýändikleri sebäpli, gözegçilik edilýän polýarlanma bölekleyin bolýar (131-nji surat).



131-nji surat. Ýagtylygyň täçde polýarlanmasy

Täjiň Günden has uzakdaky nokatlary üçin görüş şöhesi bilen düşýän şöhleleriň arasyndaky burç 90° -a ýakyndyr. Şonuň üçin, Gün täji boýunça ýokarlygyna galyndygyça polýarlanma derejesi artmalydyr. Bu hakykatdan hem şeýledir, Gün täjiniň içki

Günden has uzakdaky nokatlary üçin görüş şöhesi bilen düşýän şöhleleriň arasyndaky burç 90° -a ýakyndyr. Şonuň üçin, Gün täji boýunça ýokarlygyna galyndygyça polýarlanma derejesi artmalydyr. Bu hakykatdan hem şeýledir, Gün täjiniň içki



132-nji surat. Günň şöhlenmesiniň planetara tozanjyklarda dagynyk serpikmesi we fraunhofer täjiniň emele gelmegi

böleginde beýiklik boýunça polýarlanma derejesi artýandyr. Emma daşky täçde bu artma kemelme bilen çalyşýandyr. Bu bolsa beýiklik boýunça otnositel paýy artýan, şöhlelenmäniň polýarlanmadyk böleginiň bardygyny görkezýär.

Bu polýarlanmadyk düzüji daşky täçde fraungofer çyzyklarynyň ýüze çykmagyna sebäp bolýandyr we şonuň üçin oňa *fraungofer täji* hem diýilýär. Fraungofer täjiniň Gün atmosferasyna hiç-hili degişlilik ýokdur. Fraungofer täji Ýer bilen Günüň aralygyndaky giňişlikde ýerleşen, planetara ownuk tozanjyklardan dagynyk serpigen Gün şöhleleridir. Ýagtylygy dagynyk serpikdirmek bilen, ony gowşak polýarlandyryýandyr. Bu tozanjyklar ýagtylygyň köp bölegini düşýän ugry boýunça dagynyk serpikdirmäge ukyplydyr (*132-nji surat*). Şonuň üçin tozanjyklarda dagynyk serpikmäniň intensiwliginiň in uly bahasy Günüň ýakynynda bolýar we «ýalan täç» duýgusyny döredýär. Bu ýagtylanmany Günden has uzak aralyklarda hem gözegçilik edip bolýar we oňa *zodiakal ýagtylyk* diýilýär.

Gün täjiniň her bir nokadyndaky ýitilik görüş şöhlesindäki ýerleşen elektronlaryň mukdaryna proporsionaldyr. Her bir erkin elektron 1 sm^2 meýdança düşýän şöhlelenmäniň mukdarynyň 10^{-24} bölegini dagynyk serpikdirýär. Gün täjiniň ýitiliginiň fotosfera bilen deňeşdirilende millionlarça esse kiçi bolany üçin, görüş şöhlesiniň ugry boýunça, kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 bolan sütünjikde $10^{-6}/10^{-24} = 10^{18}$ erkin elektron bardyr.

Täjiň beýiklik şkalasy boýunça ölçenýän ölçeği Günüň radiusyndan birnäçe esse kiçi, ýagny 10^{10} sm bolany sebäpli, täjiň maddasynyň 1 sm^3 -da ortaça $10^{18}/10^{10} = 10^8$ erkin elektron bolmalydyr.

Bu erkin elektronlaryň ýüze çykmagy maddanyň ionlaşmasy bilen bagly bolmagy mümkindir. Emma бүтewüligine alnanda ionlaşan gaz (plazma) neýtral bolmalydyr. Diýmek, täçdäki ionlaryň konsentrasiýasy hem 10^8 sm^{-3} töweregi bolmalydyr. Bu ionlaryň esasy köplügi Günde in köp bolan element-wodorodyň ionlaşmagy netijesinde döremelidir. Şol wagtyň özünde täçde neýtral wodorod bolmaly däl, sebäbi onuň emission spektrinde wodorodyň spektral çyzyklary düýbünden ýokdur. Şeýlelikde, täçde bölekleriň umumy konsentrasiýasy ionlar bilen erkin



elektronlaryň konsentrasiýalarynyň jemine, ýagny ululygy boýunça $\sim 2 \cdot 10^8 \text{ sm}^{-3}$ töweregi bolmalydyr.

Gün täjiniň emission çyzyklary, ionlaşmanyň ýokary derejesinde bolan, adaty himiki elementlere degişlidir. Has intensiw, tolkun uzynlygy 5303 Å bolan, täje degişli ýaşyl çyzyk, 13 sany elektronyny ýitiren demir atomy, ýagny *Fe XIV* ion tarapyndan şöhlelendirilýär. Başga bir intensiw çyzyk, täje degişli gyzyk çyzyk ($\lambda = 6374 \text{ Å}$), dokuz elektronyny ýitiren demir atomynyň, ýagny *FeX* iona degişlidir. Galan emission çyzyklar *FeXI*, *FeXIII*, *NiXIII*, *NiXV*, *NiXVI*, *CaXII*, *CaXV*, *ArX* we beýleki ionlara degişlidir.

Täje degişli, ýagny täç çyzyklary gadagan çyzyklardyr. Olaryň ýüze çykmagy täjiň maddasynyň örän seýreklendirilendigi barada habar berýär. Ýokary, güýçli ionlaşmasy bolan ionlaryň emele gelmegi üçin ýüzlerçe elektron-wolta deň bolan, uly energiýalar gerekdir (mysal üçin, *FeX* ionlaşma potensialy $233W$, *FeXIV-355W*, *CaXV-814W*). Deňeşdirmek üçin, wodorod atomynyň ýeke-täk elektronyny goparmak üçin, bary-ýogy $13,6 \text{ eV}$ energiýa gerekdir. Gün täjiniň şöhlelenmesiniň, maddanyň güýçli ionlaşmasyny döretmek üçin örän gowşakdygy sebäpli, ionlaşmanyň sebäbi atomlaryň erkin elektronlar bilen çakyşmasydyr. Bu elektronlaryň energiýasy ýüzlerçe elektron-wolta, tizlikleri bolsa, sekuntda müňlerçe kilometre deň bolmalydyr. Bu ululyklar Gün täjiniň temperaturasy kesgitlenende ulanylandyr we million kelwine deň baha alnandyr.

Şeýlelikde, Gün täji temperaturasy million kelwin töweregi bolan, seýreklendirilen plazmadyr.

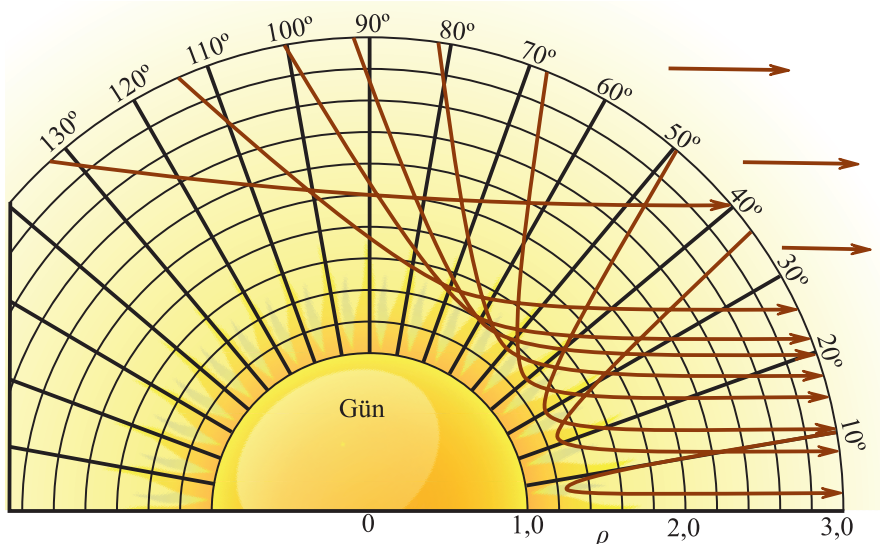
Gün täjiniň adatdan daşary ölçegleriniň, uzynlygynyň bolmagy, onuň ýokary temperaturasynyň bardygynyň netijesidir. Hakykatdan-da, (8,5) formula laýyklykda, beýiklik şkalasy temperatura proporsionaldyr. Gün täjiniň ionlaşan gazynyň fotosferadaky neýtral wodorodyň molekulýar agramyndan iki esse kiçidigini, temperaturasynyň bolsa 150 esse uludygyny göz önünde tutup, täjiň ölçeginiň, dowamlylygynyň fotosferanyň galyňlygyndan ýüzlerçe esse uludygyny we ýüzlerçe müň kilometre deňdigini alarys. Bu bolsa gözegçiliklerde alynýan maglumatlara laýyk gelýändir.

§118. Günün radiotolkunlary şöhlelendirmegi

Günün radioşöhlenmesi, esasan hem pes ýygylyklarda, güýçli üýtgeýändigini bilen tapawutlanýar. Şöhlenmäniň kuwwatynyň in pes ululygyny bellige alyp, gözegçilik edilyň şöhlenmäni iki, hemişlik we üýtgeýän bölekler bölüp bolýar. Olaryň birinjisine asuda Günün radioşöhlenmesi, ikinjisine bolsa tolgundyrylan Günün radioşöhlenmesi diýilýär.

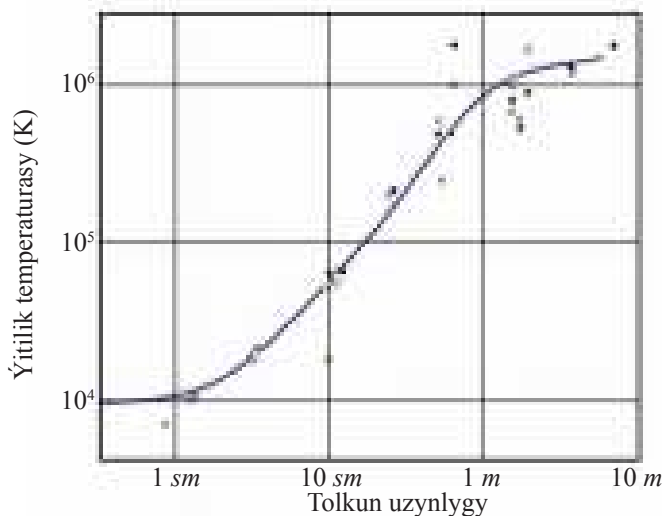
Gün täji göze görünýän şöhlenme üçin aýratyn durudyr, ýöne radiotolkunlary erbet geçirýändir, ýagny olar güýçli siňdirilýärler we döwürler (*133-nji surat*). Diýmek, Gün täji radiotolkunlary temperaturasy million kelwin bolan absolýut gara jisim ýaly şöhlelendirmelidir. Şonuň üçin Gün täjiniň temperaturasy Günün radioşöhlenmesiniň ýitilik temperaturasyny ölçemeler boýunça kesgitlenýär.

Metr uzynlykly radiotolkunlarda täjiň temperaturasy hakykatdan hem million kelwin töweregidir. Has gysga tolkunlarda temperatura peselýär. Bu bolsa şöhlenmäniň çykýan çuňlugynyň artmagy, plazmanyň siňdirme häsiýetleriniň kemelmegi bilen baglydyr (*134-nji surat*). Mysal üçin, santimetr uzynlykly tolkunlarda şöhlenme päs-



133-nji surat. Radiotolkunlaryň Gün täjinde döwürmesi





134-nji surat. Asuda Günüň ýitilik temperaturasynyň radiotolkunyň uzynlygyna baglylygy

gelçiliksiz ýokarky hromosferadan, millimetr uzynlykly tolkunlarda bolsa hromosferanyň aralyk we aşaky gatlaklaryndan päsgelçiliksiz çykýar.

Radiosullar Gün täjini örän uly, onlarça Gün radiusyna deň bolan aralyklara çenli yzarlamaga, öwrenmäge mümkinçilik berýärler. Gün özünüň ekliptika boýunça hereketinde, her ýylyň iýun aýy radioşöhlemenäniň kuwwatly çeşmesi bolan, Öküzçe ýyldyz toparyndaky Leňneç şekilli dumanlygyň gabadyndan geçýänligi sebäpli mümkindir. Bu çeşmä degişli radiotolkunlar Gün täjinden geçenlerinde, onuň aýry-aýry birhili dälliklerinden dagynyk serpigýärler. Şonuň netijesinde, Gün täjiniň daşky bölekleriniň Leňneç şekilli dumanlygyň öňüni «tutma» pursadynda, çeşmäniň radioşöhlemenmesiniň ýitiligi peselýär. Bu usul bilen ýüze çykarylan, täjiň Günden has uzakda ýerleşen böleklerine aşatäç diýilýär.

Soňky gözegçilikler Gün atmosferasynyň örän uzak aralyklara, Ýer orbitasynyň çäklerine çenli ýetýändigini görkezdi. Zodiakal ýagtylygyň ýüze çykarylan gowşak polýarlanan bolmagy onuň tassyknamasydyr (*132-nji surat*). Ondan başga-da, kometalaryň guýrugynda maddanyň hereketini öwrenmegiň esasynda, Günden

daşlaşdygyça tizligi ýuwaş-ýuwaşdan artýan we Günden Ýere çenli uzaklyklarda 300-400 km/s -a ýetýän tizlik bilen Gün täjinden hemişe plazmanyň akýandygy anyklanyldy. Gün täjiniň planetara giňişligine giňelmesine Gün şemaly (ýeli) diýilýär.

Planetara plazmany kosmos apparatlarynyň kömegi bilen geçirilen barlaglar Gün ýeliniň protonlarynyň we elektronlarynyň akymyny bellige almaga mümkinçilik berdi. Olaryň Günden ýaýrama tizlikleri birnäçe ýüz km/s we Ýeriň ýakynynda konsentrasiýasy 1-10 $proton/sm^3$ -a deňdir.

§119. Gün atmosferasynda işjeň emele gelmeler

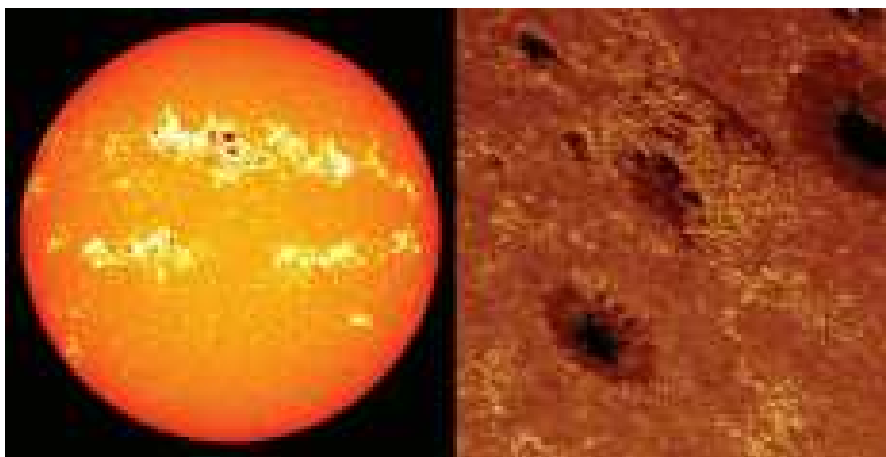
Wagtal-wagtal Gün atmosferasynda çalt üýtgeýän, tolgundyrylmadyk ýerlerinden çürt-kesik tapawutlanýan, häsiýetleri we düzümi wagtyň geçmegi bilen düýbünden üýtgemeyär diýen ýaly, işjeň emele gelmeler döreýär. Fotosferada, hromosferada we täçde Günüň işjeňliginiň ýüze çykmalary ýeterlik tapawutlydyrlar. Ýöne olaryň hemmesiniň sebäbi birdir. Ol sebäp işjeň emele gelmelerde mydama bolýan magnit meýdanydyr.

Fakeller. Fotosferanyň tolgundyrylmadyk ýerlerinde, güýjenmesi takmynan 1 erstede deň bolan, diňe Günüň umumy magnit meýdany bardyr. İşjeň ýerlerinde bolsa magnit meýdanynyň güýjenmesi ýüzlerçe, müňlerçe esse artýandyr.

Magnit meýdanynyň güýjenmesiniň onlarça we ýüzlerçe erstede ýetýän uly bolmadyk güýçlenmesi, fotosferada, *fakel* diýip atlandyrylýan, has ýiti ýerleriniň emele gelmegini ýüze çykarýar. Umuman alnanda, fakeller Günüň görünýän üstüniň ýeterlik bölegini tutup biler. Olar häsiýetli inçe düzümi bilen tapawutlanýarlar we köpsanly damarlardan, ýagty nokatlardan we düwünlerden-fakel granularalaryndan ybaratdyr (*135-nji surat*).

Fakeller Gün diskiniň gyralarynda has gowy görünýär (bu ýerde olaryň fotosfera bilen ýitilginiň tapawudy 20% töweregidir), diskiň merkezinde bolsa olar düýbünden görünmeýär diýen ýalydyr. Bu bolsa fakeliň fotosferada, käbir derejede, goňşy, tolgundyrylmadyk ýerlerden 200-300 K gyzgyn, başga käbir çuňluklarda bolsa tersine, birneme sowukdygyny aňladýar.



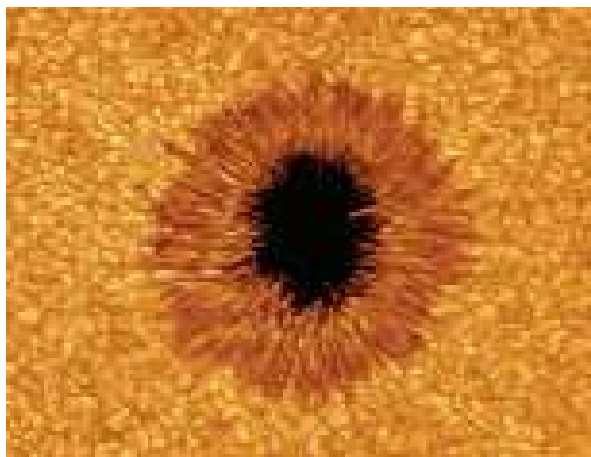


135-nji surat. Fakeliň fotosuraty

Fakeliň döremegi magnit meýdanynyň wajyp häsiýeti, ýagny ionlaşan maddanyň magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň keseligine bolýan hereketine päsgelçilik döredýänligi bilen baglydyr. Eger magnit meýdanynyň energiýasy ýeterlik uly bolsa, onda ol maddanyň diňe güýç çyzyklarynyň ugruna bolan hereketine «ýol berýär». Fakeliň magnit meýdany gowşak bolsa, onda ol ýeterlik güýçli bolan konwektiw hereketleri togtadyp bilmeýär. Ýöne ol bu hereketlere has dogry häsiýet berip bilýär. Adatça konweksiýanyň her bir elementi, wertikal boýunça umumy ýokaryk ýa-da aşak bolan hereketden başga-da, gorizonta tekizlikde, uly bolmadyk, tertipsiz hereketleri edýär. Konweksiýanyň aýry-aýry elementleriniň arasyndaky sürtülmäniň döremegine getirýän bu hereketler, fakeliň çägindeki magnit meýdany tarapyndan togtadylýar. Bu bolsa konweksiýany ýenilleşdirýär we gyzygyn gazlara has ýokaryk galmaga, uly energiýa akymyny geçirmäge mümkinçilik berýär. Şeýlelik bilen, fakeliň döremegi, gowşak magnit meýdanynyň ýüze çykarýan, konweksiýanyň güýçlenmegi bilem baglydyr.

Fakeller otnositel durnukly emele gelmelerdir. Olar üýtgemän diýen ýaly birnäçe hepdeleriň we aýlaryň dowamynda «ýaşap», bolup bilýärler.

Tegmiller. Fakelleriň bar ýerinde magnit meýdanynyň has uly güýçlenmesi bilen Gün *tegmilleri* döräp bilýär.



136-njy surat. Gündäki tegmil

Gün tegmili ilkibaşda granulalary biri-birinden çaklendirýän, garamtyl aralyklardan çala tapawutlanýan, kiçijek öýjük görnüşinde ýüze çykyar. Bir günden soň ol ösüp, araçägi çürt-ketik seljerilýän, diametri kem-kemden ulalyp, onlarça müň kilometre ýetýän, tegelek garamtyl tegmile öwrülýär (*136-njy surat*).

Bu hadysa magnit meýdanynyň endigan artmagy bilen bilelikde bolup geçýär. Iri tegmilleriň merkezinde magnit meýdanynyň güýjlenmesi birnäçe müň erstede ýetýär.

Käwagtlar ekwatora parallel ugurda süýnmek bolan, uly bolmadyk meýdançanyň çäklerinde birnäçe sany tegmiller döreýär we oňa tegmiller topary diýilýär. Özbaşdak, aýry tegmiller, köplenç, bu meýdançanyň günbatar we gündogar gyralarynda döreýär. Olaryň içinde beýlekilere garanyňda iki-esasy (günbatar) we guýruk (gündogar) tegmil has çalt ösýändir. Iki esasy tegmiliň we olaryň ýakynyndaky ownuk tegmilleriň hem polýarlygy gapma-garşylyklydyr. Şonuň üçin bular ýaly tegmiller toparyna bipolar diýilýär.

Uly tegmilleriň döräninden 3-4 günden soň olaryň töwereginde, häsiýetli radial düzümi bolan, aýyk garamtyl ýarym kölege emele gelýär. Wagtyň geçmegi bilen tegmilleriň toparynyň tutýan meýdany ýuwaş-ýuwaşdan ulalýar we iň uly bahasyna onunjy gün ýetýär. Soňra tegmiller ýuwaş-ýuwaşdan kiçelip başlaýar we ýitip gidýär. Ilki bilen has ownuklary, soňra guýruk birnäçe ownuk böleklerge bölünip

ýitýär, ahyrynda bolsa esasy, baş tegmil ýitýär. Tutuşlygyna bu proses iki aý töweregi dowam edýär, ýöne Gün tegmilleriniň toparlarynyň köpüsi beýan edilen ösüş tapgyrlaryny doly geçip ýetişmeýärler we ýitip gidýärler.

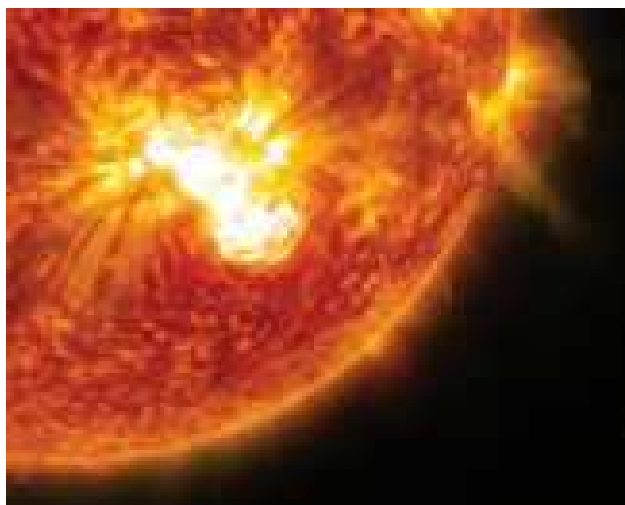
Tegmiliň merkezi bölegi fotosferanyň gaty ýiti bolany sebäpli gara bolup görünýär. Hakykatda bolsa tegmiliň merkeziniň ýitiligi fotosferanyň ýitiliginden diňe 10 esse kiçidir, ýarym kölegäniň ýitiligi bolsa 3/4 bölegine deňdir. Bu bolsa Stefan-Bolsmanyň kanunyňa laýyklykda tegmiliň temperaturasynyň fotosferanyň temperaturasyndan 2-2,5 mün gradus pesdigini aňladýar.

Tegmilde temperaturanyň pese düşmesi magnit meýdanynyň konweksiýa täsiri bilen düşündirilýär. Magnit meýdany, esasan hem ol güýçli bolanda, maddanyň güýç çyzyklarynyň keseligine bolýan hereketlerini togtadýar. Şonuň üçin, tegmiliň aşagynda konwektiw gatlakda, energiýanyň esasy bölegini çuň gatlaklardan daşyna çykarýan, gazlaryň sirkulýasiýasy gowşaýar. Netijede, tegmiliň temperaturasy, tolgundyrylmadyk fotosferanyň temperaturasyndan pes bolýar.

Flokkulalar. Hromosferanyň tegmilleriň we fakelleriň üstündäki bölegi öz ýitiligini ulaldýar (tolgundyrylan hromosfera), şunlukda tolgundyrylan we tolgundyrylmadyk hromosferanyň arasyndaky tapawut beýiklik boýunça artýar. 128-nji suratda şol bir wagtda diýen ýaly Günüň wodorodyň H_{α} , ionlaşan kalsiniň K we wodorodyň L_{α} çyzyklarynda alnan spektrogeliogrammalary getirilen. Olar degişlilikde hromosferanyň 2-3 mün, 5-6 mün we 8-10 mün kilometr beýikliklerdäki gatlaklaryna degişlidir. Spektrogeliogrammalarda görünýän, daşky görnüşi boýunça fotosferadaky fakelleriň ýerleşşi bilen gabat gelýän, ýiti tegmillere *flokkulalar* diýilýär.

Flokkulanyň ýitiliginiň onuň daşyny gurşap alan tolgundyrylmadyk hromosfera bilen deňşdireniňde artmagy, onuň temperaturasyny kesgitlemek üçin esas bermeýär. Sebäbi, seýreklandirilen we üznüksiz spektr üçin has dury bolan hromosferada temperatura bilen şöhlemenäniň arasyndaky baglanyşyk Plankyň kanunyňa boýun bolmaýar.

Güýçli çyzyklaryň merkezi böleklerinde flokkulanyň ýokary ýitiligi hromosferada temperaturanyň hemişelik bahasynda ýa-da onuň



137-nji surat. Hromosfera lowurdamasy

çala ýokary galmagynda, maddanyň dykyzlygynyň 3-5 esse artmagy bilen düşündirilýär.

Hromosfera lowurdamalary. Hromosferada, köplenç, ösýän tegmilleriň aralygyndaky uly bolmadyk ölçeglerde, esasan hem güýçli magnit meýdanlarynyň polýarlyklarynyň bölünýän araçäkleriniň ýakynynda, has kuwwatly we çalt ösýän, Günüň işjeňliginiň ýüze çykmasy bolan *hromosfera lowurdamalaryna* gözegçilik edilýär (*137-nji surat*).

Lowurdamanyň başynda flokkulanyň ýagty düwünleriniň birisiniň ýitiligi duýdansyz artýar. Köplenç, bir minuda ýeter-ýetmez wagtyň içinde güýçli şöhlemenme uzyn damarjygyň ugry boýunça ýaýrap, dowamlylygy on münlerçe kilometre ýetýän çäkleri tutýar. Spektriň göze görünýän çäklerinde ýagtylanmanyň güýçlenmesi esasan hem wodorodyň, ionlaşan kalsiniň we beýleki metallaryň spektral çyzyklarynda bolýar. Üznüksiz spektriň hem derejesi artýar. Kāwagt-lar bolsa bu artma şeýle bir güýçli bolýar, hatda lowurdama ak ýagtylykda fotosferanyň fonunda duýulýar. Göze görünýän şöhlemenmäniň artmagy bilen, şol bir wagtyň özünde ultramelewşe we rentgen şöhleleleriniň intensiwligi, şeýle hem Gün radioşöhlemenmesiniň kuwwaty güýçli artýar.

Lowurdamalar döwründe iň gysga tolkunly, ýagny has «gaty» rentgen spektral çyzyklaryna we käbir ýagdaýlarda bolsa gamma-şöh-

lelelerine gözegçilik edilýär. Şöhlelenmäniň bu görnüşleriniň ählisiniň artmasy birnäçe minutyň dowamynda bolup geçýär. Maksimal bahasyňa ýeteninden soň şöhlelenmäniň derejesi onlarça minutlaryň dowamynda ýuwaşlyk bilen gowşaýar.

Lowurdamalar döwründe ýitiligiň ulalmasyndan başga-da, gazyň kuwwatly hereketleri, aýry-aýry kondensasiýalar we «syçramalar» görnüşinde plazmanyň bulutlarynyň zyňylmalaryna gözegçilik edilýär.

Hemme sanalan hadysalar güýçli birhilli däl magnit meýdanynyň çäklerinde ýerleşen, plazmanyň durnuksyzlygy netijesinde uly mukdardaky energiýanyň bölünmesi bilen düşündirilýär. Magnit meýdany bilen plazmanyň çylşyrymly özara täsirleri netijesinde magnit meýdanynyň energiýasynyň köp bölegi ýylylyga öwürülýär. Ol esasan gazy onlarça million gradus temperatura çenli gyzdymaga, şeýle hem plazmanyň bulutlaryny we elementar bölejikleri tizlendirmäge gidýär.

Bütün proses, hromosferanyň käbir göwrümünde maddanyň güýçli gysylmasy bilen bolup geçýän partlama häsiýete eýedir. Optiki, ultramelewşe, rentgen we radioşöhlelenme görnüşinde bölünip çykyan, şeýle hem plazmany we aýry-aýry bölejikleri tizlendirmek üçin gidýan energiýanyň umumy mukdary 10^{28} - 10^{32} *erg*, ýagny 10^{21} - 10^{25} *J*.

Lowurdamalarda elektronlary we protonlary tizlendirmek onlarça kiloelektronvolt we birnäçe megaelektronvolt energiýalara çenli ýetýär. Bular ýaly energiýaly bölejikler kosmiki şöhleler bolýandyr. Ýöne bularyň energiýasy bize Galaktikanyň uzakdaky çäklerinden gelyan, kosmiki şöhlelerden gowşakdyr. Şonuň üçin bu şöhlelere «ýumşak» kosmiki şöhleler diýilýär. Partlama wagtynda kiçi tizlikleri bolan bölejikler hem döreýändir. Olaryň döredýan bulutlary we korpuskulýar akymalary 500-1000 *km/s* tizlikler bilen ýaýraýar.

Lowurdamalaryň korpuskulýar şöhlelenmesi olaryň ön seredilip geçilen, örän gyzgyn gazyň ýylylyk şöhlelenmesinden tapawutlanýan, aýratyn kuwwatly rentgen we radioşöhlelenmesini düşündirýär, olara ýylylyk däl şöhlelenme diýilýär. Birinjiden, lowurdama başlanyndan birnäçe minut geçen soň, tolkun uzynlyklary birnäçe angstrom bolan rentgen şöhleleriniň gözegçilik edilýan güýçlen-

mesi, kosmiki şöhleleriň çalt elektronlarynyň işjeň çäkleriň magnit meýdanlarynda togtadylmagy we hromosferanyň maddasynyň bölejikleri bilen çakyşmaları netijesinde ýüze çykyandyr. Ikinjiden, lowurdama başlanýandan soň käbir ýygylýkda, wagtyň geçmegi bilen ýuwaş-ýuwaşdan peselýän, Günün radioşöhlelenmesiniň kuwwatynyň örän güýçli (million essä çenli) ulalmasyna gözegçilik edilýär. Radioşöhlelenmäniň bu artmasy plazmadan kosmiki şöhleleriň geçmegi sebäpli onuň, şöhleleriň ýygylýgynda bolup geçýän yrgyldylarynyň netijesidir. Bu yrgyldylaryň ýygylýklary, lowurdamanyň döreden korpuskulalaryň akymynyň hromosferanyň we täjiň ýokarky gatlaklaryna aralaşdygyça, kemelýändir.

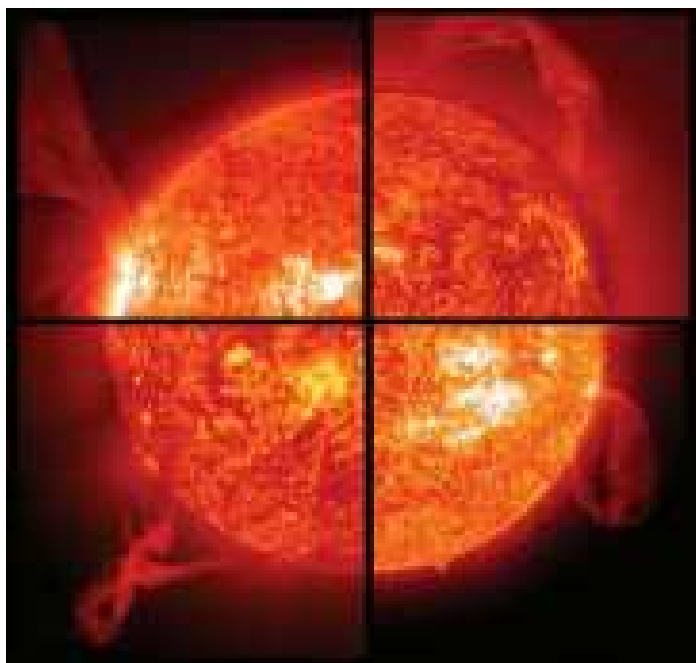
Ähli işjeň emele gelmeleriň içinde lowurdamalar geofiziki hadysalara täsirini ýetirip bilmekde aýratyn ukyplylygy bilen tapawutlanýarlar.

Protuberanesler. Has dykyz we sowuk, bulut şekilli, takmynan hromosferanyň ýagtylanýan spektral çyzyklarynda ýagtylanýan, Gün täjinde gözegçilik edilýän, işjeň emele gelmeler – *protuberaneslerdir*. Olar örän dürli görnüşli we ölçegli bolýarlar. Köplenç, olar Günün üstüne perpendikulýara ýakyn ýerleşen, uzyn, örän tekiz emele gelmedir. Şonuň üçin Gün diskine proyektirlenende (spektrogeliogrammalarda) protuberanesler egredilen süýümler şekilli bolup görünýärler (*128-nji surat*). Protuberanesler Gün atmosferasynda has äpet emele gelmedir. Olaryň uzynlyklary ýüzlerçe müň kilometrlere, ýöne giňlikleri bolsa 6000-10000 kilometrden geçmeýär. Olaryň aşaky bölekleri hromosfera bilen sepleşip gidýär, ýokarky bölekleri bolsa täjiň içine onlarça müň kilometrlere ýaýrap gidýärler. Ýöne ondan uly ölçegli protuberanesler hem gabat gelýärler (*138-nji surat*).

Protuberanesleriň üsti bilen hromosferanyň we täjiň aralarynda mydama maddanyň çalşygy bolýar. Oňa subutnama hökmünde, köplenç gözegçilik edilýän protuberanesleriň özleriniň, şeýle hem aýry-aýry bölekleriniň sekuntda onlarça we ýüzlerçe kilometr tizlik bilen bolup geçýän hereketlerini görkezmek bolar.

Protuberanesleriň emele gelmegi, ösüşi we hereketi Gün tegmilleriniň toparlarynyň ewolýusiýasy bilen jebis baglydyr. Tegmilleriň işjeň çäkleriniň ösüşiniň başlangyç tapgyrlarynda olaryň ýakynynda gysga wagt «ýaşaýan» we örän çalt üýtgeýän protube-





138-nji surat. 1998–2001 ýyllarda gözegçilik edilen iri protuberanesler

ranesler emele gelýär. Has ahyrky tapgyrlarda, birnäçe hepdeleriň, käwagt aýyň dowamynda göze görüňän üýtgemesiz «ýaşayan», durnukly we asuda protuberanesler emele gelýär. Soňra güýçli hereketleriň döremegi, maddanyň täje zyňylmagy we çalt hereket edýän protuberanesleriň döremegi bilen bolup geçýän, protuberanesiň işjeňleşme tapgyry duýdansyz başlap bilýär.

Täçde işjeň emele gelmeler. Gün täjiniň daşky görnüşi onuň atmosferasynyň has aşaky gatlaklarynda işjeňligiň ýüze çykmany bilen jebis baglanyşyklydyr. Tegmilleriň üstünde, egreldilen şöhleler görnüşli, şahalary ýadyňa salýan häsiýetli emele gelmeler, şeýle hem togalak bulut görnüşli täjiň maddasynyň dykzlanmalary-täç kondensasiýalary gözegçilik edilýär. Fakelleriň üstünde göniçyzykly, çalaja tolkunly şöhleleriň tutuş sistemalary görüňär. Protuberanesler bolsa adaty täjiň dykzlandyrylan maddasynyň dugalary bilen gurşalandyr. Tegmilleriň, fakelleriň we protuberanesleriň üstlerindäki bu emele gelmeleriň hemmesi, köplenç, Günüň birnäçe radiusyna deň bolan aralyklary tutýan, uzyn şöhlelere geçýär.

Gün işjeňliginiň merkezi barada düşünje. Beýan edilen Gün atmosferasynda işjeň emele gelmeleriň hemmesi bir-biri bilen özara baglanyşyklydyr. Fakelleriň we flokkulalaryň döremegi mydama tegmilleriň ýüze çykmagynyň öň ýanynda bolýar. Lowurdamalar tegmilleriň has çalt ösýän wagtlary ýa-da olarda bolup geçýän güýçli üýtgemeleriň netijesinde döreýär. Şol wagtyň özünde hem, işjeň çäkler dargandan soň hem uzak wagtlap bolup bilýän, protuberanesler döreýär. Gün atmosferasynyň berlen çäkleri bilen bagly bolan we kesgitli wagtyň dowamynda ösýän, Gün işjeňliginiň ähli ýüze çykmalarynyň köplüğine Gün işjeňliginiň merkezi diýilýär.

Gün täjiniň gurluşy hem Gün işjeňliginiň merkezlerinden çykýan we täjiň içine uly aralyklara çenli ýetýän, magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ýerleşşi we täsiri bilen kesgitlenýär.

Hereket edýän magnit meýdany ionlaşan maddany (plazmany) özi bilen alyp gidýär, bu bolsa häsiýetli düzüm görnüşinde dykyzlanmany emele getirýär. Mysal üçin, täç şöhleleri lowurdama wagtynda emele gelýän korpuskulýar akymalaryň täjiň içinde hereketleri netijesinde döreýändir.

§120. Gün işjeňligi

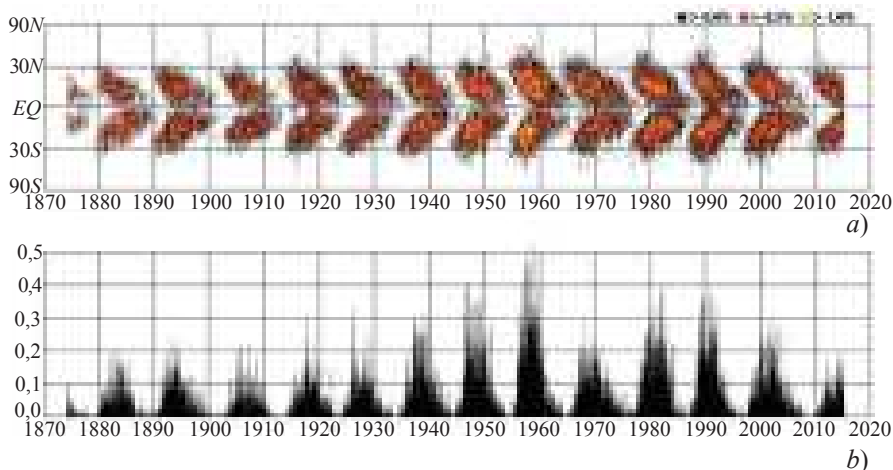
Tegmilleriň sany we onuň bilen bagly bolan Günüň işjeňliginiň ýüze çykmalary periodiki üýtgeýär. İşjeňlik merkezleriniň sanynyň i ň köp döwrüne *Gün işjeňliginiň maksimumy*, olaryň ýok wagtyna bolsa *minimumy* diýilýär.

Günüň işjeňliginiň derejesiniň ölçegi hökmünde tegmilleriň umumy sanynyň (f) we toparlarynyň sanynyň (g) oňa köpeldilmeginiň jemine proporsional bolan, Wolfyň sany ulanylýar

$$W = k(f + 10 g). \quad (8.17)$$

Proporsionallyk koeffisienti k ulanylýan guralyň kuwwatyna baglydyr. Adatça Wolfyň sanynyň orta bahasyny (aý üçin, ýyl üçin) alýarlar we Günüň işjeňliginiň wagta baglylygynyň grafigini gurýarlar. 139-njy suratda Günüň işjeňligini görkezýän tegmilleriň sanynyň wagta görä üýtgeýşi we tegmilleriň Gün ekwatoryna görä ýerleşişleri görkezilen. Ondan görnüşi ýaly, maksimumlar we minimumlar ortaça





139-njy surat. a) Tegmilleriň Gün ekwatoryna görä ýerleşişleri;
b) tegmilleriň meýdanynyň wagta görä üýtgeýşi

her 11 ýyldan gaýtalanýar, ýöne aýry-aýry yzygiderli maksimumlaryň wagt aralygy 7-den 17 ýyl aralyklarynda üýtgäp bilýär.

Minimum döwründe käbir wagtyň dowamynda, adaty Günde tegmiller düýbünden ýokdur. Soňra olar ekwatoran uzakda, takmynan $\pm 35^\circ$ giňliklerde dörap başlaýarlar. Soňra tegmilleriň emele gelme ýerleri ekwatora tarap ýuwaş-ýuwaşdan süýşýärler (Şpereriň kanuny). Emma ekwatoran 8° -dan az uzaklaşan nokatlarda tegmiller örän seýrek bolýandyr.

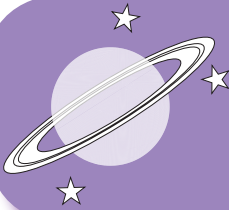
Günüň işjeňliginiň wajyp aýratynlygy tegmilleriň magnit polýarlygynyň üýtgame kanunydyr. Her 11 ýyllık aýlawyň dowamynda bipolar toparlaryň esasy tegmilleriniň demirgazyk ýarym şarda bir polýarlyga, günortada bolsa ters polýarlyga eýedirler. Esasy tegmilleriň görä garşylykly polýarlygy bolan, guýruk tegmiller üçin hem demirgazyk we günorta ýarym şarlarda polýarlyk gapma-garşylyklydyr. Şonuň bilen birlikde, polýuslary aýlanma polýuslarynyň ýakynynda ýerleşen, Günüň umumy magnit meýdanynyň polýarlygy hem üýtgeýär.

Günüň esasy häsiýetnamalary bolan fakelleriň we flokkulalaryň Günüň üstüniň meýdanynyň näçe bölegini tutýanlygy, lowurdamalaryň ýygylgy, protuberansleriň sany, şeýle hem täjiň görnüşi we Gün şemalynyň kuwwaty hem onbirýyllyk gaýtalanma döwrüne eýedir.

Gün tegmilleriniň minimumy döwründe täjiň süýnmek görnüşi bardyr. Oňa bu görnüşi ekwatora tarap egrelýän uzyn şöhleler berýärler. Polýuslarda bolsa häsiýetli gysga şöhlelere – «polýar çotgajyklara» gözegçilik edilýär. Tegmilleriň maksimumy wagtynda, köp sanly göni radial şöhleleriň hasabyna, täjiň tegelek görnüşi bardyr.

Gün işjeňliginiň aýlawynyň sebäbi-Günüň iň gyzykly syrlarynyň biridir. Ol esasan hem fotosferadan aşaky gatlaklarda bolýan, magnit meýdanynyň işjeň gatnaşýan, käbir yrgyldyly proses bilen baglanyşyklydyr. Bir çaklamalara görä, fotosferada mydama gözegçilik edilýän, Günüň gowşak magnit meýdany, magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryny «bulaşdyrýan», konwektiw hereketleriň netijesinde periodiki güýçlenýändir. Ýene bir çaklama görä magnit meýdany, dürli geliogeografik giňliklerde aýlanma tizliginiň dürli bolany üçin güýçlenýändir. Onuň netijesinde meridional güýç çyzyklary ekwatora parallellikde süýnýärler we Günüň daşyndan aýlanyp, magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň turbajyklarynyň emele gelmegine getirýärler. Güýçli magnit meýdanly ýerler magnit basyşynyň täsiri netijesinde giňelýärler, gurşap alan gazdan ýeňil bolýarlar, ýokaryk çykyp, Gün işjeňliginiň dürli hadysalaryny döredýärler.





IX bap GÜN SISTEMASY

§121. Umumy maglumatlar

Günüň töwereginde häsiýetnamalary boýunça tapawutlanýan örän köp jisimler aýlawly hereket edýär. Gün sistemasynyň düzümine planetalar we olaryň hemralary, asteroidler (kiçi planetalar), kometalary, meteor akymlary, meteor jisimleri, planetara gaz girýär.

Merkuriý, Wenera, Mars, Ýupiter we Saturn gadymy döwürlerden bellidir. Uran planetasy W. Gerşel tarapyndan 1781-nji ýylda açylandyr. 1846-njy ýylda 8-nji planeta Neptun açylandyr. 1930-njy ýylda amerikan astronomy K.Tombo negatiwlerde 15^m ýyldyz ululygy bolan, haýallyk bilen hereket edýän, ýyldyz şekilli obýekti kesgitleýär. Bu obýekt dokuzynjy, ýagny Pluton planetasydyr. Tombo köp ýyllaryň dowamynda Plutondan aňyrdan planetalaryň gözleglerini dowam etdirip, ekliptikadan $\pm 7^\circ,5$ guşaklykda we 18^m ýyldyz ululygyndan ýiti hiç hili planetanyň ýokdugyny kesgittäldir.

2006-njy ýylyň awgustynda Halkara maslahatynda «planeta» adalgasy kesgitlenende, astronomlar Plutony planetalaryň hataryndan çykardylar.

Ýeriň hemrasy Aý asmanda Günden soň has gowy görünýän asman jisimleriniň biridir. Galileý Ýupiteriň daşynda hem hemralarynyň aýlawlar boýunça hereket edýändiglerini kesgitleýär. Ondan soň Saturnyň, Marsyň, Uranyň, Neptunyň hemralary açylýar. Hemralaryň gözlegleri we açyşlary häzirki günlere çenli dowam edýär. Täze asteroidleriň we kometalaryň açyşlary her ýyl diýen ýaly bolýar.

Merkuriý, Wenera, Ýer we Mars planetalary fiziki häsiýetnamalary boýunça Ýupiter, Saturn, Uran we Neptun planetalaryndan düýpli



tapawutlanýarlar. Planetalar iki topara bölünýär. Birinji topara Merkurıý, Wenera, Ýer we Mars planetalary degişlidir we bulara Ýere meňzeş planetalar diýilýär. Ikinji topara Ýupiter, Saturn, Uran we Neptun planetalary degişlidir we olara äpet planetalar diýilýär. Ýere meňzeş planetalar öwrenilende alynýan maglumatlar Ýere degişli maglumatlar bilen deňeşdirilýär. Marsyň, Ýupiteriň we Saturnyň disklerinde gözegçiliklerde görüňän gyzykly detallar köpdür. Olaryň bir topary planetalaryň üstlerine degişli bolsa, galanlary olaryň atmosferalaryna degişlidir. Öňler bu detallara edilýän gözegçiliklere uly üns berlipdir, sebäbi bu gözegçilikler planetalaryň tebigaty barada maglumat almagyň ýeke-täk usuly bolupdyr. Emma Ýerden gözegçilik edilende atmosferanyň sandyramalary sebäpli, has güýçli teleskoplaryň ulanylmagyna garamazdan, şekilleriň hilini çäksiz ýokarlandyryp bolmaýar. Burç boýunça çözüp bilijilik ukybynyň ($0'', 2-0'', 3$) çägi, baryp geçen asyryň başynda ýetilendir. Soňky döwürlerde planetalaryň disklerindäki detallara gözegçilikler diňe olaryň üýtgeýişlerini bellige almak üçin geçirilýär. Öňki gözegçilik edilýän detallardan has inçe detallary tapmak, ýüze çykarmak üçin kosmos apparatlarynda oturdylan fototelewizion kameralaryň kömegi bilen planetalaryň üstleri surata düşürilip, öwrenilýär. Bu usullar bilen alnan şekillerde, Ýerden gözegçilik edip bolýan detallardan ýüzlerçe esse ownuk detallary görmek bolýar. Planetalaryň üstlerini we atmosferalaryny öwrenmekde astrofiziki usullar-ultramelewşe we infragyzyl çäkleri öz içine alýan, dürli tolkun uzynlyklarda spektroskopik we fotometrik, şeýle hem radioastronomik barlaglar örän wajyp orun eýeleýändir. Şunlukda, ölçegler Ýeriň üstünde ýerleşen teleskoplaryň, şeýle hem uçup geçýän we planetara orbital stansiýalarda ýerleşdirilen enjamlaryň kömegi bilen geçirilýär. Planetara stansiýalaryň ulanylmagy planetalary has takyk öwrenmäge uly mümkinçilikleri döredýär. Planetalaryň üstlerine gonýan apparatlar olaryň atmosferalarynyň we üstleriniň gös-göni fiziki-himiki häsiýetlerini öwrenmäge mümkinçilik berýär. Aýyň üstünde barlaglar hereket edýän çylşyrymly awtomatlaryň («Lunahod») we onuň üstüne düşürilen astronawtlaryň kömegi bilen geçirilendir. Gün sistemasynyň planetalaryna we Aýa awtomatik planetara stansiýalaryň uçurylmagy netijesinde olar baradaky düşüňjelerimiz giňelýär.



Kosmos apparatlarynyň uçuşlary planetalary öwrenmekde esasy ugurlaryň biridir. Ýöne oňa garamazdan, Ýer üstündäki astronomik observatoriýalardaky geçirilýän gözegçilikler wajyplygyny ýitirýän däldir we planetalary öwrenmekde täze maglumatlary almaga mümkinçilik berýändir. Planetalary öwrenmek diňe astrofizikanyň wezipesi bolman, oňa öz goşandyny geofizika, geohimiýa, geologiýa ylymlary goşýar we bu ylymlaryň astronomiýa bilen sepleşýän ýerinde täze ugurlar (planetalaryň fizikasy, planetalaryň himiýasy, planetologiýa) döreýär.

§122. Ýer

Ýer Gün sistemasynyň beýleki planetalary bilen deňeşdirilende has gowy öwrenilenidir. Şonuň üçin olara geçmezden öň Ýeriň fiziki häsiýetnamalaryna seredip geçeliň. Ýeriň daşky görnüşi, massasy, orbitasy boýunça hereketi, öz okunyň daşynda aýlanmasy ýaly soraglary öň öwrenip geçdik. Biz bu ýerde Ýeriň içki gurluşyna, onuň atmosferasynyň gurluşyna, atmosfera bilen planetara giňişligiň araçägindäki fiziki şertleri baradaky maglumatlara seredip geçeris.

Litosfera we gidrosfera. Ýeriň fiziki gurluşyna wertikal boýunça seretsek, onda onuň birnäçe konsentrik sferik ýa-da sfera ýakyn gabyklardan ybaratdygyna göz ýetirmek mümkindir. Iň daşky gabygy – gaz *atmosfera*, soňra bolsa suwuk gabygy – *gidrosfera* gelýär. Gidrosfera Ýeriň esasy massasy jemlenen *litosferany* böllekleyin ýapýandyr. Litosfera we atmosfera öz gezeginde fiziki häsiýetleri boýunça tapawutlanýan birnäçe gatlaklara bölünýärler.

Ilki bilen litosfera seredeliň. Onuň häsiýetleriniň çuňluk boýunça üýtgeýşine seredeliň. Ýeriň üstünde ýerleşip, onuň içki gurluşy barada bilmek mümkin däl ýaly bolup görünýär. Sebäbi aşa çuň guýularyň (skwažinalar) çuňlugy hem onlarça kilometrdan çuň däl. Ýeriň radiusy bilen deňeşdirilende guýularyň çuňlugy örän kiçidir.

Emma oňa garamazdan, häzirki döwürde litosferanyň gurluşy barada ýeterlik maglumat toplanandyr. Bu maglumatlary esasan hem Ýeriň inersiýa momenti we Ýer titremeleri berýär. Ýeriň orta dykzlygy $5,5 \text{ g/sm}^3$ -a deňdir. Bu bolsa onuň üstki jynslarynyň dykzlygyndan (3 g/sm^3) iki esse töweregi uludyr. Diýmek, çuňluk

boýunça dykzlyk ulalýan bolmalydyr. Dykzlygy merkeze tarap artýan şaryň inersiýa momenti dykzlygy birhilli şaryň inersiýa momentinden kiçidir. Massa merkeze näçe köp jemlenen bolsa, inersiýa momenti şonça-da kiçidir. Ýeriň inersiýa momentini gije-gündiz deňleşme nokatlarynyň presessiýasynyň tizligi boýunça kesgitlemek bolýar. Ol birhilli şaryň inersiýa momentiniň 0,83-e deňdir. Munuň özi eýýäm massanyň merkeze konsentrirlenme derejesine kesgitli çäklendirmeleri girizýär, ýagny ol has uly ýa-da has kiçi bolup bilmeýli däl.

Ondan aňrky takyklamalary *seýsmologiýanyň* – Ýer titremele-ri baradaky ylmyň kömegi bilen alynýar. Ýer titremeleri wagtynda, şeýle hem güýçli partlamalar döwründe litosferada, Ýeriň has çuň gatlaklaryna çenli ýetýän, seýsmiki tolkunlaryň ýaýraýandygy kesgitlenendir. Bu tolkunlar seýsmograflaryň, ýagny topragyň yrgyldylaryny ýazýan guralyň kömegi bilen bellige alynýar.

Seýsmiki tolkunlar iki hilidir: boý we kesedir. Boý tolkunlarda bölejikler tolkunýň ýaýraýan ugry boýunça süýşýärler (ses tolkunlaryndaky ýaly), kese tolkunlarda bolsa ýaýrama ugruna perpendikulýar süýşýärler. Boý tolkunlarynyň tizligi kese tolkunlaryňkydan uludyr. Seýsmiki tolkun bölünme araçäğine gabat gelende onuň serpikmesi we döwürmesi bolýar.

Seýsmiki yrgyldylara Ýer üstüniň dürli nokatlarynda gozegçilik edip we tolkunlaryň dürli görnüşiniň aralygy geçmek üçin sarp eden wagtyny bilip, Ýeriň häsiýetnamalarynyň üýtgeýän araçäginin çuňlugyny we üýtgemäniň ululygyny kesgitläp bolýar. Kese tolkunlar suwuklykda ýaýrap bilmeýär, sebäbi suwuklyk keseligine süýşmäge garşylyk görkezmeýär. Şonuň üçin kese tolkunlaryň bolmagy litosferanyň uly çuňluklara çenli gatydygy barada habar berýär. Emma geçen asyryň başynda 3000 km çuňlukdan başlap kese tolkunlaryň ýaýrap bilmejekdikleri subut edilendir. Bu ýerden şeýle netije çykarylýar: litosferanyň içki bölegi erän (ergin) ýagdaýda bolan, ýadrony emele getirýär. Has soňraky geçirilen barlaglaryň netijesinde ýadronyň iki zolaga: gaty ýagdaýda bolmagy ähtimal bolan *içki ýadro* (radiusy takmynan 1300 km) we suwuk görnüşde bolan *daşky ýadro* (radiusy takmynan 3400 km) bölünýär. Gaty gabyk hem birhilli däl, onda hem takmynan 40 km çuňlukda çurt-kesik bölünme üsti



bardyr. Bu araçäge *Mohorowiçiñ üsti* diýilýär. Mohorowiçiñ üstünden ýokarky bölege *gabyk*, aşaky bölegine bolsa *mantiýa* diýilýär. Edil gabyk ýaly, mantiýa hem, lawalar ýerleşen aýry-aýry «jübülerden» başga ýerleri gatydyr. Mantiýanyň dykzlygy çuňluk boýunça Mohorowiçiñ üstünde $3,3 \text{ g/sm}^3$ başlap, ýadronyň araçäginde $5,2 \text{ g/sm}^3$ ýetýändir. Ýadronyň araçäginde dykzlyk çürt-kesik, böküş görnüşli artýar we $9,4 \text{ g/sm}^3$ çenli ýetýär. Ýeriň merkezinde dykzlyk $14,5 \text{ g/sm}^3$ – 18 g/sm^3 çäklerdäki baha eýedir. Mantiýanyň esasy çägindeki basyş 1300000 atm deňdir. Tejribe üsti bilen bular ýaly basyşy almak başardýan däl. Uzak wagtlaý ýadro erän demirden ybarat diýen çaklama dogry hasaplanypdyr. Häzirki çaklamalara göre onuň düzümi mantiýanyň düzümine (kremniniň, magniniň, demriň okislerinden ybarat hasaplanýlar) meňzeş diýip hasaplanýar, fiziki häsiýetnamalarynyň tapawutlary örän ýokary basyş bilen baglanyşyklydyr.

Şahtalara aşaklygyna düşülende temperaturanyň örän çalt ýokary galýandygy, ýagny her kilometrde 20 gradus artýandygy anyklanandyr. Eger-de temperatura çuňluk boýunça şu depginde artýan bolsa, onda onuň ululygy Ýeriň merkezinde 100000 K uly bolardy. Emma belli bolşy ýaly, mantiýa gaty ýagdaýdadyr. Diýmek, onuň temperaturasy hiç bir ýerinde ereme nokadyndan ýokary bolup bilmeýär. Bu bolsa mantiýanyň aşaky araçägindeki temperaturanyň ýokary çäginin 5000 K uly daldigini görkezýär. Ýeriň merkezindäki temperatura bolsa, 10000 K ýokary bolmaly däl. Ýeriň merkezine ýakynlaşyldygyça temperaturanyň çuňluk boýunça artma depgininiň peselýändigini sebäpli, ýylylyk çeşmesi litosferanyň daşky böleklerinde, mantiýada ýerleşen bolmagy has ähtimaldyr. Mantiýanyň gyzyrylmagynyň göz önüne getirip bolýan ýeke-täk çeşmesi radioişjeň dargamadyr. Mantiýanyň käbir ýerlerinde temperatura ereme nokadyndan ýokarydyr, şol ýerlerde bolsa lawalar jübüleri emele getirýärler. Lawalaryň ýerleşen jübülerinde bolýan fiziki hadysalar bilen wulkanlar we Ýer titremeleri baglanyşyklydyr diýlip hasaplanýlar.

Gabygyň hem birhilli bolmadyk düzümi bardyr. Gury Ýer üstünden tapawutlylykda, okeanlaryň çöket ýerlerinde gabygyň galyňlygy ýukalýandyr. Häzirki döwürde gabyk gidrosfera we atmosfera bilen

bilelikde wulkanlaryň işjeňligi, ýagny mantiýanyň içki gatlaklaryndan lawanyň, buguň we gazlaryň çogup çykmagy (zyňylmagy) netijesinde döräpdir diýlip hasaplanylýar. Şeýle hem wulkanlaryň işjeňligi daglaryň emele gelmegine getirendir. Ýer gabygynyň ýaşı takmynan $4,5 \cdot 10^9$ ýyl diýlip hasaplanylýar. Bu ululyk radioişjeň elementleriň we olaryň dargama önümleriniň otnositel mukdary boýunça hasaplanýlandyr.

Ýer üstüniň 71% gidrosferanyň esasy bölegini düzýän ummanlar tutýar. Ýer Gün sistemasynyň planetalarynyň arasynda gidrosferasy bolan ýeke-täk planetadyr. Gidrosferada suwuň sirkulýasiýasy (aýlanmasy) we onuň uly ýylylyk sygymy dürli giňliklerde klimatik şertleri deňleşdirýär. Gidrosfera atmosferany suw buglary bilen üpjün edýär. Suw buglary infragyzył şöhlelenmäni siňdirýänligi üçin ýeterlik derejede parnik hadysasyny döredýär, bu bolsa Ýer üstüniň temperaturasynyň orta bahasyny takmynan 40°C ýokary göterýär. Bu hadysanyň fiziki manysy şeýledir. Energiýanyň tolkun uzynlygy boýunça paýlanyşynda maksimumy $0,55 \text{ mkm}$ bolan Günüň şöhlelenmesi Ýer atmosferasynda az siňdirilýär we Ýeriň üstüne ýetýär. Ýeriň üsti bu şöhlelenmäni siňdirip, infragyzył tolkun uzynlyklarda gaýtadan şöhlelendirýär (Winiň kanunyna laýyklykda maksimumy 10 mkm bolan, Ýeriň orta temperaturasy 290 K degişli). Ýöne infragyzył çäklerde suw buglary şöhlelenmäniň bellibir bölegini siňdirýär. Netijede, Ýeriň temperaturasy, onuň daşynda suw buglaryndan ybarat bolan «köýnegi» bolmadyk ýagdaýyndakydan ýokary bolýar. Gidrosfera howa şertlerine başga usullar bilen hem täsirini ýetirýär. Ol tomsuna ýylylygyň köp mukdaryny toplaýar we ýuwaşlyk bilen gysyna yzyna gaýtarýar. Netijede, pasyllar boýunça temperaturanyň üýtgemeleriniň uly bolmazlygyny üpjün edýär. Ondan başga-da, ol ýylylygy ekwatorial çäklerden aram guşaklyklara, hatda polýar giňliklere çenli getirýär.

Ýeriň üstünde ýaşaýşyň döremeginde gidrosferanyň kesgitleýji, wajyp orny bardyr. Bilşimiz ýaly, ýaşaýyş ummanlarda dörandir we gury ýere geçýänçä birnäçe milliard ýyllar geçendir.

Atmosfera. Ýeriň atmosferasy litosfera bilen deňeşdirenimizde has ýokarky gatlaklaryna çenli gowy öwrenilendir. Ýer atmosferasynyň ýokarky gatlaklaryny we onuň planetara giňişligi bilen araçäk



bölegini has işjeň öwrenmek XX asyryň ikinji ýarymynda raketalary we Ýeriň emeli hemralaryny ulanmak arkaly ýerine ýetirilendir. Şonda alnan maglumatlar beýleki planetalaryň atmosferalary öwrenilende olara düşünmek üçin ulanylýar. Ýeriň atmosferasynyň deňiz derejesindäki himiki düzümi 8-nji tablisada getirilen. Onuň esasy düzüjileri kislorod (20% töweregi) we azotdyr (80% töweregi). Ýeriň atmosferasynyn häzirki döwürdäki düzümi gabygyň emele gelýän, ýagny $4,5 \cdot 10^9$ ýyl mundan öňki döwürndäkiden ýeterlik tapawutlanýandyr.

8-nji tablica

Ýeriň atmosferasynyň himiki düzümi (deňiz derejesinde)

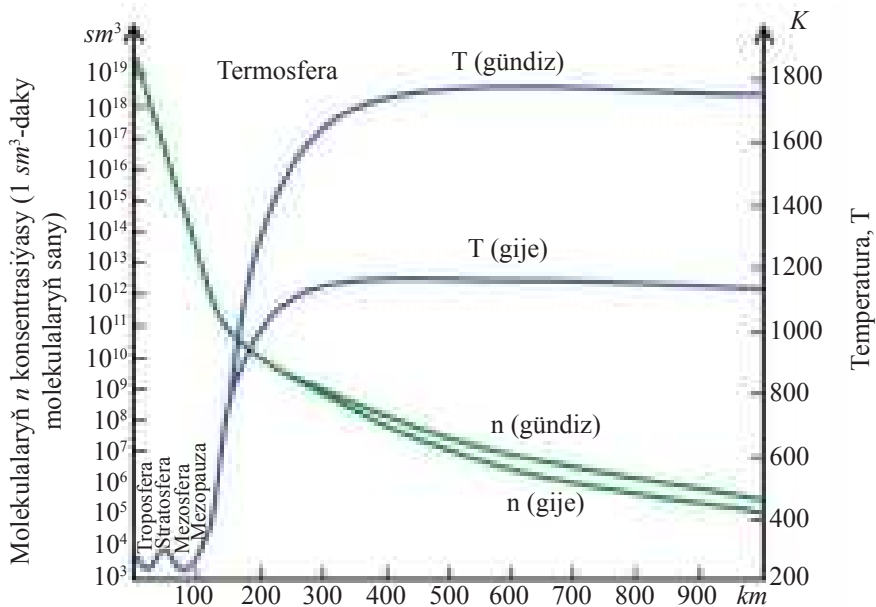
Düzüjiler	Düzümdäki mukdary (göwrüm boýunça)
Azot, N_2	78
Kislorod, O_2	21
Kömürturşy gazy, CO_2	0,03
Argon, Ar	0,93
Neon, Ne	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Geliý, He	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Kripton, Kr	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Ksenon, Xs	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Wodorod, H_2	$5 \cdot 10^{-7}$
Metan, CH_4	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Azodyň okisi, N_2O	$5 \cdot 10^{-7}$
Wajyp üýtgeýän düzüjiler: Suw bugy, H_2O Ozon, O_3	0-2 $3 \cdot 10^{-6}$ – deňiz derejesinde, 1-den $3 \cdot 10^{-4}$ çenli – 20-30 km beýiklikde

Kislorod ösümlikleriň ýaşayyş işjeňligi netijesinde emele gelipdir diýlip hasaplanýar. Ilkibaşda atmosfera düzüminde köp kömürturşy gazy we az mukdarda kislorody saklan bolmaly diýlip hasaplanylýar.

Ýeriň atmosferasynyň düzümindäki kislorodyň mukdary ösümlikler tarapyndan birnäçe mün ýyllaryň dowamynda işlenip çykary-

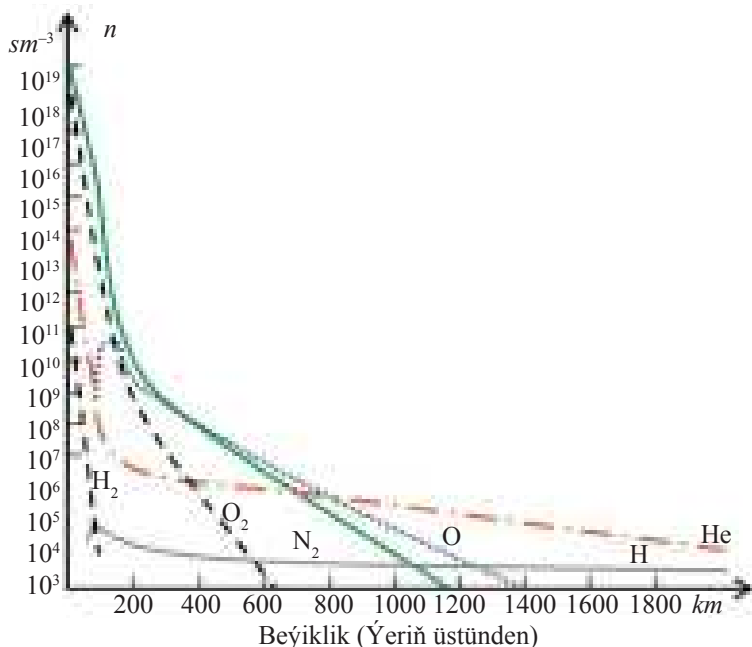
lan bolmaly. Kömürturşy gazynyň atmosferadaky mukdary biologik prosesler bilen sazlanýýar, ol fotosintez netijesinde ýitýär, janly-jandarlar dem alanda bolsa, emele geýýär. Kömürturşy gazynyň tebigatda aýlaw döwri 35 ýyla deň. Azot organiki maddalaryn düzüminde bardyr we biosferada üýtgemeleriň çylşyrymly aýlawyny geçýändir. Azodyň aýlaw döwri has uzakdyr we 108 ýyl töweregidir. Şeýlelik bilen, biosfera – ösümlükler, janly-jandarlar, mikroorganizmler Ýeriň umumy häsiýetnamasy bolan atmosferanyň himiki düzümine düýpli täsirini ýetirýär.

140-njy we 141-nji suratlarda Ýeriň atmosferasynyň wertikal düzümi görkezilen. Atmosferanyň asaky gatlagy – *troposfera*. Troposferada temperatura beýiklik boýunça çalt pese düşýär (ortaça 6 *grad/km*). Onuň esasy sebäbi troposferanyň düzümindäki ýeterlik mukdardaky suw buglarynyň, Ýeriň üstüniň infragyzyň şöhlenenmelerini güýçli siňdirmegi netijesinde gyzmagydyr. Başgaça aýdanymyzda troposferanyň şöhle ýylylyk geçirijiligi azdyr, netijede onda temperaturanyň üýtgemesi güýçlüdir. Ýer üstüniň şöhlelendirýän



140-njy surat. Ýeriň atmosferasynda T temperaturanyň we molekulalaryň doly konsentrasiýasynyň beýiklige baglylygy (Gün işjeňliginiň maksimумы döwründe)





141-nji surat. Ýokarky atmosferanyň himiki düzüminiň beýiklik boýunça üýtgeýşi. Ordinata oky boýunça düzüjileriň her biriniň konsentrasiýasynyň beýiklige baglylygy görkezilen

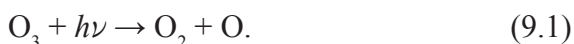
ýylylygynyň bellibir bölegi troposferada konweksiya arkaly äkidilýär we şonuň üçin troposfera atmosferanyň *konwektiw zolagy* hem diýilýär. Troposferadan ýokarda *stratosfera* ýerleşýär. Stratosferada temperatura beýiklik boýunça az üýtgeýär we birinji ýakynlaşmada ony hemişelik diýip hasaplap bolýar. Onuň ululygy 220 K töweregi. Stratosferada aşakdan gelýän infragyzyl şöhlelenme gowşak siňdirilýär, onuň şöhle ýylylyk geçirijiligi uludyr, şonuň üçin temperaturanyň üýtgemesi kiçidir. Infragyzyl şöhlelenmäniň siňdirilmesiniň beýiklik boýunça kemelmesi, temperaturanyň pese düşmegi sebäpli suw buglarynyň doňýanlygy bilen düşündirilýär. Troposferanyň stratosfera bilen araçägine tropopauza diýilýär. Orta giňliklerde ol $10\text{--}12\text{ km}$ beýikliklerde ýerleşýär.

Aşak we ýokary giňlikleriň arasyndaky temperatura tapawudy atmosferanyň sirkulýasiýasy netijesinde deňleşdirilýär. Aşak giňliklerde atmosfera massasy gyzýar we ýokary galýar, onuň ýeri-

ne bolsa demirgazykdan we günortadan has sowuk atmosfera mas-sasy gelyär. Ýer üstüniň ýakynynda howa polýuslardan ekwatora ta-rap, troposferanyň ýokarky böleklerinde bolsa tersine hereket edýär. Koriolis güýji akym çyzyklaryny süşürýär we paralleller boýunça ugrukdyrylan düzüjileri döredýär. Netijede, gorizontal masştablary birnäçe mün kilometr bolan, özboluşly halkalaýyn aýlawlar emele gelyär. Ýerde howanyň umumy sirkulýasiýasy, ýylylyk sygymy örän uly bolan suw ummanlarynyň bolany sebäpli, örän çylşyrymlydyr. Otnositel ýyly bolan suw üstüniň giňişliklerinden howa massasynyň ýokary galmagy, radius boýunça käbir merkeze ugrukdyrylan, ýerli hereketleriň döremegine getirýär.

Koriolis güýjüniň täsiri netijesinde hereketler spiral görnüşli bol-ýar. Netijede, ýerli uly aýlaw öýjügi emele gelyär we oňa *siklon* diýil-ýär. Otnositel sowuk ýerlerde hereketleriň ugurlary tersliginedir we bu ýagdaýda *antisiklon* emele gelip biler. Bular ýaly görnüşdäki di-namiki prosesler, umuman howanyň çalyşma hadysasyny kesgitleýär we olary öwrenmek howa çaklamalary üçin wajyp orny eýeleýär.

20-25 km beýikliklerde temperaturanyň ýokarlanmasy başlanýar. Onuň sebäbi ozonyň dargamagynyň ekzotermik (ýagny, ýylylyk bölü-nip çykmagy bilen bolýan) fotohimiki reaksiýadyr:



Ozon kislorodyň O_2 molekulasyynyň fotohimiki dargamagy neti-jesinde



we soňky üçleýin çakyşma reaksiýasy netijesinde



ýüze çykýar, bu ýerde M – üçünji molekula.

(9.1) reaksiýanyň netijesinde ozon tolkun uzynlyklary 2000-den 3000 Å-e çenli bolan ultramelewşe şöhlelenmäni siňdirýär we netijede atmosfera gyzdyrylýar. Temperatura takmynan 50 km beýiklige çenli artýar we maksimum bahany (270 K) alýar. Atmosferanyň otnositel ýyly bolan bu çäklerine mezosfera (ýa-da ozonosfera) diýilýär. Ýo-karky atmosferada ýerleşen ozon özboluşly galkan ýaly bolup, Günüň ultramelewşe şöhlelenmesinden bizi goraýar. Ýerdäki ýaşayşy häzirki görnüşde bu galkansyz göz önüne getirmek mümkin däl.



Mezosferadan ýokarda temperatura minimumy-mezopauza ýerleşendir. Ýokarlygyna temperatura ýene artýar. Onuň sebäbi, atomar kislorodyň ionlaşmagy bilen bagly bolan, Günüň ultramelewşe şöhlemenmesiniň 150-300 km beýikliklerde siňdirilmesidir.



Mezopauzadan ýokarda, 400 km beýikliklere çenli, temperatura üznüksiz ýokarlanýar we gündizine, Günüň işjeňliginiň maksimumy döwründe 1800 K ýetýär. Günüň işjeňliginiň minimumy döwründe bolsa bu çäk 1000 K kiçi bolup biler. 400 km-den ýokarda atmosfera izotermikdir. Atmosferanyň bu bölegine termosfera diýilýär.

§112-de beýiklik şkalasy diýen düşünje bilen tanşypdyk (8.5 formula)

$$H = \frac{RT}{\mu g}.$$

Bu aňlatmany

$$H = \frac{kT}{\mu m_H g} \quad (9.4)$$

görnüşde ýazmak bolýar. Bu ýerde k – Bolsman hemişeligi ($1,38 \cdot 10^{-16} \text{ erg/grad}$) we $m_H = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ wodorod atomynyň massasy.

Temperatura näçe uly we molekula näçe ýeňil boldugyça, beýiklik boýunça basyş we molekulalaryň konsentrasiýasy, ýagny 1 sm^3 göwrümdäki molekulalaryň sany (olar $p = nkT$ ýönekeý gatnaşyk bilen baglanyşykly) şonça-da haýal kemelýär.

(9.4) aňlatmada haýsy molýar massany-atmosferanyň düzümine girýän her gaz üçin hususy bahasyny ýa-da orta bahany goýmaly diýen sorag ýüze çykýar. Eger orta bahany goýsak, onda himiki düzümler beýiklik boýunça üýtgemez. Eger her düzüji üçin hususy bahany goýsak, onda ýeňil düzüjileriň otnositel mukdary beýiklik boýunça ulalyp biler. Eger gazlar mehaniki garyşdyrylan bolsa, orta bahany almalydygy düşnüklidir. Düzüjileriň garyşmagyna konweksiýa prosesleri, ýagny ýokarlygyna we aşaklygyna ugrukdyrylan gaz akymalary getirýär. Diffuziýa prosesi bolsa tersine täsir edýär, ýagny her bir gaz üçin öz beýiklik şkalasyny goýmaga ymtylýar. *Diffuziýa* tizligi basyşa ters proporsionaldyr. Deňiz derejesinde ol ujypsyzdyr we garyşma

tizligi bilen diňe 100-120 *km* beýikliklerde deňeşdirerlik bolýar. Atmosferanyň 100-120 *km* beýikliklerden aşakda ýerleşen bölegine doly garyşma, ondan ýokardaky bölegine bolsa diffuz bölünme bölegi diýilýär. Doly garyşma böleginde atmosferanyň oňnositel himiki düzümi beýiklik boýunça üýtgemeyär (molekulalaryň dissosiasiýasy we kondensasiýa sebäpli az-kem üýtgemeleriň bolmagy mümkindir). Bu ýagdaýda (9.4) formulada orta molekulýar agramy $\bar{\mu} \cdot m_H$ goýmalydyr. Deňiz derejesinde atmosferanyň orta molekulýar agramy 29-a deň. Ortaça temperatura $T = 290\text{ K}$ we erkin gaçmanyň tizlenmesi $g = 980\text{ sm/s}^2$. Bu ululyklary (9.4) formulada ornuna goýup, alarys:

$$H = \frac{1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 290}{29 \cdot 1,67 \cdot 10^{-24} \cdot 980} = 8 \cdot 10^5\text{ sm} = 8\text{ km}.$$

Diýmek, 8 *km* beýiklikde basyş deňiz derejesindäkiden takmynan üç esse peselýändir. Eger-de 100 *km* beýiklige galsak, onda basyş we molekulalaryň konsentrasiýasy deňiz derejesindäkiden takmynan million esse kiçi bolar.

100-120 *km* beýikliklerden ýokarda, diffuz bölünme çäklerde, kislorod esasan hem atomar ýagdaýda, şol bir wagtyň özünde azot bolsa molekulýar ýagdaýda bolýandyr. Şonuň üçin azotyň oňnositel mukdary beýiklik boýunça kemelýär. Netijede, 400-500 *km* beýikliklerde, konsentrasiýa deňiz derejesindäkiden 10^{11} - 10^{12} esse kiçi ýerinde, atmosfera esasan hem kisloroddan ybaratdyr. Ýöne beýiklik şkalasy geliý üçin 8, wodorod üçin bolsa 16 esse kislorodyňkydan uludyr. Netijede, 700 *km* ýokarda esasy düzüjiler eýýäm geliý we wodoroddyr. 1000 *km* beýikliklerde molekulalaryň konsentrasiýasy ortaça $3 \cdot 10^5\text{ sm}^{-3}$ deňdir, ýagny deňiz derejesindäkiden 10^{14} esse kiçidir. Atmosferanyň wodoroddan ybarat bolan iň daşky bölegi birnäçe Ýer radiusyna deň bolan uzaklyklara çenli ýetýär we wodoroddan geotäji emele getirýär. Geotäçde wodorod atomlarynyň konsentrasiýasy 10^2 - 10^3 sm^{-3} .

Uly beýikliklerde atmosferany öwrenmegiň usullary barada şulary aýtmak zerurdyr. 300 *km* beýikliklere çenli basyş raketalarda goýlan manometrleriň kömegi bilen ýeterlik takyklykda kesgitlenilýär. Has uly beýikliklerde manometrleri ulanmak çylşyrymlydyr, sebäbi enjam we raketanyň korpussy, daşyny gurşap alan atmosferadakydan köp gaz bölüp çykarýar. 200 *km* beýiklikden başlap atmosferanyň



dykzlygy Ýeriň emeli hemralarynyň togтамasy boýunça örän takyk kesgitlenýär. Bu usul boýunça dykzlyk 1800 *km* beýiklige çenli hasaplanandyr. Atmosferanyň dykzlygynyň 300 *km*-den ýokarda gündüzine gijedäkiden birnäçe esse uludygy kesgitlenendir. Bu bolsa gündizine termosferanyň temperaturasynyň ýokarydygy we *H* beýiklik şkalasynyň uludygy bilen düşündirilýär.

Raketalarda we hemralarda oturdylan mass-spektrometrler uly beýikliklerde atmosferanyň otnositel himiki düzümini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Dykzlygyň beýiklige baglylygyny bilip, beýiklikleriň şkalasyny kesgitläp bolýar. Atmosferanyň himiki düzümini we beýiklikler şkalasyny bilenimizden soň, (9.4) formula boýunça temperaturany alarys.

500 *km* beýiklikde atmosferanyň dykzlygy, molekulalaryň we atomlaryň erkin ylgaw ýolunyň uzynlygynyň takmynan beýiklikleriň şkalasyna $H \approx 100$ *km* deň bolmagyna mümkinçilik döredýär. Atomlaryň iň ähtimal tizlikleri (§96 seret)

$$v^* = \sqrt{\frac{2kt}{m}}.$$

m massaly atomlaryň bir böleginiň tizligi v^* -den uludyr, bir böleginiň tizligi bolsa kiçidir. Molekulalaryň bir bölegi kritiki derejeden parabolik tizlikden (11 *km/s*) uly tizlikler bilen uçup çykýarlar we Ýeri hemişelik taşlap gidýär. Bu hadysa atmosfera gazlarynyň dissipasiýasy diýilýär. Temperatura uly, molekula ýeňil we parabolik tizlik kiçi boldugyça, dissipasiýa şonça-da çalt gidýär.

Dissipasiýa tizlikleriniň bahalary, Ýeriň atmosferasyndaky kislorodyň mukdarynyň 3 esse azalmasy 10^{26} ýyldan, wodorodyň mukdary bolsa, bary-ýogy 10^3 ýyldan boljakdygyny görkezýär. Şunlukda, dissipasiýa netijesinde ýüze çykýan ýitgileriň öwezi atmosfera gazyň täze mukdarlarynyň gelmegi bilen dolmaýar. Getirilen sanlar Ýeriň kislorody ýeterlik haýal ýitirýändigini görkezýär we bu ýitgini hasaba alman boljakdygyny görkezýär. Tersine, wodorod we geliý örän çalt ýitirim bolýar. Atmosferanyň düzüminde bu elementleriň barlygy bolsa, olaryň ýitgisiniň öweziniň dolunýandygyny aňladýar. Wodorodyň ýitgisi suw buglarynyň Günüň ultramelewşe şöhlelenmesi bilen dissosiasiasynyň hasabyna dolýar. Geliý bolsa radioişjeň dargama prosesleri netijesinde Ýer gabygy tarapyndan bölünýär.

Günüň ultramelewşe şöhlenenmesiniň O , O_2 , N_2 ionlaşdyrmasy ýokarky atmosferada ionlaryň we elektronlaryň emele gelmegine getirýär. Şeýlelik bilen, termosfera, ionlaşan gaz-plazmadyr we oňa, köplenç, özünde zaryadlanan bölejikleri saklaýandygyny nygtamak üçin ionosfera diýilýär. Ionosferanyň her bir nokadynda položitel we otrisatel zaryadlaryň dykyzlygy islendik plazmada bolşy ýaly, birmenzeşdir. Eger tötänleýin üýtgemeleriň netijesinde bir alamatly zaryadly bölejikler az-kem artykmaçlyk edip başlan badyna bu artykmaçlyk ters alamatly zaryadlary özüne dartýar we deňagramlylyk dieldilýär. Bu häsiýete plazmanyň kwazineýtrallygy diýilýär. Kwazi goşulma plazmanyň özüni diňe neýtral bölejiklerden ybarat bolan gazdan tapawutly alyp barýandygyny görkezýär. Elektronlaryň hereketliliği ionlaryňkydan köp esse uludyr we olar elektrik we magnit meýdanynyň üýtgemesini örän çalt duýýar. Plazmada elektromagnit şöhleleri döwürýärler, serpigýärler we siňdirilýärler.

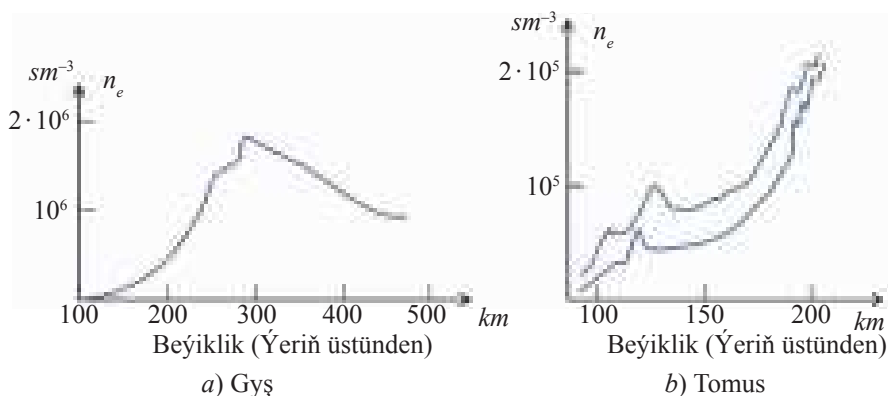
Elektrik zaryadlarynyň konsentrasiýasy (elektronlaryň konsentrasiýasy ionlaryňka deňdir) Ýer atmosferasynda 300 km beýiklikde gündizine takmynan 10^6 sm^{-3} deňdir. Bular ýaly dykyzlykly plazma 20 m uzynlykly radiotolkunlary serpikdirýär, has gysgalary bolsa geçirýär. Kritiki ýygyllyk (goýberýän çägi) elektron konsentrasiýa baglydyr we

$$\nu_0 = 9 \cdot 10^3 \sqrt{n_e}$$

gerse deňdir.

Günüň ultramelewşe şöhlenenmesiniň intensiwliginiň üýtgeýänligi üçin ν_0 kritiki ýygyllyk hem üýtgeýär. Gijesine, ionlaşmanyň çeşmesiniň ýok wagty, elektron dykyzlygy nola deň bolup, ionosfera ýitip gidäýmeli ýaly bolup görünýär. Hakykatdan hem, ionosferanyň aşaky bölegi (70 km beýiklikdäki D gatlak) gijesine ýitýär we irden täzeden emele gelýär. Emma ionosferanyň has dykyz we dowamly bölegi ($200\text{--}500\text{ km}$ beýiklikdäki F gatlak) gijesine hem saklanýar. Onuň sebäbi ionlar bilen elektronlaryň rekombinasiýa (birleşme) prosesi atmosferanyň aşaky gatlaklarynda çalt, seýreklenen ýokarky gatlaklarynda bolsa, haýalrak bolup geçýänligidir.

Ionosferada elektronlaryň konsentrasiýasynyň n_e beýiklige baglylygy 142-nji suratda görkezilen. Bu egrri ýylmanak däl, onda



142-nji surat. Elektronlaryň konsentrasiýasynyň beýiklige baglylygy

aýry-aýry böküş görnüşli üýtgemeler bar. Böküşleriň ýerleşen derejeleri ýygylklary ν_0 -dan uly bolan radiotolkunlary serpikdirýärler. Şeýlelik bilen, ionosfera dürli ýygylkly radiotolkunlary iberip we ondan serpigenleri kabul edip, n_e beýiklige baglylygyny kesgitlep bolýar. Ionosfera stansiýalarynyň işleýşi şu usula esaslanandyr. Ýeriň emeli hemralarynda oturdylan enjamlar ionosferadaky zarýadlaryň dykzlygyny gös-göni usullar bilen ölçemegi üpjün edýärler.

Elektronlaryň konsentrasiýasynyň beýiklige baglylygynyň üznüksizligine garamazdan, ionosferany birnäçe gatlaklara şertli bölmek taryhy saklanyp galandyr. D we F gatlaklar barada biz aýdyp geçipdik. D we F gatlaklaryň arasynda ýene-de bir gatlak – E gatlak bardyr (gündizine $n_e \approx 10^5 sm^{-3}$). Ol 100 km töweregi beýikliklerde O_2 ionlaşmagy netijesinde döreýär. Çürt-kesik araçäkli ionosfera gatlaklary barada düşünje radiotolkunlar bilen zondirleme esasynda dörändir. Indi biziň bilşimiz ýaly, gatlaklaryň araçäkleri ol radiotolkunlaryň serpikmesini ýüze çykarýan, elektronlaryň dykzlygynyň paýlanyşygyndaky uly bolmadyk bir-hilli däliliklerdir.

Ionlaryň we elektronlaryň rekombinasiýasynda (şeýle hem atomlaryň molekulalara birleşmesinde), asmanyň gijesine ýagtylanmasy ýaly bolup görünýän, gowşak şöhlelenme berýän, oýandyrylan atomlar we molekulalar emele gelýär. Ýokarky atmosferada bolýan käbir himiki reaksiýalar hem ýagtylanmany döredýär.

Gijeki asmanyň ýagtylanmasy Ýerden gözegçilik edip bolýan kosmiki obýektleriň minimal ýitiligini çäklendirýär. Gijeki asmanyň ýitiligi kwadrat gradusdan 4^m , ýa-da kwadrat sekuntndan 22^m ululyga deňdir.

Ýyldyzyň sandyramasynyň normal diskiniň radiusy $1''$ töweregi bolany sebäpli, ýyldyz ululygy 22^m -den bir-iki birlik gowşak bolan ýyldyzlar gijeki asmanyň ýagtylanmasynyň päsgelçiligi sebäpli görünmez. Gijeki asmanyň ýagtylanmasynyň spektri örän çylşyrymlydyr. Ol üstünde köp sanly şöhlenme çyzyklary ýerleşýän üznüksiz emissiýa spektridir. Has ýiti çyzyklaryň biri $\lambda = 5777\text{\AA}$ bolan ýaşyl, beýlekisi bolsa $\lambda = 6300\text{\AA}$ bolan gyzyň çyzyklardyr. Bularyň ikisi hem kislorodyň atomyna degişlidir we gadagan çyzyklardyr. Takmynan $\lambda = 6000\text{\AA}$ başlap 4 mk çenli aralygy OH erkin gidrosil molekulasyň şöhlenmesiniň güýçli zolaklarynyň toparlary tutýar. Ýokarky atmosferanyň ýagtylanmasy gündizine raketalardan gözegçilik edilendir. Ýagtylanmanyň gündizine gijekiden köp esse güýçludigi anyklanandyr.

Ýerden gözegçilik edilende gündizki asmanyň ýagtylanmasynyň ýitiligi gijekiden 10^7 esse uludyr. Bu esasan hem Günüň ýagtylygynyň atmosferanyň aşaky gatlaklarynda dagynyk serpinkmesi bilen baglanyşyklydyr. Dagynyk serpinkirme gaz molekulalary (releý dagynyk serpinkmesi) we ölçegleri birnäçe mikron bolan, suwuk we gaty bölejikler, ýagny aerozollar tarapyndan amala aşyrylýar. Olar atmosferada gaýmalaýan ýagdaýda uzak saklanmak üçin örän kiçi, Günüň ýagtylygyny güýçli dagynyk serpinkdirmek üçin bolsa örän uludyr. Haçan-da Gün ýaşan badyna agşam alagaraňky düşýär we şonda Gün şöhleleri atmosferanyň kesgitli beýikliginden ýokarsyny ýagtylandyrýar. Gün gözyetimden näçe aşak düşdügiçe atmosferanyň ýagtylandyrylyp başlanýan beýikligi şonça-da ulalýar, asmanyň ýagtylanmasy kiçelýär. Gün gözyetimden 18° aşak düşende, atmosferanyň Gün şöhlelerini dagynyk serpinkdirmesi duýulman başlaýar we asmanyň ýagtylygy ýokarky atmosferanyň şöhlenmesi bilen kesgitlenýär. Releýiň dagynyk serpinkmesi tolkun uzynlygynyň kiçelmegi bilen çürt-kesik güýçlenýär, sebäbi dagynyk serpiginiň ýagtylygyň ýitiligi λ^{-4} proporsionaldyr. Gündizki asmanyň reňkiniň mawy bolmagy şonuň bilen düşündirilýändir. Eger aşaky atmosferada aerozollar köp



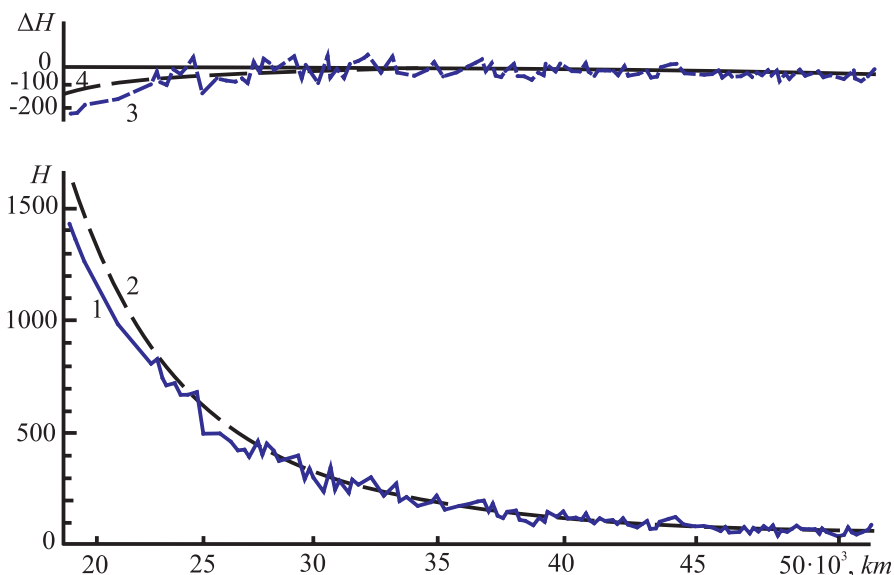
bolsa, onda asman agymtyk reňkde bolýar, sebäbi olaryň dagynyk serpikdirme ukyby tolkun uzynlygyna gowşak baglydyr.

§123. Ýeriň magnit meýdany. Gün-Ýer arabaglanyşygy

Ýeriň magnit meýdanynyň täsiri netijesinde diliniň ugruny üýtgedýän kompas öz döwründe ummanlarda ýüzülende wajyp orun eýeländir. Sebäbi kompas islendik howa şertlerinde ugur kesgitlemäge mümkinçilik beripdir. Emma kompasyň erkin asylan dili takyk demirgazyk ugry görkezmän, demirgazyk magnit polýusa bolan ugry görkezýändir. Kompasyň diliniň ugry bilen demirgazyga hakyky ugruň aralygyndaky burça magnit gyşarmasy, güýç çyzyklary bilen gorizont tekizligiň arasyndaky burça bolsa, ýapgytlygy diýilýär. Onuň in uly bahasy Ýeriň *magnit polýuslarynda* bolýar.

Magnit polýuslarynyň ýerleşen ýagdaýlary wagtyň geçmegi bilen üýtgeýärler. Demirgazyk magnit polýusy ýylda 5-6 km tizlik bilen üýtgeýändigini (dreýf) anyklanandyr. Ýeriň magnit meýdanynyň güýç çyzyklary käbir dipolyň güýç çyzyklaryna ýakyndyr. Diňe Ýer gabygynyň magnitlenen jynslary bolan ýerlerinde tapawutlanýar. Magnit meýdany Ýeriň magnit meýdanyna has gabat gelýän, göz önüne getirilýän dipola ekwiwalent magnit dipoly, onuň okuna bolsa geomagnit oky diýilýär. Geomagnit okuň Ýer üsti bilen kesişme nokatlaryna geomagnit polýuslary diýilýär. Geomagnit polýuslary magnit polýuslary bilen gabat gelmeýär, sebäbi ekwiwalent dipolyň we Ýeriň magnit meýdany takyk gabat gelmeýär. Geografik koordinatalara meňzeşlikde *geomagnit giňligi we uzaklygy* girizmek bolýar. Geomagnit koordinatalar sistemasy, köplenç, Ýeriň magnit meýdany bilen baglanyşykly bolan hadysalar, ýagny demirgazyk şapagy, magnit tupany öwrenilende peýdalanylýar. Geomagnit polýuslarynyň ýerleşiş wagtyň geçmegi bilen üýtgemeýär diýen ýalydyr. Demirgazyk geomagnit polýusynyň geografik koordinatalary $\varphi = 78^{\circ},6$ demirgazyk giňlik we $\lambda = 70^{\circ},1$ günbatar uzaklyk hasaplanýar (Demirgazyk Grenlandiýa).

Meýdanyň güýjenmesi geomagnit polýuslarda 0,63-e (ersted) ýetýär, geomagnit ekwatorda bolsa, 0,31-e deňdir. Ýeriň emeli hem-



143-nji surat. Kosmos raketalarynda geçirilen ölçegler boýunça kesgitlenen magnit meýdanynyň güýjenmesiniň aralyga baglylygy.

1 – ölçegler; 2 – dipolyň meýdany üçin hasaplanan baglylyk;

3 – ΔH , 1 we 2 tapawudy; 4 – ýylmanan egri

ralary we kosmos raketalary Ýeriň magnit meýdanyny uzak aralyklarda öwrenmäge mümkinçilik berdi. 143-nji suratda kosmos raketalarynda geçirilen ölçegler boýunça kesgitlenen magnit meýdanynyň güýjenmesiniň aralyga baglylygy görkezilen. Ýeriň üstünden uzaklarda meýdanyň birhili dällikleri ýylmanýar we ol ekwiwalent dipolyň meýdanyna örän ýakyn bolýar.

Ýeriň magnit meýdany asyryk üýtgemelere sezewar bolýar. Üýtgemäniň tizligi we häsiýeti dürli geografik giňliklerde dürlidir. Şu üýtgemeler bilen baglylykda paleomagnetizm hadysasy uly gyzyklanma döredýär. Bu hadysa lawa sowanda we gatanda gowşak magnitlenmesini saklap galmagydyr, özi-de meýdanyň ugry material dörändäki ugruny üýtgetmeýär. Bular ýaly nusgalaryň magnit meýdanlaryny tejribehanalarda öwrenip, gadymy döwürde magnit meýdanynyň nähili bolany kesgitlemek bolýar. Bu usulyň ulanylmagy örän gyzykly netijeleri almaga mümkinçilik berýär. Mysal üçin, Ýeriň magnit meýdany geçmişde alamatyny üýtgedipdir.



Ýeriň we beýleki planetalaryň magnit meýdanlarynyň döreme-gi dinamo-mehanizm bilen bagly bolmaly diýlip hasaplanýar. Magnit meýdany suwuk ýadroda gidrodinamik hereketleriň netijesinde döreýär diýlip çak edilýär. Suwuk ýadroda maddanyň temperaturasy örän ýokarydyr (birnäçe müň gradus) we ol ýeterlik geçirijilige eýedir. Eger ýadro haýsy hem bolsa başlangyç magnit meýdanyna eýe bolsa (goý, başda örän gowşak bolsun), onda bu meýdan geçiriji maddanyň akymy bilen kesişende elektrik akymy (togy) döreýär. Elektrik akymy magnit meýdanyny döredýär. Akymlaryň amatly geometriýasy bolan ýagdaýynda ol başlangyç meýdany güýçlendirip bilýär, bu bolsa akymy güýçlendirer. Güýçlendirme prosesi tä elektrik akymynyň ulalmagy bilen Joul ýylylygyna artýan ýitgiler gidrodinamiki hereketleriň hasabyna gelýän energiýanyň akymy bilen deňleşýänçä dowam eder.

Ýeriň magnit meýdany onuň töweregindäki planetara giňişlikde hereket edýän zarýadly bölejiklere güýçli täsir edýär. Bu bölejikleri iki topara bölmek bolýar. Olaryň biri *kosmiki şöhleler*, ýagny ýagtylygyň tizligine golaý tizlikler bilen, esasan hem Galaktikanyň beýleki böleklerinden gelýän elektronlar, protonlar we agyr elementleriň ýadrolarydyr. Ikinji topara bolsa *korpuskulýar akym*, ýagny Günden zyňylýan elektrik bölejikleriň akymy degişlidir. Magnit meýdanynda zarýadly bölejikler spiral boýunça hereket edýärler. Bölejigiň traýektoriýasy oky boýunça güýç çyzyklary geçýän, silindriň daşyna saralýan ýalydyr. Bu göz önüne getirilýän silindriň radiusy meýdanyň güýjenmesine we bölejigiň energiýasyna baglydyr. Bölejigiň energiýasy näçe uly bolsa, meýdanyň berlen güýjenmesinde göz önüne getirilýän silindriň radiusy (larmor radiusy diýilýär) şonça uludyr. Eger larmor radiusy Ýeriň radiusyndan köp kiçi bolsa, onda bölejik Ýere ýetmeýär. Bölejik Ýeriň magnit meýdanynyň täsirine düşýär. Eger larmor radiusy Ýeriň radiusyndan köp uly bolsa, onda bölejik magnit meýdany ýok ýaly hereket edýär. Hasaplamalar, eger bölejikleriň energiýalary 10^9 eV uly bolsa, onda olaryň Ýeriň magnit meýdanyndan ekwatora ýakyn çäklerde geçýändiglerini görkezýär. Bular ýaly bölejikler atmosfera aralaşyp, onuň atomlary bilen çakyşanlarynda ikilenç kosmiki şöhleleriň kesgitli mukdaryny berýän, ýadro özgertmelerini döredýär. Bu ikilenç kosmiki şöhleleri Ýeriň üstünde bellige alynýar.

Kosmiki şöhleleri olaryň başlangyç görnüşlerinde öwrenmek üçin (başlangyç kosmiki şöhleleri) enjamlary raketalarda we Ýeriň emeli hemralarynda ýerleşdirýärler. Ýeriň magnit ekranyny «böwsüp» geç-ýän güýçli bölejikleriň 99%-i galaktiki gelip çykyşy bolan kosmiki şöhleleridir we diňe 1% töweregi Günde emele gelýändir.

1958-nji ýylda kosmiki şöhleleri öwrenmek üçin niýetlenen enjamlar (Geýgeriň hasapçysy we ssintillýasion hasapçy) Ýeriň emeli hemralarynda uçurylanda, öwrenijiler garaşylmadyk hadysa gabat geldiler: enjamlar Ýeriň ýakyn töwereginde güýçli bölejikleriň örän uly dykzlyklaryny görkezýär. Bu hadysa doly düşünilmändigi üçin ol soňky ýyllarda hem öwrenilendir. Ýeriň magnit meýdanynyň güýçli bölejikleriň, ýagny elektronlaryň we protonlaryň ummasyz sanyny saklaýandygy anyklanandyr. Olaryň energiýasy we konsentrasiýasy Ýere çenli aralyga we geomagnit giňlige baglydyr. Bölejikler Ýeriň geomagnit ekwatoryny gurşap alan äpet halkalary ýa-da guşaklary doldurýarlar.

Iki sany radiasiýa guşagy anyklanandyr. Içki guşak energiýasy takmynan 10^8 eW bolan protonlardan we energiýasy 20-500 keW bolan elektronlardan ybaratdyr. Ol 2400 km beýiklikde başlap 5600 km beýiklikde gutarýandyr we $\pm 30^\circ$ giňlikleriň aralygynda ýerleşendir.

Radiasiýanyň daşky guşagy 12000 km-den 20000 km-e çenli beýiklikleriň aralygynda ýerleşendir, kiçi energiýaly elektronlardan we protonlardan ybaratdyr. Guşaklar düşünjesi bellibir derejede şertlidir, olaryň ölçegleri we araçäkleri ölçegler derňelende haýsy ululykdaky energiýaly we nähili bölejikleriň hasaba alnandygyna baglydyr. 50000-60000 km beýikliklerde üçünji radiasiýa guşagy, ýa-da 200 eW energiýaly elektronlardan ybarat bolan, tok güýji 10^7 A deň halkalaýyn elektrik akymy ýerleşendir.

Ýeriň magnit meýdanynda hereket edýän, zarýadlanan bölejikler bilen doldurylan, Ýere ýakyn giňişligiň bölegine *magnitosfera* diýilýär (144-nji surat). Ol planetara giňişlikden *magnitopauza* bilen bölünendir.

Korpuskulýar akymalaryň barlygy emeli hemralaryň eýýamy başlamazdan ön hem belli bolupdyr. Ýeriň magnit meýdanynyň gysga wagtlaýyn üýtgemelere sezewar bolýandygy baryp XVIII asyrdan belli bolupdyr. Magnit gyşarmasy we ýapgytlygy käwagt birnäçe sagadyň





144-nji surat. Magnitosfera

dowamynda üýtgeýär we yrgyldaýar, soňra bolsa, ilki başdaky ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Bu hadysa *magnit tupany* diýilýär. Magnit tupany, köplenç, duýdansyz we ähli ýerde bir wagtda başlanýar.

Ýokary giňliklerde magnit meýdanynyň tolgunlary wagtynda polýar şapagyna *gözegçilik* edilýär (145-nji surat). Polýar şapagy birnäçe minutyň, köplenç, bolsa birnäçe sagadyň dowamynda görünýär. Polýar şapaklary görnüşi, reňki we intensiwligi boýunça güýçli tapawutlanýar, özi hem bu häsiýetnamalar wagta görä örän çalt üýtgeýär. Polýar şapaklarynyň spektri emission çyzyklardan we zolaklardan ybaratdyr. Şapaklaryň spektrinde gijeki asmanyň käbir emission çyzyklary, ilki bilen kislorodyň ýaşyl we gyzy, ýagny deňişlilikde tolkun uzynlyklary $\lambda = 5577 \text{ Å}$ we $\lambda = 6300 \text{ Å}$ bolan çyzyklary güýçlenýär. Intensiwligi boýunça bu çyzyklaryň biriniň beýlekisinden birnäçe esse güýçli ýagdaýlary hem bolýar we ol şapagyň reňkiniň ýaşyl ýa-da gyzy bolmagyny kesgitleýär.

Magnit meýdanynyň tolgunlary Ýer üstüniň polýar çäklerinde radioaragatnaşygyň bozulmalaryna getirýär.

Radioaragatnaşygyň bozulmalarynyň sebäbi ionosferanyň üýtgemesidir, ýagny magnit tupanlary wagtynda ionlaşmanyň güýçli çeşmesiniň täsiri netijesinde üýtgemesidir. Güýçli magnit tupanlarynyň Gün diskiniň merkeziniň ýakynlarynda tegmilleriň uly toparlarynyň bar wagtlary bolýandygy anyklanylýar. Ýöne soňky



145-nji surat. Polýar şapagy

geçirilen gözegçilikler magnit tupanlarynyň tegmiller bilen däl-de, tegmilleriň toparlarynyň ösýän döwürleri döredýän Gün lowurdamalary bilen baglanyşyklydygyny ýüze çykardy.

Lowurdamanyň «gaty» şöhlenenmesi, akymlaryň ýüze çykmagyny döredýän we Ýeriň umumy magnit meýdanynyň tolgunmasyny ýüze çykarýan, ionosferada ionlaşmanyň çürt-kesik goşmaça ulalmasyny döredýär. Lowurdamalar wagtynda esasan hem rentgen şöhleleriniň has gaty düzüjileri güýçlenýär, olar bolsa ionosferanyň esasan hem D gatlagynyň ionlaşmasyny ulaldýar (5-10 esse). Gatlak gysga, 100 m -e çenli tolkun uzynlygy bolan radiotolkunlary güýçli siňdirýär we kilometr uzynlykly tolkunlary bolsa serpikdirýär. Bularyň birinjisi gysga radiotolkunlarda radioaragatnaşygy bozýar, ikinjisi bolsa uzyn tolkunlaryň uzaklara ýaýramagyny üpjün edýär.

Lowurdamalar bilen baglanyşykly bolan Günüň korpuskulýar şöhlenenmesi magnit tupanyny we polýar şapagyny döredýär.

Adatça 1000 km/s töweregi tizlik bilen hereket edýän korpuskulýar akym Ýeriň üstüne hromosferada lowurdama gözegçilik edilenden bir gün soň gelip ýetýär. Korpuskulýar akym-ionlaşan gazyň magnit güýç çyzyklarynyň keseligine bolan hereketlerine päsgeçilik görnüşinde Ýeriň magnit meýdany tarapyndan togtadylýan, örän çalt hereket edýän plazmadyr. Şunlukda korpuskulýar akym, magnit güýç

çyzyklaryny deformirläp, ýagny Ýeriň magnit meýdanynyň tolgunlaryny – magnit tupanlaryny döredip, togtaýar.

Gün şemalynyň (korpuskulýar akymalaryň) bölejikleri Ýeriň magnit meýdanynyň täsirine düşýär we daşky radiasiýa guşagyny doldurýar. Polýar çäklerde bölejikleriň magnit meýdanyň täsirine düşmegi üçin şertler amatly däl. Bu ýerde elektronlar we protonlar güýç çyzyklarynyň ugruna spiral boýunça hereket edip, korpuskulýar akymlara degişli pes energiýalarda atmosfera aralaşyp bilýärler. Atmosferanyň ýokarky gatlaklarynda korpuskulýar akymalaryň bölejikleri radiotolkunlaryň ýaýrama şertlerini üýtgedýän we polýar şapak görnüşinde gözegçilik edilýän, şöhlenenmäni oýandyryýan goşmaça ionlaşmany döredýär.

Geofizikanyň bu ýerde seredilen köp meseleleri goşmaça barlaglary we anyklamalary talap edýär. Emma muňa garamazdan, Ýer baradaky bilimlerimiz beýleki planetalar öwrenilende olaryň tebigatyna düşünmekde «nusga» görnüşde wajypdyr.

§124. Aý

Aý Ýere iň ýakyn asman jisimidir. Onuň radiusy 1738 km , Ýerden ortaça uzaklygy 384400 km . Aýyň massasy Ýeriň massasyndan 81,3 esse azdyr, onuň üstünde agyrlýk güýjüniň tizlenmesi

$$g = \gamma \frac{N}{R^2} = 163\text{ sm/s}^2$$

deňdir, ýagny Ýerdäkiden takmynan 6 esse kiçidir. Aýyň üstünde parabolik tizlik

$$v_p \sqrt{2gR} = 2,38\text{ km/s}$$

deňdir ýa-da Ýerdäkiden 4,6 esse kiçidir. Ýere ýakyndygy, agyrlýk güýjüniň we üstünde parabolik tizligiň kiçiligi sebäpli, Aýyň üstüne kosmos gämisini gondurmak, şeýle hem onuň üstünden uçurmak ot-nositel ýönekeý amala aşyrylyp bilner. Şonuň üçin Aý – üstüne kosmonawtlar gonan ilkinji we ýeke-täk tebigy asman jisimidir (1969-njy ýyl, N.Armstrong we E.Oldrin).

Aýyň massasynyň Ýeriň massasyna bolan gatnaşygy $(1/81,3)$ beýleki planetalaryň hemralarynyň degişli gatnaşyklary bilen

deňşdirilende örän uludyr. Tertip boýunça indiki orny Neptunyň hemrasy Triton eýeleýär, ýöne onuň massasy planetanyň massasyndan 700 esse kiçidir. Şonuň üçin Ýer-Aý sistemasyny goşa planeta diýip hasaplamaga esas bardyr. Aýyň ýene bir aýratynlygy orta dykzlygynyň ($3,3 \text{ g/sm}^3$) oňnositel kiçiligidir, ýagny Ýeriň orta dykzlygynyndan ($5,5 \text{ g/sm}^3$) bir ýarym esse kiçidir

Aýyň öz okunyň daşyndan aýlanmasyny §72-de beýan edipdik. Bilşimiz ýaly, onuň öz okunyň daşyndan aýlanma periody Ýeriň töwereginde aýlanma periodyna deňdir. Bular ýaly herekete sinhron diýilýär. Şonuň üçin Ýerden elmydama Aýyň şol bir tarapy görünýär. Emma librasiýa hadysasy sebäpli Aýyň üstüniň meýdanynyň 60%-den köpräk bölegini görüp bolýandyr.

Aý üstüniň iri detallary – «deňizleri» we uly *daglary*, guralсыз ýöne göz bilen hem görmek mümkindir. Islendik teleskop, görüş turbasy ýa-da dürbi bilen Aý relýefiniň özboluşly görnüşine gözegçilik edip bolýar. Ilkinji bolup Aýa teleskoply Galileý gözegçilik edipdir. Ol Aý üstüniň garamtyl bolup görünýän uly böleklerini deňizler diýip atlandyrypdyr. Aý deňizlerinde suwuň ýoklugyna garamazdan, bu atlandyрма taryhy saklanyp galandyr.

146-njy suratda Aý üstüniň kartasy getirilen, onuň kömegi bilen Aý relýefiniň özboluşly aýratynlyklary bilen tanşyp bolýar. Aý üstüniň uly, ýagty, *materikler* diýip atlandyrylýan bölekleri onuň görünýän diskiniň 60%-ni tutýar. Üstüniň galan 40%-i bolsa deňizler, tekiz ýylmanak böleklerdir. XVII asyrdan olara Asudalyk deňzi, Ýagyşlar deňzi, Tupanlar Okeany we ş.m. atlar dakylandy. Ýer üstüniň relýefine meňzeşlikde Aýyň üstünde aýlaglar, köller diýip atlandyrylýan ýerleri bardyr.

Materikleri dag gerişleri kesip geçýändir. Olar esasan hem deňiz kenarlarynyň ugry boýunça ýerleşendir. Aýdaky dag gerişlerine Ýerdäki dag gerişleriniň atlary dakylandy: Kawkaz, Alplar, Altaý.

Aý relýefiniň iň häsiýetli görnüşleriniň biri *kraterlerdir*. Aý krateri içinde tekiz bölegi (düýbi) ýerleşen, halka görnüşli belentlikden ybaratdyr. Tekiz böleginiň merkezinde bolsa, merkezi belentlik ýerleşendir. Onuň beýikligi daşky halka görnüşli belentlikden pesdir. Iň uly kraterleriň diametri 100 *km*-e çenli ýetýändir. Uly kraterlere alymlaryň atlary dakylandy. Olaryň käbirleri 147-nji we 148-nji

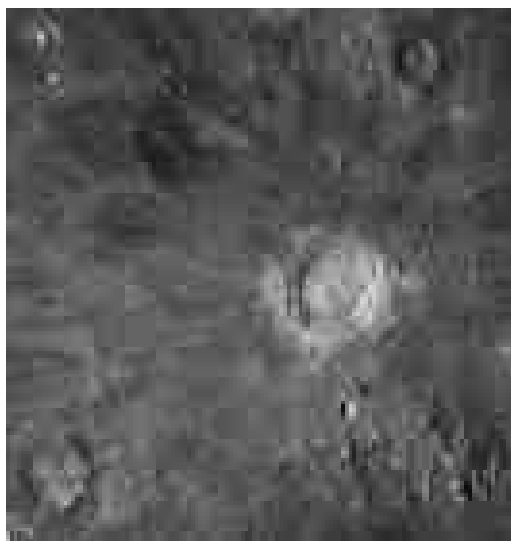


146-njy surat. Aýyň fotografik kartasy

suratlarda görkezilen. Ownuk kraterleriň sany örän köpdür. Amerikan «Reýnjer» stansiýalar tapgyrynyň 1km aralykdan alan fotosuratlarynda diametri 1metr töweregi bolan kraterler aýdyň görünýär (149-njy surat).

Kraterlere meňzeş, ýöne merkezinde belentligi bolmadyk emele gelmelere *sirk* diýilýär. Içki tekiz bölegi, ýagny düýbi garamtyl bolanda (deňizlere meňzeş) sirklere *krater deňizleri* diýilýär. Sirklere hem kraterler ýaly alymlaryň atlary dakylandy (Platon, Ptolemeý we ş. m.). Käbir kraterleriň golaýynda, radial ugurda çykýan, şöhleleri emele getirýän ýagty madda gözegçilik edilýär. Şöhleler toplumy Tiho krateriň töwereginde has ösendir. Aý relýefinde beýleki görnüşlerden belentlikleri, ýaryklary, okarajyklary ýaly çukurjyklary we kiçijik kraterleri bellemek bolar.

Aý relýefiniň görnüşleriniň gurluşlarynda we ýerleşişlerinde kesgitli kanunalaýyklygy bellemek mümkindir. Mysal üçin, deňizler giňligi (ini) 60° töweregi bolan, merkezi çyzygy bolsa uly aýlaw boýunça gidýän, nädogry görnüşli guşak emele getirýär. Ol Aý ekwa-



147-nji surat. Tupanlar Okeanyndaky Kopernik krateri. Merkezi emele gelmeden çykýan ýagty şöhleler sistemasy görünýär. Çepde, Apennin dag gerişleriniň golaýynda Eratosfen krateri görünýär



148-nji surat. Ptolemeý sirki (aşakda) we Alfons (merkezde), Arzahel (ýokarda) kraterleri



149-njy surat. «Reýnjer» stansiýalar tapgyrynyň telewizion kameralarynyň golaý aralykdan alan Aý üstüniň fotosuratlary



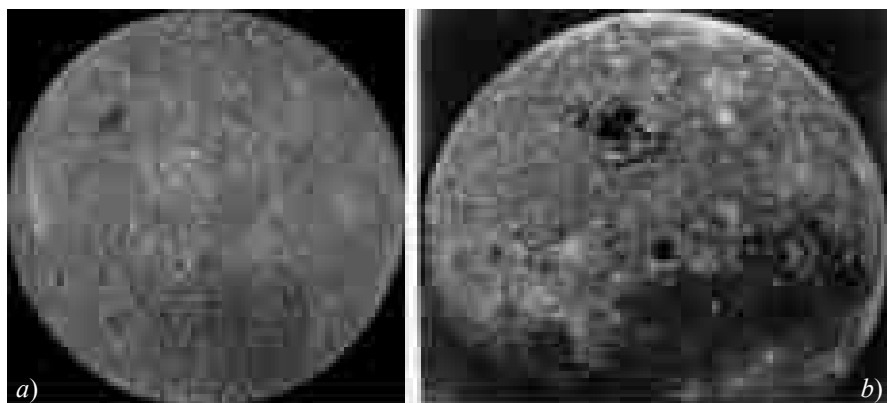
toryna 23° ýapgytdyr. Materiklerde deňizlere görä kraterler we sirkler örän köpdür. Halka şekilli daşky belentligiň we merkezi belentligiň umumy göwrümi krateriň düýbünü emele getirýän çökeltligiň (krateriň düýbi daşky üstden pesdedir) göwrümüne takmynan deňdir. Bu kanunalaýyklyga Şreter düzgüni diýilýär. Aý üstüniň detallaryna gözegçilik etmek üçin iň amatly wagt-birinji ýa-da ahyrky çärýegiň ýakynynda, ýagny kontrast iň uly bolandadyr. Bu döwürde Aý üstüniň belentlikleriniň, dag gişlikleriniň gowy seljerilýän kölegeleri bolýar. Olar terminatora näçe golaý bolduklaryça, kölegeleri şonça-da uludyr. Kölegeleriň uzynlygy boýunça Aýyň üstündäki emele gelmeleriň beýiklikleri kesgitlenýär. Terminatoryň çäklerinden aňyrdan ýerleşen dag belentliklerini kesgitli wagtyň dowamynda Gün şöhleleri ýagtylandyrýar.

Bu hadysa hem Aýyň üstündäki daglaryň beýikliklerini kesgitlemekde peýdalanylýar. Limbiň ýakynynda ýerleşen emele gelmeleriň beýiklikleri gös-göni gözegçiliklerden kesgitlenýär.

Librasiýa hadysasy diskiň gyrasyna ýakyn ýerleşen giň zolakda ölçegleri geçirmäge mümkinçilik berýär. Librasiýa hadysasy beýiklikleri kesgitlemek üçin ýene-de bir usuly, ýagny Aýyň dürli burça öwrülen ýagdaýlarynda düşürilen suratlaryny utgaşdyryp, stereoskopik (göwürümleýin) diýen ýaly şekili almaga mümkinçilik berýär. Aýyň üstündäki emele gelmeleriň beýiklikleri ýokary takyklyk bilen kesgitlenilýär, ýagny terminatoryň golaýynda ýerleşen 10 metr belentligiň kölegesini seljerip bolýar. Aý daglarynyň iň uly beýikligi 9 km-e ýetýär.

Aý üstüniň 40% töweregi onuň sinhron hereket edýänligi sebäpli öwrenmek üçin gözegçiliklerde görüp bolýan dälidir.

«Luna-3» planetara stansiýasy 1959-njy ýylda Aýyň daşynda aýlanyp, ilkinji bolup onuň görünmeýän tarapyňyň suratlaryny iberdi. Aýyň görünmeýän arka tarapynda belläp geçmeli emele gelmeler: Moskwa Deňzi, Arzuwlar Deňzi, Sialkowskiý, Lobaçewskiý, Lomonosow, Makswell kraterleridir. Aýyň görünmeýän arka tarapyndaky deňizler görünýän tarapyndakydan ep-esli kiçidir, ondan başga-da olaryň umumy sany hem azdyr. «Lunar Reconnaissance Orbiter» we «Zond-8» planetara stansiýalary tarapyndan Aýyň arka tarapy täzeden surata düşürildi (150-nji surat). Takyklygy has ýokary bolan, soňky



150-nji surat. Áýyň arka tarapyňyň a) «Lunar Reconnaissance Orbiter» we b) «Zond-8» planetara stansiýasy tarapyndan düşürilen fotosuraty

düşürilen suratlar Áýyň arka tarapyňyň Ýere bakýan tarapyndan birnäçe tapawudynyň bardygyny görkezdi.

Arka tarapyndaky çöketlikler garamtyl reňkli bolman, açyk reňklidir we adaty deňizlerden tapawutlylykda talassoidler (deňze meňzeş) diýlip atlandyrylandyr. Áýyň Ýerden görünýän tarapynda çöketlikler garamtyl lawa bilen guýlandyr. Görünmeýän arka ýüzünde bolsa diňe käbir çöketlikler garamtyldyr. Ýokarda belläp geçen deňizler guşagyny görünmeýän tarapynda talassoidler dowam edýär. Ýüze çykarylan birnäçe deňizler talassoidleriň merkezinde ýerleşendirler.

Ondan soňky ýyllarda Áýy öwrenmegi «Luna» we «Reýnjer» planetara awtomatik stansiýalarynyň tapgyry dowam etdirdi. Áý üstüniň häsiýetnamalary baradaky ilkinji maglumatlar astronomik gözegçiliklerden alnandyr. Gözegçiniň gözi Áýy ýagty, sarymtyl disk hökmünde kabul edýär. Ýöne ol käbir nukdaýnazardan nädogrudyr, sebäbi Áýyň serpikdirme ukyby örän pesdir.

Parallel şöhleler bilen ýagtylandyrylýan käbir tekiz üstüň serpikdirijilik ukyby onuň albedosynyň üsti bilen aňladylýar. Albedo-ähli ugurlarda dagynyk serpikdirilen akymyň düşýän akyma bolan gatnaşygydyr. Edil şuna meňzeşlikde, sferanyň orta serpikdirijilik ukyby üçin sferik albedo diýen düşünje ulanylýar. Göze görünýän şöhlelerde Áýyň sferik albedosy bary-ýogy 0,06-a deňdir. Ondan başga-da albedo tolkun uzynlygy boýunça ulalýandyr. Diýmek, haky-



katda Aýyň reňki sarymtyl-ak däl-de, gyzyldyr. Aý üstüniň ýagty ýerleriniň serpikdirijilik ukyby garamtyl ýerlerine görä iki-üç esse uludyr. Iň ýagty ýerleriniň, ýagny şöhle kraterleriniň ýakynynda ýagty maddanyň toplanmalary, düşýän ýagtylygyň takmynan 20%-i töweregini serpikdirýär.

Spektral serpikdirijilik ukyby, ýagny Aý üstüniň ähli ýerleri üçin albedonyň tolkun uzynlygyna baglylygy birmeňzeş diýen ýalydyr, diňe serpikdirme koeffisiýentiniň absolýut ululyklary tapawutlanýandyr. Aý üstüniň şöhlelenmäni siňdirýänligi sebäpli onuň üsti gyzýar. Gündizine temperatura ýylylyk deňagramlylyk deňlemesi boýunça kesgitlenilýär:

$$b\sigma T^4 + F = E(1 - A)\cos z \quad (9.5)$$

bu ýerde E – ýagtylandyrylyşyň energiýasy, A – albedo, z – berlen nokatda Günüň zenit aralygy, T – temperatura, b – şöhlelenme koeffisiýenti, σ – Stefan-Bolsmanyň hemişeligi. Deňlemäniň sag böleginde üstün wagat birliginde siňdirýän energiýasynyň mukdary, çep böleginde bolsa Stefan-Bolsmanyň kanunyna laýyklykda şöhlelendirilýän energiýa bilen ýylylyk geçirijiliginiň hasabyna içki gatlaklara geçirilýän F – energiýalaryň jemi ýerleşendir. Gijesine deňlemäniň sag bölegi nola deňdir we temperatura şeýle deňleme boýunça kesgitlenýär:

$$b\sigma T^4 + F = 0. \quad (9.6)$$

Gündizine F – akym üstünden içine, gijesine bolsa tersine, üste tarap ugrukdyrylandyr we aýyrmak alamaty bilen alynýar. Winiň kanunyna laýyklykda Aýyň Günüň aşagyndaky nokadynyň hususy ýylylyk şöhlelenmesiniň spektrinde energiýanyň paýlanyşynyň maksimumy:

$$\lambda_{\max} = \frac{2900}{T} = \frac{2900}{390} \approx 7 \text{ mk}.$$

Günüň aşagyndaky nokatdan uzaklaşdygymyzça temperatura kiçelýär, maksimum bolsa uzyn tolkunlara tarap süýşýär. Deňeşdirmek üçin Günüň spektrinde energiýanyň paýlanyşynyň maksimumy $4700 \text{ Å} = 0,47 \text{ mk}$ töweregidir.

$\lambda > \lambda_{\max}$ bolanda tolkun uzynlygynyň kiçelmegi bilen Plankyň egrisi örän kert aşak düşýär (§100 seret), ýagny spektriň göze görünýän çäklerinde Aýyň hususy şöhlelenmesini hasaba alman bolýar. Aý

bu ýerde diňe serpikdirýän ýagtylygy bilen ýagtylanýar. Tolkun uzynlygynyň artmagy bilen serpigen ýagtylygyň intensiwligi kemelýär (sebäbi onuň spektri takmynan Günüň spektrini gaýtalaýar), Áýyň hususy şöhlelenmesiniň intensiwligi bolsa artýar. Ýeriň atmosferasynyň 8-den 14 *km*-e çenli çäklerinde dury bolan zolagynda Áýyň hususy şöhlelenmesi bilen deňeşdirilende serpikdirilen şöhlelenme ujypsyzdyr, radiodiapazonda bu ýagdaý has hem güýçlüdir.

Şöhlelenmede energiýa üstün edil özünden däl-de, tolkun uzynlygyna we materialyň elektrik geçirijiligine baglylykda käbir çuňlukdan gidýär. Tolkun uzynlygy uly boldugyça, şöhlendirýän gatlak sonça çuňda ýerleşýär. Infragyzyl şöhlelenme takmynan 0,1 *mm* çuňlukdan gidýär we onuň intensiwligi üstün temperaturasy bilen kesgitlenýär. Uzynlygy 10 *sm* bolan radiotolkunlar bolsa takmynan 1m çuňlukdan çykýandyr. Áýyň infragyzyl şöhlelenmesini we radioşöhlelenmesini ölçemeler şulary görkezendir:

1) Áýyň üstüniň temperaturasy ekwatorda günortan 390 *K* töweregidir.

2) Gijesine üstüniň temperaturasy örän pesdir we ol 100-120 *K*-e deňdir.

3) *F* ululygy kesgitleýän ýylylyk geçirijiligi örän kiçidir we gury çägäniň wakuumdaky ýylylyk geçirijiligine ýakyndyr. Gije-gündiziň dowamynda temperaturanyň üýtgemeleri eýýäm 10 *sm* çuňlukda ýylmanýandyr (bildirýän dälidir).

Şeýlelikde, astronomik gözegçilikler Áýyň üstüniň materialynyň öýjük-öýjük görnüşli gurluşynyň bolmalydygyny görkezýär. Onuň hakykatdan hem şeýledigini Áýyň üstüne ýumşak gondurylan ilkinji kosmos apparatlarynyň geçiren barlaglary tassyklady. Áý topragy barada has takyk maglumatlar onuň nusgalary Ýere getirilenden soň alyndy. Áý topragyny getirmek «Apollon» kosmos gämisiniň we «Luna-16», «Luna-20», «Luna-24» awtomatik stansiýalarynyň kömegi bilen ýerine ýetirilendir.

Áý topragynyň häsiýetnamalary şulardan ybaratdyr: onuň ortaça dykzlygy 1-1,5 *g/sm*³, öýjükliligi 50%. Áýyň üstüniň topragynyň düzüminde dört jynsy görkezmek bolar: ownuk däneli, öýjük-öýjüklü, çogup çykan jynslar (*A* – görnüş); iri däneli, öýjüklü, çogup çykan jynslar (*B* – görnüş); brekçiýalar (çogup çykan jynslaryň we



minerallaryň döwürleri, olaryň köpüsi meteorlaryň urulmagy netijesinde erän görnüşde) we regolit (owunjak bölejikler we tozan). Birinji üç toparyň himiki düzümi birmeňzeşdir, regolit meteorit maddalaryň garyndylaryny saklaýandyr. Aý topragynyň jynslarynyň himiki düzümi Ýerdäkä meňzeşdir, ýöne has duýarlyk tapawutlary hem bardyr. Mysal üçin, onuň düzüminde agyr elementleriň, ýagny Cr, Ti, Zr agdyklygy we ýeňil elementleriň Sn, K, Na ýetmezçiligi görünýär.

Aýyň çogup çykan dag jynslarynyň ýaşı örän uludyr. Olaryň gatamasy-kristallaşmasy üç-dört milliard ýyl öň bolup geçipdir. Käbir Aý jynslarynyň kristallaşmasy Ýerdäkilerden hem öň bolupdyr. Aý brekçiýalarynyň we regolitiň häsiýetleri yzygider meteorit urgularynyň bolanlygyny subut edýärler. Ýöne olaryň Aý üstüni weýran etmeginiň tizliginiň uly dældigini (10^{-7} sm/ýyl) görkezýär. Aýyň üstünde galan kosmos apparatlary ýene-de millionlarça ýyllap durar.

Aýy öwrenmek esasan iki ugur, olaryň biri onuň üstüne kosmonawtlary uçurmak, beýlekisi bolsa awtomatik stansiýalary uçurmak bilen baglanyşyklydyr.

Aýyň üstüne eltilen seýsmograflar, esasan hem meteoritleriň gaçmagy bilen baglanyşykly bolmagy ähtimal bolan, köp sanly uly bolmadyk «Aý titremelerini» bellige aldylar. Olaryň maglumatlary düýpli seýsmiki işjeňligiň bardygyny görkezmeýär, ýöne bu aýdylanlar geologik nukdaýnazardan Aý «jansyz» asman jisimi diýildigi däl. Ýerden geçirilýän gözegçilikler wulkanlaryň çogup çykmagy bilen baglanyşykly bolmagy mümkin bolan, ýiti lowurdamalary ýüze çykardy. Alfons krateriň merkezi belentliginiň golaýyndan zyňylan gaz buludynyň spektri surata düşürildi (*148-nji surat*).

Emma muňa garamazdan, Aýyň suwuk ýadrosy ýokdur diýip hasaplanýar. Magnit meýdanynyň bolmazlygy hem aýdylanlary tassyklaýar. Kosmos raketalarynda oturdylan magnitometrler Aýyň magnit meýdanynyň Ýeriň magnit meýdanynyň on müňden bir böleginden uly dældigini görkezýär. Ýöne Aýyň galyňlygy 60 km töweregi bolan gabygy, mantiýasy we has dykyz ýadrosy bardyr.

Aý üstüniň emele gelmeleriniň, ýagny kraterleriň, deňizleriň, daglaryň we beýlekileriň tebigaty baradaky sorag doly çözülen däl. Ýere meňzeşlikde Aý emele gelmeleriniň wulkanlar bilen

baglanyşkylykly tebigaty bolmaly diýip çaklamak tebigydyr. Onuň şeýle bolmagynyň mümkindigini şular hem tassyklaýar, ýagny tekiz deňizleriň wulkan lawalarynyň meýdanlaryny ýada salmagy. Käbir ýerlerinde lawanyň beýleki emele gelmeleri dolduran we daşyndan aýlanyp akyp geçen yzlary görünýär. Lawanyň çogup çykmasyynyň soňky döwürlerde bolup geçendigini onuň üstünde emele gelmeleriň bolmazlygy hem tassyklaýar.

Emma Aý üstüniň emele gelmeleriniň arasynda Ýerde örän seýrek duş gelyäňleri hem bardyr. Olara sirkler, kraterler, çukurlar, ýagty şöhleler degişlidir. Kraterleriň görnüşi olaryň döremeginiň düýbünden başga tebigatynyň bolmagy mümkindir diýen pikiri hem döredýär. Goý, Aýyň üstüne uly meteorit urulypdyr diýip göz önüne getireliň. Şonda partlama bolýar, tegelek çukur emele gelýär, zyňylan madda halka şekilli belentligi emele getirýär, has ýeňil galyndylary bolsa şöhleler sistemasyny emele getirýär. Bu hadysalaryň hemmesi Ýerde güýçli partlamalarda gözegçilik edilýär. Has inçe, takyk seredilende bular ýaly usul bilen merkezi belentligiň emele gelmegini hem düşündirip bolýar. Şreteriň düzgünini hem partlama çaklamasy bilen düşündirip bolýar. Ýeriň üstünde azda-kände gowy saklanan birnäçe meteorit kraterleri (olardan iň irisi Arizona krateri) bellidir. Ondan başga-da soňky döwürlerde gadymy meteorit kraterleriniň galyndylary bolan, ýumrulan halka görnüşli belentlikleriň köp sanlysy tapylandyr. Bu bolsa gadymy döwürlerde Ýer we Aý, häzirki wagt bilen deňeşdirilende meteoritler bilen köp urulypdyr, şol döwürlerde hem sirkleriň we kraterleriň köpüsi döräpdir diýen pikiri döredýär. Ýerde bu yzlar ýel-suw täsirinden ýitip gidipdir, Aýda bolsa bu döwrüň yzlary saklanyp galypdyr. Kraterleriň köp sanlysy Marsda hem saklanyp galandyр.

Kraterleriň bellibir böleginiň emele gelmeginiň meteorit tebigatynyň, başga bir böleginiň bolsa wulkanlar bilen baglanyşkylykly tebigatynyň bolmagy ähtimaldyр. Käbir ýagdaýlarda bolsa bu iki hadysanyň bilelikdäki täsiri netijesinde dörän bolmagy mümkin. Meteoritiň gaçmagy Aý gabygynyň berk gatlagyny bozup, wulkanyň döremegine, lawanyň çogup çykmagyna we gazlaryň bölünip çykmagyna sebäp bolup biler. Şeýlelikde, bu emele gelmeleriň döremeginde sanalan hadysalaryň üçüsiniň hem täsiri bolmalydyр.



Aý atmosferasy barada şulary bellemek bolar. Iň bolmanda seýreklendirilen atmosferany ýüze çykarmak üçin soňky ýyllarda örän inçe, bir-biri bilen baglanyşygy bolmadyk usullara esaslanan barlaglar geçirilendir (elbetde, aýry-aýry gaz zyňymalary däl-de, hemişelik atmosfera). Olaryň biri Aý şahlarynyň golaýynda ýitilige we polýarlanma hadysasyna optiki gözegçilikleri geçirmekdir. Eger Aýyň atmosferasy bar bolsa, onda şahlar az-kem ýagtylanmaýan taprapynada geçer. Releýiň dagynyk serpikmesinde şöhlelenme polýarlanýar, faza burçy 90° bolanda polýarlanma 100% -e deň bolýar (faza burçy 0° ýa-da 180° bolanda ol nola deňdir). Şonuň üçin, eger-de atmosferasy bar bolsa, onda şahlaryň uçlarynda faza burçlarynyň 90° ýakyn ýerinde gowşak polýarlanan ýagtylanmany ýüze çykarardy. Bu ýagtylanma örän ykjam, ünsli gözlenendigine garamazdan, tapmak başardan dälidir. Bu ýerden bolsa eger Aýyň atmosferasy bar hem bolsa, onda onuň dykzlygy Ýeriň atmosferasynyňkydan azyndan 10^9 esse kiçi bolmalydyr. Ýeriň üstünde atmosferada molekulalaryň konsentراسیasy $2,7 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ -a deňdir. Diýmek, Aý atmosferasynda molekulalaryň konsentراسیاسynyň ýokary çägi takmynan 10^{10} sm^{-3} bolmalydyr. Bular ýaly konsentراسیа Ýeriň atmosferasynda 200 km töweregi beýiklige degişlidir. Aýyň atmosferasynda atomlaryň konsentراسیاسynyň gös-göni ölçemeleri amerikan astronomtlarynyň onuň üstünde galdyran enjamlarynyň kömegi bilen geçirildi. Ölçemeler gündizine Aýyň atmosferasy 10^6 wodorod atomlaryny we $6 \cdot 10^4$ neon atomlaryny öz düzüminde saklaýandygyny görkezdi. Gijesine konsentراسіа on esse kiçidir.

Şeýlelik bilen, Aýyň atmosferasy örän seýrekdir, düzümi boýunça Ýeriň atmosferasyndan çürt-kesik tapawutlanýar (şeýle hem Marsyňkydan tapawutlanýar) we dykzlygy gije-gündiziň dowamynda güýçli üýtgeýär. Näme sebäpli beýle bolýar diýen sorag ýüze çykýar. Geçmişde Aýda wulkan prosesleri bolan bolmalydyr. Sebäbi onuň üstünde wulkan prosesleriniň häzirki döwürde hem bardygyny tassyklanandyr. Wulkanlar bilen baglanyşykly hadysalarda CO_2 , H_2O , NH_3 ýaly gazlar bölünip çykýar. Ýeriň atmosferasynyň hem wulkanlar bilen baglanyşykly gelip çykyşy bar diýlip, häzirki döwürde hasaplanýar. Aýda wulkanlar bilen baglanyşykly bölünip çykýan gazlar nirä ýitirim bolýar diýen sorag ýüze çykýar. Olaryň

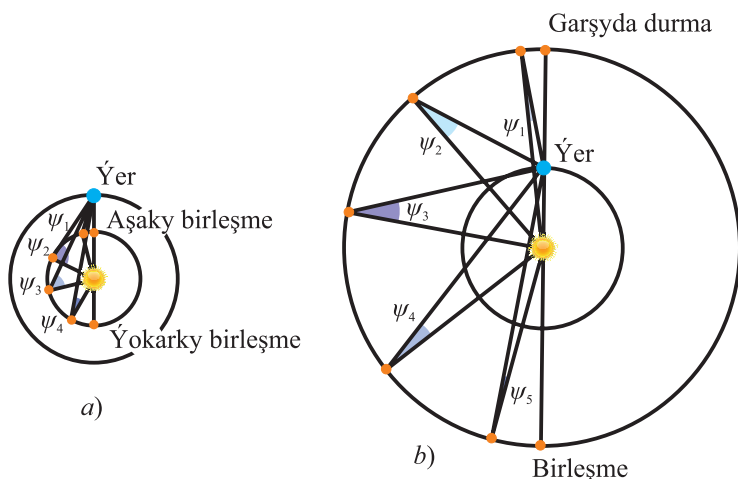
köpüsi dissipasiýa netijesinde, şeýle hem kiçi parabolik tizlik sebäpli daşlaşýarlar. Kislorod we azot ýaly gazlar Aýy örän çalt taşlap gidýär. Agyr kömürturşy gazy hem saklanyp bilýän däldir, sebäbi Günüň ultramelewşe şöhlelenmesiniň täsiri netijesinde dissosirlenýändir (dargaýandyr). Emma Aýyň gabygynda bolýan radioişjeň proseslerde agyr inert gazlar Ar, Kr, Xe emele gelýär, olaryň dissipasiýasy Aýda hem haýal geçýär. Bulary Aýdan başga fiziki proses, ýagny korpuskulýar akymalaryň atmosfera bilen täsirleşmegi netijesinde daşlaşdyrylýar. Bu akymalaryň magnit meýdany we kinetik energiýasy gabykdan bölünip çykýan inert gazlary «üfläp» aýyrmak üçin ýeterlikdir. Başga bir tarapdan bolsa korpuskulýar akymalaryň düzümindäki wodorodyň, geliniň, neonyň käbir bölegi Aýyň täsirine düşüp, ýüze çykarylan, seýreklandirilen atmosferany emele getirýärler.

§125. Planetalaryň fazalary. Olaryň görünmek şertleri

Gün sistemasynyň beýleki planetalaryny öwrenmäge geçmezden öň, olaryň görünmek şertlerine degişli birnäçe umumy bellikleri aýtmak zerurdyr. Merkuriý we Wenera planetalarynyň faza burçy 0° -dan 180° -a çenli aralyklarda üýtgeýär. Şonuň üçin Merkuriý we Wenera edil Aýa meňzeşlikde fazalarynyň çalyşma tapgyrlaryny geçýär. Ýokarky birleşmede (Gün Ýer bilen planetanyň aralygynda) planetanyň diski tutuşlygyna ýagtylandyrylan, faza burçy nola deň; aşaky birleşmede bize planetanyň ýagtylandyrylmaýan tarapy bakyp durýar. Käwagt (örän seýrek bolýar), Günüň we planetanyň ekliptiki giňlikleri örän az tapawutlanýar we şonda planeta Gün diskiniň önünden ýa-da arka tarapyndan geçýär. Aşaky birleşmäniň ýakynynda Merkuriý we Wenera inçejik orak ýaly bolup görünýär. Faza burçy $\psi_2 = 90^\circ$ bolanda diskiň deň ýarysy ýagtylandyrylýar (kwadratura). 151-nji suratdan görnüşi ýaly, eger planetanyň orbitasy Ýer orbitasynyň daşynda ýerleşen bolsa (ýokarky planetalar), onda onuň faza burçy 180° -a ýetip bilmez. Garşyda durmada bu planetalar üçin faza burçy takmynan nola deň we disk doly ýagtylandyrylýar.

Garşyda durmadan uzaklaşdygyça faza burçy ulalýar, käbir ψ_m maksimal baha ýetýär we ýene-de birleşmede nola deň bolýar. Plane-





151-nji cyzgy. Faza burçunyň üýtgemesi.

a) Merkuriniň we Weneranyň faza burçy 0-dan 180°-a çenli üýtgeýär; b) ýokarky planetalaryň faza burçy $\psi_m < 180^\circ$ maksimal baha ýetip, soňra kemelýär

ta Günden näçe daşda boldugyça, şonça-da onuň maksimal faza burçy ψ_m kiçidir. Marsyň maksimal faza burçy 47° , Ýupiter üçin 12° , Saturn üçin 6° , Uran üçin 3° , Neptun üçin 2° deňdir.

Merkuriý, Wenera we Mars planetalarynyň görünýän burç ölçegleri bu planetalaryň özara we Ýere görä ýerleşişlerine baglydyr. Wenera we Merkurii aşaky birleşme wagtynda Ýere iň ýakyn bolýar we şonda olaryň burç diametrleri maksimal baha eýedir. Emma aşaky birleşmede biz planetanyň diskiniň ýagtylandyrylmaýan tarapyny görýäris. Ondan başga-da aşaky we ýokarky birleşmede planetadan Güne çenli burç aralyk (elongasiýa) örän kiçidir we şol sebäpli gözegçilik etmek örän çylşyrymlaşýar. Wenera bilen Merkurini iň uly elongasiýasynyň ýakynynda gözegçilik etmek amatlydyr. Merkuriniň iň uly elongasiýasy 28° -a ýetýär, ýöne bu ýagdaýda hem ony diňe alagaraňkyda ýa-da gündizine gözegçilik edip bolýar. Wenera maksimal elongasiýada (48°) Gün dogmazyndan takmynan üç-dört sagat öň dogýar (ýa-da agşam görnende Gün ýaşandan soň üç-dört sagat soň ýaşýar). Eger Merkurii we Wenera Güne gaty golaý bolmadyk ýagdaýlarynda olary gündizine teleskopda görüp bolýar.

Marsyň burç ölçegleri garşyda durmada maksimal baha eýedir. Garşyda durma nol faza bilen (disk бүтewüligine ýagtylandyrylýar)

gabat gelýär, şol sebäpli planeta gözegçilik etmek üçin bu iň amatly ýagdaýdyr. Garşyda durmada diskdäki iň kiçi ölçegli detallary seljerip bolýar. Marsyň orbitasynyň ekssentrisiteti uly bolany sebäpli dürli garşyda durmada Marsdan Ýere çenli aralyk birmeňzeş däl. Garşyda durma planetanyň perigeliden geçme pursadyna gabat gelse, onda aralyk minimaldyr (55 mln.km töweregi, Beýik garşyda durma) we afeliýde gabat gelse maksimaldyr (100 mln.km töweregi).

Ýokarky planetalaryň beýlekileriniň orbitalary Ýeriň orbitasyndan köp uludyr, şonuň üçin olar garşyda durmadan uzaklaşanlarynda Ýere çenli aralyk, Mars bilen deňeşdirilende az derejede üýtgeýär. Faza hem uly bolmadyk çäklerde üýtgeýär. Şol sebäpli, garşyda durmadan uzaklarda hem bu planetalara gözegçilik etmek üçin şertler, köplenç, amatly bolýar.

§126. Merkuriý

Güne iň golaý ýerleşen planeta Merkuriý ölçegleri boýunça Aýdan sähelçe uludyr, ýagny onuň radiusy 2439 km-e deňdir. Emma onuň orta dykzlygy ($5,45 \text{ g/sm}^3$) Aýyň dykzlygyndan köp uludyr we Ýeriň dykzlygyna ýakyndyr. Üstünde agyrylyk güýjüniň tizlenmesi 372 sm/s^2 -a deňdir, ýagny Ýerdäkiden 2,6 esse kiçidir. Günüň daşyndan aýlanma peridy Ýerdäki 88 gije-gündize deň. Burç ölçegleri kiçi bolany üçin (in uly elongasiýada $7''$ deň) we Güne ýakynlygy sebäpli Merkurini (*152-nji surat*) gözegçilik etmek çylşyrymly.

Radiolokasiýa gözegçilikleri Merkuriniň öz okunyň daşyndan aýlanma ugruny we periodyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu tejribelerde Merkuriý diametri 300 m bolan äpet antennanyň (Aresibo obserwatoriýasy, Puerto-Riko) kömegi bilen tolkun uzynlygy 70 sm bolan radiosignallaryň dowamly impulsary bilen şöhlelendirildi.

Eger planeta öz okunyň daşynda aýlanýan bolsa, onda Doppler hadysasy sebäpli serpigene impuls ýygylýk boýunça giňelýär. Ýerden görünýän aýlanma planetanyň öz okunyň daşyndan hakyky aýlanmasyndan we orbitasy boýunça hereket edende öwürilmeden ybaratdyr. Radiolokasiýa gözegçilikleri planetanyň orbitasynyň dürli nokatlarynda bolan ýagdaýynda geçirip, okunyň daşyndan aýlanma tizligini we ugruny kesgitläp bolýar.





152-nj surat. Merkuriniň dürli fazalarda alnan fotosuratlary

Radiolokasiýa gözegçilikleriň netijesinde Merkuriniň dogry ugurda öz okunyň daşyndan aýlanýandygy we aýlanma periodynyň 58,65 gije-gündize deňdigi kesgittlendi. Bu bolsa, planetanyň Günüň daşyndan aýlanma periodynyň 2/3 bölegine ýakyndyr. Aýlanma oky ekliptikanyň tekizligine takmynan perpendikulýardyr.

Merkuriniň diskindäki azda-kände durnukly detallara gözegçilikler netijesinde şeýle periodlar kesgitlenen:

$$t = T; \quad t = \frac{4}{5}T; \quad t = \frac{2}{3}T; \quad t = \frac{4}{7}T, \quad (9.7)$$

bu ýerde T – Günüň daşyndan aýlanma periody. Bu bahalaryň üçünjisi radiolokasiýa usuly bilen kesgitlenen perioda gabat gelýär. Periodlaryň bular ýaly gatnaşygynda planetada Gün gije-gündiziniň dowamlylygy (Günüň yzygider iki sapa dogmasynyň wagt aralygy) iki Merkuriý ýylyna deňdir.

Amerikan kosmos apparaty «Mariner-10» Merkuriniň fototelewizion şekilini, Ýerden Aýa teleskoplarda seredilende detallary seljerep bolýan derejede iberdi (*153-nji surat*).

Merkuriniň üsti Aýyň üstüni ýada salýar. Birinji göze ilýäni dürli ölçeglerdäki kraterleriň köplügidir. Emma tapawutlary hem bardyr. Merkuride tekiz we kraterler bolmadyk, giň deňizler ýokdur. Ýöne başga bir tarapdan, Merkuride münlerçe kilometrler çenli uzap gidýän, beýiklikleri birnäçe kilometrler ýetýän emele gelmeler, belent-

likler bardyr. Bular planetanyň ösüş prosesinde gysylandygyny tassyklaýar.

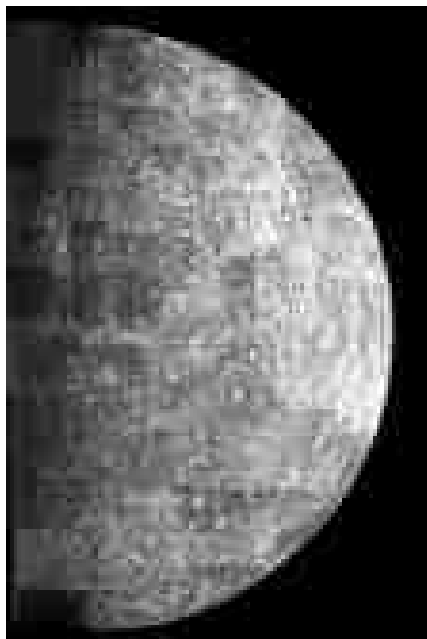
Aýyň we Merkuriniň meňzeşligini olaryň fotometrik we polýarimetrik häsiýetnamalarynyň, ýagny ýyldyz ululygynyň we polýarlanmanyň faza baglylygynyň, üstüniň serpikdirijilik ukybynyň gabat gelmegi tassyklaýar. Edil Aýda bolşy ýaly, infragyzyl şöhlelenme boýunça ölçenen temperatura uly çäklerde üýtgemelere sezewardyr. Günortan ekwatorda maksimal temperatura 700 K -e ýetýär, gije tarapynda bolsa ol 100 K -e çenli pese düşýär. Ýöne planetanyň gündiz we gije taraplarynyň santimetr uzynlykly ýylylyk radioşöhlelenmeleriniň

intensiwligi az tapawutlanýar. Diýmek, Merkuriniň topragynyň üstki gatlagy edil Aýyň üstüniň ýokarky gatlagyna meňzeşdir we kiçi dykyzlygy bolan, örän ownuk jynslardan ybaratdyr (regolit).

Merkuriniň atmosferasynyň dykyzlygy örän kiçidir, üstündäki konsentrasiýa 10^6 sm^{-3} -den köp däldir. Yeriň atmosferasynda bular ýaly konsentrasiýa 700 km beýiklige degişlidir. «Mariner-10»-da geçirilen spektroskopik ölçegler onuň atmosferasynyň düzüminde geliniň bardygyny görkezdi (konsentrasiýasy 10^{-4} sm^{-3}).

Merkuriniň hususy magnit meýdany bardyr. Ekwatoryň ýakynynda onuň güýjenmesi $0,002\text{ e}$ deň (Ýerdäkiden 300 esse kiçi). Magnit dipolynyň oky aýlanma oky bilen takmynan gabat gelýär.

Merkuriniň hemrasy ýokdur.



153-nji surat. «Mariner-10» kosmos apparatynyň telewizion kameralarynyň Merkurini «mozaika» görnüşli düşüren fotosuraty



§127. Wenera.

Wenera planetasynyň (*154-nji surat*) massasy we radiusy Ýeriň massasyna we radiusyna ýakyndyr ($0,82M_{\oplus}$ we $0,95R_{\oplus}$ deňşlilikde). Baryp 1761-nji ýylda Weneranyň Günüň diskinden geçmesine gözegçiliklerden, rus alymy M.W.Lomonosow bu planetanyň edil Ýere meňzeşlikde, atmosfera gatlagynyň bardygyny kesgitländigir. Şeýlelikde, Wenera we Ýer köp häsiýetnamalary boýunça bir-birine meňzeşdir. Bu maglumatlaryň esasynda köp wagtlap Weneranyň we Ýeriň üstündäki fiziki şertler biri-birinden köp tapawutlanmaly däldir diýip hasaplanypdyr. Ýöne soňky gözegçilikleriň netijeleri bu pikiri üýtgedendir.

Weneranyň burç diametri ýeterlik uludyr. Ol ýokarky birleşmäniň ýakynynda $20''$ -dan aşaky birleşmede $1'$ -e çenli aralykdaky bahalary alýar. Iň uly elongasiýasynyň ýakynynda planetanyň diskiniň görünýän üstüniň limbden terminatora tarap ýuwaş-yuwaşdan garalýandygyny görmek bolýar. Kāwagtlar bu garalmalar yzygiderli bolýan däldir. Gözegçiliklerde görnüşleri gün-günden üýtgeýän, diskdäki duman şekilli tegmilleri seljerip bolýar. Bu tegmiller bulutlaryň düzüminiň detallary bolmalydyr. Wenerada bulutlar örän dykyz, bütewi gatlagy emele getirýär. Bu bulutlar planetanyň üstüni bizden doly ýapýar.

Planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanmasyny onuň diskinde gözegçilik edilýän detallaryň görünýän orun üýtgetmeleri boýunça kes-



154-nji surat. Weneranyň dürli fazalardaky fotosuraty

gitlemek in ýönekeý usuldyr. Weneranyň ultramelewşe tolkunlarda düşürilen fotosuratlarynda detallaryň hereketleri boýunça kesgitlenen, öz okunyň daşyndan aýlanma periody Ýerdäki dört gije-gündize deň, ýagny Günüň daşyndan aýlanma periodyndan (225 gije-gündiz töweregi) köp kiçi. Ýöne ultramelewşe şöhlelerde biz planetanyň atmosferasynyň ýokarky gatlaklaryndaky bulutlara gözegçilik edýäris, bu bulutlar atmosferanyň sirkulýasiýasy bilen bagly bolan yzygiderli hereketlere eýe bolup bilerler.

Weneranyň gaty jisiminiň öz okunyň daşyndan aýlanma tizligini diňe radiolokasiýanyň kömegi bilen ynamly kesgitlep bolýandyr. Radiolokasiýa barlaglary radiotolkunlaryň desimetr diapazonynda geçirilendir. Bu gözegçiliklerden Weneranyň öz okunyň daşyndan aýlanma periodynyň Ýerdäki 243,2 gije-gündize deňdigi we bu aýlanmanyň beýleki planetalaryň aýlanma ugruna, ýagny öz orbitasy boýunça hereketiniň ugruna tersdigi kesgitlendi. Aýlanma oky orbitasynyň tekizligine takmynan perpendikulýardyr. Şonuň üçin Wenerada ýylyň pasyllarynyň çalyşmasy ýokdur.

Radiolokasiýadan kesgitlenen, öz okunyň daşyndan aýlanma periody planetanyň gaty jisiminiň aýlanma tizligini berýär, sebäbi desimetr uzynlykly radiotolkunlar bulut gatlaklaryndan erkin, ýitgisiz diýen ýaly geçýär. Ultramelewşe fotosuratlar boýunça kesgitlenen period bolsa, planetanyň atmosferasynyň ýokarky gatlaklarynda bulutlaryň (sistematiki) hereketleri bilen kesgitlenýär.

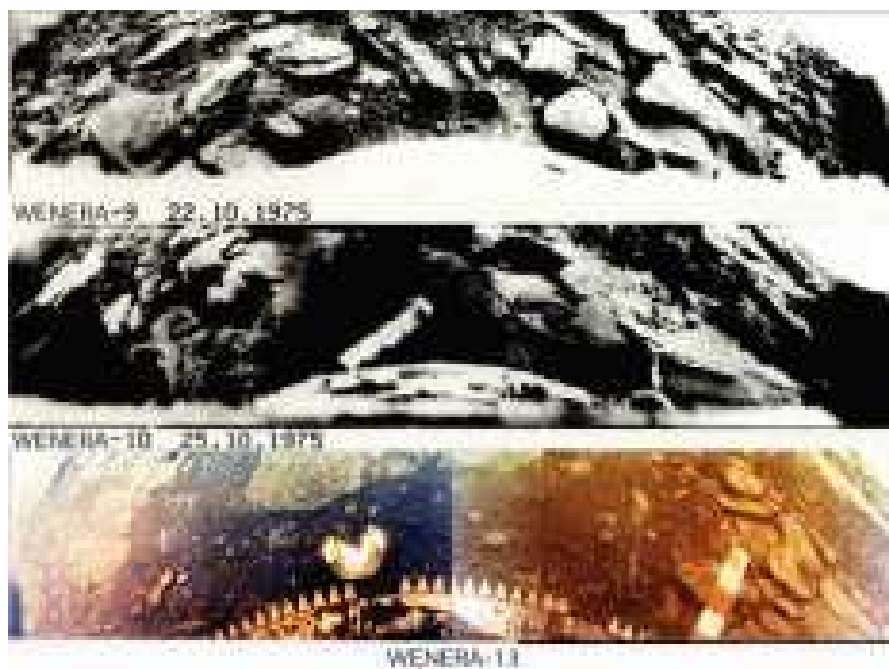
Öz okunyň daşyndan aýlanma (243 gije-gündiz) we Günüň daşyndan aýlanma (225 gije-gündiz) periodlary ululyklary boýunça golaý, ugurlary garşylykly bolany üçin, Günüň daşyndan bir doly aýlaw aýlanýança Wenerada Günüň iki dogma we iki ýaşma hadysasy bolýar, ýagny Wenerada Gün gije-gündiziniň dowamlylygy Ýerdäki 117 gije-gündize deňdir.

Weneranyň öz okunyň daşyndan aýlanmasynyň ýene bir gyzykly aýratynlygy bardyr. Onuň öz okunyň daşyndan aýlanma tizligi aşaky birleşme wagtynda Weneranyň mydama şol bir tarapy bilen Ýere bakyp durmagyny üpjün edýär. Onuň sebäbi Weneranyň Günüň daşyndan aýlanmagynyň sinodik periody 584 gije-gündize deň we öz içine Wenerada baş Gün gije-gündizini alýar ($5 \cdot 117 = 584$ gije-gündiz).



Radiolokasiya gözegçilikler Weneranyň gaty üstüniň radiusyny kesgitlemäge mümkinçilik berendir. Birnäçe kilometr takyklyk bilen kesgitlenen radiusy 6052 *km*-e deň. Radiolokasiýanyň kömegi bilen birnäçe kilometr takyklykda Weneranyň üstüniň şekili alnandyr. Şonda Aýdaky we Marsdaky kraterlere meňzeş, ýöne has ýylmanan kraterleriň bardygy anyklandy. Ekwatorial guşakda üstüniň büdür-südürliginiň beýikligi 2 *km*-den uly däldir.

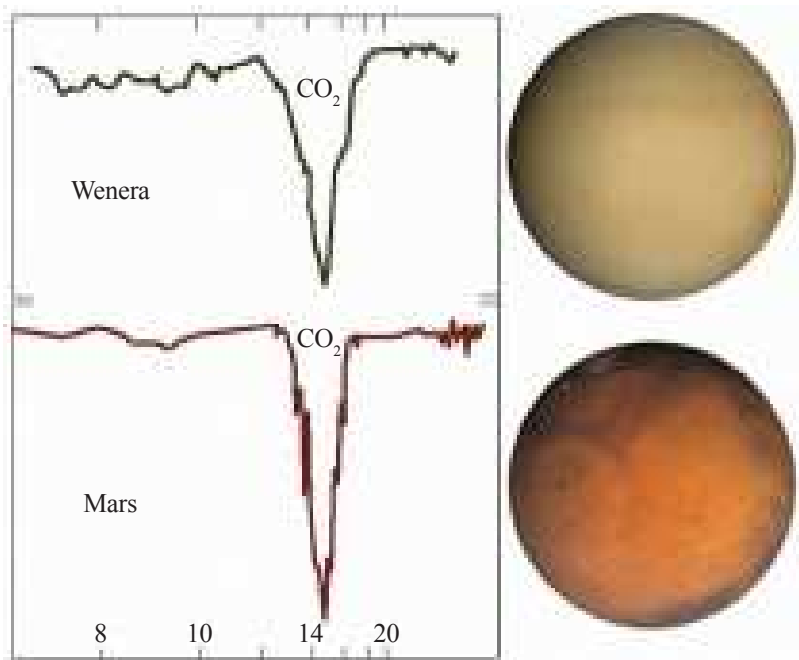
«Wenera-9», «Wenera-10» we «Wenera-12-13» awtomatik planetara stansiýalaryň (APS) aşak düşürilýän apparatlary planetanyň üstüne ýumşak gonup, Ýere planetanyň üstüne gonan ýerleriniň şekilini iberendirler (155-nji surat). Şekil görünyän şöhlelerde, işleýşi mehaniki telewideniýä meňzeş bolan, telefotometriň kömegi bilen alnandyr. «Wenera-9» gonan ýeriniň, ýeterlik iri daşlar pytradylan görnüşli şekiliniň bardygy suratdan görünyär. Şeýle görnüşli üstüň ýaşynyň uly bolup bilmejekdigi (10^6 - 10^7 ýyl) bellidir we Weneranyň geologik işjeň planetadygy gelip çykýar.



155-nji surat. Weneranyň üstüniň «Wenera-9», «Wenera-10» we «Wenera-13» APS-nyň telefotometriň Ýere iberen şekilleri

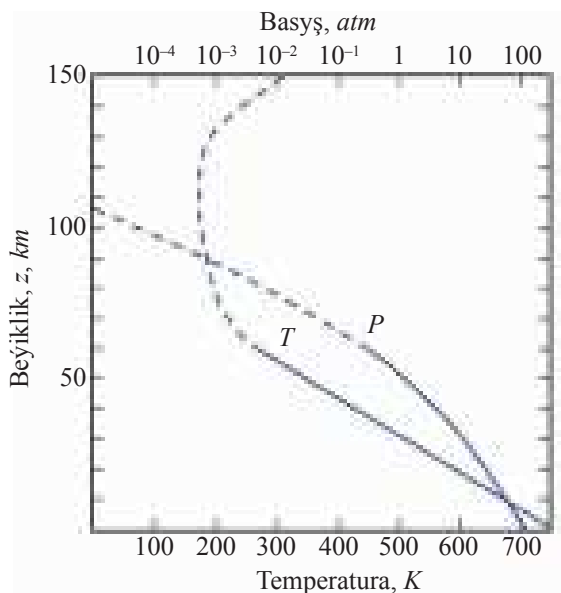
«Wenera-8», «Wenera-9» we «Wenera-10» APS-lar planetanyň üstündäki dag jynslarynyň dykzlygyny we olaryň düzümindäki tebigy radioişjeň elementleriň bardygyny kesgitlemek üçin niýetlenen enjamlar bilen üpjün edilendir. Bu APS-laryň gonan ýerlerinde planetanyň maddasynyň dykzlygy $2,8 \text{ g/sm}^3$ -a ýakyn, düzümindäki radioişjeň elementleriň derejesi boýunça bolsa bu dag jynslarynyň düzümi bazaltlara, ýagny Ýer gabygynyň in köp duş gelýän, çogup çykan jynslaryna meňzeşdir.

Weneranyň atmosferasynyň häsiýetnamalaryna seredeliň. Spektroskopik gozegçilikleriň netijeleri boýunça Weneranyň atmosferasynda CO_2 , şeýle hem CO_2 bilen deňeşdireniňde has az mukdarda beýleki gazlar (H_2O , CO , HCl , HF) bardyr. 156-njy suratda özünde CO_2 zolagyny saklaýan, Weneranyň spektriniň bölegi görkezilen (molekulalaryň infragyzyly spektriniň zolaklardan, ýagny kesgitli yzygiderlikde ýerleşen, çyzyklaryň toparlaryndan ybaratdygyny ýatladýarys).



156-njy surat. Weneranyň we Marsyň spektrogrammalary. Weneranyň spektrindäki CO_2 çyzyklaryna Marsyň spektrindäki CO_2 çyzyklary takyk gabat gelýär





157-nji surat. Weneranyň atmosferasyndaky basyş we temperatura

Spektroskopik maglumatlaryň köp sanlylygyna garamazdan, Weneranyň atmosferasynda örän dykyz bulut gatlagynyň bardygy sebäpli, düzümindäki CO_2 -niň mukdaryny kesgitlemek çylşyrymlydyr. APS-lar uçurylmazdan öň, Ýere meňzeşlikde, Weneranyň atmosferasynda hem azot köp bolmaly diýlip hasaplanypdyr. «Wenera-4,5,6» APS-larda geçirilen göni ölçemeler Weneranyň atmosferasynyň düzüminiň 97%-ni CO_2 , 2 % töweregini bolsa azot düzýändigini görkezdi. H_2O mukdary atmosferanyň has aşaky gatlaklarynda 0,1%-den köp däldir («Wenera-9» we «Wenera-10» maglumatlary boýunça). Ýerdäki suwuň mukdary bilen deňeşdirilende bu ululygyň örän kiçidigini bellemek zerurdyr. Wenerada ummanlar ýokdur we planetanyň geologik taryhynda bölünip çykan suwuň ähli mukdary onuň atmosferasynda jemlenen bolmalydyr.

«Wenera-6»-«Wenera-10» APS-lary planetanyň atmosferasynyň aşaky gatlaklarynda basyşy, temperaturany we dykyzlygy ölçändigiler. 157-nji suratda bu tejribelerde alnan, temperaturanyň we basyşyň beýiklige baglylykda üýtgeýşi görkezilen.

Bu APS-laryň geçiren ölçegleri netijesinde Weneranyň üstüniň temperaturasynyň 750 K töweregi, basyşyň bolsa 100 atm ýakynlygy

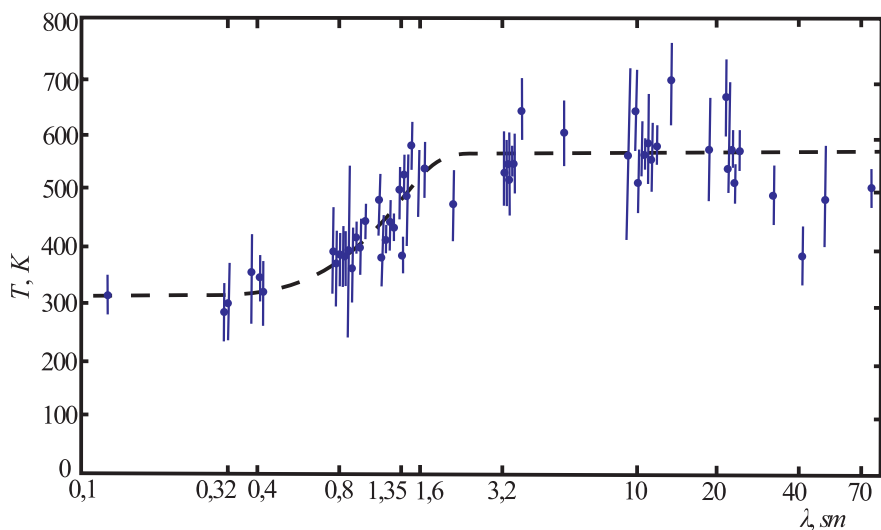
kesgitlendi. Kosmos serişdeleriniň kömegi bilen Wenerany öwrenmek diňe onuň üstüne gondurylan apparatlar bilen çäklenmeýär. «Wenera-4» kosmos apparaty planetanyň üstüne gondurylýan enjamy bölünip aýrylandan soň, uçup geçýän traýektorıyasynda ýokarky atmosferada ultramelewşe fotometriň kömegi bilen barlaglary geçirendir. Amerikan kosmos apparatlary «Mariner-5» we «Mariner-10» Weneranyň golaýyndan uçup geçenlerinde ony öwrenendirler. Ýöne planetany öwrenmek üçin onuň töweregindäki orbita çykarylan emeli hemralardan peýdalanmak amatlydyr. «Wenera-9» we «Wenera-10» kosmos apparatlary, düşürilýän enjamy bölünip aýrylandan soň, planetanyň töweregindäki orbita çykarylyp, onuň ilkinji emeli hemralary bolandyr. Bu hemralar planetanyň atmosferasyny, bulut gatlagyny we Gün şemalynyň planeta bilen özara täsirini öwrenmek üçin enjamlar bilen üpjün edilendir. Planetanyň atmosferasyny radiotolkunlar bilen zondirleme netijesinde atmosferanyň dykzlygynyň we temperaturasynyň beýiklige görä üýtgemesi öwrenilendir. Bu gözegçiliklerde atmosferanyň parametrleri radiotolkunlaryň atmosferanyň içinden geçenlerinde döwürmegi bilen baglylykda faza süýşmeleri boýunça kesgitlendi.

Üstüniň ýokary temperaturasynyň, uly atmosfera basyşynyň we düzüminde CO_2 -niň köp mukdarda bolmagynyň özara baglanyşygy bolmalydyr. Ýokary temperatura karbonat jynslarynyň CO_2 bölünmegi bilen silikat jynslara öwrülmegine ýardam edýär. Ýeriň üstünde kömürturşy gazy (CO_2) biosferanyň täsiri netijesinde çökündi jynslara öwrülýär. Emma Wenerada biosfera ýokdur. Ýöne atmosferanyň düzüminde CO_2 -niň köp mukdarda bolmagy Weneranyň üstüniň we atmosferasynyň aşaky gatlaklarynyň gyzdyrylmagyna ýardam edýär.

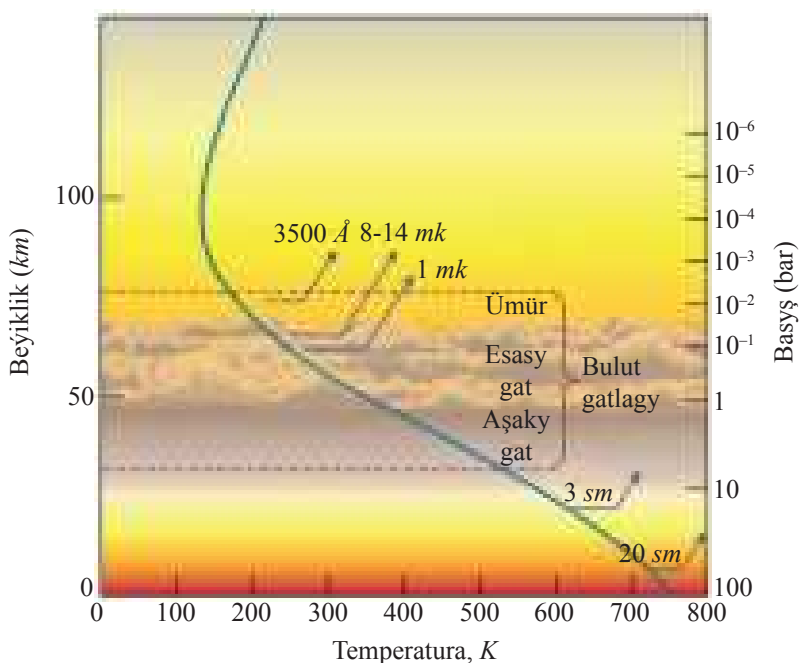
Weneranyň atmosferasynyň aşaky gatlaklarynyň ýokary temperaturalary bolmaly diýen netije Ýerden geçirilen astronomik gözegçilikleriň maglumatlary boýunça çykarylandyr. APS-laryň geçirilen ölçegleri temperatura baradaky netijeleri has takykklamaga mümkinçilik berendir. 158-nji suratda Ýerdäki radioteleskoplaryň kömegi bilen geçirilen köp sanly ölçemelerden kesgitlenen, Weneranyň radioşöhlemenmesiniň spektri görkezilen.

Ordinata oky boýunça ýitilik temperatura berlen (monohromatik ýitiligi hakyky çeşmäniň ölçenen ýitiligine deň bolan absolýut gara





158-nji surat. Weneranyň radioşöhlelenmesiniň spektri. Absissa oky boýunça tolkun uzynlyklary, ordinata oky boýunça ýitilik temperatura berlen



159-njy surat. Weneranyň atmosferasynyň gurluşy. Dürli tolkun uzynlyklarda şöhlelenmäniň we siňdirmäniň Weneranyň atmosferasynyň haýsy beýikliklerine geňişlidigi görkezilen



jisimiň temperaturasy). 3-den 20-i santimetr çäklerde temperatura 600-700 K-e ýetýär. Weneranyň atmosferasy bu ýygylklarda durudyr, şonuň üçin üstüniň gös-göni ýylylyk şöhlelenmesi ölçenendir. Kosmos apparatlarynyň kömegi bilen Wenerany öwrenmek, astronomik gözegçiliklerden alnan netijeleri gös-göni ölçegleriň kömegi bilen barlamaga mümkinçilik beren az sanly ýagdaýlaryň biridir.

Ýitilik temperaturasynyň üýtgemesi santimetr uzynlykly tolkunlaryň kömürturşy gazynda, tolkun uzynlygynyň kiçelmegi bilen ulalýan, siňdirilme bilen düşündirilýär. Şöhlelenme koeffisiýentiniň siňdirme koeffisiýentine proporsional bolany sebäpli, gysga tolkunlarda atmosferanyň özi şöhlelenmäniň çeşmesi bolýandyr. Tolkun uzynlygy näçe gysga boldugyça (degişlilikde siňdirme koeffisiýenti uly boldugyça), gözegçilik edilýän şöhlelenmäniň atmosferada goýberilýän effektiv derejesi şonça-da ýokarydyr. Infragyzyl çäklerde (5-den 10 mikron aralygynda), ýokarky araçägindäki temperaturasy 235-240 K töweregi bolan, Weneranyň atmosferasyndaky bulutlar şöhlelendirýär. 159-njy suratda, dürli tolkun uzynlyklarda şöhlelenmäniň Weneranyň atmosferasynyň haýsy beýikliklerine degişlidigi görkezilen. Radio we infragyzyl temperaturalar gije we gündiz taraplary üçin deň diýen ýalydyr. Bu bolsa ýagtylandyrylyş düzgüniniň üýtgemesine atmosferanyň massasynyň uly bolmagy, ýagny başgaça áydylanda onuň ýylylyk inertliliginiň uludygy bilen baglylykda, örän haýal reaksiýasy bilen düşündirilýär.

Weneranyň üstüniň gyzdyrylmagynyň esasy sebäbi parnik hadysasy bolmalydyr. Onuň döremegi üçin iki şert ýerine ýetmelidir: a) Gün şöhlelenmesi üçin atmosfera ýeterlik dury bolmaly; b) planetanyň üstüniň ýylylyk şöhlelenmesi (maksimumy infragyzyl çäklerde) üçin atmosfera ýokary derejede dury däl bolmaly. Planetanyň üstünden çykýan, ýokarlygyna ugrukdyrylan we şöhle ýylylyk geçirijiligi pes bolan atmosfera gatlaklaryndan geçýän ýylylyk akymy troposferada temperaturanyň uly tapawudynyň döremegine getirýär. (b) şertiň ýerine ýetirilmegini atmosferanyň düzümi üpjün edýär, ýagny düzüminde az mukdarda H_2O garyndysy bolan CO_2 infragyzyl şöhlelenmäni örän güýçli siňdirýär. (a) şertiň ýerine ýetirilýändigini «Wenera-9» we «Wenera-10» kosmos apparatlarynyň planetanyň üstüniň ýagtylandyrylyşyny ölçemeleri tassyklady. Bu öl-



çemeler Gün energiýasynyn 5-10% planetanyň üstüne bulutlardan dagynyk serpigen şöhlenenme görnüşinde ýetýändigini görkezdi.

Weneranyň atmosferasynyň gurluşynyň hemme meseleleri doly çözüldir diýip hasaplamak mümkin däldir. Bu meseleleri çözmek üçin kosmos tehnikasyny peýdalanylýan geçirilýän we Ýeriň üstünden geçirilýän gözegçilikleri utgaşdyryp alyp barylmaladyr. Mysal üçin, Weneranyň bulut gatlagynyň tebigaty doly aýdyň däldir.

Onuň düzümi barada dürli çaklamalar bardyr. Olaryň birine görä Weneranyň bulut gatlagynyň ýokarky bölegi kükürt kislotasynyň konsentrasiýa bolmaly. Bu gatlagyň optiki häsiýetnamalary, döwme we siňdirme koeffisiýentleriniň tolkun uzynlygyna baglylygy bu çaklama bilen ýeterlik ylalaşykdadyr.

Awtomatik planetara stansiýalarynyň we planetanyň üstüne düşürilýän enjamlaryň kömegi bilen geçirilen barlaglar bulut gatlagynyň gurluşy baradaky düşüňjeleri anyklamaga mümkinçilik berdi. Bulutlaryň has dykyz gatlagy 50-den 65 *km*-e çenli beýiklikleri tutýandyr. Ondan aşakda 50-den 35 *km*-e çenli dykyzlyk birnäçe esse kemelýändir. Atmosferanyň has aşaky gatlaklarynda Gün şöhlenenmesi esasan hem CO₂-de releýiň dagynyk serpikmesiniň hasabyna gowşadylýar. Ýöne şunlukda bulutlaryň has dykyz ýokarky gatlagy optiki häsiýetnamalary boýunça Ýerdäki bulut diýen düşüňje bilen deňeşdirenimizde seýreklandirililen ümüre (dumana) ýakyndyr. Bu ýerde görüňýän uzaklyk birnäçe kilometrler ýetýändir.

Weneranyň magnitosferasy we ionosferasy hem ýeterlik derejede öwrenilendir. APS-larda oturdylan magnitometrler Weneranyň magnit meýdanynyň ýok diýen ýalydygyny, ýagny Ýeriň magnit meýdanyndan 3000 esse kiçidigini görkezdi. Ýöne muňa garamazdan, Wenera planetara magnit meýdanynda tolgunma döredýär. Planeta özüniň orbitasy boýunça hereketinde Gün şemalyny kesip geçip, urgy tolkunynyň häsiýetli konusyny emele getirýär. Bu özara täsir planetanyň atmosferasynyň ýokarky böleginde elektrik zarýadlarynyň, ionosferasynyň barlygy sebäpli ýüze çykýar.

Wenera massasy we ölçegleri boýunça Ýere has meňzeş planetadyr. Onuň içki gurluşy hem çen bilen Ýeriň içki gurluşyna meňzeş, ýagny gabykdan, mantiýadan, suwuk ýadrodan ybarat bolmaly diýip hasaplanylýar. Emma Weneranyň magnit meýdanynyň bolmazlygy

planetanyň syrlyrynyň biridir. Ýadrodayy gidrodinamik hereketiň häsiýeti planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanma tizligine bagly bolmagy mümkindir we Wenera planetasynyňky ýaly haýal hereketde magnit meýdany döremeýän bolmagy ähtimaldyr.

Weneranyň ionosferasy magnit meýdany bilen goralmany üçin Gün şemaly planetanyň atmosferasynyň has dykyz gatlaklaryna aralaşýar. Netijede, Weneranyň gündiz tarapynda konsentrasiýasy maksimumynda takmynan 10^5 sm^{-3} bolan, ýuka ionosfera gatlagy döreyär. Gije tarapynda elektronlaryň konsentrasiýasy kiçidir. Bu gatlagyň beýikligi 100 km töweregidir.

Günüň ultramelewşe şöhlelenmesi tarapyndan Ýer atmosferasynyň ýokarky gatlaklary $1000\text{--}1500 \text{ K}$ temperatura çenli gyzdyrylýar. Weneranyň atmosferasy bolsa şol beýikliklerde sowawandyr, ýagny $400\text{--}500 \text{ K}$ töweregidir. Bu tapawut Weneranyň atmosferasynyň ýokarky gatlaklarynda CO_2 molekulalar dissosirlenen däldegi, olaryň bolsa spektriň 15 mk tolkun uzynlykly çäklerde gowy şöhlendirijilerdegi bilen düşündirilýär. Olaryň bolmagy ýokarky atmosferanyň sowamagyna getirýär.

Weneranyň atmosferasynyň has ýokarky gatlaklary (500 km ýokary) Ýeriň atmosferasynyň has daşky bölegine meňzeşlikde atomlar wodoroddan ybaratdyr. Onuň şeýledigi APS-larda oturdylan ultramelewşe fotometrleriň kömegi bilen 1215 Å tolkun uzynlykly Günüň wodorod çyzyklarynyň rezonans dagynyk serpikmesiniň intensiwligini ölçemegiň esasynda kesgitlendi.

Weneranyň hemralary ýokdur.

§128. Mars. Ýere meňzeş planetalaryň gurluşynyň umumy meseleleri

Mars Ýere meňzeş planetalaryň arasynda dördünji planetadyr. Ol Ýerden ölçegi boýunça iki esse (ekwatordayy radiusy 3394 km) we massasy boýunça bolsa dokuz esse kiçi. Marsyň üstünde agyrylyk güýjüniň tizlenmesi 376 sm/s^2 -a deň. Planetanyň burç diametri beýik garşyda durma wagty $25''$, apogeýde bolsa $14''$ -a deň. Marsyň üstünde durnukly detallar gözegçilik edilýär we olar boýunça ýokary takyklyk bilen planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanma periodynyň





160-njy surat. Marsyň «Habbl» kosmos teleskopyndan alnan fotosuratlary.
Deňizler we günorta polýar örtük aýdyň görünýär

$24^{\text{h}}37^{\text{m}}22^{\text{s}},6$ deňdigi kesgitlenildi. Planetanyň ekwatorynyň orbitasynyň tekizligine ýapgytlygy $24^{\circ}56'$, ýagny Ýeriň häsiýetnamalaryna meňzeş. Şonuň üçin edil Ýerdäkä meňzeşlikde, Marsda hem pasyylaryň çalyşmasy bolup geçýär. Ýöne Marsyň günorta ýarym şarynda demirgazyk ýarym şaryndakydan tomus gyzgyn we gysga bolýar, sebäbi günorta ýarym şarda tomus planeta perigeýde bolanda düşýär. Marsda ýylyň dowamlylygy 687 Ýer gije-gündizine deňdir.

Teleskopda gözegçilik edilende Marsyň diskinde görünýän detailary (*160-njy surat*) şeýle toparlara bölmek bolar:

1. Ýagty üstler, ýagny materikler diskiň $2/3$ bölegini tutýar. Olar gyzylymtyl-mämişi reňkli birhilli ýagty meýdanlar, ýagny üstlerdir.

2. Polýar örtükler-polýuslaryň töwereginde güýzüne döräp, tomsuň başlarynda ýitýän ak tegmiller. Olar has göze ilýän detailardyr. Gýsyň ortasynda polýar örtükleri giňlik boýunça 50° -a çenli üsti tutýar. Tomusda demirgazyk polýar örtügi doly ýitýär, günortadakydan bolsa uly bolmadyk bölegi galýar. Gök ýagtylyk süzgüçlerden polýar örtükler has gowy tapawutly görünýär.

3. Diskiň $1/3$ bölegini tutýan garamtyl üstler, ýagny deňizler. Olar ýagty üstleriň fonunda ölçegleri we görnüşleri dürli bolan, garamtyl tegmiller görnüşlidir. Ölçegleri uly bolmadyk, çäklenen ga-

ramtyl meýdançalara köl ýa-da oazis diýilýär. Deňizler materikleriň içine aralaşyp aýlaglary emele getirýär. Deňizleriň we materikleriň gyzylymtyl reňki bardyr.

Materikleriň we deňizleriň ýitilikleriniň gatnaşygy gyzyl we in-fragyzyl çäklerde maksimaldyr (has garamtyl deňizler üçin 50%-e çenli), sary we ýaşyl şöhlelerde tapawut azrakdyr, gök şöhlelerde bolsa Marsyň diskinde deňizleri düýbünden seljerip bolýan däldir.

Garamtyl üstler polýar örtükler bilen pasyllar boýunça periodik üýtgemeleriň aýlawyna gatnaşýarlar. Gyşyna garamtyl üstleriň diskiň galan üstünden tapawudynyň iň az wagtydyr. Ýazyna polýar örtügiň araçäginde garamtyl gaýma emele gelýär we onuň töweregindäki garamtyl üstleriň tapawudy ulalýar. Garalmalar gitdigiçe köp ýerleri eýeläp, kem-kemden ekwatora tarap ýaýraýar.

Berlen ýarym şarda gyşyna seljerip bolmaýan köp detallar to-musda gowy seljerilýär. Garalma tolkuný bir gije-gündizde 30 *km* tizlik bilen ýaýraýar. Käbir ýerlerinde üýtgemeler ýylyň-ýylyna yzygiderli gaýtalanýar, başga ýerlerde bolsa ýaz paslynda her sapar üýtgeşik bolup geçýär. Pasyllar boýunça gaýtalanýan üýtgemelerden başga, yzyna gaýtmaýan garamtyl detallaryň ýitip gitmesi we ýüze çykması (asyrlyk üýtgemeler) gözegçilik edilýär. Ýagty üstler pasyl-lar boýunça üýtgemelere gatnaşmaýar, ýöne yzyna gaýtmaýan asyr-lyk üýtgemelere sezewar bolýarlar.

4. Bulutlar – atmosferada jemlenen wagtlaýyn detallardyr. Kä-wagtlar olar planetanyň diskiniň esli bölegini ýapyp, gözegçiliklere päsgelçilik döredýär. Bulutlaryň iki görnüşi tapawutlandyrylýar: sary we ak bulutlar. Sary bulutlar umumy pikir boýunça tozanlardan yba-rat diýip hasaplanýar. Sary bulutlaryň planetanyň diskini birnäçe aýyň dowamynda ýapýan wagtlary bolýar we bu hadysalara «tozan tupan-lary» diýilýär. Ak bulutlar esasan hem buz kristaljyklaryndan ybarat bolmalydyr diýip çaklanýar.

APS-laryň ulanylmagy Marsy öwrenmäge uly itergi beren-dir. «Mariner-4» APS-y 1965-nji ýylda ilkinji sapar Marsy golaý aralykdan (10000 *km* töweregi) fotosurata düşürendir. Edil Áyyň üsti ýaly, Marsyň üstünde hem kraterler bar. Ondan soňra uçury-lan «Mariner-6» we «Mariner-7» APS-lary hem Marsy fotosurata düşürendirler. 1971-nji ýylda, beýik garşyda durma wagtyndan bir-



näçe aý soň, «Mars-2» we «Mars-3» hem-de «Mariner-9» kosmos apparatlary Marsyň töweregindäki orbitalara çykarylyp, onuň ilkinji emeli hemralaryna öwrüldiler. «Mariner-9» emeli hemrasy Marsyň bütin üstüniň münlerçe fotosuratyny 1km çözüp bilijilik ukyby bilen düşürendir.

Mars atly emeli hemralar hem Marsyň üstüni, atmosferasyny we planetanyň ýakynyndaky giňişligi fiziki usullar bilen barlaglary geçirmek üçin enjamlaşdyrylandyr. Infragyzyr radiometriň kömegi bilen üstüniň temperaturasy we şol bir wagtyň özünde radioteleskop bilen onlarça santimetr çuňlukda topragyň temperaturasy ölçenildi. Dürli tolkun uzynlyklarda ýitiligi, atmosfera basyşy, magnit meýdany, ýokarky atmosferasynyň düzümi we temperaturasy, ionosferasynyň elektron konsentrasiýasy, planetanyň töwereginde maddanyň häsiýetleri öwrenildi.

«Mars» we «Mariner» APS-laryndan alnan maglumatlar boýunça Marsyň üsti geologik görnüşleriniň häsiýetleriniň dürlüligi bilen tapawutlanýar. Üstüniň köp bölegini kraterler tutýar, ýöne örän tekiz, kratersiz ýerleri hem bardyr. Kraterleriň arasynda äpet, konus şekilli dagyň depesinde ýerleşenlerinde gabat gelinýär (*161-nji surat*). Bu bolsa kraterleriň meteorit däl-de, wulkan tebigatynyň bolmalydygyny aňladýar. Iri wulkanlaryň giňişlerinde meteorit kraterleri örän azdyr, diýmek bu wulkanlar örän «ýaşdyrlar» we olar uzak bolmadyk döwürde emele gelendirler. Şeýlelikde, Mars geologik işjeň planetadyr. Marsyň, Ýer bilen deňeşdirilende has gowşak hem bolsa, hususy magnit meýdany bolmalydyr. Hususy magnit meýdanynyň bolmagy planetanyň merkezinde suwuk ýadrosynyň bardygyny görkezýär.

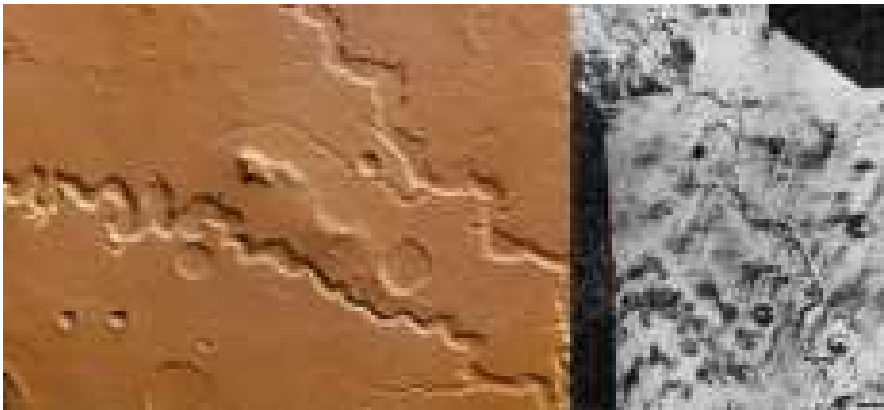
Marsyň üstünde guran derýalaryň hanalaryna örän meňzeş bolan emele gelmeler bardyr (*162-nji surat*). Marsyň üstüne gondurylan «Spirit» özi ýöreyän aparatynyň şol ýerde 2005-nji ýylda düşüren we Ýere iberen şekillerinden birnäçesi 163-nji suratda görkezilen.

Çyzgylardan görnüşi ýaly, olar Ýerdäki käbir çölleri ýada salýar.

«Mars-3» emeli hemranyň orbitasynyň planeta iň ýakyn nokadyndan geçmeleriniň birinde onuň üstüniň temperaturasyny we ýitiligini, atmosferasynyň düzümindäki H_2O -ny ölçemeleriniň netijesi 164-nji suratda görkezilendir.



161-nji surat. Öň ýagty tegelek tegmiljik ýaly belli bolan, Marsyň üstündäki Nix Olimpica äpet wulkan dagy. Esasyndaky wulkan konusyň diametri 500 km töweregi

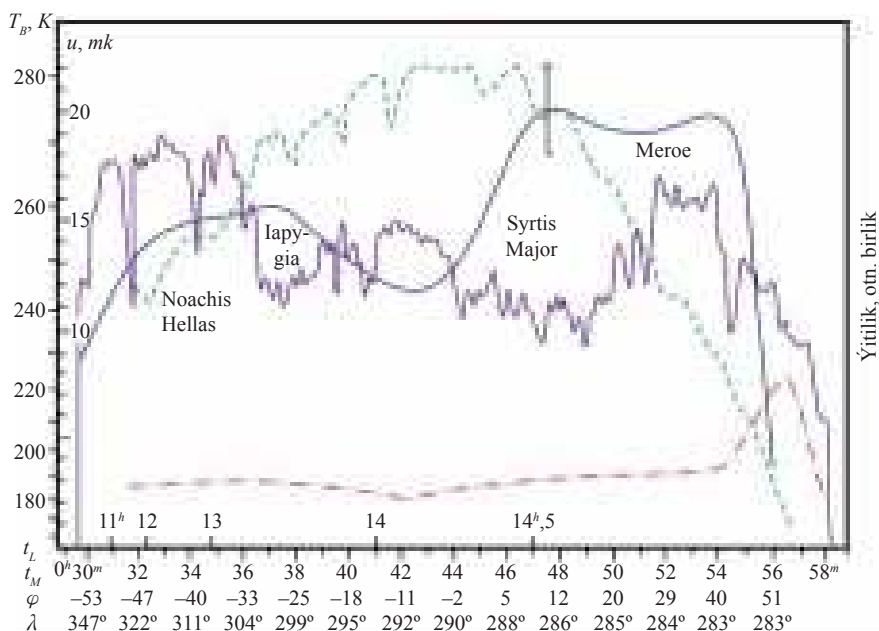


162-nji surat. Marsyň üstünde, Mare Erythream çäklerinde, guran derýalaryň hanalaryny ýatladýan emele gelmeler. Uzynlygy 400 km töweregi («Mariner-9» fotosuratlary)





163-nji surat. Ýokarda – «Spirit» apparaty bilen 2005-nji ýylda surata düşürilen Marsyň üstüniň panoramasy; aşakda – Marsda Gün ýaşmasynyň suraty



164-nji surat. «Mars-3» emeli hemranyň orbitasynyň planeta iň ýakyn nokadyndan geçmeleriniň birinde onuň üstüniň temperaturasyny we ýitiligini, atmosferasynyň düzümindäki H₂O-ny ölçemeleriniň netijesi

Marsyň üstüniň temperaturasy giň çäklerde üýtgeýändir. Ekwa-torda gündizine ol $+30^{\circ}\text{C}$, gijesine bolsa -100°C -a ýetýär. Tempe-raturanyň giň çäklerde üýtgemeleri Marsyň topragynyň kiçi ýylylyk geçirijiligi sebäpli bolýandyr. Onuň ululygy Áýyň topragynyň ýyly-lyk geçirijiligi ýaly örän kiçidir. Iň pes temperatura -125°C gyşsyna polýar örtükleriň üstünde bolýar.

Marsyň spektrinde Weneranyň spektri bilen deňeşdirilende gowşak hem bolsa, CO_2 -niň gowy görünýän zolaklary gözegçilik edilýär (*156-njy surat*). Adatça bulutlar planetanyň üstüniň uly bol-madyk bölegini ýapýar, şonuň üçin spektroskopik gözegçilikler-den atmosferasynyň düzümindäki CO_2 -niň absolýut mukdarynyň ululygyny kesgitlemek mümkindir. Gowşak we güýçli çyzyklaryň intensiwligine gazyň doly basyşynyň dürlüçe täsir edýänligi üçin, basyşyň ululygyny kesgitlep bolýar. APS-larda oturdylan enjamlaryň kömegi bilen Marsda atmosferanyň basyşy gös-göni ölçenendir. Onuň ululygy planetanyň üstünde ortaça 6 Mb -a deň. Mass-spektrometriň kömegi bilen atmosferasynyň himiki düzümi kesgитlenendir, onuň 95%-ni CO_2 düzýär.

Marsyň dürli ýerlerinde beýiklikleriň dürlüligi sebäpli basyş bir-näçe esse tapawutlanyp biler. Marsyň üstüniň iň belent nokadynyň beýikligi iň pes nokadyndan 20 km ýokardadyr. Garamtyl we ak üstler deň ähtimallyk bilen belent hem, pes hem bolup bilýärler. Demirga-zyk ýarym şarda çöketlikler agdyklyk edýär.

Marsyň spektrinde suw buglarynyň çyzyklary ýüze çykarylandyr. Ýerden gözegçilik edilende olary örän gowşak bolany üçin, Ýer çyzyklaryndan diňe dopler süýşmesiniň esasynda bölüp, seljerip alyp bolýar. Kosmos apparatlaryndan gözegçilik edilende bu kynçylyk aradan aýrylýar. 164-nji suratda kosmos aparatyndan gözegçilikler-de alnan netijeleriň mysaly getirilipdi.

Marsyň atmosferasyndaky suw buglarynyň mukdary wagta görä üýtgeýär we dürli ýerleri üçin tapawutlydyr. Käwagt ol ýüze çykaryp bolýan çäkden az («Mars-3»-de geçirilen ölçeglerde 1 mikron suw), käwagt bolsa 50 mikrona ýetýär. Bu galyňlyk, eger at-mosferadaky suw buglarynyň hemmesini kondensirlesek, planetany örtjek suw gatlagynyň galyňlygydyr. Ýeriň atmosferasynda suwuň mukdary takmynan 1000 esse uludyr. Marsyň ortaça temperatu-



rasy (200 K) Ýeriň temperaturasyndan has pesdir. Şonuň üçin üstki gatlagynyň aşagynda, planetanyň jümmüşinden H_2O bölünip çykmagyna päsgelçilik berýän hemişelik doňaklyk gatlagynyň bolmagy ähtimaldyr. Marsdaky temperaturalarda we basyşlarda suwuň suwuklyk görnüşinde bolup bilmejekdigini bellemek bolar. Ol diňe bug ýa-da buz görnüşde bolup biler.

Marsyň atmosferasynda H_2O -dan başga-da az mukdardaky käbir beýleki düzüjiler: N_2 (2,5%), Ar (1,5%), CO (~0,01%), O_2 (~0,01%), ozonyň yzlary ýüze çykaryldy.

Marsyň polýar örtükleriniň çylşyrymly tebigaty bardyr. Görünýän polýar örtügiň esasy bölegi planetanyň üstündäki gaty çökündidir, özi hem doňan CO_2 -niň adaty suw buzjagazlary bilen garyndysydyr. Polýar örtüklerde (esasan hem doly ýitmeýän günorta polýusda) CO_2 we H_2O atmosferadakydan köpdür. Şeýle gyzykly çaklama aýdylýar: Marsyň polýar okunyň presessiýasy sebäpli, 50000 ýylda bir gezek polýar örtükleriň ikisi hem doly ýitýär we şonda atmosferada basyş artýar, H_2O mukdary artýar we suw peýda bolýar. Şeýle döwürlerde hanalarynyň yzy galan derýalaryň akan bolmagy ahmaldyr.

APS-lar Marsyň töwereginde uçanlarynda, edil Wenera öwrenilendäki ýaly, planetanyň atmosferasyny radiotolkunlar bilen zondirlemek boýunça tejribeler geçirildi. Bu tejribeler esasynda atmosfera



165-nji surat. Fobosyň «Mars Reconnaissance Orbiter» apparatynyň 2008-nji ýylyň martynda düşüren fotosuraty

basyşy we temperatura $h \leq 40 \text{ km}$ beýikliklerde kesgitlendi. Ondan başga-da planetanyň ionosferasynda elektronlaryň konsentrasiýasy kesgitlendi. Ionlaşma maksimumy 120 km beýiklikde ýerleşýär. Planetanyň gündiz tarapynda elektronlaryň konsentrasiýasy 10^5 sm^{-3} -a deň, ýagny Ýeriň ionosferasyndaky konsentrasiýadan on esse pesdir.

Marsyň iki sany tebigy hemrasy-Fobos we Deýmos bardyr. Olar 1877-nji ýylda amerikan astronomy A.Holl tarapyndan

açyldy. Marsyň hemralaryna diňe güýçli teleskoplarda gözegçilik edip bolýar. Hemralaryň ikisini hem kosmos apparatlary surata düşürendirler, olaryň ölçegleri $27\text{ km} \times 21\text{ km} \times 19\text{ km}$ (Fobos) we $15\text{ km} \times 12\text{ km} \times 8\text{ km}$ (Deýmos) bolan nädogry görnüşlidir (*165-nji surat*). Hemralaryň üstünde meteoritleriň urulmagynyň netijesi bolan (sebäbi kiçi jisimleriň jümmüşinde wulkanlaryň bolmagy mümkin däl), diametrleri 15 metrden 10 kilometre çenli bolan kraterler köpdür.

Hemralar dogry ugurda ekwatoryň tekizligine $2^{\circ},7$ ýapgytlygy bolan orbitalar boýunça hereket edýärler we mydama planeta garşy bir taraplary öwrülendir (hemranyň şekiliniň uly oky planeta ugrukdyrylandyr), sebäbi öz okunyň we planetanyň daşyndan aýlanma periodlary deňdir. Fobos Marsyň töwereginde ortaça uzaklygy 9400 km bolan orbita boýunça bir aýlawy $7^{\text{h}}39^{\text{m}},2$ aýlanýar. Mars öz okunyň daşyndan bir aýlaw aýlanýança Fobos planetanyň daşyndan dogry ugurda üç sapar aýlanyp ýetişýär. Özi hem günbatarda dogup, gündogarda ýaşýar, her aýlawda öz fazasyny üýtgedýär.

Deýmosyň Marsdan ortaça uzaklygy 23500 km , onuň daşyndan aýlanma periody $1,262$ gije-gündiz ýa-da $30^{\text{h}}18^{\text{m}}$, ýagny planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanmasýndan bary-ýogy $5^{\text{h}}41^{\text{m}}$ uludyr. Şonuň üçin Deýmos gündogarda dogýar, ýuwaşlyk bilen günbatara tarap gözyetimden ýokarda hereket edip, 65 sagatdan soň planetanyň ekwatorial zolagynyň ýakynynda ýaşýar. Şol wagtyň dowamynda planetada iki ýarym töweregi Gün gije-gündizi geçýär. Netijede, Deýmos her gün dogup ýaşmaýar, ýöne $30^{\text{h}}20^{\text{m}}$ -da fazasyny doly üýtgedýär.

Ýer topar planetalarynyň häsiýetnamalarynda umumylyklar köpdür. Olarda ähli madda litosferada jemlenendir. Ýer topar planetalaryň massalary $1,5 \cdot 10^{-7}$ -den $3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$ çäklerde, radiuslary bolsa takmynan $3,5 \cdot 10^{-3}$ -den $9 \cdot 10^{-3} R_{\odot}$ çenli çäklerdedir. Orta dykzlyklary 4-den (Mars) $5,4 \div 5,5\text{ g/sm}^3$ (beýleki üç planeta) aralyklardadyr. Bu topar planetalaryň hemmesiniň jümmüşinde elementleriň himiki differensiasıyasy (bölünmesi) bolýar, ýagny agyr elementler (hususan Fe) merkeze jemlenýär, ýeňil we ýeňil ereýän elementler bolsa daşky gatlaklarda konsentrirlenýär, daşky gabyk we mantiýa silikat jynslardan düzülendir diýip hasaplanýar. Planetalaryň dördüsiniň hem suwuk ýadrosynyň bolmagy ahmaldyr. Olaryň ikisinde, ýagny Ýerde we



Marsda wulkanlar bardyr. Toparyň planetalarynyň ählisiniň üstlerinde dürli masştablardaky tektoniki hereketleriň yzlary bardyr (daglaryň emele gelme hereketleri). Hemmesiniň üstleri güýçli meteorit urgulara sezewar bolupdyrlar. Marsyň we Merkuriniň üstüniň emele gelmeginde olar esasy kesgitleýji täsirleriň biri bolandyr. Ýeriň üstünde meteorit kraterleri tektoniki hereketler we eroziýa sebäpli doly diýen ýaly bozulandyrlar. Wenerada olar has gowy saklanandyrlar.

Ýer topar planetalaryň üstüniň temperaturasyny we howasyny kesgitleýän ýeke-täk energetik çeşme – Gün şöhlelenmesidir. Içki ýylylygyň akymy Gün şöhlelenmesiniň akymy bilen deňeşdirilende örän ujypsyzdyr.

Dört planetanyň üçüsiniň atmosferasy bardyr. Wenera we Mars atmosferasynyň düzümi boýunça meňzeşdir, ýöne mukdar taýdan örän tapawutlydyr. Ýer atmosferasynyň düzümi düýpgöter tapawutlanýar. Onuň düzüminde azot, kislorod we az mukdarda kömürturşy gazy bar. Ondan başga-da Ýeriň gidrosferasynda örän köp mukdarda suw bar (Wenerada we Marsda tersine, ýok diýen ýalydyr). Planetalaryň tapawutlary örän uludyr, ýöne şonda-da olary birleşdirýän umumylyk bardyr, ýagny ýeňil gazlar-wodorod we geliý, iň köp gabat gelýän elementler (Günüň, ýyldyzlaryň we ýyldyzara gazyň düzümine girýän), ujypsyz mukdardaky düzüjilerdir. Planetalaryň atmosferalarynyň esasy düzüjileri bolan gazlar (CO_2 , N_2) we suw wulkanlardan bölünip çykýan gaz önümlerdir. Ýerdäki kislorod ikilenç önümdir, ýagny fotohimiki we biologiki prosesleriň netijesinde H_2O -nyň bölünmegi bilen döreýändir. Ýer topar planetalaryň häzirki döwür atmosferalary (Ýeriň gidrosferasy hem) litosfera döräninden soň (ikilenç) dörändir, ýagny litosferadan bölünip çykandyr. Ilkibaşdaky atmosfera, esasan hem ilkibaşdaky planeta dumanlyklaryndan galan, ýeňil gazlardan ybarat bolan atmosfera (eger-de ol bolan bolsa), örän az wagtyň dowamynda saklanyp biler we soňra örän çalt dargar.

Planetalar döräli bäri ($4,5 \cdot 10^9$ ýyl) bölünip çykan CO_2 we N_2 mukdary, Ýerde we Wenerada takmynan deňräkdir, bölünen suw bolsa Ýerde örän köpdür. Suwuklyk görnüşdäki suw CO_2 -ni gowy eredýär we karbonat jynslara öwürýär. Netijede, Ýeriň gidrosferasy kömürturşy gazyny tutuş diýen ýaly aýrandyr, Wenerada bolsa bu proses bolup geçen däldir we CO_2 tutuşlygyna atmosferada galandyr.

Marsda gazlaryň bölünip çykma tizligi Weneradakydan ýüzlerçe esse haýal bolmaly, ondan başga-da bölünip çykan CO_2 we H_2O esasy bölegi polýar örtügi we planetanyň topragy bilen baglydyr.

Merkuriniň bolsa düýbünden atmosferasy ýok diýen ýalydyr. Onuň üstünde agyrylyk güýjüniň tizlenmesi edil Marsyň üstündäki agyrylyk güýjüniň tizlenmesine deňdir we Marsdaky ýaly mukdarda CO_2 toplanan bolsa, onda Merkuriniň ony saklap bilmegi ähtimaldyr. Planetalaryň atmosferalarynyň emele gelmeginde we ösüşinde çözülmelik meseleler köpdür. Olaryň çözüwiniň tapylmagynyň uly amaly ähmiýeti bardyr, sebäbi olar Ýeriň atmosferasynyň we howasynyň geljekde ösüşini we üýtgemelerini çaklamaga mümkinçilik berer.

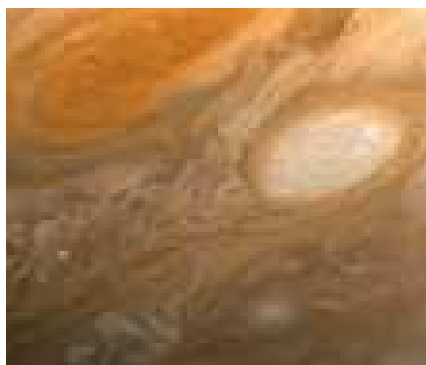
§129. Ýupiter

Ýupiter Gün sistemasynyň iň uly planetasydyr. Onuň massasy Ýeriň massasyndan 318 esse uludyr we Gün massasynyň $1/1050$ bölegine deňdir. Ýupiteriň ekwatorial radiusy 71400 km -e deňdir (Ýeriň radiusyndan $11,2$ esse uly). Radiusyň kesgitlenişiniň takyklygy uly däl, we ýalňyşlyk ýüzlerçe kilometre ýetip biler. Planetanyň polýar radiusy kiçidir we 66900 km -e deňdir, planetanyň gysylmasy $\varepsilon = 1/16$ deňdir. Grawitasiýa tizlenmesi 2500 sm/s^2 -a deňdir. Ortaça dykzylygy $1,3\text{ g/sm}^3$.

Ýupiteriň burç diametri $40''$ töweregidir. Diskinde köp detallar görünýär (166-njy we 167-nji suratlar), ýöne olaryň içinde ýeke



a)



b)

166-njy surat. a) Ýupiteriň «Kassini» awtomatik planetara stansiýasynyň düşüren fotosuraty. b) Ýupiteriň uly gyzyly tegmili, «Woýajer-1» kosmos apparatynyň 1979-njy ýylyň martynda düşüren fotosuraty





a)



b)

167-nji surat. a) Ýupiteriň garamtyl-gyzylymtyl zolaklary («Habbll» teleskopy),
b) Ýupiteriň şekili (Mauna-Kea observatoriýasy, Gawaý, 2007 ý.)

hemişeligi ýokdur. Ýüzýyllyklaryň dowamynda gözegçilik edilýän detallaryň kesgitli sany bardyr, ýöne olaryň ýerleşen ýagdaýlary we görnüşleri üýtgeýär. Bu bolsa Ýupiteriň görünýän üstüniň bulut görnüşli gatlakdygyny aňladýar. Göze has gowy görünýän, ekwatoryň ugruna parallel ugurda süýnmek, garamtyl-gyzylymtyl zolaklardyr.

Olaryň aralaryndaky ýagty zolaklardyr. Garamtyl-gyzylymtyl zolaklar we ýagty zolaklar dürli görnüşleri we şekilleri bolan aýry-aýry tegmillere bölünýärler. 1878-nji ýylda 20° giňlikde, soňra Gyzyl teg-

mil diýlip atlandyrylan, uzaklyk boýunça 30° aralygy tutýan emele gelme tapylandyr. Soňky ýyllar ol öz intensiwligini kemeldipdir, soňra birneme ulalypdyr, ýöne mydama açylan wagtyndakydan gowşakdyr.

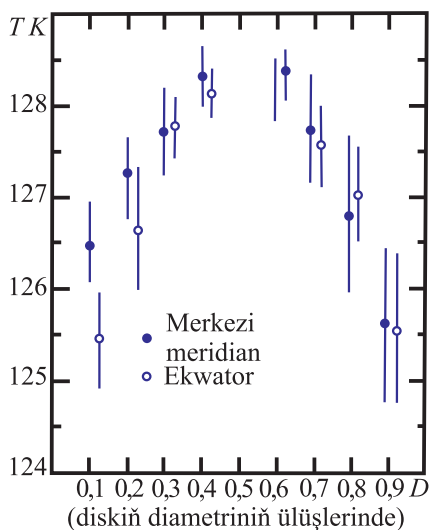
Dürli giňliklerde ýerleşen detallaryň hereketleri boýunça kesgitlenen, planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanma periody, edil Gününki ýaly dürli-dürlüdür. Giňligiň artmagy bilen aýlanma periody hem ulalýar. Gyzyl tegmiliň giňliginde ekwatorakydan $5^m10^s,6$ uludyr. Dürli emele gelmeler dürli beýikliklerde ýerleşen bolmalydyr, sebäbi bir obýektiň beýlekisiniň üstünden geçme ýagdaýlary gözegçilik edilýär.

Dürli giňliklerde aýlanma tizliginiň tapawutlanýandygy sebäpli, Ýupiterde detallaryň ýerleşişini görkezmek üçin uzaklygyň koordinatasyny aňlatmagy iki sistema boýunça ýerine ýetirip bolýar. I uzaklyk sistemasy, aýlanma periody $9^h50^m30^s$ -a deň, ekwatora ýakyn ýerler üçin; II uzaklyk sistemasy, aýlanma periody $9^h55^m40^s$ -a deň bolan, aram giňlikler üçin. II uzaklyk sistemasy gyzyl tegmiliň ortaça aýlanma tizligine gabat gelýär. Ýöne gyzyl tegmiliň hakyky aýlanma tizligi hemişelik dälir we ol II sistemada nädogry häsiýetli asyrylyk üýtgemelere sezewardyr.

Ýupiteriň diskiniň zolaklaýyn düzümi onuň atmosferasynda ekwatora parallel ugurlar boýunça ugrukdyrylan ýelleriň agdyklyk edýänliginiň netijesi bolmalydyr. Ýupiterde umumy sirkulýasiýany herekete getirýän mehanizm, edil Ýerdäki ýalydyr, ýagny polýuslarda we ekwatorda Günden alynýan ýylylyk mukdarynyň tapawudy gidrodinamik akymalary döredýär, bu akymalar koriolis güýjüň täsiri netijesinde paralleller boýunça gyşarýarlar. Ýupiteriň örän çalt aýlanýandygy sebäpli bu akymlar ekwatora parallel diýen ýaly bolýar. Dürli tizlikleri bolan gidrodinamiki akymalaryň araçäklerinde döreýän konwektiw hereketler umumy sirkulýasiýany has hem çylşyrymlaşdyrýar. Konwektiw hereketler ýokarlygyna reňkleýji maddany çykarýarlar. Ýupiteriň çala gyzylymtyl reňkiniň bolmagy hem şonuň bilen düşündirilýär. Garamtyl zolaklaryň çäklerinde konwektiw hereket has güýçlüdir, olaryň reňkleriniň has intensiw bolmagy hem şonuň bilen düşündirilýär.

Edil Ýeriň atmosferasynda bolşy ýaly, Ýupiterde hem siklonlar döräp biler. Hasaplamalara görä, eger Ýupiteriň atmosferasynda iri





168-nji surat. Ýupiterde temperaturanyň merkezi meridian we ekwator boýunça üýtgeýşi

He, ammiagyň NH_3 , etanyň C_2H_6 , asetileniň C_2H_2 we suw buglarynyň H_2O bardygyny görkezdi. Atmosferanyň düzümi (bütün planetanyň özi hem) Günüň düzüminden, ýagny 90% wodorod, 9% geliý, 1% töweregi agyr elementler, tapawutlanmaly dälär.

Bulut gatlagynyň ýokarky araçägindäki doly basyş 1 atm töweregidir. Bulut gatlagynyň çylşyrymly gurluşy bardyr. Bulut gatlagynyň ýokarky bölegi NH_3 kristallaryndan, ondan aşaky bölegi bolsa suw damjalaryndan we buz kristallaryndan ybarat bolmalydyr.

Infragyzyly, ýagny $8 \div 14 \text{ mk}$ tolkun uzynlyklarda ölçenen ýitilik temperatura, Ýupiteriň diskiniň merkezinde 128-130 K-e deňdir. 168-nji suratda temperaturanyň diametr boýunça üýtgeýşi getirilen. Çyzgydan görnüşi ýaly, diskiň gýralarynda ölçenen temperatura merkezdäki temperaturadan pesdir. Bu tapawut şeýle düşündirilýär. Diskiň gyrasynda görüş şöhlesi ýapgyt ýerleşendir we effektiv şöhlelendirýän dereje (ýagny optiki galyňlygy $\tau = 1$ bolýan dereje), diskiň merkezine garanynda, atmosferada uly beýiklikde ýerleşendir. Eger temperatura atmosferada beýiklik boýunça pese düşýän bolsa, onda diskiň gyrasyndaky ýitilik we temperatura birneme kiçi bolar. Galyňlygy birnäçe santimetr bolan ammiak gatlagy $8 \div 14 \text{ mk}$ tolkun

siklonlar döreýän bolsa, onda olar örän durnukly (ýaşayyş wagty 105 ýyla çenli) bolup bilerler. Uly gyzyly tegmiliň şular ýaly siklonyň mysaly bolmagy ähtimaldyr. «Pioner-10» we «Pioner-11» kosmos apparatlarynda oturdylan enjamlaryň kömegi bilen alnan Ýupiteriň şekili, Uly Gyzyly tegmiliň ýeke-täk daldigini, bular ýaly emele gelmeleriň, kiçi ölçegli gyzyly tegmilleriň birnäçesiniň bardygyny görkezdi.

Spektroskopik gözegçilikler Ýupiteriň atmosferasynda molekulyar wodorodyň H_2 , geliniň

uzynlykly infragyzył şöhlenme üçin düýbünden dury däldir. Bu ýerden Ýupiteriň infragyzył çäklerde ölçenen ýitilik temperaturasynyň onuň atmosferasynyň has ýokarky gatlaklaryna degişlidigi gelip çykýar. Intensiwligiň CH_4 zolaklarynda paýlanylyşy bulutlaryň temperaturasynyň has ýokarydygyny görkezýär. 170 K aşak temperaturada ammiak (eger onuň mukdary spektroskopik gözegçilikden alnan maglumatlara deň gelýän bolsa) kondensirlenmelidir. Şonuň üçin, Ýupiteriň bulut örtügi, iň bolmanda az mukdarda öz düzüminde ammiagy saklamaly diýip hasaplanylýar. Metan has pes temperatura-larda kondensirlenýär we Ýupiterde bulutlaryň döremegine gatnaşýan däldir.

130 K temperatura diňe Gün radiasiýasyny gaýtadan şöhlendirmäniň hasabyna ýagtylanýan jisimiň bolmaly deňagramlyk temperaturasyndan ýeterlik ýokarydyr. Planetanyň serpikdirijilik ukybyny göz önünde tutup geçirilen hasaplamalar, deňagramlyk temperaturasynyň 100 K töweregi bolmalydygyny berýär. Ýitilik temperaturasynyň 130 K töweregi bahasy diňe $8\text{--}14\text{ mk}$ bolan dar zolakda däl-de, onuň çäklerinden has uzaklarda hem alnandyr. Şeýlelikde, Ýupiteriň doly şöhlenmesi Günden alýan energiýasyndan $\left(\frac{130}{100}\right)^4 \approx 2,9$ esse köpdür we onuň köp bölegi, ýagny

şöhlendirilýän energiýanyň uly bölegi ýylylygyň içki çeşmesi bilen baglanyşyklydyr. Bu nukdaýnazardan Ýupiter ýyldyzlara ýakyndyr. Ýöne Ýupiteriň içki energiýasynyň çeşmesi ýyldyzlarda bolşy ýaly, ýadro reaksiýalary däldir. Planetanyň grawitasion gysylmasynda toplanan, ätiýaç energiýanyň şöhlendirilýän bolmagy ähtimaldyr.

Içki ýylylygyň uly akymynyň bolmagy temperaturanyň çuňluk boýunça örän çalt artýandygyny aňladýar. Has ähtimal nazary modellere laýyklykda, bulutlaryň ýokarky araçäginiň derejesinden 100 km çuňlukda temperatura 400 K , 500 km çuňlukda bolsa 1200 K töweregi. Içki gurluşynyň hasaplamalary Ýupiteriň atmosferasynyň örän çuňdugyny ($\approx 10^4\text{ km}$), planetanyň bu çäkden aşakda ýerleşen esasy massasynyň suwuk fazadadygyny görkezýär. Bu şertlerde wodorod üýtgän ýagdaýda, başgaça aýdanymyzda metallaşan (elektronlary goparylan) ýagdaýdadyr. Atmosferanyň jümmüşinde wodorod we geliý gaz görnüşde däl-de, aşa kritiki ýagdaýdadyr. Atmosferanyň

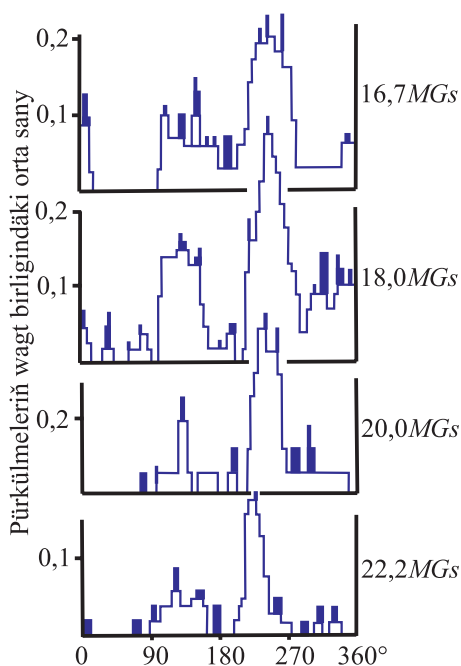


aşaky gatlaklarynda dykyzlyk $0,6-0,7 \text{ g/sm}^3$ -a ýetýär we maddanyň häsiýetleri gazy däl-de suwuklygy ýatladýar. Planetanyň merkezinde bolsa agyr elementlerden ybarat bolan gaty ýadronyň bolmagy mümkindir.

Ýupiter dekametr ($\lambda > 10 \text{ m}$) tolkun uzynlykly çäklerde radioşöhlenenmäniň iň güýçli kosmiki çeşmeleriniň biridir. Bu şöhlenenme sporadik (wagtal-wagtal döreme) häsiýete eýedir we dürli intensiwligi bolan aýry-aýry pürkümlerden ybaratdyr.

Radioşöhlenenmäniň gysga wagtlaýyn pürkümleriniň kesgitli wagtdan gaýtalanmasyna gözegçilik edilýär. Sporadik radioşöhlenenmelere gözegçiliklerden kesgitlenen gaýtalanma periody $9^{\text{h}}55^{\text{m}}29^{\text{s}},4$ -e deňdir. Ol II sistemanyň periodyna ýakyn, ýöne ondan ýeterlik tapawutlanýandyr.

Radiogözegçilikleri derňemek üçin, sporadik radioşöhlenenmäniň



169-njy surat. Ýupiteriň dürli ýygylklarda sporadik radioşöhlenenmesiniň gözegçilik edilen sanynyň III sistemada uzaklyk boýunça paýlanyşy

periodyna degişli bolan III uzaklyk sistemasy tekliplendir. 169-njy suratda Ýupiteriň dürli ýygylklarda sporadik radioşöhlenenmesiniň gözegçilik edilen sanynyň III sistemada uzaklyk boýunça paýlanyşygy görkezilen. Dekametr radioşöhlenenmäniň azyndan iki sany kuwwatly çeşmesini görkezmek bolar. Olaryň biri $100-150^\circ$, beýlekisi bolsa $190-250^\circ$ uzaklyklarda ýerleşendirler. Çeşmeleriň ikisi hem ugrukdyrylandyr we olaryň şöhlenenme konusy onlarça gradusa deňdir. Ýupiteriň sporadik radioşöhlenenmesi 35 MGs ýygylkdan ($\lambda = 9 \text{ m}$) ýokarda gözegçilik edilmeýär, 27 MGs ýygylkda bolsa güýçli intensiwlige eýedir.

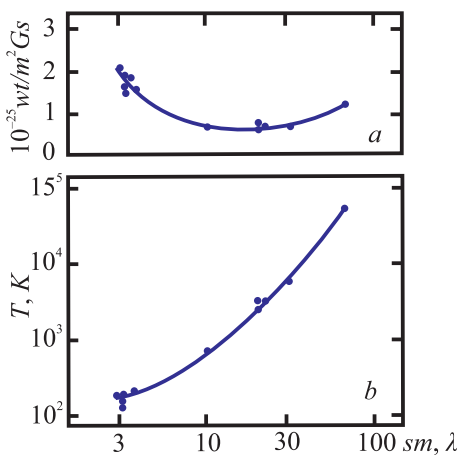


8 *mm*-den 68 *sm* tolkun uzynlyklarynyň çäginde intensiwligi wagt boýunça üýtgemeyän, Ýupiteriň asuda, dynçlyk şöhlelenmesi gözegçilik edilýär. 3-den 68 *sm*-e çenli tolkun uzynlyklarda Ýupiteriň radioşöhlelenmesiniň spektri 170-nji suratda görkezilen.

3 *sm* tolkun uzynlykda ýitilik temperatura 160 *K* töweregidir we bulut gatlagyň temperaturasyna örän ýakyndyr, ýöne ol tolkun uzynlygyna baglylykda örän çalt artýandyr, 68 *sm* tolkun uzynlygynda 50000 *K*-e deňdir. Ýitilik temperaturasy hasaplananda radioşöhlelenmäniň çeşmesi burç ölçegi boýunça Ýupiteriň diskine laýyk diýip kabul edilendir. 3 *sm* tolkun uzynlygy üçin ýokarky şert dogrudyr, sebäbi bu tolkun uzynlygynda şöhlelenmä esasy goşandy ýylylyk şöhlelenmesi goşýandyr. Desimetr tolkun uzynlyklarda radiointerferometriň kömegi bilen Ýupiteriň burç ululygyny gös-göni ölçemek boýunça tejribeler geçirilendir. Onuň netijesinde radioşöhlelenmäniň çeşmesiniň ölçegleriniň diskiň ölçeglerinden uludygy anyklanyldy. Ol ekwatorial ugurda planetanyň diskine görä iki gapdalyna-da onuň diametrine deň bolan ululyga süýnmekdir.

Ýupiteriň hem edil Ýer ýaly radiasiýa guşaklygy bolmaly, ýöne Ýupiteriň guşaklarynda elektronlaryň energiýasy we dykzlygy, şeýle hem magnit meýdanynyň güýjenmesi uly bolmaly diýen çaklama aýdylýar. Energiýasy uly bolan elektronlar magnit meýdanynynda elektromagnit tolkunlary şöhlendirýärler. Bu şöhlelenme magnit tormozlanma, relýatiwistik energiýalaryň hususy ýagdaýynda bolsa sinhrotron şöhlelenme diýilýär. Sinhrotron şöhlelenme polýarlanan bolmalydyr. Hakykatdan hem, ýörite gözegçilikler Ýupiteriň desimetr tolkun uzynlyklarda radioşöhlelenmesiniň polýarlanandygyny görkezdi.

Ýupiteriň ýakynyndan uçup geçen «Pioner» atly kos-



170-nji surat. Ýupiteriň santimetr tolkun uzynlyklarynyň çäginde radioşöhlelenmesiniň spektri



mos apparatlarynyň tapgyrynda oturdylan enjamlaryň kömegi bilen planetanyň golaýynda dürli energiýaly elektronlaryň we protonlaryň konsentrasiýasy, şeýle hem magnit meýdany gös-göni ölçenendir. Ýupiteriň radiasiýa guşaklary barada çaklamanyň dogrudygyny tas-syklanyldy. Magnit meýdanynyň güýjenmesi planetanyň üstünde takmynan 10 *e* töweregi. Magnitosferanyň radiusy planetanyň 100 radiusy töweregi. Bu ölçeglerden başga planetanyň Ýeriň üstünde alnan şekilinden birnäçe esse çözüp bilijiligi ýokary bolan şekili al-nandy, planetanyň infragyzyň şöhlelenmesi, ýokarky atmosferasynyň ýagtylanmasynyň ultramelewşe spektri öwrenildi.

Ýupiteriň töwereginde galyňlygy 1km bolan halkasy bar. Onuň daşky radiusy 126000 *km*, içki radiusy bolsa 113000 *km*-e deňdir. Halka örän ýuka we Ýere gapyrga tarapy bilen bakyp durany üçin görünýän däl. Öňki maglumatlara görä, Ýupiteriň 18 sany hem-rasy bardyr. Olardan dördüsi ölçegleri we massasy boýunça Aý bilen deňeşdirerlikdir, 1610-njy ýylda Galileý tarapyndan açylandyr. Olar öz oklarynyň daşyndan sazlaşykly aýlanýarlar we planetanyň daşynda onuň ekwatorynyň tekizliginde, dogry ugurda, töwerege ýakyn orbi-talar boýunça aýlanýarlar (9-njy tablisa).

Öz ölçegleri boýunça Ganimed Merkuriden uludyr, Kallisto bolsa oňa deňdir. Io hemrasy bolsa Gün sistemasynda işjeň wulkany bolan ýeke-täk hemradyr. Onuň üstünde maddany 200 *km* beýiklik-lere çenli zyňyp bilýän, işjeň 7 sany wulkan bardyr (134-nji a we b *suratlar*). Io hemranyň jümmüşi planetanyň daşgyn täsiri netijesin-de, şeýle hem Ýupiteriň magnit meýdanynda hereket edende onuň jümmüşinde döreýän elektrik akymy tarapyndan, az derejede bolsa himiki elementleriň radioişjeň dargamasy netijesinde gyzdýrylýandyr.

9-njy tablisa

Yupiteriň Galileý hemralary

T/b	Ady	Ýalpyl-dysy	Yupi-terden uzaklygy müň km	Aýlanma periody gije-gündiz	Diametri		Massasy (Aýyň massasyna görä)
					<i>km</i>	Aýyň diamet-rinde	
I	Io	4 ^m ,8	422	1,769	3640	1,05	1,21
II	Ýewropa	5 ^m ,2	671	3,551	3130	0,90	0,66
III	Ganimed	4 ^m ,5	1070	7.155	5280	1,52	2,02
IV	Kallisto	5 ^m ,5	1881	16,689	4840	1,38	1,44



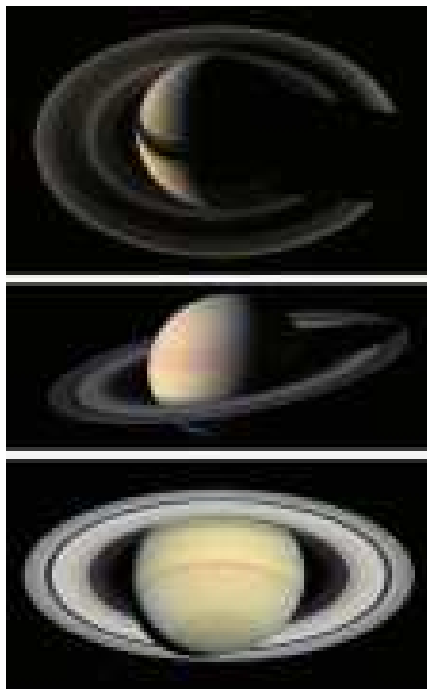
Häzirki maglumatlara görä, Ýupiteriň 60-a golaý hemrasy bar. Olaryň ölçegleri 10-dan 240 *km*-e çenlidir. Uzakda ýerleşen dört sany hemrasy (VIII, IX, XI, XII) ters ugurda örän süýnmek we has ýapgyt orbitalar boýunça planetanyň töwereginde aýlanýar. IX hemrasy planetadan 23,7 *mln km* uzaklykda ýerleşip, onuň daşyndan aýlanma periody 761 gije-gündize deň. Uzakda ýerleşen hemralaryny Ýupiter asteroidler guşaklygyndan alan bolmagy gaty ähtimaldyr.

§130. Saturn

Saturn (*171-nji surat*) Ýupitere görä Günden iki esse uzakda ýerleşýär, Günüň daşyndan 29,4 ýylda aýlanýar. Onuň ekwatorial radiusy 60400 *km*-e deň, massasy Ýeriň massasyndan 95 esse uludyr, ekwatorynda agyrylyk güýjüniň tizlenmesi 1100 *sm/s²*-a deňdir. Saturnyň diskini Ýupitere görä has gysylandy, ýagny 1/10-e deňdir. Öz okunyň daşyndan aýlanma periody ekwatorynda 10^h14^m-e deň we edil Ýupiteriňki ýaly, giňligiň artmagy bilen ulalýar. Saturnyň diskinde zolaklary we beýleki has inçe emele gelmeleri seljerip bolýar, Ýöne olaryň kontrasty Ýupiteriňkiden pesdir, Saturnyň diskinde detallar azrakdyr.

Spektroskopik barlaglaryň esasynda Saturnyň atmosferasynda H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₆ bardygy anyklandy. Planetanyň düzümi Günüň düzüminden känbir tapawutlanýan däl, ýagny esasy düzüjileri wodorod we gelidir. Atmosferasynyň çuňlugy (wodorod we geliý aşakritik ýagdaýda) planetanyň radiusynyň ýarysyna ýetip biler.

Infragyzyň çäklerde geçirilen gözegçilikler Saturnyň temperaturasynyň 95 *K* töweregidigi-



171-nji surat. Saturnyň fotosuratlary



ni görkezýär. Edil Ýupiterdäki ýaly, şöhlendirýän energiýasynyň ýarysyndan köp bölegi içki ýylylyk akymy bilen baglanyşyklydyr.

Saturnyň dekametr tolkun uzynlyklarda sporadik radio-şöhlenenmesini ýüze çykarmak boýunça geçirilen barlaglar oňyn netije beren dälidirler. 3-den 21 *sm* tolkun uzynlyklar çäginde planetanyň dynçlyk, asuda radioşöhlenenmesi gözegçilik edilýär. Bu çäklerde ýitlik temperaturasy tolkun uzynlygy bilen bilelikde birsydyrgyn artýar. Bu baglanyşyk, Ýupiterdäki ýaly, planetanyň radiasiýa guşaklarynyň şöhlenenmesi bilen bagly bolmagy mümkindir.

Saturnyň halkalary teleskopda gözegçilik edip bolýan, iň owardan obýektleriň biridir. Olary ilkinji bolup 1610-njy ýylda Galileý açýar, ýöne oňa öz açan halkalarynyň hakyky görnüşini kesgitlemek başartmaýar. Diňe 1655-nji ýylda Gýuýgense Saturnyň halkalarynyň umumy merkezli, tekiz, bellibir galyňlykdaky halka bolup, onuň planeta bilen ýanaşyk, galtaşýan dældigini subut etmek başardýar. Häzirki döwürde halkanyň üç sany halkadan ybaratdygy bellidir. Ol halkalar edil planetanyň ekwatory ýaly, orbitasynyň tekizligine $26^{\circ}45'$ ýapgytdyr. Daşky *A* halka aralykdaky *B* halkadan Kassini yşy diýip atlandyrylýan, garamtyl aralyk bilen bölünen. Aralyk halka iň ýiti halkadyr. Içki *C* halkadan aralyk *B* halka garamtyl aralyk bilen bölünen. Içki *C* halka garamtyl we ýarymdurudyr. Bu halkanyň iç ýüzünden gyrasy çürt-kesik däl, ýuwaş-ýuwaşdan ýitip gidýär.

Saturnyň 10^5 *km* töweregi uzaklykda hemrasynyň däl-de halkasynyň bolmagynyň esasy sebäbi daşgyn güýjüniň täsiridir. Eger şu uzaklykda hemra emele gelen bolaýsada, onda planetanyň daşgyn (dartyлма) güýjüniň täsiri netijesinde ownuk böleklere pytrardy. Äpet planetalaryň emele gelme döwrüniň käbir tapgyrynda, olaryň töwereginde planetany emele getirýän maddanyň dykzylanmasy döräpdir, soňra olardan hemralar emele gelipdir. Halkalaryň zolagynda bolsa daşgyn güýji hemralaryň emele gelmegine päsgelçilik beripdir. Şeýlelikde, Saturnyň halkalary planetalar emele gelmezden öňki materiýanyň galyndylarynyň bolmagy ähtimaldyr.

Ýer Saturnyň halkalarynyň tekizliginden geçende olaryň galyňlygy kesgitlenenidir we onuň ölçegleri 2-den 20-i *km* aralykdadyr.

Halkalaryň bir bütewi gaty jisim bolup bilmejekdigi XIX asyrdan nazaryýetde görkezilendir. XX asyryň başlarynda halkalaryň

spektrindäki çyzyklaryň dopler süýşmesi boýunça halkalaryň dürli nokatlarynyň aýlanma tizliginiň dürlüdiği, Kepleriň üçünji kanunyna laýyklykda planetadan uzaklaşdygyça tizligiň kemelýändigi anyklandy. Diýmek, halkalar planetanyň daşynda Kepleriň orbitalary boýunça özbaşdak hereket edýän, örän köp sanly bölejiklerden ybaratdyr.

Häzirki maglumatlara görä, Saturnyň 31 sany hemrasy bolup, olaryň 19-synyň ady bardyr. Saturny we onuň hemralaryny öwrenmekde «Kassini» we «Gýuýgens» atly kosmos gämileri uly işleri ýerine ýetirendirler. «Kassini» kosmos gämisi Ýewropanyň we Amerikanyň kosmos guramalary tarapyndan 1997-nji ýylda Saturn planetasyna tarap uçuryldy. «Kassini» Saturnyň töwereginde aýlanyp, Ýere täsin maglumatlary iberip, Saturndan 1 million 200 müň kilometr uzaklykda hereket edýän Titan hemrasyna «Gýuýgens» atly kosmos gämisini göýberdi. «Gýuýgens» Titanyň üstüne gonup, onuň atmosferasy barada maglumatlary we şekilleri Ýere iberdi. Saturnyň altynjy hemrasy bolan Titanyň burç diametri $0'',8$ (çyzykly diametri 4850 km) töweregidir. Ol Gün sistemasynda atmosferasynyň bardygy tassyklanan ýeke-täk hemradyr. Saturnyň IX hemrasy bolan Febadan galanlary dogry ugurda onuň daşyndan aýlanýarlar.

§131. Uran we Neptun. Äpet planetalaryň gurluşynyň umumy meseleleri

Seredip geçen planetalarymyz, ýagny Merkuriý, Wenera, Mars, Ýupiter, Saturn asmanda guralсыз, ýöne göz bilen seredilende hem görünýär we olar iň ýagty obýektlere degişlidir.

Uran Gün sistemasynyň 7-nji planetasy we ony diňe teleskopda görüp bolýar (ýyldyz ululygy $5^m,8$). Planeta burç diametri $4''$ bolan, ýaşylymtyl kiçijik disk bolup görünýär. Onuň çyzykly radiusy 24300 km töweregidir. Uranyň diskini ýeterlik gysylandyr ($1/17$). Orbitasynyň uly ýarymoky $19,2\text{ a.b.}$ töweregidir, Günüň töwereginde aýlanma periody bolsa 84 ýyla deňdir. Uranyň üstüniň temperaturasy 50 K töweregi. Massasy Ýeriň massasyndan $14,6$ esse uly we $8,7 \cdot 10^{25}\text{ kg}$ -e deň. Ortaça dyklyzlygy $1,58\text{ g/sm}^3$. Uranyň merkezinde galyňlygy 8500 km -e ýetýän birinji gatlagy, ýagny ýadrosy



bardyr. Onuň daşynda galyňlygy 10000 *km*-e ýetýän dykyz, doňan gazlardan, doň we gaz şekilli suwdan, ammiakdan we metandan ybarat bolan ikinji gatlagy we atmosferasyna öwrülüp gidýän üçünji gatlagy bar diýlip çaklanylýar. Uranyň diskindäki detallary anyk seljerip bolmaýar, ýöne ýalpyldysynyň periodiki üýtgemesi gözegçilik edilýär. Bu üýtgemeler Doppler hadysasy boýunça planetanyň öz okunyň daşyndan aýlanma periodynyň 10^h49^m deňdigi kesgitlenildi. Uranyň aýlanma okunyň orbitasynyň tekizligine ýapgytlygy 82° , ters ugurda aýlanýar. Onuň 5 sany uly we 10 sany kiçi hemrasy, edil Saturnyňky ýaly halkasy bardyr. Emma halkasyny teleskopda görmek çylşyrymlydyr.

Neptun Gün sistemasynyň 8-nji planetasy. Onuň burç diametri $2'',4$ töweregi, çyzykly radiusy bolsa 25050 *km*-e deň. Orbitasynyň uly ýarymoky 30,1 *a.b.*, Günüň daşyndan aýlanma periody bolsa 164,8 ýyla deň. Neptunyň massasy Ýeriň massasyndan 17,2 esse uly we $1,03 \cdot 10^{26}$ *kg*, ortaça dykyzlygy 1,7 *g/sm*³. Öz okunyň daşyndan aýlanma periody $15^h,8$ deň. Dogry ugurda aýlanýar. Neptunyň hem içki gurluşy üç gatлага, ýagny gaty, kremniden durýan, radiusy 7000 *km* bolan birinji gatлага; galyňlygy 10000-15000 *km*-e ýetýän, doňan suwdan, metandan we ammiakdan ybarat bolan ikinji gatлага; suwuk wodoroddan, geliden we metandan ybarat bolan, ýuwaş-ýuwaşdan atmosfera öwrülýän üçünji gatлага bölünýär. Atmosferasy metanyň, wodorodyň atomlaryndan we molekulalaryndan, geliden ybaratdyr.

Neptunyň Triton we Nereida atly hemralary bardyr. Triton Gün sistemasynda uly hemralaryň biridir (radiusy 2000 *km*) we planetanyň daşynda ters ugurda aýlanýandyr.

Uranyň we Neptunyň orta dykyzlygy Ýupiteriň we Saturnyň orta dykyzlygyndan uludyr, ýöne ölçegleri boýunça bolsa kiçidir. Bu planetalaryň düzüminde agyr elementleriň köp bolmagy mümkindir.

Ýupiter, Saturn, Uran we Neptun Äpet planetalar toparyny düzýärler (Ýupiter meňzeş planetalar). Ölçegleri we massalary boýunça Ýer topar planetalaryndan köp uludyr. Äpet planetalar öz oklarynyň daşyndan çalt aýlanýarlar, örän köp hemralary bar. Himiki düzümi boýunça bolsa Ýer topar planetalardan köp tapawutlanýarlar. Ýupiter we Saturn düzüminde wodorody, gelini we beýleki himiki elementleri Günüň düzümindäki gatnaşykda saklaýan bolmaklary

mümkindir. Uranyň we Neptunyň düzümi agyr elementlere baýdyr, ýöne olaryň düzüminde hem wodorod bilen geliý agdyklyk edýändir. Planetalar döreýän döwründe olary emele getirýän buludyň merkezi böleginde ýylylyk dissipasiýasy sebäpli ýeňil gazlar ýitirilendir, bu ýerde Ýer topar planetalary, buludyň çet gyralarynda, pes temperaturaly ýerlerinde bolsa äpet planetalar emele gelip, olaryň düzümine wodorod we geliý giren bolmaly diýlip hasaplanylýar.

Pluton planetasynyň bardygyny ilki bilen Urandaky we Neptundaky tolgunmalar esasynda hasaplaýarlar. 1930-njy ýylda amerikan astronomy K. Tombo ony hasaplanan ýeriň golaýyndan tapýar. Pluton öz hemrasy Haron bilen goşa planeta meňzeşdir.

Pluton orta hasap bilen Günden 39,4 *a.b.* uzaklykda, uly eksen-trisiteti $e = 0,249$ bolan orbita boýunça hereket edýär. Günüň daşyndan aýlanma periody 247,7 ýyla deňdir. Onuň azot gazyndan we metandan ybarat atmosferasy bardyr. Planetanyň radiusy soňky maglumatlara görä, takmynan 1500 *km* töweregi, massasy bolsa 0,002 Ýer massasy-na deň. Onuň gaty jisimlerden we buzdan ybarat bolan merkezi, doňan metandan ybarat buzly ýokarky gatlagy bardyr. Planetanyň üstüniň temperaturasy takmynan 50 *K*. Teleskopda seredilende Pluton ýyldyz ululygy 15 *m* bolan ýyldyz ýaly görünýär. Pluton hereket edýän orbitasynyň has süýnmekdigi sebäpli, ol perigelide Güne Neptundan hem golaý aralyga gelýär. Hereket edýän orbitasynyň ekliptikanyň tekizligine bolan ýapgytlygy hem uludyr, ýagny 17° deňdir.

Plutonyň 1978-nji ýylda açylan hemrasy Haronyň ýyldyz ululygy ondan bary-ýogy 2^m gowşakdyr. Diýmek, onuň ölçegleri Plutonyňkydan 2,5 esse, massasy bolsa 10-20 esse kiçi bolmaly. Hemranyň planetanyň töwereginde aýlanma periody 6,4 gije-gündi-ze, orbitasynyň ýapgytlygy 55°, planetadan uzaklygy 17000 *km*. Onuň Harondan başga-da iki sany hemrasynyň bardygy kesgitlenendir. Ilkinji alnan maglumatlara görä, olaryň biriniň ululygy 45-160 *km*-e golaýlaşýan bolsa, beýlekisiniň, ýagny Ksena atly hemrasynyň diametri Plutonyň diametrinden hem 113 *km* uludyr.

2008-nji ýylda «Pluton, Täze Gözýetimler» atly kosmos gämisi uçuryldy. Bu kosmos gämisiniň kömegi bilen Pluton planetasyndan başga-da Haron we täze açylan iki hemrasy, şeýle-de Koýperiň halkasyndaky birnäçe asteroidleri öwrenmek göz önünde tutulýar.



2006-njy ýylda «planeta» adalgasyny kesgitlemäge 2500-e golaý astronomlar gatnaşdylar we Plutony uly planetalaryň hataryndan çykardylar. Plutony, onuň hemralaryny, şeýle-de beýleki käbir göwrümi ýeterlik derejede bolan asman jisimlerini kiçi planetalaryň toparyna goşmagy makulladylar. Olar has kiçi planetalar toparyna Gün sistemasynyň uly bolmadyk asteroidlerini we kometalaryny goşmagy makulladylar.

§132. Kiçi planetalar

1801-nji ýylyň 1-nji ýanwarynda italýan astronomy Piassi astronomik gözegçilikler wagtynda ýyldyza meňzeş obýekti tötänleýin açýar. Soňra geçirilen gözegçiliklerde onuň göni ýokary görterilmesiniň we ýapgytlygynyň gijeden-gijä ýeterlik üýtgeýändigini anyklanýar. K.Gauss onuň orbitasyny hasaplaýar. Onuň Günüň daşyndan uly ýarymoky $2,77 a.b.$, ýapgytlygy $i = 10^\circ$, ekssentrisiteti $e = 0,08$ bolan ellips boýunça hereket edýändigini anyklanýar. Örän kiçi ölçegleri bolan planetanyň açylandygy belli bolýar. Oňa Serera diýip at dakýarlar. Gysga wagtyň dowamynda şular ýaly ýene-de üç planeta – Pallada, Westa we Ýunona açylýar. XIX we XX asyrlarda kiçi planetalaryň sany zygyderli köpelendir. Olara kiçi planetalar ýa-da asteroidler diýilýär (asteroid grek sözi bolup, türkmençe ýyldyza meňzeş diýmekdir). XIX asyryň ahyryndan başlap, kiçi planetalary gözlemek üçin fotografiýa ulanylyp başlanýar. Uzak wagtyň dowamynda eksponirlenende asteroidiň şekili, α we δ koordinatalarynyň üýtgeýänligi sebäpli, çyzyjak görnüşinde alynýar we ony ýyldyzlardan tapawutlandyrmak ýeňildir.

Halkara kiçi planetalar merkeziniň maglumatyna görä 2003-nji ýylyň sentýabr aýyna çenli hasaba alnan asteroidleriň sany 69 müň 229-a ýetendir. Olardan iň ýagty asteroid Westa garşyda durmada ýyldyz ululygy $6^m,5$ bolan obýekt ýaly görünýär, 7^m-9^m ululykdaky birnäçe asteroid bardyr, galanlary gowşakdyr.

Statistiki maglumatlar kiçi planetalaryň ýagtylanyjylygynyň kesgitli kanunyna boýun egýändigini görkezýär. Ýyldyz ululygy m bolan asteroidleriň sany ýyldyz ululygy $m - 1$ bolan asteroidlerden 2,5 esse köpdür. Orbitalary anyk kesgitlenen asteroidleriň san belgileri (aýlyş tertibine görä) we atlary bardyr.

Başda açylan dört asteroidiň diametrlerini göni ölçemek başardandyr. Iň uly asteroid Sereranyň diametri 780 km , Ýunonanyň diametri bolsa 200 km -e deňdir. Asteroidleriň ölçegleri esasan hem birnäçe kilometrlerden onlarça kilometr aralygyndadyr. Olaryň disklerindäki detallary seljerip bolmaýar, ýöne olaryň ýalpyldylarynyň periodiki üýtgemeleri we ýagtylygynyň polýarlanmasy gözegçilik edilýär. Bu bolsa asteroidleriň aýlanmalary bilen düşündirilýär.

Kiçi planetalaryň esasy köplügi Günden $2,2\text{ a.b.}$ -den $3,6\text{ a.b.}$ deň bolan aralyklarda, ýagny Mars bilen Ýupiteriň orbitalarynyň aralygynda hereket edýär. Bu zolaga asteroidler guşaklygy diýilýär. Olaryň köpüsiniň (97%) orbitasynyň eksentrisiteti $0,3$ -den kiçidir, ýapgytlygy bolsa 16° -dan kiçidir (90%).

Bu çäklerde hereket edýän 2485 belgili kiçi planeta Türkmenistanyň şanyna «Türkmenistan» diýlip atlandyrylandyr. Onuň diametri 8 km bolup, ol Günüň töwereginde 1190 gije-gündize deň bolan period bilen aýlanýar. Ýyldyz ululygy 16^m -e deň. Bu asteroidi russiýaly astronomlar N.S. Çernyh we L.I. Çernyh açandyrlar.

Asteroidleriň iki topary Günüň töwereginde Ýupiteriň orbitasyna ýakyn orbitalar boýunça hereket edýärler. Şunlukda olaryň bir topary Yupiterden 60° öňde, beýlekisi bolsa şonça yzdadyr we olar Troýa urşunyň gahrymanlarynyň atlaryny göterýärler. Asteroidleriň bu iki topary, Gün we Ýupiter bilen iki sany deňtaraply üçburçluklary emele getirýär. Üç jisim meselesiniň bu hususy haly üçin Lagranž takyk çözüwi tapandyr. Lagranž nokadynyň ýakynynda ýerleşen jisimleriň hereketi uly planetalaryň tolgundyryjy täsirlerine durnuklydygyny görkezendir.

Asteroidleriň biçak köp topary Neptunyň aňyrsynda ýerleşýär. 1951 -nji ýylda astronom Koýper «Neptundan soň hem kiçi jisimler halkasy bolmaly» diýen çaklamany aýdýar. Ol çäkden ilkinji jisim 1992 -nji ýylda açylýar. Şol wagtdan bäri Koýperiň halkasynda ululyklary 200 km -den geçýän asteroidlerdir kometalaryň 400 -den gowragy açylandyr. Emma ol çäklerde ölçegleri 100 km -den geçýän jisimleriň 35 müňe golaýy, olardan kiçi jisimleriň bolsa örän köp mukdary bolmaly diýip çak edilýär. Astronomlaryň pikirine görä, Koýperiň halkasyndaky jisimleriň agramy Mars bilen Ýupiteriň orbitalarynyň aralygyndaky asteroidler halkasyndaky jisimleriň umumy agramyndan ýüzlerçe esse artyk bolmalydyr.



Planetara giňişlikde kiçi jisimleriniň sany örän köpdür, biz olaryň has ulularyna gözegçilik edýändiris. Bular ýaly jisimler özara çakyşyp, böleklere bölünýändir we pytraýandyr. Planetara giňişlik diametrleri mikronyň ülüşlerine deň bolan tozanjyklardan başlap asteroidleriniň ölçeglerine çenli bolan, dürli görnüşli döwürlerden doly bolmalydyr. Olar Ýer bilen çakyşyp, onuň üstüne meteorit görnüşinde gaçýarlar. Şeýlelikde, ownamaga, pytramaga garşylykly proses, uly jisimleriniň has ownuklaryny dartyp alma prosesi bolýar.

Gün sistemasynyň ösüşiniň irki tapgyrlarynda planetaara giňişlikde meteorit jisimleriniň dykzylygy uly bolupdyr we olaryň gaçmagy planetalaryň, olaryň hemralarynyň (hususanda Aýyň) üstleriniň kemala gelmeginde wajyp orun eýeländir.

1772-nji ýylda berlinli astronom E.Bode we 1766-njy ýylda wittenbergli matematik I.Tisius tarapyndan açylan, häzirki döwürde Tisius-Bode düzgünü ady bilen belli bolan, planetalaryň Günden uzaklyklarynyň empiriki kanunalaýyklygy çap edilýär:

$$a = 0,1 \cdot (3 \cdot 2^n + 4) a.b. \quad (9.8)$$

Bu ýerde $n = -\infty$ Merkuriý üçin, 0 – Wenera, 1 – Ýer üçin we ş.m., a – Günden ortaça uzaklyk (astronomik birliklerde). 10-njy tablisa (9.8) formula boýunça hasaplanan we hakyky uzaklyklary deňeşdirmäge mümkinçilik berýär.

10-njy tablisa

Planetalaryň uzaklyklarynyň düzgünü

Planeta	n	Hasaplanan uzaklyk ($a.b.$)	Hakyky uzaklyk ($a.b.$)
Merkuriý	$-\infty$	0,4	0,39
Wenera	0	0,7	0,72
Ýer	1	1,0	1,00
Mars	2	1,6	1,52
Asteroidler	3	2,8	2,2-3,6 (orta bahasy 2,9)
Ýupiter	4	5,2	5,20
Saturn	5	10,0	9,54
Uran	6	19,6	19,19
Neptun	7	38,8	30,07
Pluton	8	77,2	39,5

10-njy tablisadan görnüşi ýaly, planetalaryň ortaça uzaklyklary Urana çenli (9.8) formula bilen kanagatlanarly gabat gelýär. Mars bilen Ýupiteriň orbitalarynyň aralygynda, ýene-de bir planetanyň bolmaly ýerinde, asteroidler guşaklygy ýerleşendir. Gün sistemasynyň bu ýerinde, ýagny Ýer topar planetalary bilen äpet planetalaryň bölünýän ýerinde, fiziki şertler planetanyň emele gelmegine mümkinçilik bermedik bolmagy we planeta emele gelmedik ýa-da emele gelen bolsa-da, durnuksyz bolan bolmagy mümkindir. Mümkin, Gün sistemasynyň ewolýusiýasynyň bellibir tapgyrynda asteroidler guşaklygynda bir ýa-da birnäçe planetalaryň bolan bolmagy, ýöne olar başga jisimler bilen çakyşmaklary sebäpli ýa-da başga bir güýjüň, mysal üçin Ýupiteriň daşgyn (dartyлма) täsiri netijesinde weýran bolan bolmaklary mümkindir. Daşgyn täsiriň weýran ediş mehanizmi aşakdaky ýaly düşündirilýär: daşky jisimiň dartyлма güýji, gravitasiýa täsiri netijesinde özara baglanyşykda bolan bölejikler sistemasynyň aýry-aýry ýerlerine üýtgeşik täsir edýär, ýagny bu jisimi böleklere bölüp, olaryň her birisini özbaşdak orbitalar boýunça hereket etdirmäge ymtylýar. Eger-de şu bölüji täsir sistemanyň bölejikleriniň özara dartyлма güýjünden uly bolsa, onda bölejikleriň sistemasy (ölçeğleri uly bolan gaty jisim, planeta hem bolup biler) weýran bolar.

§133. Kometalar

Asmanda guýruklary birnäçe gradusa, hatda onlarça graduslara çenli uzalyp gidýän, uly kometalar gadym döwürlerden bäri gözegçilik edilýändir. Gadym döwürlerde kometalar atmosfera hadysalaryna degişli diýip hasaplanypdyr.

Bu ýalňyş garaýşy daniýaly astronom T.Brage ilkinji bolup inkär edýär. Ol 1577-nji ýyldaky kometanyň Ýeriň üstüniň dürli nokatlaryndan gözegçilik edilende, ýyldyzlaryň arasynda şol bir orny eýeleýändigini ýüze çykarýar we onuň Aýdan hem uzakda ýerleşendigi barada netije çykarýar.

Kometalaryň asmandaky hereketlerini ilkinji bolup inlis astronomy E.Galleý (1705ý.) düşündirýär, ýagny ol kometalaryň orbitalarynyň parabola ýakyndygyny kesgitleýär. Ol 1337-nji ýyldan





172-nji surat. Galleý kometasynyň fotosuraty

1698-nji ýyl aralygyndaky gözegçilik edilen 24 sany ýagty kometalaryň orbitalaryny kesgitläp, 1531; 1607 we 1682-nji ýyllarda gözegçilik edilen kometalaryň orbitalarynyň örän meňzeşdigini anyklaýar. Galleý olaryň hemmesiniň şol bir kometadygy, özüniň hem örän süýnmek ellips bolan orbita boýunça Günüň töwereginde hereket edýändigini, aýlanma periodynyň bolsa 76 ýyl töweregidigini barada netije çykarýar. Galleý bu kometanyň 1758-nji ýylda görünmelidigini barada çaklama aýdýar we hakykatdan hem 1758-nji ýylyň dekabrynda bu kometa gözegçilik edilýär. Galleýiň özi ol günlere ýetmeýär we öz çaklamasynyň ajaýyp taswyk bolmagyny görüp bilmeýär. Bu kometa (iň ýiti kometalaryň

biri) Galleýiň ady dakylandy (172-nji surat).

Kometalaryň gözlegi başda wizual, soňra bolsa fotografik usullar we häzirki zaman şöhle kabul edijileri (PZS sistema) bilen ýerine ýetirilýär. Kometalar ony açan adamyň familiýasy boýunça atlandyrylýar. Kometalar diňe Güne ýakyn baranlarynda ýüze çykarylýar we perigeliden geçen ýyly bilen belllenýär.

Eger bir ýylda birnäçe kometa ýüze çykarylýan bolsa, onda perigeliden geçme tertibini görkezýän rim sifri bilen belgilenýär. Kometary açan gözegçiniň familiýasyndan soň gelýän sifr bu gözegçiniň açan kometalarynyň sanyny görkezýär. Mysal üçin, 1916 II Neuýmina-2 belgilenme aşakdaky ýaly okalýar: kometa 1916-njy ýylda perigelini hasap boýunça ikinji bolup geçýär; Neuýmin tarapyndan açylan; bu gözegçiniň açan ikinji kometasy.

Ýylda gözegçilik edilýän kometalaryň umumy sanynyň az bölegi periodiki kometalara, ýagny ýüze çykmalary bilen belli bolan kometalara degişlidir. Kometalaryň umumy sanynyň köp bölegi örän süýnmek, parabola ýakyn ellipsler boýunça hereket edýärler. Olaryň aýlanma periodlary takyk belli däldir, ýöne millionlarça ýyla ýetýän bolmaly diýip çaklanylýar. Bular ýaly kometalar Günden ýyldyzlara çenli aralyklar bilen deňeşdirerlikli uzaklyklara daşlaşýarlar. Olaryň parabola ýakyn orbitalarynyň tekizlikleri ekliptikanyň tekizliginde toplanmaýarlar we giňişlikde tötänleýin görnüşde paýlanandyr. Dogry ugurdaky hereket, edil ters ugurdaky hereket bilen deňeçer gabat gelýär.

Periodiki kometalar süýnmegi azrak bolan elliptik orbitalar boýunça hereket edýärler we düýbünden tapawutly häsiýetlere eýe-dirler. Bir sapardan köp gözegçilik edilen 40 kometadan 35-siniň orbitalarynyň ekliptikanyň tekizligine ýapgytlygy 45° kiçidir. Diňe Galleý kometasynyň orbitasynyň ekliptika ýapgytlygy 90° uly we ters ugurda aýlanýar. Galan kometalar dogry ugurda hereket edýärler. Gysga periodly kometalaryň arasynda (ýagny periodlary 3-den 5 ýyla çenli bolan) «Ýupiter maşgalasy» atly, ýagny afeliýde Günden uzaklaşma aralyklary, Ýupiteriň orbitasyna deň bolan kometalaryň uly topary tapawutlandyrylýar. Kometalaryň Ýupiter maşgalasy planeta tarapyndan, öň başga orbitalar boýunça hereket edýän kometalary «basyp almagy», ýagny dartyp almagy sebäpli emele gelen bolmaly diýlip çaklanýar. Ýupiteriň we kometanyň özara ýerleşişine baglylykda kometanyň orbitasynyň ekssentrisiteti ulalyp hem, kiçelip hem bilýär. Birinji ýagdaýda aýlanma periodynyň ulalmasy ýa-da giperbolik orbita geçip, kometa Gün sistemasyndan çykyp gidýär, ikinji ýagdaýda bolsa periodyň kiçelmesi bolýar.

Periodik kometalaryň orbitalary duýarlyk üýtgemelere seze-wardyr. Kämahal kometa Ýeriň ýakynyndan birnäçe sapar geçýär, soňra bolsa äpet planetalaryň dartyylma täsiri netijesinde has uzaklaşan orbita zyňylýar we soňra gözegçilik edilmeýär. Başga ýagdaýlarda bolsa, tersine, öň gözegçilik edilmeýän kometa Ýupiteriň ýa-da Saturnyň golaýyndan geçendigi sebäpli, orbitasyny üýtgedip, görünýän kometa öwrülýär. Kometalaryň çäkli sanyna degişli bo-



lan çurt-kesik üýtgemelerden başga-da ähli kometalaryň orbitalary ýuwaş-ýuwaş üýtgemelere sezewar bolýandyr.

Orbitalarynyň üýtgemegi kometalaryň ýitip gitmeginiň mümkin bolan sebäpleriniň arasynda ýeke-täk däl. Kometalaryň çalt weýran bolýandyklary takyk anyklanyldy. Oňa mysal edip, Biela kometasyny görkezmek bolar. Bu kometa 1772-nji ýylda açylandyr we 1815; 1826 we 1832-nji ýyllarda gözegçilik edilendir. 1845-nji ýylda kometanyň ölçegleri ulalandyr, 1846-njy ýylyň ýanwarynda gözegçiler onuň ika bölünendigini anyklapdyrlar. Kometanyň her bölegi üçin otnositel hereketi hasaplanylýp, Biela kometasynyň baryp bir ýyl öň bölünendigi anyklanylýar, ýöne olaryň biriniň beýlekisiniň üstüne proyektirlenendigi sebäpli, olaryň bölünmesi duýulmandyr. Biela kometasy şondan soň ýene bir sapar gözegçilik edilipdir, özi hem bir düzüjisi beýlekisinden köp esse gowşak bolupdyr. Şondan soňra bu kometa gözegçilik edilmändir, ýagny ýitipdir. Ýöne orbitasy kometanyň orbitasy bilen gabat gelýän meteor akymy köp sapar gözegçilik edilendir.

Kometa Güne ýakynlaşdygyça birnäçe üýtgeşmelere sezewar bolýar. Ýitiligi, ýagtylygy artýar, guýrugynyň ölçegleri ulalýar, käwagtlar bolsa düzüminiň çalt üýtgemeleri gözegçilik edilýär. Kometanyň guýrugy adatça konus görnüşli bolup, depesinde kometanyň kelle bölegi ýerleşýär. Kelle bölegi duman görnüşli gabykdan we kometanyň iň ýagty nokady bolan, ýyldyz şekilli ýadrodan ybaratdyr. Gabygyň ýitiligi, ýagtylygy ýadronyň merkezine tarap artýandyr. Kometanyň kelle böleginiň örän uly ölçegleri-onlarça, hatda yüzlerçe müň kilometrlere ýetip biler.

Kometanyň guýrugy mydama Günden garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr. Haçan-da Güne çenli aralyk uly wagty, kometanyň guýrugy ýokdur ýa-da örän kiçidir, diňe duman görnüşli gabyk gowy görünýär. Kometanyň guýrugynyň çalt ulalmasy Güne 1,5-2 *a.b.* çenli ýakynlaşandan soň başlanýar. Şol wagt kometanyň guýrugy 10^8 km ululyklara ýetýänçä örän uly, Ýagny her gije-gündiz 10^6 km tizlik bilen ulalýandyr.

Kometanyň guýrugyny Günden garşylykly tarapa ugrukdyrýan, itekleýji güýç-ýagtylyk basyşy we korpuskulýar akymlardyr. Korpuskulýar akymlar magnit meýdanynyň üsti bilen kometalaryň guýruklaryndaky ionlaşan gaza täsir edýär. Guýrukdaky maddanyň



173-nji surat. Kometalaryň guýruklarynyň görnüşleri

hereketiniň tizligi diňe haýsy hem bolsa göze görünýän düwünjik ýa-da bulutjyk görnüşinde kondensasiýa emele gelende ölçenip bilner. Käbir ýagdaýlarda bu tizlikler örän uludyr we itekleýji güýçler Günüň grawitasiýa güýjünden 10^3 esse uludyr. Ýöne adatça tapawut birnäçe esseden uly däldir. F.A.Bredihiniň teklibine görä, kometalaryň guýruklarynyň üç görnüşü tapawutlandyrylýar (*173-nji surat*). Guýruklaryň I görnüşinde itekleýji güýçler dartylma güýjünden 10-100 esse uludyr we şonuň üçin guýruk Günden göni garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr. Guýruklaryň II görnüşinde itekleýji güýç dartylma güýjünden birneme uludyr, guýruk ýeterlik derejede egrelýändir. Guýruklaryň III görnüşinde itekleýji güýçler dartylma güýjünden kiçidir we guýruk güýçli egrelýändir.

Kometanyň massasy örän kiçidir we bütewüligine diýen ýaly ýadroda jemlenendir. Iň uly kometalaryň massalary 10^{-8} Ýer massasynadan uly däldir, duman görnüşli gabykda dykyzlyk 10^{-12} - 10^{-13} g/sm^3 uly däldir. Kometanyň massasyna we Güne ýakynlygyna baglylykda, kelle böleginiň ölçegi 25 müň kilometrden (gowşak kometalar) 2 million kilometre çenli (ýagty kometalar), guýrugynyň uzynlygy bolsa 150 million kilometre çenli ýetip bilýär.

Daşy duman görnüşli gabyk bilen gurşalan, görünmeýän ýadronyň ölçegleri çaklamalara görä 1-den 30 kilometre çenli diametri bolan gaty jisim bolmalydyr. Ýadro esasan hem çalt uçup gidýän, ýagny H_2O , CO , C_2O , NH_3 , HCN ýaly, gaty (doňan, buz) ýagdaýyndaky maddalardan ybaratdyr. Ýadronyň buz görnüşli esasy



dürli ölçegli tozanjyklar, daş we metal bölejikler ýelmeşendir. Güne ýakynlaşma buzlaryň bugarmasyny ýüze çykarýar, netijede gaz görnüşli madda bölünip çykýar we kometanyň guýrugyny emele getirýär. Ultramelewşe şöhlelenmäniň täsiri netijesinde bölünýän molekulalar dargaýar we ionlaşýar. Kometalaryň guýruklarynyň spektrlerinde ionlaryň (CO^+ , CO_2^+ , CH^+ , N_2^+) şöhlelenme çyzyklary gözegçilik edilýär.

Duman görnüşli gabykda gazyň konsentrasiýasy ýokarydyr, Güniň ionlaşdyryjy ultramelewşe şöhlelenmesi ýeterlik derejede siňdirilýär we neýtral molekulalaryň şöhlelenmesine gözegçilik edilýär. Kometalaryň spektrlerinde ýüze çykarylan molekulalaryň arasynda, tejribe şertlerinde adatça ýokary himiki işjeňlikleri sebäpli gözegçilik edilmeyän, radikallar (CH , OH , CH_2 , NH_2) köpdür. Kometalarda olar has çylşyrymly molekulalaryň dissosiasiýasy netijesinde emele gelýär we pes dykzylyk bolany üçin uzak wagtyň dowamynda saklanyp bilýär. Kometa Güne has ýakynlaşan wagtynda ýadronyň spektrinde metallaryň çyzyklary hem gözegçilik edilýär. Bu bolsa kometalaryň ýadrolarynda eremesi kyn metallaryň hem bardygyny görkezýär.

Kometalaryň gelip çykyşlary barada birnäçe çaklamalar bardyr. Gollandiýaly alym Oortyň çaklamasyna görä Gün sistemasy kometa ýadrolarynyň äpet buludy bilen gurşalandyr we ol 1ps aralyklara çenli çägi eýeleýändir. Ýyldyz tolgunmalarynyň täsiri netijesinde käbir ýadrolaryň orbitalary üýtgeýär we Güniň ýakynynda kometa emele gelýär.

Gysga periodly kometalaryň orbitalarynyň afeliý nokady Ýupiteriň orbitasynyň golaýynda ýerleşýändir. Astronom S.K.WsehsWyatskiniň çaklamasyna görä, bular ýaly kometalar Ýupiter we hemralary tarapyndan giňişlige zyňylyan maddanyň hasabyna döreyän bolmalydyr. 1979-njy ýylda Ýupiteriň Io hemrasynda wulkanyň açylmagy bu çaklamanyň hakykata ýakyn bolmagynyň mümkindigini görkezdi.

§134. Meteorlar

Meteorlar gysga wagtyň dowamynda lowurdap, köplenç, asmandan birnäçe sekundyň dowamynda gözegçilik edilýän, inçejik çyzyk görnüşinde ýagtylanyp görünýän yz galdyryp, soňra ýitip gidýärler (174-nji surat).



174-nji surat. Meteoryň fotosuraty. Sag böleginde Pleýadalar ýyldyz toplumy görünýär

Köplenç, il arasynda olara «süýnýän ýyldyzlar» hem diýilýän-dir. Uzak wagtlaryň dowamynda astronomlar meteorlary ýyldyrym görnüşli atmosfera hadysalary hasaplap, olar bilen gyzyklanmandyr-lar. Diňe XVIII asyryň ahyrynda şol bir meteorlara Ýer üstüniň dür-li nokatlaryndan geçirilen gözegçilikleriň esasynda olaryň beýik-likleri we tizlikleri kesgitlenendir. Meteorlaryň Ýer atmosferasyna daşyndan birnäçe *km/s*-dan başlap onlarça *km/s*-a ýetýän tizlik bi-len aralaşyp, 80-120 *km* beýikliklerde ýanýan kosmos jisimleridigi anyklanandyr.

Meteorlary düýpli öwrenmek diňe XX asyrda başlandy. Me-teorlaryň ýüze çykma ýygylgy we olaryň asmanda paýlanyşy my-dama deňölçegli däl-dir. Meteor akymlary, ýagny meteorlar kes-gitli wagat aralygynyň dowamynda (birnäçe gije) asmanyň şol bir çäklerinde ýüze çykýandyr. Eger bu meteorlaryň galdyryan yzlaryny hereket eden ugrunyň garşysyna dowam etdirsek, onda olar meteor akymynyň radianty diýilýän, bir nokadyň töwereginde kesişerler. Me-teor akymlarynyň köpüsi her ýyl gaýtalanýarlar, periodikidirler we radiantlarynyň ýerleşen ýyldyz toparlarynyň ady boýunça atlandyryl-ýarlar. Mysal üçin, her ýyl takmynan 20-nji iýuldan 20-nji awgust aralygynda gözegçilik edilýän meteor akymyna Perseid diýilýär, se-bäbi onuň radianty Perseý ýyldyz toparynda ýerleşýär. Häzirki wagt-



da ýylba-ýyl gaýtalanýan meteor akymlarynyň atlary we olaryň käbir fiziki häsiýetnamalary 11-nji tablisada getirilen.

Meteor akymlarynyň işjeňligi her ýyl üýtgeşik bolýar. Akyma degişli meteorlaryň sanynyň örän az bolýan ýyllary bardyr. Belli period bilen gaýtalanýan ýyllarda bolsa akyma degişli meteorlaryň sany örän köp bolýar we bu hadysa ýyldyz ýagyşy diýilýär (meteor ýagyşy). Iň güýçli meteor ýagyşy 1966-njy ýylyň 17-nji noýabrynda, ýagny Leonid meteor ýagyşy gözegçilik edilendir (bir sagadyň dowamyndaky meteorlaryň sany 70000-e ýetendir). Meteor akymlarynyň işjeňliginiň üýtgemegi Ýeriň orbitasyny kesip geçýän elliptik orbita boýunça meteor akymynyň bölejikleriniň deňölçegsiz paýlananlygy bilen düşündirilýär.

11-nji tablica

Esasy meteor akymlary

T/b	Ady	Görünýän wagty	Esasy köp görünýän güni	Ýere görä tizligi, km/s	Meteoryň Ýeriň atmosferasyna girýän ýeri, grad.
1.	Kwadrantidler	01.01-04.01	03.01	41	232
2.	Liridler	07.04-26.04	23.04	48	270
3.	Akwaridler	01.05-09.05	04.05	67	28
4.	Akwaridler	20.07-10.08	27.07	43	334
5.	Kaprikornidler	28.07-06.08	01.08	26	315
6.	Bolidler	27.06-30.06	27.06	58	212
7.	Drakonidler	08.10-10.10	10.10	56	262
8.	Perseidler	05.08-18.08	12.08	61	45
9.	Orionidler	18.10-25.10	22.10	66	94
10.	Günorta Tauridler	26.10-22.11	01.11	30	50
11.	Demirgazyk Tauridler	18.10-30.11	08.11	36	56
12.	Leonidler	03.11-27.11	17.11	66	152
13.	Geminidler	10.12-16.12	13.12	60	112
14.	Ursidler	20.12-23.12	22.12	37	223

Akymlara degişli bolmadyk, döreyän ýeri we wagty näbelli bolan meteorlara sporadik (tötänleýin) diýilýär. Sporadik meteorlaryň orbitalarynyň statistiki paýlanylyşy doly çözülen däldir, ýöne periodiki kometalaryň orbitalarynyň paýlanylyşyna meňzeş bolmaly diýlip hasaplanýar. Meteor akymlarynyň köpüsiniň orbitalary belli kometalaryň orbitalaryna ýakyndyr. Kometanyň ýitip, onuň bilen bagly bolan meteor akymynyň bolsa gözegçilik edilýän ýagdaýy gabat gelýär (Biela kometasy). Meteor akymlarynyň köpüsiniň kometalar bilen baglanyşyklydygy anyklanandyr, ýagny meteor akymlary kometalaryň weýran bolmagy netijesinde döreyändir.

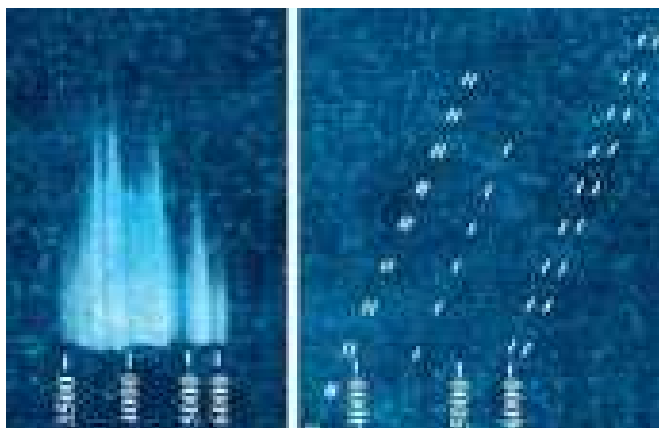
Bir gije-gündiziň dowamynda Ýer atmosferasynda ýagtylygy 5^m -den ýiti bolan 10^8 meteor lowurdaýar. Ýyldyz ululygy m bolan meteorlaryň sany ýyldyz ululygy $(m - 1)$ bolanlaryň sanyndan 2,5 esse köpdür. Ýiti, ýagty meteorlar seýrek, gowşaklary bolsa ýygy-ýygydan gözegçilik edilýär. Has ýagty meteorlar – bolidler gündizine hem gözegçilik edilýär. Bolidler käwagt meteoritleriň gaçmagyna alyp barýarlar. Bolidiň ýüze çykmagy urgy tolkunynyň emele gelmegi bilen, ses hadysalary we tüsse görnüşli guýrugyň emele gelmegi bilen bolup geçýär. Gelip çykyşy we fiziki gurluşy boýunça bolid görnüşinde gözegçilik edilýän jisimler meteor hadysasyny ýüze çykarýan bölejiklerden tapawutlanýandyrlar.

Belläp geçişimiz ýaly, meteorlaryň Yeriň ýakynyndaky tizligi onlarça kilometr/sekunda ýetip biler. Meteorlaryň hakyky, geliosentrik tizliklerine haýsy bahalaryň mahsusdygyny kesgitlemek örän çylşyrymlydyr. Sebäbi meteoryň ýalpyldysy tizlige güýçli baglydyr we şonuň üçin uly tizlikli, çalt meteorlar haýal meteorlara garanyňda az bolmagyna seretmezden, ýygy, köp gözegçilik edilýändir. Meteorlaryň köpüsi orbitalary boýunça dogry ugurda, Yeriň tizliginden kän bir tapawutlanmaýan tizlikler bilen hereket edýändirler.

Meteorlaryň spektrleri emission çyzyklardan ybaratdyrlar (175-nji surat). Haçan-da meteor bölejik atmosferada howanyň garşylygy sebäpli togtanda gyzýar, bugaryp başlaýar, onuň daş-töwereginde gyzdyrylan gazdan bulut emele gelýär.

Esasan hem metallara degişli çyzyklar ýagtylanýar, mysal üçin, köplenç, ionlaşan kalsiý we demre degişli H we K çyzyklar gözegçilik edilýär. Meteor bölejikleriniň düzümi demir we daş meteoritleriniň





175-nji surat. Iki dürli meteor jisimleriniň spektrleri.

Çepde – demir düzüjili meteoryň köpsanly ýagty çyzyklary; sagda – daş düzüjili meteoryň ionlaşan kalsiniň intensiw H we K çyzyklary gözegçilik edilýär

düzümine meňzeş bolmalydyr, ýöne meteor jisimleriniň mehaniki gurluşy düýbünden üýtgeşik bolmalydyr. Onuň şeýledigini meteorlaryň togtama tizligi hem görkezýär. Ýagny olar dykzlygy $0,1 \text{ g/sm}^3$ bolan jisimler ýaly togtayarlar. Bu bolsa meteoryň öýjük-öýjük gurluşy bolan, has owunjak bölejiklerden ybarat bolan jisimdigini aňladýar. Wagtynda bu öýjükler soň bugaryp giden, çalt bugaryan maddalar bilen doldurylan bolmalydyr. 5^m ýyldyz ululykly meteory döredýän meteor bölejiginiň massasy 3 mg we diametri bolsa $0,3 \text{ mm}$ bolmalydyr. Bu ululyklar geosentrik tizligi $50\text{--}60 \text{ km/s}$ bolan, çalt hereket edýän meteorlar üçin hasaplanandyr. Bular ýaly häsiýetnamalary bolan bölejikleriň döredýän meteorlarynyň köpüsi bolsa has gowşakdyr.

Ýagty meteorlar we bolidler howany ionlaşdyryp, birnäçe sekuntlardan birnäçe minutlara ýetýän wagtyň dowamynda görünýän, gowşak ýagtylanýan yz galdyrýarlar. Atmosferadaky howa akymalarynyň täsiri netijesinde meteoryň galdyran yzy süýşýär we onuň görnüşi üýtgeýär (meteor yzlarynyň dreýfi). Şonuň üçin meteor yzlarynyň dreýfine gözegçilikler atmosferanyň dürli gatlaklaryndaky howa akymlaryny öwrenmekde wajyp orun eýeleýändir.

§135. Meteoritler

Ölçegleri santimetr, metr we ondan hem uly bolan meteorit jisimler Ýeriň atmosferasyna aralaşyp, tozan görnüşli guýrugy bolan we atmosferada doly tozap gutarmadyk ýagdaýynda Ýeriň üstüne düşýän, ýiti ýagty bolidi döredýärler. Meteorit jisimler Ýere gaçanlaryndan soň meteorit diýilýär we gaçan ýeriniň ady boýunça atlandyrylýar. Mysal üçin, Gabakly, Bokurdak we ş.m. Gurluşy we himiki düzümi boýunça üç esasy topara bölünýär: aerolitler (daş), siderolitler (demir-daş) we sideritler (demir). Aerolitlerde, ýagny daş düzüjili meteoritlerde düzüminiň 47%-i – kislorod, 21%-i – kremniý, 16%-i – demir, 14%-i – magniý we 2%-i – beýleki himiki elementleriň garyndylarydyr. Aerolitleriň düzümindäki kislorod bilen kremniniň gatnaşygy Ýer gabygyndaky bilen deňşdirerlikdir, demir bolsa agdyklyk edýändir. Siderolitlerde, ýagny demir-daş düzüjili meteoritlerde düzüminiň takmynan 55%-i – demir, 19%-i – kislorod, 12%-i – magniý, 8%-i – kremniý, 5%-i – nikel we 1%-i – garyndylardyr. Sideritlerde, demir düzüjili meteoritlerde düzüminiň 91%-i – demir, 8%-i – nikel, 0,5%-i – kobalt we misiň, fosforyň, kükürdiň, kremniniň garyndylarydyr.

Häzirki wagta çenli massasy gramlardan başlap onlarça tonnalar ýetýän meteoritleriň Ýer ýüzi boýunça münherçesi ýygналандыр. In uly, demir düzüjili meteorit 1920-nji ýylda günorta-günbatar Afrika-da, Namibiýada Gobabis şäheriniň ýakynynda tapylyan Goba meteoritidir. Onuň plita görnüşli bolup, ölçegleri 3×3 m we galyňlygy 0,9-dan 1 m töweregidir, massasy bolsa 60 tonna deňdir.

Meteorit jisim Ýer atmosferasynyň dykyz gatlaklarynda hereket edende onuň üsti güýçli, ýagny 2500-3000 gradusa çenli gyzýar, ereýär we bugarýar. Bu hadysalar demir düzüjili meteoritlere az derejede, daş düzüjili meteoritlere bolsa köp derejede täsirini ýetirýär. Netijede, Ýeriň üstüne gaçan meteoritiň massasy atmosfera aralaşan meteorit jisiminiň başlangyç massasynyň 5-10%-e deňdir. Ownuk meteorit jisimler bolsa tutuşlygyna tozap, pürkülüp gutarýandyr. Statistik hasaplamalar her 40 mün meteorit jisimlerden diňe biriniň Ýeriň üstüne ýetýändigini görkezýär.

Meteoritleri Ýer jynslaryndan tapawutlandyryan, häsiýetlendiriji aýratynlyklary bardyr, ýagny meteorit jisim atmosferada nereket



edende gymmagy netijesinde emele gelen gabygy (galyňlygy 1mm töweregi), gabygynyň üstünde gatap galan akymjyklary we damjalar, howa akymynyň galdyran yzlary bardyr.

Meteoritiň Ýeriň üstüne gaçma tizligi massasyna, kese-kesiginiň meýdanyna, aerodinamikanyň kanunlaryna laýyklykda garşylyk görkezýän, atmosferanyň dykyz gatlaklaryna giren pursadyndaky tizligine baglydyr. Meteorit jisimiň atmosfera girme tizligi öz gezeginde Ýere görä tizliginiň ugruna baglydyr. Ýeriň aýlanma ugry boýunça hereket edýän, ýagny onuň yzyndan ýetýän meteorit jisimler üçin bu tizlik 10-30 *km/s*, garşylykly ugurda hereket edýänler üçin bu tizlik 70 *km/s*-a çenli ýetip bilýär. Ýeriň üstünden takmynan 40 *km* beýikliklerde ugurdaş meteorit jisimler atmosfera tarapyndan 10 *atm* deň bolan togtadyjy basyşa sezewar bolýarlar, garşylykly ugrukdyrylanlary bolsa 500 *atm*-a çenli togtadyjy basyşa sezewar bolýarlar. Şonuň üçin meteorit jisimleriniň köpüsi kosmos tizliklerini ýitirip, Ýeriň üstüne ýetenlerinde tizlikleri 700-900 *m/s*-a deň bolýar. Atmosferanyň garşylygy, gurluşy berk bolmadyk daş düzüjili meteorit jisimleriň owranmagyna, pyramagyna getirýär we şonda Ýeriň üstüne meteorit ýagşy ýagýar, ýagny meteorit jisimler dürli ölçeglerdäki owuntyklary gaçýar.

Käwagtlar, ýeterlik tizliklerde demir düzüjili meteorit jisimler hem owranýandyr. Mysal edip, 1947-nji ýylyň 12-nji fewralynda Uzak Gündogaryň Sihote-Alinskiý dag gerşiniň ýakynyna ýagan meteorit ýagşyny görkezmek bolar. 2,4 *km*² meýdana umumy massasy 100 tonna barabar bolan münlerçe meteorit gaçandyr. In uly meteoritiň massasy 1745 *kg*, in kiçijeginiň massasy bolsa 0,01 *g*-a deňdir.

Massasy takmynan 10⁵-10⁶ tonna, geosentrik tizligi bolsa 30 *km/s*-dan uly bolan, örän seýrek düş gelýän äpet meteorit jisimler örän uly möçberdäki kinetik energiýa eýe bolup, atmosferanyň içinden geçip, Ýeriň üstüne urulýarlar we ýarylýarlar. Gaçan ýerlerinde uly ölçegli meteorit kraterlerini emele getirýärler. Bular ýaly kraterler Arizonada (ABŞ), Kanadada, Estoniýada, Taýmyrda (Russiýa) we başga ýerlerde ýüze çykarylandyr. Arizona meteorit krateriniň (176-njy surat) diametri 1207 *m*, çuňlugy 174 *m* we krateriň daşyny gurşap alan gerşiň beýikligi 40-50 *m* töweregidir. Taýmyr meteoritiniň krateriniň çuňlugy 100 *m* töweregi, diametri bolsa 100 *km*-e deňdir.



176-njy surat. Arizona meteorit krateri

1908-nji ýylyň 30-njy iýunynda ir sagat 7-de Sibiriň Podkamen-naýa Tunguska derýasynyň ýakynynda äpet meteorit jisim ýarylandyr. Oňa Sibir ýa-da Tungus meteoriti diýip at berlendir. Alymlaryň çaklamalaryna görä bu meteorit jisimiň öýjük-öýjük gurluşy bolup, massasy 10^6 tonna we atmosfera girme tizligi 25 km/s töweregidir. Ol Ýeriň üstüne 7 km ýetmän partlaýar.

Radiusy 30 km bolan töwerekde agaçlar ýykylýar, partlama bolan ýeriň topragynda örän köp sanly owunjak silikat we metal şarjagazlar (diametri $0,1\text{-}0,3 \text{ mm}$, massasy $0,001\text{-}0,2 \text{ mg}$) tapylýar.

Türkmenistanyň çäklerinde ilkinji meteorit 1968-nji ýylda Türkmenabat şäherinden 100 km çemesi günbatardaky Gabakly obasynyň golaýyndan tapyldy. Massasy $4,1 \text{ kg}$ bolan Bokurdak atly ikinji meteorit 1978-nji ýylyň sentýabr aýynda Bokurdak şäherçesinden 50 km uzaklykda tapyldy. Üçünji we dördünji meteoritler Garagum çölüniň merkezinde işlän hünärmenler tapýarlar (Diňli we Akmolla meteoritleri).

«Köneürgenç-Saparmyrat Türkmenbaşy» diýen at bilen Halkara meteorit guramasy tarapyndan hasaba alnan başynji türkmen meteoriti 1998-nji ýylyň 29-njy iýulynda 17 sagat 30 minutda Köneürgenç şäheriniň golaýyndaky pagta meýdanyna gaçýar. Meteoritiň emele getiren çukuryňnyň çuňlugy $3,7 \text{ m}$, diametri $4,5 \text{ m}$ töweregidir. Meteoritiň

Ýeriň üstüne gaçan iň uly böleginiň massasy 850 kg-a golaý, ululygy $72 \times 80 \times 48$ sm-e deňdir. Onuň Ýere gaçyp tapylan bölekleriniň umumy massasy 1000 kg-a golaýdyr. Düzümi daşdan we demirden ybaratdyr. Meteorit günorta-gündogardan demirgazyk-günbatara hereket edipdir. Onuň Ýeriň atmosferasyna girmezinden öňki massasy 9-10 tonna golaýdyr diýlip çak edilýär. Bu meteorit dünýäde minerallara iň baý meteoritdir. Onuň düzüminde 45 mineralyň bardygy anyklanyldy.

Meteoritler diňe Ýere gaçman, beýleki planetalara we olaryň hemralarynyň üstüne hem gaçýandyr. Bu planetalaryň we hemralarynyň atmosferasy bolmadyk ýagdaýynda uly bolmadyk meteoritler hem uly ölçegli kraterleri döredýär. Oňa mysal edip, Aýyň, Merkuriniň, Marsyň üstünde, şeýle hem Marsyň we Saturnyň hemralarynyň üstünde örän köp sanly kraterleriň bolmagyny görkezmek bolar.

Az sanly meteoritler üçin Ýer bilen duşuşmazýndan öň planetara giňişlikde hereket eden orbitalary hasaplanandyr. Bu jisimleriň hemmesiniň asteroidler guşaklygyndan gelendikleri anyklanandyr. Şeýlelikde, meteoritleriň asteroidler bilen jebis arabaglanyşygy kesgitlenendir,

Demir düzüjili meteoritleri öwrenmek, olaryň gurluşynyň diňe ýokary temperaturaly we äpet uly basyşly şertlerde emele gelip biljekdiklerini görkezýär. Diýmek, demir düzüjili meteoritler uly asman jisimleriniň jümmüşinde ýerleşendirler, mümkin kemala gelip başlan, ýöne doly kemala gelip bilmän, weýran bolan planetanyň jümmüşinde ýerleşen bolmaklary ähtimaldyr. Meteoritleriň düzüminde otnositel mukdary uly bolmadyk radioişjeň elementleriň esasynda olaryň kesgitlenen ýaşlary $0,5 \cdot 10^9$ -dan $4,5 \cdot 10^9$ ýyla çenlidir.

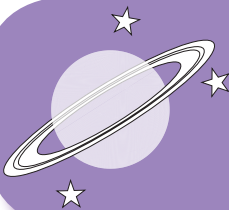
§136. Zodiakal ýagtylyk we garşydan şöhle saçma

Ýaz aýlary, Aýsyz garaňky gijelerine, asmanyň günbatar tarapynda ekliptika boýunça giňelýän, gözýetimden ýokarlygyna galýan ýapgyt, ýuwaş-ýuwaşdan daralýan konus görnüşli gowşak ýagtylanmany görmek bolýar. Edil şonuň ýaly ýagtylanmany güýzüne, daň atmazýndan öň, gündogar gözýetimden ýokarda görmek bolýar. Bu ýagtylanma zodiakal ýagtylyk diýilýär. Ýeriň tropik guşaklygynda,

ekliptikanyň gözýetimden ýokary göterilýän ýerinde, zodiakal ýagtylygyň zodiak ýyldyz toparynyň hemmesi boýunça geçýändigini, ýöne gözýetimiň ýakynynda, Maýa Ýolunyň ýagtylygy bilen deňeýer bolan ýagtylygy, beýiklik boýunça kemelýändigini gowy görüňýär. Günden 180° uzaklykda zodiakal ýagtylyk çalaja güýçlenýär we şol ýerde ýiti gözli adam diametri 10° töweregi bolan ýagtylanýan tegmili seljerip biler. Oňa garşydan şöhle saçma diýilýär.

Zodiakal ýagtylyk Günüň ýagtylygynyň Günü we planetalary gurşap alan, mikroskopik ölçegleri bolan owunjak tozanjyklaryň emele getirýän seýreklendirilen buludynda dagynyk (pytrama) serpikme hadysasydyr. Bu tozan buludynyň dykzlygy örän kiçidir (10^{-22} - 10^{-23} g/sm³) we ol planetalaryň hereketine päsgelçilik döredýän däldir. Garşydan şöhle saçmanyň ýitiligi Ýeriň atmosferasyny Gün şöhleleriniň we şemalynyň basyşynyň täsiri netijesinde taşlap gidýän gaz molekulalarynda we ionlarynda ýagtylygyň dagynyk serpikmesi sebäpli artýandyr.





X bap ÝYLDYZLAR

1. ADATY ÝYLDYZLAR

Ýyldyzlar Älemde iň köp ýaýran obýektlerdir. Kosmos mad-dasynyň massasynyň 98%-i ýyldyzlarda jemlenendir, galan bölegi bolsa ýyldyzara giňişlikde ýaýrandyr. Ýyldyzlaryň ewolýusiýasy bi-len himiki elementleriň köpüsiniň emele gelmegi baglanyşyklydyr. Şonuň üçin ýyldyzlar diňe Älemiň düzüminiň wajyp elementleri bo-lan, kosmos obýektleri hökmünde däl-de, ösüşi materiýanyň ösüşiniň wajyp tapgyry bolan jisimler hökmünde ylmy gyzyklanma döredýär.

Ýyldyzyň wajyp häsiýetnamalary esasan hem onuň mas-sasy, ýagtylanyjylygy we radiusy bilen kesgitleňýär. Gözegçilikleri geçirmegiň nukdaýnazaryndan wajyp meseleleriň biri bu ululyk-lary kesgitlemek, aýry-aýry ýyldyzlaryň, şeýle hem dürli ýyldyz toparlarynyň hususy özboluşlyklaryny ýüze çykarmakdan we öwren-mekden ybaratdyr.

Nazary astrofizikanyň usullary ýyldyzlaryň jümmüşindäki we atmosferasyndaky fiziki şertleri kesgitlemäge we olaryň ewolýu-siýasyny (ösüşini) yzarlamaga mümkinçilik berýär.

Ýyldyzlar örän köp dürlüligi bilen tapawutlanýarlar. Ýöne muňa garamazdan, olary umumy häsiýetleri boýunça aýry-aýry toparlara bölüp bolýar. Bular ýaly bölmek bar bolan ýyldyzlaryň mümkin bolan köplüginu öwrenmek üçin zerurdyr. Esasan hem agzalary durnuksyz-lygy bilen tapawutlanýan ýa-da pulsirlemeleri, partlamalary we ş. m. amala aşyrýan toparlary öwrenmek aýratyn hem gyzyklydyr. Adatça, bular ýaly özboluşlyklary öwrenmek, diňe aýry-aýry ýyldyzlaryň te-bigaty barada wajyp netijeleri çykarmaga mümkinçilik bermek bilen

çäklenmän, köp ýagdaýlarda Älemiň has umumy kanunalaýyklyklary barada netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Bu häsiýetlere eýe bolmadyk ýyldyzlara adaty ýyldyzlar diýilýär. Ýyldyzlary öwrenmegi adaty ýyldyzlardan başlamak tebigydyr.

§137. Adaty ýyldyzlaryň spektrleri we olaryň spektrleri boýunça toparlara bölünişleri

Adaty ýyldyzlary öwrenmek ähli ýyldyzlary toparlara bölmegini fiziki esaslandyrylan düzgünlerini (prinsiplerini) kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Ýyldyzly asman bilen ilkinji tanyşlyk ýyldyzlaryň reňkleriniň dürlüligi bilen özüne ünsi çekýär. Bu tapawut ýyldyzlaryň spektrleri seredilende has hem güýçli ýüze çykýar. Adatça ýyldyzlaryň üznüksiz spektri bardyr, onuň fonunda bolsa spektral çyzyklary, köplenç siňdirmе çyzyklary ýerleşýändir. Käbir ýyldyzlaryň spektrlerinde ýiti emission çyzyklar gözegçilik edilýär.

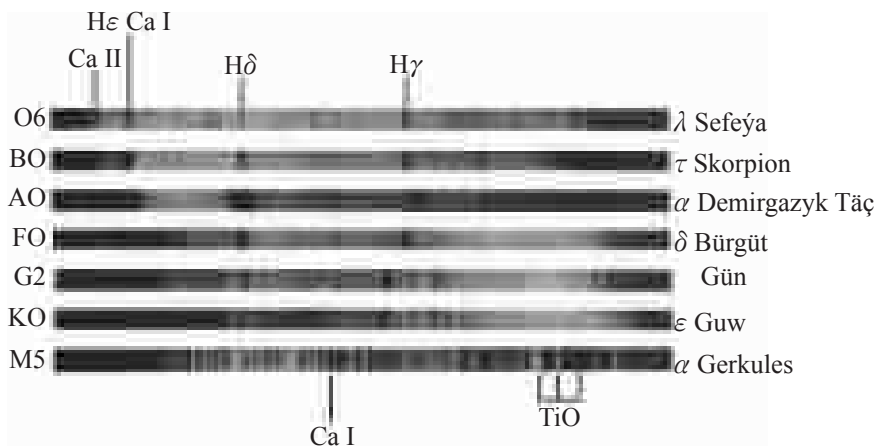
Ýyldyzlaryň spektrlerindäki esasy tapawut gözegçilik edilýän spektral çyzyklaryň intensiwliginde we sanynda, şeýle hem üznüksiz spektrde energiýanyň paýlanyşyndadyr.

Spektral toparlara bölmek ýyldyzlaryň spektrleriniň emele gelmegi düşündirilmezden ön işlenilip başlanandyr. Şunlukda olaryň wajyp özboluşlyklarynyň ýyldyzlaryň fiziki häsiýetleriniň tapawutlylygy bilen baglanyşyklydygy aýdyň bolandyr.

Ýyldyzlaryň esasy köplüginin spektrlerini empiriki usul bilen yzygiderlikde ýerleşdirmek başardandyr. Bu yzygiderligiň ugry boýunça käbir himiki elementleriň çyzyklary kem-kemden gowşap, başgalarynyňky bolsa güýçlenýändir. Özara meňzeş spektrleri *spektral toparlara* birleşdirýarlar. Olaryň arasyndaky has inçe tapawutlar bolsa *toparçalara* bölmäge mümkinçilik berýär. Soňky barlaglar dürli spektral toparlara degişli ýyldyzlaryň temperaturalary bilen tapawutlanýandyklaryny görkezdi.

Ýyldyzlaryň spektrlerinde käbir spektral çyzyklaryň intensiwligi temperatura örän duýgur bolýar we ýörite fotometrik ölçegleri geçirmezden, birinji tapgyrda, spektrogrammanyň diňe daşky görnüşi boýunça «göz çeni» bilen oňa baha bermek bolýar. Ýyldyzyň ol ýa-da beýleki spektral topara ýa-da toparça degişliliginiň mukdar taýdan





177-nji surat. Dürli spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň spektrleri

şerti bolup, kesgitli spektral çyzyklaryň intensiwlikleriniň gatnaşygy hyzmat edýär.

Spektral toparlara bölmeginiň bu düzgüni ilkinji bolup XX asyryň başynda Garward observatoriýasynda şowly ulanylýar. Ýyldyzlaryň spektral toparlara Garward bölünişi häzirki zaman bölünişiniň esasy düzýändir.

Garward toparlara bölünişi boýunça spektral toparlar latyn elipbiýiniň harplary: *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K* we *M* bilen bellendir.

Toparlara bölünilýän döwründe spektriň görnüşi bilen temperaturanyň arasyndaky baglanyşyk belli bolmandyr. Degişli baglanyşyk kesgitlenenden soň, başda harplaryň elipbiý boýunça ýerleşiş bilen gabat gelýän, spektral toparlaryň ýerleşişiniň yzygiderligi üýtgedildi. Spektral toparlaryň häsiýetlerine seredip geçeliň (177-nji surat mysal hökmünde getirilen). Ýyldyzlaryň köpüsiniň spektrleri siňdirme çyzyklarynyň barlygy bilen häsiýetlendirilýär.

O topar. Bu toparyň ýyldyzlarynyň temperaturasynyň ýokarydygyny üznüksiz spektriň ultramelewşe çäklerinde intensiwliginiň ululygy hem görkezýär. Netijede, bu ýyldyzlardan gelýän ýagtylygyň mawymtyl reňki bardyr. Ionlaşan geliniň we köp gezek ionlaşan käbir beýleki elementleriň (uglerod, kremniý, azot, kislorod) çyzyklary has intensiwdir. Neýtral geliniň we wodorodyň gowşak çyzyklary gözegçilik edilýär.

B topar: Neýtral geliniň çyzyklary iň uly intensiwligine ýetýär. Wodorodyň we käbir ionlaşan elementleriň çyzyklary gowy görünýär. Reňki mawymtyk-ak. Bu topara mysal edip, Gyz ýyldyz toparynyň α ýyldyzyny (Spika) görkezmek bolar.

A topar: Wodorodyň çyzyklary iň uly intensiwligine ýetýär. Ionlaşan kalsiniň çyzyklary gowy görünýär. Beýleki metallaryň gowşak çyzyklary gözegçilik edilýär. Bu topara degişli ýyldyzlaryň reňki ak. Bu topara mysal edip, Liranyň α ýyldyzyny (Wega) we Uly Köpegiň α ýyldyzyny (Ýaldyrak-Sirius) görkezmek bolar.

F topar: Wodorodyň çyzyklarynyň intensiwligi gowşayar. Ionlaşan metallaryň (esasan hem kalsiý, demir, titan) çyzyklary güýçlenýär. Ýyldyzlaryň reňki çalaja sarymtykdyr. Bu topara mysal edip Kiçi Köpegiň α ýyldyzyny (Prozion) görkezmek bolar.

G topar: Metallaryň köp sanly çyzyklarynyň arasynda wodorodyň çyzyklary tapawutlanmaýar. Ionlaşan kalsiniň çyzyklary örän intensiwdir. Toparyň ýyldyzlarynyň reňki sary. Bu toparyň ýyldyzlaryna mysal edip, Güni görkezmek bolar.

K topar: Wodorod çyzyklary metallaryň örän intensiw çyzyklarynyň arasynda duýulmaýar. Üznüksiz spektriň melewşe gyrasy duýarlyk gowşak, bu bolsa irki toparlar (O , B , A) bilen deňeşdireniňde temperaturanyň güýçli kemelendigini görkezýär. Toparyň ýyldyzlarynyň reňki gyzylymtyl. Mysal edip, Wolopasyň α ýyldyzyny (Ark-tur) we Öküzçäniň α ýyldyzyny (Aldebaran) görkezmek bolar.

M topar: Bu topara gyzyly ýyldyzlar degişlidir. Metallaryň çyzyklary gowşayar. Titanyň okisiniň molekulalarynyň we beýleki molekulýar birleşmeleriň siňdirme zolaklary güýçlüdir. Mysal edip, Üçýyldyzyň α ýyldyzyny (Betelgeýze) we Içýanyň α ýyldyzyny (Antares) görkezmek bolar.

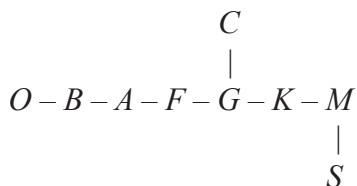
Bu esasy toparlardan başga-da, G we K toparlardan şahalanýan, beýleki ýyldyzlar köplüğinden himiki düzümi boýunça tapawutlanýan, anomal himiki düzümi bolan ýyldyzlary özünde birikdirýän toparlar bardyr. Birinji şaha G topardan bölünýär we düzüminde «uglerodly» ýyldyzlary jemleýär.

C topar: Bu toparyň ýyldyzlarynyň spektri K we M toparlardan ulgerodyň atomlarynyň siňdirme çyzyklarynyň we uglerodyň molekulalarynyň siňdirme zolaklarynyň barlygy bilen tapawutlanýar.



Ikinji şaha K topardan bölünýär we düzüminde «sirkonili» ýyldyzlary saklaýar.

S topar. Bu toparyň ýyldyzlary M toparyň ýyldyzlaryndan titanyň okisiniň TiO zolaklarynyň ýerine sirkoniniň okisiniň ZrO zolaklarynyň barlygy bilen tapawutlanýar. Şeýlelikde, hemme sere-dilip geçilen spektral toparlary, çyzygyda görkezilişi ýaly, ýerleşdirip bolar:



Her bir spektral toparý «birinden beýlekä» geçýän toparçalara bölmek bolýandyr. Her topar (O -dan başgalary) 0 -dan 9 -a çenli sanlar bilen bellenýän, on sany toparçalara bölünýär. Bu sanlar toparyň belgisinden soň ýazylýar, mysal üçin, $B8$, $A0$, $G5$. O spektral topar bolsa O 5 -den O $9,5$ -e çenil bölünýär. Eger ýyldyzyň spektri ol ýa-da beýleki özboluşlylygy bilen tapawutlanýan bolsa, onda belgilenişden soň ýene-de goşmaça e harp bilen bellenýär, ýagny $B5e$. Aşa äpet ýyldyzlar, köplenç, spektrlerinde inçe çuň çyzyklary bilen tapawutlanýar, ol c harpy bilen bellenýär, mysal üçin, $cF0$. Ýyldyzlaryň spektrlerinde berlen spektral topar üçin häsiýetli bolmadyk özboluşlyklary p harp bilen (pekulýar) bellenýär. p harp spektral toparyň adyndan soň ýazylýar, mysal üçin $A5p$.

§138. Kolorimetriýanyň esaslary

Ýyldyzyň şöhlenenmesi barada has doly maglumat, Gün üçin alnyşy ýaly, absolýut energetik birliklerde aňladylan, energiýanyň ýyldyzyň spektrinde paýlanyşyndadyr. Ýöne ýeterlik derejede takyklyk bilen spektrofotometrik ölçegleri, şöhlenenmesiniň akymy uly bolan, ýyldyzlaryň köp bolmadyk sany üçin ýerine ýetirip bolýar. Ýyldyzlaryň şöhlenenmesi ölçenen ýagdaýlary üçin bu şöhlenenmäniň Plankyň kanunyna gabat gelmeýändigini, bu tapawudyň Güne garanynda hem has uludygy kesgitlenendir.

Şöhlenenmesini spektriň diňe giň çäklerinde bellige alyp bolýan, gowşak ýyldyzlar üçin maglumatyň ýeke-täk çeşmesi, olaryň ýyldyz ululygyny kesgitleýän şöhlenenmäniň akymydyr.

Ýyldyzlaryň spektrinde energiýanyň paýlanyşy barada käbir düşüňjani ýagtylyk süzgüçlerini (filtrleri) peýdalanylýan, spektriň dürli çäklerinde olaryň şöhlenenmesini ölçäp, alyp bolýandyr. Netijede, ýyldyz ululyklaryny kesgitlemegiň dürli sistemalary alynýar, olar barada düşüňje §95-de getirilýär.

Wizual fotometrleri ulanmak ýa-da göz çeni bilen baha bermek netijesinde alnan ýyldyz ululygyna *wizual* ýyldyz ululygy diýilýär. Fotosurat oýlanyp tapylmazyndan we astronomiýada ulanylmazyndan ön ýyldyz ululygyny kesgitlemegiň wizual usuly ýyldyz fotometriýasynyň ýeke-täk usuly bolupdyr. Soňky döwürlerde onuň wajpylygy pese düşendir, ýöne oňa garamazdan, bu usul üýtgeýän ýyldyzlar öwrenilende ulanylýandyr. Ýyldyzyň sensibilirlenmedik fotoemulsiýada alnan şekilini fotometrik ölçemeleriň esasynda kesgitlenen ýyldyz ululygyna *fotografik* ýyldyz ululygy diýilýär.

Ýyldyzyň ortohromatik ýa-da izoortohromatik emulsiýalarda sary ýagtylyk süzgüjiň kömegi bilen alnan şekilini fotometrik ölçemeleriň esasynda kesgitlenen ýyldyz ululygyna *fotowizual* ýyldyz ululygy diýilýär. Sary ýagtylyk süzgüjiniň sensibilirlenen fotoemulsiýa bilen bilelikde ulanylmagy netijesinde, onuň spektral duýujylygyny, gözüň spektral duýujylygyna ýakyn bolar ýaly edip bolýar. Netijede, alynýan ýyldyz ululyklarynyň sistemasy, göz bilen ölçäp alynýan netijelere ýakyn bolar ýaly edilýär.

Ýyldyzlaryň şöhlenenmesini has takyk kesgitlemek, U , B , V hal-kara sistemasynda, ýörite saýlanyp alnan ýagtylyk süzgüçlerini ulanyp, fotoelektrik ýa-da fotografik usullaryň kömegi bilen alynýar. U , B , V sistemasynda alnan ölçegler şöhlenenmäniň akymyny spektriň üç böleginde: ultramelewşe (U), gök (B) we sary (V – wizual) çäklerinde geçirilen ölçeglere deňişlilikde gabat gelýär.

Köp reňkli fotometrik sistemalaryň başga-da, mysal üçin, spektriň gyzyly ýa-da infragyzyly çäklerinde ölçegleri öz içine alýan görnüşleri hem bardyr.

Berlen sistemada ýyldyz ululygyny kesgitlemek üçin (şöhlenenmäni kabul edijiniň we ýagtylyk süzgüçleriň deňişli kombina-



siýasynda) öwrenilýän ýyldyzlaryň we standart hökmünde kabul edilen, deňeşdirilýän ýyldyzlardan gelýän ýagtylyk akymlary deňeşdirilýär. Ondan başga-da sistemanyň özüni hem öwrenmelidir, ýagny tejribe üsti bilen ulanylýan sistemanyň işleýän spektral çäklerini kesgitlemek zerurdyr.

Dürli fotometrik sistemalar boýunça alnan, ýyldyz fotometriýasynyň netijeleri, spektral toparlara bölmek bilen bir hatarda, ýyldyzlaryň temperaturasyny kesgitlemek üçin peýdalanyň bilner. Aýdylanlar ýyldyzyň şöhlendirýän energiýasynyň spektr boýunça paýlanyşynyň egrisinde maksimumyň ýerleşişiniň, ýagny onuň reňkiniň, temperatura baglydygyna esaslanandyr. Ýyldyzlaryň şöhlelenmesine Plankyň kanuny ulanarlyk dälidir. Şonuň üçin degişli baglanyşyk Winiň kanuny ýaly (7.21), beýle ýönekeý dälidir we ony dürli ýyldyz toparlary üçin aýratyn ýerine ýetirilýän, ýörite barlaglaryň üsti bilen tapyp bolýandyr.

Adatça, şöhlelenmäniň maksimumynyň tolkun uzynlygy seredilmän, ýyldyzyň reňkiniň käbir obýektiv häsiýetnamasy bolan, reňk görkezijisi seredilýär we onuň ýyldyzyň şöhlendirýän energiýasynyň jemini häsiýetlendirýän, effektiv temperatura empiriki baglylygyny kesgitleýärler. Spektriň dürli çäklerdäki şöhlelenmesiniň akymyny deňeşdirip, ýyldyzyň reňki barada netije çykaryp bolýandyr. Şonuň üçin reňk görkeziji haýsy hem bolsa iki sany fotometrik sistemalarda (mysal üçin, fotografik we fotowizual) ölçenilen ýyldyz ululyklaryň tapawudy ýaly kesgитlenýär. Bu ýagdaýda reňk görkeziji (color index)

$$Cl = m_{pg} - m_{pv}; \quad (10.1)$$

bu ýerde m_{pg} we m_{pv} – degişlilikde fotografik we fotowizual ýyldyz ululyklary. Adatça U , B , V sistemada iki sany reňk görkeziji: esasy ($B-V$) we ultramelewşe ($U-B$) peýdalanylýar.

Ýyldyz ululyklarynyň şkalasynyň ýagtylandyrylyşlarynyň gatnaşygy boýunça kesgитlenýändigini, nol punktynyň bolsa erkin saýlanyp alynýandygy sebäpli, edil şol derejede reňk görkezijisiniň şkalasynyň nol punkty hem erkin saýlanyp alynýar. Reňk görkezijisi ($B-V$) A_0 toparyň ýyldyzlary üçin nola deň diýlip kabul edilendir. A topara görä has gyzgyn ýyldyzlaryň reňk görkezijileri otrisatel bolar (ýagny foto-

grafik ýyldyz ululygy fotowizualdan kiçi bolar). Tersligine, *A* topara görä has soňky spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň reňk görkezijileri položitel bolar, sebäbi olaryň spektriň göze görünýän çäklerinde şöhlenenmesi güýçlüdir.

12-nji tablisada dürli spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň reňk görkezijileriniň mysaly bahalary getirilen.

12-nji tablisa

**Reňk görkeziji bilen spektral toparyň arasyndaky
baglanyşyk**

Spektral topar	Spektriň esasy aýratynlyklary	Orta reňk görkeziji	Reňk we temperatura; 10^3K
O	He ⁺ , He, H we ionlaşan C, Si, N, O siňdirme çyzyklary	-0,3	Mawymtyk 25-50
B	Neýtral He çyzyklary iň uly bahalaryna ýetýär.	-0,2	Mawymtyl-ak 15-25
A	H çyzyklary iň uly intensiwligine ýetýär.	0,0	Ak 11.
F	H çyzyklary gowşaýar, Ca ⁺ we metallaryň çyzyklary güýçlenýär.	0,4	Sarymtyl-ak 7,5
G	Metallaryň çyzyklary intensiw (Ca ⁺ , Fe, Ti we başg.)	0,6	Sary 6
K	Metallaryň çyzyklary has intensiw. Molekulýar zolaklar ýüze çykýar.	1,0	Mämişi 5
M	Molekulýar birleşmeleriň (esasan hem TiO) güýçli siňdirme zolaklary	1,5	Gyzyl 2-3,5
C	TiO zolaklaryň ýerine C ₂ we onuň birleşmeleriniň (CO, CN) zolaklary	1,5	Gyzyl 2-3,5
S	ZrO siňdirme zolaklary	1,5	Gyzyl 2-3,3

Astrofizikanyň ýyldyzlaryň reňk görkezijilerini öwrenýän bölümine kolorimetriýa diýilýär. Bu bölümiň esasy maksady reňk görkezijileri dürli usullar bilen ölçemek we ýyldyzlaryň şöhlenenmesiniň

spektral düzümini häsiýetlendirýän, beýleki ululyklary kesgitlemek, şeýle hem bu häsiýetnamalar bilen temperaturanyň arasyndaky baglanyşygy kesgitlemekdir.

§139. Absolýut ýyldyz ululygy we ýyldyzlaryň ýagtylanyjylygy

Görünýän ýyldyz ululyklary ýyldyzyň şöhlendirýän umumy energiýasy barada hem, onuň üstüniň ýagtylygynyň ýitiligi barada hem maglumat berýän däl. Hakykatdan-da, dürli uzaklyklarda ýerleşendikleri sebäpli kiçi, sowuk ýyldyz, gyzgyn, äpet ýyldyza görä bize golaý ýerleşendigi üçin ýeterlik kiçi görünýän ýyldyz ululygyna eýe bolar, ýagny has ýiti bolup görner.

Eger iki ýyldyza çenli uzaklyklar belli bolsa, onda olaryň görünýän ýyldyz ululyklarynyň esasynda olaryň hakyky şöhlendirýän ýagtylyk akymalarynyň gatnaşygyny kesgitlep bolar. Onuň üçin olaryň döredýän ýagtylandyrylyşlaryny, ähli ýyldyzlar üçin umumy bolan, standart uzaklyga deňişli etmeli. Bular ýaly aralyk hökmünde *10 pk* uzaklyk kabul edilendir.

Ýyldyzyň *10 pk* uzaklykdan gözegçilik edilende alyp biljek ýyldyz ululygyna *absolýut ýyldyz* ululygy diýilýär. Edil görünýän ýyldyz ululyklary ýaly, absolýut ýyldyz ululyklary hem wizual, fotografik we şuna meňzeş bolup biler.

Goý, käbir ýyldyzyň görünýän ýyldyz ululygy *m*, gözegçiden uzaklygy bolsa *r pk* bolsun. Kesgitleme boýunça, *10 pk* uzaklykdan ýyldyz ululygy *M* absolýut ýyldyz ululygyna deň bolar. Onda *m* we *M* ýyldyz ululyklary üçin (6.8) formulany ulanyp, alarys

$$0,4(m - M) = \lg \frac{E_0}{E}, \quad (10,2)$$

bu ýerde *E* we *E₀* – deňşililikde *r pk* we *10pk* uzaklyklarda ýyldyzyň döredýän ýagtylandyrylyşlary. Ýagtylandyrylyşyň uzaklygyň kwadratyna ters proporsional bolany üçin:

$$\frac{E_0}{E} = \frac{r^2}{100}. \quad (10.3)$$

(10.3) aňlatmany (10.2)-de ornuna goýup, alarys:



$$0,4(m - M) = 2lgr - 2, \quad (10.4)$$

ýa-da

$$M = m + 5 - 5lgr. \quad (10.5)$$

Eger-de ýyldyzyň görüňän ýyldyz ululygy m we parseklerde aňladylan, oňa çenli uzaklyk belli bolsa, onda (10.5) formula absolýut ýyldyz ululygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Eger absolýut ýyldyz ululygy belli bolsa, onda görüňän ýyldyz ululygyny bilip, parseklerde aňladylan ýyldyza çenli uzaklygy şu şertden kesgitläp bolýar:

$$lgr = 1 + 0,2(m - M), \quad (10.6)$$

$(m - M)$ ululyga uzaklygyň moduly diýilýär.

Ýagtyltgyjyň ýyllyk parallaksy π we parseklerde aňladylan, oňa çenli bolan uzaklyk r özara $r = 1/\pi$ gatnaşyk bilen baglanyşykly (§63) bolany üçin, (10.6) formulany başga görnüşe getirip bolýar:

$$M = m + 5 + 5lgr. \quad (10.7)$$

Mysal hökmünde, görüňän wizual ýyldyz ululygy $m_\theta = -26^m,8$ bolan Günüň absolýut wizual ýyldyz ululygyny kesgitleliň. Güne çenli uzaklyk $r_\theta = 1a.b. = \frac{1}{206265}pk.$ (10.5) formula m_θ we lgr_θ bahalaryny ornuna goýup, alarys:

$$M_v^\theta = -26^m,8 + 5^m + 26^m,6 = 4^m,8.$$

Ýyldyz ululygy (mysal üçin, wizual) gös-göni gözegçiliklerden kesgitlenende, şöhlelenmäniň diňe Ýer atmosferasyndan we optiki sistemadan geçip, ýagtylyga duýgur bolan enjam tarapyndan bellige alnan bölegi hasaba alynýar. Bütün spektr boýunça jemleýji şöhlelenmäni kesgitlemek üçin bu ölçegleriň netijelerine, kabul ediji enjama çenli ýetmedik şöhlelenmäni hasaba alýan, düzedişi goşmak zerurdyr. Şöhlelenmäni bütün spektr boýunça hasaba alyp, kesgitlenýän ýyldyz ululygyna *bolometrik ýyldyz ululygy* diýilýär.

Bolometrik ýyldyz ululygy we wizual ýa-da fotowizual ýyldyz ululyklarynyň aratapawudyna *bolometrik düzediş* diýilýär.

$$\Delta m_{bol} = m_{bol} - m_v = M_{bol} - M_v. \quad (10.8)$$

Bolometrik düzediş nazaryýetden hasaplanýar. Soňky wagtlarda bu maksatlar üçin ýyldyzlaryň spektriň ultramelewşe çäklerinde şöhlelenmesini, atmosferanyň çäklerinden daşynda ölçemeleriň netijeleri peýdalanylýar.

Bolometrik düzedişiniň minimal bahasy ähli şöhlelendirýän energiýasynyň köp bölegini spektriň göze görünýän çäklerinde şöhlelendirýän ýyldyzlar üçin degişlidir we ýyldyzyň effektiv temperaturasyna baglydyr (13-nji tablisa).

13-nji tablisa

Bolometrik düzedişler

Effektiv temperatura, K	Δm_{bol}	Effektiv temperatura, K	Δm_{bol}
3000	-2,50	10 000	-0,36
4000	-1,00	20 000	-2,65
5770 (Gün)	-0,08	50 000	-4,55
6000	-0,02		

Bolometrik düzedişler absolýut wizual ýyldyz ululyklary belli bolan ýyldyzlar üçin bolometrik ýagtylanyjylygy kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Goý, M_v – ýyldyzyň absolýut wizual ýyldyz ululygy, Δm – bol-bolometrik düzediş bolsun. Onda bolometrik absolýut ýyldyz ululygy

$$M_{\text{bol}} = M_v + \Delta m_{\text{bol}}. \quad (10.9)$$

Bu formulany Gün üçin ulanyp, onuň üçin bolometrik absolýut ýyldyz ululygyny kesgitläliň. Bolometrik düzedişi Gün üçin 10-njy tablisadan 0,1-e çenli tegelekläp alarys:

$$\Delta m_{\text{bol}}^{\odot} = -0^m,1.$$

Gün üçin absolýut wizual ýyldyz ululygy $M_v^{\odot} = 4^m,8$ -e deň, onda onuň bolometrik absolýut ýyldyz ululygy:

$$M_{\text{bol}}^{\odot} = 4^m,8 - 0^m,1 = 4^m,7.$$

Ýyldyzyň ähli ugurlar boýunça şöhlelendirýän energiýasynyň akymyna onuň şöhlelenijiligi diýilýär. Şöhlelenijilik L bilen absolýut ýyldyz ululygynyň M arasynda, (7,8) formulada E bilen m arasyndaky ýaly gatnaşyk ýerine ýetmelidir. Onda, Güne we haýsy hem bolsa bir

ýyldyza degişli ululyklary degişlilikde Θ we $*$ bellikler bilen belläp, alarys:

$$\lg \frac{L^*}{L^\Theta} = 0,4(M^\Theta - M^*). \quad (10.10)$$

Adatça ýagtylanyjylyk Günüň ýagtylanyjylygynyň birliklerinde aňladylýar, ýagny $L^\Theta = 1$ we

$$\lg L^* = 0,4(M^\Theta - M^*). \quad (10.11)$$

Bu formula girýän ýyldyz ululyklarynyň kesgitleniş usulyňa baglylykda wizual, fotografik ýa-da bolometrik ýagtylanyjylygy alarys. Bolometrik ýagtylanyjylyk üçin M_{bol}^Θ bahasyny ornuna goýup we (10.9) formulany hasaba alyp, alarys:

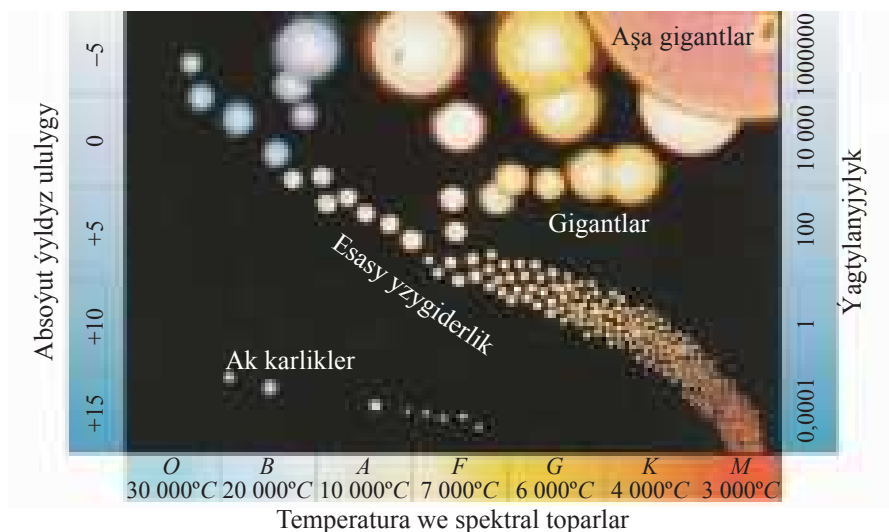
$$\lg L_{\text{bol}}^* = -0,4(M_{\text{bol}} + \Delta m_{\text{bol}} - 4^m, 7). \quad (10.12)$$

§140. Spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy

XX asyryň başynda daniýaly astronom Gersşprung we biraz soňrak amerikan astrofizigi Ressel ýyldyzlaryň spektrleriniň görnüşi (ýagny temperaturasy) bilen ýagtylanyjylygynyň arasynda baglanyşygyň bardygyny kesgitlediler. Bu baglanyşygy oklarynyň biri boýunça ýyldyzlaryň spektral toparlary, beýlekisi boýunça absolýut ýyldyz ululygy ýerleşdirilen çyzgy şekillendirýär. Bu çyzga ýyldyzlaryň *spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy* ýa-da *Gersşprung-Ressel diagrammasy* diýilýär.

Bu diagrammada absolýut ýyldyz ululygynyň ýerine ýagtylanyjylygy (adatça logarifmik şkalada), spektral toparlaryň ýerine bolsa reňk görkezijileri ýa-da effektiv temperaturany goýmak bolar. Her bir ýyldyzyň diagrammada ýerleşýän nokady onuň fiziki tebigaty we ewolýusiýanyň tapgyry bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin seredilýän ýyldyz sistemasynyň бүтін taryhy Gersşprung-Ressel diagrammasynda öz beýanyny tapandyr. Şu nukdaýnazardan spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasynyň örän uly ähmiýeti bardyr we ony öwrenmek ýyldyz astronomiýasynyň iň wajyp usullarynyň biridir. Bu usul umumy fiziki häsiýetnamalary boýunça toplanan ýyldyz toparlarynyň birnäçesini tapawutlandyrmaga, olaryň käbir fiziki häsiýetnamalarynyň





178-nji surat. Spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy

arasyndaky baglanyşygy kesgitlemäge we käbir beýleki meseleleri çözmäge ýardam berýär (mysal üçin, ýyldyzlaryň himiki düzümini we ewolýusiýasyny öwrenmekde).

178-nji suratdaky diagrammanyň ýokarky bölegi ýagtylanyjylygy uly bolan ýyldyzlara degişlidir.

Olar temperaturanyň berlen bahasynda uly ölçegleri bilen tapawutlanýarlar. Diagrammanyň aşaky bölegini bolsa ýagtylanyjylygy kiçi bolan ýyldyzlar eýeleýär. Diagrammanyň çep böleginde irki spektral toparlara degişli gyzgyn ýyldyzlar, sag böleginde bolsa giçki spektral toparlara degişli sowuk ýyldyzlar ýerleşýär.

Diagrammanyň ýokarky böleginde iň uly ýagtylanyjylygy bolan ýyldyzlar (*äpet we aşäpet*) ýerleşýändir. Diagrammanyň aşaky ýarysynda ýerleşen ýyldyzlar kiçi ýagtylanyjylyga eýedirler we olara *göýdükler* (*kaplik*) diýilýär. Ýyldyzlara iň baý bolan, diagrammanyň çep ýokarky böleginden sag aşaky bölegine tarap gidýän diagonala *esasy yzygiderlik* diýilýär. Onuň ugry boýunça iň gyzgyn ýyldyzlardan başlap (ýokarky böleginde) iň sowuk ýyldyzlara (aşaky böleginde) çenli ýyldyzlar ýerleşendir.

178-nji suratdan görnüşi ýaly, ýyldyzlar Gersprung-Ressel diagrammasynda diýseň deňölçegsiz paýlanandyr. Bu bolsa ýyldyzlaryň

ýagtylanyjylygy bilen temperaturasyň arasyndaky bar bolan kesgitli baglanyşyga laýyk gelýär. Bu baglanyşyk esasy yzygiderligiň ýyldyzlary üçin has anyk aňladylandyr. Ýöne diagrammany has ünsli öwrenmek, esasy yzygiderlige garanyňda has uly dispersiýa eýe bolan, birnäçe başga-da yzygiderlikleri ýüze çykarmaga mümkinçilik berýär. Bu yzygiderlikler ýyldyzlaryň käbir kesgitli toparlary üçin ýagtylanyjylygyň temperaturadan hususy baglylygynyň bardygyny görkezýär.

Seredilen yzygiderliklere ýagtylanyjylyk toparlary (klaslary) diýilýär we ýyldyzlaryň spektral toparlarynyň belliginden soň ýazylýan, I-den VII-ä çenli rim sifrleri bilen bellenilýär. Şeýlelik bilen, ýyldyzlaryň toparlara has doly bölünişi iki häsiýetnamadan, ýagny spektri häsiýetlendirýän temperaturadan we ýagtylanyjylykdan baglydyr. Mysal üçin, esasy yzygiderlige degişli Gün, ýagtylanyjylygy boýunça V topara degişlidir we onuň spektriniň doly belgilenilişi G2V. Ýyldyzlary toparlara bölmegiň häzirki wagtda ulanylýan bu görnüşine MK (Morgan, Kinan) diýilýär.

Ýagtylanyjylyk toparlary shema görnüşde 179-njy suratda şekillendirilen.

I ýagtylanyjylyk topary – aşa äpet ýyldyzlar. Bu ýyldyzlar spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasynda ýokarky bölekde ýerleşýärler we birnäçe yzygiderliklere bölünýärler.

II ýagtylanyjylyk topary – ýiti ýagty äpetler.

III ýagtylanyjylyk topary – äpetler.

IV ýagtylanyjylyk topary – subäpetler. Soňky üç topar diagrammada aşa äpetleriň ýerleşen çäkleri bilen esasy yzygiderligiň aralygynda ýerleşýärler.

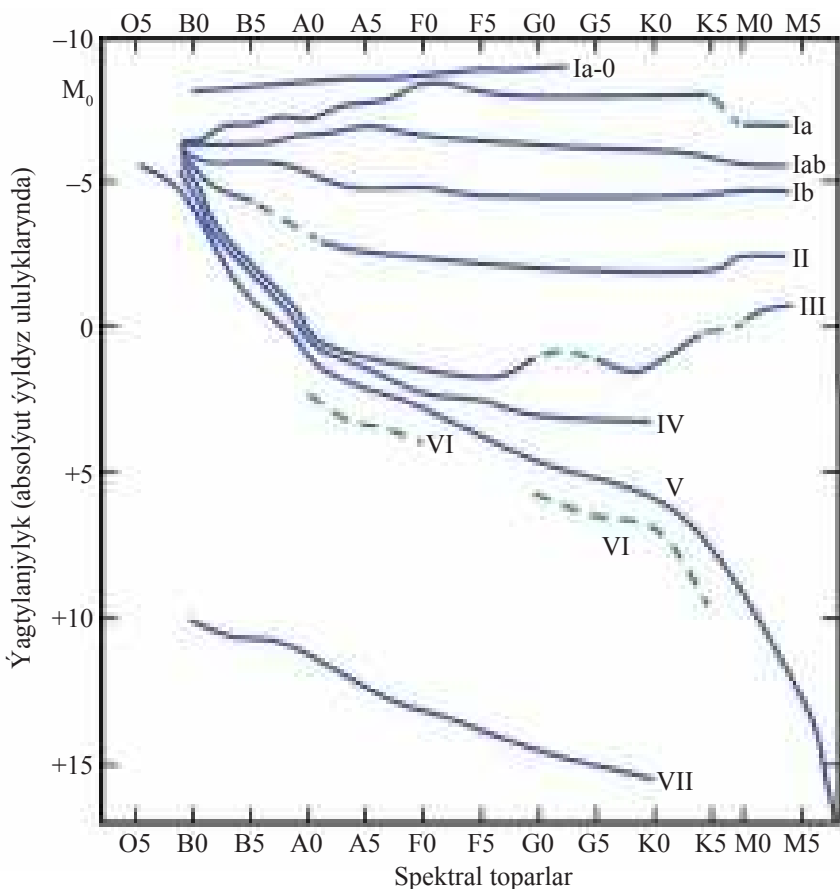
V ýagtylanyjylyk topary – esasy yzygiderligiň ýyldyzlary.

VI ýagtylanyjylyk topary – ýiti ýagty subkarlikler (göýdükler). Olar $A0$ topardan başlap, saga tarap esasy yzygiderlikden takmynan bir ýyldyz ululygy aşakdan gidýän, yzygiderligi emele getirýärler.

VII ýagtylanyjylyk topary – ak karlikler (ak göýdükler). Olaryň ýagtylanyjylygy örän kiçidir we diagrammanyň aşaky bölegini eýelýärler.

Ýyldyzyň berlen ýagtylanyjylyk toparyna degişliligi spektral toparlara bölünişiniň ýörite goşmaça alamatlary boýunça kesgitlenýär.





179-njy surat. Dürli ýagtylanyjylyk toparlarynyň ýyl-dyzlarynyň zygiderlikleriniň Gersprung-Ressel diagrammasynda ýerleşileri

Ýagtylanyjylyk toparyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän, spektral toparlara bölünişiniň kriterileri absolýut ýyl-dyz ululygyny (uzaklygy) kesgitlemegiň spektroskopiki usulynyň esasy bolup hyzmat edip biler.

Uzaklyklary kesgitlemegiň, ýyl-dyzyň ýagtylanyjylygy bilen spektrdäki kesgitli çyzyklaryň intensiwlikleriniň gatnaşygynyň arasyndaky bolan empiriki baglanyşyga esaslanan usulyňa, *spektral parallaxlar usuly* diýilýär.

Trigonometrik parallaxlardan tapawutlylykda, spektral parallaxlar, spektrleri öwrenilen bolsa, has uzakda ýerleşen obýekt-



ler üçin hem kesgitlenip bilner. Şonuň üçin bu usul astronomiýada aýratyn wajyp orun eýeleýändir.

§141. Ýyldyzlaryň temperaturalarynyň şkalasy barada düşünje

Adatça ýyldyzyň temperaturasy diýlip onuň effektiw temperaturasyna düşünilýär (§100 seret). Effektiw temperaturany kesgitlemek üçin şöhlelenmäniň doly akymyny we ýyldyzyň radiusyny bilmek zerurdyr. Ýokary takyklyk bilen bu iki ululygy, şolaryň esasynda bolsa effektiw temperaturany ýyldyzlaryň köp bolmadyk sany üçin kesgitläp bolýar. Galan ýyldyzlar üçin effektiw temperatura gyýtaklaýyn usullar, ýagny olaryň spektrlerini ýa-da ýyldyzyň effektiw temperaturalarynyň şkalasynyň kömegi bilen reňk görkezijilerini öwrenmegiň esasynda kesgitlenip bilner.

14-nji tablisa

Ýyldyzlaryň effektiw temperaturalarynyň şkalasy

Spektral toparlar	Ýagtylanyjylyk toparlary					
	Esasy yzygiderler (V)		Äpetler (III)		Aşa äpetler (I)	
	Reňk görkeziji, B-V	Effektiw temperatura, K	Reňk görkeziji, B-V	Effektiw temperatura, K	Reňk görkeziji, B-V	Effektiw temperatura, K
O5	−0,45	35000				
B0	−0,31	21000			−0,21	
B5	−0,17	15500				
A0	0,00	11000			0,00	
A5	+0,16	9800				
F0	0,30	8600			+0,30	6400
F5	0,45	7500				
G0	0,57	6500	+0,65	5700	0,76	5400
G5	0,70	5400	0,84	5000	1,06	4700
K0	0,84	4700	1,06	4300	1,42	4000
K5	1,11	4000	1,40	3600	1,71	3400
M0	1,39	3600	1,65	3400	1,94	2800
M5	+1,61	3000	+1,85	2800	+2,15	



Effektiw temperaturalaryň şkalasy diýlip ýyldyzlaryň şöhlenmesiniň reňk häsiýetnamalarynyň, mysal üçin, spektral toparynyň ýa-da reňk görkezijisiniň, effektiw temperatura baglylygyna aýdylýar. Edil şuna meňzeşlikde reňk temperaturasynyň şkalasy hem girizilýär. Eger temperaturalar şkalasy belli bolsa, onda gözegçiliklerden berlen ýyldyzyň spektral toparyny ýa-da reňk görkezijisini kesgitläp, onuň temperaturasyny tapmak ýeňildir.

Temperatura şkalasy effektiw temperaturasy belli bolan ýyldyzlar boýunça empiriki, şeýle hem ýyldyzlaryň käbir görnüşleri üçin nazary hasaplamalar boýunça kesgitlenýär.

Dürli ýagtylanyjylyk toparlara degişli ýyldyzlaryň effektiw temperaturalarynyň şkalasy 14-nji tablisada getirilen.

§142. Ýyldyzlaryň ölçeglerini kesgitlemegiň usullary

Ähli ýyldyzlaryň bizden örän uzakda ýerleşendikleri we hatda iň uly teleskoplaryň çözüp bilijilik ukybynyň çäk bahasyndan hem kiçidigi sebäpli, käbir ýyldyzlardan galanlarynyň radiuslaryny ölçemek mümkin däldir. Ýigrimi-otuz sany ýakyn ýyldyzlaryň burç diametrleri ýörite ýyldyz interferometrleriniň kömegi bilen kesgitlenendir. Bu enjamlaryň işleýiş prinsipi, aralary açyk zerkalolaryň jübüdinden serpigen ýyldyzyň ýagtylygynyň interferensiýasyna esaslanandyr. Aýry-aýry ýagdaýlarda bolsa ýyldyzyň burç diametrini ölçemek üçin, ýyldyzyň önüni Aý ýapan ýagdaýynda emele gelýän interferensiýa şekilini ulanyp bolýar. Tutulma üýtgeýän ýyldyzlar üçin çyzykly radiusy tutulmanyň dowamlylygy boýunça kesgitläp bolýar (§148 seret).

Eger uzaklygy r belli bolan ýyldyz üçin ýazgysy getirilen usullaryň haýsy hem bolsa biri boýunça sekuntlarda aňladylan burç diametri d'' tapylan bolsa, onda onuň kese-kesiginiň çyzykly ölçegi D formula boýunça hasaplap bolýar.

$$D = \frac{d'' \cdot r}{206265''}. \quad (10.13)$$

Gyýtaklaýyn ýol bilen ýyldyzyň ölçegleri diňe onuň bolometrik ýagtylanyjylygy L_{bol} we effektiw temperaturasy belli bolan ýagdaýynda tapylyp bilner. Hakykatdan hem, effektiw temperaturanyň kesgitlemesine görä (§100) ýyldyzyň üstüniň 1 sm^2 meýdanynyň ähli ugurlar boýunça şöhlendirýän energiýasynyň akymy deňdir

$$\varepsilon = \sigma T_{eff}^4.$$

Alan bu ululygymyzy ýyldyzyň üstüniň meýdanyna $4\pi R^2$ köpeldip, бүтін ýyldyzyň şöhlendirýän energiýasynyň doly akymyny alarys. Diýmek, ýyldyzyň ýagtylanyjylygy

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4. \quad (10.14)$$

Indi alnan aňlatmany ýagtylanyjylygy we radiusy bize belli bolan Gün üçin ulansak, onda Günüň effektiw temperaturasyny T_\odot bilen belläp, alarys:

$$L_\odot = 4\pi R_\odot^2 \sigma (T_\odot)^4 \quad (10.15)$$

(10.14) aňlatmany (10.15) aňlatma bölüp, taparys:

$$R = R_\odot \left(\frac{T_\odot}{T_{eff}} \right)^2 \sqrt{\frac{L}{L_\odot}}, \quad (10.16)$$

ýa-da logarifmirläp, alarys:

$$\lg \frac{R}{R_\odot} = \frac{1}{2} \lg \frac{L}{L_\odot} + 2 \lg \frac{T_\odot}{T_{eff}}.$$

Adatça ýyldyzyň radiusy we ýagtylanyjylygy Gün birliklerinde $R_\odot = 1$ we $L_\odot = 1$ aňladylýar. Onda

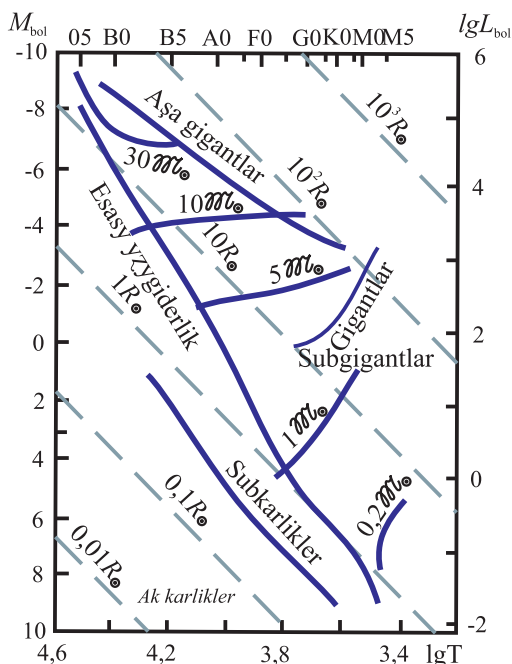
$$\lg R = \frac{1}{2} \lg L + 2 \lg \frac{T_\odot}{T_{eff}}. \quad (10.17)$$

Has uly ýyldyzlaryň kese-kesiginiň ölçegleri Günüň ölçeglerinden münlerçe we ondan hem köp esse uludyr (*VV Cep*-iň ölçegi *1600 esse*). Kit ýyldyz toparynda Leýtonyň açan ýyldyzy diametri boýunça Ýerden *10* esse kiçidir, neýtron ýyldyzlaryň (§159) ölçegleri bolsa onlarça kilometre deňdir.



§143. Radius-ýagtylanyjylyk-massa baglanyşygy

(10.17) formula ýyldyzyň üç sany wajyp häsiýetnamasyny – radiusy, ýagtylanyjylygy we effektiv temperaturany özara baglanyşdyrýar. Şonuň bilen birlikde biz spektr, ýagny temperatura bilen ýagtylanyjylygyň arasynda wajyp empiriki baglanyşygyň bardygyny bilýäris (Gerssprung-Ressel diagrammasy). Bu bolsa (10.17) formula girýän hemme üç ululygyň özbaşdak, baglanyşyksyz dældigini görkezýär we spektr-ýagtylanyjylyk diagrammadaky ýyldyzlaryň her bir yzygiderligi üçin spektral topar (temperatura) bilen radiusyň arasynda kesgitli gatnaşygy anyklamaga mümkinçilik berýär. Bu gatnaşygyň has aýdyň bolmagy üçin, 178-nji suratda şekillendirilen spektr-ýagtylanyjylyk diagrammany birneme özgerdeliň. Wizual absolýut ýyldyz ululygynyň ýerine absolýut bolometrik ýyldyz ululygyny, spektral toparyň ýerine bolsa degişli effektiv temperaturanyň logarifmini goýalyň. Şunlukda diagrammanyň umumy häsiýeti esasan saklanar. Bular ýaly diagrammada birdeň radiusy bolan ýyldyzlaryň ählisiniň ýagdaýy göni çyzyklar bilen



180-nji surat. Absolýut ýyldyz ululygy – temperaturanyň logarifmi diagrammasy



şekillendiriler, sebäbi (10.17) formulada $\lg L$ bilen $\lg T_{\text{eff}}$ arasynda çyzykly baglanyşyk bardyr. 180-nji suratda ýyldyzyň radiusyny (ölçeglerini) onuň ýagtylanyjylygy (absolýut ýyldyz ululygy) we spektri (effektiw temperaturasy) boýunça ýeňil kesgitlemäge mümkinçilik berýän, hemişelik radiuslaryň çyzyklary getirilen.

180-nji suratdan dürli ýyldyzlaryň radiuslarynyň örän uly çäklerde üýtgeýändigleri görünýär, ýagny äpet we aşä äpetler üçin ýüzlerçe, hatda münlerçe R_{\odot} -den başlap, ak karlikler üçin ($10^{-2} \div 10^{-3}$) R_{\odot} -e çenli aralyklarda üýtgeýär. Şeýlelik bilen, ýyldyzlaryň atmosferalarynyň temperaturasy bary-ýogy 10 esse tapawutlanýan bolsa, diametrleri boýunça bu tapawut birnäçe million essä ýetýär.

180-nji suratda esasy yzygiderlik, şeýle hem az derejede aşä äpetleriň yzygiderligi gönä ýakyn çyzyklar bilen şekillendirilendir. Bu bolsa esasy yzygiderligiň ýyldyzlary we aşä äpet ýyldyzlar üçin bolometrik ýagtylanyjylyk bilen radiusyň empiriki baglanyşygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Mysal üçin, esasy yzygiderligiň ýyldyzlarynyň köpüsi üçin

$$L_{\text{bol.}} = R^{5.2} \quad (10.18)$$

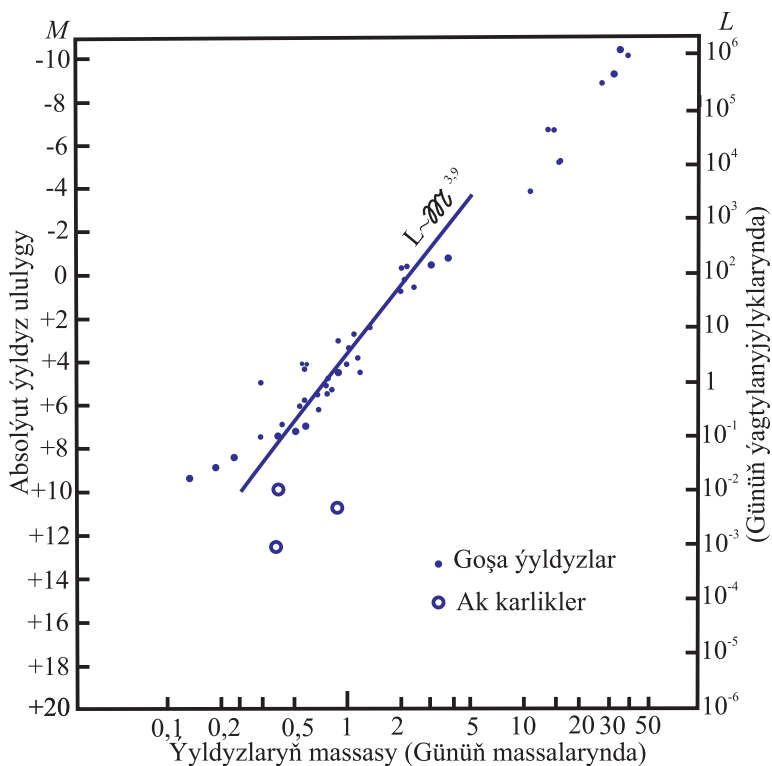
gatnaşyk ýerine ýetýär.

Ýyldyzlaryň has wajyp häsiýetnamalarynyň biri bolan massany ýeke ýyldyzlar üçin kesgitlep bolýan dälidir. Käbir ýagdaýlarda Kepleriň kanunynyň kömegi bilen goşa ýyldyz sistemasynyň düzüjileriniň massasyny kesgitlep bolýar (§154 seret). Şol sebäpli ýyldyzlaryň köp bolmadyk sany üçin, 181-nji suratda şekillendirilen, massa bilen bolometrik ýagtylanyjylygyň arasyndaky wajyp empirik baglanyşyk tapylandyr. Bu suratdaky göni çyzyk, esasy yzygiderlige degişli goşa sistemalaryň düzüjileriniň köpüsi üçin takmynan ýerine ýetýän, baglanyşygy şekillendirýär

$$L_{\text{bol.}} = M^{3.9}. \quad (10.19)$$

Bu formuladan esasy yzygiderligiň ýokarky böleginde, massalary Günün massasyndan onlarça esse uly massaly, has uly ýyldyzlaryň ýerleşýändigleri gelip çykýar (Plasketta ýyldyzy üçin $M > 60M_{\odot}$). Esasy yzygiderlik boýunça aşaklygyna gitdigimizçe ýyldyzlaryň massasy kemelýär. Giçki spektral toparlaryň karlikleriniň massasy Günün massasyndan kiçidir.





181-nji surat. Massa – ýagtylanyjylyk diagrammasy

$M < 0,02M_{\odot}$ bolanda madda ýyldyzy emele getirip bilmän, diňe gysylyp, planeta öwürlip bilýän bolmaly. UV Kit görnüşli lowurdaýan ýyldyzlaryň massasy bu çäk baha ýakyn (§151). (10.19) gatnaşyk, başga ýagtylanyjylyk toparlarynyň ýyldyzlary üçin meňzeş bolan gatnaşyklar bilen bilelikde hemme adaty ýyldyzlar üçin dogry diýip hasaplasak, onda massasy belli bolan ýyldyzlaryň hemmesini Gerssprung-Ressel diagrammasyna geçirip, birdeň radiuslaryň çyzyklarynyň alnyşy ýaly, birdeň massalaryň çyzyklaryny geçirmek bolar.

Şeýlelikde, spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasyny ýyldyzlaryň ýagdaýynyň diagrammasy hökmünde seredip, onuň kömegi bilen wajyp meseleleri çözüp bolyar. Mysal üçin, diagrammanyň ýyldyz «ilaty» has gür çäkleri ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň has dowamly tapgyrlaryna, aýdaly, esasy yzygiderlik tapgyryna degişlidigi

aýdyňdyr. Soňra, ýyldyzlar ewolýusiýasynyň tapgyrlarynyň birinden beýlekisine geçende öz häsiýetlerini, hususan hem ýagtylanyjylygyny üýtgedýär diýip hasaplalyň. Onda olar wagtyň geçmegi bilen, Gerssprung-Ressel diagrammasynda öz ýerleşen ýagdaýlaryny üýtgetmelidirler. Şunlukda olar mydama ýa-da iň bolmanda käbir periodyň dowamynda öz massasyny hemişelik saklaýan bolsalar, onda olaryň ewolýusiýasy kesgitli tapgyrlarda, 180-nji suratdaky hemişelik massa çyzyklaryň kesimleri bilen şekillendirilýän bolmalydyr. Bu ýerden bolsa ýyldyzyň Gerssprung-Ressel diagrammasynda ýerleşişinin nähili çuň ewolýusion manysynyň bardygy görünýändir.

§144. Ýyldyzlaryň gurluşlary we jümmüşlerindäki fiziki şertler

Eger ýyldyzyň massasy we radiusy belli bolsa, onda Günüň jümmüşindäki fiziki şertleri öwrenenimizdäki çemeleşmelerden ugur alyp, ýyldyzyň jümmüşindäki fiziki şertler barada düşünje alyp bileris (§112 seret). (9.10) formuladan görnüşi ýaly, ýyldyzyň jümmüşindäki T temperatura onuň M massasyna göni we R radiusyna bolsa ters proporsionaldygy görünýär. Hususan-da, ýyldyzyň merkezindäki T_0 temperatura üçin

$$T_0 = k \frac{M}{R} \quad (10.20)$$

ýazmak bolar. Bu ýerde k -proporsionallyk koeffisiýenti. Bu koeffisiýentiň diňe Güne meňzeş ýyldyzlar üçin takmynan ululygyny, $R = R_\odot$ we $M = M_\odot$ bolanda T_0 temperaturanyň takmynan $15\,000\,000\text{K}$ -e deň bolýandygy şertden ugur alyp, kesgitläp bolar. Bu ýerden esasy yzygiderligiň Güne meňzeş ýyldyzlary üçin merkezindäki temperatura

$$T_0 \approx 1,5 \cdot 10^7 \frac{M}{R}. \quad (10.21)$$

Esasy yzygiderligiň ýyldyzlary üçin (10.21) formuladaky M/R gatnaşygy (10.18) we (10.19) formulalaryň üsti bilen aňladyp bolýar. Onda

$$\frac{M}{R} = R^{1/3}. \quad (10.22)$$

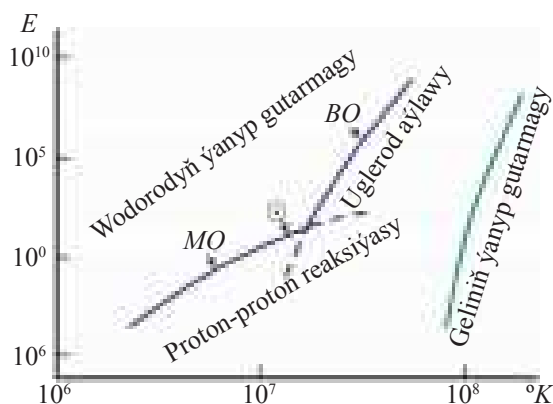


Diýmek, bular ýaly ýyldyzlar üçin:

$$T_0 = 1,5 \cdot 10^7 \cdot R^{1/3}. \quad (10.23)$$

180-nji suratdan görnüşi ýaly, esasy yzygiderlik boýunça ýokarlygyna süýşdügimizçe ýyldyzlaryň radiusy ulalýar. Şonuň üçin esasy yzygiderligiň ýyldyzlarynyň ýagtylanyjylygynyň artmagy bilen ýuwaş-ýuwaşdan jümmüşindäki temperatura hem artýandyr. Mysal üçin, *BOV* toparça degişli ýyldyzlaryň merkezindäki temperatura 30 million kelwin töweregi bolsa, *KOV* toparçanyň ýyldyzlary üçin 10 million kelwinden sähelçe kiçidir.

Temperaturanyň ululygyna ýyldyzlaryň jümmüşindäki ýadro reaksiýalarynyň häsiýeti güýçli baglydyr. 182-nji suratda proton-proton reaksiýasy we uglerod aýlawy netijesinde bölünip çykýan energiýanyň E mukdarynyň temperatura T baglylygy görkezilen we Günüň merkezine hem-de esasy yzygiderligiň, *B0* we *M0* spektral toparlara degişli iki ýyldyzynyň merkezine degişli şertler bellenendir. Bu çyzygyda Günüň ýerleşen ýagdaýyndan görnüşi ýaly, esasy yzygiderligiň giçki spektral toparlaryna (*G*, *K* we *M*) degişli ýyldyzlaryň jümmüşinde, edil Gündäki ýaly, ýadro energiýasynyň bölünip çykması esasan hem proton-proton reaksiýasy netijesinde bolup geçýändir. Irki spektral toparlaryň jümmüşlerindäki temperatura has ýokary we onlarça million kelwine ýetýän, gyzgyn ýyldyzlarynda esasy orny wodorodyň geliý elementine uglerod aýlawynyň hasabyna



182-nji surat. Ýadro reaksiýalarynyň energiýasynyň temperatura baglylygy

öwrülmesi eýeleýär. Bu reaksiýanyň netijesinde, proton-proton reaksiýasy bilen deňşdireniňde has köp energiýa bölünip çykýar, bu bolsa irki spetkral toparlaryň ýyldyzlarynyň uly ýagtylanyjylygyny düşündirýär.

Şeýlelik bilen, ýagtylanyjylyk-spektr diagrammasynyň dürli çäklerinde ýerleşen ýyldyzlaryň özleriniň gurluşlary bilen tapawutlanýandyklaryny çaklamak mümkindir. Çaklamanyň dogrudygyny deňagramly gaz konfigurasiýalaryny ýyldyzyň kesgitli himiki düzümi, massasy, radiusy we ýagtylanyjylygy üçin ýerine ýetirilen nazary hasaplamalar tassyklaýar (ýyldyzlaryň modelleri).

Esasy yzygiderligiň ýokarky böleginiň ýyldyzlary. Bular, massasy Günüň massasyndan uly bolan, şol sebäpli jümmüşindäki temperatura we basyş has giçki spektral toparlaryň ýyldyzlarynyňkydan uly bolan hem-de termoýadro energiýasynyň bölünip çykması uglerod aýlawynyň üsti bilen has çalt depginlerde bolýan, gyzgyn ýyldyzlardyr. Netijede, olaryň ýagtylanyjylygy hem uludyr, şonuň üçin olaryň ewolýusiýasy çalt bolup geçmelidir. Bu ýerden, esasy yzygiderlikde ýerleşen gyzgyn ýyldyzlaryň ýaş ýyldyzlar bolmalydygy barada netije çykarmak tebigydyr.

Uglerod aýlawynda energiýanyň bölünmesi temperaturanyň has ýokary derejesine ($\sim T^{20}$) proporsional, şöhlelenmäniň akymy bolsa, Stefan-Bolsmanyň kanunyna görä, T^4 proporsionallykda artýandygy sebäpli, ýyldyzyň jümmüşinde uglerod aýlawynda döreýän energiýany şöhlelenme daşyna çykaryp ýetişmeýär. Şol sebäpli energiýany maddanyň özi çykarmaly bolýar, madda garyşyp başlaýar we esasy yzygiderligiň uly (massiw) ýyldyzlarynyň jümmüşinde merkezi konwektiw ýadro emele gelýär. Massasy 10 sany Gün massasy-na deň bolan ýyldyzyň içki konwektiw gatlagynyň radiusy ýyldyzyň radiusynyň dördten birine barabardyr, merkezindäki dykzlyk orta dykzlykdan 25 esse uludyr. Ýyldyzyň konwektiw ýadrosynyň daşyndaky gatlaklary, edil Günüň şöhle energiýasynyň geçiş zolaгыndaky ýaly, şöhle deňagramlylyk ýagdaýynda bolýarlar.

Esasy yzygiderligiň aşaky bölegindäki ýyldyzlar. Bu ýyldyzlar gurluşy boýunça Güne meňzeşdir. Proton-proton reaksiýasynda bölünip çykýan energiýanyň kuwwatynyň temperatura baglylygy, şöhlelenmäniň akymynyň temperatura baglylygyna meňzeşdir,



ýyldyzyň merkezinde konweksiýa döreýän däldir. Esasy yzygiderligiň aşaky böleginde ýerleşen ýyldyzlaryň has sowuk, daşky gatlaklarynyň dury däldigi sebäpli galyň, daşky konwektiw zolaklary emele gelýär. Ýyldyz näçe sowuk boldugyça, maddanyň garyşmasynyň çuňlугy şonça-da uly bolýar. Eger-de Günüň fotosferadan aşaky gatlagynyň diňe 2%-i konweksiýa bilen gurşalan bolsa, onda massasy $0,6M_{\odot}$ bolan KV topara degişli karlik ýyldyzyň umumy massasynyň 10%-i maddanyň garyşmagyna gatnaşýar.

Subkarlikler. Bu ýyldyzlar agyr himiki elementleriň azlygy bilen tapawutlanýar we ýyldyzyň gurluşynyň onuň himiki düzümine baglylygynyň aýdyň mysalydyr. Ýyldyz maddasynyň dury däldigi onuň düzümindäki agyr elementleriň mukdaryna proporsionaldyr, sebäbi güýçli ionlaşan plazmada ähli ýeňil elementler tutuşlygyna öz elektronlaryndan mahrum bolýandyrlar we onuň atomlary kwanty siňdirip bilýän däldirler. Siňdirme esasan hem, öz elektronlarynyň bellibir bölegini ýitirmän saklan, agyr elementleriň ionlaşan atomlary tarapyndan amala aşyrylýar. Subkarlikler Galaktikanyň ösüşiniň irki tapgyrlarynda, entek ýyldyzlaryň jümmüşinde bolup ýetişmedik we şol sebäpli agyr elementlere garyp bolan maddadan emele gelen, garry ýyldyzlardyr. Şonuň üçin subkarlikleriň maddasy esasy yzygiderligiň ýyldyzlarynyň maddasy bilen deňeşdirenimizde has durulygy bilen tapawutlanýar, bu bolsa jümmüşinden şöhle energiýasynyň geçişini ýeňilleşdirýär, konwektiw zolagyň döremegini talap etmeýär.

Gyzyl äpetler (gigantlar). Bu ýyldyzlaryň örän birhilli дәl gurluşy bardyr. Şeýle netijä, esasy yzygiderligiň ýyldyzlarynyň wagtyň geçmegi bilen gurluşynyň nähili üýtgemelidigine seredip, gelmek ýenildir. Ýyldyzyň merkezinde wodorodyň ýanyp gutardygyça, energiýanyň bölünip çykýan çäkleri merkezden daşky gatlaklara tarap süýşýär. Netijede, energiýanyň bölünip çykýan ýukajyk gatlagy emele gelýär we diňe şol ýukajyk gatlakda ýadro reaksiýasy bolup bilýär. Ol ýyldyzy düýpli tapawutlanýan iki dürli: a) içki-tutuşlygyna wodoroddan mahrum bolan, «geliden» ybarat bolan we wodorodyň ýoklugy sebäpli, ýadro reaksiýalary bolmaýan; b) daşky-ýagny wodorodyň barlygyna garamazdan, temperaturanyň we basyşyň reaksiýanyň geçmegi üçin ýeterlik bolmadyk, böleklere bölýär. Ilkibaşda energiýanyň bölünýän gatlagynyň basyşy ýadrodakydan uludyr we şol sebäpli

ýadro gysylp başlaýar, grawitasiýa energiýasyny bölüp çykarmak bilen gyzyýar. Bu gysylma tä gaz öz häsiýetlerini ýitirip, üýtgän ýagdaýa, ýagny gazyň basyşynyň temperatura bagly däl ýagdaýyna çenli dowam edýär (§96). Şonda, ondan beýläk gysylmanyň önüni almak üçin gerek bolan äpet basyşy, dykzlygyň çendenaşa ulalmagy üpjün edýär. Massasy $1,3M_{\odot}$ bolan ýyldyzyň tutuşlygyna diýen ýaly geliden ybarat bolan ýadrosynyň emele gelýändigini hasaplamalar görkezýär. Şunlukda, tutuşlygyna diýen ýaly geliden ybarat ýadronyň temperaturasy, mümkin bolan, geliniň ugleroda öwrülme ýadro reaksiýasynyň başlanmagy üçin ýeterlik däl. Şonuň üçin geliden ybarat ýadro, ýadro energiýasynyň çeşmelerinden mahrum bolýar we ol izotermikdir. Ol özünde ýyldyzyň bütün massasynyň dördten birini saklaýar, ýöne onuň ölçegleri ýyldyzyň radiusynyň $1/1000$ bölegine deňdir. Ýadronyň merkezindäki dykzlyk 350 kg/sm^3 -a çenli ýetýär. Bular ýaly ýadronyň daşy, galyňlygy ýadronyň ölçeglerine deň bolan, energiýanyň bölünip çykması bolýan gatlak bilen gurşalandyr. Soňra galyňlygy $0,1$ radiusa deň bolan şöhle energiýasynyň geçiş zolagy ýerleşýär. Ýyldyzyň daşky gatlaklarynyň massasynyň takmynan 70% -i gyzyly äpet ýyldyzyň kuwwatly konwektiv zolagyny (gatlagyny) emele getirýär we ol ýyldyzyň radiusynyň $0,9$ bölegine deňdir.

Ak karlikler (göýdükler). Seredip geçilen gyzyly äpet ýyldyzlaryň düzüminiň wajyp özboluşlylygy, onuň jümmüşinde, massasy Gün massasyna deň ýa-da ondan az bolan, üýtgän gazdan ybarat, esasan hem geliden durýan, izotermiki ýadronyň, ýagny obýektiň emele gelmegidir.

Gersprung-Ressel diagrammasynda bu obýekt çep aşaky burçda ýerleşmelidir, sebäbi uly temperaturasynyň barlygyna garamazdan ölçegleriniň kiçiligi üçin (10^{-2} – $10^{-3}R_{\odot}$) kiçi ýagtylanyjylygy bolmalydyr. 179-njy we 180-nji suratlardan görnüşi ýaly, ol ak karlikleriň ýerleşen çäkleri bilen gabat gelýär.

Şeýlelikde, ak karlikler, termoyadro energiýasynyň wodorod çeşmelerini gutaran, aşa dykz, üýtgän ýyldyzlar bolmalydyr. Ak karlikleriň merkezindäki dykzlyk kub santimetrde ýüzlerçe tonna ýetip bilýär. Haýallyk bilen sowap, olar üýtgän gazyň ýylylyk energiýasynyň äpet goruny ýuwaş-ýuwaşdan şöhlelendirýärler. Ak karligiň massasynyň ulalmagy bilen onuň jümmüşindäki gazyň basyşy,



üýtgän gazyň basyşynyň ösüşine garanyňda has çalt ulalýan, öňkünden hem uly grawitasiýa güýjüne garşy durmalydyr. Şol sebäpli has uly ak karlikler güýçli gysylýandyr we olar üçin ýyldyzyň radiusynyň massa takyk baglylygy bardyr. Emma massanyň käbir bahalaryndan başlap üýtgän gazyň basyşy grawitasiýa güýjüni deňagramlaşdyryp bilmeýär. Bular ýaly ýyldyz çäksiz gysylýp (kollaps) bilýändir. Kollaps takmynan $2-3M_{\odot}$ -den uly massalarda gutulgysyzdyr. Eger-de neýtron ýyldyza öwürülme mümkinçiligi bolmadyk bolsa, onda kollaps $M > 1,2M_{\odot}$ bolanda gutulgysyz bolardy. Neýtron ýyldyza öwürülende üýtgän neýtron «gazyň» basyşy grawitasiýa güýçlerine garşy durmaga ukyply bolýar. Bu ýagdaýa geçmezden öň ýyldyz, aşa täze ýyldyzyň lowurdamasy hökmünde gözegçilik edilýän we onuň netijesinde ähli mümkin bolan ýadro energiýasy bölünip çykýan, maddanyň neýtronlar görnüşine geçmegini üpjün edýän, ýadro partlamasyny başdan geçirýändir. Emma 2-3 Gün massasyndan uly massalarda üýtgän neýtronlaryň basyşy hem grawitasiýa garşy durmaga ukypsyz bolýar. Indi ýyldyzyň dynuwsyz gysylmagyny saklap biljek hiç zat ýokdur. Gysylýan (kollapsirleýän) ýyldyzyň radiusy $2 GM/c^2$ -den kiçi bolanda aýratyn ýagdaý döremelidir. Bu ýerde c-ýagtylygyň tizligi. (2.20) formuladan görnüşi ýaly, bu ýagdaýda parabolik tizlik ýagtylygyň tizliginden uly bolýar. Başgaça aýdanymyzda hiç zat, iň bärkisi ýagtylyk kwanty hem ýyldyzy taşlap gidip bilmeýär. Bular ýaly obýektiň görünmeýän boljakdygy aýdyňdyr. Ýyldyzyň bular ýaly ýagdaýyna «gara girdap» diýilýär.

§145. Ýyldyzlaryň umumy gurluşy we atmosferalary

Spektroskopik usul bilen esasan hem ýyldyzlaryň fotosferasynyň we käbir ýagdaýlarda bolsa hromosferasynyň şöhlelenmesine gözegçilik edip bolýar. Ýyldyzlaryň atmosferasyndaky fiziki şertleri öwrenmek üçin Günüň fotosferasyny öwrenmek üçin ulanylan usullary peýdalanylýp bolmalydyr. Ýöne ýyldyzlara gözegçilik edip, düzgün boýunça, onuň ýagtylygynyň ýitilginiň diski boýunça paýlanyşyny kesgitläp bolmaýar. Şonuň üçin temperaturanyň optiki çuňluk boýunça üýtgemesini diňe nazary hasaplamalar boýunça kesgitläp bolýar.

Günüň mysalynda görşümüz ýaly, fotosferanyň anyk häsiýetnamalary ýyldyzyň effektiv temperaturasyna, massasyna we radiusyna baglydyr. §120-de beýiklik şkalasynyň

$$H = \frac{RT}{\mu g}$$

formula boýunça tapylýandygy görkezilipdi. Bu ýerde R – uniwersal gaz hemişeligi, g -agyrlık güýjüniň tizlenmesi (R_θ – ýyldyzyň radiusy):

$$g = G \frac{M}{R_\theta^2}.$$

Eger-de ähli ýyldyzlaryň temperaturalary we massalary birdeň bolan bolsalar, onda olaryň atmosferalarynyň ölçegleri radiusynyň kwadratyna proporsional bolardy. Hakykatda bolsa «massa-ýagtylanyjylyk-radius» arabaglanyşygyň esasynda onuň radiusyň kwadratyna däl-de birlikden sähelçe uly derejesine proporsionaldygy gelip çykýar.

Bu ýerden, spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasynyň ýokarky böleginde ýerleşen uly radiusly ýyldyzlaryň iň galyň, uly ölçegli atmosferalarynyň bolmalydygy gelip çykýar. Giçki spektral toparlaryň äpet ýyldyzlarynyň fotosferasynyň galyňlygy Günüňkiden ýüzlerçe, aşa äpet ýyldyzlaryňky bolsa on münlerçe esse uludyr.

Şonuň üçin, Günüň fotosferasynyň galyňlygy bary-ýogy birnäçe ýüz kilometr bolsa, esasy yzygiderligiň giçki spektral toparlarynyň ýyldyzlary üçin onuň ölçegleri münlerçe kilometre, äpetler üçin onlarça mün kilometre, aşa äpetler üçin bolsa millionlarça kilometrlerä ýetýändir. Başga bir tarapdan bolsa, massasy Günüň massasyndan sähelçe az bolan ak karlikler ölçegleri boýunça Günden takmynan ýüz esse kiçidir, atmosferasynyň ölçegleri bolsa Günüň atmosferasyndan on mün esse kiçidir we on metr töweregidir (radiusyň milliondan bir ülüşi).

Atmosferanyň ölçegleri (galyňlygy) bilen ýyldyzyň konwektiw gatlagynyň (gabygynyň) bolmagy baradaky sorag jebis baglanyşyklydyr. Bilşimiz ýaly, Günde fotosferadan aşakda konwektiw zolak bardyr. Gaty uly bolmadyk ýokary temperaturalarda konwektsiýasyz, diňe şöhle göýberme arkaly, ýyldyzyň jümmüşinden çykyp

atmosferasyna düşmeli ähli energiýa geçirilip bilinmeýär. Ondan başga-da, «sowuk» atmosferada konweksiýanyň döremegi, onuň energiýany has effektiv geçirmäge ukyplylygy sebäpli, ýenilleşýär. Has çuňda ýerleşen gatlaklardan ýokarlygyna galýan konweksiýanyň elementi öz düzüminde ionlaşan wodorody saklaýandyr we ol ýokarky sowuk gatlaklara diňe ýylylyk energiýasyny bermek bilen çäklenmän, neýtral ýagdaýa geçip, ionlaşma energiýasyny hem berýändir. Şonuň üçin, Günden has sowuk ýyldyzlarda wodoroddan ybarat konwektiw zolak has hem galyňdyr, konweksiýa bolsa has hem güýçlüdir. Başga bir tarapdan bolsa, Güne görä gyzgyn, atmosferasynyň ähli ýerinde wodorod ionlaşan ýagdaýynda bolan ýyldyzlarda konweksiýanyň döremegi çylşyrymlaşýar we şöhle göýberme arkaly energiýanyň zerur bolan geçirilişi üpjün edilýändigini üçin konwektiw zolak (gatlak) döreyän dälendir.

Dürli ýyldyzlaryň atmosferasynyň dykzlygyna seredeliň. Gün fotosferasynyň ρ dykzlygyny kesgitlemek üçin, biz §113-de galyňlygy H bolan atmosfera gatlagynda ýerleşen maddanyň mukdary duýarlyk dury dällige eýe bolmalydyr diýen çaklamadan peýdalanylýdyk (optiki galyňlygy $\tau \approx 1$). Başgaça aýdanymyzda

$$\rho \approx \frac{1}{\chi H}.$$

Eger hemme ýyldyzlaryň daşky gatlaklaryndaky maddanyň dury dalligi birdeň bolsa, onda dykzlyk H galyňlyga ters proporsional bolardy. Ýöne maddanyň dury dälligi temperatura güýçli baglydyr we has hem wajyby, agyrlyk güýji bilen kesgitlenýän, basyşa baglydyr. Agyrlyk güýji, ýagny basyş näçe uly boldugyça, dury dällik şonça-da güýçlüdir. Emma biziň ýaňy görşümüz ýaly, H ululygy agyrlyk güýjüne ters proporsionaldyr. Şonuň üçin (9.16) formula girýän χH köpeltmek hasyly az üýtgemelidir. Bu bolsa näme üçin ýyldyzlaryň fotosferalarynyň dykzlyklarynyň tapawudynyň olaryň galyňlyklarynyň tapawudyndan kiçidigini düşündirýär.

Hakykatdan hem, äpet we aşa äpet ýyldyzlaryň fotosferalary Günün fotosferasy bilen deňeşdirilende bary-ýogy 10 esse seýreklenendir, ak karlikleriň daşky gatlaklary bolsa 10 esse dykzdyr. Aşa äpetleriň we «sowuk» aşa äpetleriň atmosferalary has seýreklenendir. Olaryň fotosferalary Gününkiden ýüzlerçe mün esse seýreklen-

dirilendir, bu bolsa Günün hromosferasynyň ýokarky gatlaklaryndaky şertlere gabat gelýändir.

15-nji tablica

Ýyldyzyň gurluşyny häsiýetlendirýän fiziki ululyklar

Ýyldyzyň topary	Massa, $M_{\odot} = 1$	Ýagtylanylyk $L_{\odot} = 1$	Radius, $R_{\odot} = 1$	Ýyldyzyň merkezindäki şertler		Energiýanyň esasy çeşmesi	Fotosferadaky şertler		
				T_0 (K)	ρ_0 (g/sm^3)		H (km)	T (K)	ρ_0 (g/sm^3)
B0V	10	$3 \cdot 10^3$	4	$3 \cdot 10^7$	8	Uglerod aýlawy	10^3	$2 \cdot 10^4$	10^{-9}
G2V	1	1	1	$1,3 \cdot 10^7$	130	Proton-proton reaksiýasy	180	6000	10^{-7}
M0V	0,5	0,5	0,6	10^7	65	Proton-proton reaksiýasy	160	3300	$3 \cdot 10^{-7}$
K0 III	1,3	$2 \cdot 10^2$	20	$4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^5$	Ýadro b-n gabygyň aralygyn-da proton-proton reaksiýasy	$2 \cdot 10^4$	4100	10^{-8}
A0VII	0,9	10^{-3}	10^{-2}	10^7	$1,5 \cdot 10^7$	Ýylylyk energiýasy	0,01	10^4	10^{-6}

Şeýlelik bilen, bu bölümde biz Gersşprung-Ressel diagramasynda dürli ýagdaýlary eýeleýän, adaty ýyldyzlaryň gurluşyny we esasy aýratynlyklaryny öwrendik. Netije görnüşinde 15-nji tablisada has tipiki ýyldyzlaryň häsiýetnamalary getirilen.

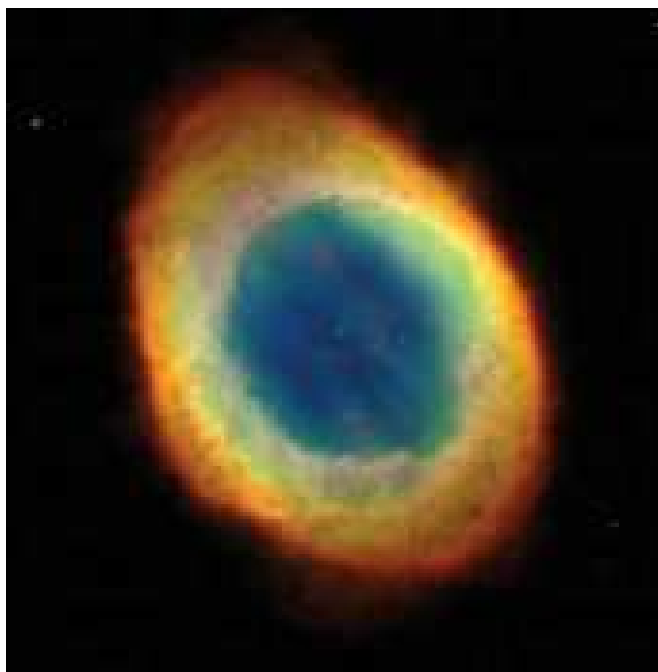
Bu ululyklaryň birinji üçüsi, şol sanda Gün hem esasy yzygiderlikde ýerleşendir, olaryň biri (B0 topar) esasy yzygiderlikde Güne garanyňda has ýokarda, beýlekisi bolsa (M0) has aşakda ýerleşendir. Dördünji ýyldyz bolsa massasy Günün massasyndan birneme ulurak bolan gyzyt apetdir. Başynjy, soňky ýyldyz bolsa spektr-ýagtylanyjy-

lyk diagrammasynda iň aşaky ýagdaýy eýeleýän ak karlikleriň wekilidir.

Tablisada getirilen ululyklaryň san bahalary deslapky hasaplamalardan alnandyr we amatly bolar ýaly tegeleklenendir.

2. PLANETAR DUMANLYKLAR

Gyzyl äpetleriň ak karliklere öwrülip bilýändiglerine mysal hökmünde görkezip bolýan ýyldyzlar bellidir. Bizi olar esasan hem daşlaryny gurşap alan gyzgyn gaz gabygynyň häsiýetnamalarynyň, şu bölümde öwrenjek, gaz dumanlyklarymyzyň häsiýetnamalaryny ýada salýandyklary sebäpli gyzyklandyrýarlar. Planetalaryň teleskopda gözegçilik edilýän disklerine daşky görnüşleriniň meňzeşligi sebäpli, olara planetar dumanlyklar diýilýär (*183-nji surat*). Olaryň merkezinde mydama ýadrony-spektri Wolf-Raye ýyldyzlarynyň ýa-da *O* spektral toparyň ýyldyzlarynyň spektrini ýada salýan, gyzgyn ýyldyzy görmek bolýar.



183-nji surat. Lira ýyldyz toparyndaky planetar dumanlyk

Görünýän ölçegleri Aýyň ölçeglerinden iki esse kiçi bolan, Gowa ýyldyz toparynda ýerleşen Heliks planetar dumanlygy iň ýakyn we uly obýektleriň biridir. $700pk$ uzaklyklarda bu ululyk dumanlygyň $3pk$ hakyky ululygyna deňdir. Şeýle hem belli dumanlyk hökmünde Lira ýyldyz toparynda ýerleşýän halka şekilli dumanlygy görkezmek bolar. Häzirki döwre çenli belli bolan planetar dumanlyklaryň köpüsiniň ölçegleri kiçidir we ortaça $0,05ps$ töweregidir, Galaktikanyň tekizliginde däl-de, esasan hem onuň merkezinde ýerleşendirler.

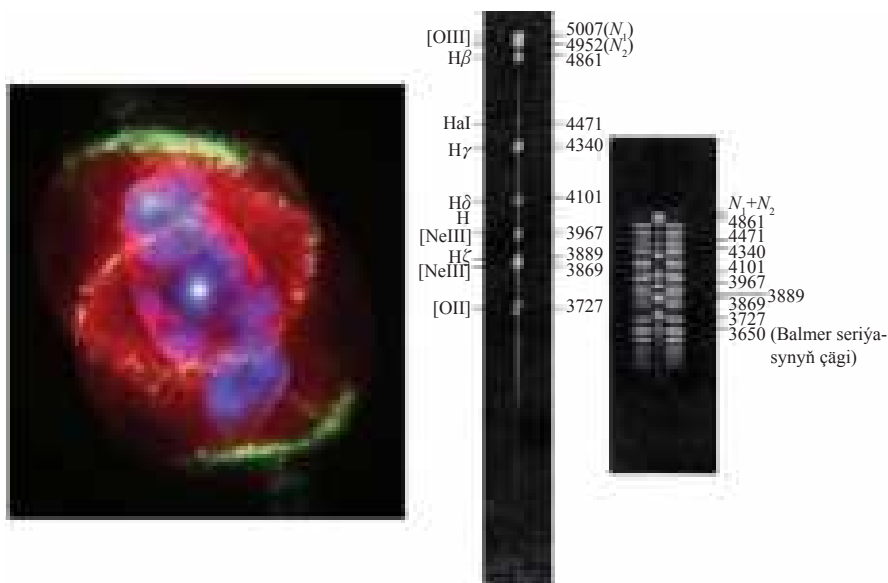
Planetar dumanlyklaryň spektrleri gowşak kontinuum görnüşde bolup, onuň fonunda ýiti emission çyzyklary görünýär. Özi hem bir we iki sapar ionlaşan kislorodyň we azotyň (N_1 we N_2 nebulýar çyzyklar) gadagan çyzyklary, wodorodyň we neýtral geliniň çyzyklary güýçli tapawutlanýarlar

Planetar dumanlyklaryň adatça simmetrik bolan we köplenç, halka ýaly görünýän daşky görnüşleri boýunça olaryň toroid görnüşini bolan hem-de ýyldyzy gurşap alan, güýçli seýreklandirilýän ionlaşan gaz gabygydygy barada netije çykarmak bolýar. Bu gabygyň spektrinde çyzyklaryň süýşmesi boýunça onuň orta bahasy sekuntda onlarça kilometr bolan tizlik bilen giňelýändigini ýüze çykarylandyr. Planetar dumanlygyň şöhlendiriýän energiýasynyň doly mukdary ýadronyň spektriň göze görünýän çäklerinde şöhlendiriýän energiýasyndan onlarça esse uludyr. Merkezi ýyldyzyň örän gyzgyn bolandygy we temperaturasynyň onlarça mün gradusa ýetýänligi sebäpli, onuň şöhlelenmesiniň maksimumy spektriň görünmeýän ultramelewşe çäginde ýatandyr (*184-nji surat*).

Dumanlygyň ýadrosynyň, ýagny merkezi ýyldyzyň şöhlendirýän gaty şöhleleri dumanlygyň seýreklandirilýän gazyny ionlaşdyrýar we ony on-ýigrimi mün kelwine ýetýän temperaturalara çenli gyzdyrýar. Öz gezeginde dumanlygyň atomlary, spektri gözegçilik edilýän emission çyzyklary we gowşak üznüksiz ýagtylanmany özünde saklaýan, gözegçilik edilýän şöhlelenmäni goýberýär.

Çaklamalara görä, planetar dumanlyklar käbir ýyldyzlaryň, mümkin, nädogry üýtgeýän, RV Öküzçe (Teles) görnüşli ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň tapgyrydyr. Planetar dumanlyk tapgyrynda ýyldyz daşky gabygyny taşlaýar we özüniň gyzgyn içki gatlaklaryny açýar.





184-nji surat. Çepde suraty getirilen NGC 6543 planetar dumanlygyň yşly (sagda) we yşsyz (merkezde) spektrleri. Sifralar angstremlerde aňladylan tolkun uzynlyklary

Olaryň giňelme tizliginden çen tutulsa, bu proses örän çalt bolup geçmelidir (20000 ýyl töweregi). Bu wagtyň dowamynda ýyldyzyň içinde hem düýpli üýtgeşmeler bolup geçýär. Käbir ýyldyzlar planetar dumanlyk tapgyryny geçip, ak karliklere öwrülýändir diýip çaklamaga esas bardyr.

3. GOŞA ÝYLDYZLAR

Asmanda, köplenç, iki ýa-da birnäçe ýakyn ýerleşen ýyldyzlar gabat gelyär. Olaryň käbirleri hakykatda biri-birinden uzakdadyr we özara fiziki baglanyşyklary ýokdur. Olar diňe asman sferasyna proyektirlenende örän ýakynyrlar we şonuň üçin olara *optiki goşa* ýyldyzlar diýilýär. Olardan tapawutlylykda, özara dartylma güýçleriniň täsiri netijesinde umumy massa merkeziniň daşynda aýlanýan, bir dinamiki sistemany emele getirýän ýyldyzlara *fiziki goşa* ýyldyzlar diýilýär. Kāwagtlar üç we ondan hem köp ýyldyzlaryň birleşmesine (üçem we kratnyý sistemalar) gözegçilik edilýär. Eger goşa ýyldyzyň düzüji-

leri biri-birinden ýeterlik uzaklaşan we aýrylykda görüňän bolsalar (biri-birinden seljerip bolýan bolsa), onda olara *wizual goşa ýyldyzlar* diýilýär. Käbir jebis jübütleriň düzüjilerini biri-birinden seljerip, aýry-aýrylykda görüp bolmaýar, olaryň goşalygy fotometrik (*tutulma üýtgeýän ýyldyzlar*) ýa-da spektroskopik (*spektral goşa ýyldyzlar*) usullar bilen ýüze çykarylyp bilner.

§146. Goşa sistemalaryň umumy häsiýetnamalary

Goşa ýyldyzlar tebigatda köp duş gelýärler. Şonuň üçin olary öwrenmek, diňe ýyldyzlaryň özleriniň tebigatyny anyklamak üçin wajyp bolman, ýyldyzlaryň emele gelmeginiň we ewolýusiýasynyň kosmogonik meseleleri üçin hem möhümdir.

Berlen goşa ýyldyzyň optiki goşa däl-de, fiziki baglanyşygynyň bardygyna göz ýetirmek üçin, bir ýyldyzyň beýleki ýyldyza görä orbita boýunça hereketini ýüze çykarmaga mümkinçilik berýän, uzak wagtyň dowamynda gözegçilikleri geçirmek zerurdyr.

Ýokary ähtimallyk bilen ýyldyzlaryň fiziki goşalygy olaryň hususy hereketleri boýunça kesgitlenip bilinýär (§83 seret). Fiziki jübüti emele getirýän ýyldyzlaryň (goşa ýyldyzyň düzüjileri) hususy hereketleri birmeňzeş diýen ýalydyr. Käbir ýagdaýlarda, özara orbital hereket edýän ýyldyzlaryň diňe biri görüňär. Bu ýagdaýda onuň asmandaky ýoly tolkunly çyzyk bolýar.

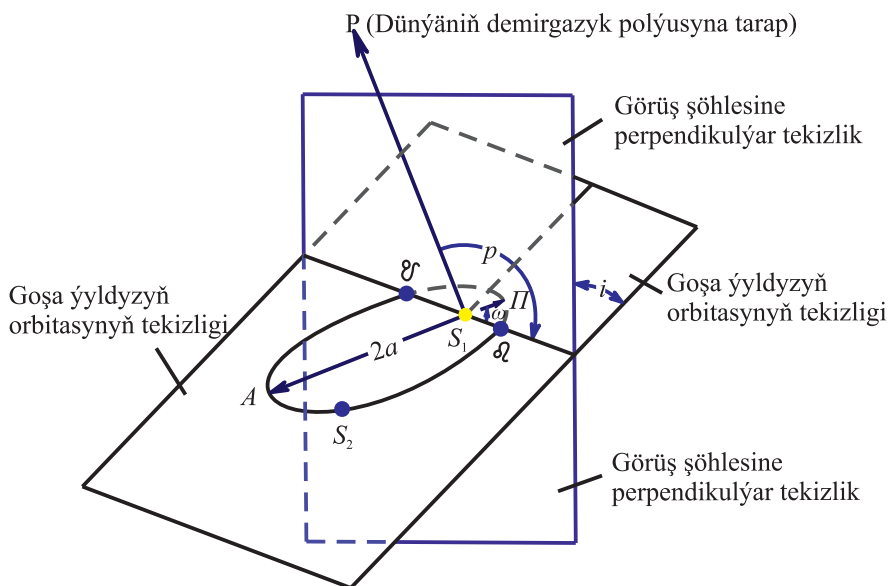
Häzirki wagtda onlarça mün jebis wizual goşa ýyldyzlar bellidir. Olardan diňe 10% üçin oňnositel orbital hereketini ynamly ýüze çykaryp bolýandyр we diňe 1% üçin (takmynan 500 ýyldyz) orbitalaryny ynamly hasaplap bolýandyр.

Goşa ýyldyzlaryň düzüjileriniň hereketi Kepleriň kanunlaryna laýyklykda bolup geçýändir (§34 seret), ýagny iki düzüjisi hem giňişlikde umumy massa merkeziniň töwereginde meňzeş elliptik orbitalar (ýagny birdeň ekssentrisiteti bolan) boýunça hereket edýär. Eger esasy ýyldyzy hereket etmeýär diýip hasaplasak, onda edil şolar ýaly ekssentrisiteti bolan elliptik orbita boýunça hemra-ýyldyz esasy ýyldyza görä hereket eder. Hemra ýyldyzyň esasy ýyldyza görä hereketiniň orbitasynyň uly ýarymoky, bu iki ýyldyzyň umumy massa merkezine görä hereketiniň orbitalarynyň uly ýarymoklarynyň jemine



deňdir. Ikinji bir tarapdan bolsa, bu iki ellipsiň uly ýarymoklarynyň ululyklary ýyldyzlaryň massalaryna ters proporsionaldyr. Şeýlelik bilen, eger gözegçiliklerden oňnositel hereketiň orbitasy belli bolsa, onda (2.23) formulanyň esasynda goşa ýyldyzyň düzüjileriniň massalarynyň jemini kesgitläp bolýar. Eger goşa ýyldyzyň düzüjileriniň massa merkezine görä hereketiniň orbitalarynyň uly ýarymoklary belli bolsa, onda massalarynyň gatnaşygyny, şeýle hem ýyldyzlaryň her biriniň massasyny aýry-aýrylykda tapyp bolýar. Astronomiýada goşa ýyldyzlary öwrenmegiň wajyplygy ýyldyzyň esasy häsiýetnamalarynyň biri bolan massany kesgitlemäge, ony bilenimizden soň bolsa, ýyldyzyň içki gurluşyny we atmosferasyny öwrenmäge mümkinçilik berýänligindedir.

Goşa ýyldyzyň orbitasynyň elementlerini kesgitlemek üçin S_2 hemra ýyldyzyň S_1 esasy ýyldyza görä hereketine seredeliň (185-nji surat). Ol uly ýarymoky $a = a_1 + a_2$ bolan ellipsdir, özi hem a_1 we a_2 ýyldyzlaryň her biriniň massa merkeziniň daşynda çyzýan ellipsleriniň uly ýarymoklarydyr. Esasy ýyldyz S_1 bu ellipsiň fokusynda ýerleşendir. Hemra ýyldyzyň orbitasynyň esasy ýyldyza iň



185-nji surat. Goşa ýyldyzyň orbitasynyň elementleri

ýakyn nokadyna *periastr* (*II*), garşysyndaky nokada bolsa *apoastr* (*A*) diýilýär.

Hemranyň esasy ýyldyza görä hereketi orbitanyň elementleri bilen, ýagny: orbitanyň ululygy – a uly ýarymokuň uzynlygy; görnüşi – orbitanyň e ekssentrisiteti; orbitanyň tekizliginiň gözegçä görä ýerleşşi – orbitanyň tekizliginiň ýapgytlyk i burçy, ýagny görüş şöhlesine perpendikulýar bolan tekizlik bilen emele getirýän burçy bilen häsiýetlendirilýär. Hemranyň hereketi bolsa adatça ýyllarda aňladylýan, P aýlanma periody bilen häsiýetlendirilýär. Eger hemranyň periastrdan geçme T pursady berlen bolsa, onda onuň islendik wagt pursadyndaky ýagdaýyny kesgitlep bolýandyr.

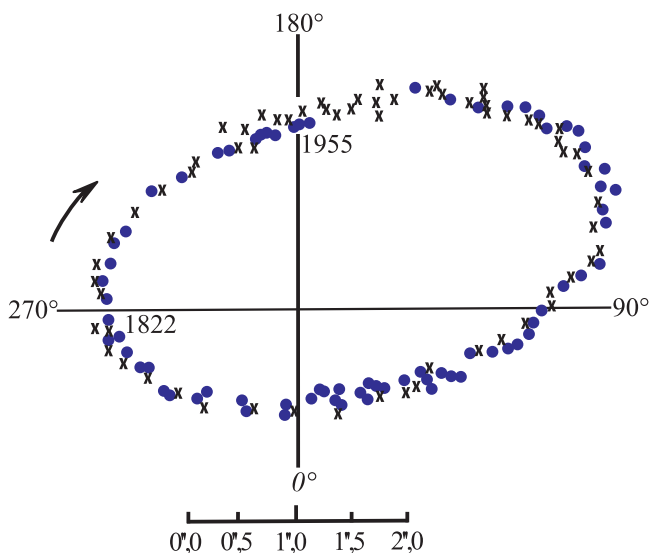
Bu baş elemente ýene-de iki, ýagny orbitanyň ellipsiniň uly okunyň giňişlikdäki ýerleşişini häsiýetlendirýän elementi goşmak gerekdir. Orbitanyň tekizligindäki burçlar onuň düwünleriniň birinden hasaplanylýar. Ω we Υ düwünler diýlip, orbitanyň gözegçilik edilýän tekizlik bilen kesişme nokatlaryna aýdylýar. Orbitanyň tekizliginde düwünden periastra çenli burça, periastryň uzaklygy (ω) diýilýär. Gözegçilik edilýän tekizlikde düwnüň ýagdaýy, dünýä polýusyna bolan ugurdan hasaplanýan düwne çenli bolan, pozision p burç bilen kesgitlenýär. Şeýlelik bilen, ýene-de iki element goşulýar: p – orbitanyň pozision burçy (mydama 180° -den kiçi); ω – periastryň uzaklygy.

§147. Wizual-goşa ýyldyzlar

Goşa ýyldyzyň goşalygy teleskopda gözegçilik edilende ýüze çykarylýan bolsa, onda oňa *wizual-goşa ýyldyz* diýilýär. Hemra-ýyldyzyň esasy ýyldyza görä hereketiniň görünýän orbitasyny, dürli döwürlerde geçirilen, dowamly gözegçilikleriň köplügi boýunça tapýarlar. Bu orbitalar, gözegçiliklerde goýberilen ýalňyşlyklaryň takyklygynda, mydama ellips bolup çykyandyr (*186-njy surat*).

Käbir ýagdaýlarda ýeke ýyldyzyň fon ýyldyzlara görä çylşyrymly hususy hereketiniň esasynda, onuň görünmeýän hemrasynyň bardygyny ýüze çykaryp bolýar. Hemra-ýyldyzyň görünmeýänligi onuň esasy ýyldyza ýakynlygy ýa-da has gowşak ýagtylanyjylygydyr. Şu usul bilen ilkinji ak karlikler-Siriusyň we Porsionyň hemralary açy-





186-njy surat. Wizual goşa ýyldyzyň (Uly Ýedigienň ýyldyzy) görünýän orbitasy

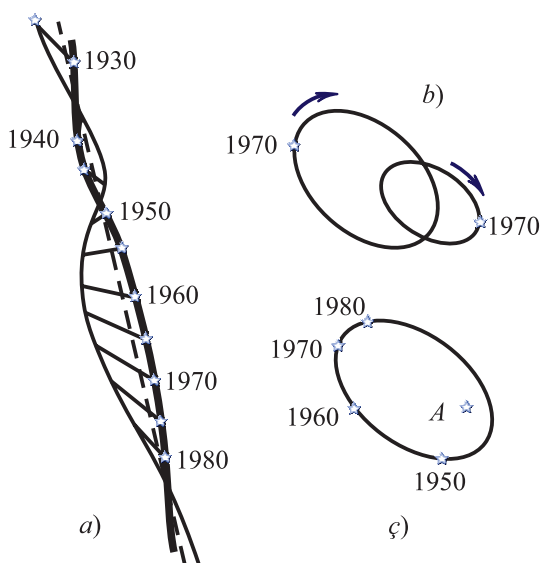
landyr. Siriusyň we hemrasynyň hususy hereketleri we görünýän orbitalary 187-nji suratda şekillendirilen.

Wizual-goşa ýyldyzyň görünýän orbitasy onuň hakyky orbitasynyň gözegçilik edilýän tekizlige proyeksiýasydyr. Şol sebäpli orbitasynyň ähli elementlerini kesgitlemek üçin, ilki bilen i ýapgytlyk burçuny bilmek zerurdyr. Bu burçy eger-de ýyldyzlaryň ikisi hem görünýän bolsa tapyp bolýar. Ony kesgitlemek, görüş şöhlesine perpendikulýar proyeksiýada esasy ýyldyz görünýän orbitanyň ellipsiniň fokusynda ýerleşmän, ellipsiň içinde, başga nokatda ýerleşýändigine esaslanýar. Bu nokadyň ýagdaýy i ýapgytlyk burçy we ω periastryň uzaklygy bilen anyk kesgитlenýär. Seýlelik bilen, i we ω elementleri, seýle-de e ekssentrisiteti kesgitlemek geometrik meselä öwrülýär. P , T we p elementler gözegçiliklerden göni kesgитlenýärler.

Orbitanyň uly ýarymokunyň hakyky a we görünýän a' ululyklarynyň

$$a = a' \cos i \quad (10.24)$$

arabaglanyşygy bardyr. Gözegçiliklerden a' ululyk, diýmek a ululyk hem burç ölçeg birliklerinde alynýar. Diňe ýyldyzyň parallaksyny



187-nji surat. Siriusyň we onuň hemrasynyň hereketi.

- a) Siriusyň (ýasy çyzyk), hemrasynyň (inçe çyzyk) we olaryň umumy massa merkeziniň (punktir çyzyk) hususy hereketleri; b) esasy we hemra ýyldyzlaryň umumy massa merkeziniň töwereginde hereketiniň görünýän orbitalary; c) esasy ýyldyza görä hemra ýyldyzyň orbitasy

bilip, uly ýarymokyň bahasyny astronomik birliklerde kesgitläp bolýar.

60000-den köpräk wizual-goşa sistemalar hasaba alnandyr. Olardan takmynan 2000 üçin orbital hereketi kesgitlenendir. Ýöne olardan periodlary 500 ýyldan uly bolmadyk, diňe 500 töweregi obýekt üçin orbitalary ygtybarly hasaplanandyr.

§148. Tutulma üýtgeýän ýyldyzlar

Tutulma üýtgeýän ýyldyz diýip, teleskopyň kömegi bilen goşalygyny seljerip bolmaýan, goşa sistemanyň bir düzüjisiniň Ýerdäki gözegçi üçin beýleki düzüjisiniň önüni periodiki tutmagy sebäpli, görünýän ýyldyz ululygy üýtgeýän, jebis ýyldyz jübütine aýdylýar. Şonda ýagtylanyjylygy güýçli bolan ýyldyza esasy, gowşagyna bolsa hemrasy diýilýär. Oňa mysal edip, Algoly (Perseyiň β -sy) we Liranyň β ýyldyzlaryny görkezmek bolar. Yzygiderli bolup geçýän,



esasy ýyldyzyň hemrasy tarapyndan we hemra ýyldyzyň esasy ýyldyz tarapyndan tutulmagy sebäpli, tutulma goşa ýyldyzlaryň jemleýji görünýän ýyldyz ululygy periodiki üýtgeýär.

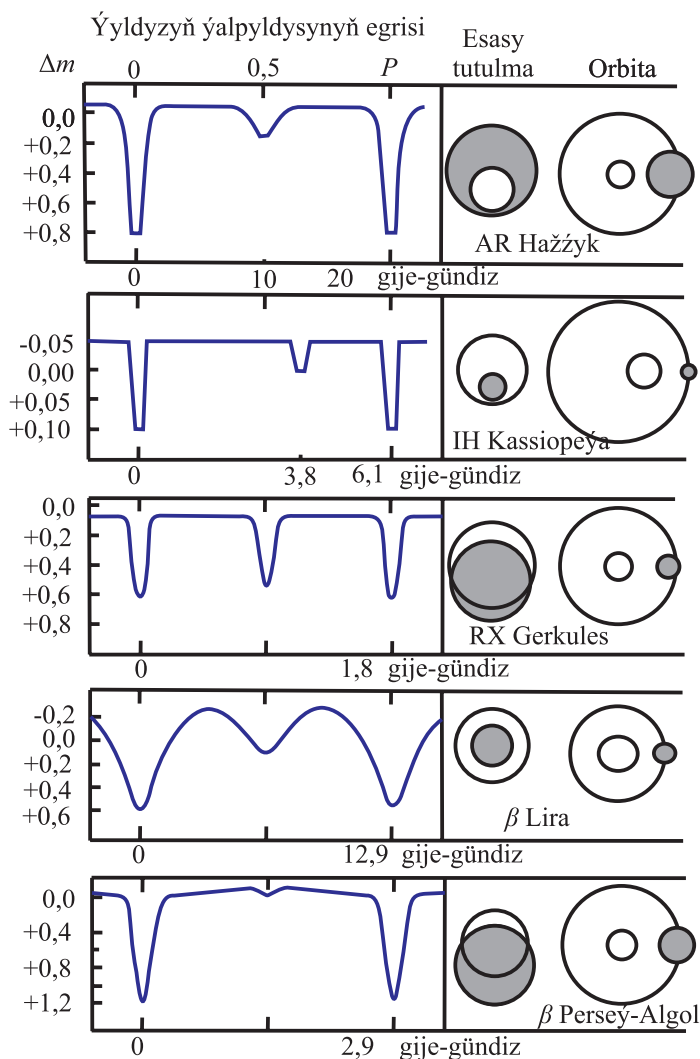
Ýyldyzyň şöhlelenmesiniň akymynyň wagta görä üýtgemesini şekillendirýän çyzyga ýalpyldynyň egrisi diýilýär. Ýyldyzyň görünýän ýyldyz ululygynyň in kiçi bahasyna eýe bolýan wagt pursadyna maksimum döwri, in uly bahasyna eýe bolýan pursadyna bolsa minimum döwri diýilýär.

Minimumdaky we maksimumdaky ýyldyz ululyklarynyň tapawudyna amplituda, iki yzygiderli maksimumlaryň ýa-da minimumlaryň wagt aralygyna bolsa üýtgeme peridy diýilýär. Üýtgeme peridy Algol üçin 2 gün 20 sagat 49 minut, Liranyň β ýyldyzy üçin 12 gün 21 sagat 48 minut.

Tutulma üýtgeýän ýyldyzyň ýalpyldysynyň egrisiniň häsiýeti bir ýyldyzyň beýleki ýyldyza görä orbitasynyň elementlerini, sistemanyň düzüjileriniň-ýyldyzlaryň otnositel ölçeglerini kesgitlemäge, käbir ýagdaýlarda bolsa olaryň şekilleri, ýagny görnüşleri barada düşünje almaga mümkinçilik berýär. 188-nji suratda käbir tutulma-üýtgeýän ýyldyzlaryň ýalpyldylarynyň egrisi we olaryň esasynda tutulma-üýtgeýän ýyldyzyň düzüjileriniň hereketiniň alnan suraty görkezilen. Çyzgyda getirilen egrileriň ählisinde iki sany minimum bardyr. Olaryň biri, has çuňy, ýagny esasy, hemra-ýyldyzyň esasy ýyldyzyň öňüni tutmasyna, beýlekisi, gowşagy, esasy ýyldyzyň hemra-ýyldyzyň öňüni tutmasyna degişlidir.

Ýalpyldy egrileriniň anyk öwrenilmegi netijesinde tutulma-üýtgeýän ýyldyzlaryň düzüjileri barada şu maglumatlary alyp bolýar:

1. Tutulmanyň häsiýetnamalary (bölekleyin, doly ýa-da merkezi) ýyldyzlaryň ölçegleri we orbitanyň i ýapgytlygy bilen kesgitlenýär. Haçan-da $i = 90^\circ$ bolanda, tutulma merkezidir, ýagny Liranyň β ýyldyzynyňky ýalydyr (*188-nji surat*). Haçan-da bir ýyldyzyň diskiniň öňi beýleki ýyldyzyň diski bilen tutuşlygyna ýapylan ýagdaýynda, ýalpyldylynyň egrisiniň degişli çäginin häsiýetli tekiz görnüşi bardyr (IH Kassiopeýa). Bu bolsa goşa sistemanyň şöhlelenmesiniň umumy akymynyň kesgitli wagtyň dowamynda, ýagny kiçi ýyldyzyň uly ýyldyzyň diskiniň önünden ýa-da arka tarapyndan geçme wagtynyň dowamynda hemişelikdigini, üýtgemeyändigini görkezýär. Diňe



188-nji surat. Tutulma – üýtgeýän ýyldyzlaryň ýalpyldylarynyň egrisi we tutulma wagtynda ýyldyzlaryň ýerleşişleri

bölekleyin tutulma ýagdaýynda minimumlar ýiti bolýar (*RX Gerkules* ýa-da *Persey*ň β ýyldyzynyňky ýaly).

2. Minimumlaryň dowamlylygynyň esasynda sistemanyň düzüjileriniň R_1 we R_2 radiuslarynyň ululyklaryny, tutulmanyň dowamlylygynyň ýyldyzlaryň diametrlerine proporsional bolany üçin, orbitanyň uly ýarymokunyň üleşlerinde kesgitleýäris.



3. Eger tutulma doly bolsa, onda minimumlaryň çuňluklarynyň gatnaşygy boýunça ýagtylanyjylyklaryň gatnaşygyny kesgitläp bolýar, radiuslary belli bolan ýagdaýynda bolsa, sistemanyň düzüjileriniň effektiw temperaturalarynyň gatnaşygyny hem kesgitläp bolýar.

4. Esasy minimumyň merkezinden ikilenç minimumyň merkezine çenli bolan wagt aralygynyň, ikilenç minimumyň merkezinden indiki esasy minimumyň merkezine çenli bolan wagt aralygyna bolan gatnaşygy, orbitanyň e ekssentrisitetine we ω periastryň uzaklygyna baglydyr. Has takyk aýdanymyzda, ikilenç minimumyň bolmagy (düşmegi) $e \cos \omega$ köpeltmek hasylyna baglydyr. Eger ikilenç minimum iki esasy minimumlaryň deň ortasynda ýerleşen bolsa (*RX Gerkules*), onda orbita görüş şöhlesine görä simmetrikdir we hususy halda töwerek bolup biler. Ikilenç minimumyň asimmetriýasy $e \cos \omega$ köpeltmek hasylyny tapmaga mümkinçilik berýär.

5. Ýalpyldynyň egrisiniň iki minimumynyň aralygynda käwagtlar gözegçilik edilýän ýapgytlygy, bir ýyldyzyň şöhlenenmesiniň beýleki ýyldyz tarapyndan serpikdirme hadysasyna mukdar taýdan baha bermäge mümkinçilik döredýär (Liranyň β ýyldyzy).

6. Ýalpyldysynyň egrisiniň Liranyň β ýyldyzynyňky ýaly endigan üýtgemesi, goşa ýyldyzlaryň örän ýakyn düzüjileriniň daşgyn täsiri netijesinde ýüze çykyan, ýyldyzlaryň ellipsoid görnüşleriniň bardygyny görkezýär. Bular ýaly sistemalara Liranyň β ýyldyzy we Uly Ýedigeniň W ýyldyzy ýaly ýyldyzlar degişlidir. Bu ýagdaýda ýalpyldynyň egrisiniň görnüşi boýunça ýyldyzyň şekilini kesgitläp bolýar.

7. Ýalpyldynyň egrisiniň minimumlarda görnüşiniň has anyk öwrenilmegi, käbir ýagdaýlarda ýyldyzyň diskiniň gyzalaryna tarap garalmagynyň kanuny barada netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Bu hadysany ýüze çykarmak örän çylşyrymlydyr. Emma Günden tapawutlylykda, ýyldyzlaryň diskini boýunça ýitilgiň paýlanyşyny öwrenmekde bu usul ýeke-täkdir.

Netijede, tutulma-üýtgeýän ýyldyzyň ýalpyldysynyň egrisiniň görnüşi boýunça sistemanyň aşakdaky elementlerini we häsiýetnamalaryny kesgitläp bolýar: i -orbitanyň ýapgytlygy; P – periody; T – esasy minimum döwrüni; e -orbitanyň ekssentrisitetini; R_1 we R_2 – uly ýarymokuň üleşlerinde aňladylan, düzüjileriň radiuslary;

Liranyň β ýyldyzy görnüşliler üçin-ýyldyzlaryň şekilini görkezýän, ellipsoidleriň eksentrisitetleri; düzüjileriň ýagtylanyjylyklarynyň L_1/L_2 gatnaşygyny ýa-da temperaturanyň T_1/T_2 gatnaşygyny.

Ýyldyzlaryň käbir aýratyn görnüşleri üçin (mysal üçin, Wolf-Raye), eger olar tutulma-üýtgeýän ýyldyzlar bolsa, onda birnäçe goşmaça häsiýetnamalary kesgitlep bolýar.

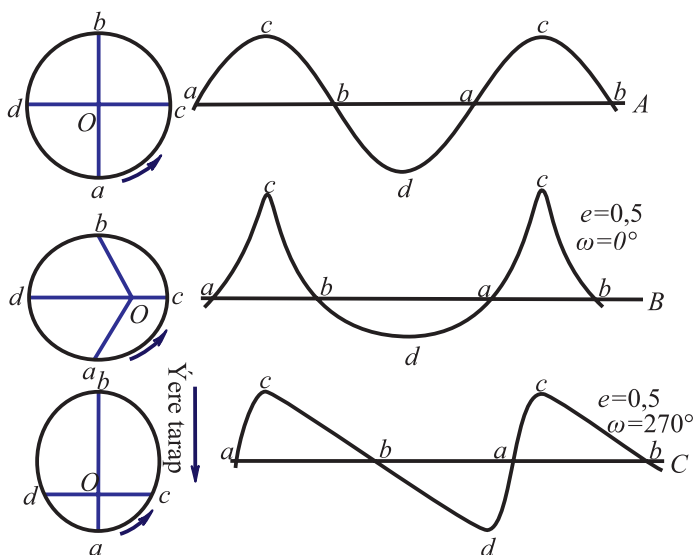
Bu ululyklary kesgitlemek örän çylşyrymly meseledir we käbir ýagdaýlarda soňuna çenli çözmek başardýan däldir. Adatça, ýalpyldynyň egrisiniň umumy görnüşi boýunça birinji ýakynlaşmada orbitanyň görnüşi we giňişlikde takmynan ýerleşişi kesgитlenýär, ondan soňra orbitanyň elementleri takyk hasaplanýar.

Häzirki döwürde belli bolan, tutulma-üýtgeýän ýyldyzlaryň içinde minimal period bir sagatdan kiçi, maksimal period 57 ýyla deňdir. Tutulma goşa ýyldyzlar baradaky maglumatlaryň has doly we ygtybarly bolmagy üçin fotometrik gözegçilikleri spektral gözegçilikler bilen doldurmak zerurdyr.

§149. Spektral-goşa ýyldyzlar

Käbir ýyldyzlaryň spektrlerinde spektral çyzyklaryň periodiki ikä bölünmesine ýa-da ýerleşen ýagdaýynyň üýtgemesine gözegçilik edilýär. Eger bu ýyldyzlar tutulma-üýtgeýän bolsalar, onda çyzyklaryň üýtgame periody ýalpyldynyň üýtgame periodyna deň bolýar. Şunlukda birleşme pursatlary, haçan-da iki ýyldyz hem görüş şöhlesine görä perpendikulýar hereket edenlerinde, spektral çyzyklaryň orta ýagdaýyndan gyşarmasy nola deňdir. Galan wagt pursatlary iki ýyldyzyň spektrleri üçin umumy bolan, spektral çyzyklaryň ikä bölünmesi gözegçilik edilýär. Çyzyklaryň ikä bölünmesi iň uly bahasyny goşa sistemanyň düzüjileri uly şöhle tizligine eýe bolanda, ýagny düzüjileriň biri gözegçä tarap, beýlekisi bolsa gözegçiden garşylykly tarapa hereket edenlerinde alýar. Eger gözegçilik edilýän spektr diňe ýeke ýyldyza degişli bolsa (ikinji ýyldyzyň spektri gowşaklygy sebäpli görünmeýär), onda çyzyklaryň ikä bölünmesiniň ýerine çyzyklaryň saga-çepe (spektriň kä gyzyl kä gök bölegine) süýşmesi gözegçilik edilýär. Şöhle tizliginiň, spektral çyzyklaryň süýşmesi boýunça kesgитlenen, wagta baglylygyna şöhle tizliginiň





189-njy surat. Şöhle tizlikleriniň egrileriniň spektral goşa ýyldyzlaryň orbitalarynyň görnüşine we ýerleşişine baglylygy

egrisi diýilýär. 189-njy suratda şekillendirilen her bir ýagdaý üçin sag tarapynda degişli şöhle tizliginiň egrisi getirilen. Şöhle tizliginiň egrisiniň görnüşü diňe iki sany häsiýetnama: orbitanyň e ekssentrisite-ti we periastryň ω uzaklygy bilen kesgitlenýär.

Şeýlelik bilen, eger-de şöhle tizliginiň egrisi belli bolsa, onda bu iki parametri bilelikde ýa-da aýry-aýrylykda kesgitläp bolýar.

Goşalygyny diňe spektral gözegçilikleriň esasynda anyklap bol-ýan ýyldyzlara spektral-goşa diýilýär. Orbitalarynyň tekizligi görüş şöhlesi bilen 90° töweregi burç emele getirýän, tutulma-üýtgeýän ýyl-dyzlardan tapawutlylykda, spektral-goşa ýyldyzlar bu burç 90° -dan köp tapawutlananda hem gözegçilik edilýär. Eger orbitanyň tekizligi görüş şöhlesine perpendikulýar bolan, gözegçilik edilýän tekizlige golaý bolanda, ýyldyzlaryň hereketi çyzyklaryň duýarlyk süýşmesini döretmeýär we diňe şonda ýyldyzyň goşalygyny ýüze çykaryp bol-maýar.

Eger orbitanyň tekizligi görüş şöhlesinden geçýän bolsa ($i = 90^\circ$), onda spektral çyzyklaryň maksimal süýşmesi, sistemanyň massa merkezine görä orbitanyň diametral garşylykly iki nokadynda, ýyldyzlaryň hereketiniň doly V tizliginiň bahasyny kesgitlemäge

mümkinçilik berýär. Bu ululyklar şöhle tizliginiň egrisiniň ekstremumlarydyr. Şöhle tizlikleriniň egrisiniň görnüşi boýunça periastryň ω uzaklygy we ekssentrisitet belli bolany üçin, elliptik hereketiň nazarýeti boýunça orbitanyň ähli elementlerini kesgitläp bolýar. Eger-de $i \neq 90^\circ$ bolsa, onda gözegçiliklerden kesgitlenilýän şöhle tizlikleri $V_r = V \sin i$ deňdir. Şonuň üçin, spektroskopik usul bilen orbitanyň çyzykly parametrleriniň absolýut ululyklaryny kesgitläp bolýan hem bolsa (kilometrlerde aňladylan), olaryň hemmesi spektroskopik gözegçiliklerden kesgitläp bolmaýan, näbelli $\sin i$ köpeldijini saklaýandyr.

Aýdylanlardan görnüşi ýaly, haçan-da şöhle tizlikleriniň egrisi tutulma-üýtgeýän ýyldyzlar üçin belli bolanda (bu ýagdaý üçin i burçy kesgitläp bolýar), orbitanyň elementleri we ýyldyzlaryň häsiýetnamalary has doly we ygtybarly kesgitlenýär. Şunlukda, hemme çyzykly ululyklar kilometrlerde kesgitlenýär. Ýyldyzlaryň diňe ölçegleri bilen görnüşleri däl-de, massalaryny hem kesgitläp bolýar.

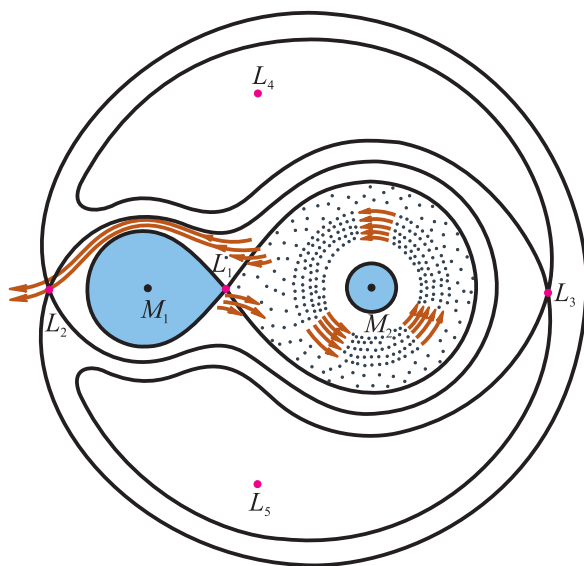
Häzirki döwürde goşalygy diňe spektral gözegçilikler esasynda kesgitlenen 2500 töweregi ýyldyz bellidir. Olaryň 750-si üçin aýlanma periodyny we orbitanyň görnüşini kesgitlemäge mümkinçilik berýän şöhle tizliginiň egrisini almak başardandyr.

Spektral-goşa ýyldyzlary öwrenmek has wajypdyr, sebäbi ol uzakda ýerleşen uly ýagtylanyjylygy bolan obýektleriň, şeýle hem has massiw ýyldyzlaryň massalary barada düşünje almaga mümkinçilik berýär.

Jebis goşa sistemalar. Aralaryndaky uzaklyk öz ölçegleri bilen deňeşdirerlik bolan ýyldyz jübüti jebis goşa sistemany emele getirýär. Şunlukda sistemanyň düzüjileriniň arasynda özara daşgyn täsiri wajyp orun eýeläp başlaýar. Daşgynlary ýüze çykarýan güýjüň täsiri netijesinde ýyldyzlaryň ikisiniň hem üstleri sferik görnüşini üýtgedip, ellipsoidal görnüşi alýar we olarda, edil Ýerde ummanlarda döreýän Aý daşgynlaryna meňzeş, bir-birine ugrukdyrylan daşgyn gişleri döreýär.

Gazdan ybarat bolan jisimiň kabul edýän şekili, grawitasion potensialyň birmeňzeş ululyklaryna eýe bolan nokatlardan geçýän üst bilen kesgitlenýär. Oňa ekwipotensial üst diýilýär. Gaz ekwipotensial üst boýunça erkin akyp bilýändir, bu bolsa jisimiň deňagramly





190-njy surat. Liranyň β -synyň jebis goşa sistemasy. $M_1 = 63M_\odot$, $M_2 = 42M_\odot$, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 – Lagranžyň nokatlary

şekilini kesgitleýär. Aýlanmaýan, ýeke ýyldyz üçin ekwipotensial üstüň, merkezi massa merkezi bilen gabat gelýän, konsentrik sferalardygy aýdyňdyr. Bu bolsa adaty ýyldyzlaryň sferik görnüşiniň bolmagyny düşündirýär. Jebis goşa sistema üçin ekwipotensial üstüň çylşyrymly görnüşü bardyr we egrileriň birnäçe sany maşgalasyny emele getirýändir. Olaryň häsiýetnamalaryny, bu maşgalalary biri-birinden çäklendirýän kritiki üstleriň kese-kesigine ünsli seretsek, göz önüne getirip bolýar (190-njy surat).

Bu üstleriň iň içkisi sekizlik görnüşli bolup, ýyldyzlaryň ikisiniň hem daşyny gurşap alýandyr we Lagranžyň birinji (içki) L_1 nokadyndan geçýändir (§50 seret). Bu üst iki sany ýapyk göwrümden ybarat bolan, Roşuň içki boşlugy diýilýän göwrümi çäklendirýär. Ýapyk göwrümleriň her birinde özara daşgyn täsiri netijesinde deformirlenen ýyldyzyň görnüşini kesgitleýän, ekwipotensial üstleriň ellipsoidleri ýerleşýär. Beýleki iki kritiki üstler deňişlilikde Lagranžyň ikinji we üçünji (daşky) nokatlaryndan geçýärler, şunlukda bu üst öz içine Lagranžyň L_4 we L_5 nokadyny alýan, iki boşlugy çäklendirýär. Eger-de ýyldyzlaryň daşky gatlaklary Roşuň içki boşlugynyň çäkle-



rinden daşyna çykýan bolsa, gaz ekwipotensial üstler boýunça akyp, birinjiden bir ýyldyzdan beýleki ýyldyza akyp geçip bilýär, ikinjiden bolsa iki ýyldyzyň daşyny gurşap alýan, gabygy emele getirip bilýär. Bular ýaly sistema, spektral gözegçiliklerden goşa sistemanyň umumy gaz gabygy, şeýle hem hemradan esasy ýyldyza gaz akymy ýüze çykarylýan, Liranyň β ýyldyzyny mysal getirmek bolar. Özara täsirleşýän jebis goşa sistemalaryň arasynda ajaýyp obýektleriň köplügi bardyr, olaryň käbirleri §152 serediler.

4. FIZIKI ÜÝTGEÝÄN ÝYLDYZLAR

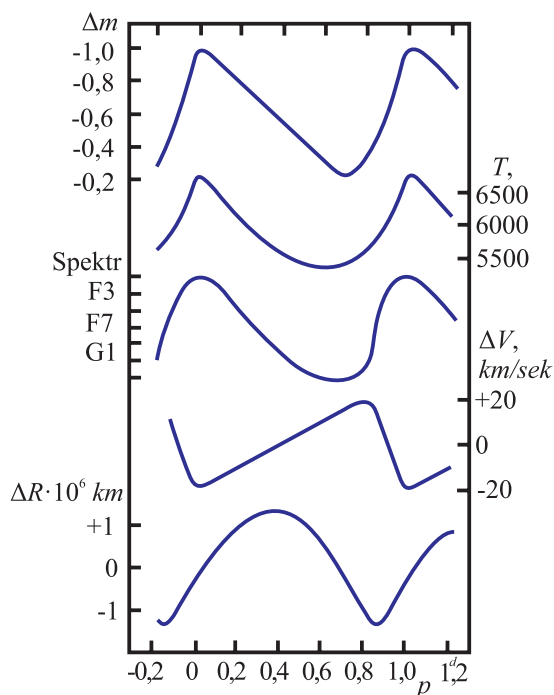
Özünde bolup geýýän fiziki hadysalaryň netijesinde, otnositel gysga wagt aralygynda ýagtylanyjylygyny üýtgedýän ýyldyzlara fiziki üýtgeýän ýyldyzlar diýilýär. Üýtgemäniň häsiýetine baglylykda *pulsirläp* üýtgeýän we *eruptiw* üýtgeýän, şeýle hem eruptiw üýtgeýän ýyldyzlaryň hususy haly bolan, *täze* we *aşa täze* ýyldyzlary tapawutlandyryrlar.

Hemme üýtgeýän ýyldyzlar, şol sanda tutulma üýtgeýän ýyldyzlar, eger olar ön grek elipbiýiniň harplary bilen belgilenmedik bolsa, onda olaryň ýörite bellenilişi bardyr. Ýyldyz toparynyň ilkinji 334 üýtgeýän ýyldyzy latyn elipbiýiniň harplary $R, S, T, \dots, Z, RR, RS, \dots, SS, ST, \dots, SZ, \dots, ZZ, AA, \dots, AZ, \dots, QQ, \dots, QZ$ bilen bellenilýär we degişli ýyldyz toparynyň ady goşulýar. Ondan soňky üýtgeýän ýyldyzlary $V335, V336$ we ş.m. görnüşlerde belleýärler.

§150. Pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlar

Sefeidler. Sefeidler diýip, ýalpyldysynyň egrisiniň özboluşly görnüşi (191-nji suratda mysal getirilen) bilen häsiýetlendirilýän, fiziki üýtgeýän ýyldyzlara aýdylýar. Görünýän ýyldyz ululygy wagtyň geçmegi bilen endigan, periodiki üýtgeýär we bu üýtgame ýyldyzyň ýagtylanyjylygynyň birnäçe esse (2-den 6-a çenli) üýtgemegine deň gelýär. Ýyldyzlaryň bu görnüşiniň häsiýetnamalarynyň üýtgemesiniň δ Sefeya ýyldyzyň häsiýetnamalarynyň üýtgemesine meňzeş bolany üçin, olara sefeidler diýilýär. Sefeidler F we G spektral toparlaryň äpet we aş a pet ýyldyzlaryna degişlidir. Bu





191-nji surat. δ Sefeýa ýyldyzyň pulsirlemesi. Egriler ýokardan aşaklygyna deňişlilikde görnýän ýyldyz ululygynyň, temperaturanyň, spektriň, şöhle tizliginiň we radiusyň üýtgemeleriniň şekillendirýär

bolsa olary örän uzaklarda, şol sanda biziň ýyldyz sistemamyzyň – Galaktikanyň çäklerinden daşynda hem gözegçilik etmäge mümkinçilik berýär.

Period sefeidleriň iň wajyp häsiýetnamalarynyň biridir. Dürli sefeidleriň periodlary ýeterlik tapawutlanýar (bir gije-gündizden onlarça gije-gündize çenli), ýöne anyk berlen ýyldyz üçin ýokary takyklyk bilen hemişelik ululykdyr.

Sefeidleriň görnýän ýyldyz ululygy bilen bir wagtda spektri hem üýtgeýär, özi hem bu üýtgeме bir spektral toparyň çäklerinde bolýar. Bu bolsa sefeidleriň ýagtylanyjylygynyň üýtgemesiniň olaryň atmosferasynyň temperaturasynyň ortaça 1500K üýtgemesi bilen bolup geçýändigini aňladýar.

Sefeidleriň spektrlerinde spektral çyzyklaryň süýşmesi boýunça şöhle tizlikleriň periodiki üýtgemesi ýüze çykarylan. Spektral



çyzyklaryň gyzyt tarapa in uly süýşmesi ýalpyldynyň minimumynda, gök tarapa süýşmesi bolsa ýalpyldynyň maksimumynda bolup geçýär. Seýlelik bilen, ýyldyzyň radiusy hem periodiki üýtgeýändir.

δ Sefeýa görnüşli ýyldyzlar, esasan hem biziň ýyldyz sistemamyz bolan, Galaktikanyň esasy tekizliginiň ýakynynda ýerleşen, ýaş obýektlere degişlidir. Şar görnüşli ýyldyz üýşmeklerinde gabat gelýän sefeidler ýaşy boýunça uludyr we ýagtylandyrylyşy pesrăkdir. Olar gabarasy boýunça kiçirăk, şol sebäpli ewolýusiýasy haýalrak geçýän, sefeidleriniň ösüş tapgyryna ýeten ýyldyzlardyr. Olara W Gyz ýyldyza meňzeş (görnüşli) ýyldyzlar diýilýär.

Sefeidleriniň ýazgysy getirilen, gözegçilik edilyän özboluşlyklary bu ýyldyzlaryň atmosferalarynyň yzygiderli pulsirlemelere sezewar bolýandyklaryna şaýatlyk edýär. Diýmek, olarda özboluşly yrgyldyly prosesini uzak wagtyň dowamynda hemişelik derejede saklamak üçin şertler bardyr.

§145-de belleýşimiz ýaly, ýyldyzyň deňagramlylyk ýagdaýy gravitasiýa güýji we gazyň içki basyşynyň balansy, ýagny deň bolmagy bilen kesgitleňýär. Eger haýsy bir sebäplere görä deňagramlylyk bozulyp, ýyldyz çalaja gysylsa ýa-da tersligine, giňelse, onda deňagramlylyk ýagdaýyna gaýdyp geljek bolup, ýyldyzyň maddasy, maýatniginiň yrgyldaýşy ýaly, yrgyldyly herekete gelmegi mümkin. Maýatniginiň yrgyldylarynyň periody onuň l uzynlygynyň we agyrylyk güýjüniň g tizlenmesiniň üstini bilen aşakdaky formula boýunça aňladylýar

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Bu formula uniwersaldyr we köp mehaniki sistemalaryň kiçi yrgyldylarynyň periodyny kesgitlemek üçin peýdalanyp bolar. Eger maýatniginiň l uzynlygynyň ýerine ýyldyzyň R radiusyny ulansak, onda bu formulany ýyldyzlar üçin hem peýdalanyp bolar. Ýyldyzyň üstünde g tizlenmäniň GM/R^2 deňdigi aýdyňdyr. Maýatniginiň formulasynda l we g bahalaryny ýerine goýup, alarys:

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}.$$



Eger $\frac{3M}{4\pi R^3} = \bar{\rho}$ ýyldyzyň orta dykzlygyny hasaba alsak, onda

$P\sqrt{\bar{\rho}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G}}$ köpeltmek hasyly hemişelik ululykdyr. P – gije-gün-

dizlerde, ρ – bolsa Güňüň orta dykzlygynyň birliklerinde aňlatsak, onda ýönekeý gatnaşyk alarys:

$$P\sqrt{\frac{\bar{\rho}}{\rho_{\Theta}}} \approx 0,12.$$

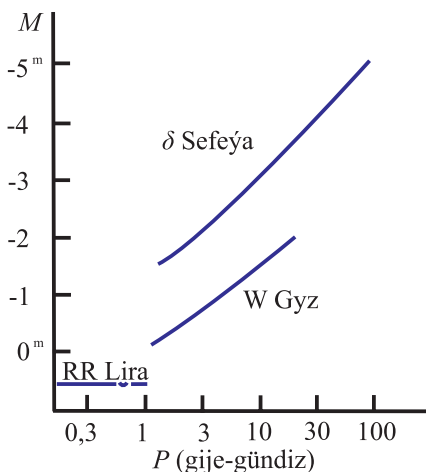
Şeýlelikde, Güne meňzeş ýyldyzyň mehaniki yrgyldylarynyň periody üç sagat töweregi bolýar. Hakykatdan-da, Günde periody 2-3 sagatdan kiçi bolan gowşak pulsirlemeler gözegçilik edilýär. Emma bular ýaly pulsirlemeleriň, sefidlerdäki ýaly ýeterlik uly amplitudalara ýetmegi üçin, bu yrgyldylary energiýa bilen üpjün edýän, kesgitli mehanizm bolmalydyr. Häzirki döwürde bu energiýa ýyldyzyň şöhlelenmesiniň hasabyna üpjün edilýär, yrgyldylar bolsa, ýyldyzyň dury däl daşky gatlaklarynyň içki gatlaklaryň şöhlelenmesiniň bellibir bölegini saklamagy sebäpli, ýagny ösbolušly klapan mehanizminiň netijesinde bolýar diýlip çaklanýar.

Hasaplamalar bular ýaly klapanyň wezipesini ýyldyzyň düzümindäki geliniň bölekleýin ionlaşan gatlagynyň ýerine ýetirýändigini görkezär (wodorod we beýleki himiki elementler doly ionlaşandyr). Neýtral geliý ýyldyzyň ultramelewşe şöhlelenmesi üçin dury däldir we ony geçirmeýänligi üçin gaz gyzýar. Bu gyzma we onuň döredýän giňelmesi geliniň ionlaşmagyna ýardam edýär, gatlak dury gatлага öwrülip, ondan çykýan şöhlelenmäniň akymy ulalýar. Ýöne bu proses sowamaga we gysylma getirýär. Şol sebäpli geliý ýene-de neýtral ýagdaýa geçýär we бүтін proses täzeden gaýtalanýar.

Şeýle mehanizmiň amala aşyrylmagy üçin ýyldyzyň üstki gatlagynyň aşagynda, dykzlygyň ýeterlik uly bahalary bolan çuňlukda, temperatura geliniň ionlaşmagy üçin gerek bolan ululyklara ýetmelidir. Bu şert diňe kesgitli effektiv temperaturasy, ýagny ýagtylanyjylygy bolan ýyldyzlar üçin mümkindir. Netijede, pulsirleme Gersprung-Ressel diagrammasynda kesgitli çäkleri eýeleýän ýyldyzlarda mümkindir.

Eger sefeidler üçin, §143-de seredip geçen baglanyşygymyza meňzeşlikde, massa bilen ýagtylanyjylygyň arasynda käbir baglanyşyk bar diýip çaklasak, onda $P\sqrt{\rho} = \text{const}$ gatnaşygyň esasynda period bilen ýagtylanyjylygyň arasynda baglanyşygyň bolmagy mümkindir.

Bu baglanyşygyň barlygy sefeidlerň pulsirlemesiniň tebigaty anyklanmazdan köp ön kesgitlenendir. Bize ýakyn ýerleşen ýyldyz sistemalarynyň birinde (Kiçi Magellan Buludy) sefeidler öwrenilende, sefeidiň görünýän ýyldyz ululygy näçe kiçi boldugyça (ýagny näçe ýiti boldugyça), ýalpyldysynyň üýtgame periodynyň şonça uludygy kesgitlenendir. Bu baglanyşyk çyzyklydyr. Öwrenilen ýyldyzlaryň hemmesiniň şol bir sistema degişli bolany üçin, olara çenli uzaklyklar tapawutlanmaýar diýen ýalydyr. Sonuň üçin ýüze çykarylan baglanyşyk, şol bir wagtyň özünde sefeidlerň P periody bilen M absolýut ýyldyz ululygynyň (ýa-da L ýagtylanyjylygyň) arasyndaky baglanyşykdyr (192-nji surat).



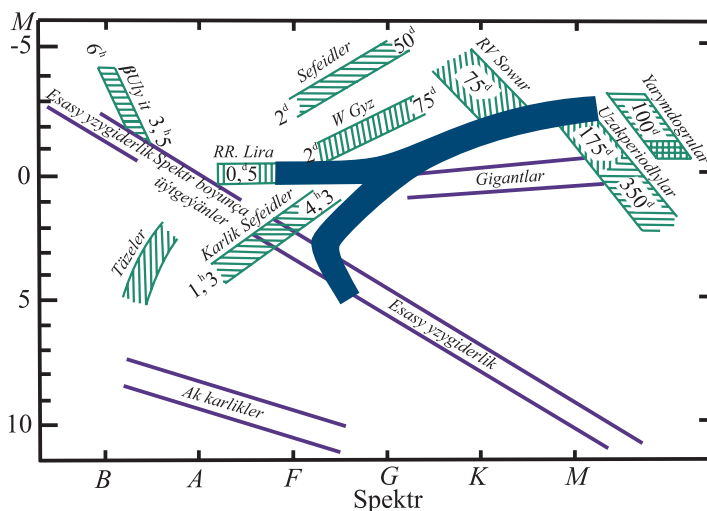
192-nji surat. δ Sefeýa, RR Lira we W Gyz görnüşli ýyldyzlar üçin period-ýagtylanyjylyk baglanyşygy

Bu baglanyşygyň nol nokadyny kesgitlemegiň esasy çylşyrymlylygy, belli bolan sefeidlerň hiç birine çenli uzaklygy trigonometrik usul bilen kesgitlep bolmaýanlygydyr we şonuň üçin ygtybarlygy pesrāk bolan, gyýtaklaýyn usullardan peýdalanmaly bolýandyr. Şonuň üçin, 192-nji suratda şekillendirilen egriniň görnüşi, birmeňzeş uzaklyklarda ýerleşen ýyldyz üşmeklerini öwrenmegiň esasynda ygtybarly kesgitlenýär, ýöne onuň wertikal ok boýunça süýşmesi (nol nokady) anyklamagy talap edýändir.

Häzirki wagtda 192-nji suratda şekillendirilen egrileriň ýerleşşi, pesinden ýyldyz ululygynyň ondan bir ülüşleriniň takyklygynda belli diýip hasaplap bolýar.

Sefeidlerň periody bilen absolýut ýyldyz ululygynyň arasynda baglanyşygynyň bolmagy astronomiýada aýratyn wajyp orun eýe-





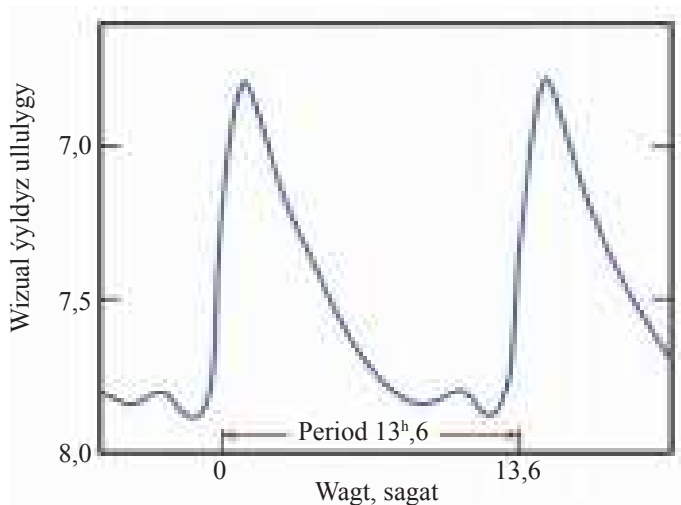
193-nji surat. Pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlaryň dürli toparlarynyň Gerssprung-Ressel diagrammasynda ýerleşişleri

leýär. Bu baglanyşyk boýunça, başga usullar ulanyp bolmaýan ýagdaýda, has uzaklarda ýerleşen obýektlere çenli aralyklar kesgitlenýär.

Hakykatdan hem, käbir ýyldyz üşmeginde periody 3 gije-gündize we görünýän ýyldyz ululygy $+13^m$ bolan sefeid ýüze çykarylan (tapylyp) bolsun. 193-nji suratdaky ýokarky egri boýunça absolýut ýyldyz ululygynyň $M = -2^m$ deňdigini taparys. Uzaklyk moduly $m - M = 15^m$ deň we (10.6) formula görä uzaklyk $10000pk$ -e deň bolar.

RR Lira görnüşli ýyldyzlar. Sefeidlerden başga, Gerssprung-Ressel diagrammasynda ýerleşişleri 193-nji suratda görkezilen, pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlaryň birnäçe görnüşleri bardyr. Olaryň arasynda iň bellileri RR Lira görnüşli ýyldyzlardyr. Adaty sefeidler bilen häsiýetnamalarynyň meňzeşligi üçin olara ön gysga periodly sefeidler diýipdirler (194-nji surat).

RR Lira görnüşli ýyldyzlar A spektral toparyň äpet ýyldyzlarydyr. Olar Gerssprung-Ressel diagrammasynda, bu görnüşli ýyldyzlaryň hemmesi üçin birden ýagtylanyjylygy, ýagny Günň ýagtylanyjylygyndan ýüz esseden hem uly bolan ýagtylanyjylyga degişli, örän inçejik zolagy eýeleýär. RR Lira görnüşli ýyldyzlaryň periodlary 0,2-den 1,2 gije-gündiz çäklerde ýerleşendir. Ýalpyldynyň üýtgemeleriniň amplitudasy bir ýyldyz ululygyna ýetýär.

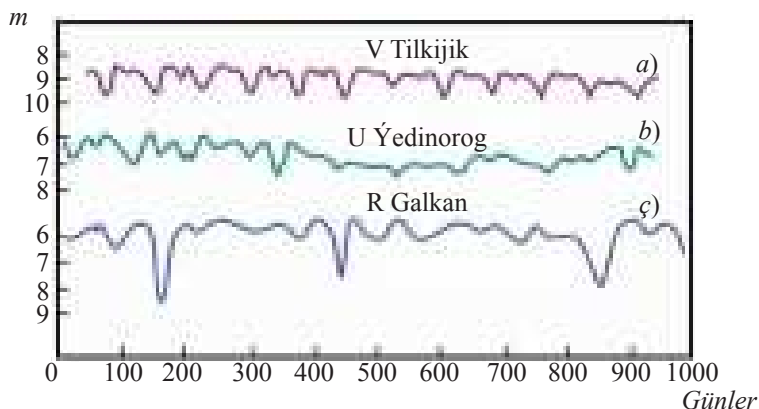


194-nji surat. RR Lira görnüşli ýyldyzlaryň ýalpyldysynyň egrisi

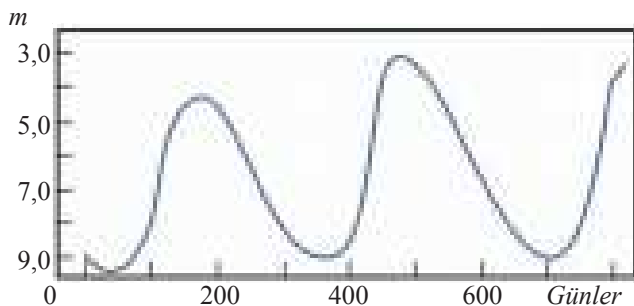
Pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlaryň beýleki görnüşleri. β Se-feya görnüşli (ýa-da Uly Köpegiň β -sy görnüşli), esasan hem irki spektral toparçalaryň B (ortaça B2III topar) äpetlerine degişli bolan ýyldyzlaryň uly bolmadyk topary, pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlaryň gyzykly görnüşine degişlidir. Gerssprung-Ressel diagrammasynda olar esasy yzygiderligiň ýokarky böleginde, sag tarapda ýerleşendirler (193-nji surat). Üýtgemesiniň häsiýeti we ýalpyldysynyň egrisiniň görnüşü boýunça bu ýyldyzlar RR Lira görnüşli ýyldyzlary ýatladýar, ýöne olaryň ýyldyz ululygynyň üýtgemesiniň amplitudasynyň aýratyn kiçiligi ($0^m,2$ -den kiçi) bilen tapawutlanýar. Periody 3-den 6 sagat aralykdadyr we sefeidlerinki ýaly, periodyň ýagtylanyjylyga baglylygy gözegçilik edilýär. Şöhle tizlikleriniň üýtgame egrileri, köplenç, fazasy, görnüşü we amplitudasy boýunça üýtgeýän bolýarlar.

Ýagtylanyjylygynyň dogry üýtgemeleri bolan, pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlardan başga-da, ýalpyldysynyň egrisiniň häsiýetleri üýtgeýän, ýyldyzlaryň birnäçe görnüşleri bardyr. Olaryň arasynda ýagtylanyjylygynyň üýtgemesi çuň we ownuk minimumlaryň gezekleşip gelmesi bilen häsiýetlendirilýän (195-nji surat), periody 30-dan 150 gije-gündize we amplitudasy 0,8-den 3,5 ýyldyz ululygyna deň bolan, RV Öküzçe görnüşli ýyldyzlar tapawutlanýar-





195-nji surat. RW Öküzçe görnüşli ýyldyzlaryň ýalpyldysynyň egrisi

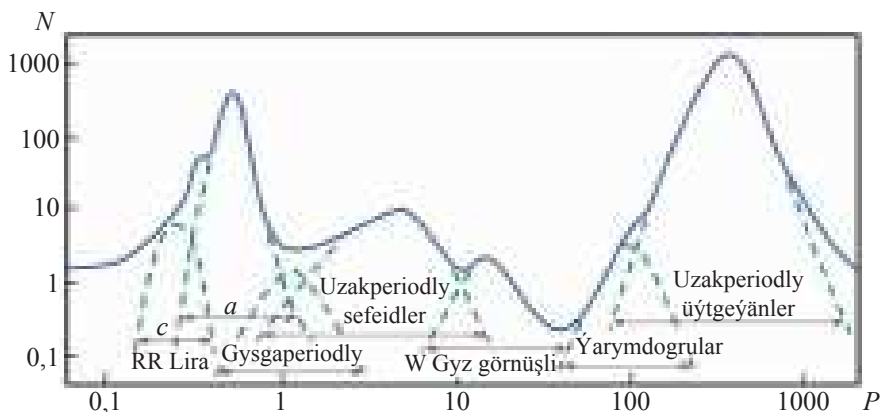


196-njy surat. Kitiň Miry görnüşli ýyldyzlaryň ýalpyldysynyň egrisi

lar. RV Öküzçe görnüşli ýyldyzlar F , G ýa-da K spektral toparlara degişlidir. Olaryň köpüsinde maksimum döwrüniň ýakynynda spektrlerinde titana degişli ýiti emission çyzyklar, minimum döwrüniň ýakynynda bolsa siňdirmе zolaklary ýüze çykýar. Bu bolsa RV Öküzçe görnüşli ýyldyzlaryň spektrleriniň özünde irki spektral toparlaryň gyzgyn ýyldyzlarynyň, şeýle hem giçki spektral toparlaryň sowuk ýyldyzlarynyň alamatlaryny utgaşdyrýandyklaryny görkezýär. RV Öküzçe görnüşli ýyldyzlar sefeidler bilen beýleki pulsirläp üýtgeýänleriň aralyk görnüşidir.

μ sefeid görnüşli ýyldyzlar M spektral topara degişlidir we olara gyzyly ýarymdogry üýtgeýänler diýilýär. Olar käwagt bolup geçýän, onlarçadan birnäçe ýüz gije-gündiziň dowamynda bolýan, ýagtylanyjylygynyň güýçli nädogry üýtgemeleri bilen tapawut-





197-nji surat. Pulsirläp üýtgeýän dürli periodly ýyldyzlaryň odnositel mukdary

lanýarlar. Spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasynda ýarymdogry üýtgeýänleriň ýakynynda, ýagtylanyjylyklarynyň ütgemelerinde gaýtalanmalary ýüze çykaryp bolmaýan, M spektral topara degişli ýyldyzlar ýerleşýärler (nädogry üýtgeýänler). Olardan aşakda, spektrinde emission çyzyklar bolan, ýagtylanyjylygyny uzak wagtyň dowamynda (70-den 1300-e çenli gije-gündiz) we örän uly çäklerde (10^m) ütgedýän ýyldyzlar ýerleşýär. Bu görnüşli ýyldyzlaryň ajaýyp wekili hökmünde «omikron» (o) Kit ýa-da başgaça Mira atlandyrylýan, ýalpyldysynyň egrisi 196-njy suratda getirilen ýyldyzlary görkezmek bolar. Şonuň üçin ýyldyzlaryň bu toparyna Kitiň Miry görnüşli *uzak periodly* üýtgeýänler diýilýär. Olaryň spektrlerinde mydama wodorodyň (maksimumda) ýa-da metallaryň (minimumyň ön ýanynda) emission çyzyklary bardyr. Uzak periodly üýtgeýän ýyldyzlaryň periodynyň uzaklygy orta bahasynyň ýakynynda 10%-iň çäginde iki tarapa yrgyldaýar.

Pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlaryň seredilen toparlary pulsirleme periodynyň dowamlylygy ulalýan ýyldyzlaryň bütewi yzygiderligini emele getirýärler. Eger giňişligiň kesgitli göwrümündäki, periodyň degişli bahasyna eýe bolan ýyldyzlaryň dürli görnüşleriniň umumy sanyny hasaba alsak, onda bu yzygiderlik has aýdyň bolýar. Bu yzygiderlik 197-nji suratda aýdyň görkezilendir.

Ondan görnüşi ýaly, pulsirläp üýtgeýänleriň periodlarynyň bahalary 0,2 gije-gündize (RR Lira görnüşliler), 0,5 we 5 gije-gündize (se-



feidler), 15 gije-gündize (sefeidlerin özboluşly-W Gyz görnüşli ýyldyzlar), 100 gije-gündize (ýarymdogry) we 300 gije-gündize (uzak periodly) deň bolan bahalara eýedirler. Bu ýyldyzlaryň hemmesi äpetlere degişlidirler we ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň häzirki döwürde göz önüne getirilişine laýyklykda, olar esasy yzygiderlikde bolma tapgyry geçen obýektlere degişlidirler. Ewolýusiýanyň geljekki ýoly Gerssprung-Ressel diagrammasynda saga süýşülmegine laýyk gelýändir. Şunlukda, esasy yzygiderligiň ýokarky bölegindäki hemme ýyldyzlar, ýokarda seredip geçilen durnuksyzlyk zolagyny kesip geçmelidirler, özi hem massiw ýyldyzlar ony iki sapar kesip geçýärler we onda köpräk saklanýarlar.

Sefeidler üçin häsiýetli durnuksyzlykdan başga-da, Gerssprung-Ressel diagrammasynda beýleki pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlar üçin degişli durnuksyzlygyň çäkleriniň bolmagy hem mumkindir.

Şeýlelikde, pulsirleme ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň käbir tapgyryny tapawutlandyryň, kanunalaýyk hadysadyr.

§151. Eruptiw üýtgeýänler, pulsarlar we neýtron ýyldyzlar

Kiçi ýagtylanyjylykly ýyldyzlaryň (karlikler) arasynda hem dürli görnüşli üýtgeýänler bardyr we olaryň belli bolanlarynyň umumy sany pulsirleýän äpetleriniň sanyndan takmynan on esse azdyr. Bu ýyldyzlaryň hemmesiniň üýtgemeleri gaýtalanýan lowurdamalar görnüşinde ýüze çykýar we lowurdamalary maddanyň dürli usullar bilen zyňylmasy-erupsiýa bilen düşündirip bolýar. Şonuň üçin ýyldyzlaryň bu toparyna täze ýyldyzlar bilen bilelikde eruptiw üýtgeýänler diýilýär.

Eruptiw üýtgeýänler toparyna dürli tebigaty bolan, ewolýusiýasynyň dürli tapgyrlarynda bolan, şeýle hem ömür ýolunyň ahyrky tapgyrlarynda bolan ýyldyzlaryň jemlenendigini göz önünde tutmalydyr.

Ewolýusiýasynyň başlangyjyndaky ýyldyzlar. Has ýaş, entek grawitasiýa gysylma prosesi tamamlanmadyk ýyldyzlar diýip, T Öküzçe görnüşli üýtgeýänleri hasaplamak bolar. Olar, köplenç, F-G spektral toparlara degişli bolan, spektrlerinde Gün hromosferasynyň

ýiti çyzyklaryny ýadyňa salýan emission çyzyklary bolan karliklerdir. Olar köp mukdarda Orion dumanlygynda tapylandyr. Bulara B-den M-e çenli spektral toparlara degişli bolan RW Wozniçý görnüşli ýyldyzlar örän meňzeşdir. Bu ýyldyzlaryň hemmesiniň ýagtylanyjylygynyň üýtgemesi örän nädogry bolup geçýär, şol sebäpli hiç hili kanunalaýyklygy kesgitlep bolmaýar. Amplitudasy 3^m-e ýetýän, käwagtlar bolsa 1^m-e çenli ýetýän ýalpyldysynyň tertipsiz üýtgemeleri bir sagadyň dowamynda hem bolup bilýär.

T Öküzçe görnüşli ýyldyzlar, köplenç, toparlaýyn, aýratyn hem uly gaz-tozan dumanlyklaryň çäklerinde duşýarlar. Uly bolmadyk ýagty dumanlyklar bu ýyldyzlaryň öz töwereklerinde hem gözegçilik edilýär. Bu bolsa olaryň daşynda giň gaz gabyklarynyň bardygyny görkezýär. Maddanyň bu gabyklarda ýyldyzyň grawitasion gysylma prosesi bilen baglanyşykly bolan hereketi, onuň haotik üýtgeýänliginiň sebäbi bolýan bolmagy mümkindir. Bu ýerden bolsa T Öküzçe görnüşli ýyldyzlaryň eýýäm ýyldyz hasaplap bolýan, iň ýaş emele gelmelerdigi gelip çykýar. Infragyzyl şöhlelenmäniň çeşmesi bolan, has ýaş obýektler bellidir. Ýöne olar entek ýyldyz derejesine ýetmedik, ýyldyz emele gelmeginiň ön ýanyndaky ýagdaýdaky jisi-me (protoýyldyz) çenli gysylýan gaz-tozan buludydyr.

UV Kit görnüşli lowurdaýan ýyldyzlar. Olar mydama T Öküzçe görnüşli üýtgeýänleriň bolan ýerlerinde gabat gelýärler. Olar *K* we *M* spektral toparlaryň karlikleridir. Olaryň spektrlerinde hem kalsiý elementine we wodoroda degişli emission çyzyklar gözegçilik edilýär. Olar **epizodik** lowurdamalar wagtynda ýagtylanyjylygynyň adatdan daşary çalt artmagy bilen tapawutlanýarlar, ýagny bir minutdan az wagtyň dowamynda şöhlelenmäniň akymy onlarça esse ulalyp bilýär. Ondan soňra ýarym, bir sagadyň dowamynda ol öňki ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Lowurdama wagtynda emission çyzyklaryň ýitiligi hem güýçlenýär. Hadysanyň häsiýeti, diňe örän uly ölçegleri bilen tapawutlanýan, Günde bolup geçýän hromosferadaky lowurdamalary ýatladýar.

UV Kit görnüşli ýyldyzlar grawitasion gysylmanyň jemleýji tapgyrynda bolmalydyr.

Be görnüşli ýyldyzlar. Massiw, çalt ösýän ýyldyzlary ewolýusiýasynyň irki tapgyrlarynda görmek örän çylşyrymlydyr. Oňa garamazdan, örän çalt aýlanmasy bolan, *B* toparyň gyzygyn



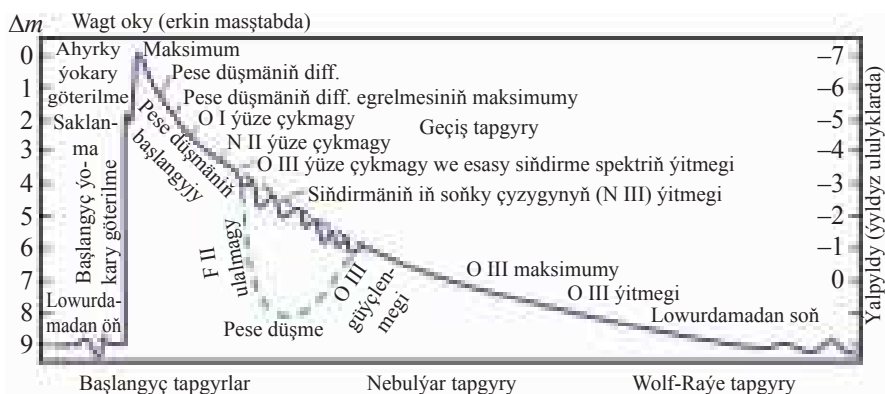
ýyldyzlarynyň arasynda, köplenç, wodoroda, kämahal bolsa geliý we beýleki elementlere degişli emission çyzyklary bolan ýyldyzlar ýygy-ýygýdan gabat gelýärler. Düzgun boýunça bular ýaly ýyldyzlar spektrleriniň üýtgeýänligi bilen tapawutlanýarlar we ýalpyldysyny 0^m , $1-0^m$, 2 ululyga üýtgedýärler. Bu üýtgemeleriň bellibir wagty we yzygiderligi ýokdur, olaryň ýüze çykmagy çalt aýlanma netijesinde döreýän, maddanyň akymydyr. *Be* – ýyldyzlaryň massalary $10M_{\odot}$ töweregidir. Bu ýyldyzlar ýakyn döwürlerde emele gelen ýaş obýektler bolmalydyr.

Wolf-Raye görnüşli ýyldyzlar (WR belgilenýär). Olar biziň Galaktikamyzyň iň ýagty obýektlerine degişli bolan, köp sanly bolmadyk ýyldyzlaryň toparyny düzýärler. WR görnüşli ýyldyzlaryň absolýut ýyldyz ululygynyň orta bahasy -4^m , belli bolan umumy sany 200 töweregidir. Olaryň spektri güýçli üznüksiz fonuň üstüne goýlan, ionlaşma potensialy ýokary bolan atomlara we ionlara (*H. He I, He II, C III, N III, O III* we ş.m.) degişli bolan, giň ýagty çyzyklardan ybaratdyr. Spektral çyzyklaryň görnüşi, bu ýyldyzlary gurşaýan gabyklaryň tizlenme bilen giňelýändigini görkezýär.

Çyzyklarda şöhlendirilýän energiýa üznüksiz spektrde şöhlendirilýän energiýa bilen deňşdirerlikdir. Energiýanyň çeşmesi effektiv temperaturasy 100000 K -e ýetýän, örän gyzgyn ýyldyzyň kuwwatly ultramelewşe şöhlelenmesidir. Örän ýokary temperaturaly şöhlelenmäniň ýagtylyk basyşy, WR görnüşli ýyldyzlaryň atmosferalarynda atomlaryň gözegçilik edilýän tizlenmeli hereketiniň sebäbi bolmalydyr. *Be*-ýyldyzlar ýaly, bular has ýaş obýektlerdir we köplenç, goşa sistemalarydyr.

Täze ýyldyzlar. «Täze» ýyldyz adalgasy täzedan emele gelen ýyldyzyň ýüze çykmagyny däl-de, käbir ýyldyzlaryň kesgitli üýtge-me tapgyryny aňladýandyr.

Täze ýyldyzlar diýlip, ýagtylanyjylygy iň bolmanda bir gezek, azyndan 7-8 ýyldyz ululygyna duýdansyz we çürt-kesik ulalmasy (lowurdamasy) gözegçilik edilen, eruptiw üýtgeýän ýyldyzlaryň aýratyn görnüşine aýdylýar. Köplenç, lowurdama wagtynda görünýän ýyldyz ululygy 10^m - 13^m kemelýär, bu bolsa ýagtylanyjylygyň on we ýüz münlerçe esse artýandygyny görkezýär. Absolýut ýyldyz ululygynyň maksimumda orta bahasy $8^m,5$ -e ýetýär. Lowurdamadan



198-nji surat. Täze ýyldyzyň ýalpyldysynyň egrisi

soň täze ýyldyzlar örän gyzygyn karlik ýyldyzlaryna meňzeşdirler. Lowurdamanyň maksimal fazasynda olar A-F spektral toparlaryň aşa äpetlerine meňzeşdirler. Şol bir täze ýyldyzyň lowurdamasy ikiden az bolmadyk sapar gözegçilik edilen bolsa, onda olar ýaly täze ýyldyza gaýtalanýan diýilýär. Gaýtalanýan täze ýyldyzlaryň ýagtylanyjylygynyň artmasy adaty täze ýyldyzlara garanyňda kiçidir.

Häzirki wagtda 300 töweregi täze ýyldyz bellidir, olardan 150 töweregi biziň Galaktikamyza, 100-den gowragy bolsa Andromeda dumanlygynda lowurdandyr. Ýedi sany belli bolan gaýtalanýan täzeleriň gözegçilik edilen lowurdamalarynyň sany 20 töweregidir. Täzeleriň we gaýtalanýan täzeleriň köpüsi (mümkin hemmesi) jebis goşa sistemalarydyr. Lowurdamadan soň, täze ýyldyzlaryň köpüsi gowşak üýtgemelere eýe bolýarlar.

Täze ýyldyzlaryň ýalpyldysynyň egrileri, bütin hadysany birnäçe tapgyrlara bölmäge mümkinçilik berýän, özboluşly görnüşe eýedirler (198-nji surat). Ýalpyldynyň başlangyç ýokary göterilmesi örän çalt bolup geçýär (2-3 gije-gündiz), ýöne maksimumyň oň ýanynda ýagtylanyjylygyň ösüşi haýallaýar (ahyrky ýokary göteriliş). Maksimumdan soň köp ýyllaryň dowamynda ýagtylanyjylygyň peselmegi bolýar. Ilkinji üç ýyldyz ululygyna pese düşme endigan bolup geçýär. Käwagt ikilenç maksimum gözegçilik edilýär. Soňra ýagtylanyjylygyň üç ýyldyz ululygyna endigan pese düşmesi ýa-da onuň yrgyldamalary bilen tapawutlanýan, geçiş tapgyry gelýär. Käwagt bolsa ýagtylanyjylygyň çürt-kesik pese düşmesi we soňra haýal-



lyk bilen öňki bahasyna gaýdyp gelmesi bolýar. Ýalpyldynyň ahyrky pese düşmesi endigan bolup geçýär. Netijede, ýyldyz lowurdamadan öňki ýagtylanyjylygyna eýe bolýar.

Täze ýyldyzyň ýagtylanyjylygynyň ýazgysy getirilen üýtgemesi, lowurdama wagtynda ýyldyzda döreýän durnuksyzlyk sebäpli, duýdansyz partlamanyň bolup geçýändigini görkezýär. Dürli çaklamalara görä bu durnuksyzlyk, käbir gyzgyn ýyldyzlarda energiýanyň bölünip çykmasyny kesgitleýän, içki prosesleriň netijesinde ýa-da haýsy hem bolsa bir daşky täsirler netijesinde döräp bilýändir.

Täze ýyldyzlaryň partlamasynyň mümkin bolan sebäpleriniň biri hem, olaryň ählisiniň degişli bolan jebis goşa sistemalarynyň düzüjileriniň arasyndaky madda çalşygydyr. Mysal üçin, eger esasy ýyldyzyň gabygynyň wodoroda baý bolan maddasy onuň hemrasyna – ak karligiň üstüne düşse, onda termoyadro energiýasynyň duýdansyz bölünip çykmagy mümkin. Täze ýyldyz lowurdanda bölünip çykýan energiýanyň umumi mukdary 10^{45} – 10^{46} ergden köpdür. Bu mukdardaky energiýany Gün onlarça mün ýylyň dowamynda şöhlendirýär. Emma bu energiýanyň mukdary ýyldyzyň ätiýaçdaky ähli termoyadro energiýasynyň mukdaryndan örän azdyr. Bularyň esasynda täze ýyldyzyň partlamasy onuň umumi düzüminiň üýtgemegine getir-meýär, diňe onuň daşky gatlaklaryna täsirini ýetirýär diýlip hasaplanýlar.

Partlama netijesinde gazyň gyzmagy sebäpli ýyldyzdan maddanyň zyňylmasy bolýar, ýagny ýyldyzyň daşky gatlaklarynyň massasy $(10^{-4}$ – $10^{-5})M_{\odot}$ bolan gabygyň ondan gopmasy bolýar. Bu gabyk birnäçe ýüzden 1500–2000 km/s-a çenli bolan örän uly tizlik bilen giňelýär. Ýyldyz bu gabygyny örän çalt taşlaýar we netijede öz daşynda dumanlyk emele getirýär. Giňelýän gaz dumanlyklary bize ýakyn bolan täze ýyldyzlaryň hemmesinde diýen ýaly ýüze çykaryladyr.

Lowurdamanyň başlangyç tapgyrlarynda giňelme netijesinde gabygyň radiusy ýüzlerçe esse ulalýar, ýyldyzyň daşky gatlaklarynyň dykyzlygy we temperaturasy kemelýär. O spektral topara degişli gyzgyn ýyldyz ilki bada $A-F$ toparyň spektrine eýe bolýar. Emma sowaýandygyna garamazdan, ýyldyzyň umumi ýagtylanyjylygy gazlaryň kuwwatly ýagtylanmasy we gabygyň radiusynyň ulalmagy

netijesinde çalt artýar. Şonuň üçin, esasy maksimumyň öň ýanynda täze ýyldyzyň spektri aşa äpetiň spektri ýalydyr. Bu tapgyrda täze ýyldyzyň spektri A ýa-da F toparyň aşa äpetlerine mahsus bolan hemme özboluşlyklara eýedir (arasynda wodorodyň çyzygy tapawutlanýan, inçejik çyzyklar). Maksimalyň öň ýanyndaky diýilýän bu spektriň wajyp özboluşlygy siňdirmе çyzyklaryň, şöhlелendirýän maddanyň bize tarap ýüzlerçe kilometr/sekunt tizlik bilen ýakynlaşmasyna degişli bolan, melewşe tarapa güýçli süýşmesidir. Şol wagt täze ýyldyzyň bu tapgyrdaky dykyz gabygynyň giňelmesi bolup geçýär.

Maksimumda spektriň görnüşi çürt-kesik üýtgeýär. Esasy spektr diýilýän spektr peýda bolýar. Onuň çyzyklary giňelmäniň 1000 km/s tizligine degişli bolan ululyga melewşe tarapa süýşendir. Spektriň bu üýtgemesiniň sebäbi gabygyň giňelip ýukalmagy we netijede durlanmagydyr. Şol sebäpli has çalt hereket edýän, has çuň gatlaklary hem görnüp başlaýarlar. Edil maksimumdan soň täze ýyldyzyň spektrinde, esasan hem wodoroda, demre we titana degişli, zolak görnüşli, ýiti, örän giň bolan emission çyzyklar ýüze çykýar. Bu zolaklaryň her birisi melewşe tarapa süýşen esasy spektriň siňdirmе çyzyklaryndan başlap bu çyzygyň süýşmezden öňki ýagdaýyna çenli bolan spektriň çäginі tutýar.

Bu bolsa gabygyň eýýäm örän seýreklenendigini görkezýär we onuň dürli tizlikleri bolan dürli gatlaklaryna gözegçilik edip bolýar.

Haçan-da ýagtylanyjylygyň kemelmesi 1^m ýyldyz ululygy töweregi bolanda wodorodyň we ionlaşan metallaryň güýçli bulaşyk siňdirmе çyzyklaryndan, şeýle hem özboluşly ýiti zolaklardan ybarat bolan diffuz-uçgun spektr ýüze çykýar. Diffuz-uçgun spektr esasy spektriň üstüne goýulýar, ýuwaş-ýuwaşdan intensiwligi güýçlenýär. Soňra onuň üstüne gyzgyn ýyldyzlar üçin häsiýetli bolan, orion spektri diýlip atlandyrylýan spektr goşulýar. Diffuz-uçgun, soňra bolsa orion spektrleriniň ýüze çykmagy ýyldyzdan maddanyň gitdigiçe ulalýan tizlik bilen has çuň we has gyzgyn gatlaklaryndan zyňylýandygyny görkezýär.

Geçiş tapgyrynyň başlangyjyna diffuz-uçgun spektr ýitýär, orion spektr bolsa intensiwliginiň iň uly bahasyna ýetýär. Orion spektri ýiteninden soň giň siňdirmе zolaklary bilen kesilýän täze ýyldyzyň üznüksiz spektriniň fonunda seýreklendirilen gaz dumanlyklaryň



spektrlerinde gözegçilik edilýän, emission çyzyklar ýüze çykýar we ýuwaş-ýuwaşdan güýçlenýär. Bu bolsa gabygyň maddasynyň öňküden hem seýreklendirilýändigini tassyklaýar.

Aşa täze ýyldyzlar. Täze ýyldyzlara meňzeşlikde lowurdaýan we maksimumynda absolýút ýyldyz ululygy -18^m -den -19^m -e çenli, hatda -21^m -e çenli ýetýän ýyldyzlara aşä täze ýyldyzlar diýilýär.

Ýagtylanyjylygyň artmasy 19^m ýyldyz ululygyndan hem köp, ýagny onlarça million esse bolýar. Lowurdama döwründe aşä täze ýyldyzyň şöhlendirýän umumy energiýasy 10^{48} - 10^{49} *egden* hem köp, bu bolsa täze ýyldyzlaryň şöhlendirýän energiýasyndan hem müň esse köpdür. Fotografik usul bilen beýleki galaktikalarda lowurdan 60 golaý aşä täze ýyldyzlar bellige alnandyr, özi hem, köplenç, olaryň ýagtylanyjylygy lowurdama bolup geçen galaktikanyň integral ýagtylanyjylygy bilen deňeçerdir.

Has ir döwürlerde guralсыz geçirilen gözegçilikleriň ýazgylary boýunça, biziň Galaktikamyzda aşä täzeleriň lowurdamasynyň birnäçesini ýüze çykarmak başardandyr. Olardan has köp gyzyklanma döredýäni, hytaý we ýapon astronomlary tarapyndan 1054-nji ýylda gözegçilik edilen, Öküzçe ýyldyz toparynda lowurdan Aşä täze ýyldyzydyr. Duýdansyz peýda bolan bu «myhman-ýyldyzyň» Weneradan hem ýagty we gündizine-de görnendigi bellenilýär.

Başga şuna meňzeş hadysa 1572-nji ýylda bolup geçendir we onuň has anyk ýazgysy daniýaly astronom Tiho Brage tarapyndan ýerine ýetirilendir. Kassiopeýa ýyldyz toparynda «täze» ýyldyzyň duýdansyz ýüze çykandygy bellenýär. Bary-ýogy birnäçe günün dowamynda bu ýyldyz öz ýagtylanyjylygyny örän çalt ulaldyp, Weneradan hem ýagty bolup görünýär. Az wagtdan soň onuň şöhlelenmesi ýuwaş-ýuwaşdan peselip başlaýar, özi hem pese düşme intensiwligiň yrgyldamalary we uly bolmadyk lowurdamalar bilen bolup geçýär. Iki ýyldan soň ol gözden ýitýär, ýagny guralсыz ýöne göz bilen seredilende görünmeýär. 1604-nji ýylda Ýylan göteriji ýyldyz toparyndaky aşä täze ýyldyzyň lowurdamasyny Kepler gözegçilik edendir.

Bu hadysa adaty täzäniň lowurdamasyna meňzeş hem bolsa, ol öz masştaby, endigan we haýal üýtgeýän ýalpyldynyň egrisi we spektri boýunça tapawutlanýar. Maksimum döwrüniň ýakynynda spektriniň häsiýeti boýunça aşä täze ýyldyzlaryň iki görnüşini tapawutlandyrýarlar.



199-njy surat. Öküzçe ýyldyz toparyndaky Leñneç görnüşli dumanlygy

I görnüşli aşa täzeler maksimumyň ýakynynda hiç-hili çyzyklar görünmeýän, üznüksiz spektri bilen tapawutlanýarlar. Soňra ýerleşiş ýagdaýy belli bolan hiç bir spektral çyzyk bilen gabat gelmeýän, örän giň emission çyzyklar ýüze çykyp başlaýar. Bu zolaklaryň giňligi gazyň 6000 km/s tizlik bilen giňelmesine laýyk gelýär. Zolaklaryň intensiwligi, düzümi we ýagdaýy wagta görä çalt üýtgeýär. Maksimumdan ýarym ýyl geçenden soň neýtral kislorodyň çyzyklary bilen laýyk gelýän zolaklar ýüze çykýar.

II görnüşli aşa täzäniň maksimumda ýagtylanyjylygy *I* görnüşli aşa täzäniň ýagtylanyjylygyndan biraz pesdir. Olaryň spektri ultramelewşe şöhlemenmäniň güýçlenmesi bilen tapawutlanýar. Edil adaty täzeleriň spektrindäki ýaly, wodoroda, ionlaşan azota we beýleki elementleriň siňdirmе we şöhlemenme çyzyklaryna laýyk gabat gelýän çyzyklar gözegçilik edilýär.

Käbir ýagdaýlarda *I* görnüşli aşa täze ýyldyzlaryň lowurdan ýerinde ýüze çykarylan, örän çalt giňelýän gaz dumanlyklary uly gyzyklanma döredýär. Olardan iň bellisi Öküzçe ýyldyz toparyndaky Leñneç görnüşli dumanlykdyr (*199-njy surat*).



Bu dumanlygyň emission çyzyklarynyň görnüşini onuň takmynan 1000 km/s töweregi tizlik bilen giňelýändigini görkezýär. Dumanlygyň häzirki ölçegleri, onuň giňelmesiniň takmynan 900 ýyl öň başlanan bolmalydygyny, ýagny 1054-nji ýylyň Aşa täzesiniň lowurdama döwrüne gabat gelýändigini görkezýär. Leňneç görnüşli dumanlygyň ýerleşşi we wagty boýunça, hytaý ýyl ýazgylarynda ýazgysy getirilen «myhman-ýyldyz» bilen gabat gelmegi, Öküzçe ýyldyz toparyndaky bu dumanlygyň aşa täzäniň lowurdamasynyň netijesi bolmagynyň mümkindigini görkezýär.

Bu dumanlyk birnäçe ajaýyp özboluşlyklara eýedir:

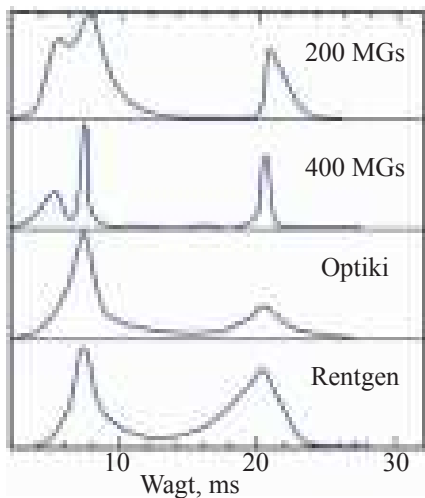
1) görünýän şöhlenenmäniň 80%-inden köprägi üznüksiz spektre düşýändir; 2) ak ýagtylykda onuň amorf görnüşini bardyr; 3) dumanlyklar üçin adaty, ionlaşan metallaryň we wodorodyň çyzyklary bolan emission spektrler, dumanlygyň aýry-aýry süýmleri tarapyndan şöhlelendirilýär; 4) şöhlenenme polýarlanandyr, özi hem dumanlygyň käbir çäklerinde doly diýen ýaly polýarlanandyr; 5) Leňneç görnüşli dumanlygy biziň Galaktikamyzdaky radioşöhlenenmäniň in kuwwatly çeşmeleriniň biridir.

Leňneç görnüşli dumanlygyň bu gyzykly özboluşlygynyň mümkin bolan düşündirilişi aşakdaky ýalydyr. 1054-nji ýylyň Aşa täzesiniň lowurdamasy wagtynda, örän uly kinetik energiýasy bolan, erkin elektronlar (relýatiwistik elektronlar) köp mukdarda döräp başlaýar. Olar ýagtylygyň tizligine ýakyn tizliklerde hereket edýärler. Bölejikleri bular ýaly güýçli tizlendirme prosesi häzirki wagtda hem dowam edýär. Spektriň göze görünýän çäklerinde, şeýle hem radioçäklerde üznüksiz şöhlenenme, relýatiwistik elektronlar gowşak magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň töwereginde spiral boýunça hereket edenlerinde, togtadylma sebäpli döreýär. Bular ýaly şöhlenenme polýarlanan bolmalydyr. Gözegçiliklerden olaryň hakykatdan hem polýarlanandygy anyklanandyr. Radioşöhlenenmäniň kuwwatly çeşmesi bolan, Leňneç görnüşli dumanlyga meňzeşlikde, biziň galaktikamyzda lowurdan beýleki aşa täze ýyldyzlaryň ýerinde hem gowşak dumanlyklar we dürli kuwwatlyklary bolan radioşöhlenenmäniň çeşmeleri tapylandyr. Aşa täze ýyldyzyň lowurdama hadysasynyň birwagt tamamlanandygyna garamazdan, Leňneç görnüşli dumanlykdan täze relýatiwistik elektronlaryň gelip durmasynyň nämäniň hasabyna bolup geçýändi-

gi, çözülmədik məsələlərin biri-
di. Təzə obyektlərin-pulsarların
açylmagy bilən bu məsələ çözü-
ləndir.

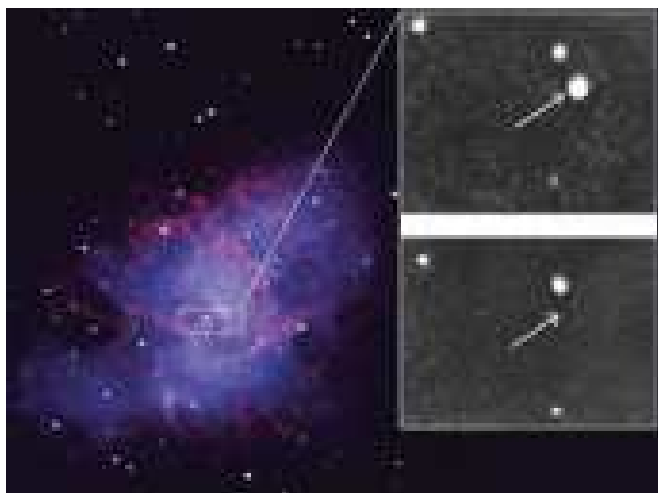
Pulsarlar. 1967-nji ýyl-
da Kembrijde (Angliya) nokat-
lanç çeşmələrdən, biri-birinin
yzyndan tertipli gələn, takyk
impulsar görünüşli kosmos ra-
dioşöhələnməsi hasaba alyndy
(200-nji surat). Bular ýaly çeş-
mələrin aýry impulsynyň do-
wamlylygy birnäçe milli se-
kuntndan başlap, sekundyň ondan
bir üleşlərinə ýetip bilýär. Im-
pulsarların çürt-kesikligi we ola-
ryň ýokary takyklyk bilən gaý-
talanmagy, *pulsarlar* diýlip atlandyrylan bu obyektlərin, ýokary
takyklyk bilən pulsirləmə periodyny kesgitläp bolýar. Pulsarların
birinin periody 1,337301133s-e deňdir. Beýlekileriniň periodlary
0,03-den 4 sekunt aralygyndadyr. Häzirki wagta çenli belli bolan
pulsarların hemmesi, tolkun uzynlygynyň artmagy bilən intensiwligi
çürt-kesik artýan, tolkun uzynlyklaryň giň çäklerinde güýçli polýar-
lanan radioşöhələnməni berýärler. Bu bolsa şöhələnmənin ýylylyk
däl təbigatynyň bardygyny görkezýär. Pulsarların köpüsine çenli
uzaklygy kesgitlemek başardandyr we ol ýüzden müň parsege çenli
ululyklara deňdir. Şeýlelikde, olar biziň Galaktikamyza degişli bolan,
uzakda bolmadyk obyektlərdir.

NP 0531 bellik bilən bellemek kabul edilen pulsar Leñneç
görünüşli dumanlygyň merkezindəki ýyldyzjyklaryň biri bilən takyk
gabət gəlýär. Ýörite geçirilen gözegçilikler, bu ýyldyzyň optiki
şöhələnməsiniň hem edil şol period bilən üýtgeýändigini görkezendir
(200-nji surat). Impulsda ýyldyz 13^m ululyga ýetýär, olaryň aralygynda
bolsa ol görünmeýär (201-nji surat). Edil şular ýaly pulsirləmə, bu
çeşmənin kuwwaty optiki şöhələnmənin kuwwatyndan 100 esse uly
bolan, rentgen şöhələnməsi hem sezewar bolýar. Pulsarların birisiniň



200-nji surat. Leñneç görünüşli
dumanlygynyň merkezindəki NP0531
pulsaryň impulsalarynyň dürli spektral
çäklerdeki şekili





201-nji surat. NP0531 pulsar (pulsar peýkam bilen görkezilen). Ýokarky suratda pulsar görünýär, aşaky suratda görünmeýär

bular ýaly adaty däl emele gelmäniň, Leňneç görnüşli dumanlygyň merkezi bilen gabat gelmesi, aşa täze ýyllyzlaryň lowurdamadan soň öwrülýän obýektleriniň şular bolmalydygy baradaky pikiri döredýär. Häzirki çaklamalara görä, aşa täze ýyllyzyň lowurdamasy, ondaky mümkin bolan ýadro çeşmeleriniň energiýasy harçlanyp bolandan soň, onuň aşa dykyz ýagdaýa geçende, örän köp mukdarda energiýanyň bölünip çykması bilen baglanyşyklydyr.

Ýeterlik massiw ýyllyzlar üçin has durnukly ýagdaý, protonlaryň we elektronlaryň birleşip, neýtron ýyllyz diýilýän emele gelmäni döretmekleridir. Eger aşa täze ýyllyzlaryň lowurdamasy hakykatdan hem şular ýaly obýektleriň emele gelmegi bilen tamamlanýan bolsa, onda pulsarlaryň neýtron ýyllyz bolmagy gaty mümkindir. Eger şeýle bolsa, onda massasy $2M_{\odot}$ bolan emele gelmäniň radiusy 10 km töweregi bolmalydyr. Bular ýaly ölçeglere çenli gysylmanyň netijesinde maddanyň dykyzlygy ýadronyň dykyzlygyndan hem ýokary bolýar, ýyllyzyň aýlanmasy bolsa hereket mukdarynyň momentiniň saklanma kanunyna laýyklykda, sekuntda onlarça aýlaw çenli çaltlaşýar. Yzygider impulsalaryň wagty aralygy neýtron ýyllyzyň aýlanma periodyna deňdir. Onda pulsirleme bu ýyllyzlaryň üstünde birhili dällikleriň, özboluşly gyzygyn tegmilleriň bolmagy bilen düşündirilýär.

Bu ýerde «üst» barada aýtmagyň manysy bardyr, sebäbi bular ýaly örän ýokary dykzyzlyklarda madda häsiýetleri boýunça gaty jisime ýakyndyr.

Käbir pulsarlaryň aýlanma periodynyň haýallyk bilen ulalmasy (10^3 - 10^7 ýylda iki esse) anyklanandyr we ol pulsaryň özi bilen bagly bolan, magnit meýdanynyň togtadýjy täsiri netijesinde, aýlanma energiýasynyň şöhlelenmä geçmegi bilen baglydyr.

Şonuň bilen bir hatarda periodyň duýdansyz kiçelmesi gözegçilik edilýär we ol ýyldyz sowadygyça, wagtal-wagtal bolýan, onuň üstüniň üýtgemesini, täzedan gurulmasyny suratlandyrýar.

Neýtron ýyldyzlar Leňneç görnüşli dumanlyga meňzeşlikde, özleri bilen baglanyşykly bolan dumanlyklara mydama gelip durýan, energiýasy köp bolan bölejikleriň çeşmesi bolup hyzmat edýän bolmagy mümkindir.

§152. Rentgen şöhlelenmeleriň çeşmeleri

1962-nji ýyldan bäri 100-den köpräk rentgen şöhlelenmeleriň çeşmeleri – biziň Galaktikamyza degişli rentgen ýyldyzlary açylandyr. Rentgen ýyldyzlar belgilenende ilki bilen ýerleşen ýyldyz toparynyň ady, soňra rentgen şöhlelenmesini aňladýan X latyn harpy (iks-şöhleler) we bu obýektiň ýyldyz toparyndaky tertip belgisi ýazylýar.

Häzirki wagtda rentgen şöhlelenmeleriniň çeşmeleriniň 10-a golaýynyň düzüjileriniň biri adaty ýyldyz, beýlekisi bolsa jebis obýekt, ýagny rentgen ýyldyz ýa-da pulsar bolan, goşa ýyldyz sistemadygy bellidir (olaryň käbirisi rentgen tolkunlarynyň çäginde tutulma-üýtgeýän sistemalarydyr). Rentgen ýyldyzlaryň ýagtylanyjylygy $L_x \approx 10^{29} - 10^{31}$ Wt ululyklar bilen bahalandyrylýar. Energiýanyň spektr boýunça paýlanyşy bu obýektleriň hemmesi üçin birmeňzeşdir we şöhlelenmäniň çalt üýtgemesi (0,1 sekundan kiçi) mahsusdyr. Çaklamalara görä, rentgen ýyldyzlaryň köpüsi jebis goşa sistemadyr we olaryň käbirleriniň aýlanma periody birnäçe gije-gündize deňdir. Bu sistemalaryň esasy düzüjileriniň özleriniň Roşuň kritiki boşlugyny doldurýandyklary anyklanandyr. Eger beýle bolsa, onda sistema Lagranžyň içki nokadynyň üstünden ikinji düzüjä tarap ugrukdyry-



lan maddanyň akyp geçmesi bolýar. Goşa sistemanyň ikinji düzüjisi, massasy Günün massasy bilen deňräk bolan, ýöne radiusy bary-ýogy 10 km -e deň bolan, neýtron ýyldyz bolmaly diýlip çaklanylýar. Neýtron ýyldyzyň üstüne ugrukdyrylan gaz akymy onuň bilen duşuşma pursadynda 100000 km/s töweregi tizlige eýe bolýandyr. Ýyldyzyň üstüne bir gram maddanyň gaçmagy netijesinde 10^{13} joul energiýa rentgen tolkun uzynlyklarynda bölünip çykýar. Rentgen ýyldyzyň $L_x \approx 10^{30}\text{ Wt}$ ýagtylanyjylygyny üpjün etmek üçin, onuň üstüne her sekuntda bary-ýogy 10^{14} kg töweregi gazyň gaçmagy ýeterlikdir.

Eger-de neýtron ýyldyzyň kuwwatly magnit meýdany bar bolsa, onda ol gaçýan maddany magnit polýuslarynyň çäklerine ugrukdyrýar. Bu ýerde emele gelýän «gyzgyn menekler» ahyrky netijede rentgen pulsaryň döremegine getirip bilýärler.

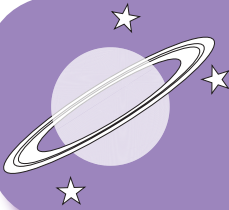
Bular ýaly iki pulsar gowy öwrenilendir. Olaryň biri, pulsirleme periody $1,2378$ sekunda deň bolan, Gerkules X-1 rentgen şöhlemenmesiniň çeşmesidir. Optiki üýtgeýän HZ Gerkules ýyldyzy bilen bu pulsar goşa sistemany düzýär we onuň aýlanma periody $1,7$ gije-gündize deňdir. Bu wagtyň dowamynda üýtgeýän ýyldyzyň ýalpyldysy 13^m -den 15^m -e çenli aralyklarda üýtgeýär. Optiki ýyldyzyň ýalpyldysynyň üýtgemesi onuň öz okunyň daşyndan $1,7$ gije-gündize deň bolan period bilen aýlanýandygy, şeýle hem onuň rentgen şöhlemenmesiniň çeşmesine tarap bakýan ýarym şarynda gyzgyn menegiň bardygy bilen düşündirilýär. Bu menek neýtron ýyldyzyň rentgen şöhlemenmesi tarapyndan gyzdrylmagy netijesinde döreýändir. Her 36 gije-gündiziň diňe 12 gije-gündizinde pulsar gözegçilik edilýändir. Galan 24 gije-gündiz rentgen şöhlemenmesiniň akymy kabul ediji enjamlaryň duýgurlyk derejesinden pesdir. Neýtron ýyldyzyň presesion hereketi sebäpli, bu wagtyň dowamynda Ýer pulsaryň şöhlemenmesiniň ugrukdyryş diagrammasyndan çykýan bolmalydyr. HZ Gerkules ýyldyzyň massasy Günün massasyndan birazrak uludyr, radiusy bolsa $2R_\odot$ deň, pulsaryň massasy takmynan $1M_\odot$ -e deňdir.

Sentawr X-3 pulsar hem goşa sistemanyň düzüjisidir. Orbitasy boýunça aýlanma periody $2,087$ gije-gündize deň, rentgen şöhlemenmesiniň impulslarynyň periody $P = 4,84s$. Rentgen şöhlemenmesiniň çeşmesi ýyldyz ululygy 13^m bolan spektral goşa ýyldyza deňeşdirildi. Sistemanyň spektrini öwrenip, optiki ýyldyzyň

massasynyň takmynan $15M_{\odot}$, radiusynyň bolsa $7,2R_{\odot}$ -e deň bolmaly diýlen netijä gelnendir. Goşa sistemanyň düzüjisi-rentgen şöhlelenmesiniň çeşmesiniň massasy Güňüň massasyna deňräk bolan neýtron ýyldyzdyr.

NP 0532 pulsar hem, $0,033s$ deň bolan periodynyň dowamynda rentgen tolkun uzynlyklarda intensiwlikleri deň bolan iki sany lowurdamasy gözegçilik edilýän, rentgen şöhlelenmesiniň çeşmesidir. Hasaplamalara görä, bu pulsar energiýanyň iň köp mukdaryny (takmynan $10^{29} \text{ } Wt$) rentgen tolkunlarynda şöhlelendirýär, optiki tolkunlarda takmynan 200 esse, radiotolkunlarda bolsa ondan hem ýüz esse azdyr.





XI bap BIZIŇ GALAKTIKAMYZ

§153. Biziň Galaktikamyza degişli ýyldyzlar

Aýsyz, açyk dury gije, şäher çyralarynyň ýagtysyndan uzakda gözegçilik edilende ýyldyzly asman örän owadan, özüne çekiji we täsin bolup görünýär. Bütün asmanda uly aýlawyň dugasynyň ugry boýunça geçýän kümüşreňk ýagty giň zolaga Akmaýanyň ýoly diýilýär. Teleskopda gözegçilik edilende bu ýagty zolagyň ummasyz köp sanly ýyldyzlaryň üşmegidigini görmek bolýar. Bu ýyldyzlaryň hemmesi, 100000 milliarddan hem gowrak mukdarda, Äpet ýyldyz sistemasyny – Galaktikany emele getirýär.

Ýyldyzlaryň köpüsi ýyldyz üşmekleri diýilýän toparlary dörd-ýärler. Bize ýakyn ýerleşen Pleýada we Giada ýyldyz üşmekleri gowy bellidir.

Galaktikada ýyldyzlardan we ýyldyz üşmeklerden başga, düzüminde uly bolmadyk gaty bölejikleriň – tozanjyklaryň garyndysy bolan, seýreklendirilen gazyň örän köp mukdary bardyr. Akmaýanyň ýolunyň käbir ýerlerinde bu maddanyň dykzlygy güýçli artýandyr we ol ýerlerde diffuz gaz-tozan dumanlyklary döreýärler. Gyzgyn ýyldyzlaryň ýanynda olar ýagtylanýarlar (ýagty dumanlyklar), olardan uzakda bolsa garaňky bolup galýarlar we ýagtylygy siňdirýändikleri sebäpli, Akmaýanyň ýolunyň ýagty çäkleriniň fonunda görünýärler (garaňky tozan dumanlyklary).

Bulardan başga-da, Galaktikada örän köp mukdarda, aşa uly energiýalary bolan we ýagtylygyň tizligine ýakyn tizlikler bilen hereket edýän elementar bölejikler – kosmiki şöhleler bardyr. Galaktikada





202-nji surat. Andromeda dumanlygy

olardan başga-da magnit we grawitasiýa meýdanlary, şeýle hem elektromagnit şöhlelenme wajyp orun eýeleýändir.

Gün sistemasy Galaktikanyň içinde, ýöne merkezinden uzakda ýerleşendir. Galaktikanyň köp ýerleri bizden örän äpet uzaklyklarda, ýagny 25 müň parsek uzaklyklarda ýerleşendirler. Şunlukda, Akmaýanyň ýolunyň çäklerinde, optiki usullar bilen diffuz sredanyň 3 kiloparsekden aňryny gözegçilik etmäge mümkinçilik bermeýändigini hasaba alsak, onda Galaktikanyň gurluşyny öwrenmegiň çylşyrymlylygy we onuň umumy görnüşini göni göz önüne getirip bolmaýandygy aýdyň bolar.

Indiki bölümlerde biz bulara meňzeş bolan birnäçe başga obýektlere serederis (galaktikadan daşary dumanlyklar ýa-da galaktikalar). Olar hem edil biziň ýyldyz sistemamyzyň ýaly, örän köp sanly ýyldyzlardan we tozan-gazyň köp bolmadyk mukdaryndan (massasy boýunça 1-2%) ybaratdyr. Galaktikadan daşary dumanlyklary öwrenip, biziň Galaktikamyzyň hem daşyndan seredilende nähili görnüşiniň bolmalydygyny göz önüne getirip bolar. 202-nji suratda, bize ýakyn we belli bolan, biziň ýyldyz sistemamyzy ýada salýan galaktika-Andromeda dumanlygy şekillendirilendir.



§154. Ýyldyzlara çenli uzaklyklary kesgitlemek

Ýyldyzlaryň asmanda görünýän ýagdaýlaryndan olaryň giňişlikde hakyky paýlanylyşyna geçmek üçin olara çenli uzaklygy bilmek hökmanydyr.

Ýyldyzlara çenli uzaklygy kesgitlemegiň gös-göni usuly olaryň ýyllyk parallaksalaryny ölçemekdir (§57-59). Emma bu usulyň kömegi bilen diňe ýakyn ýyldyzlaryň parallaksalary kesgitlenip bilner. Hakykatdan hem, astronomik usullaryň kömegi bilen ölçäp bolýan burç ululygynyň çägi takmynan $0'',01$ -e deňdir.

Eger gözegçilikleriň netijesinde ýyldyzyň kesgitlenen parallaksy $\pi = 0'',02 \pm 0'',01$ deň bolsa, onda oňa çenli bolan uzaklyk

$$r = \frac{1}{\pi}(pk)$$

formula boýunça 30-dan 100 pk çenli çäklerde bolar. Bu bolsa parallaks kesgitlenendäki mümkin bolan ýalňyşlyklaryň çäklerindedir. Bu ýerden görnüşi ýaly, bizden birnäçe parsek uzaklykda ýerleşen, gaty uzakda bolmadyk obýektlere çenli uzaklyklar azda-kände ygtybarly kesgitlenýändir. Mysal üçin, bize ýakyn bolan ýyldyzlaryň birine (α -Sentawr) çenli 1,33 pk deň bolan uzaklyk 2%-den kiçi ýalňyşlyk bilen kesgitlenendir. Emma bizden 100 pk -den daşda ýerleşen ýyldyzlaryň uzaklyklary kesgitlenende goýberilýän ýalňyşlyk, kesgitlenýän ululygyň özünden uly bolýar we bu ýagdaýlar üçin trigonometrik usul ulanarlyk däl. In gowy ýagdaýda ol uzaklygyň birnäçe ýüz parsekden uludygy barada netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Häzirki wagtda trigonometrik usul bilen 6000 töweregi ýyldyzyň parallaksy ölçenendir.

Haçan-da başga usullar bilen ýyldyzyň ýagtylanyjylygy kesgitlenen bolsa, onda olara çenli uzaklygy kesgitläp bolar, sebäbi görünýän we absolýut ýyldyz ululyklarynyň arasyndaky tapawut uzaklyk modulyna deňdir, ýagny (10.6) formula görä:

$$\lg r = 1 + 0,2(m - M).$$

Uzaklyk moduly ýyldyz üýşmekleriniň düzümine girýän ýyldyzlar üçin has ygtybarly kesgitlenýändir. Emma şonda, gözegçiliklerden

kesgitlenýän görüňýän ýyldyz ululyklarynyň, ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesiniň täsiri netijesinde, bellibir derejede ýoýulýandyklaryny göz önünde tutmak zerurdyr.

Ýyldyzlary ýagtylanyjylyklary boýunça toparlara bölmeginiň esasyňy düzýän, spektrleriň özboluşlygy absolýut ýyldyz ululygyny, şeýle hem uzaklyklary (*spektral parallakslar* usuly) kesgitlemek üçin peýdalanylyp bilner.

Ýyldyz üýşmeginiň ýyldyzlarynyň parallakslaryny kesgitlemegiň wajyp usuly olaryň hususy hereketlerini öwrenmäge esaslanandyr (§83). Bu usulyň düýp manysy, ýyldyz näçe uzakda ýerleşdigiçe, onuň giňişlikdäki hakyky hereketiniň netijesinde asmanda görüňýän orun üýtgetmesi bize şonçada kiçi bolup görüňýänligindedir. Bu usul boýunça kesgitlenen parallakslara orta parallaks diýilýär. Ýyldyzlaryň toparyna çenli uzaklygy kesgitlemek üçin has takyk usul peýdalanylýar. Bu usul edil meteorlardaky ýaly, ýyldyzlaryň görüňýän hususy hereketleriniň ugurlary dürli ýaly bolup görüňýän hem bolsa, hakykatda giňişlikde birmeňzeşdirler, olaryň umumy kesişme nokady umumy hereketiň tizliginiň hakyky ugruny-apeksi görkezýär. Ýyldyzlaryň iň bolmanda biriniň V_r şöhle tizligi belli bolsa, onda

$$\pi = \frac{4,74\mu}{V_r \operatorname{tg} q}$$

formula boýunça, *toparlayyn parallaks* diýilýän, ýyldyz üýşmeginiň ýyllyk parallaksyny hasaplamaga mümkinçilik bardyr. Bu ýerde μ – ýyldyzyň hususy hereketi (§83), q – berlen ýyldyza we apekse tarap ugurlaryň arasyndaky burç. (3.4) gatnaşygy göz önünde tutup, bu formula ýeňil getirilip çykarylýar.

§155. Galaktikada ýyldyzlaryň paýlanylyşy

Ýyldyzlara çenli uzaklyklary bilmek, olaryň giňişlikde paýlanylyşyny, ýagny Galaktikanyň düzümini, gurluşyny öwrenmäge mümkinçilik berýär. Galaktikanyň dürli böleklerindäki ýyldyzlaryň mukdaryny häsiýetlendirmek üçin, molekulalaryň konsentrasiýasy baradaky düşüňjä meňzeşlikde, *ýyldyz dykyzlygy* diýen düşüňje girizilýär. Ýyldyz dykyzlygy diýip, giňişligiň göwrüm birligindäki



ýyldyzlaryň mukdaryna aýdylýar. Göwrüm birligi diýip, adatça 1 *kub parsek* kabul edilýär.

Ýyldyz dykzylygyny gös-göni Günüň töwereklere üçin kesgitlemek ýeňildir, sebäbi bize ýakyn bolan ýyldyzlar üçin trigonometrik parallaksalary ygtybarly kesgitlenendir.

Hasaplamalaryň netijeleri Günüň ýakynynda ýyldyz dykzylygy bir kub parsek göwürüme takmynan 0,06 ýyldyza deňdir. Başga sözler bilen aýdanymyza bir ýyldyza ortaça $16pk^3$ uly göwrüm ýetýär; ýyldyzlaryň arasyndaky ortaça uzaklyk bolsa $2,5pk$ töweregidir.

Dürli ugurlarda ýyldyz dykzylygynyň nähili üýtgeýändigini bilmek üçin, asmanyň dürli ýerlerinde birlik meýdanda (mysal üçin, bir kwadrat gradusda) ýyldyzlaryň sanyny hasaplaýarlar.

Ilki bilen, orta çyzygy asmanda uly tegelek emele getirýän, Akmaýanyň ýolunyň zolagyna ýakynladygyňça, ýyldyzlaryň konsentrasiýasynyň güýçli ulalýandygyny bellemek zerurdyr. Tersligine, bu tegelegiň polýuslaryna ýakynlaşdygyňça ýyldyzlaryň konsentrasiýasy örän çalt kemelýär. Ýyldyzlaryň dykzylygynyň giňişlik boýunça üýtgemesiniň özboluşlygy, XVIII asyryň ahýrynda W.Gerşele biziň ýyldyz sistemamyzyň gysylan, süýnmek görnüşi bolmaly, özi hem Gün bu emele gelmäniň simmetriýa tekizliginiň ýakynynda ýerleşen bolmaly diýip netije çykarmaga mümkinçilik berýär.

Eger ýyldyzlary hasaplanymyza olaryň ählisini bir saparda sanaman, zygiderlikde, görünýän ýyldyz ululyklarynyň her bir m bahasyna çenli, ýagny ilki bilen görünýän ýyldyz ululyklary $m < k$ bolan ýyldyzlaryň N_k sanyny, soňra $m \leq k + 1$ bolan ýyldyzlaryň N_{k+1} sanyny we ş.m. sanasak, onda ikinji wajyp netije çykaryp bileris. Onda, görünýän ýyldyz ululygynyň artmagy bilen, ýyldyzlaryň N_m sanynyň geometrik progressiýa boýunça artýandygy ýüze çykarylýar. Eger-de ýyldyz dykzylygy uzaklyk boýunça üýtgemeýän we ýyldyzlaryň hemmesiniň ýagtylanyjylygy birmeňzeş bolan bolsadylar, onda gowşak ýyldyzlaryň sanynyň bu artmasy, asmanyň şol bir çägene uzak aralyklardan proyektirlenýän çägiň geometrik ölçegleriniň ýönekeý artmasynyň netijesi bolardy. Hakykatdan-da, görünýän ýyldyz ululygy m -e deň ýa-da kiçi bolan, asmanyň käbir çägene proyektirlenýän hemme ýyldyzlar, radiusy (10.6) formula boýunça

$$\lg r_m = 1 + 0,2(m - M)$$

kesgitlenýän, şar sektorynyň içinde ýerleşýändir. Bu ýerde biz hemme ýyldyzlaryň M absolýut ýyldyz ululyklary birmeňzeş diýip hasaplapdyk. Edil şuna meňzeş aňlatmany, görünýän ýyldyz ululyklary $m+1$ -den uly bolmadyk ýyldyzlaryň ýerleşýän şar sektorynyň radiusy üçin hem alarys. Olary biri-birinden aýryp, alarys:

$$\lg \frac{r_{m+1}}{r_m} = 0,2.$$

Ýyldyz dykzlygy hemişelik bolanda, ýyldyzlaryň sany giňişligiň göwrümine, ýagny radiusyň kubuna proporsional bolmalydyr. Şonuň üçin:

$$\lg \frac{N_{m+1}}{N_m} = 0,6 \quad (11.1)$$

ýa-da

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = 4. \quad (11.2)$$

Emma gözegçiliklerden hakykatda ýyldyzlaryň sany m -iň ulalmagy bilen beýle çalt artmaýar, ýagny m -iň uly bolmadyk bahalary üçin N_{m+1}/N_m gatnaşyk 3-e ýakyn we m -iň ulalmagy bilen ol kemelýär hem-de 17^m ululykly ýyldyzlar üçin takmynan 2-ä deňdir.

Eger-de hemme ýyldyzlaryň ýagtylanyjylyklary birmeňzeş bolan bolsadylar, onda gözegçilik edilýän N_{m+1}/N_m gatnaşyk boýunça Günden daşlaşdygymyza ýyldyz dykzlygynyň üýtgemesini kesgitlemek ýeňil bolardy. Hakykatdan hem, $N_{m+1}/N_m = 4$ bolanda, uzaklygyň 1,6 esse ulalmagy bilen (ýyldyz ululygynyň m -den $m+1$ -e geçmegine deň) ýyldyz dykzlygy hemişelik bolardy, $N_{m+1}/N_m = 3$ bolanda bolsa, ýyldyz dykzlygy 3:4 gatnaşykda kemelerdi. Gözegçilik edilýän N_{m+1}/N_m gatnaşyk Günden islendik berlen ugur boýunça uzaklaşdygymyza, ýyldyz dykzlygynyň kemelýändigini görkezýär. Eger bu ugurda ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesi ujypsyz bolsa, onda bu ugurda biziň ýyldyz sistemamyzyň dowamlylygyna, ýagny uzaklygyna baha berip bileris. Netijede, Galaktika çäklenlen bolýar.

Ýazgysy getirilen çemeleşme, has çylşyrymly meseläniň, hakykatda ýyldyzlaryň dürli ýagtylanyjylyklarynyň bardygyny, gözegçilikleriň bolsa ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesi sebäpli güýçli



ýoýulýandygyny hasaba alýan çözüwiniň esasyny düzýändir. Giňişligiň berlen çäklerinde bar bolan dürli ýagtylanyjylykly ýyldyzlaryň mukdaryny häsiýetlendirmek üçin $\varphi(M)$ ýagtylanyjylyk funksiýasy girizilýär. Bu funksiýa ýyldyzlaryň umumy sanyndan näçesiniň M -den $M + 1$ -e çenli absolýut ýyldyz ululygynyň bardygyny görkezýär.

Eger bize ýagtylanyjylyk funksiýasy belli bolsa, onda matematiki çylşyrymlylygyna garamazdan, dürli uzaklyklarda ýyldyz dykzylygyny kesgitlemek, birmeňzeş ýyldyz ululyklary üçin ýazgysy getirilen ýagdaýdan düýpli tapawutlanmazdy.

Hakykatda ýyldyz astronomiýsynda has uly çylşyrymlyklar bilen iş salyşmaly bolýar we ýyldyzlary hasaplamalaryň netijeleriniň esasynda ýagtylanyjylyk funksiýasyny, şeýle hem berlen ugurda ýyldyz dykzylygynyň uzaklyga baglylygyny tapmaly bolýar.

Dürli uzaklyklarda we dürli ugurlarda ýyldyz dykzylygyny bilip, Galaktikanyň gurluşyny, düzümini göz önüne getirip bolýar.

203-nji suratda Galaktikanyň umumy düzüminiň shemasy getirilen. Ondan görnüşi ýaly, hakykatdan hem ol gysylan, süýnmek, Galaktikanyň tekizligi diýilýän, esasy tekizlige görä simmetrik bolan sistemadyr. Esasy tekizligiň asman sferasy bilen kesişýän uly aýlawyna *galaktik ekwator* diýilýär. Ol Akmaýanyň ýolunyň orta çyzygy bilen gabat gelýär diýen ýalydyr. Bu sistemanyň merkezi – *Galaktikanyň merkezi* – Gün sistemasyndan gözegçilik edilende Abdalgolak ýyldyz toparyna, koordinatalary $\alpha = 265^\circ$ we $\delta = -29^\circ$ bolan nokada proyektirlenýär. Galaktikanyň merkezine tarap ugurda, şeýle hem Galaktikanyň tekizligine ýakynladygymyza ýyldyz dykzylygy artýandyr.

Şeýlelikde, ýyldyzlaryň Galaktikada paýlanylyşynda anyk iki özboluşlyk görünýär. Birinjiden, galaktiki tekizlige tarap örän güýçli konsentirlenýändir; ikinjiden, Galaktikanyň merkezine konsentirlenýändir. Ikinji özboluşlyk Galaktikanyň merkezi, ýadro ýa-da Galaktikanyň merkezi goýulanmasy diýilýän bölegine ýakynladygymyza güýçlenýändir.

Ýyldyz dykzylygynyň düýpli kemelmesi bolup geçýän uzaklyklary kesgitlep, Galaktikanyň ölçegleri barada düşünje alýarys, Günün takmynan ýerleşen çägin anyklaýarys. Günün Galaktikanyň merkezinden 10000 *pk* (10 *kpk*) uzaklykda ýerleşendigi, Galaktikanyň



203-nji surat. Galaktikanyň gurluşy

çäginin Günden hem 5000 pk aňyrda ýerleşendigi anyklanandyr. Şeýlelikde, Galaktikanyň diametri takmyndan $2 \cdot (10000 + 5000) pk = 30000 pk$ ýa-da 30 kpk -e deňdir. Galaktikanyň ölçeglerini ondan takyk görkezip bolmaýar, sebäbi onuň merkezinden uzaklaşdygymyza ýyldyz dykzlygy ýuwaş-ýuwaşdan kemelýär we çürt-kesik araçäk ýokdur.

Gün Galaktikanyň tekizliginiň ýakynynda, ondan demirgazyk tarapda, takmyndan 10 pk uzaklykda ýerleşendir.

Galaktikany öwrenmekde indiki ädim, hasaplama usulyny dürli görnüşli obýektlere, olaryň Galaktikada paýlanyşyny öwrenmek maksady bilen ulanmakdyr.

Galaktikanyň obýektleriniň esasy köplügi ýuka tekiz gatlagyň çägendäki giňişligi eýeleýändir. Bu obýektlere O we B irki spektral toparlaryň ýyldyzlary, şar görnüşli ýyldyz üşmeklerine degişli bolmadyk sefeidler, ikinji görnüşe degişli aşa täze ýyldyzlar, seçelenen ýyldyz üşmekleri, ýyldyz assosiasiýalary we garaňky (tozan) dumanlyklar degişlidir. Bu obýektleriň hemmesi Galaktikanyň tekiz düzüjisini (podsystemasyny) emele getirýär diýlip hasaplanýar. Oňa tarap, ýyldyz diskini emele getirýän, ýyldyzlaryň esasy köplügi konsentrasiýalanýandyr. Adatça olaryň hemmesi diýen ýaly ýaş obýektlerdir.



Eger bütün Galaktikadan beýleki käbir obýektleri, mysal üçin, RR Lira görnüşli ýyldyzlary, W Gyz we μ Sefeyä, birinji görnüşe degişli aşa täze, subkarlik ýyldyzlary we şar görnüşli ýyldyz üýşmeklerini tapawutlandyrsak, onda olaryň hemmesiniň, Galaktikanyň tekizligini diametral kesýän, ellipsoidiň göwrümini eýeleýändigini görmek bolar. Şonuň üçin sanalan obýektlere Galaktikanyň sferoidal (kämahal sferik hem diýilýär) düzüjisi (podsystemasy) diýilýär. Sferoidal düzüjiniň obýektleriniň has aýdyň ýüze çykyan, Galaktikanyň merkezine konsentrirenmesi bardyr.

Galaktikanyň galan obýektleri, mysal üçin, täze ýyldyzlar, RV Öküzçe ýyldyzlar, uzak periodly üýtgeýänler, ak karlikler, C we S spektral toparlaryň ýyldyzlary, şeýle hem planetar dumanlyklar azda-kände gysylan, süýnmek ellipsoidleriň çäklerinde ýerleşýändirler. Olary aralyk düzüjä degişli edýärler, sebäbi olaryň ýerleşen ellipsoidleriniň çäk ýagdaýlary bolup tekiz düzüji ýa-da sferoidal düzüji hyzmat edýärler.

Bu düzüjilere degişli obýektler özleriniň kinematiki häsiýetnamalary, ýagny hususy tizlikleriniň orta bahalary boýunça hem tapawutlanýandyr. Has gyzgyn atmosferada gazyň uly beýikliklere galşyna meňzeşlikde, Galaktikada hem çalt hereket edýän obýektler çalarak gysylan ellipsoidiň göwrümini eýeleýärler. Netijede, käbir obýektleriň (mysal üçin, O we B toparlaryň gyzgyn ýyldyzlary) Galaktikanyň tekizliginiň hemme ýerinde gabat gelmeýändiglerini, Andromeda dumanlygynyň gurluşyna meňzeşlikde, spiral görnüş emele getirip, Galaktikanyň merkezinden kesgitli uzaklyklarda ýerleşýändiglerini bellemek wajypdyr. Biziň Galaktikamyzyň spiral görnüşli gurluşyny, onda diffuz maddanyň we magnit meýdanynyň paýlanylyşyny öwrenmegiň netijeleri hem tassyklaýar.

§156. Ýyldyz üýşmekleri we assosiasiyalary

Ýyldyz üýşmegi diýlip, özara dinamiki baglanyşygy bolan obýektleriň köp sanyny özünde saklaýan, öz görnüşini we ýyldyz düzümi boýunça tapawutlanýan ýyldyzlaryň toparyna aýdylýar. Ýyldyz üýşmekleri daşky görnüşleri boýunça iki topara bölünýärler: düzü-

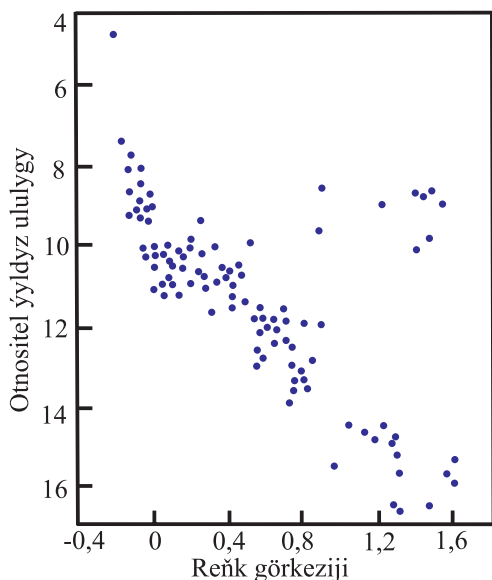
minde yüzlerce ýyldyzlary saklaýan, seçelenen üýşmekler we düzüminde onlarça we yüzlerce mün ýyldyzlary saklaýan, şar görnüşli, togalak üýşmekler.

Seçelenen ýyldyz üýşmekleri Galaktikanyň tekizliginiň ýakynynda gabat gelyärler. Günden birnäçe kiloparsek radiusda bular ýaly obýektleriň 800-den gowragy bellidir. Has uzakdaky seçelenen üýşmekleri tapmak, ýüze çykarmak çylşyrymlydyr. Belli bolan seçelenen üýşmekleriň tutýan çäkleriniň Galaktikanyň umumy göwrüminiň haýsy bölegine, ülüşine deňdigini bilip, biziň ýyldyz sistemamyzda jemi onlarça mün seçelenen üýşmekleri bolmalydyr diýip, çen tutmak bolar. Olardan iň bellileri, bizden 130 *pk* uzaklykdaky Pleýady seçelenen ýyldyz üýşmegi we 40 *pk* uzaklykdaky Giady seçelenen ýyldyz üýşmegidir.

Üýşmege degişli ýyldyzlary asmanyň şol bir çäklerine tötänleýin proýektirlenýän meýdanyň ýyldyzlaryndan tapawutlandyrmak, aýyrmak üçin, spektr-ýagtylanyjylyk diagramma gurulýar. Ýyldyz üýşmegi üçin adatça reňk-görünýän ýyldyz ululygy diagramma gurulýar. Bu diagrammanyň oklary boýunça reňk görkezijisi (spektral toparlaryň ýerine) we absolýut ýyldyz ululygyndan üýşmegiň ýyldyzlarynyň hemmesi üçin birmeňzeş tapawudy bolan, görünýän ýyldyz ululygy goýulýar.

Seçelenen ýyldyz üýşmekleri üçin Gersşprung-Ressel diagrammasynda düzgün boýunça, esasy zygiderlik gowy görünýär. Köp ýagdaýlarda äpetleriň şahasy ýokdur ýa-da ýok diýen ýalydyr (204-nji surat). Üýşmegiň hemme ýyldyzlary diýen ýaly şol birdeň uzaklykda ýerleşýändikleri üçin, onuň reňk-görünýän ýyldyz ululygy diagrammasy adatdakydan wertikal ok boýunça uzaklyk modulynyň ululygyna süýşen bolýar. Ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesiniň täsiri netijesinde bolsa gorizontal ok boýunça süýşen bolýar. Diagrammada «öz» ýerine düşmedik ýyldyzlaryň üýşmege degişli däl bolmagynyň mümkindigi aýdyňdyr. Bu ýyldyzlaryň üýşmege degişlidigini, olaryň hususy hereketlerini we üýşmegiň hemme ýyldyzlary üçin takmynan birmeňzeş bolmaly şöhle tizliklerini öwrenip, barlap bolýar. Üýşmege degişli ýyldyzlary belläp, esasy zygiderligiň normal ýagdaýyny tapyyp, uzaklyk modulyny, ýagny ýyldyz üýşmegine çenli uzaklygy alarys.





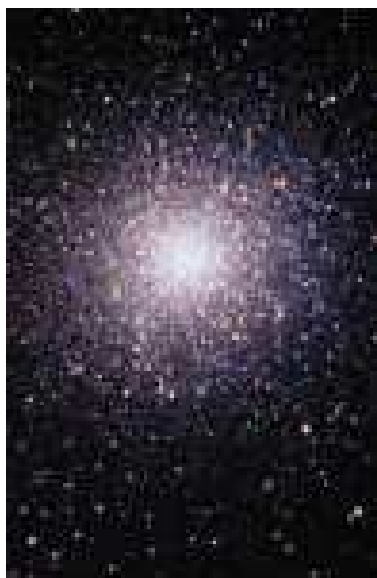
204-nji surat. NGC 2254 seçelenen ýyldyz üýşmegi üçin reňk-ýagtylanyjylyk diagrammasy

Ýyldyz üýşmegine çenli uzaklygy kesgitlänimizden soň, üýşmegiň çyzykly ölçeglerini hasaplamak ýenildir. Seçelenen üýşmekleriň köpüsiniň çyzykly ölçegleri 2-den 20-i parsek aralyklaryndadyr.

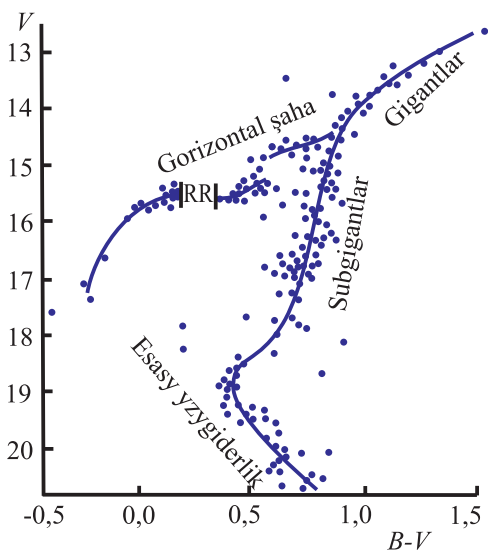
Seçelenen ýyldyz üýşmeklerinden tapawutlylykda, şar görnüşli ýyldyz üýşmekleri düzümine girýän ýyldyzlaryň köplügi bilen, ýyldyzlaryň merkeze tarap güýçli konsentirlenýändigleri sebäpli, takyk sferik ýa-da elliptik görnüşleri bilen, gurşap alan fondan güýçli tapawutlanýarlar (205-nji surat).

Şar görnüşli üýşmekleriň diametriniň orta bahasy 40 ps töweregidir. Uly ýagtylanyjylygy bolany sebäpli şar görnüşli üýşmekler biziň Galaktikamyzda uzak aralyklardan görünýär. Şonuň üçin olaryň göseçilik edilýän sany (100-den gowrak) bu obýektleriň Galaktikadaky umumy sanyna golaýdyr.

Şar görnüşli üýşmekler bize ýakyn ýerleşen beýleki galaktikalarda (mysal üçin, Magellanyň bulutlary, Andromeda dumanlygy) hem tapylandyr. Şar görnüşli ýyldyz üýşmekleriniň giňişlik boýunça paýlanyşy, olaryň seçelenen üýşmeklerden tapawutlylykda, sferik



205-nji surat. Gerkules ýyldyz toparyndaky şar görnüşli ýyldyz üýşmegi



206-njy surat. M3 şar görnüşli ýyldyz üýşmegi üçin reňk – görüňýän ýyldyz ululygy diagrammasy

düzüjini emele getirýändiglerini we Galaktikanyň merkezine konsentirlenendiklerini görkezýär.

Şar görnüşli ýyldyz üýşmekleri üçin reňk – görüňýän ýyldyz ululygy diagrammanyň aýratyn görnüşi bardyr (206-njy surat). Diagrammada şar görnüşli üýşmekler üçin häsiýetli bolan gorizonttal şaha, esasy yzygiderlik bilen birleşýän äpetler şahasy we Gerssprung-Ressel adaty diagrammasyndakydan kiçi ýagtylanyjylyklardan başlanýan esasy yzygiderligiň özi has aýdyň görüňýändir. Şar görnüşli ýyldyz üýşmeklerinde, köplenç, üýtgeýän ýyldyzlaryň ýeterlik mukdary, esasan hem bu obýektlere çenli uzaklygy kesgitlemäge mümkinçilik berýän RR Lira görnüşli ýyldyzlar bardyr.

1947-nji ýylda ermeni alymy W.Ambarsumýan tarapyndan ýyldyz assosiasiýalary diýlip atlandyrylýan, aýratyn ýyldyz toparlary açylandyr. Olaryň düzümine ýyldyzlaryň kesgitli görnüşleri girýär, olaryň ýyldyz dykzlygy, Galaktikada şol görnüşli ýyldyz dykzlygynyň orta bahasyndan ýeterlik uludyr.

Assosiasiýalaryň iki görnüşi bellidir. Birinji görnüşi *O*-dan *B* 2-ä çenli irki spektral toparlaryň ýyldyzlaryny özünde saklaýan *O*-asso-



siasiyalar. Olaryň ölçegleri onlarça we ýüzlerçe parseklere deň bolup, seçelenen ýyldyz üýşmeklerinden hem birnäçe esse uludyr. Ikinji görnüşiniň düzümine *T* Öküzçe görnüşli ýyldyzlar girýär we şol sebäpli olara *T-assosiasiyalar* diýilýär.

§157. Ýyldyzlaryň giňişlikdäki tizlikleri we Gün sistemasynyň hereketi

Eger ýyldyzyň bir ýylda duganyň sekuntlarynda aňladylan hususy hereketi μ we parseklerde aňladylan uzaklygy r belli bolsa, onda ýyldyzyň giňişlikdäki tizliginiň görüş tekizligine bolan proyeksiýasyny hasaplamak mümkindir. Bu proyeksiýa V_t tangensial tizlik diýilýär we

$$V_t = \frac{\mu'' r}{206265''} pk/yl = 4,74\mu r \cdot km/s \quad (11.3)$$

formula boýunça hasaplanýar.

Ýyldyzyň giňişlikdäki V tizligini tapmak üçin, ýyldyzyň spektrindäki çyzyklaryň dopler süýşmesi boýunça kesgitlenýän, V_r şöhle tizligini bilmek zerurdyr. V_r we V_t özara perpendikulýar bolanlary üçin, ýyldyzlaryň giňişlikdäki tizligi

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2} \quad (11.4)$$

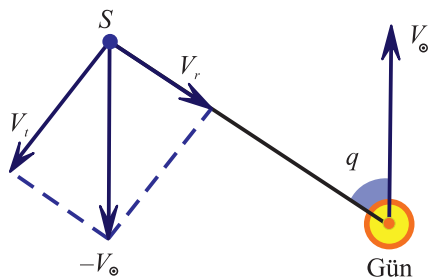
deňdir.

Ýyldyzlaryň hususy hereketlerini we şöhle tizliklerini bilmek, olaryň giňişlikde töweregindäki planetalary bilen bilelikde, Güne görälikde hereketleri barada netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Şonuň üçin ýyldyzlaryň gözegçilik edilýän hereketleri iki bölekden ybaratdyr. Olaryň biri Günüň hereketiniň netijesi, beýlekisi bolsa ýyldyzyň hususy hereketiniň netijesidir.

Ýyldyzlaryň hususy hereketleri barada netije çykarmak üçin, Günüň hereketiniň tizligini tapyp, ýyldyzyň hereketiniň gözegçilik edilýän tizliginden aýrmanydyr.

Günüň giňişlikdäki hereketiniň tizligini we ugruny kesgitleliň. Asman sferasynyň Günüň tizliginiň wektory ugrukdyrylan nokady-na Günüň apeksi, oňa garşylykly nokada bolsa antiapiks diýilýär. Günüň apeks nokadynyň ýagdaýyny kesgitlemegiň esasyny düzýän prinsipe düşünmek üçin, Günden başga ähli ýyldyzlar hereket et-

meýärler diýip hasaplalyň. Bu ýagdaýda ýyldyzlaryň gözegçilik edilýän hususy hereketleri we şöhle tizlikleri, Günün V_{\odot} tizlik bilen hereket edýanligi sebäpli ýüze çykýandyr (207-nji surat). Haýsy hem bolsa bir S ýyldyzy saýlap alalyň we oňa tarap bolan ugur V_{\odot} wektor bilen q burç emele getirýän bolsun. Ähli ýyldyzlar hereket etmeýär diýip hasaplanymyz üçin S ýyldyzyň Güne görä görünýän hereketiniň tizligi, Günün tizligine ululygy boýunça deň we ugry boýunça ters bolmalydyr, ýagny $-V_{\odot}$ bolmalydyr. Bu tizligiň iki sany düzüjisi bardyr, ýagny olaryň biri görüş şöhlesiniň ugry boýunça, ýyldyzyň şöhle tizligine deň bolan



207-nji surat. Günün hereketi netijesinde ýyldyzyň antiapakse tarap hereket edýän ýaly bolup görünmegi

$$V_r = -V_{\odot} \cos q, \quad (11.5)$$

beýlekisi bolsa görüş tekizliginde ýerleşen, ýyldyzyň hususy hereketine degişli bolan

$$V_t = -V_{\odot} \sin q, \quad (11.6)$$

düzüjisidir.

Bu proyeksiýalaryň ululyklarynyň q burça baglylygyny göz önünde tutup, Günün giňişlikde hereketi netijesinde, onuň hereket edýän ugrunda ýerleşen ýyldyzlaryň şöhle tizlikleri hakyky tizliklerinden V_{\odot} ululyga kiçi bolup görünmeli. Garşylykly ugurda ýerleşen ýyldyzlar üçin tersligine, tizlikleri şonça ululyga uly bolup görünmeli. Günün hereketiniň ugruna perpendikulýar ugurda ýerleşen ýyldyzlaryň şöhle tizlikleri üýtgeýän dälirlir. Ýöne olaryň antiapakse ugrukdyrylan we ululygy boýunça ýyldyzyň uzaklygyndan V_{\odot} wektoryň görünýän burçuna deň bolan, hususy hereketleri bolar. Apakse we antiapakse ýakynlaşdygymyza bu hususy hereketiň ululygy $\sin q$ proporsionallykda, nola çenli kemelýär.

Umuman alanymyza, hemme ýyldyzlar antiapakse tarap daşlaşýan ýaly bolup görünýär.



Şeýlelik bilen, haçan-da diňe Gün hereket eden ýagdaýynda, onuň hereketiniň tizliginiň ugruny we ululygyny iki usul bilen tapmak mümkindir:

1) dürli ugurlarda ýerleşen ýyldyzlaryň şöhle tizliklerini ölçäp, şöhle tizliginiň iň uly otrisatel bahasyna eýe bolan ugruny tapmaly; bu ugurda apeks ýerleşendir; apekse tarap ugurda Günüň hereketiniň tizligi, tapylan maksimal şöhle tizligine deňdir;

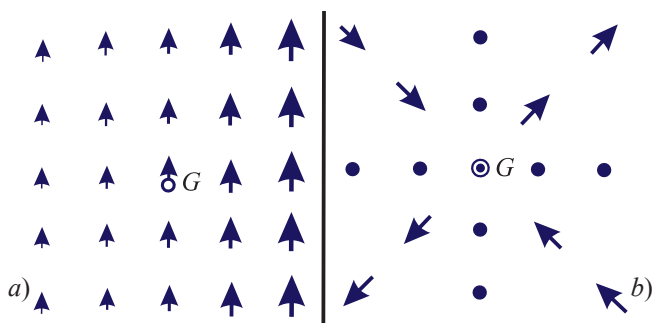
2) ýyldyzlaryň hususy hereketlerini ölçäp, olaryň hemmesiniň ugrukdyrylan, asman sferasyndaky umumy nokatlaryny tapmaly; oňa garşylykly nokat apeks bolar; Günüň tizliginiň ululygyny kesgitlemek üçin burç süýşmesini çyzykly tizlige geçirmeli, onuň üçin uzaklygy belli bolan ýyldyzy saýlap almaly, soňra onuň üçin (11.6) formula boýunça V_{θ} tapmaly.

Eger indi diňe Gün däl-de, hemme beýleki ýyldyzlaryň hususy hereketleri bar diýsek, onda mesele çylşyrymlaşýandyr. Emma asmanyň berlen çäklerinde ýyldyzlaryň köp sanysyny öwrenip, ortaça alanymyzda olaryň hususy hereketleri bir-birini kompensirlemeli diýip hasaplamak bolar. Şol sebäpli, ýyldyzlaryň köpüsi üçin hususy hereketleriniň we şöhle tizlikleriniň orta bahalary, diňe Gün hereket edýär diýip sereden ýagdaýymyzdaky, aýry-aýry ýyldyzlaryň tizlikleri üçin anyklanan kanunalaýyklyklara gabat gelýändir.

Ýazgysy getirilen usulyň kömegi bilen Gün sistemasynyň apeks nokadynyň Gerkules ýyldyz toparynda ýerleşendigi, göni ýokary görterilmesi $\alpha = 270^{\circ}$ we ýapgytlygy $\delta = +30^{\circ}$ deňdigi anyklandy. Bu ugurda Gün 20 km/s tizlik bilen hereket edýär.

§158. Galaktikada ýyldyzlaryň aýlanmasy

Adatça Günüň hereketiniň apeksi has ýakyn ýyldyzlar boýunça kesgitlenýär, sebäbi has uzakdaky obýektleriň haýsy hem bolsa bir umumy hereketi bar bolmagy mümkindir. Eger bular ýaly umumy hereket bar bolsa, onda asmanyň käbir çäklerinde köp sanly ýyldyzlar üçin şöhle tizliginiň we hususy hereketleriniň orta bahasy tapylanlygyna garamazdan, hususy tizlikler bir-birini kompensirlemeýär, sebäbi ýyldyz üşmekleriniň umumy tizligine deň bolan düzüjileri bolar.



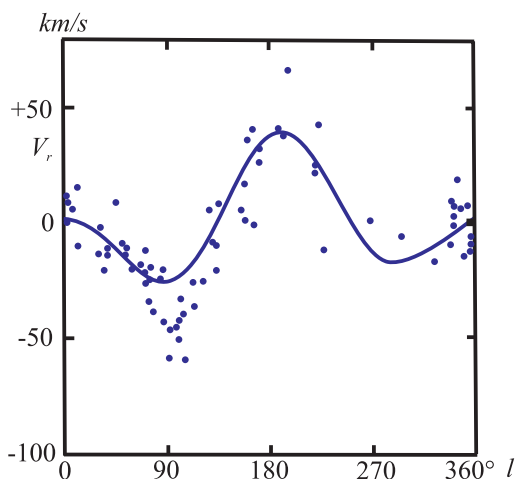
208-nji surat. Günün töweregindäki ýyldyzlaryň giňişlik (a) we şöhle (b) tizlikleri

G Güni ony gurşap alan uzakdaky ýyldyzlar bilen bilelikde seredeliň (208-nji surat). Goý, bu ýyldyzlar toparynyň haýsy hem bolsa bir umumy hereketi bar bolsun. Eger şonda herekete gatnaşýan ýyldyzlaryň tizlikleri birmeňzeş bolsa, onda hiç bir usul bilen ony ýüze çykaryp bolmazdy. Indi bolsa seredilýän çäklerde ýyldyzlaryň çyzykly tizlikleri kesgitli ugurda ýuwaş-ýuwaşdan artýan bolsun, mysal üçin, 208-nji a suratda görkezilişi ýaly, çepden-saga artýan bolsun. Tizlikleriň bular ýaly paýlanyşygy, eger-de biziň seredýän çägimiz sag tarapda, örän uzakda ýerleşen nokadyň daşynda aýlawly hereket edýän bolsa, emele gelýändir.

Indi bolsa G nokatdan (208-nji b surat) dürli ugurlar boýunça gözegçilik edilende, ýyldyzlaryň nähili şöhle tizlikleriniň boljakdygyna seredeliň. G nokatdan çep we saga gözegçilik etsek, bu ugurlar boýunça hiç hili otnositel hereketiň ýoklugy sebäpli, şöhle tizliginiň nola deň boljagy aýdyňdyr. Edil şular ýaly netijäni perpendikulýar ugurda hem alarys, sebäbi Günün tizliginiň wektorynyň ugry boýunça hemme ýyldyzlaryň tizlikleri birmeňzeşdir, şonuň üçin hem otnositel şöhle tizligi nola deňdir.

Ähli beýleki ugurlar boýunça şöhle tizlikleri gözegçilik ediler, özi hem olar iň uly bahasyna ýokarda sereden ugurlarymyz bilen 45° burç emele getirenlerinde eýe bolarlar. Ondan başga-da, seredilýän obýekt näçe uzakda boldugyça, gözegçilik edilýän şöhle tizligi hem şonça uly bolar. Uzakda ýerleşen ýyldyzlaryň şöhle tizlikleriniň ölçemeleri, olaryň tizlikleriniň endigan üýtgäp, ýokarda ýazgysy getirilen ýagdaýda, şöhle tizlikleriniň üýtgemesi bilen takyk gabat gelýändi-





209-njy surat. Ýyldyzlaryň şöhle tizlikleriniň galaktik ekwatoryň ugry boýunça üýtgemesi. (Günden ortaça uzaklyklary boýunça üç topara bölünen sefeidleriniň şöhle tizlikleri. Üznüksiz, bütewi çyzyk-degişli uzaklyklar üçin teoretiki egriler)

gini ýüze çykarýar (209-njy surat). Şunlukda, şöhle tizliginiň nola deň bahalary Galaktikanyň merkezine we antimerkezine, şeýle hem olar bilen 90° burç emele getirýän ugurlarda gözegçilik edilýär. Şu ýerden bolsa hemme ýyldyzlaryň Gün bilen bilelikde Galaktikanyň merkezine bolan ugra perpendikulýar ugurda hereket edýändigleri gelip çykýar. Bu hereket Galaktikanyň umumy aýlanmasynyň netijesidir we bu hereketiň tizligi merkezden uzaklyga görä üýtgeýändir (differensirlenen aýlanma).

Bu aýlanmanyň şu aýratynlyklary bardyr:

1. Aýlanma, Galaktikanyň Weronikanyň saçlary ýyldyz toparynda ýerleşen demirgazyk polýusyndan seredenimizde, sagat diliniň ugruna bolýar.

2. Aýlanmanyň burç tizligi merkezden uzaklaşdygymyzça kemelýändir. Emma bu kemelme, ýyldyzlar Galaktikanyň merkeziniň töwereginde Kepleriň kanunlary boýunça hereket eden ýagdaýyndaky burç tizliginiň kemelmesinden haýaldyr.

3. Aýlawly hereketiň çyzykly tizligi ilki başda merkezden daşlaşdygymyzça ulalýandyr. Soňra, takmynan Günüň ýerleşen uzaklygynda 240 km/s töweregi bolan maksimal bahasyny alýar, soňra bolsa örän haýalýyk bilen kemelýär.



4. Gün we onuň ýakynyndaky ýyldyzlar Galaktikanyň merkeziniň töwereginde bir doly aýlawy takmynan 200 million ýylda amala aşyrýarlar. Bu wagt aralygyna Galaktiki ýyl diýilýär.

§159. Ýyldyzara tozanlar

Ýyldyzly asmanyň fotosuratlarynda, esasan hem Akmaýanyň ýolunyň töwereginde, ýyldyzlaryň paýlanyşynda güýçli birhilli däl-ligi seljermek mümkindir we ol gara, dury däl dumanlyklar bilen baglanyşyklydyr.

Bular ýaly görnüşli obýektlere «Atyň kellesi» (210-njy sura-*rat*) we «Kömür halta» (Günorta Haç ýyldyz toparynyň iň ýagty iki ýyldyzynyň ýakynynda ýerleşen) ady bilen belli bolan gara dumanlyk-lary görkezmek bolar. Soňky dumanlygyň asmanda tutýan çäkleriniň görünýän burç diametri 3° -dan uludyr.

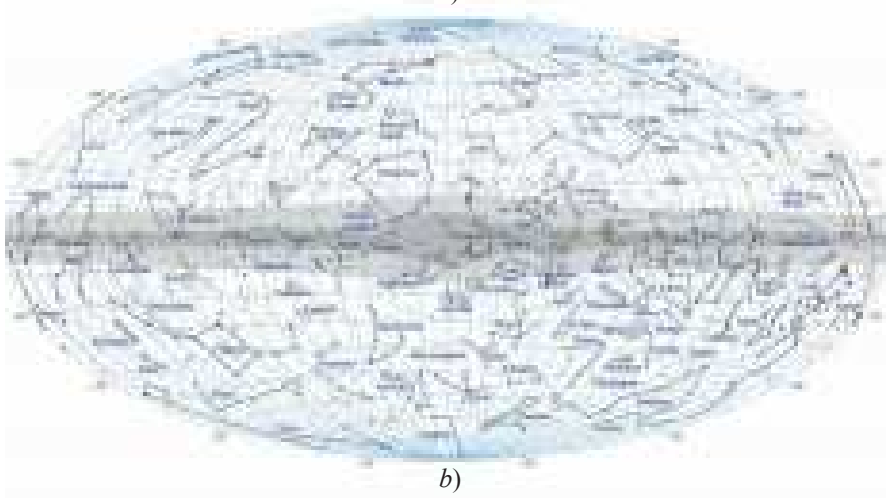
Bu dumanlyk bize örän ýakyndyr we 150 *pk* töweregi uzaklykda ýerleşendir. Diýmek, onuň hakyky ölçegleri 8 *pk* töweregidir. Daşyny gurşap alan Akmaýanyň ýolunyň ýagty zolagy bilen tapawudynyň güýçli bolany sebäpli, dumanlyk gara tegmil ýaly bolup görünýär. Teleskopda seredilende ondaky gowşak ýyldyzlar görünýär. Olaryň sany edil şol ölçegleri bolan goňşy çäklerdäki ýyldyzlaryň sanyndan



210-njy surat. Üç ýyldyzdaky (Orion ýyldyz topary) «Atyň kellesine» meňzeş gara dumanlyk



a)



b)

211-nji surat. Akmaýanyň ýolunyň Galaktikanyň merkezine tarap ugurda görnüşi:

a) fotosuraty; b) obýektleriň ýerleşişleriniň çyzgysy

takmynan üç esse azdyr. Bu bolsa dumanlygyň uzakdaky ýyldyzlaryň ýagtylygyny siňdirýändigini, ýagtylygyň umumy mukdaryny takmynan üç esse kemeldýändigini görkezýär.

Bular ýaly siňdirme,

$$\tau = \ln 3 \approx 1,1$$

bolan optiki galyňlyga laýykdyr. Ýagtylygyň gowşamasyny ýyldyz ululyklarynda aňlatsak, onda

$$\Delta m = 1,08\tau \approx 1^m,2.$$



«Kömür halta» meñzeş bulutlaryň köplügi Akmaýanyň ýolunyň orta çyzygynyň ugry boýunça, Guw ýyldyz toparyndan başlap Bür-güt, Ýylan, Keman we Içýan ýyldyz toparlaryndan geçýän, giň gara zolagy emele getirýärler. Ol Akmaýanyň ýolundaky belli bolan Uly şahalanmadyr. Esasan hem gara bulutlar köp mukdarda, biziň Galaktikamyzyň Keman ýyldyz toparynda ýerleşen, merkezi goýulanmanyň çäklerinde gözegçilik edilýär (211-nji surat).

Şonuň üçin Galaktikanyň örän wajyp bolan obýektini gözegçilik etmek örän çylşyrymlydyr. Ýyldyzara giňişlikde ýagtylygy siňdirýän maddanyň barlygyny, ýagtylygyň ýyldyzara gyzarmasy diýilýän, ýene bir hadysa tassyklaýar. Bu hadysa köp ýyldyzlaryň, esasan hem örän uzakda ýerleşenleriniň şöhlelenmesiniň spektral düzüminiň, Günüň ýakynynda ýerleşen, şol bir spektral toparyň ýyldyzlarynyň şöhlelenmesiniň spektral düzüminden tapawutlanýanlygyndadyr. Tapawut şöhlelenmäniň spektriniň gök böleginiň ýetmeýänligidir, bu bolsa onuň gyzarýan ýaly bolup görünmegine getirýär. Netijede, köp ýyldyzlar üçin, esasan hem Akmaýanyň ýolunyň ýakynynda ýerleşenleri üçin, §141-de reňk görkezijisi bilen spektral toparyň arasynda kesgitlenen baglanyşyk bozulýar.

Bu hadysany mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin *CE* ýa-da *E* (color excess) *reňk artykmaçlygy* diýen düşünje girizilýär. Reňk artykmaçlygy berlen obýektiň gözegçilik edilýän reňk görkezijisi bilen onuň degişli bolan spektral toparynyň reňk görkezijisiniň tapawudyna aýdylýar.

Şöhlelenmäniň spektral düzüminiň üýtgemesi ýagtylygyň siňdirilmesini ýüze çykarýan şol bir madda tarapyndan ýüze çykarylýandyr. Ýagtylygyň siňdirilme hadysasy gök şöhleler üçin has güýçlüdir, gyzyl şöhleler üçin bolsa gowşagrakdyr.

Bu şöhlelenmäniň spektriň dürli çäklerinde geçirilen mukdar taýdan ölçegleri, siňdirmäniň ululygynyň görünýän tolkun uzynlyklaryň çäklerinde şöhlelenmäniň tolkun uzynlygyna ters proporsionaldygyny görkezýär. Ýagtylyk bular ýaly gowşama, diametri takmynan ýagtylygyň tolkun uzynlygyna deňräk, ýagny orta bahasy

$$2r = 0,8mk,$$

kese-kesiginiň meýdany bolsa

$$\pi \cdot r^2 \approx 5 \cdot 10^{-9} \text{ sm}^2$$

bolan, owunjak gaty bölejiklerden (tozanjyklar) ybarat bolan sredadan geçende sezewar bolýandyr.

Ýyldyzara sredanyň çäklerinde buzuň kristallaryna meňzeş gaty bölejikler, ýanmada döreýän gaza meňzeş önümlerden tüssäniň bölejikleriniň döreýşine meňzeşlikde emele gelip biler. Molekulýar birleşmeler, olaryň barlygyny spektral gözegçilikler tassyklaýar, ýyldyzara sredada wajyp orun eýeleýändirler.

Şular ýaly usul bilen döreýän tozanjyklaryň dykzlygy buzuň dykzlygyndan sähelçe az bolmalydyr, ýagny ony $\rho \approx 0,5 \text{ g/sm}^3$ hasaplap bolar. Ýokarda getirilen ölçegleri hasaba alyp, ýyldyzara tozanyň aýry bölejiginiň massasy

$$m = \frac{3}{4}\pi \cdot r^3 \rho \approx 10^{-13} \text{ g}$$

bolmalydyr.

Kesgitli reňkiň şöhleleriniň, ýyldyz ululyklarda aňladylan (ony Δm bilen belläliň) siňdirilmesi, reňk artykmaçlygyna proporsionaldygy anyklanandyr, ýagny

$$\Delta m = \gamma \cdot CE. \quad (11.8)$$

Eger siňdirilmäni fotografik ýyldyz ululyklarynda ölçesek, onda proporsionallyk koeffisiýenti γ bahasy 4-e, eger-de wizual ýyldyz ululyklarda aňlatsak, omda ol 3-iň töweregi bolar. Eger-de ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesi bolmadyk bolsa, onda ýyldyzlar has ýagty görnerdi we gözegçilik edilýän m ýyldyz ululygynyň ýerine

$$m' = m - \Delta m = m - \gamma \cdot CE \quad (11.9)$$

gözegçilik edilerdi.

Günüň ýakynynda, 1000 pk uzaklykda ýerleşen ýyldyzlaryň reňk artykmaçlygynyň ortaça bahasy $0^m,5$ -e deň. (11.9) formula laýyklykda, bu ýyldyzlaryň görünýän tolkun uzynlyklarda şöhlelenmesiniň gowşamasy takmynan

$$\Delta m = 1^m,5$$

deň, ýagny dört essä deňdir. Diýmek, ýyldyzara sredanyň 1 pk bolan gatlagynyň optiki galyňlygy

$$\tau_{1pk} = \frac{\Delta m}{1,08} \approx \frac{1,5}{1,08} \approx 1,4.$$

Bu ululygyň siňdirmäniň dürli ugurlarda ölçemeleriniň esasynda alnan, orta ululykdygyna üns bermelidir. Aýry-aýry ýerlerde siňdirmе bu ululykdan kiçi hem bolup biler, şeýle hem bu ululykdan ýeterlik uly hem bolup biler. Mysal üçin, biziň seredip geçen, ölçegi 8ps bolan, «Kömür halta» dumanlygynyň ýeke özünüň ýagtylygy gowşatmasy $1^m,2$ -ä deňdir. Bu ýerden bolsa ondaky maddanyň mukdary ýyldyzara sredada 1000 pk ölçegleri bolan gatlakdaky madda deňdir, ýagny siňdirýän maddanyň dykzylygy 100 esseden hem uludyr.

Indi bolsa ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesini ýüze çykarýan, aýry-aýry tozanjyklaryň mukdaryna baha bereliň. Bölejikleriň siňdirmе täsiri, olaryň gelýän şöhlemenmäni ýönekeý ekranirlemegine syrygýar diýip hasaplalyň. Onda τ optiki galyňlygyň fiziki manysyny göz önünde tutup, $\tau_{1pk} = 1,4$ bolanda, uzynlygy 1000 pk we kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 bolan sütünde ýerleşen hemme bölejikleriň kese-kesikleriniň jemi 1,7 sm^2 -a deň bolýar. Her bir bölejigiň kese-kesiginiň ölçeginiň orta bahasy $5 \cdot 10^{-9} sm^2$ bolany üçin, bu sütündäki bölejikleriň sany

$$N = \frac{1,4}{5 \cdot 10^{-9}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ bölejik}.$$

Bu sütüniň göwrümi

$$V = 10^3 pk \cdot 1 sm^2 = 3 \cdot 10^{21} sm^3.$$

Şonuň üçin her bir bölejige

$$\nu = \frac{V}{N} = \frac{3 \cdot 10^{21}}{3 \cdot 10^8} = 10^{13} sm^3$$

göwrüm ýetýär, ýagny tarapy 200 m -den ulurak bolan kuba deňdir. Garşylykly ululyk tozanjyklaryň konsentrasiýasyny berýär:

$$n = \frac{N}{V} = 10^{-13} \text{ bölejik}/sm^3.$$

Hakykatda ölçegleri 10^{-4} - $10^{-5} sm$ bolan bölejikler göze görünýän şöhleleri edil şol ölçeglerdäki ekranjyklardan güýçli siňdirýändirler. Şol sebäpli, alnan netije takmynan iki esse ýokarlandyrylandyr.

Ýyldyzara giňişlikde owunjak tozanjyklaryň şular ýaly ujypsyz ja mukdarynyň bolmagy hem, görünýän we absolyt ýyldyz ululyklary deňeşdirmegiň üsti bilen uzaklyklary kesgitlemegiň usulyna wajyp düzedişleri girizmäge mejbur edýär. Hakykatdan hem, r -iň dogry



bahasyny almak üçin, (10.6) formulada m -iň ýerine m' goýmak zerurdyr. Netijede alarys:

$$\lg r = 1 + 0,2 \cdot (m - M - \gamma \cdot CE). \quad (11.10)$$

Mysal üçin, eger fotografik şöhlelerde reňk tapawudy bir ýyldyz ululygyna ýetýän bolsa, onda ýyldyzara siňdirmäni hasaba alman kesgitlenen uzaklyk hakykydan 8 esse uly bolar.

Siňdirýän maddanyň fiziki tebigatyny anyklamak üçin Günň ýakynynda, uzaklyk birligine düşýän ýagtylygyň selektiw siňdirilmesiniň orta ululygyndan peýdalandyk. Indi bolsa dürli ugurlarda doly siňdirmäniň nähili üýtgeýändigine, ýagny siňdiriji gatlagyň ululygynyň we görnüşiniň nähilidigine seredeliň.

Iň güýçli siňdirmiş Galaktikanyň tekizliginiň ýakynyndadyr. Bu ýerde ol örän uludyr (esasan hem Galaktikanyň merkezine tarap ugurda) we uly çäklerde üýtgeýändir. Akmaýanyň ýolunyň tekizliginden uzaklaşdygymyza, görüş şöhlesiniň ugry boýunça siňdiriji gatlagyň galyňlygynyň ýukalmagynyň hasabyna ýyldyzara siňdirmäniň doly ululygy çalt pese düşýändir. Bu kemelme Galaktik tekizlik bilen görüş şöhlesiniň arasyndaky b burçuň kosinusyna takmynan proporsionaldyr. Galaktikanyň tekizligine perpendikulýar ugurda (galaktikanyň polýusy), göze görünýän ýagtylygyň doly siňdirilmesi (1 kpk -de däl-de, gatlagyň бүтін ölçeginde) $0^m,4$ töweregidir.

Siňdirmäniň $\cos b$ ululyga proporsionallygy siňdirýän gatlagyň tekiz bolmalydygyny aňladýar. Meňzeş baglanyşygy biz Ýeriň atmosferasynyň optiki galyňlygyny kesgitlänimizde, onuň gatlaklary tekiz parallel diýip hasaplap alypdyk (§110). Galaktikanyň tekizligine perpendikulýar bolan ugurda siňdirmäniň ululygy ($0^m,4$) 1 kpk -de siňdirmäniň orta bahasynyň $1/4$ bölegini düzýär. Şonuň üçin tozan gatlagyny birhilli hasaplap, onuň galyňlygynyň bary-ýogy $1000/4 = 250 \text{ pk}$ deňdigini alarys.

Şeýlelik bilen tozan, birnäçe ýüz parsek galyňlygy bolan diskiň çäklerinde paýlanyp, Galaktikanyň tekiz düzüjisine degişlidir. Tozan dumanlyklaryň daşky görnüşi, tozanyň bu diskde paýlanyşynyň topbak-topbak häsiýetiniň bardygyny görkezýär.

Käbir ýagdaýlarda tozan dumanlygynyň ýakynynda ýerleşen ýagty, ýöne gaty gyzgyn bolmadyk ýyldyzyň, tozan dumanlygyny ýagtylandyryýan bölegini görüp bolýar. Ýagtylandyrylýan bölegiň

kese-kesigi adatça 1 *pk*-den kiçidir. Ýöne şular ýaly uly bolmadyk göwrümiň çäklerinde hem tozanjyklaryň paýlanylyşy örän deňölçegsizdir. Köplenç, güberçekligi ýagtylandyrýan ýyldyzdan daşyna bolan, egri inçejik süýmleri gözegçilik edip bolýar. Ýagtylandyrýan ýyldyzy kesgitlemek çylşyrymly däl, sebäbi ýyldyzyň we dumanlygyň spektrleri örän meňzeşdir. Bu bolsa ýagtylanmany ýyldyzyň şöhlelenmesini serpikdirýan tozanjyklaryň döredýändigini tassyklaýar, şol sebäpli hem ýagty dumanlyklara serpikdirýan diýilýär. Şular ýaly bulutlaryň köplügi (her 1000 *pk*-de 8–10 sany) Galaktikanyň spiral gollarynda, gaz dumanlyklary bilen köp gabat gelýär we gaz-tozan toplumyny (kompleksini) emele getirýärler.

Siňdirmäniň haýsy hem bolsa bir kesgitli ugurda, uzaklyga görä üýtgemesini öwrenmeler tozanyň aýry-aýry bulutlarda jemlenendigin we olaryň her biriniň ortaça ölçegleriniň 5-10 *pk*-e deňdigini, içinden geýän ýagtylygyň 20% töwregini siňdirýändigini görkezýär. Bu bolsa ýagtylygyň 0^m,25 ululyga gowşamagyna deňdir we onuň ululygy Günüň töwereklerinde 1 *kpk* üçin hasaplanan, ýagtylygyň gowşamagynyň orta bahasyndan alty esse kiçidir. Şonuň üçin aýry bulutda görüş şöhlisiniň ugry boýunça maddanyň mukdary, ortaça $1000/6 = 170$ *pk*-e düşýän maddanyň mukdaryna deňdir. Bulutlaryň 5-10 *pk* ölçeglerinde tozanyň dykzlygy aýry-aýry bulutlarda orta dykzlykdan onlarça esse («Kömür halta» dumanlykda görşümüz ýaly, 100 esse) uly bolmalydyr.

Dykzlyk has uly bahalara globula diýilýän we köplenç, ýagty dumanlygyň fonunda gara tegelek detal görnüşde gözegçilik edilýän, kiçijik (ölçegi parsegiň ondan bir üleşlerinde) dykz emele gelmelerde gözegçilik edilýär.

Olarda tozanyň dykzlygy iň dykz tozan bulutlaryndakydan hem ýüzlerçe esse uludyr. Görşümüz ýaly, ýyldyzara sredanyň käbir çäkleriniň dykzlygy güýçli üýtgeýändir, özi hem çägiň ölçegleri näçe kiçi boldugyça, dykzlyk şonça uly üýtgeýändir. Şol sebäpli ýyldyzara bulutlaryň dykz dumanlyklara gysylmagy, ahyrynda ýyldyzlaryň emele gelmegine alyp barýan bolmagy mümkindir. Bu prosesde tozana garanyňda has wajyp orun, diffuz ýyldyzara sredadaky gaza degişlidir. Ýyldyzara gazyň mukdary tozanyň mukdaryndan ortaça 100 esseden hem köpdür.



§160. Ýyldyzara gaz

Gaz dumanlyklary. Has belli gaz dumanlygy Orion ýyldyz toparyndadyr we onuň ölçegleri 6 *pk* töweregi bolup, Aýsyz gije gural-syz gözegçilik edilende hem görüp bolýandyр (212-nji surat).

Şeýle hem Abdalgolak ýyldyz toparyndaky Omega, Laguna we Trehrazdelnaýa, Guw ýyldyz toparyndaky Demirgazyk Amerika we Pelikan, Ýedinorog ýyldyz toparyndaky Rozetka dumanlyklary we başgalary görkezmek bolar. Şular ýaly obýektleriň sany 400 töweregidir. Hakykatda olaryň Galaktikadaky sany has köpdür, ýöne ýagtylygynyň ýyldyzara siňdirilmesi sebäpli biz olary görüp bilmeýäris.

Gaz dumanlyklarynyň spektrlerinde ýiti emission çyzyklar bardyr, bu bolsa olaryň ýagtylanmasynyň gaz tebigatynyň bardygyny görkezýär. Has ýagty dumanlyklaryň üznüksiz spektri hem gözegçilik edilýändir.

Düzgün boýunça, H_α we H_β wodorod çyzyklary, iki gezek ionlaşan kislorodyň $O III$ gadagan geçişlerinde emele gelýän, tolkun uzynlyklary 5007\AA we 4950\AA bolan nebulýar çyzyklary beýlekilerden güýçli tapawutlanýar.

Bu çyzyklar tanalmazyndan öň olary gipotetiki element, nebuliý şöhlendirýär diýip hasaplapdyrlar. Şeýle hem bir gezek ionlaşan kislorodyň $O II$ tolkun uzynlyklary 3727\AA töweregi bolan, gadagan



212-nji surat. Üç ýyldyzdaky (Orion ýyldyz topary) gaz dumanlygy

iki çyzyklary, azotyň we beýleki käbir elementleriň çyzyklary intensiwdir.

Gaz dumanlyklarynyň içinde ýa-da onuň golaýynda mydama бүтин dumanlygyň ýagtylanmasynyň sebäbi bolan, *O* ýa-da *B0* spektral topara degişli gyzgyn ýyldyzy tapmak mumkindir. Bu gyzgyn ýyldyklar, edil planetar dumanlyklarda bolşy ýaly (§144 seret), töweregini gurşap alan gazy ionlaşdyrýan we ýagtylanmaga mejbur edýän, örän kuwwatly ultramelewşe şöhlelenmä eýedirler.

Dumanlygyň atomynyň siňdiren, ýyldyzyň ultramelewşe kwantynyň energiýasy esasan atomy ionlaşdyrmaga sarp edilýär. Energiýanyň galany erkin elektrona tizlik bermek üçin harçlanylýar, ýagny ahyrynda ýylylyga öwrülýär. Ionlaşan gazda ionlaşma prosesine ters bolan, elektrony bagly ýagdaýyna gaýdyp getirýän, rekombinasiýa hem bolup geçmelidir. Emma bu proses, köplenç, aralyk energetik derejeleriň üsti bilen bolup geçýär. Şol sebäpli ilki başda siňdirilen «gaty», ultramelewşe kwantyň ýerine dumanlygyň atomlary energiýasy pesrāk bolan, görünýän şöhleleriň kwantlaryny şöhlendirýärler (bu hadysa fluoressensiýa diýilýär). Şeýlelikde, dumanlykda ýyldyzyň ultramelewşe kwantlarynyň «owradylmasy» we ony göze görünýän spektriň spektral çyzyklaryna degişli bolan şöhlelenmä gaýtadan işlenmesi bolup geçýär diýmek mümkindir.

Wodorodyň, ionlaşan kislorodyň we azotyň çyzyklaryndaky şöhlelenme sebäpli gazyň sowamasy, ionlaşmada ýüze çykýan ýylylyk bilen deňagramlaşýar. Netijede, dumanlygyň temperaturasy käbir kesgitli derejede, ýagny $10^4 K$ töwereginde durnuklaşýar we ony gazyň ýylylyk radioşöhlelenmesi boýunça barlap bolýar.

Haýsy hem bolsa bir spektral çyzykda şöhlendirilýän kwantlaryň sany rekombinasiýalaryň sanyna, ýagny elektronlaryň ionlar bilen çakyşmalarynyň sanyna proporsionaldyr. Güýçli ionlaşan gazda olaryň konsentراسiýalary deňdir, ýagny $n_i \approx n_e$. Bir bölejigiň çakyşmalarynyň ýygylgy (7.18) laýyklykda n proporsional bolanlygy üçin, birlik göwrümdäki hemme ionlaryň elektronlar bilen çakyşmalarynyň umumy sany $n_i \cdot n_e$ köpeltmek hasyllyna, ýagny n_e^2 deňdir. Diýmek, dumanlygyň şöhlendirýän kwantlarynyň umumy sany ýa-da onuň asmandaky ýagtylygynyň ýitiligi n_e^2 -yň görüş şöhlesiniň ugry boýunça jemine proporsionaldyr. Ölçeği L bolan



birhilli dumanlyk üçin bu ululyk $n_e^2 \cdot L$ deňdir. $n_e^2 \cdot L$ köpeltmek hasylyna emissiýa ölçegi diýilýär we onuň ululygyny dumanlygyň ýagtylygynyň ýitiligine gös-göni gözegçiliklerden alyp bolýar. Şonuň bilen birlikde emissiýa ölçegi dumanlygyň esasy fiziki häsiýetnamasy bolan gazyň dykzlygy bilen baglydyr.

Şeýlelikde, gaz dumanlyklarynyň emissiýa ölçegini bilip, bölejikleriň n_e konsentrasiasyna baha berip bolýar, onuň bahasy $10^2\text{--}10^3 \text{ sm}^{-3}$ töweregidir we has ýiti dumanlyklar üçin ondan hem uludyr.

Görşümüz ýaly, gaz dumanlyklarynda bölejikleriň konsentrasiasy Gün täjindäkiden millionlarça esse kiçidir.

Gazyň örän güýçli seýreklendirilmesi onuň spektrinde, intensiwligi boýunça rugsat edilen çyzyklar bilen deňeçerräk bolan, gadagan çyzyklaryň ýüze çykmagyny düşündirýär. Adaty gazda oýandyrylan atomlar gadagan çyzyklary şöhlendirip ýetişmeýärler, sebäbi onuň bolup geçmezinden has öň olar beýleki bölejikler (esasan hem elektronlar) bilen çakyşýarlar we oýandyrylma energiýasyny kwant şöhlelenmezden olara berýärler. Gaz dumanlyklarda 10^4 K temperaturada elektronlaryň ýylylyk hereketiniň orta tizligi 500 km/s -a ýetýär we $n_e = 10^2 \text{ sm}^{-3}$ konsentrasiyada (7.17) formula boýunça hasaplanan çakyşmalaryň wagt aralygy $2 \cdot 10^6 \text{ s}$ -a deň, ýagny bir aý töweregi bolýar. Bu bolsa gadagan geçişleriň köpüsi üçin atomyň oýandyrylan ýagdaýdaky «ýaşaýyş wagtyndan» millionlarça esse uludyr.

***H I* we *H II* zolaklar.** Seredip geçilen mysallardan görnüşi ýaly, gyzgyn ýyldyzlar uzak aralyklara çenli öz töweregindäki gazy ionlaşdyrýar. Bu gaz esasan wodoroddan ybaratdyr. Ony ionlaşdyrýan, esasan hem tolkun uzynlyklary 912\AA -den gysga bolan laýmanyň kwantlarydyr. Ýöne köp mukdarda olary diňe effektiv temperaturalary $T_{\text{eff}} \geq 3 \cdot 10^4 \text{ K}$ bolan we şöhlenlenmesiniň maksimumy spektriň ultramelewşe böleginde ýerleşen, *O* we *B0* spektral toparlara degişli ýyldyzlar berip bilýärler. Hasaplamalar bu ýyldyzlaryň 1 sm^3 -da 1 atom konsentrasiasy bolan gazy onlarça parsek uzaklyklara çenli ionlaşdyryp bilýändigini görkezýär. Ionlaşan gaz ultramelewşe şöhlenlenme üçin durudyr, neýtral gaz bolsa ony güýçli siňdirýändir. Netijede, gyzgyn ýyldyzy gurşap alan sredanyň ionlaşan böleginiň çürt-kesik araçägi bardyr (birhilli sredada ol şar görnüşlidir) we on-

dan aňyrda gaz neýtrallygyna galýandyr. Şeýlelik bilen, ýyldyzara sredada gaz tutuşlygyna ionlaşan ýa-da tutuşlygyna neýtral bolup bilýär. Birinji, ionlaşan çäklere HI , ikinjâ bolsa $H I$ zolak diýilýär. Gyzgyn ýyldyzlaryň sany köp däl, şonuň üçin gaz dumanlyklary ähli ýyldyzara sredanyň ujypsyz bölegini (5% töweregi) düzýändir.

$H I$ zolagyň gyzdrylmasy kosmiki şöhleleriň, rentgen kwantlaryň we ýyldyzlaryň foton şöhlemenmesiniň ionlaşdyryjy täsiriniň netijesinde bolýandyr. Şonda ilki bilen uglerodyň atomlary ionlaşýandyr. Ionlaşan uglerodyň şöhlemenmesi $H I$ zolakda gazyň sowamagynyň esasy mehanizmidir. Netijede, bu zolakda energiýanyň ýitgisi bilen gelýän energiýanyň arasynda deňagramlylyk döremeli. Deňagramlylyk dykzlygyň ululygyna baglylykda temperaturanyň iki bahasynda amala aşyrylýar. Olaryň birinjisi, dykzlygyň uly bahalaryna eýe bolan gaz-tozan bulutlarda, temperatura birnäçe ýüz gradus bolanda amala aşyrylýar. Ikinjisi bolsa, seýreklandirilýän gazyň birnäçe mün gradusa çenli gyzýan, gaz-tozan bulutlaryň aralygyndaky giňişlikde ýerine ýetýär. Dykzlygyň aralyk bahalaryna eýe bolan çäklernuhsyz ýagdaýda bolýar we ilkibaşda birhilli bolan gaz hökman iki faza-ýeterlik dykz bulutlara we olary gurşap alan, ýeterlik seýreklandirilýän sreda bölünmelidir. Şeýlelik bilen, ýylylyk deňagramsylygy ýyldyzara sredanyň topbak-topbak bulut görnüşli gurluşynyň bolmagynyň esasy sebäbidir.

Ýyldyzara siňdirme çyzyklary. Ýyldyzlaryň arasyndaky giňişlikde sowuk gazyň barlygyny goşa ýyldyzlaryň spektrlerini öwrenen nemes astronomy Gartman XX asyryň başynda subut edýär. §149-da belleýşimiz ýaly, goşa ýyldyzlaryň spektral çyzyklary periodiki süýşmelere sezewar bolýandyr.

Ol käbir ýyldyzlaryň (esasan hem gyzgyn we uzakdaky) spektrlerinde ionlaşan H we K stasionar çyzyklaryny (ýagny öz tolkun uzynlyklaryny üýtgetmeýän) ýüze çykarýar. Beýlekilerden diňe tolkun uzynlyklarynyň üýtgemeyänligi bilen tapawutlanman, çyzyklaryň örän darlygy bilen hem tapawutlanýarlar. Has gyzgyn ýyldyzlaryň spektrlerinde bolsa H we K çyzyklar düýbünden ýokdur. Bu bolsa gözegçilik edilýän stasionar çyzyklaryň ýyldyzlaryň atmosferasynda emele gelmän, ýyldyzlaryň aralygyndaky giňişlikdäki gazyň siňdirmesi bilen baglanyşyklydyr. Soňra beýleki atomlaryň:



neýtral kalsiý, natriý, kaliý, demir, titan we käbir beýleki molekulýar birleşmeleriň ýyldyzara siňdirmе çyzyklary ýüze çykarylandyr. Ýyldyzara sowuk gazyň has doly spektroskopik barlaglary, spektriň uzak ultramelewşe çäginde, ýyldyzara siňdirmе çyzyklaryna atmosferadan daşary gözegçilikleriň esasynda mümkin bolandyr. Spektriň uzak ultramelewşe çäginde «sowuk» gazyň siňdirmesi uly bolmaly bolan, wajyp himiki elementleriň rezonans çyzyklary jemlenen bolmalydyr.

Hususan-da wodorodyň (L_{α}), uglerodyň, azotyň, kislorodyň, magniniň, kremniniň we beýleki atomlaryň rezonans çyzyklary gözegçilik edilendir. Rezonans çyzyklaryň intensiwlikleri boýunça himiki düzüm barada has ygtybarly maglumatlary almak mümkindir. Ýyldyzara gazyň himiki düzümi, alnan maglumatlara görä, ýyldyzlaryň standart himiki düzümine ýakyndygy, ýöne käbir agyr himiki elementleriň az mukdardadygy anyklanyldy.

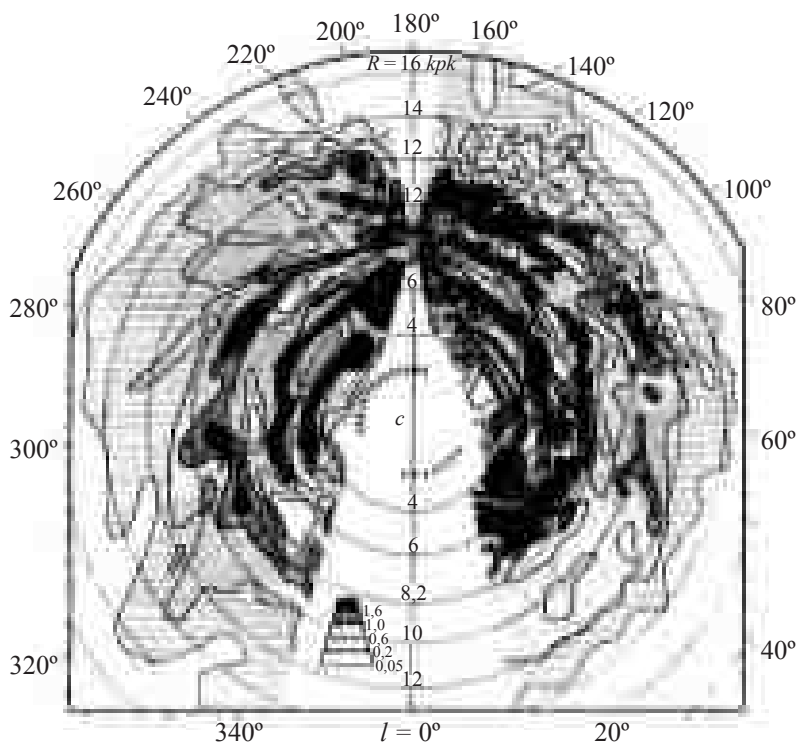
Uly dispersiýasy bolan ýyldyzara siňdirmе çyzyklaryny öwrenmek, olaryň şöhle tizlikleriniň $\pm 10 \text{ km/s}$ orta bahasyna degişli bolan, dürli dopler süýşmeli, köplenç, birnäçe sany aýry-aýry inçe düzüjilere dargaýandygyny görkezýär. Bu bolsa gazyň $H I$ zolakda, ölçegleri we ýerleşişleri geçen paragrafda sereden tozan bulutlarymyzyň ýerleşen çäkleri we ölçegleri bilen takyk gabat gelýär. Diňe gazyň massasynyň ortaça 100 esse uludygy bilen tapawutlanýandyr. Diýmek, gaz we tozan ýyldyzara sredada, bir bulutdan beýleki buluda geçilende otositel dykzyzlyklarynyň güýçli tapawutlanyp bilýändigine garamazdan, şol bir ýerlerde jemlenendirler. Ionlaşan ýa-da neýtral gazdan ybarat bolan, aýry-aýry bulutlar bilen bir hatarda, Galaktikada, ölçegleri, massasy we dykzyzlygy boýunça has uly bolan, gaz-tozan toplumlary diýilýän, sowuk ýyldyzara madda bardyr. Olardan bize iň ýakyny, belli bolan Orion toplumydyr. Onuň düzümine beýleki belli bolan obýektler bilen bir hatarda Orion dumanlygy hem girýändir. Çylşyrymly we örän birhilli däl gurluşy bilen tapawutlanýan bular ýaly çäklerde, kosmogoniýa üçin örän wajyp bolan, ýyldyzlaryň emele gelme prosesi bolup geçýändir.

Neýtral wodorodyň monohromatik şöhledenmesi. Ýyldyzara siňdirmе çyzyklary $H I$ zolaklaryň häsiýetnamalaryny bellibir derejede anyklamak üçin gyýtaklaýyn usuldyr. Sebäbi bu usulyň kömegi bilen diňe gyzgyn ýyldyza tarap bolan ugurda barlaglary

geçirip bolýar. Neýtral wodorodyň Galaktikada paýlanylyşynyň doly şekilini diňe wodorodyň hususy şöhlelenmesiniň esasynda gurmak mümkindir. Neýtral wodorodyň 21 *sm* tolkun uzynlygynda şöhlelenmäniň spektral çyzygynyň bolmagy radioastronomiýanyň öňünde uly mümkinçilikleri döredýär. 21 *sm* tolkun uzynlykda çyzyklary şöhlelendirýän wodorod atomlarynyň umumy mukdary örän köp bolany sebäpli, Galaktikanyň tekizliginde ýerleşen gatlak, bary-ýogy 1 *kpk* galyňlykda 21 *sm*-de radioşöhlelenme üçin ýeterlik dury däl bolup başlaýar. Şonuň üçin, eger-de Galaktikadaky hemme neýtral wodorod hereket etmeýän bolsa, onda biz Galaktikanyň ölçegleriniň 3% töwereginden uzak aralyklary gözegçilik edip bilmezdik. Bular ýaly şert diňe Galaktikanyň merkezine we antimerkezine tarap ugurda ýerine ýetýändir, sebäbi §159-da görşümüz ýaly, görüş şöhlesiniň ugry boýunça otnositel hereket ýokdur. Emma galan ähli ugurlarda, galaktiki aýlanma sebäpli, dürli obýektleriň uzaklyk boýunça artýan şöhle tizlikleri bardyr. Şonuň üçin, şöhle tizliginiň kesgitli bahasy bilen häsiýetlendirilýän Galaktikanyň her bir çägi, dopler süýşmesi sebäpli 21 *sm*-de däl-de, şöhle tizliginiň ugruna baglylykda, ondan sähelçe uly ýa-da kiçi tolkun uzynlykly «özünüň» çyzygyny şöhlelendirýär. Ýakyn ýerleşen gaz göwürümleri üçin bu süýşme üýtgeşikdir we şonuň üçin olar has uzaklara gözegçilik etmäge päsgelçilik bermeýärler. Bular ýaly çyzyklaryň her biriniň profili, Galaktikanyň differensial aýlanma hadysasynyň ululygyna degişli uzaklykdaky gazyň dykzyzlygy barada düşünje berýär. 213-nji suratda neýtral wodorodyň Galaktikada paýlanyşynyň şu usul bilen alnan şekili ýerleşdirilen.

Suratdan görnüşi ýaly, neýtral wodorod Galaktikada deňölçegsiz paýlanandyr. Merkezden kesgitli uzaklykda, Galaktikanyň spiral gurluşynyň elementleri bolan, gyzgyn ýyldyzlaryň we diffuz dumanlyklaryň paýlanylyşyny tassyklaýan, dykzyzlygyň artmasy ýüze çykyp başlaýar. Uzakdaky ýyldyzlarda ýüze çykarylan, ýagtylygyň polýarlanmasynyň esasynda, Galaktikanyň magnit meýdanynyň esasy böleginiň güýç çyzyklary spiral gollaryň ugurlary boýunça ugrukdyrylandyr diýip hasaplap bolýar. Ýagty, şeýle hem gara dumanlyklaryň köpüsiniň spiral gollaryň ugurlary boýunça süýnmegi bu meýdanyň täsiri bilen düşündirilýär.





213-nji surat. 21 sm tolkun uzynlykda radiogözegçilikler boýunça neýtral wodorodyň Galaktikada paýlanyşynyň alnan şekili

Ýyldyzara molekulalar. Kâbir ýyldyzara siňdirmе çyzyklary molekulalaryň çyzyklary bilen deňeşdirilip, olara degişlidigi anyklanyldy. Optiki tolkun uzynlyklarda olar diňe CH , CH^+ we CN molekulýar birleşmeler bilen çäklenendir. Ýyldyzara sredany öwrenmekde, 1968-nji ýylda 18 sm tolkun uzynlykda, baryp 1953-nji ýylda çak edilen, gidroksiliň siňdirmе radioçyzyklary açylan soň, düýbünden täze tapgyr başlanandyr. Soňra ýyldyzara sredanyň radioşöhlelenme spektrinde ýene-de onlarça molekulalaryň çyzyklary anyklanyldy. «Kopernik» atly ýörite Ýeriň emeli hemrasynyň kömegi bilen tolkun uzynlygy 1092\AA bolan ýyldyzara H_2 molekulanyň rezonans çyzygy surata düşürildi. Molekulýar wodorodyň ýyldyzara sredada ýeterlik orun eýeleýändigini anyklanyldy. Molekulýar spektrleriň esasynda $H I$ zolaklaryň «sowuk» bulutlaryndaky şertleriň anyk derňewi geçirildi, olaryň ýylylyk deňagramlylygyny kesgitleýän prosesler anyklandy.

we ýokarda getirilen iki deňagramlyk ýagdaýynyň ýylylyk düzgünleri barada maglumatlar alyndy.

CH, CH⁺, CN, H₂, CO, OH, SC, SiO, SO we beýleki ýyldyzara molekulýar birleşmeleriň spektrlerini has takyk öwrenmek, ýyldyzara maddanyň esasy bölegi jemlenen, ýyldyzara sredanyň gurluşynyň täze elementini-molekulýar bulutlaryň barlygyny ýüze çykarmaga mümkinçilik berdi. Galaktikadaky ýyldyzara gazyň takmynan ýarysy, käwagt gara bulutlar diýip atlandyrylýan, bu äpet garamtyl emele gelmelerde jemlenendir. Olar esasan H₂ molekulalardan durýandyr. Molekulýar bulutlaryň massalary birnäçe ýüz müň Gün massasyna, ölçegleri bolsa onlarça parsege deňdir. Galaktikada olaryň umumy sany 4000 töweregi bolmaly. Bular ýaly bulutlardaky gazyň temperaturasy 20K ýokary däl, bölekleriň konsentrasiýasy 10^2 – 10^3 sm⁻³. Emma dykzlygy munlerçe esse uly bolan aýry-aýry goýulanmalarda temperatura 5-6 K-e çenli pese düşýändir.

Kosmiki mazerler. Käbir gaz-tozan bulutlaryň radiospektinde gidroksiliň siňdirme çyzyklarynyň ýerine düýbünden duýdansyz şöhlelenme çyzyklary ýüze çykaryldy. Bu şöhlelenme wajyp özboluşyklarynyň hatary bilen tapawutlanýar. Ilki bilen, gidroksiliň şöhlelenmesiniň radioçyzyklarynyň dördüsiniň hem otnositel intensiwliginiň anomallygydyr (adaty dälligidir), ýagny gazyň temperaturasyna laýyk gelmeýänligidir we olardaky şöhlelenmäniň örän güýçli polýarlananlygydyr (käwagtlar 100%-e çenli). Çyzyklaryň özleri bolsa örän inçejikdir. Bu bolsa olaryň ýylylyk hereketini amala aşyrýan adaty atomlar tarapyndan şöhlendirilip bilinmejekdigini aňladýar. Başga bir tarapdan bolsa gidroksil emissiýa çeşmeleriniň örän kiçi ölçegleriniň (onlarça astronomik birlik) bardygy anyklanyldy we gözegçiliklerde olardan gelýän şöhlelenmäniň akymyny almak üçin olaryň äpet uly ýitiligi, ýagny 10^{14} – 10^{15} K temperaturalara çenli gyzdrylan jisimiňki ýaly ýitiligi bolmaly diýip çaklamaly bolýar. Emma bular ýaly kuwwatly şöhlelenmäniň döremeginiň hiç hili ýylylyk mehanizminiň bolup bilmejekdigi aýdyňdyr.

OH emissiýasy ýüze çykarylanynyň yz ýanynda, tolkun uzynlygy 1,35 sm bolan suw buglarynyň radioçyzyklaryny şöhlendirýän, adatdan daşary ýiti «aşa ykjam» çeşmeleriň täze görnüşi açyldy.



OH emissiýa çeşmeleriniň adatdan daşary aşykjamlygy barada netije olaryň burç ölçegleriniň gös-göni ölçemelerinden gelip çykýar. Radioastronomiýanyň häzirkî zaman usullary nokatlanç çeşmeleriň burç ölçeglerini, optiki teleskoplar bilen deňeşdireniňde, çözüp bilijilik güýji müň esse gowý bolan takyklyk bilen kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu maksatlar üçin Ýer üstüniň dürli böleklerinde ýerleşen, birwagtda (sinhron) işleýän antennalar (interferometr) ulanylýar. Olaryň kömegi bilen kesgitlenen, ykjam çeşmeleriň köpüsiniň burç ölçegleri duganyň $3 \cdot 10^{-4}$ sekundyndan kiçidir.

Ykjam çeşmeleriň şöhlenenmesiniň wajyp özboluşlygy, esasan hem H_2O -nyň emissiýasy üçin güýçli bolan, üýtgeýänligidir. Birnäçe hepdäniň, hatda birnäçe günün dowamynda çyzyklaryň profili düýpgöter üýtgeýär. Kāmahallar bolsa bular ýaly üýtgemeler bary-ýogy 5 minutyň dowamynda bolup geçýär we ol çeşmäniň ölçegleri ýagtylygyň şu wagtyň dowamynda geçýän aralygyndan uly bolmadyk ýagdaýynda mümkindir. Şeýlelik bilen, H_2O -nyň çyzyklaryny şöhlelendirýän çäkleriň ölçegleri 1a.b. töweregi bolmagy mümkindir.

Gözegçilikleriň görkezişi ýaly, ölçegleri parsegiň ondan bir ülüşlerine deň bolan şol bir çäklerde çeşmeleriň köplügi bolup bilýär. Olaryň bir bölegi diňe OH-yň çyzyklaryny, beýleki bölegi bolsa diňe H_2O -nyň çyzyklaryny şöhlelendirýär.

Spektriň darajyk zolagynyň çäklerinde örän uly kuwwaty berip biljek şöhlenenmäniň häzirkî döwürde ýeke-täk mehanizmi kwant generatorlarynyň kogerent şöhlenenmesidir (ugry we fazasy boýunça birmenleş). Olara optiki diapazonda lazerler, radiodiapazonda bolsa mazerler diýilýär. OH-yň we H_2O -nyň emissiýasynyň ykjam çeşmeleri äpet tebigy kosmiki mazerlerdir.

Kosmiki mazerler, biziň gözümiziň önünde dogrudanda ýyldyzlaryň emele gelme hadysasy bolup geçýän çäkler bilen baglanyşykly bolmaly diýip hasaplamaga esas bardyr. Olar, köplenç, ýaş, massiw O we B spektral toparlaryň örän gyzgyn ýyldyzlarynyň emele gelen ýerlerinde, ýagny $H II$ zolaklarda gabat gelýär. Köp halatlarda olar ýeterlik ykjam, tozana baý bolan we şol sebäpli dury däl, aýratyn $H II$ zolaklary bilen gabat gelýär. Olaryň barlygy diňe ýylylyk radioşöhlenenmesiniň hasabyna ýüze çykarylýar. Bular ýaly çäkleriň ölçegleri takmynan $0,1 pk$, maddanyň dykzylygy bolsa adaty

ýyldyzara bulutlaryň dykzlygyndan ýüzlerçe esse uly bolmalydyr. Olaryň ionlaşmasynyň sebäbi dykz, dury däl bulut bilen gurşalan, gözegçilik edip bolmaýan gyzgyn ýyldyzdygy aýdyňdyr. Kāwagt bu obýektler infragyzył şöhlenmäniň nokatlanç çeşmesi görnüşinde gözegçilik edilýär. Olaryň ýaşı onlarça mün ýyl töweregi bolan, diňe ýaş emele gelmeler bolmalydygy öňünden bellidir. Ondan uly wagt aralygynda ýaňy dörän gyzgyn ýyldyzy gurşap alan dykz gaz-tozan sreda, gyzgyn ýyldyzyň ýagtylygynyň basyşynyň täsiri netijesinde giňelderdi we netijede ýyldyz görünüň bolardy. Giňelýän dykz gat-lak bilen gurşalan bular ýaly ýyldyzlara, tebigatda duş gelinýän, ýü-pep gurçuklarynyň daşyna pile saraşsyna meňzeşlikde «pile ýyldyz-lar» diýilýär. Bular ýaly örän özboluşly, ýöne tebigy şertlerde, mazer hadysasy amala aşyrylýan bolmalydyr.

§161. Kosmiki şöhleler. Galaktikanyň täji we magnit meýdany

Geçen paragraflarda sereden diffuz sredamyz esasan Galaktikanyň tekiz düzüjisini emele getirýän gazdan ybaratdyr. Galaktikanyň tekizliginden uly uzaklyklarda ýyldyzara sredanyň nähili tebigaty barka diýen soragyň döreýänligi tebigydyr. Ol ýerde, goý örän seýreklandirilen hem bolsa, gazyň bolup biljekdigi barada pikir ýöretmäni, Galaktikanyň tekizliginden ýeterlik uzaklyklarda gabat gelýän, öz daşky gaz gabyklaryny taşlaýan planetar dumanlyklar tassyklaýandyr.

Galaktikanyň bu çäklerindäki ýyldyzara sredanyň tebigaty baradaky has wajyp netijeleri kosmiki şöhleleri öwrenmegiň esasynda alnandyr. Bu şöhleler ýagtylygyň tizligine golaý, äpet uly tizlikler bilen hereket edýän, uly energiýaly elementar bölejikler we atom ýadrolarydyr. Bu bölejikleriň energiýasy hakykatdan hem ummasyzdyr, ýagny ýüzlerçe milliard elektron-wolta deňdir. Ýer atmosferasyndan geçende kosmiki şöhleler howanyň molekulalary bilen çakyşýarlar we köp sanly uly energiýaly täze bölejikleri döredýärler (ikilenç kosmiki şöhleler).

Himiki düzümi boýunça birinji, ýagny ilkişadaky kosmiki şöhleler köp ýyldyzlaryň maddasyndan käbir elementleriň oňnositel uly mukdary bilen tapawutlanýan (*16-njy tablisa*), esasan hem ýyl-



dyzlardaky ýadro reaksiýalary sebäpli örän ýeňil «ýanyp gutarýan», kosmosda düýbünden ýok diýen ýaly litiý, berilliý we bor elementleridir. Kosmiki şöhlelerde Ca, Fe, Ni ýaly has agyr elementleriň mukdary olaryň kosmosdaky orta mukdaryndan onlarça esse uludyr.

Kosmiki şöhlelerde litiý, berilliý we bor elementleriniň anomal (adatdan daşary) köp bolmagy, has agyr ýadrolaryň ýyldyzara gazyn atomlarynyň ýadrolary bilen (esasan hem protonlar we alfa-bölejikler) çakyşmagy sebäpli, dargamasy bilen düşündirilýär.

16-njy tablisa

Himiki elementleriň kosmiki şöhlelerdäki we Älemdäki ortaça mukdary (atomlaryň otnositel sany)

Himiki elementler	Kosmiki şöhleler	Älem boýunça ortaça
H	1000	1000
He	68	152
Li, Be, B	1,5	$1,5 \cdot 10^{-6}$
C, N, Q, F	4,4	1,5
Beýleki elementler (esasan hem Ne, Fe, Mg, Si, S, Al, Ni, Ca)	1,9	0,15

Bu çakyşmalar ýeňil ýadrolaryň otnositel mukdaryny köpeldýärler we agyr elementleri (esasan hem demir) azaldýarlar. Kosmiki şöhleleriň akymynda Li, Be we B elementleriň gözegçilik edilýän mukdarynyň emele gelmegi üçin şöhleler, özünde 3 g/sm^2 saklaýan maddanyň gatlagyndan geçmekleri zerurdyr. Gyzgyn ýyldyzlaryň we ýyldyzara sredanyň paýlanylyşyndan tapawutlylykda, kosmiki şöhleleriniň izotrop bolandyklary sebäpli, olaryň geçen ýoluny bahalandyrmak üçin, ýyldyzara sredanyň dykzyzlygynyň diametri Galaktikanyň diskiniň kese-kesigine deň bolan, sferik göwrüm boýunça orta bahasyny almaly. Dykzyzlygyň bular ýaly orta bahasy 10^{-26} g/sm^3 töweregi ýa-da 1 sm^3 -da wodorodyň 0,01 atomy bolmalydyr.

Kese-kesiginiň meýdany 1 sm^2 bolan we bular ýaly dykzyzlykly gaz bilen doldurylan, 3 gram maddany özünde saklaýan silindriň beýikligi

$$l = \frac{3 \text{ g/sm}^2}{10^{-26} \text{ g/sm}^3} = 3 \cdot 10^{26} \text{ sm} = 3 \cdot 10^8 \text{ pk}$$

bolmalydyr. Ol Galaktikanyň ölçeglerinden münlerçe esse uludyr.

Indiki bölümde biz kosmiki şöhleleriň käbir çeşmeleriniň Galaktikanyň çäklerinden hem has uzakda bolup bilýändiglerini görüris. Emma olaryň bellileriniň kuwwatlary gözegçilik edilýän kosmiki şöhleleriň mukdaryny düşündirmek üçin ýeterlik däl.

Diýmek, kosmiki şöhleler hemişe öz ugurlaryny üýtgedip, biziň Galaktikamyzyň içinde ummasyz ýoly geçýändirler. Ýagtylygynyň tizligine ýakyn tizlik bilen hereket edýän zarýadlanan bölejigiň traýektoriasyny üýtgedip biljek sebäp magnit meýdanydyr. Bilşimiz ýaly, magnit meýdany zarýadlanan bölejikleriň güýç çyzyklarynyň ugry boýunça hereketine päsgeçilik döretmeýär, ýöne keseligine hereket etmäge mümkinçilik bermeýär.

Umumy ýagdaýda zarýadlanan bölejigiň hereketi, magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň töwereginde, spiral boýunça bolýar. Güýjenmesi 10^{-6} ersted bolan magnit meýdanynda hereket edýän kosmiki şöhläniň adaty bölejiginiň spiralynyň sarymynyň radiusy parsegiň ýüz müňden bir bölegine ýa-da iki astronomik birlige deňdir. Bu ululyklar Galaktikanyň ölçegleri bilen deňeşdirenimizde ujypsyzdyr.

Galaktikanyň magnit meýdanynyň güýç çyzyklary onda utgaşýandyklary sebäpli kosmiki şöhlelere Galaktikany taşlap gitmek çylşyrymlydyr. Kosmiki şöhlelerini «saklamak» üçin meýdanyň güýjenmesi 10^{-5} - 10^{-6} erstedden kiçi bolmaly däl.

Galaktikada magnit meýdanynyň bardygynyň ýene-de bir subutnamasy uzakdaky ýyldyzlaryň ýagtylygynyň polýarlanmagydyr. Takyk ölçegler asmanyň uly çäklerinde gözegçilik edilýän, köp ýyldyzlaryň şöhlenenmesiniň birmeňzeş polýarlanandygyny görkezýär, şunlukda polýarlanma tekizligi öz ugruny bütün çägiň içinde endigan üýtgedýär. Polýarlanmanyň häsiýeti we ululygy (~10%) uzakdaky ýyldyzlaryň ýagtylygynyň sezewar bolýan ýyldyzara siňdirilmesi, Galaktikanyň uly çäklerinde birmeňzeş ugrukdyrylan, süýnmek bölejikleri (tozanjyklar) tarapyndan döredilýändigini görkezýär. Tozanjyklary bular ýaly ugrukdyrýan güýç magnit meýdany diýip çaklamak tebigydyr.

Kosmiki şöhleleriň izotropiýasy, ýagny olary goýberýän çeşmeleri «görüp» bolmaýandygy, ýyldyzara magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň örän «bulaşykdygyny» tassyklaýar we onuň netijesin-



de kosmiki şöhleleriň ondaky hereketi gazlaryň diffuziýa hadysasyna çalymdaşdyr.

Bir bölejigiň çeşmeden Ýere çenli öz çylşyrymly ýoluny geçýän ortaça wagtyňy bilmek üçin, geçilen ýoluň ýokarda tapylan bahasyny (10^{27} sm) ýagtylygyň tizligine, ýagny $3 \cdot 10^{10} \text{ sm/s}$ -a bölmek ýeterlikdir. Onda bu wagtyň $3 \cdot 10^{16}$ sekunda, ýagny milliardlarça ýyla deňdigini alarys.

Gözegçilik edilýän kosmiki şöhleleriň näçe wagtyň dowamynda bardygyny bilip, olaryň çeşmeleriniň zerur bolan kuwwatyny kesgitlemek ýeňildir.

Kosmiki şöhleleriň konsentراسiýasyny 10^{-11} sm^{-3} , olaryň ortaça energiýasyny bolsa $10^{10} \text{ eW} \approx 10^{-2} \text{ erg}$ deň diýip kabul edip, kosmiki şöhleleriň energiýasynyň dykzlygynyň $10^{-11} \text{ sm}^{-3} \cdot 10^{-2} \text{ erg} = 10^{-13} \text{ erg/sm}^3$ deňdigini alarys. Kесе-kesigi Galaktikanyň diametrine ($30 \text{ kpk} = 10^{23} \text{ sm}$) deň bolan sferanyň göwrümi $V = 5 \cdot 10^{68} \text{ sm}^3$ -a deňdir. Galaktikada kosmiki şöhleleriň doly energiýasy

$$10^{-13} \text{ erg/sm}^3 \cdot 5 \cdot 10^{68} \text{ sm}^3 = 5 \cdot 10^{55} \text{ erg}$$

töweregidir. $3 \cdot 10^{16} \text{ s}$ deň bolan wagtyň dowamynda şular ýaly energiýanyň döremegi üçin, çeşmeleriň kuwwaty

$$5 \cdot 10^{55} \text{ erg} / 3 \cdot 10^{16} \text{ s} = 1,7 \cdot 10^{33} \text{ erg/s}$$

bolmalydyr.

Galaktikada kuwwaty boýunça deňeşdirerlik ýeke-täk çeşme-aşa täze ýyldyz bardyr. Aşa täze ýyldyzyň partlamasy çalt elektronlaryň we kosmiki şöhleleriň emele gelmegine getirýän bolmalydyr. Aşa täzäniň gabygynyň aýrylmany bilen, olar galaktikanyň kosmiki şöhleleriniň umumy akymyna goşulýandyrlar. Günüň konwektiw zolagynda döreýän tolkunlaryň onuň hromosferasyny we täjini gyzdýryşlaryna meňzeşlikde, kosmos şöhleleri seýreklendirilen gazy (Galaktikanyň tekizliginden uzak aralyklara çenli) birnäçe million gradus temperaturalara çenli gyzdýrýandyr. Bu gyzgyn, seýreklendirilen, giňişleýin agyllumany emele getirýän gaz, Galaktikanyň sferoidal düzüjisine degişlidir we oňa Galaktikanyň täji diýilýär.

Örän uly tizlikli we energiýaly relýatiwistik elektronlaryň barlygyny radiogözegçilikler hem tassyklaýar. Metr we has uzyn tolkunlarda kosmiki radioşöhlelenmäniň intensiwligi gaz münlerçe,



hatda millionlarça gradus temperatura çenli gyzdyrylandaky ýalydyr. Bu şöhlelenmäniň asman boýunça paýlanylyşy, ýylylyk tebigaty bolan we Galaktikanyň tekizligine ýakynladygymyza örän güýçli artýan, ionlaşan wodorodyň radioşöhlelenmesiniň paýlanylyşy ýaly däl. Metr tolkun uzynlyklarda radioşöhlelenme Akmaýanyň ýolundan daşlaşanymyzda haýallyk bilen gowşayar we Galaktikanyň merkezine tarap birazrak güýçlenýär. Bu bolsa uzyn tolkunlarda kosmiki radioşöhlelenmäniň başga tebigatynyň bolmalydygyny görkezýär.

Bu radioşöhlelenmäniň spektri käbir diskret çeşmeleriň, hususan-da aşa täze ýyldyzlaryň partlamasy netijesinde dörän dumanlyklaryň spektrine örän meňzeşdir. Olaryň radioşöhlelenmesiniň tebigaty §151-de seredilipdi we relýatiwistik elektronlaryň magnit meýdanynda şöhlelenmesi bilen düşündirilipdi. Bilşimiz ýaly, kosmiki şöhleleriň bölejikleri Galaktikanyň magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň töwereginde hereket edýärler we onuň sferik düzüjisini emele getirýärler. Bu täjiň düzümindäki seýreklendirilen gazda kosmiki şöhlelerden başga-da relýatiwistik elektronlar hem bardyr, olaryň köp bolmadyk mukdary, takmynan 1% töweregi ilkinji kosmiki şöhleleriň düzüminde tapylandyr.

Bu elektronlaryň Galaktikanyň magnit meýdanynda togtadylanda döreýän şöhlelenmesi, uzyn tolkunlary kabul edýän radio-teleskoplaryň kömegi bilen bellige alynýar. Ýyldyzara gazyň ýylylyk şöhlelenmesinden tapawutlylykda, galaktik täjiň şöhlelenmesine ýylylyk däl şöhlelenme diýilýär. Şöhlelenmäniň bu görnüşine aşa täze ýyldyzlaryň partlamasynyň galyndylarynyň şol sebäpler boýunça ýüze çykýan şöhlelenmesi hem degişlidir.

§162. Galaktikanyň umumy düzümi

Biziň Galaktikamyz merkezine tarap galňayan, kese-kesiginiň ölçegi 30 mň pk töweregi bolan, ýyldyzlardan, seýreklendirilen gazdan, kosmiki şöhlelerden, tozanlardan ybarat bolan äpet tekiz emele gelmedir. Biz Galaktikanyň simmetriýa tekizliginiň ýakynynda, merkezinden radiusynyň takmynan $2/3$ bölegine deň bolan uzaklykda ýerleşendiris. Indi bolsa Galaktikanyň geçen paragraflarda seredip ge-





214-nji surat. NGC 891 spiral ýyldyz sistemasynyň gapdalyndan (gapyrgasyndan) seredilende görüňýän şekili

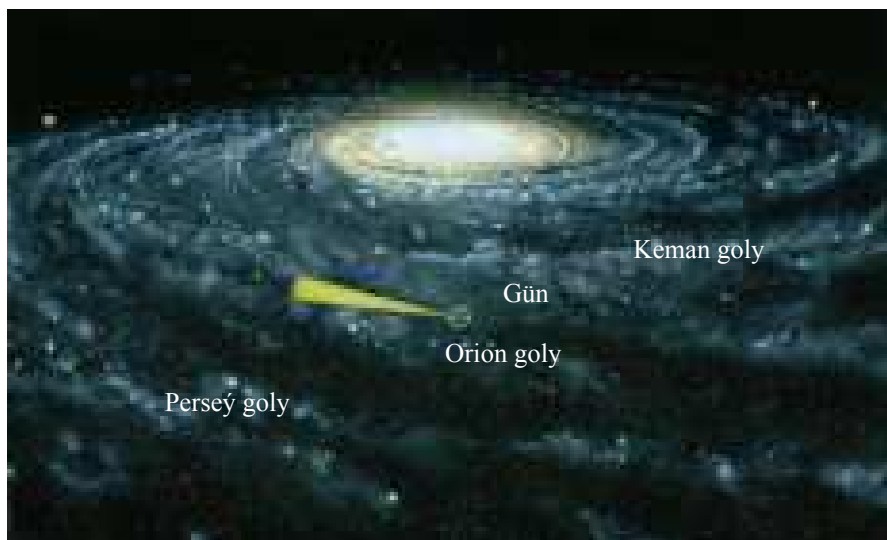
çen häsiýetnamalarymyzy, onuň gurluşy barada has umumy düşünje almak maksady bilen jemläliň.

Biz öň Galaktikanyň gurluşynyň wajyp elementleri bolan merkezi goýulanma, spiral gollary ýa-da şahalary, diski barada aýdyp geçipdik.

Merkezi goýulanma Galaktikanyň merkezi bölegini eýeleýär we onuň köp bölegini bizden gara, dury däl madda ýapýar. Onuň günorta ýarysy Abdalgolak ýyldyz toparynda ýiti ýagty ýyldyz buludy görnüşinde gowy görüňýär. Ýyldyzara tozan tarapyndan has gowşak siňdirilýän infragyzyň şöhlelerde onuň demirgazyk, ýagny ikinji ýarysyna hem gözegçilik edip bolýar. Olary bölýän kuwwatly tozan zolagy infragyzyň şöhleler üçin hem dury däl. Merkezi goýulanma asmanda $20^{\circ} \cdot 30^{\circ}$ bolan çäkleri eýeleýär, bu bolsa $3 \cdot 5$ *kpk* çyzykly ölçeglere deňdir.

Akmaýanyň ýoly Galaktikanyň merkezine tarap ugurda, gapdalyndan (gapyrgasyndan) seredilende, NGC 891 spiral ýyldyz sistemasynyň şekiline örän meňzeşdir (*214-nji surat*).

Merkezi goýulanmanyň ölçeglerini hasaba alyp, biziň Galaktikamyzy spirallaryň aralyk Sbc görnüşine degişli etmek mümkindir.



215-nji surat. Günün töwereginde Galaktikanyň spiral gollarynyň ýerleşşi

Andromeda dumanlygynyň merkezi goýulanmasynda (§153 we 202-nji surat) şar görnüşli ýyldyz üýsmegine meňzeş, çalt aýlanýan uly emele gelme ýüze çykarylandyr. Şuňa meňzeş obýekt biziň Galaktikamyzyň merkezi goýulanmasynda hem bolmalydyr diýip çaklanylýar. Hakykatdan hem, infragyzyň şöhlelenmäni kabul edijileriň kömegi bilen, ölçegleri 10 *pk* töweregi bolan, elliptik emele gelme ýüze çykarylandyr. Bu emele gelme daşy kuwwatly gaz-tozan buludy bilen gurşalan, ultramelewşe we görünýän şöhlelenmäni güýçli siňdirýän, diňe spektriň infragyzyň çäklerinde gözegçilik edip bolýan, düzüminde millionlarça ýyldyzlar bolan örän ykjam üýşmekdir. Bu ýerde tebigaty näbelli bolan, adaty däl obýektiň ýerleşen bolmagy mümkindir.

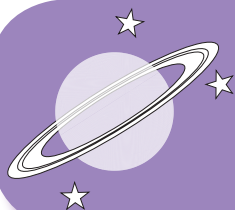
Galaktikanyň merkezinden 3 *kpk* uzaklykda, radioastronomiýanyň usullary bilen, merkezden daşyna 30 *km/s* tizlik bilen giňelýän, wodorod goly ýüze çykarylandyr. Merkezi goýulanmadan daşda, radiogözegçilikleriň esasynda alnan ýyldyzlara wodorodyň paýlanylyşy çylşyrymlydyr (213-nji surat) we gyzgyn ýyldyzlaryň paýlanylyşy boýunça ýüze çykarylan spiral gurluşa meňzeş däl. Umuman, neýtral wodorod Galaktikada giň halka emele getirýär.



Galaktikanyň Gün ýerleşen ýerinde birnäçe spiral gollar bardyr we olaryň ugurlary boýunça ýaş ýyldyzlaryň üşmekleri, ýyldyzara gaz we tozan bulutlary ýerleşendir (*215-nji surat*). Orion (Üç ýyldyz) ýyldyz toparynda gözegçilik edilýän gyzgyn ýyldyzlar, gyrasynda biziň Günümüz ýerleşen, Orion diýilýän goly emele getirýärler. Ýene-de iki gol-merkeze görä daşda ýerleşen Perseý goly we merkeze golaý ýerleşen Abdalgolak gollary ýüze çykarylandyr.

Bu gollaryň şol bir spiralyň dürli şahalanmalarynyň bolmagy mümkindir. Ýöne biziň Galaktikamyzyň, merkezi goýulanma bilen bagly bolan, birnäçe spiral şahalarynyň bolmagy hem mümkindir.





XII bap GALAKTIKADAN DAŞARY ASTRONOMIÝA

§163. Galaktikalaryň toparlara bölünişi we spektrleri

Açyk asmanda, Aýsyz gijelerde Andromeda ýyldyz toparynda guralсыз göz bilen seredilende hem seljerip bolýan, Andromeda dumanlygy diýilýän, gowşak duman tegmili görmek bolýar. Teleskopyň kömegi bilen alnan fotosuratlarda, spiral gurluşy bolan we öň belleýşimiz ýaly, biziň Galaktikamyza örän meňzeş bolan, uly ýyldyz sistemasydygy görünýär (*202-nji surat*). Günorta asmanda seljerip bolýan, bize ýakyn ýerleşen iki sany ýyldyz sistemasy-Uly we Kiçi



216-njy surat. Uly Magellan buludy



217-nji surat. Kiçi Magellan buludy

Magellan Bulutlaryny görmek bolýar (*216-njy we 217-nji suratlar*, Türkmenistanyň çäkerinden görünmeýär). Teleskoplaryň kömegi bilen şulara meňzeş obýektleriň köpüsi surata düşürilendir. Olara galaktikadan daşary dumanlyklar ýa-da galaktikalar diýilýär.

Adatça galaktikalar bellige alnan katalogynyň gysgaldylan ady we tertip belgisi boýunça aňladylýarlar. Mysal üçin, Andromeda dumanlygy Messýe katalogynda №31 belgide, Dreýeriň «Täze umumy katalogynda» bolsa №224 belgide ýerleşendir. Şonuň üçin ol M31 ýa-da NGC224 görnüşde bellenilýär.

Galaktikalaryň gurluşuny olaryň fotosuratlary boýunça öwrenýärler. Görnüşleriniň köplüğine garamazdan, galaktikalaryň gurluşunyň esasy elementleri biziň ýyldyz sistemamyzyňky ýalydyr. Olaryň köpüsiniň merkezinde has ýagty dykyzlanma-merkezi goýulanma bardyr. Daşky bölekleriniň bolsa, käbirlerinde çala, başgalarynda bolsa gowy seljerilýän spiral gurluşy bardyr. Daşky görnüşi boýunça galaktikalar elliptik, spiral, linza we nädogry görnüşlere bölünýärler.

Elliptik galaktikalar. Elliptik galaktikalaryň (E) çürt-kesik araçäkleri bolmadyk ellipsoid görnüşi bardyr (*218-nji surat*). Gyralaryndan merkezine tarap ýagtylygy endigan artýandyr. Adatça içki gurluşyny seljerip bolmaýandyr.



218-nji surat. NGC 205 elliptik galaktika – Andromeda dumanlygynyň hemrasy

Spiral galaktikalar. Spiral galaktikalar (S) galaktikalaryň iň köp gabat gelýän görnüşidir. Bu görnüşe gözegçilik edilýän galaktikalaryň ýarysyndan köprägi degişlidir. Bu görnüşe mysal edip, biziň Galaktikamyzy we Andromeda dumanlygyny görkezmek bolar. Elliptik galaktikalardan tapawutlylykda, olarda spiral şahalar görnüşli gurluşy gözegçilik edilýär.

Spirallaryň iki görnüşini tapawutlandyryrlar. Olaryň bir görnüşiniň, ýagny biziň Galaktikamyza meňzeş we SA ýa-da S bilen bellenilýäniniň spiral şahalary gös-göni merkezi dykyzlanmadan çykýarlar (*219-njy surat*). Beýleki görnüşlerinde bolsa şahalar, merkezinde süýrümlik dykyzlanma ýerleşen, süýnmek görnüşli bolan emele gelmäniň gyralaryndan başlanýarlar (*220-nji surat*). Bu görnüşli galaktikalaryň iki spiral şahasy merkezinde birleşdirilen ýaly görünýärler. Şonuň üçin olara kesişýän spirallar diýilýär we SB bellik bilen belgilenýär.

Spiral galaktikalar özleriniň spiral gurluşlarynyň ösüş derejesi boýunça hem tapawutlanýarlar, bu tapawut klassifikasiýada S (ýa-da SA) we SB belliklere *a*, *b*, *c* harplary goşmak bilen bellenilýär. Mysal üçin, Sa bellik spiral gurluşy gowşak ösen ýa-da ýaňy ýüze çykyp başlan galaktikalary häsiýetlendirýär. Sb bilen bellenýän sistemalaryň,





219-njy surat. M51 spiral galaktika

edil Andromeda dumanlygynyňky ýaly, şahalary gowy seljerilýändir, Sc bellik spirallary, uly bolmadyk merkezi dykyzlanmadan gaýdýan, bölek-bölek spiral şahalarynyň barlygy bilen tapawutlanýarlar. Düzgün boýunça, spiral gurluşy näçe ösen boldugyça, şonçada merkezi dykyzlanmanyň ölçegleri kiçi bolýar.

Eger spiral gurluşyň ýerleşen tekizligi görüş şöhlesine perpendikulýar ýerleşen ýagdaýynda ony has gowy öwrenip bolýandyr (219-njy surat). Haçanda görüş şöhlesi bu tekizlikde ýerleşen ýagdaýynda spiral gurluş görünýän däl, ýöne galaktikanyň merkezi böleginiň galňayan merjimek görnüşli tekiz emele gelmedigi görünýändir (214-nji surat). Bular ýaly merjimegiň orta çyzygynyň ugry boýunça ýagtylygy siňdirýän maddanyň zolagy uzalyp gidýär. Olar edil biziň Galaktikamyzdaky ýaly, spirallaryň ýakynynda esasy tekizlige güýçli konsentrirlenýändir.

Galaktikalaryň spiral şahalary esasan hem ýyldyzlaryň emele gelýän çäkleridir. Onuň şeýledigini şahalaryň düzüminde, öz töweregindäki wodorody uzak aralyklara çenli ionlaşdyrýan ýaş gyzgyn ýyldyzlaryň bolmagy tassyklaýar.

Linza görnüşli galaktikalar. Linza görnüşli galaktikalar (S0) daşky görnüşleri boýunça elliptik galaktikalara örän meňzeşdir, ýöne



220-nji surat. Iki spiral şahasy merkezinde birleşdirilen ýaly görinýän galaktikalar

olardan ýyldyz diskleriniň barlygy bilen tapawutlanýarlar. Şonuň üçin düzümi boýunça olar spiral galaktikalara meňzeşdirler we olardan tekiz düzüjisiniň, ýagny spiral gollarynyň ýoklugy bilen tapawutlanýarlar. Islendik spiral galaktika ýaş ýyldyzlaryndan we gazdan mahrum edilse, onda ol linza görnüşli galaktika meňzeş bolar.

Nädogry galaktikalar. Nädogry galaktikalara (Ir) mysal edip Magellan Bulutlaryny (216-njy we 217-nji suratlar) görkezmek bolar. Nädogry galaktikalar merkezi dykyzlanmanyň we gurluşynyň simmetriýasynyň ýoklugy, şeýle hem pes ýagtylanyjylygy we düzüminde neýtral wodorodyň oňnositel köplügi bilen häsiýetlendirilýärler.

Galaktikalaryň spektrleri. Galaktikadan daşary dumanlyklaryň spektri, siňdirme çyzyklary bolan, köplenç, A , F ýa-da G spektral toparlara degişli bolan ýyldyzlaryň spektriniň üstüne gaz dumanlyklarynyň ýagtylanmasy üçin häsiýetli bolan emission çyzyklary goşulýan spektri ýada salýan görnüşli bardyr. Bu bolsa galaktikadan daşary dumanlyklaryň ýyldyzlardan we diffuz materiýadan ybarat bolan sistemalarygyny subut edýär.

Nädogry galaktikalaryň spektrleri, düzgün boýunça A we F , spiral görnüşliler F we G , elliptikler bolsa G we K spektral toparlaryň ýyldyzlaryny ýada salýarlar. Bu bolsa spiral görnüşli we nädog-





221-nji surat. Özara täsirleşýän VV21 galaktikalar

ry galaktikalarda irki spektral toparlara degişli bolan ýaş, gyrgyz ýyldyzlaryň otnositel sanynyň köpdüginini, elliptik galaktikalaryň bolsa biziň Galaktikamyzyň sferik düzüjisine meňzeşlikde, giçki spektral toparlaryň garry ýyldyzlaryndan ybaratdygyny aňladýar.

Şöhlenenmesiniň reňki boýunça hem galaktikanyň ýyldyzlarynyň köplüginini spektral topary barada netije çykaryp bolýar. Galaktikalar üçin, mümkin bolan ýagdaýynda bolsa olaryň aýry-äýry bölekleri üçin, ýyldyzlar üçin ulanylan usullar bilen reňk görkezijileri tapylýar. Emma şonda gyzyň süýşmäni, şeýle hem ýagtylygyň galaktikalarda we biziň Galaktikamyzda siňdirilmesi bilen bagly bolan gyzarmasyny hasaba almalydyr.

Iki we ondan hem köp (8-e çenli) ýyldyz sistemasyndandüzüjilerden ybarat bolan, özara täsirleşýän galaktikalar uly gyzyklanma döredýärler. Düzüjiler özara ýagty maddanyň zolagy bilen birleşen (221-nji surat) ýa-da ýyldyzlaryň olaryň daşynda döredýän duman ýaly buludyna çümdürilen bolýarlar.

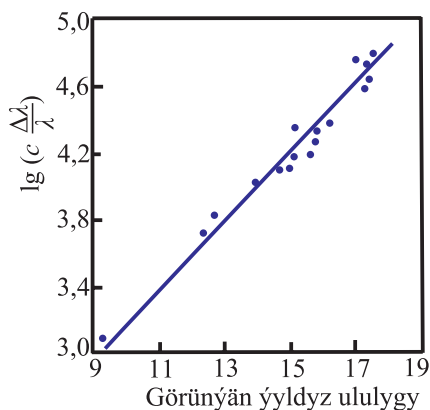
Köp ýagdaýlarda özara täsirleşýän galaktikalaryň aýratynlyklaryny, sistemanyň agzalary tarapyndan grawitasion daşgyn täsiri bilen düşündirmek başa barýar.

§164. Galaktikalara çenli uzaklyklary kesgitlemek

Galaktikalara çenli uzaklyklary kesgitlemegiň birnäçe usullary bardyr. Eger-de galaktikada ýagtylanyjylygy belli bolan, gowy öwrenilen obýekt gözegçilik edilýän bolsa, onda galaktika çenli uzaklygy kesgitlemek ýeňildir. Mysal üçin, sefidleriň ýagtylanyjylygy period-ýagtylanyjylyk gatnaşykdan bellidir. Täze ýyldyzlaryň absolýut ýyldyz ululygy maksimumda $-8^m,5$ töweregi, şar şekilli üşmekler üçin bolsa ortaça -8^m -e deňdir. Bu ýagdaýlarda uzaklygy kesgitlemek üçin bular ýaly obýektiň görnüşän ýyldyz ululygyny kesgitlemek we ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesini hasaba almagy ýatdan çykarman, uzaklyk modulyny hasaplamak ýeterlikdir.

Düzümünde ýokarda agzalan obýektler görünmeýän, uzakdaky galaktikalara çenli aralyklar barada netije olaryň görnüşän burç ölçegleri ýa-da görnüşän ýyldyz ululygy boýunça çykarylýar. Onuň üçin galaktikalaryň berlen görnüşiniň ölçeglerini ýa-da ýagtylanyjylygyny bilmegiň hökmandygy aýdyňdyr.

Galaktikalara çenli uzaklygy kesgitlemegiň ýene-de bir usuly gyzyly süýşmäniň ululygyny kesgitlemäge esaslanandyr. Bu hadysa uzakdaky galaktikalaryň spektrlerindäki spektral çyzyklaryň gyzyly gyra süýşýändiklerinden ybaratdyr. Çyzyklaryň bu süýşmesini Älemdäki galaktikalaryň orta uzaklyklarynyň ulalmasy ýaly düşündirmek zerurdyr. Netijede, galaktikalar bizden uzaklaşýan ýaly bolup görünýärler. Gözegçiliklerden görnüşi ýaly, $\Delta\lambda$ gyzyly süýşmä degişli bolan galaktikanyň bizden uzaklaşma v_r tizliginiň uzaklyk boýunça ulalýandygy, özi hem $\lg v_r$ bilen ýagtylanyjylygy birmeňzeş bolan galaktikalaryň görnüşän ýyldyz ululygynyň arasynda çyzykly baglanyşyk ýüze çykarylýar. Bu baglanyşyk 222-nji suratda görkezilen, ondaky her bir nokat degişli galaktikalaryň üşmeginiň iň ýagty birnäçe



222-nji surat. Gyzyly süýşmäniň logarifminiň galaktikalaryň görnüşän ýyldyz ululygyna baglylygy



sany galaktikasynyň görüňän ýyldyz ululyklarynyň orta bahasyna degişlidir.

Üýşmekleriň has ýagty agzalarynyň orta ýagtylanyjylyklarynyň biri-birinden tapawudy aýry-aýry galaktikalaryň ýagtylanyjylyklarynyň tapawudyndan kiçidir. Şonuň bilen birlikde, m bilen lgr arasyndaky çyzykly baglanyşyk gelip çykýan (10.5) formulada obýektleriň birmeňzeş ýagtylanyjylygy M absolýut ýyldyz ululygynyň meňzeş ululygyna degişlidir. Şonuň üçin m bilen $\lg \nu_r = \lg \left(c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)$

arasyndaky çyzykly baglanyşyk, şeýle hem uzaklaşma tizligi bilen uzaklygyň arasynda çyzykly baglanyşygyň bardygyny aňladýar, ýagny

$$\nu_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = Hr. \quad (12.1)$$

Bu formulada r uzaklyk megaparseklerde aňladylandyr, H bolsa kosmologiýada wajyp orun eýeleýän *Habblyň hemişeligidir*. Bu hemişeligiň ululygy dürli awtorlaryň işlerinde biri-birinden ýeterlik tapawutlanýan ululyklar bilen bahalandyrylýar we ol $50 \text{ km}/(s \cdot \text{Mpk}) < H < 100 \text{ km}/(s \cdot \text{Mpk})$. Köplenç, bu hemişeligiň orta bahasy $H = 75 \text{ km}/(s \cdot \text{Mpk})$ ulanylýar. Eger käbir galaktika üçin onuň gyzyl süýşmesi belli bolsa, onda (12.1) formula boýunça oňa çenli uzaklygy kesgitläp bolýar. Emma $\Delta\lambda/\lambda > 0,1$ bolanda formulanyň dogry işlemeýändigini belleýäris we dogry netije almak üçin has çylşyrymly aňlatmany ulanmalydyr. Häzirki wagta çenli belli bolan, uzakda ýerleşen galaktikalara çenli aralyk birnäçe milliard parseklere deňdir.

§165. Galaktikalaryň fiziki häsiýetnamalary

Şol bir görnüşe degişli galaktikalar hem öz ölçegleri, ýagtylanyjylyklary, massasy we beýleki häsiýetnamalary boýunça güýçli tapawutlanyp bilýärler.

Çyzykly ölçegleri. Uzaklyklary belli bolan, galaktikadan daşary dumanlyklaryň çyzykly ölçegleri olaryň görüňän burç ölçegleriniň esasynda alynýar. Galaktikalaryň çürt-kesik araçäkleriniň ýoklugy we ýyldyzlaryň gürlügininiň (dykzylygynyň) merkezden uzaklaşdy-



gymyzça ýuwaşlyk bilen kemelýändigini sebäpli, olaryň görünýän ölçegleriniň kesgitlenýän ululygy, üstleriň ýagtylygynyň gözegçilik edilýän çäk ýitiligine baglydyr. Has iri spiral we elliptik galaktikalar-da ýyldyzlar merkezden 50-70 *kpc* uzaklyklarda gözegçilik edilýär. Emma ölçegleri onlarça esse kiçi bolan, karlik (göýdük) sistemalar hem duş gelyändir.

Ýagtylanyjylygy. Eger r uzaklygy belli we görünýän ýyldyz ululygy m ölçenen bolsa, onda (10.5) formula boýunça galaktikanyň ýagtylanyjylygyny tapyp bolýandyr.

Has iri galaktikalaryň fotografik absolýut ýyldyz ululygy $M_{pg} = -21^m$, E we S görnüşli galaktikalar üçin orta bahasy $M_{pg} = -19^m,3$ deňdir, bu ululyk onlarça milliard Gün ýagtylanyjylygyna deňdir. Nädogry galaktikalar 100 esse gowşakdyr.

Galaktikalaryň aýlanmasy. Galaktikadan daşary şol bir dumanlygyň dürli böleklerinde spektral çyzyklaryň süýşmesini deňşdirip ýa-da çyzyklaryň giňelmesini bütün spektr boýunça ölçäp, galaktikalaryň aýlanýandygyny ýüze çykaryp bolýar. Galaktikalaryň daşky bölekleriniň aýlanma periodlary takmynan 10^8 ýyl töweregi bolýar. Galaktikalaryň merkezi bölekleri, adatyda şol bir burç tizligi bilen, ýagny gaty jisimler ýaly aýlanýarlar. Spiral galaktikalaryň aýlanma ugry spiral şahalaryň ýygnaýan, gysylýan ugry boýunça bolmalydyr.

Galaktikalaryň massalary. Galaktikalaryň massalary olaryň daşky bölekleriniň aýlanma tizlikleri esasynda kesgitlenýär. Massa çen bilen baha bermek üçin, bu aýlanma Kepleriň kanuny boýunça bolýar diýip hasaplaýarlar. Eger galaktikanyň merkezinden r uzaklykda aýlanma hereketiniň çyzykly tizligi V belli bolsa, onda r radiusly sferanyň çäklerindäki massa baha berip bolar. Birinji ýakynlaşmada töwerek boýunça galaktikanyň merkeziniň daşynda hereket edýän jisimiň merkeze ymtylýan tizlenmesi, r radiusly orbitanyň içinde ýerleşen ýyldyzlaryň grawitasiýa täsiri bilen kesgitlenýär diýip hasaplap bolar we ol $GM(r)/r^2$ deňdir. Bu ululygy V^2/r tizlenmä deňläp, alarys:

$$M(r) = \frac{V^2 \cdot r}{G}. \quad (12.2)$$

Eger aýlanmanyň tizliginiň merkeze çenli uzaklyga baglylygy belli bolsa, onda massanyň galaktikada paýlanylyşyny hasaplamak



başardýandyr. Goşa galaktikalaryň massalary goşa ýyldyzlaryň massalary kesgitlenýän usullar boýunça, ýagny spektral çyzyklaryň dopler süýşmesi esasynda kesgitlenýän, olaryň oňnositel hereketleriniň tizlikleri boýunça bahalandyrylýar.

Edil ýyldyzlar üçin bolşy ýaly, galaktikalar üçin hem, massany kesgitlemek üçin ulanyp bolýan, massa bilen ýagtylanyjylygyň arasynda kesgitli arabaglanyşyk bardyr. Spiral we nädogry galaktikalar üçin massanyň ýagtylanyjylyga gatnaşygynyň Günň ölçeg birliklerinde aňladylan ululygy 1-den 10-a çenli aralyklardadyr. Elliptik galaktikalar üçin bu gatnaşyk birnäçe onluga deňdir. Diýmek, galaktikalarda massanyň esasy bölegi massanyň ýagtylanyjylyga bolan gatnaşygy 1-den uly bolan, giçki spektral toparlaryň ýyldyzlaryna degişlidir.

Gözegçilik edilýän galaktikalaryň köpüsiniň massalary 10^9 - 10^{12} Gün massasynyň çäklerinde ýerleşendir. Eger-de karlik sistemalary hasaba almasak, onda massanyň orta bahasy 10^{11} Gün massasyna ýa-da $2 \cdot 10^{41}$ kg-a deňdir.

17-nji tablisada käbir galaktikalar üçin ýokarda seredilen esasy fiziki häsiýetnamalary getirilen.

17-nji tablisa

**$m_{viz} = 8,0$ -den ýiti bolan galaktikalar
barada maglumatlar**

Galaktika	Görnüşi	Diamet. (kpk)	Uzabl. (Mpk)	m_v	M_{pg}	lgM/M_\odot
Biziň Galaktikamyz	Sbc	30	—	—	−20,9	11,3
Uly Magellan Buludy	Ir	10	0,05	0,1	−18,4	10,0
Kiçi Magellan Buludy	Ir	4,3	0,06	2,4	−16,3	9,2
Skulptordaky sistema	dE	0,6	0,08	7	−11,2	8,5
Peçdäki sistema	dE	1,8	0,2	7	−12,9	9
NGC 55	Sc	38	2,4	7,1	−20,4	10,5
NGC 224	Sb	40	0,7	3,5	−21,8	11,3
NGC 253	Sc	20	2,4	7	−20,3	11,1
NGC 598	Sc	17	7,7	5,8	−18,7	10,7
NGC 3031	Sb	33	3,3	6,9	−20,3	11,3
NGC 5128	E/S0	15	5,0	6	−22	>11,3

Spiral şahalaryň tebigaty. Galaktikalaryň spiral şahalary ýyldyzlaryň, esasan hem ýaş ýyldyzlaryň has gür, dykyz ýerleşen çäkleridir. Näme üçin galaktikalaryň disklerinde spiral şahalar bolýar diýen sorag doly çözülen däldir. Eger galaktikanyň şahalary öz düzüminde mydama şol bir maddany saklaýan bolsalar, onda galaktikanyň diskiniň gaty jisim ýaly aýlanmaýandygy, ýagny ýyldyzlaryň merkezden dürli uzaklyklarda dürli burç tizliklerine eýe bolýandyklary üçin, şahalar «süňüp», ýitip giderdiler. Diýmek, spiral şahalar, üznüksiz dargaýan we täzeden döreýän wagtlaýyn emele gelmedir ýa-da şahalar ýyldyz diski boýunça özlerine mahsus bolan, hemişelik burç tizligi bilen hereket edýändirler we diskiň gaz bar bolan ýerleriniň ählisinde yzygiderlikde ýyldyz emele gelmesini oýandyryýandyr. Birinji ýagdaýda spiral şahalar, ýyldyz emele gelmesi bilen gurşalyp alnan çäkleriň diskiň aýlanmasy sebäpli «süňmeleri» netijesinde emele gelen, aýry-aýry spirala meňzeş, köp sanly kesimleriň jemi hökmünde seredilmelidir. Bu çäkler, düzüminde saklaýan gyzgyn, ýagtylygy ýiti ýyldyzlar «öçenden» soň, ýitiligi boýunça tapawutlanman başlaýarlar. Ýöne başlanan ýyldyz emele gelme prosesi has giň çäklerе ýaýrar ýaly şertler bolan, galaktikanyň başga ýerlerinde ýene ýüze çykýandyr.

Has uly ösüşe ikinji çaklama eýe bolandyr. Oňa görä spiral şahalar, maddany gysýan, dykyzlygyň boý tolkunlarynyň galaktikanyň gaz-ýyldyz diski boýunça ýaýramagy netijesinde döreýändirler. Bular ýaly tolkunlaryň ýaýramasy aýlanýan diskdäki ýyldyzlaryň kollektiwleýin grawitasiýa özara täsir prosesleri netijesinde mümkindir. Tolkunlaryň «gerişleri» galaktikanyň merkeziniň töwereginde, diskiň ýyldyzlarynyň merkezden uzaklygyna baglylykda üýtgeýän burç tizligi bilen aýlanýandyklaryna garamazdan, hemişelik burç tizligi bilen aýlanýan spirallaryň ugruna (boýuna) ýerleşip bilýändirler. Islendik mehaniki yrgyldylaryň ýaýramagy üçin zerur bolan maýyşgaklyk güýjüniň ýerini, diskiň aýlanmasy bilen bagly bolan koriolis güýji tutýar. Tolkunyň fronty geçende diskiň ýyldyz ilatynyň gürlügi (dykyzlygy) bary-ýogy birnäçe prosent artyp bilýär, emma ýyldyzara gaz bular ýaly tolkunyň täsirine dykyzlygynyň birnäçe esse artmagy bilen jogap berer. Ýyldyzara gazyň dykyzlygynyň artmagy onuň, atomlary biri-birleri bilen çakyşýan, bir bütewi sreda bolanlygy üçindir (adatça



ýyldyzlara sredada gazyň atomlarynyň erkin ýolunyň uzynlygy parsegiň ýüzden bir ülüşlerinden uly däldir). Gazyň dykzyzlygynyň tolkununda gysylmasy onuň ýyldyzlara kondensirlenmegine ýardam edýär. Şonuň üçin spiral şahalar ýaş ýyldyzlaryň we ionlaşan gazyň konsentirlenen çäkleri hökmünde tapawutlanýandyrlar.

Spiral şahalar barada çaklamalaryň ikisi hem bir-birini inkär edýän däldir. Spiral şahalaryň umumy görnüşi dykzyzlyk tolkunlary bilen, köplenç, örän çylşyrymly bolan, ownuk ölçegli (kiçi masştably) içki gurluşy bolsa aýlanýan diskde ýyldyz emele gelmeginiň ýaýramagynyň aýratynlyklary bilen baglydyr.

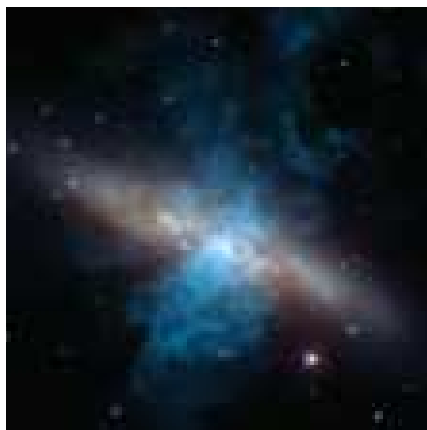
§166. Galaktikalaryň ýadrolarynyň işjeňligi we kwazarlar

Galaktikalaryň ýadrolarynyň işjeňligi. Soňky wagtlarda galaktikalaryň merkezi bölekleriniň aýratyn uly gyzyklanma döredýändigleri aýdyň bolandyr. §162-de görşümüz ýaly, meňzeşi köp gabat gelýän, biziň ýyldyz sistemamyzyň merkezinde hem gyzykly we entek doly öwrenilmedik hadysalaryň köpüsi gözegçilik edilýändir. Beýleki galaktikalaryň hem ýadrolary, köplenç, özboluşly häsiýetleri bilen tapawutlanýarlar. Köp galaktikalaryň ýadrolary örän uly energiýanyň çeşmeleridir we ol adaty ýyldyzlaryň şöhlelenmesiniň netijesi bolup bilmez. Kābir ýagdaýlarda bu çeşmeleriň şöhlelenmesiniň kuwwaty bütün galaktikanyň ýyldyzlarynyň şöhlelenmeleriniň kuwwatynyň jeminden hem uludyr. Galaktikalaryň ýadrolarynda energiýanyň intensiw bölünmesi bolýan bolsa, onda olara işjeň (aktiw) diýilýär. Ýadrolaryň işjeňligi dürli görnüşlerde ýüze çykyp bilýändir. Kābir ýagdaýlarda bu işjeňlik, çeşmesi galaktikanyň merkezinde ýerleşen, burç ölçegleri $0'', 1-0''$, 01-den kiçi bolan, uly bolmadyk ykjam obýektiň, spektriň dürli çäklerindäki kuwwatly elektromagnit şöhlelenmesidir. Beýleki ýagdaýlarda bolsa ýadrodan galaktikara giňişlige, sinhrotron radioshöhlelenmesi bolan, relýatiwistik elektronlaryň buludy görnüşinde ýa-da köplenç, onlarça mün km/s tizlik bilen uçýan, adaty gazyň buludy görnüşinde maddanyň zyňylmasy bolýar. İşjeň ýadrolary bolan galaktikalaryň kābir görnüşlerine seredeliň.

Seýfertiň galaktikalary. Işjeň ýadroly galaktikalar normal galaktikalaryň umumy sanynyň birnäçe prosentini düzýändir.

Merkezinde örän kiçi burç ölçegleri bolan ýiti çeşme gözegçilik edilýän, seýfertiň galaktikalary diýilýän galaktikalar aýratyn köp duş gelýär. Onuň şöhlelenme spektri ýyldyzlaryň spektrinden düýpli tapawutlanýar. Üznüksiz spektri adaty ýylylyk däl häsiýete eýedir, ýagny gyzgyn jisimleriniň şöhlelenmesi bilen düşündirip bolmaýar. Spektrinde adaty gazlaryň giň emission çyzyklary bardyr. Olaryň uly giňligi dopler hadysasy bilen baglanyşyklydyr we ýadroda gazynyň örän uly tizlik bilen hereket edýänligindendir. Ýadrolaryň şöhlelenmesiniň wajyp aýratynlygy onuň üýtgeýänligidir, käwagt ýadronyň ýagtylanyjylygy birnäçe aýyň, hepdäniň, hatda günün dowamynda ýeterlik üýtgeýändir. Bu bolsa ýadroda şöhlelenmäniň esasy çeşmesiniň, galaktikanyň ölçegleri bilen deňeşdirilende örän kiçidigini görkezýär. Onuň ölçegleri ýagtylygyň birnäçe günde geçýän aralygyndan uly bolup bilmez, sebäbi çeşmäniň dürli ýerlerinden ýagtylygyň bize gelýän wagtynyň tapawutly bolany üçin, ýagtylanyjylygyň çalt üýtgemeleri gözegçilik edilmezdi. Şular ýaly uly bolmadyk çäklerde kuwwaty 10^{37} W bolan şöhlelenme döreýändir.

Radiogalaktikalar. Işjeň ýadrolary bolan galaktikalaryň ýene bir görnüşü radiogalaktikalardyr. Olar adaty massiw ellips görnüşli galaktikalara deňşlidirler we adaty, normal galaktikalaryň radioşöhlelenmesinden intensiwligi onlarça mün esse uly bolan, kuwwatly radioşöhlelenmesi bilen tapawutlanýarlar. Radioşöhlelenmäniň mehanizmi sinhrotondyr we magnit meýdanynda hereket edýän, relýatiwistik bölejikleriň bulutlarynyň zynjymasy bilen baglanyşyklydyr. 223-nji suratda Sentawr ýyldyz toparyndaky radiogalaktika-Sentawr A radioçeşme görkezilen. Adaty däl bu elliptik galaktikanyň ýadrosyny bizden



223-nji surat. Partlaýan M82 galaktikanyň «Çandra» rentgen teleskopynda alnan suraty



ýapýan, gaz-tozan diski bardyr. 500 töweregi kuwwatly radiogalak-tika bellidir.

Kwazarlar. 1963-nji ýylda radioşöhlenenmäniň kiçi burç ölçegli çeşmeleriniň asmanyň adaty fotografiýalaryndaky ýyldyza meňzeş obýektlerdigi tassyklanyldy. Olary radioşöhlenenmäniň kwaziýyldyz (ýyldyza meňzeş) çeşmeleri – gysgaça kwazar ýa-da kwaziýyldyz obýektler diýip atlandyýarlar, sebäbi soňky ýyllarda olaryň hemmesiniň radioşöhlenenmäniň kuwwatly çeşmeleri dældigi anyklanyldy. Häzirki döwürde şular ýaly obýektleriň 1500 töweregi bellidir.

Kwazarlaryň birnäçe özboluşlyklary olaryň galaktikalaryň işjeň ýadrolary bilen meňzeşligini görkezýär. Olara şular degişlidir: 1) şöhlenenmesiniň birnäçe günün we hatda ondan hem gysga wagtyň dowamynda üýtgemegi; 2) ykjamlygy (şöhlenenmäniň üýtgame masştabyndan gelip çykýan, ýüzlerçe astronomik birliklerden uly bolmadyk ölçegleri); 3) spektriň ýylylyk däl häsiýeti; 4) kwazarlaryň spektrlerinde gözegçilik edilýän emission çyzyklaryň güýçli giňelmesi.

Ilkibaşda kwazarlaryň spektral çyzyklaryny haýsy obýektlere degişlidigini anyklamak başartmaýar. Emma ýakyn wagtyň dowamynda kwazarlaryň spektrlerinde öň gowy belli bolan, adaty gaz dumanlyklarynyň spektrlerinde gözegçilik edilýän, ýöne örän güýçli gyzyly süýşmesi bolan çyzyklar bilen iş salyşylýanlygy anyklanyldy. Şeýlelikde, optiki çäklerde ululygy 13^m bolan obýekt ýaly gözegçilik edilýän, in ýiti 3C 273 kwazar (Üçünji Kembrij katalogy boýunça) üçin gyzyly süýşme $\Delta\lambda/\lambda = 0,16$ -a deňdir, has gowşak obýektler üçin bu ululyk 2-den hem uludyr. Gyzyly süýşmäniň bular ýaly ululyklarynda, adaty spektriň ultramelewşe çäklerinde ýerleşen çyzyklar görünýän (optiki) çäklere geçýärler we şunlukda spektr tanalmaz ýaly üýtgeýär.

Kwazarlaryň spektrlerindäki çyzyklaryň gyzyly süýşmesini düşündirmek üçin dopleriň hadysasyndan başga-da birnäçe çaklamalar aýdylandyr. Emma olaryň peýdasyna ýeterlik esaslar tapylan däl. Kwazarlaryň spektrindäki gyzyly süýşme olaryň ýagtylygynyň tizligine ýakyn tizlikler bilen uzaklaşandyklary we Älemiň giňelmesi netijesinde ýüze çykýan bolmalydyr. Eger ol şeýle bolsa, onda Habblyň kanunyna laýyklykda kwazarlar bizden has uzakdaky obýektlerdir we özläriniň uly ýagtylanyjylygy bolandyklary üçin, milliardlar-

ça ýagtylyk ýylyna deň bolan uzaklyklarda maddanyň häsiýetlerini öwrenmäge mümkinçilik berýärler. Ýagtylanyjylyklary kwazarlardan ýüzlerçe esse kiçi bolan adaty galaktikalary häzirki döwür enjamlarynyň kömegi bilen bular ýaly uzaklyklarda gözegçilik edip bolýan däldir. Agzalyp geçilen 3C 273 kwazar iň ýakyn obýektleriň biridir we ol bizden 600 *Mpk* uzaklykdadyr. Has uly uzaklyklarda kwazarlaryň sany kemelýän bolmalydyr. Kwazarlar uzaklygyň käbir aralygynyň çäklerinde ýerleşen bolmalydyr. Bu bolsa kwazarlaryň esasy köplügiň Älemiň ewolýusiýasynyň bellibir tapgyrynda emele gelendiklerini görkezýär.

Kwazarlar öz häsiýetnamalary boýunça, köplenç, seýfertiň galaktikalarynyň ýadrolaryny ýadyňa salýar. Emma olaryň düýpli tapawudy kwazarlaryň bölüp çykarýan energiýasynyň kuwwaty seýfertiň galaktikalarynyň işjeň ýadrolarynyňkydan müňlerçe esse köpdür. Hemmesi bolmasa-da, kwazarlaryň köpüsi aýratyn işjeň we öz ewolýusiýasynyň gysga wagtlaýyn tapgyryndaky galaktikalaryň ýadrolarydyr. Bu aýdylanlary birnäçe sany örän ýakyn ýerleşen kwazarlaryň töwereginde, ölçegleri onlarça kiloparsek bolan çäklerde ýagtylanmanyň ýüze çykarylmany tassyklanýar. Onuň ýagtylygynyň ýitiligi we spektri boýunça ýadrolarynda kwazarlar ýerleşen galaktikalara degişlidigi görünýär. Galaktikalaryň ýadrolary we kwazarlar tarapyndan köp mukdarda energiýanyň bölünip çykarylmanyň mehanizmi doly anyklanan däldir. Çaklamalara görä, ol jisimleriň grawitasion özara täsiriniň energiýasynyň boşadylmagy bilen bagly bolmalydyr. Hasaplamalar onuň ýadro reaksiýalarynda bölünýän energiýadan hem effektiwdigini görkezýär. Zerur bolan grawitasion energiýa gaz örän «çuň» potensial çukura (mysal üçin, massiw gara girdaba) gaçanda ýa-da massasy ýüzlerçe million Gün massasyna deň massaly plazma ýagdaýdaky jisim hususy grawitasiýa täsiri netijesinde, bölünip çykyp biler.

Şeýlelikde, galaktikalaryň ýadrolarynyň işlenligini öwrenmek ýyllyz sistemalarynda hil taýdan täze prosesleriň ýüze çykarylmany getirdi. Olary düşündirmek fizika we astrofizika üçin çylşyrymly meseleleriň biridir.



§167. Galaktikalaryň giňişlikdäki paýlanylyşy

Galaktikalar özbaşdak, ýekebara örän seýrek gabat gelýärler. Adatça olar birnäçe agzasy bolan, uly bolmadyk toparlar görnüşinde ýa-da düzümine münlerçe galaktikalar girýän, giň üýsmek görnüşinde gabat gelýärler. Biziň Galaktikamyz Ýerli topar diýip atlandyrylýan toparyň düzümine girýär. Onuň düzüminde üç sany uly spiral galaktika (biziň Galaktikamyz, Andromeda dumanlygy we Üçburçluk ýyldyz toparyndaky galaktika), şeýle hem 20-den gowrak karlik elliptik we nädogry galaktikalar (olardan iň ulusy Magellan bulutlary) bardyr. Galaktikalaryň üýsmeginiň ortaça ölçegleri birnäçe megaparseklere deňdir. Olarda galaktikalaryň hereketiniň oňnositel tizligi, köplenç, 1000 km/s -dan uludyr. Olar seçelenen (nädogry) we sferik üýşmeklere bölünýärler. Seçelenen üýşmekleriň nädogry görnüşi bardyr we dykzlygy boýunça güýçli tapawutlanýan merkezi bölegi ýokdur. Uly seçelenen üýşmege mysal edip, düzümindäki galaktikalaryň ýerleşişini 224-nji *a* suratda getirilen, Gyz ýyldyz toparynda üýşmegi görkezmek bolar. Onuň ölçegi 12° -den kiçi däl. Bu üýşmegiň düzüminde birnäçe mün galaktika bolup, olaryň köpüsi spiral görnüşli galaktikalara degişlidir. Üýşmegiň merkezine çenli uzaklyk 13 Mpc töweregidir.

Galaktikalaryň sferik üýşmekleri has ykjam we simmetrikdir. Onuň agzalary merkeze konsentrlilenendir. Bu üýşmekler esasan hem elliptik we linza şekilli galaktikalardan ybaratdyr. Bular ýaly üýşmege mysal edip, Weronikanyň saçlary ýyldyz toparyndaky galaktikalaryň üýsmegini görkezmek bolar (224-nji *b* surat). Onuň düzüminde 19-njy fotografik ýyldyz ululygyndan ýiti bolan, 30000 galaktika bardyr. Üýşmege çenli uzaklyk 100 Mpc töweregidir.

Düzüminde köp sanly galaktikalary saklaýan üýşmekleriň köpüsi ölçegleri dowamly bolan, kuwwatly rentgen şöhlelenmesiniň çeşmeleri bilen baglanyşyklydyr. Galaktikalaryň esasy köplügi spektriň rentgen çäklerinde gowşak şöhlendirýändirler. Galaktikalaryň üýşmeklerinden gelýän şöhlelenme olaryň aralyklarynda temperaturasy $10^7\text{--}10^8 \text{ K}$ we dykzlygy adatdan daşary kiçi, ýagny $10^{-27}\text{--}10^{-28} \text{ g/sm}^3$ bolan gyzgyn gazyň barlygy bilen düşündirilýär. Bular ýaly gaz ýokary temperaturasyny gyzdyryjy çeşmäniň ýok ýagdaýynda-da milliardlarça ýylyň dowamynda saklap biler.



a)



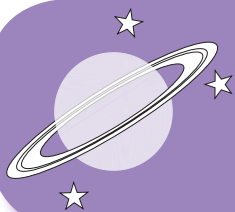
b)

224-nji surat. a) Gyz ýyldyzy toparynda galaktikalaryň üýşmegi;
b) Weronikanyň saçlary ýyldyz toparynda galaktikalaryň üýşmegi

Galaktikalaryň giňişlik boýunça paýlanylyşynda ölçegleri onlarça megaparseklere deň bolan, has iri birhilli dällikler hem bardyr. Galaktikalaryň ýokary dykzlygy bolan çäkler galaktikalaryň we olaryň üýşmekleriniň ortaça dykzlygy köp kiçi bolan «boşluklar»

bilen gezekleşýändir. Galaktikalaryň we olaryň üýşmekleriniň ýokary dykzlygy (gürlügi) bolan we bize iň ýakyn ýerleşenine Aşa galaktika ýa-da Ýerli aş a üýşmek diýilýär. Onuň merkezi böleginde Gyz ýyl-dyzy toparyndaky galaktikalaryň üýşmegi ýerleşendir. Weronikanyň saçlary ýyldyz toparyndaky galaktikalaryň üýşmegi başga aş üýşmegiň merkezidir.

Bu uly ölçegli birhilli dällikleriň ýa-da aş üýşmekleriň galaktikalaryň uly ölçegli üýşmeklerinden esasy tapawudy – olar fiziki baglanyşykly sistema dälidir. Olaryň içinde Habblyň kanuny dogrudyr, ýagny aş üýşmekler giňelýändir. Şol wagtyň özünde galaktikalaryň toparlarynyň we üýşmekleriniň köpüsi giňelýän dälidir we grawitasion baglydyr. Galaktikalaryň we olaryň üýşmekleriniň paýlanyşygyndaky gözegçilik edilýän iri ölçegli (iri masştably) gurluşy milliardlarça ýyllar öň galaktikalaryň sistemalarynyň emele gelen sredasynda birhilli dällikleriň bolandygyny görkezýär.



XIII bap ASMAN JISIMLERINIŇ GELIP ÇYKYŞY WE EWOLÝUSIÝASY

§168. Kosmogoniýanyň meseleleri

Asman jisimleriniň gelip çykyşynyň we ewolýusiýasynyň meselelerini astronomiýa ylmyň kosmogoniýa diýen ýörite bölümi öwrenýär. Kosmogoniýanyň meseleleriniň bütin ylmy dünýägaraýşyň ösüşinde wajyp orny bardyr we diňe astronomlary gyzyklandyrmak bilen çäklenýän däl. Şol wagtyň özünde kosmogoniýanyň meseleleri iň çylşyrymly astronomik meselelere degişlidir. Hakykatdan hem, biziň häzirki gözegçilik edýänimiz – bu Älemiň edil şu wagt pursadyndaky şekilidir (suratydyr). Bu şekiliň kömegi bilen onuň häzirki ýagdaýyny kesgitlemek mümkindir, ýöne onuň geçmişi we geljegi barada aýtmak örän çylşyrymlydyr. Emma muňa garamazdan, asman jisimleriniň gelip çykyşy we ösüşi barada köp maglumatlary bilmek başardandyr. Kosmogoniýanyň meselelerini çözmek üçin iki çemeleşme peýdalanylandyr. Birinji çemeleşme diňe teoriýa esaslanandyr. Fizikanyň umumy kanunlaryndan ugur alyp, käbir asman jisiminiň häzirki häsiýetnamalaryna eýe bolmagy üçin, geçmişte nähili şertleriň bolmalydygyny we nähili ösüş ýoluny geçmelidigini kesgitlemek mümkindir. Ikinji çemeleşme gözegçiliklere esaslanandyr. Ösüş ýolunyň dürli tapgyrlaryndaky asman jisimleriniň häsiýetnamalaryny deňeşdirip, bu tapgyrlaryň bir-birini haýsy yzygiderlikde çalşandygyny kesgitlemek mümkindir. Ikinji çemeleşmäni diňe köp sanly obýektler – ýyldyzlar, ýyldyz üýşmekleri, gaz dumanlyklary, galaktikalar üçin ulanmak bolýandyr. Planetalar sistemasynyň ýagdaýynda ulanmak çylşyrymlydyr, sebäbi olar ýaly sistemanyň diňe birini – Gün sistemasyny bilýäris. Şonuň üçin planetalaryň kosmogoniýasynda diňe birinji çemeleşme ulanylýar.



§169. Ýyldyzlaryň gelip çykyşy we ewolýusiýasy

Häzirki wagtda ýyldyzlaryň we ýyldyz üýşmekleriniň ýaşlarynyň dürlüdigini anyk kesgitlenendir. Şar görnüşli ýyldyz üýşmekleri üçin 10^{10} ýyldan başlap, ýaş ýyldyzlar (seçelenen ýyldyz üýşmekleri we ýyldyz assosiasiýalary) üçin 10^6 ýyla ýetýändir. Şu paragrafda bu mesele anyk seredeliň. Alymlaryň köpüsiniň çaklamasyna görä, ýyldyzlar ýyldyzara diffuz sredadan emele gelýändir. Onuň şeýledigini ýaş ýyldyzlaryň giňişlikdäki ýerleşişleri hem görkezýär. Olar gaz-tozan materiýanyň jemlenen ýeri bolan galaktikalaryň spiral şahalarynda konsentirlenendir. Diffuz sreda spiral şahalarda galaktik magnit meýdany tarapyndan saklanylýar. Emma bu gowşak magnit meýdany ýyldyzlary saklamaga ukyply däl. Şonuň üçin garry ýyldyzlar spiral şahalar bilen az baglydyr. Ýaş ýyldyzlar, köplenç, toplumlary (kompleksleri) emele getirýärler. Mysal üçin, düzümine birnäçe mün ýaş ýyldyzlar girýän Orion ýyldyz toplumu (Üç ýyldyz). Toplumlaryň düzüminde ýyldyzlar bilen bir hatarda köp mukdarda gaz we tozan bardyr. Gaz bu toplumlarda örän çalt giňelýändir, bu bolsa olaryň ön has dykyz massa bolandyklaryny aňladýar.

Diffuz sredadan ýyldyz döreme prosesiniň özi entek doly anyk-lanan däl. Eger gaz we tozan bilen doldurylan käbir göwrümde diffuz materiýanyň massasy kesgitli kritiki ululykdan geçse, onda bu göwrümdäki materiýa dartylma güýjüniň täsiri netijesinde gysylyp başlar. Bu hadysa grawitasion kollaps diýilýär. Kritiki massanyň ululygy dykyzlyga, temperatura we orta otnositel molýar massa baglydyr. Diffuz materiýanyň has dykyz çäkleri, ýagty dumanlyklaryň fonunda gözegçilik edilýän gara, ykjam, dury däl emele gelmeler-globulalar we «pil holtumlary» bolmagy mümkindir. Globulalaryň tegelek menek görnüşi, «pil holtumlarynyň» bolsa ýagty materiýa pahna şekilli girýän görnüşi bardyr (225-*nji surat*). Gös-göni subutnamalaryň ýoklugyna garamazdan, globulalar we «pil holtumlary» ýyldyzlaryň ata-babalary bolmagy has ähtimaldyr. Göni däl subutnama hökmünde kometa görnüşli dumanlyklary görkezmek bolar. Bu dumanlyklaryň kometanyň guýrugynyň konusyna meňzeş görnüşi bardyr. Bular ýaly dumanlygyň kelle böleginde adatça T Öküzçe görnüşli ýaş, gysylýan ýyldyz ýerleşýändir. Ýyldyz dumanlygyň içinde dörän bolmaly diýen



225-nji surat. NGC 6611 dumanlygynyň «pil holtumyny» we globulalary düzüminde saklaýan bölegi

pikir döreýär. Şol wagtyň özünde dumanlygynyň görnüşi we ýerleşşi «pil holtumyny» ýada salýandyr.

Ýyldyzara sredanyň grawitasion gysylmagy (kollaps) üçin bu prosesin başynda ýeterlik ýokary başlangyç dykzyzlygynyň bolmagy zerurdyr. Ilkibaşdaky gysylmanyň mümkin bolan mehanizmleriniň biri hem aşa täze ýyldyz partlanda döreýän, urgy tolkunynyň täsiri-dir. Bu mehanizmiň hakykatdan hem bolup biljekliginiň peýdasyna subutnama garaşylmadyk gözegçiliklerden alnan maglumatlardan gelip çykandyr. Gün emele gelmezinden öňki maddanyň nusgasy bolmaly diýip hasaplanylýan kömürli hondritleriň düzüminde, gysga wagat ýaşayan ^{26}Al izotopyň dargamasynyň netijesi bolan, ^{26}Mg izotop agdyklyk edýändigini anyklanandyr. Bular ýaly izotopyň emele gelip biljek ýeke-täk kosmos obýekti aşa täze ýyldyzyň atmosferasydyr. Diýmek, kömürli hondritleriň emele gelyän döwründe, uzak bolmadyk aralyklarda (1-10 p_k uzaklyklarda) aşa täze ýyldyzyň partlamasy bolandyr. Partlamanyň urgy tolkunyny golaýyndaky gaz-tozan dumanlygyny gysandyr. Onuň käbir ýerlerinde dykzyzlyk kritiki bahasyndan uly bolandyr we ol gysylyp başlandyr (grawitasion kol-



laps). Şular ýaly fragmentleriň birinde Gün we Gün sistemasy emele gelendir (§172 seret). Bu pikir ýöretmäniň ösüşiniň indiki tapgyrynda aşa täzeleriň «zynjyr reaksiýasy» göz önüne getirilýändir. Bular ýaly usulyň kömegi bilen diňe Gün däl, has massiw, ýaşawyş wagty gysga bolan (*18-nji tablisa*) we ewolýusiýasyny aşa täzeler ýaly, lowurdap tamamlayan ýyldyzlar hem emele gelýändirler. Diýmek, uly gaz-tozan kompleksiniň aşa täzeleriň partlamasynyň «zynjyr reaksiýasy» netijesinde, birnäçe onlarça million ýyllaryň dowamynda bütewüligine köp sanly ýyldyzly üşmege öwrülmege üçin başlangyç ýeke göreňlik lowurdama-partlama ýeterlikdir.

Dykyzlygyň kritiki bahasyna çenli ulalmagyna getirýän, başga fiziki mehanizmleriň täsirleriniň bolmaklary hem mümkindir.

Ýöne biziň Gün sistemamyzyň ýagdaýynda kömürli hondritlerde izotoplaryň anomallygy olaryň emele gelen ýerleriniň ýakynynda aşa täze ýyldyzyň partlandygyny kesgitli görkezýär.

Ýyldyzlaryň emele gelme prosesinde köp soraglar aýdyň däl. Hemme astronomlar, mysal üçin, ýyldyzlar ýyldyzara diffuz materiýadan emele gelipdir diýen pikir bilen ylalaşýan däl. Ermeni astronomy akademik W.A.Ambarsumýanyň pikirine görä, ýyldyzlar tebigaty belli bolmadyk we gös-göni gözegçilik edilmeýän, dykyz jisimleriň giňelmegi netijesinde emele gelendir. Biz bu ýerde has umumy ykrar edilen, ýyldyzlar diffuz ýyldyzara sredadan emele gelýändigir diýen çaklamadan ugur alarys.

Şeýlelikde, goý käbir sebäplere görä ýyldyzara materiýanyň buludy kritiki massa ýetip, grawitasion kondensasiýa prosesi başlan bolsun. Tozan bölejikleri we gaz molekulalary buludyň merkezine gaçýarlar, grawitasiýanyň potensial energiýasy kinetik energiýa, kinetik energiýa bolsa çakyşmalaryň netijesinde ýylylyk energiýasyna geçýändigir. Bulut gyzyr we temperaturanyň artmagy netijesinde onuň şöhlelenmesi ulalýar. Ol täze kemala gelip başlan ýyldyza-protoýyldyza öwrülýär (ýyldyz ewolýusiýasynyň başlangyç tapgyrynda, ýöne entek esasy yzygiderlige çykanok). Ýaş ýyldyzlaryň topar-topar gözegçilik edilýänliginden ugur alsak, onda grawitasion kondensirlenme prosesiň başynda ýyldyzara materiýanyň buludy birnäçe bölekler pytraýar we birwagtyň özüde birnäçe protoýyldyz emele gelýär diýip pikir etmek mümkindir.

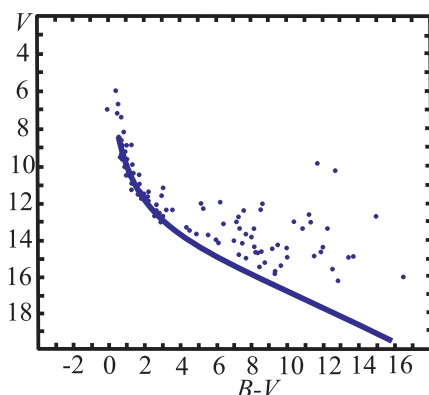
**Ýyldyzlaryň grawitasion gysylma wagty we olaryň esasy
zygiderlikde bolma wagty**

Spektral topary	M	R	Ýagtyla- nyjlyk	Wagt, ýyl	
				Grawitasion gysylma	Esasy zygiderlikde bolma wagty
B0	17,8	7,4	20000	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^7$
B5	6,4	3,8	800	$6,8 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^8$
A0	3,2	2,5	80	$2,6 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^8$
A5	1,9	1,7	20	$5,3 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^9$
F0	1,7	1,35	6,3	$1,7 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^9$
F5	1,3	1,20	2,5	$2,8 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^9$
G0	1,10	1,05	1,2	$4,8 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^{10}$
(Gün)	1,00	1,00	1,0	$5,0 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^{10}$
G5	0,93	0,93	0,79	$5,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^{10}$
K0	0,78	0,85	0,40	$8,9 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^{10}$
K5	0,69	0,74	0,06	$1,0 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{11}$

Bellik: Massa, radius we ýagtylanyjlyk Günň birliklerinde berlen.

Protoýyldyzyň ýagtylanyjlygy massasy deň bolan adaty ýyldyzyň ýagtylanyjlygyndan onlarça esse uly, radiusy köp uly, efektiw temperaturasy bolsa kiçi bolup bilýär. Spektr-ýagtylanyjlyk diagrammasynda protoýyldyklar esasy zygiderlikden sagda ýerleşen bolmalydyr. Protoýyldyz gysyldygyça onuň temperaturasy ýokarlanýar we ol Gersprung-Ressel diagrammasy boýunça ilki aşak, soňra absissa okuna parallel diýen ýaly çepe süýşýär. Haçan-da ýyldyzyň jümmüşindäki temperatura birnäçe million gradusa ýetende, termoyadro reaksiýalary başlanýar. Ilki bilen deýteriý, soňra bolsa litiý, berilliý we bor «ýanyp» gutarýar. Goşmaça energiýanyň bölünip çykmagy netijesinde gysylma haýallaýar, ýöne doly togtaýan däl-dir, sebäbi bu elementler örän çalt harçlanyp gutarýandyr. Haçan-da temperatura has ýokarlananda proton-proton reaksiýasy (massasy $1,5 M_{\odot}$ -den kiçi bolan ýagdaýlar üçin) ýa-da uglerod-azot (uly massaly ýyldyklar üçin) aýlawy başlanýar. Bu reaksiýalar uzak wagtyň dowamynda bir depginini saklap bilýär, gysylma tamamlanýar we protoýyldyz esasy zygiderligiň adaty ýyldyzyna öwrülýär. Ýyldyzyň





226-njy surat. NGC 6530 örän ýaş seçelenen ýyldyz üýşmegi üçin reňk görkezijisi – ýyldyz ululygy diagramma

içindäki basyş dartyлма bilen deňagramlaşýar we ýyldyz durnukly ýagdaýda bolýar. Grawitasion gysylma wagtynyň dowamlylygy gaty uly däl. Ol protoýyldyzyň massasyna bagly. Massa näçe uly boldugyça, grawitasion gysylma prosesi şonça çalt bolup geçýär. Massasy Günüň massasyna deň bolan protoýyldyžlar $5 \cdot 10^7$ ýylyň dowamynda gysylýarlar. Dürli spektral toparlara degişli ýyldyžlaryň gysylma wagty 18-nji tablisada getirilendir.

Massasy Günüň massasyna deňräk bolan ýyldyžlaryň emele gelme prosesiniň ýazgysy §172-de aýdyň getirilen.

Gysylmanyň çalt bolup geçýändigini sebäpli ýyldyžlara ewolýusiýasynyň birinji, has irki tapgyrlarynda gözegçilik etmek çylşyrymlydyr. Häzirki döwürde infragyžyl çeşmeleriň käbirleri («pile ýyldyžlar», §160), şeýle hem T Öküzçe görnüşli nädogry üýtgeýän ýyldyžlar ewolýusiýanyň birinji tapgyrynda diýip çaklanylýar. O we B spektral toparlara degişli we T Öküzçe görnüşli ýyldyžlardan ybarat bolan, birnäçe seçelenen ýyldyz üýşmekleri bellidir. 226-njy suratda NGC 6530 ýyldyz üýşmegi üçin «reňk görkezijisi-ýyldyz ululygy» diagramma görkezilen. Diagramma B , V ýyldyz ululygynyň sistemasynda görkezilendir, V – sary şöhlelerde, B – gök şöhlelerde ýyldyz ululygy, $B-V$ reňk görkezijidir. Diagrammada takmynan diagonal çyzyk bilen esasy zygiderligiň ýagdaýy belленendir. Reňk görkezijisi $(B-V) > 0$ bolan ýyldyžlar esasan hem T Öküzçe görnüşli üýtgeýänlerdir. Olar esasy zygiderlikden sagda, edil gysylýan ýyldyžlaryň bolmaly ýerinde ýerleşendirler.

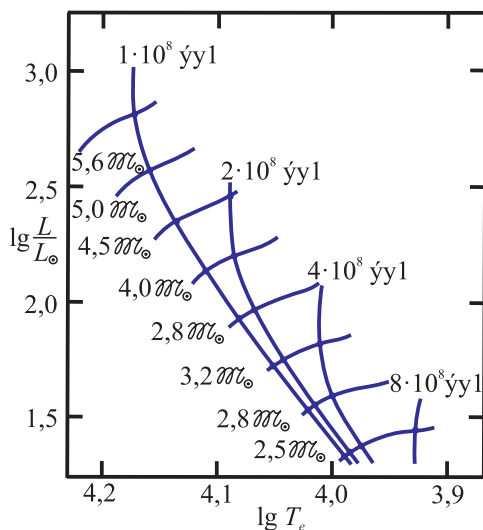
NGC 6530 üşmegiň ýyldyzlary takmynan 10^7 ýyl mundan öň emele gelen bolmalydyrlar. Üşmegiň has massiw agzalary (*O* we *B* spektral toparlaryň ýyldyzlary) eýýäm esasy yzygiderlige geçip ýetişendirler, beýlekileri bolsa grawitasion kondensasiýa fazasyndadyr. *T* Öküzçe görnüşli ýyldyzlar entek deňagramlylyk ýagdaýa gelen dälirler we olaryň ýalpyldysynyň häsiýetli nädogry üýtgemeleriniň şunuň bilen bagly bolmagy ähtimaldyr. Bu ýyldyzlar diffuz materiýanyň ilkibaşdaky üşmekleriniň galyndylary bolan, tozan dumanlyklary bilen baglanyşyklydyr.

Esasy yzygiderlikde ýerleşip, ýyldyzlar uzak wagtyň dowamynda hiç hili daşky üýtgeşmelere sezewar bolman diýen ýaly, termoyadro reaksiýalaryň hasabyna energiýa şöhlendirýärler. Şonda radius, ýagtylanyjylyk we massa hemişelik diýen ýaly, üýtgemän saklanýar. Ýyldyzlaryň esasy yzygiderlikdäki ýerleşen ýagdaýy onuň massasy boýunça kesgitlenýär. Spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasynda, esasy yzygiderlikden aşakda subkarlikleriň yzygiderligi geçýär. Olar esasy yzygiderligiň ýyldyzlaryndan himiki düzümi boýunça tapawutlanýarlar, ýagny olaryň düzüminde agyr elementler onlarça esse azdyr. Bu tapawudyň sebäbi subkarlikler sferik düzüjiniň ýyldyzlarydyr.

Ýyldyzyň jümmüşinde bolup geçýän termoyadro reaksiýalarynyň netijesinde wodorodyň ýuwaş-ýuwaşdan geliý elementine gaýtadan işlenmesi, ýagny başgaça aýdylanda wodorodyň «ýanyp gutarmasy» bolup geçýär. Ýyldyzyň esasy yzygiderlikde bolma wagty termoyadro reaksiýalarynyň tizligine, ol bolsa öz gezeginde temperatura baglydyr. Ýyldyzyň massasy näçe uly boldugyça, onuň jümmüşindäki temperatura, gazyň basyşy, daşky gatlaklaryň agramyny deňagramlaşdyrýar ýaly, şonça-da uly bolmalydyr. Şonuň üçin has massiw ýyldyzlarda ýadro reaksiýalary çalt geçýär we olaryň esasy yzygiderlikde bolma wagty azdyr, sebäbi energiýa çalt harçlanýandyr. 18-nji tablisada dürli spektral toparlaryň ýyldyzlary üçin hasaplanan, esasy yzygiderlikde bolma wagtlyry getirilen. Tablisadan görnüşi ýaly, B0 spektral topara degişli ýyldyzlar esasy yzygiderlikde 10^7 ýyl bolýarlar, Günüň we giçki spektral toparyň ýyldyzlarynyň esasy yzygiderlikde bolma wagtynyň dowamlylygy bolsa 10^{10} ýyldan uludyr.

Ýadro reaksiýalary ýyldyzyň diňe merkezi böleginde bolýar. Bu çäklerde (ýyldyzyň konwektiw ýadrosy) madda mydama garyşdyryl-



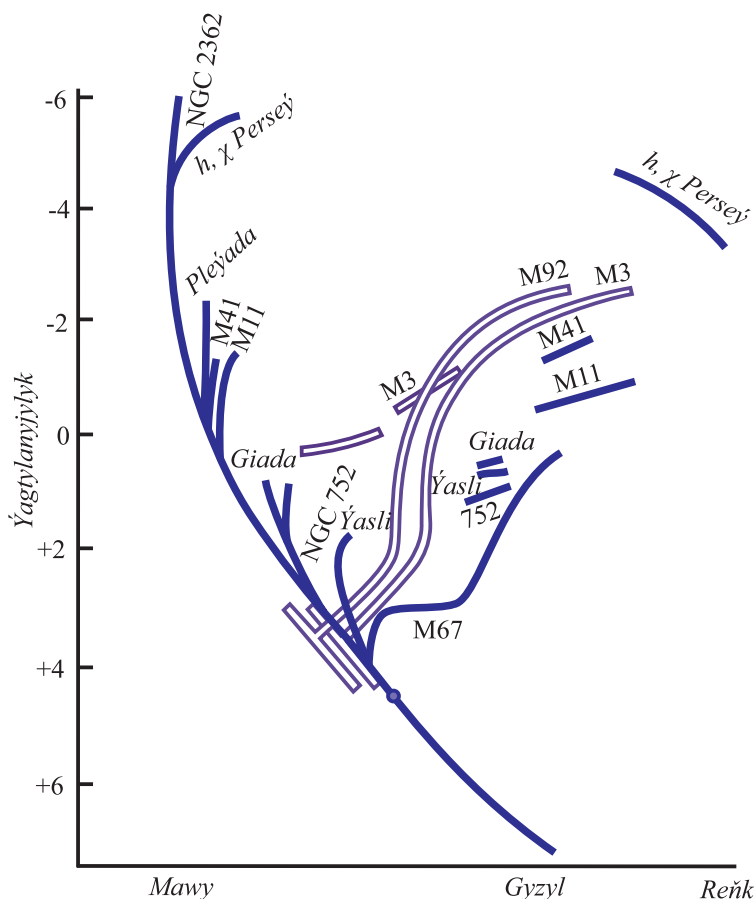


227-nji surat. Dürli massaly ýyldyzlaryň wagtyň geçmegi bilen esasy yzygiderlikden süýşmekleri

ýar. Wodorodyň ýanyp gutarmagy bilen konwektiw ýadronyň radiusy we massasy kiçelýär. Şunlukda ýyldyzyň spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy boýunça saga süýşýändigini hasaplamalar görkezýär. Has massiw ýyldyzlar çalt süýşýärler we netijede esasy yzygiderligiň ýokarky uýy ýuwaş-ýuwaşdan saga gyşarýar. 227-nji suratda bir wagtda emele gelen käbir ýyldyzlar topary üçin esasy yzygiderligiň görnüşiniň wagta görä nähili üýtgeýändigini görkezilendir.

Ýyldyzyň ýadrosyndaky wodorodyň tutuşlygyna geliý elementi-ne öwrülmege bilen ewolýusiýanyň ikinji tapgyry (esasy yzygiderlik tapgyry) tamamlanýar. Wodorodyň geliý elementine öwrülme reaksiýasy diňe ýadronyň daşky araçäklerinde dowam edýär. Şunlukda, ýadronyň gysylyandygyny, ýyldyzyň merkezi böleginde dykzylygyny we temperaturanyň artýandygyny, ýyldyzyň ýagtylanyjylygynyň we radiusynyň ulalýandygyny hasaplamalar görkezýär. Ýyldyz esasy yzygiderlikden gidýär we gyzyly äpete öwrülýär, ewolýusiýanyň üçünji tapgyry başlanýar.

Ýokarda aýdylanlaryň hemmesi ýyldyzlaryň içki gurluşy boýunça teoretik işleriň netijesidir. Bu işleriň netijelerini ýyldyz üşmekleri üçin gurlan spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy bilen deňeşdirip



228-nji surat. 11 sany galaktik üýşmekleri üçin spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy. Gara çyzyklar bilen seçelenen üýşmekleriň, ak çyzyklar bilen şar görnüşli üýşmekleriň diagrammalary görkezilen

barlap bolýar. Şol bir üýşmegiň düzümine girýän ýyldyzlar bilelikde, bir wagtda emele gelipdirler we olaryň ýaşlary birmeňzeş diýip kabul etmek bolar, başga ýagdaýda ýyldyz üýşmekleriniň bolmagyny düşündirmek çylşyrymlydyr. 228-nji suratda 11 sany ýyldyz üýşmekleri üçin spektr-ýagtylanyjylyk diagrammalary getirilen. Olaryň ikisi, M 3 we M 92 şar görnüşlidir. Suratdan görnüşi ýaly, dürli üýşmekleriň esasy zygiderlikleriniň saga we ýokarlygyna gyşarmasy üýtgeşikdir. Gyşarma näçe uly boldugyça, üýşmegiň ýaşynyň şonça-da uly bolmalydygy düşnüklidir. Bu diagrammanyň



kömegi bilen haýsy üýşmegiň öňräk, haýsynyň soňrak emele gelendigini, olaryň ýaşlaryny takmynan kesgitlemek mümkindir.

Onuň üçin 18-nji tablisadan peýdalanmak mümkindir, reňk-ýagtylanyjylyk diagrammalary boýunça esasy yzygiderlikden giden ýyldyzlaryň görnüşlerini kesgitläp bolýandyr. NGC 2362 üýşmek iň ýaş üýşmekdir, onuň ýaşı onlarça million ýyldyr. Şar görnüşli üýşmekleriň esasy yzygiderligi çala bildirýändir. Ýokarky bölegi degişli ýyldyzlaryň eýýäm ewolýusiýasynyň ikinji tapgyryny geçendigi sebäpli, aşaky bölegi bolsa gowşak ýyldyzlara gözegçilik edip bolmaýandygy sebäpli ýokdur (hakykatda esasy yzygiderlik aşaklygyna dowam edýän bolmaly diýip çaklanylýar). Şar görnüşli we garry seçelenen üýşmekleriň gyzyň äpetler şahasy gowy görünýändir. Bu bolsa şol üýşmekleriň gözegçilik edilýän ýyldyzlarynyň köpüsiniň ewolýusiýasynyň üçünji tapgyryndadygyny görkezýär.

Gyzyň äpetler şahasy seçelenen üýşmekleriň ýyldyzlary üçin şar görnüşli üýşmekleriň ýyldyzlarynyňka garanynda aşakdan geçýändir, esasy yzygiderligi bolsa tersligine, ýokardan geçýändir. Teoriýanyň nukdaýnazaryndan ony şar görnüşli üýşmekleriň ýyldyzlarynyň düzüminde agyr elementleriň has azlygy bilen düşündirmek mümkindir. Hakykatdan hem, gözegçilikler şar görnüşli üýşmekleriň degişli bolan sferik düzüjisiniň ýyldyzlarynyň düzüminde, tekiz düzüjiniň ýyldyzlary bilen deňşdireniňde, agyr elementleriň oňnositel bolçulygynyň azdygyny görkezýär. Şeýlelik bilen, gözegçilikler ýyldyzlaryň ewolýusiýasy baradaky teoretik göz önüne getirmeler bilen kanagatlanarly ylalaşýar we olary tassyklaýar. Şunlukda, bu göz önüne getirmeleriň esaslanan, ýyldyzlaryň içki gurluşynyň teoriýasy hem gözegçilikleriň esasynda barlagdan geçýändir.

Gyzyň äpet (ýa-da aşa äpet) tapgyrynda ýyldyzyň ýadrosynda, käbir wagtyň dowamynda, geliniň ugleroda öwrülme reaksiýasy gidip biler diýip çaklaýarlar. Onuň üçin ýyldyzyň merkezi bölegindäki temperatura $1,5 \cdot 10^8 K$ -e çenli ýetmelidir. Hasaplamalar bular ýaly ýyldyzlaryň reňk-ýagtylanyjylyk diagrammada gyzyň äpetleriň esasy şahasyndan çepde ýerleşmelidiklerini görkezýär. M3 üýşmegiň diagrammasynda (228-nji surat) gyzyň äpetleriň adaty yzygiderliginden goşmaça çepe gidýän şaha bardyr we ony şular ýaly ýyldyzlar döredýär diýlip hasaplanylýar. Haçan-da ýadronyň içinde geliý reak-

siýalary we onuň daşky araçägindäki wodorod reaksiýalary gutarandan soň, ewolýusiýanyň üçünji tapgyry (gyzyl äpet tapgyry) ahyryna gelýändir. Şonda äpet ýyldyzyň daşky galyň gabygy giňelýär, dartyлма güýji onuň daşky gatlaklaryny saklap bilmeýär we olar bölünip başlaýarlar. Ýyldyz madda ýitirýär we onuň massasy kemelýär. Gözegçilikler hakykatdan hem, käwagtlar gyzyl äpetleriň we aşa äpetleriň atmosferasyndan maddanyň akyp çykmasyynyň bolýandygyny görkezýär. Bu ýagdaýda proses haýal gidýändir. Emma entek doly anyklylmadyk, käbir şertlerde ýyldyz massasynyň saldamly bölegini çalt zyňyp bilýär we proses partlama, katastrofa häsiýete eýe bolýar. Şular ýaly partlamalary aşa täze ýyldyzlar lowurdanda gözegçilik edýäris.

Gyzyl äpetlerden madda ýuwaşlyk bilen bölünip çykanda planetar dumanlyklar emele gelýän bolmalydyr. Äpet ýyldyzyň dowamly (uly ölçegli) gabygy pytrandan soň, wodoroddan doly mahrum bolan, onuň diňe merkezi ýadro sy galýar. Haçan-da ýyldyzyň massasy Günüň massasyndan 2-3 esseden köp bolmadyk ýagdaýynda ýadronyň maddasy, edil ak göýdükleriň (karlikleriň) maddasy ýaly, häsiýetnamalary üýtgän ýagdaýda bolýar. Şonuň üçin ak göýdükler ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň gyzyl äpetler tapgyryndan soň gelýän, dördünji we iň soňky tapgyry bolmagy örän ähtimaldyr. Hakykatdan hem, garry ýyldyz üşmeklerinde ak göýdükleriň käbir mukdary bardyr, emma ýaş ýyldyz üşmeklerinde olar düýbünden ýokdur. Bilşimiz ýaly, ak göýdüklerde ýadro reaksiýalary bolup geçýän däl. Ak göýdükler geçen döwürde (geçmişde) toplanan ätiýaçdaky ýylylyk energiýasynyň hasabyna ýagtylanýarlar, ýuwaş-ýuwaşdan sowap, görünmeýän «gara» göýdүklere öwrülýärler. Ak göýdүkler sowaýan, ötүp barýan ýyldyzlardyr. Günüň massasyndan birnäçe esse köp massaly ýyldyzlar eýýäm ak göýdүk faza geçip bilmeýärler, sebäbi olaryň geliden ybarat bolan ýadrolary häsiýetnamalary üýtgän ýagdaýda däl. Bu ýagdaýda ewolýusiýanyň üçünji tapgyry neýtron ýyldyzyň emele gelmegi we aşa täzäniň partlamasy bilen tamamlanýar diýip çaklanylýar.

Şeýlelikde, biz häzirki döwürde umumy çäklerde ýyldyzlaryň ewolýusiýasyny, ýagny gazdan we tozandan ybarat bolan, dykz bulutdan gysylýan protoýyldyza, soňra esasy yzygiderligiň adaty ýyldyzyndan gyzyl äpede, ahyrynda bolsa ak göýdүge çenli ösüşini



yzarlamaga mümkinçiligimiz bardyr. Ýyldyzlaryň ewolýusiýasynyň göz önüne getirilýän bu şekilinde düşnüksiz, anyklamaly meseleler köpdür. Emma muňa garamazdan, ol ýeterlik esaslandyrylandyr.

Ýokarda biz ewolýusiýa prosesinde ýyldyzlaryň massasy, radiusy, ýagtylanyjylygy, temperaturasy nähili üýtgeýändigine seretdik. Ýöne şeýle wajyp bolan häsiýetnama-ýyldyzlaryň aýlanmasy barada hiç zat ýatlan dälidir. O, B, A spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň örän çalt aýlanýandyklary bellidir. Olaryň aýlanmaklarynyň ekwatorial tizlikleri 100 km/s uludyr, F spektral toparyň ýyldyzlarynyň aýlanma tizlikleri ortaça 100 km/s kiçidir, F topara görä has sowuk ýyldyzlar bolsa has haýal aýlanýandyr we olaryň spektral çyzyklarynyň süýşmesi örän kiçidir, aýlanma tizligini ölçäp bolýan dälidir. Esasy yzygiderlige degişli bolan G, K, M spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň aýlanma tizlikleriniň ýokarky çägi onlarça km/s -a deňdir. Hakykatda aýlanma has haýal hem bolup bilýändir. Mysal üçin, G toparyň iň belli agzasy bolan Gün üçin ekwatorynda ýerleşen nokatlaryň aýlanma tizligi bary-ýogy 2 km/s -a deňdir.

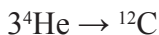
Diffuz dumanlyklara gözegçiliklerden olardaky maddanyň aýry-aýry goýulanmalarynyň bir-birine görälikde, takmynan 1 km/s tizlikler bilen hereket edýändikleri gelip çykýar. Şonuň üçin, ýyldyzlaryň emele gelýän ilkinji dumanlygy mydama hereket mukdarynyň käbir başlangyç momentine eýe bolmalydyr. Hasaplamalaryň görkezmegine görä, eger hereket mukdarynyň momenti saklanýan bolsa, onda ýyldyz emele gelip bilmezdi, sebäbi dumanlyk gysyldygyça onuň aýlanma tizligi ýokarlanardy we ýyldyz emele gelmezden öň ony pytradardy. Hereket mukdarynyň momenti haýsy hem bolsa bir usul bilen dumanlykdan daşlaşdyrylmalydygy aýdyňdyr. Kondensirlenýän dumanlyk daşyny gurşap alan pes dykzlykly sreda bilen magnit meýdany baglanyşdyrylandyr. Ýyldyzara madda magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna «ýelmenen» ýaly bolandygy üçin, kondensirlenýän dumanlygyň aýlanmasy ony gurşap alan sreda berilýär we dumanlyk hereket mukdarynyň momentini ýitirýär. (Ýyldyzara gaz bölekleyin ionlaşan bolmak bilen, magnit güýç çyzyklarynyň keseligine hereket edip bilmeýär we şonuň üçin öz hereketinde magnit meýdanyna täsirini ýetirýär we onda tormozlanýar. Netijede, ýyldyzara materiýa magnit meýdanynyň güýç çyzyklaryna «ýelmenen» ýaly bolýar). Bu

prosesiň anyk derňewiniň görkezşi ýaly, haçan-da protoýyldyzyň dykzlygy ýeterlik ýokary bolanda we kondensirlenip bolan ýyldyzyň massasyna garamazdan, ekwatorial tizligi sekuntda birnäçe ýüz kilometre deň bolanda, hereket mukdarynyň momentiniň daşky sreda berilmesi tamamlanýar. Gözegçilikler gyzgyn ýyldyzlaryň edil şular ýaly aýlanma tizlikleriniň bardygyny görkezýär. Sowuk ýyldyzlaryň aýlanma tizligi bolsa has kiçidir.

Gün sistemasynda hereket mukdarynyň momentiniň 98%-i planetalara we diňe 2%-i Güne degişlidir. Eger hereket mukdarynyň momenti bütewüligine Güne degişli bolan bolsa, onda ol 100 km/s-a deň bolan ekwatorial tizlik bilen aýlanardy. Bu ýerden sowuk ýyldyzlaryň haýal aýlanmasy, Gün sistemasyna meňzeşlikde, olaryň planetalar sistemalarynyň barlygy bilen baglanyşykly bolmaly diýen pikiriň döremegi tebigydyr. Eger ol şeýle bolsa, onda Galaktikada planetalar sistemalarynyň sany örän köp bolmalydyr.

§170. Galaktikalaryň ewolýusiýasy

Galaktikada ýyldyz we ýyldyzara maddanyň umumy mukdarynyň gatnaşygy wagtyň geçmegi bilen üýtgeýändir. Sebäbi ýyldyzara diffuz materiýadan ýyldyzlar emele gelýär, olar bolsa özleriniň ewolýusiýasynyň ahyrynda ýyldyzara giňişlige maddanyň bellibir bölegini gaýtarýarlar, beýleki bölegi bolsa ak göýdüklerde we neýtron ýyldyzlarda galýar. Şeýlelik bilen, ýyldyzara maddanyň mukdary biziň Galaktikamyzda wagtyň geçmegi bilen kemelmelidir. Edil şeýle ýagdaý beýleki galaktikalarda hem bolmalydyr. Galaktika esasan hem wodoroddan ybarat bolan gaz buludyndan emele gelendir diýip çaklanylýar. Bu gaz buludynyň düzüminde wodoroddan başga hiç-hili elementiň bolmadyk bolmagy hem mümkindir. Onda beýle ýagdaýda geliý we agyr elementler ýyldyzlaryň içinde bolýan termoýadro reaksiýalaryň netijesinde emele gelendir. Agyr elementleriň emele gelmesi



reaksiýadan başlanýar. C^{12} soňra α – bölejikler, protonlar we neýtronlar bilen birleşýär, bu reaksiýalaryň önümleri soňky özgertmelere sezewar



bolýar we şeýdip has çylşyrymly ýadrolar emele gelýär. Emma has agyr ýadrolaryň, ýagny uranyň we toriniň emele gelmegini bu usul bilen düşündirip bolmaýar. Sebäbi, radioişjeň izotoplaryň durnuksyz tapgyryndan geçmeli bolardy. Olar bolsa indiki nuklony tutup alýança dargap giderdi. Şonuň üçin himiki elementleriň Mendeleyew tablisasynyň ahyrynda ýerleşen, iň agyr elementler aşa täze ýyldyzlar lowurdanda emele gelýändir diýip çak edilýär. Aşa täzäniň lowurdamasy ýyldyzyň çalt gysylmasynyň netijesidir. Şonda temperatura katastrofik artýar, atmosferada zynjyrlý termoyadro reaksiýalary bolýar we neýtronlaryň kuwwatly akymlary döreýär. Neýtronlaryň akymynyň intensiwligi örän uly bolandygy sebäpli, hatda aralyk durnuksyz ýadrolar hem pyt-rap (weýran bolup) ýetişmeýärler. Sebäbi oňa çenli durnuksyz ýadrolar täze neýtronlary tutup alýarlar we durnukly ýagdaýa geçýärler.

Öň belleýşimiz ýaly, agyr elementler sferik düzüjiniň ýyldyzlarynda tekiz düzüjiniň ýyldyzlaryndakydan has azdyr. Bu ýagdaýy sferik düzüjiniň ýyldyzlarynyň Galaktikanyň ewolýusiýasynyň iň başlangyç tapgyrynda, entek ýyldyzara gazyň düzüminde agyr elementleriň az wagty emele gelendikleri bilen düşündirilýär. Ol döwürde ýyldyzara gaz, konsentrasiýasy merkeze tarap artýan, sfera ýakyn şekilli bulut görnüşinde bolupdyr. Edil şular ýaly paýlanyşygy şol döwürde emele gelen, sferik düzüjiniň ýyldyzlary saklap galandyr.

Ýyldyzara gazyň bulutlarynyň çakyşmalary netijesinde olaryň tizlikleri ýuwaş-ýuwaşdan peselendir, kinetik energiýa ýylylyga geçendir we gaz buludynyň umumy görnüşi hem-de ölçegleri üýtgändir. Hasaplamalar bular ýaly bulutlaryň çalt aýlanan ýagdaýynda, biziň Galaktikamyza gözegçilik edilýän, gysylan disk ýaly görnüşe eýe bolýandygyny görkezýär. Şonuň üçin, has giçki döwürlerde emele gelen ýyldyzlar tekiz düzüjini emele getirýändirler. Ýyldyzara gaz tekiz düzüjini emele getirmezden öň ýyldyzlaryň jümmüşinde gaýtadan işlenip geçilendir we onuň düzüminde agyr elementleriň mukdary ýeterlik köpelendir. Şonuň üçin tekiz düzüjiniň ýyldyzlary agyr elementlere baýdyr. Köplenç, tekiz düzüjiniň ýyldyzlaryna ikinji nesliň ýyldyzlary, sferik düzüjiniň ýyldyzlaryna bolsa birinji nesliň ýyldyzlary diýilýär. Beýle bölünişik tekiz düzüjiniň ýyldyzlarynyň eýýäm ýyldyzlaryň jümmüşinde bolan maddadan emele gelendiklerini nygtamak üçin edilendir.

Beýleki spiral görnüşli galaktikalaryň hem ewolýusiýasynyň şuna meňzeşlikde bolup geçýän bolmagy ähtimaldyr. Ýyldyzara gazyň jemlenen, spiral gollaryň görnüşleri umumy galaktik magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň ugry bilen kesgitlenýän bolmalydyr. Ýyldyzara gazyň «ýelmenen» magnit meýdanynyň maýyşgaklygy gaz diskiň dykyzlanmagyny çäklendirýär. Eger ýyldyzara gaza diňe agyrylyk güýji täsir edýän bolsa, onda onuň gysylmasy tükeniksiz dowam ederdi. Şonda ýokary dykyzlygyň netijesinde ol örän çalt ýyldyzlara kondensirlenerdi we ýyldyzara gaz düýbünden ýitip giderdi. Ýyldyz emele gelmeginiň tizligi takmynan ýyldyzara gazyň dykyzlygynyň kwadratyna proporsional diýip hasaplamaga esas bardyr.

Eger galaktika haýal aýlanýan bolsa, onda ýyldyzara gaz agyrylyk güýjüniň täsiri netijesinde merkezde jemlenýändir. Bular ýaly galaktikalarda çalt aýlanýan galaktikalara garanyňda magnit meýdany gowşagrakdyr we ýyldyzara gazyň gysylmagyna az päsgelçilik berýändir. Merkezi çäklerde ýyldyzara gazyň dykyzlygynyň ýokary bolmagy onuň ýyldyzlara öwrülip, örän çalt harçlanmagyna getirýär. Netijede, haýal aýlanýan galaktikalar merkezinde ýyldyzlaryň gür-lügi çürt-kesik artýan, takmynan sferik görnüşli bolmalydyr. Bilşimiz ýaly, edil şular ýaly häsiýetnamalara elliptik galaktikalar eýedir. Olaryň spiral galaktikalardan tapawudynyň sebäbi haýal aýlanýandyklarynda bolmalydyr. Ýokarda aýdylanlardan elliptik galaktikalarda irki spektral toparlaryň ýyldyzlarynyň azlygy, şeýle hem ýyldyzara gazyň azlygy hem düşnüklidir.

Şeýlelik bilen, galaktikalaryň ewolýusiýasyny, takmynan sferik görnüşi bolan, gaz buludy tapgyryndan başlap yzarlamak mümkindir. Bu bulut wodoroddan ybaratdyr we birhilli dälidir. Gazyň aýry-aýry goýulanmalary hereket edip, bir-birleri bilen çakyşýarlar, kinetik energiýanyň üýtgemegi buludyň gysylmagyna getirýär. Eger ol çalt aýlanýan bolsa, onda spiral galaktika emele gelýär, eger haýal bolsa, onda elliptik galaktika emele gelýär. Näme üçin Älemdäki madda, soňra galaktikalar emele gelen, aýry-aýry gaz bulutlara bölünipdir, näme üçin biz galaktikalaryň biri-birinden uzaklaşmagyny gözegçilik edýäris, galaktikalar emele gelmezden öň Älemde materiýa nähili görnüşde bolupdyr diýen soraglaryň ýüze çykmagy tebigydyr. Bu gyzykly we wajyp meseleler indiki bapda serediler.



§171. Planetalaryň emele gelşi. Kantyň, Laplasyň, Jinsiň çaklamalary

XVIII asyrdan Nýuton mehanikasynyň üstünlikleriniň netijesinde Älem, tebigatyň takyk kanunlary tarapyndan dolandyrylýan, üýtgemeyän sistema görnüşinde göz önüne getirilipdir. Älemiň çylşyrymly mehanizmi ilki başda bir sapar goýberilip («başlangyç itergi»), soňra ol öz-özünden, hiç-hili üýtgemesiz «gidendir» diýip hasaplanypdyr. Ondan öň Dekart (1644 ý.) ilkinji bolup, Gün sistemasy gaz we tozan buludyndan emele gelendir diýen çaklamany aýdandyr. Meňzeş çaklamany soňra Býuffon (1749 ý.) we Kant (1755 ý.) ösdürendirler. Olar buludyň merkezinde Gün, gyralarynda bolsa planetalar emele gelen bolmaly diýip hasaplapdyrlar. Bu görnüşdäki göz önüne getirme umumy çäklerde dogrudyr, ýöne şol döwürde ony has anyk işläp düzmek başartmandyr. Sebäbi şol döwürde atom teoriýasy, termodinamika, gazlaryň kinetik teoriýasy, kosmosdaky elementleriň bolçulygy barada we beýleki köp zerur bolan maglumatlar bolmandyr.

1796-njy ýylda Laplas planetalaryň emele gelme prosesinde dumanlygyň aýlanmasynyň uly wajyp orun eýeleýändigini barada çaklama aýdýar. Hakykatdan hem, gysylýan sferik dumanlygyň m massaly elementi, radiusy r bolan orbita boýunça burç tizligi bilen aýlanýan bolsun. Eger bu elementiň hereket mukdarynyň momenti

$$I = m\omega r^2$$

hemişelik bolsa, onda dumanlyk gysylanda ω artýandyr. Goý dumanlygyň doly massasy M bolsun. Onda m elemente

$$F_1 = G \frac{Mm}{r^2}$$

bolan agyrlık güýji we

$$F_2 = m\omega^2 r = \frac{I^2}{mr^3}$$

bolan merkezden daşlaşýan güýç täsir edýändir.

Gysylmada merkezden daşlaşýan güýç agyrlık güýjüne garanyňda çalt ulalýandyr we olaryň deňleşen pursadynda *rotasion durnuksyzlyk* ýüze çykýandyr. Şonda dumanlyk paşşaryp, merjimek görnüşe eýe bolýar we onuň ekwatoryndan madda bölünýär. Zyňylan maddadan dumanlygyň töwereginde, Saturnyň halkalaryna meňzeş,

tekiz halkalar emele gelýär. Laplas dumanlykdan zyňylan gaz soňra planetalara kondensirlenýär diýip hasaplapdyr. Häzirki zaman kosmogoniki göz önüne getirmelerde Kantýň we Laplasyň çaklamalarynyň kesgitli elementleri (Günüň we planetalaryň şol bir başlangyç dumanlykdan bir wagtda emele gelme pikiri, rotasion durnuksyzlygyň wajpylygy) saklanyp galandyr. Olaryň bu ýerde agzalyp geçilmegi diňe taryhy gyzyklanma bilen çäklenýän däl.

Öň belenilişi ýaly, Gün sistemasynda hereket mukdarynyň momentiniň 98%-i planetalara we diňe 2%-i Güne degişlidir. Eger hereket mukdarynyň momentini massa birligine gatnaşdyrsak (bu ululyga udel burç momenti diýilýär), onda tapawut 50 esse däl-de, 50000 esse bolýar. Kantýň we Laplasyň çaklamalary klassik görnüşinde ony düşündirip bilmeýär. Hakykatdan hem, ilkişadaky dumanlykda gysylmadan öň hemme elementler deňhukuklydyr we birmeňzeş burç tizligine eýedir. XX asyryň başynda inlis alymy Jins, bu kynçylygy aradan aýyrmaga mümkinçilik berýän, başga kosmogonik çaklamany teklipl edýär. Jinsiň çaklamasyna görä, Gün hem, edil beýleki ýyldyzlar ýaly, planeta sistemasyz emele gelendir. Planetalar sistemasy diňe katastrofa netijesinde emele gelendir, ýagny Günüň ýanyndan başga bir ýyldyz örän ýakyn geçip, onuň jümmüşinden maddanyň bir bölegini goparandyr. Bu maddanyň kondensirlenmesi netijesinde planetalar emele gelendir.

Iki ýyldyzyň bir-birine örän ýakyn geçmeginiň ähtimallygynyň ujypsyzdygyny, Galaktika dörali bari onda planetalar sistemasynyň az mukdarynyň, mümkin, diňe ýeke-täk biziň Gün sistemamyzynyň emele gelendigini esaslandyrmak bolar. Bu netije Jinsiň çaklamasynyň dogrulygyna şübhe döredýär, ýöne takyk aýdylanda, ony düýpli garşylyk hökmünde seretmek bolýan däl. Jinsiň çaklamasynyň has anyk seljerilmesi onuň hakykata laýyk daldigini ikuçsyz subut edýän başga argumentleri ýüze çykarandyr. Günden zyňylan maddanyň udel burç momenti ýakynyndan geçýän ýyldyzyň burç momentinden uly bolup bilýän däl. Hasaplamalar Gün sistemasynyň emele gelmegi üçin Gün we beýleki ýyldyz 5000 *km/s* töweregi tizlik bilen duşuşmalydyr, bu bolsa Galaktikadaky parabolik tizlikden (300 *km/s*) hem köp uludyr. Galaktikada parabolik tizlikden uly tizlikli ýyldyzlar örän azdyr.

Spektral derňew Günüň düzüminde litiniň we deýteriniň Ýerdäkä garanynda has azdygyny görkezýär. Litiý we deýteriý ýadro



reaksiýalarynyň netijesinde «ýanyp gutarýandyrlar». Eger-de olar planetalaryň düzüminde köp bolsa, onda bu ýagdaý planetalaryň emele gelen maddasynyň Günüň maddasyndan onda ýadro reaksiýalary başlanmaka bölünendigini aňladýar. Şeýle hem Günüň jümmüşinden goparylan gaz süýüminiň kondensirlenme meselesi seredilendir. Bular ýaly süýmdäki gazyň temperaturasy örän ýokary, birnäçe ýüz müň gradus bolmalydyr. Günüň jümmüşinde gazyň basyşy daşky gatlaklaryň agramy bilen deňagramlaşýar. Eger-de bular ýaly temperaturaly gaz daşyna zyňylsa, onda örän çalt sowamasa, derrew dargar. Hasaplamalar zyňlan gazyň dargamagy üçin birnäçe sagadyň ýeterlikdigini, sowamak üçin bolsa birnäçe aýyň gerekdigini görkezýär.

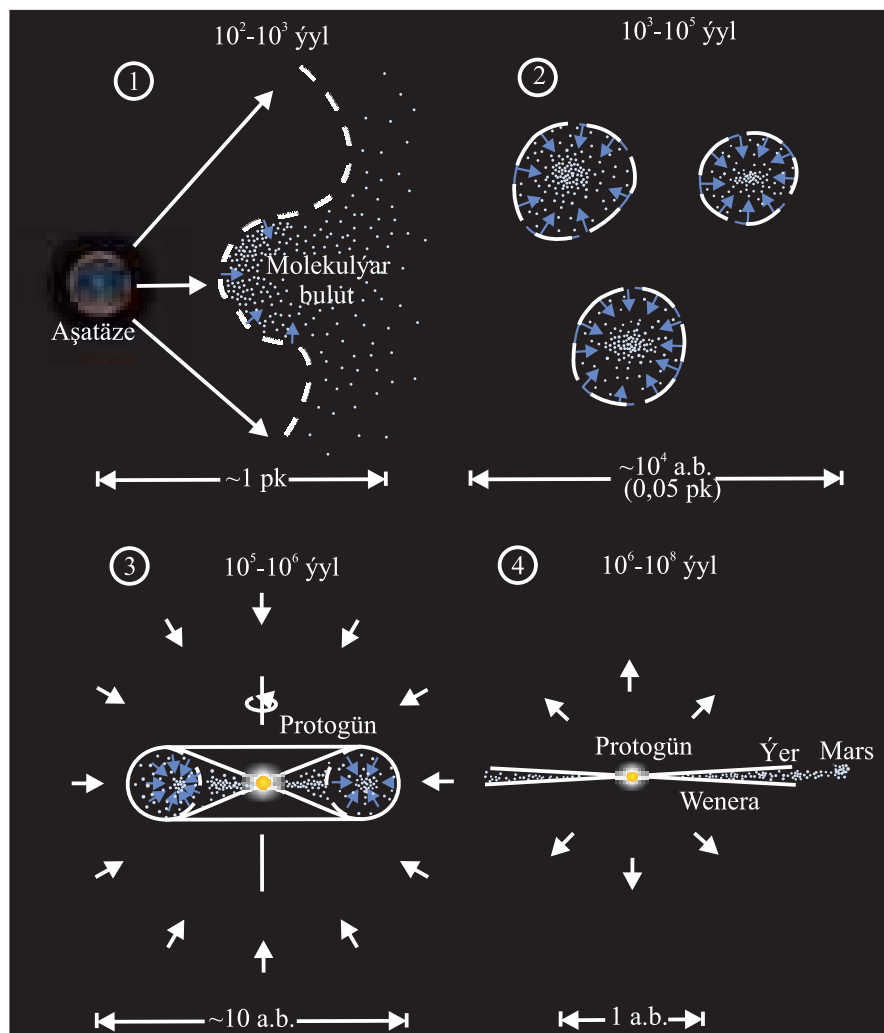
§172. Gün sistemasynyň emele gelşi we ewolýusiýasy barada häzirki zaman düşüňjeler

Gün sistemasynyň emele gelşi we ewolýusiýasynyň irki döwri baradaky düşüňje häzire çenli doly tamamlanan teoriýa häsiýete eýe bolan däldir. Emma oňa garamazdan, Günüň we planetalaryň emele gelýän wagtynda wakalaryň, hadysalaryň ýaýbaňlanan «ssenarisiniň» umumy keşbi eýýäm kesgitlenendir. Ony birnäçe tapgyrlara bölmek mümkindir (229-njy surat).

1. Molekulalardan (H_2 , H_2O , OH we beýlekiler) we tozandan ybarat bolan, ýyldyzara maddanyň buludynyň dykyzlanmagy. Bu dykyzlanma aşa täze ýyldyzyň partlamasy netijesinde, ondan ähli ugurlar boýunça ýaýran, urgy tolkunynyň täsirinden başlanan bolmagy mümkindir. Partlamanyň önümleri ýyldyzara tozanyň içine aralaşandyr, ol bolsa soňra kömürli hondritleriň düzümine girendir.

2. Buludyň massasy ýyldyzyň massasyna deňeçerräk bolan, has dykyz bölekleri gysylp başlaýar. Bulut bölekleri (fragmentlere) bölünýär, olaryň biri soňra Güni we Gün sistemasyny döredýär. Bular ýaly gysylýan bölegiň merkezinde tozanyň we gazyň goýulanmasy emele gelýär. Ol akkresiýanyň ýadrosydyr. Akkresiýa prosesi goýulanma tarapyndan daş töweregindäki seýreklandirililen sredanyň dartylyp alynmagydyr. Onuň netijesinde ýadronyň massasy kem-kemden ulalýar.

3. Haçan-da merkezi goýulanmanyň massasy takmynan $0,1M_{\odot}$ ýetende madda dury däl bolýar, temperatura artýar we tozan bugarýar.



229-njy surat. Gün sistemasynyň emele gelmeginiň çak edilýän tapgyrlary

Bu hadysa fragmentiň gysylyp başlanyndan $10^4 - 10^5$ ýyl geçenden soň başlanýar. Tozanyň bugarmasynyň yz ýanyndan molekulýar wodorodyň dissosiasıýasy (dargamasy) başlanýar. Şunlukda merkezi goýulanma gysylýar we gazdan ybarat bolan protoýyldyz (Protogün) emele gelýär. Protoýyldyzyň emele gelmesi örän çalt, takmynan 10-100 ýylda bolup geçýär.

Ýyldyzara maddanyň protogün tarapyndan akkresiýasy dowam edýär, onuň massasy we radiusy ulalýar. Ýene-de takmynan 10^5 ýyl-

dan massa häzirki derejesine ýetýär, radius bolsa häzirki wagtdakydan takmynan 100 esse uly bolýar. Ýyldyzara maddanyň akyp gelmesi tamamlanýar. Protogünüň grawitasion gysylma tapgyry başlanýar. Bu wagtyň dowamynda eýýäm merkezi Protogün bolan, disk görnüşli gaz-tozan protoplaneta dumanlygy (PPD) bardyr. Onuň rotasion durnuksyzlyk sebäpli döreýän bolmagy ähtimaldyr. Protoplaneta dumanlygy Protogün bilen birwagtda emele gelýändir, ýöne soňra akkresiýa prosesinde ulalmasyny dowam etdirýändir. Dürli teoretiki modellerde protoplaneta dumanlygyň maksimal massasynyň bahasy 0,01-den 2-i M_{\odot} -a çenli aralykda ýerleşýändir.

Protoplaneta dumanlygyň diskiniň halka görnüşli gurluşynyň bolmagy ahamldyr. Onuň daşky böleginde äpet planetalar emele gelip başlaýandyr. Planetalaryň emele gelmesi edil Protogünüň emele gelmesine meňzeşdir, diskler emele gelýändir we soňra olardan hemralar sistemasy emele gelýändir.

Bu döwrüň başlangyç tapgyrynda, protoýyldyz emele gelmezinden öň bugaran, soňra diske düşen, tozan maddanyň bölegi ýene-de gaty faza geçýär. Ol kondensirlenme prosesidir, şonda adaty hondritleriň bölejikleri, şol sanda hondralaryň özleri hem emele gelendirler (§135-e seret).

Hereket mukdarynyň momentiniň paýlanyşynda ýüze çykyan klassiki kynçylyklary aradan aýyrmak üçin häzirki zaman modellerde, protoplaneta dumanlygyndaky gaz bölekleyin ionlaşandyr, Protogün bolsa ýeterlik magnit meýdanyna eýedir. Plazmanyň we magnit meýdanynyň özara täsiri netijesinde protoplaneta dumanlyga momenti berýän, gaz akymlary döreýändir.

4. Indiki döwür takmynan 10^8 ýyl tutýar. Protogünüň grawitasion gysylmasy dowam edýär. Bu döwrüň başlangyjynda ol T Öküzçe ýyldyzyň tapgyrynda ýerleşendir. Onuň ölçegleri kiçelip, şu wagtky ýagdaýyna ýakynlaşýar. Protoplaneta dumanlygyň içki böleginden gazy süpürip aýyran, güýçli ýyldyz şemaly öwürýändir. Onuň daşky böleginde bolsa äpet planetalaryň emele gelmegi dowam edýär.

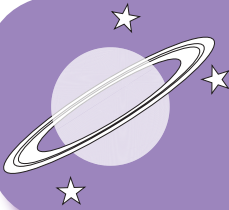
Protoplaneta dumanlygynyň tozan maddasy käbir orta tekizlige has konsentrlenýär. Konsentrasiýanyň artmagy sebäpli tozanjyklar çakyşýarlar, has iri bölejikler emele gelýär, gaty jisimleriň akumulýasiýa (toplanma) prosesi gidýär. Esasan hem uly jisimleriň kiçi jisimleriň hasabyna ulalmasy bolýar. Olaryň asteroidlere meňzeş, has ululary-planetalaryň başlangyçlary, ýagny planetezimalilerdir.

Netijede, birnäçe aýratyn iri jisimler emele gelyär. Olar akkresiýa ýadrosyna öwrülýärler we olaryň töwreginde Ýer topar planetalaryň emele gelmesi bolýar. Şol döwürde planetalaryň başlangyçlarynyň sany örän köpdür, çakyşmalarda olar diňe birleşmän, köplenç, pytrap hem gidýändirler. Şular ýaly pytramalar differensirlenen meteoritleri döredendirler (§135-e seret).

Ýeriň şu günki ölçeglerine çenli ösüşi takmynan 10^8 ýyllap dowam eden bolmalydyr. Käbir çaklamalara görä 10^5 ýyla deňdir. Wenera Ýere görä çalt ösen bolmagy mümkindir. Ýer topar planetalaryň taryhynda akkresiýa döwri iň joşgunly, apy-tupanly wagt bolan bolmagy ähtimaldyr. Planetalaryň üstlerine örän uly ölçegleri bolan planetalaryň başlangyçlary gaçyp, äpet kraterleri emele getirendirler, maddanyň bellibir bölegi giňişlige zyňylandyr, planetalaryň üstleriniň materialy üznüksiz gaýtadan işlenendir. «Bombalamagyň» soňky tolkuny protoplaneta dumanlygy emele geleninden ýarym milliard ýyl soň geçendir, ýöne has intensiw bolan wagty ilkinji 10^8 ýylyň dowamydyr. Käbir modellere görä, akkresiýa prosesi birhilli bolan däl, ýagny başda agyr we eremesi has kyn bolmadyk elementler (demir) toplanandyr, silikat mantiýa bolsa soňra emele gelendir. Planetalaryň emele gelşiniň pikir edilişinde başgada gapma-garşylyk (birmanyly dällik) köpdür. Mysal üçin, Ýer topar planetalaryň emele gelşiniň ýokarda getirilen ýazgysy bilen hemmeler ylalaşýan däl, olar. Alternatiw çaklama görä, Ýer topar planetalaryň başlangyçlary, Günüň daşgyn täsiri netijesinde gaz gabygyny ýitiren, iri protoplanetalar bolandyrlar. 4,5 milliard ýyl öň bolup geçen wakalaryň şekilini dogry dikeltmek örän çylşyrymlydyr. Ýöne oňa garamazdan tamsyz, çözüp bolmaýan mesele däl. Ýyldyzara sreda we örän ýaş ýyldyzlara gözegçiliklerden, meteoritleriň düzüminiň we gurluşynyň derňewinden, planetalaryň atmosferalarynyň düzüminiň barlaglaryndan alnan maglumatlary birleşdirip, bu meseläniň çözüwüne ýakynlaşandyr.

Häzirki zaman astronomiýa ylmy planetalar sistemasynyň ýyldyzlaryň köpüsünde bar bolmagynyň mümkindigini, Gün sistemasynyň Älemde ýeke-täk daldigini, ol adaty ýagdaýdygyny görkezýän, esasy argumentleri berýändir. Bu planetalarda aňly-düşünjeli ýaşayyş bar-myka diýen sorag adamzady örän gyzyklandyryýandyr. Soňky ýyllarda bu mesele düýpli ylmy esasyda öwrenilip başlanylandyr.





XIV bap KOSMOLOGIÝANYŇ ESASLARY

Geçen baplarda biz häzirkî zaman astronomiýanyň wajyp bölümlerine seredip geçdik. Olaryň hemmesi bir-biri bilen je-bis baglanyşykdadyr. Mysal üçin, astrometriýada, asman mehanikasynda ýa-da astrofizikada alynýan netijeler beýleki bölümlerde giňden peýdalanylýandyr. Astronomlar Älemdäki gözegçilik edip bolýan obýektleriň hemmesini öwrenmäge, olaryň gelip çykyşlaryny, gurluşyny we ösüşini bilmäge ymtylýarlar. Dünýäni öwrenmäge ewolýusion çemeleşme häzirkî zaman astronomiýanyň wajyp öz-boluşlygydyr. Emma her bir obýektiň öwrenilmegi bütün Älemiň häsiýetnamalaryny anyklamak üçin entek ýeterlik däl. Biziň dünýämiziň gurluşy we ewolýusiýasy astronomiýanyň ýörite bölümüniň – kosmologiýanyň predmetidir.

§173. Kosmologiýanyň esaslary

Kosmologiýa astronomiýanyň Älemiň fiziki tebigatyny, gurluşyny we ewolýusiýasyny бүтewүlikde öwrenýän bölümidir. Hususan-da ol giňişligiň Metagalaktika diýlip atlandyrylýan, gözegçilik edip bolýan çäkleriniň has umumy häsiýetnamalaryny öwrenýär.

Astronomiýanyň beýleki bölümlerine meňzeşlikde, kosmologiýa ilki bilen gözegçiliklere esaslanýandyr. Emma prinsipial kynçylyk, бүтін Älemiň häsiýetnamalarynyň onuň gözegçilikler bilen çäklenen böleginiň häsiýetnamalaryndan düýpli tapawutlanýan bolmagynyň mümkinligindedir. Şonuň üçin Metagalaktika barada belli bolan maglumatlary, бүтін Äleme ýaýratmaly-ekstrapolirlemeli bolýar. Şeýle

hem onuň üçin fizikadan belli bolan tebigatyň fundamental kanunlaryny ulanyp bolýar diýip kabul edilyändir.

Älem giňişliginiň ýeterlik uly göwrümleri üçin maddanyň birmeňzeş orta dykzlygy baradaky pikir kosmologiýa bölümi üçin aýratyn önjeýli bolandyr. Maddanyň orta dykzlygy birmeňzeş diýip hasaplap bolýan çäkleriň ölçegleri Metagalaktikanyň ölçeglerinden has kiçidir. Ýöne onuň ölçegleri ýyldyzlaryň, galaktikalaryň we olaryň üýşmekleriniň barlygy bilen bagly bolan, ýerli (lokal) birhilli dällikleriň masştablary bilen deňşdireniňde uludyr.

Älemde maddanyň ortaça paýlanyşynyň deňölçeglidigi, Galaktikanyň ölçegleri kesgitlenende ≈ 155 -däki, berlen görüňän ýyldyz ululygyna çenli ýagtylanyjylygy bolan ýyldyzlaryň sanynyň kesgitlenişi ýaly, berlen görüňän ýyldyz ululygyna çenli ýagtylanyjylygy bolan galaktikalaryň sanyny hasaplap, esaslandyryp bolar. Gözegçiliklere görä, gowşak galaktikalar üçin (12.2) formula girýän, $N(m+1)/N(m)$ gatnaşyk 4-e ýakındyr. Özi hem dürli ugurlarda bu ululykdan gyşarmalar ähtimal häsiýete eýedir. Bu bolsa galaktikalaryň ähli ugurlarda ortaça deňölçegli paýlanandygyny görkezýär.

Maddanyň orta dykzlygynyň örän uly masştablarda birmeňzeş bolmagy, kosmologiýada Älemiň has umumy häsiýetnamasynyň, birhillidiginiň we izotroplygynyň netijesi hökmünde seredilýändir. Birhillilik materiýanyň ähli häsiýetleriniň giňişligiň islendik nokadynda birmeňzeşdigini, izotroplyk bolsa islendik ugurda birdeňdigini görkezýär. Başgaça aýdanymyzda, birhillilik giňişligiň aýratyn saýlanan çäkleriniň, izotroplyk bolsa aýratyn saýlanan ugruň ýokdugyny aňladýar. Izotroplyk gözegçiliklerden hem tassyklanýandyr, mysal üçin, galaktikalaryň «daşlaşma» kanunynyň ähli ugurlar boýunça birmeňzeşdigi.

Emma bu häsiýetnamalaryň kesgitli ölçeglerden, häzirki döwürde 50-100 *Mpc*-e deň bolan ölçeglerden başlap, ýerine ýetýändigini bellemelidir. Älemiň birhilliligi we izotroplygy baradaky çaklama, köplenç, kosmologik prinsip hem diýilýär.

Ir döwürdäki çaklamalar birhillilik bilen bir hatarda, biziň dünýämiziň üýtgemeyänligi ýa-da statikiligi baradaky prinsipden ugur alypdyrlar. Bu häsiýetnamalary tükeniksiz Ýewklid giňişligine ekstrapolirmek boýunça edilen ilkinji synanyşyklar iki-fotometrik



we grawitasion paradoks görnüşinde belli bolan kynçylyklara elten-dir.

Fotometrik paradoks. Fotometrik paradoks 1744-nji ýylda J.Şezo tarapyndan Şweýsariýada, soňra bolsa 1826-njy ýylda G.Olbers tarapyndan Germaniýada formulirlenendir. Onuň manysy aşakdakydan ybaratdyr: eger giňişlik tükeniksiz we ýyldyzlar bilen deňölçegli doldurylan bolsa, onda islendik ugurda görüş şöhlesi, irde-giçde haýsy hem bolsa bir ýyldyzy kesip geçer. Obýektiň gözegçilik edilýän ýitiligi oňa çenli bolan uzaklyga bagly däl bolany üçin (§95-e seret), bize бүтін asman, aýdalyň, Gün diski ýaly deňölçegli ýagtylanýan bolup görünmelidir. Ýagtylygyň ýyldyzara siňdirilmesi, umuman aýdanymyzda, bu paradoksy aradan aýyрмаýar, sebäbi siňdirilýän şöhlelenme irde-giçde gaýtadan şöhlelendirilmelidir. Uzakdaky obýektleriň ýagtylygynyň energiýasynyň gyzyly süýşme sebäpli kemelýändigini hasaba alsak, onda fotometrik paradoks bolmaz. Ondan başga-da, gözegçiliklerde giňişligiň hakykatdan hem ýetip bolýan göwrümi tükenikli bolmalydyr we Älemiň görünýän gözýetimi bilen çäklenmelidir. Älemiň görünýän gözýetimi diýip, hemme nokatlary gözegçiden, giňelýän Älem döräli bäri wagtyň dowamynda ýagtylygyň geçen aralygyna deň bolan ululyga uzaklaşan sfera düşünilýändir

Grawitasion paradoks. Grawitasion paradoks 1895-nji ýylda H.Zeýeliger tarapyndan formulirlenendir. Onuň manysy şundan ybaratdyr: madda bilen deňölçegli doldurylan tükeniksiz Älemde, Nýutonyň kanunyny peýdalanyp, berlen nokat üçin grawitasiýa güýjüni anyk kesgitlemek mümkin däldir. Mysal üçin, eger berlen nokatda ýerleşen synag madda, merkezi şol nokatda ýerleşen konsentrik gatlaklaryň täsir edýän güýçleriniň jemini hasaplasak, onuň nola deň boljagy anykdyr (§38 seret). Eger hasaplamany merkezi seredilýän nokatdan r uzaklykda ýerleşen konsentrik gatlaklar üçin ýerine ýetirsek, onda dartylma güýjüniň, radiusy r bolan şaryň öz üstünde ýerleşen nokady dartýan güýjüne deň boljakdygyna göz ýetirmek ýeňildir.

Grawitasion paradoks, dartylma güýji Ýewklidiň giňişliginde şol pursat (mgnowen) ýaýraýar diýip hasaplaýan, Nýutonyň dartylma kanunynyň, tükeniksiz Älemde ulanarlyk dældigi bilen baglydyr.

Şonuň üçin kosmologiýada Metagalaktikanyň ummasyz ölçegleri öwrenilende, esasy 1916-njy ýylda A.Eýnşteýn tarapyndan tutulan, otnositelligiň umumy teoriýasyndan peýdalanmak zerurdyr.

Mehanikanyň kanunlary otnositelligiň umumy teoriýasynda (OUT) has umumy görnüşde ýazylýandyр. Nýutonyň kanunlary bolsa ondan gowşak grawitasion meýdanyň çäk ýagdaýynda alynýandyр. OUT-da grawitasion paradoks ýokdur. Onuň ýüze çykmagy kosmologiýanyň ösüşiniň häzirki zaman tapgyrynyň başlangyjyny başlandыр. Esasy kosmologiki deňlemeler Eýnşteýniň özi tarapyndan çykarylýandyр we statiki Älemiň hususy ýagdaýy üçin çözülenidir. Soňra has umumy ýagdaý üçin çözüwi 1922-nji ýylda görnükli matematik A.A.Fridman tarapyndan alnandyр. Emma soňra, wajyp kosmologik netijeleriň birnäçesiniň Nýutonyň deňlemeleriniň esasynda alyp boljakdygy anyklanandyр. Bu mümkinçiligiň uly usulyýet manysy bardыр, sebäbi häzirki zaman kosmologiýanyň netijelerini onsuz doly düşünmek mümkin däl bolan, OUT-yň matematiki aparatyny özleşdirmezden öň, çylşyrymly kosmologik problemalara ýakynlaşmaga mümkinçilik berýändир.

§174. Nýutonyň kanunlaryna esaslanan, birhilli izotrop Älemiň modeli

Modelirleme tebigatyň çylşyrymly obýektlerini öwrenmekde wajyp usuldyр. Ony biz eýýäm geçen baplarda, hakyky obýekti ýönekeýleşdirilen matematiki shema bilen çalşyryp, peýdalanyрdyк. Bu shemada käbir elementler öňünden belli diýip hasaplanylýar (gözegçilikleriň esasynda). Galanlary bolsa matematikanyň we teoretiki fizikanyň usullaryny ulanmak arkaly tapylýandyр. Iň wajyp jemleýji tapgyry, ulanylan teoriýa girizilen çaklamalary we çäklendirmeleri göz önünde tutup, modeliň teoretiki tapylan häsiýetnamalaryny hakyky obýekte geçirmekdir.

Birhilli izotrop Älemiň modeline seredeliň. Güýçleri başga hiç hili güýçler bilen kompensirlenmeýän we maddanyň hereketiniň häsiýeti kesgitlenende Älemiň masştablarynda has wajyp bolan, jisimleriň grawitasion özara täsirini aňlatmak üçin Nýutonyň kanunlaryny peýdalanylýň.



Nýutonyň kanunlary tükenikli (çäkli) massalara ulanarlyklydygy öňünden belli bolany sebäpli, biziň modelimiz Älemiň örän uly, tükenikli massa eýe bolan, çäkli bölegine degişli diýip hasaplalyň. Bular ýaly massa onuň bölekleriniň arasyndaky grawitasion özara täsir netijesinde ýa-da gysylmalydyr ýa-da kinetik energiýanyň ätiýajyna eýe bolsa, onda giňelmelidir. Şol grawitasion güýçleriň täsiri netijesinde bu giňelme wagtyň geçmegi bilen togtamalydyr.

Birhilli izotrop Älemde Habblyň kanunynyň dogrudygyny görkezmek mümkindir. Kesgitlilik üçin giňelýän Älemiň modeline seredeliň. Goý A we B , başlangyç wagt pursadynda aralaryndaky uzaklyk r bolan, biri-birinden $V = \Delta r / \Delta t$ otnositel tizlik bilen daşlaşýan, giňişligiň islendik iki nokady bolsun. AB aralygy r sany birlik aralyklara (interwallara) böleliň. Birhilliligiň häsiýetine görä, bu interwallaryň her biri Δt wagtyň dowamynda $\Delta r / r$ deň bolan, şol bir ululyga artar. Şonuň üçin, birlik interwalyň orta tizligi $\frac{1}{r} \left(\frac{\Delta r}{\Delta t} \right)$

deň boljagy aýdyňdyr. Bu ululygyň hemme ýerde we ähli ugurlarda birmeňzeş bolmalydygy hem-de diňe wagta baglylygy üçin ony $H(t)$ bilen belläliň. Bu ýerden Habblyň kanunyny alarys:

$$V = \frac{\Delta r}{\Delta t} = r \left(\frac{1}{r} \frac{\Delta r}{\Delta t} \right) = r \cdot H \quad (14.1)$$

Bu ýerde $H = H(t)$ ululygyň häzirki döwürdäki bahasy. $H = 0$ bolanda giňelme ýokdur (statiki model). Emma bular ýaly ýagdaýyň durnuksyzdygy aýdyňdyr. Maddanyň massasy başga güýçleriň ýok ýagdaýynda, hususy dartylma meýdanynda, kinetik we potensial energiýalarynyň özara gatnaşyklaryna baglylykda, ýa giňelmelidir ýa-da gysylmalydyr.

Goý indi r – merkezi giňişligiň berlen nokadynda ýerleşen käbir sferanyň erkin radiusy bolsun. Izotropylyk we birhillilik sebäpli bu sferanyň hemme nokatlary merkezden birmeňzeş tizlik bilen daşlaşarlar. Özi hem radius wagtyň geçmegi bilen wagta bagly, käbir $R(t)$ funksiýa proporsionallykda artar, şunlukda

$$r(t) = r \cdot R(t). \quad (14.2)$$

$R(t)$ funksiýa masştab faktory diýilýär. Bu ululyk islendik iki nokadyň aralaryndaky r uzaklyga garamazdan, uzaklygyň wagta görä üýtgemeginiň kanunyny almaga mümkinçilik berýär.

Radiusy r bolan sferada M massa jemlenendir we ony ρ dykzlygyň (hemme ýerinde birmeňzeş) üsti bilen aňladyp bolýar:

$$M = \frac{4}{3}\pi\rho r^3. \quad (14.3)$$

Seredilýän göwrümiň araçäginde ýerleşen birlik massa $V^2/2$ bolan kinetik we $-GM/r$ bolan potensial energiýa eýedir. Energiýanyň saklanmak kanunyna laýyklykda olaryň jemi hemişelikdir:

$$\frac{1}{2}V^2 + \left(-G\frac{M}{r}\right) = E_{doly}. \quad (14.4)$$

Eger doly energiýa noldan uly $E > 0$ bolsa, onda giňelmäniň tizligi r -iň hiç bir bahasynda nola çenli kiçelip bilmeýär. Giňelme hemişelik haýallama bilen tükeniksiz dowam edýär. Masştab faktory $R(t)$ mydama artýar. Tersligine, $E < 0$ bolanda, giňelme tizligi wagtyň geçmegi bilen nola çenli kemelýär, soňra giňelme gysylma bilen çalşylýar. Haçan-da $V = 0$ bolan pursadynda, masştab faktory iň uly bahasyny alýar, soňra kemelýän funksiýa öwrülýär. Bu iki gyraky ýagdaýlaryň aralygynda wajyp aralyk ýagdaý, ýagny $E = 0$ hem bardyr. Şonda giňelme nola ymtylýan tizlik bilen çäksiz dowam edýändir. (14.4) formuladan görnüşi ýaly, şonda giňelme tizligi parabolik tizlige deňdir:

$$V_p = \sqrt{2MG/r}. \quad (14.5)$$

Bu formula Habblyň kanunundan V tizligiň bahasyny we (14.3) gatnaşykdan massanyň bahasyny goýup, dykzlygyň degişli bahasyny alarys:

$$\rho_0 = \frac{3H}{8\pi g}. \quad (14.6)$$

Formuladan görnüşi ýaly, ρ_0 dykzlyk r radiusa bagly däl. Bu bolsa alnan netijäniň islendik uly masştab üçin hem dogrudygyny aňladýar. Dykzlygyň doly energiýanyň nol ýagdaýyna degişli bahasyna kritiki diýilýär. Älemiň orta dykzlygy kritiki dykzlykdan uly ýa-da kiçi bolanda, degişlilikde ýapyk we çäksiz giňelýän Älemiň ýokarda seredilen ýagdaýlary amala aşyrylýandyr.

$H = 75 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpk})$ kabul edip, häzirki wagtda Älemde dykzlygyň kritiki bahasy $10^{-29} \text{ g}/\text{sm}^3$ töweregidigini alarys. Metagalaktikada belli bolan massalaryň hemmesini hasaba alanymyzda, orta



dykzlygyň hakyky ululygynyň 10^{-30} g/sm^3 -a deňdigini, ýagny kritiki bahasyndan kiçidigini görkezýär. Emma bu ululyk öňünden belli bolan iň pes çäkdir, sebäbi metegalaktiki sredanyň dykzlygy doly anyklanan däldir. Eger ol uly bolsa, onda käbir pursatdan başlap Älemiň giňelmesi gysylma bilen çalşylyp biljekdigini aňladyp biler.

Älemde maddanyň orta dykzlygy kesgitlenende, dynçlyk massasy noldan tapawutly neýtrinonyň massasyny hem hasaba almaly bolmagy mümkindir. Soňky ýyllarda tejribeleriň netijelerine görä, neýtrinonyň dynçlyk massasy $6 \cdot 10^{-32} \text{ g}$ -e ýetip biler, bu bolsa elektronyň massasyndan takmynan 20000 esse kiçidir. Älemde neýtrinonyň ummasyz mukdary, esasan hem onuň giňelmesiniň irki tapgyrlaryndan galanlary (relikt) bolmalydyr. Teoriýada hasaplamalar her protona ortaça milliarda golaý neýtrino düşýändigini görkezýär. Şonuň üçin ýokarda getirilen çaklama tassyk bolsa, onda neýtrinolaryň umumy massasy adaty maddanyň massasyndan takmynan 30 esse köp bolar. Şeýlelik bilen, biziň giňişligimiziň esasy fiziki häsiýetnamalaryny hut neýtrino kesgitleýän bolmagyny hasapdan aýryp bolmaz.

Indi Habblyň hemişeliginiň fiziki manysyna seredeliň. Onuň ölçeg birligi ýygylgyň ölçeg birligidir. Eger $H = 75 \text{ km/(s} \cdot \text{Mpk)}$ diýip kabul etsek, onda onuň ters ululygy $t = 4 \cdot 10^{17} \text{ s} = 13 \cdot 10^9 \text{ ýyl}$ bolan wagta deňdir. Eger geçmişde giňelme tizligi üýtgemändir diýip kabul etsek, onda Metagalaktikanyň häzirki ýagdaýyna çenli giňelmegi üçin şonça wagt gerekdir. Gözegçilikleriň ýalňyşlyklarynyň çäklerinde bu wagt ululygy, galaktikalaryň köpüsiniň we biziň Galaktikamyzyň garry ýyldyzlarynyň spektrlerini hem-de ýyldyz ewolýusiýasynyň teoriýasyny ulanmak bilen, ýyldyz düzümini öwrenmegiň esasynda kesgitlenen ýaşlary bilen gabat gelýär. Bu ýerden bolsa, galaktikalaryň köpüsiniň Älemiň giňelmesiniň has irki tapgyrlarynda emele gelendikleri gelip çykýar. Mümkin, olar birinji milliard ýylda, ýagny maddanyň orta dykzlygy häzirkiden ýeterlik ýokary bolanda emele gelendirler.

Şeýlelikde, klassiki fizikanyň çäklerinde Älemiň wajyp häsiýetnamalaryny: stasionar dälligini (durnukly dälligi), kritiki dykzlygynyň ululygyny, giňelme wagtyň ululygyny (Älemiň «ýaşyny») almak başardandyr. Hakyky Älemiň her bir anyk häsiýeti, hususan-da

häzirki döwürde Älemiň giňelýändigini gelip çykyan, gözegçiliklere esaslanan bolmalydyr. Älemiň stasionar dälliginiň haýsy häsiýetiniň geljekde amala aşyryljakdygy entek belli däldir. Geljekde giňelmäniň gysylma bilen çalşylmagy mümkindir. Ýöne maddanyň geçmişde has dykyz ýagdaýda bolandygy barada aýtmak bolar. Emma bu netijeleriň klassiki mehanikanyň esasynda alnandygyny göz önünde tutmalydyr. Şonuň üçin olar giňelmäniň tizligi ýagtylygynyň tizliginden ýeterlik kiçi bolan masştablar üçin dogrudyr. Bu çäklendirmeleri kanagatlandyrmayan şertler üçin fizikanyň has takyk kanunlaryndan, esasan hem otnositelligiň umumy teoriýasyndan peýdalanmak zerurdyr.

§175. Relýatiwistik kosmologiýa

Belli bolşy ýaly, otnositellik teoriýasy uly massalaryň bolmagy giňişlik-wagt häsiýetnamalara täsirini ýetirýändigini diýen netijä getirýär. Bize öwrenişikli bolan ýewklid giňişliginiň häsiýetnamalary (mysal üçin, üçburçlugyň burçlarynyň jemi, parallel çyzyklaryň häsiýetleri) uly massalaryň ýakynynda üýtgeýändirler ýa-da başgaça aýdylanda giňişlik egrelýändir.

Mysal üçin, giňişligiň egrelmegi netijesinde ýagtylyk şöhlesi Günün ýakynynda öz ugruny takmynan 2" burça üýtgetmelidir. Bu burçuň ululygyny Günün ýakynyndaky ýyldyzlara doly Gün tutulma wagtynda geçirilýän gözegçiliklerde ölçäp bolýar.

Hemme galaktikalaryň üşmekleriniň dartylma täsirine eýe bolan massalarynyň jemleýji täsiri, umuman giňişligiň kesgitli egriligini ýüze çykaryp biler. Ol bolsa Älemiň häsiýetlerine, diýmek onuň ewolýusiýasyna düýpli täsirini ýetirer. Umumy ýagdaýda, otnositellik teoriýasynyň kanunlarynyň esasynda giňişligiň we wagtyň häsiýetnamalaryny, massalaryň erkin paýlanan ýagdaýynda kesgitlemek meselesi örän çylşyrymlydyr.

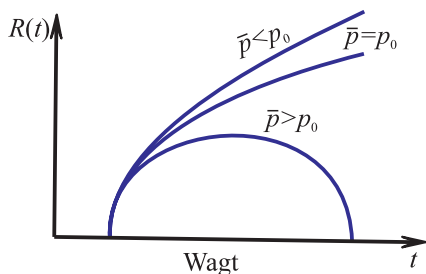
Häzirki zaman relýatiwistik kosmologiýa A.A.Fridmanyň işlerinden başlanandyr. Ol birhilli izotrop Älemde maddanyň hereketini hasaplandyr we onuň dynçlykda bolup bilmejekdigini, Älem stasionar däl bolmalydygyny, ýagny giňelmä ýa-da gysylma sezewar bolmalydygyny subut edendir. Degişlilikde orta dykyzlyk hem wagta görä üýtgemelidir. Relýatiwistik kosmologiýada Älemiň stasionar



dälligi geçen paragrafda sereden «klassiki» ýagdaý üçin alan netijelerimize meňzeşdir (tükeniksiz giňelme ýa-da gysylma bilen çalşylýan giňelme). Relýatiwistik kosmologiyada kritiki dykzyzlygyň alynýan bahasy, tapylan (14.6) aňlatma bilen umuman gabat gelýär.

Relýatiwistik teoriýanyň düýpli anyklamalarynyň biri hem giňişligiň egriligini kesgitlemek mümkinçiligidir. Orta dykzyzlyk kritiki dykzyzlyga deň bolanda, giňelme tizligi tükeniksiz nola ymtylýar (haýallama), giňişligiň egriligi nola deňdir we ol ýewklidiň geometriýasy bilen häsiýetlendirilýär. Galan ähli ýagdaýlarda giňişligiň geometriýasy ýewklid däl. Dykzyzlyk kritikiden kiçi bolanda egrilik otirisateldir, eger uly bolsa, onda položitel. Degişlilikde birinji ýagdaýda Älem mydama giňelýändir, ikinjide giňelme haýsy hem bolsa bir eýýamda gysylma bilen çalşmalydyr. Bu soňky ýagdaýda, ýewklid geometriýasy bolmany üçin, giňişlik çäkli (tükenikli) bolmalydyr, ýagny islendik wagt pursadynda kesgitli çäkli göwrümi, çäkli massasy we galaktikalaryň üýşmekleriniň çäkli sany bolmalydyr. Emma Älemiň «araçakleri» ýokdur.

Bular ýaly ýapyk üç ölçegli giňişligiň iki ölçegli modeli «çişirilýän» sferanyň üstüdür. Galaktikalar bu modelde sferanyň üstünde çyzylan tekiz şekiller bilen şekillendirilýär. Sferanyň üsti dartylanda onuň meýdany we şekilleriň aralyklary ulalýar. Aslynda, bular



230-njy surat. Älemiň giňelmeginiň dürli kanunlary üçin masştab faktorynyň wagta baglylygy

ýaly sfera çäksiz ulalyp bilýär, ýöne islendik wagt pursadynda onuň üstüniň meýdany mydama çäklidir, özi hem bu iki ölçegli giňişlikde (tekizlikde) araçäk ýokdur.

Relýatiwistik modellerde masştab faktorynyň $R(t)$ özüni alyp barşy hil taýdan, energiýanyň (14.2) deňlemesinden, M üçin (14.3) we $r(t)$ üçin (14.2) aňlat-

malardan alyp bolýan $R(t)$ funksiýa bilen gabat gelýär. 230-njy suratda Älemiň stasionar dällik häsiýetleriniň ähli üç esasy ýagdaýlary üçin masştab faktorynyň wagta baglylygy görkezilen.

§176. «Gyzgyn» Älem modeli

1965-nji ýylda Älemiň izotropygy we birhilliligi baradaky çaklamanyň dogrulygyny tassyklan, kosmologiýa üçin örän wajyp açyş edilendir. Ýeriň emeli hemralaryna gözegçilik etmek üçin niýetlenen radioenjamlar sazlananda, ähli ugurlardan intensiwligi birdeň bolan, gowşak, fon radioşöhlenenmesi ýüze çykaryldy. Häzirki zaman gözegçiliklere laýyklykda bu şöhlenenme prosentiň ondan bir ülüşleriniň takyklygynda izotropdyr (ýagny onuň temperaturasy ugra bagly däl). Energiýanyň spektrde paýlanylyşy boýunça ol $3K$ temperatura degişli ýylylyk şöhlenenmesidir. Bular ýaly temperatura-da şöhlenenmäniň maksimumy spektriň 1mm tolkun uzynlykly çäginde düşýändir. Häzirki wagtda Älemde, spektriň millimetr çäklerinde, ýeterlik ýokary derejede izotrop we plankyň spektrine eýe bolan şöhlenenme berip biljek obýekt ýokdur. Şonuň esasynda $3K$ temperaturaly şöhlenenme, maddanyň dykzlygy örän ýokary we sreda örän dury däl wagtyndan saklanyp galan, Älemiň şöhlenenmesidigi anyklandy. Wagtyň geçmegi bilen, giňelme netijesinde madda sowandyr we ionlaşan ýagdaýdan neýtral faza geçip, dury bolandyr. Soňra sreda tarapyndan siňdirilmän, şöhlenenme maddadan «goparylan» ýaly bolup, biziň günlerimize çenli saklanyp galandyr.

Hasaplamalar maddanyň dury ýagdaýa geçmeginiň, dykzlygyň 10^{-20} g/sm^3 bahalarynda (atomlaryň orta konsentrasiýasy 10^4 sm^{-3} töweregi), ýagny dykzlyk häzirki wagtdakydan milliardlarça esse uly wagty bolandygyny görkezýär. Dykzlygyň uzaklygyň kubuna ters proporsionallykda üýtgeýändigini sebäpli, Älemiň giňelmesini hem edil şu wagtky ýaly hasaplap, maddanyň dury däl döwründe, Älemdäki ähli uzaklyklaryň takmynan 1000 esse kiçi bolandygyny alarys. Şonuň üçin, häzirki wagtda tolkun uzynlygy 1mm bolan kwantlar, ön tolkun uzynlygy 1 mkm -e deň bolandyr we ol Plankyň kanunyna görä temperaturanyň $3000\text{--}4000 \text{ K}$ bahasynda şöhlenenmäniň maksimumyna degişlidir.

Şeýlelikde, relik şöhlenenmäniň bolmagy geçmişde Älemiň diňe dykzlygynyň uly bolman, onuň temperaturasynyň hem ýokary bolandygyny görkezýär («Gyzgyn» Älem modeli).

Älem geçmişde has dykz we has ýokary temperaturaly ýagdaýda boldumyka diýen soraga relik neýtrinolarýň şöhlenenmesiniň



esasynda jogap berip bolardy. Olar üçin Älemiň dury dälligi dykzlygyň $\rho \geq 10^7 \text{ g/sm}^3$ bahalarynda ýerine ýetmelidir. Bu ýagdaý Älemiň giňelmesiniň diňe häzirki tapgyrlarynda bolup bilmegi mümkindir. Haçan-da dykzlyk bu bahadan kiçi bolanda, neýtrino bilen, edil soňra relikst şöhlelenme bilen bolşy ýaly, olar galan madda bilen täsirleşmän, «goparylan» ýaly bolup, soňra giňelme bilen baglanyşykly bolan diňe kosmologiki gyzyly süýşmä sezewar bolandyr. Gynansak hem, häzirki wagtda energiýasy bary-ýogy elektron-woltyň on münden bir ülüşlerine deň bolan neýtrinolar ýüze çykarmak başa baran dälär.

Şeýlelikde, 10 milliard ýyldan hem ozal Älem örän dykzly we gyzyly ýagdaýda bolupdyr. Umuman aýdanymyzda, dykzlygyň we temperaturanyň üýtge me kanunyny wagta görä yzlygyna ekstrapolirläp, Älemiň singulýarlyk ýagdaýy diýip atlandyrylýan, käbir aýratyn aşa dykzly ýagdaýdan giňelip başlan pursadyny görkezmek mümkindir. Bu giňelmäniň başlangyjyny Uly partlama diýip şertli atlandyryrlar. Formal taýdan şol pursatda dykzlyk we basyş tükeniksizlige ymtylýandyr. Bu bolsa singulýarlyk ýagdaýynyň ýakynynda madda entek fizikada belli bolmadyk kanunlar bilen düşündirilmelidir. Hatda Eýnşteýniň relýatiwistik dartylma teoriýasy hem dykzlygyň 10^{93} g/sm^3 uly bahalarynda ulanarlykly dälär, sebäbi ol kwant hadysalary göz önünde tutýan dälär. Plankyň eýýamy diýilýän bu döwürde grawitasiýa meýdanynyň kwantlary – grawitonlar dörän bolmalydyr.

Emma, eýýam giňelmäniň «başlanyndan» 10^{-44} sekuntan soň otnositelligiň umumy teoriýasy ulanarlyk bolýandyr. Gyzyly giňelýän birhilli izotrop Älemiň modelinden gelip çykýan, biziň dünýämiziň ewolýusiýasynyň häzirki tapgyryna degişli bolan (*19-njy tablisa*), käbir deslapky netijelere gysgaça seredip geçeliň.

Älemiň aşa dykzly ýagdaýy gaty uzak wagtda dowam etmedik hem bolsa, ol Älemiň ondan soňky ösüşinde örän uly wajyp orny eýeleýändir. Iň wajyby, maddanyň örän uly dykzlygynda we temperaturasynda bölejikleriň we şöhlelenme kwantlarynyň intensiw özara öwrülişik prosesleriniň başlanlygydyr. Ilkibaşda deň mukdarda bölejikler we olara degişli antibölejikler emele gelendir. Bu proses belli bolan, iki sany kuwwatly gamma-kwantlar çakyşanlarynda elektron-pozitron jübüdiň emele gelmegine meňzeşdir:

$$\gamma + \gamma \rightleftharpoons e^+ + e^-.$$

Bu reaksiýada çepesugrukdyrylan ugur görkeziji, iki sany γ – kwantyň emele gelmesi bilen bolup geçýän, pozitronyň we elektronyň annigilýasiýasyna ters prosesi şekillendirýär. Deňagramly şertlerde göni we ters prosesler mydama deň mukdarda bolup geçýärler.

19-njy tablisa

Älemiň ewolýusiýasynyň esasy tapgyrlary

Eýýam	Başlangyçdan soň geçen wagt (sek)	Ewolýusiýanyň tapgyrlary	T, K	$\rho, g/sm^3$
Plank		Relikt grawitonlaryň emele gelmegi	?	?
Adron	10^{-43}	Relýatiwistik dartylma teoriýasynyň ulanylmagynyň araçägi	10^{32}	10^{94}
	10^{-35}	Zarýad asimmetriýasynyň döremegi	10^{28}	10^{78}
	10^{-5}	Nuklonlaryň we antinuklonlaryň annigilýasiýasy	$3 \cdot 10^{12}$	10^{16}
Lepton	10^{-4}	Fizikanyň tejribelerde barlanan kanunlarynyň ulanarlygynyň araçägi	10^{12}	10^{14}
	10^{-3}	Neýtronlaryň annigilýasiýasy	$3 \cdot 10^{11}$	10^{12}
	0,2	Relikt neýtrinolaryň emele gelmegi	$2 \cdot 10^{10}$	10^7
Şöhlelenme	10	Elektronlaryň we pozitronlaryň annigilýasiýasy	10^{10}	10^4
	10^2	Başlangyç geliniň döremegi	10^9	10^2
Madda	10^6 ýyl	Relikt şöhlelenmäniň «goparylmagy»	$4 \cdot 10^3$	10^{-21}
	10^9 ýyl	Ýyldyzlaryň we galaktikalaryň emele gelip başlamagy	30	10^{-27}
	$(1 \div 2) \cdot 10^{10}$ ýyl	Häzirki eýýam	2,7	10^{-30}



Dynçlyk massasy m bolan bölejigiň emele gelmegi üçin kwantlaryň energiýasynyň mc^2 -dan kiçi bolmazlygy zerurdyr. Onda elektron-pozitron jübüdiniň emele gelmegi üçin iň azyndan 1000 keV energiýa ýa-da $T > 10^{10}\text{ K}$ temperatura zerurdyr. Temperatura we deňşlilikde kwantyň energiýasy näçe uly boldugyça, şonça-da özara täsir netijesinde emele gelip biljek bölejikleriň massasy uludyr. Älemiň ewolýusiýasynyň has irki tapgyrlarynda örän gysga ömürlü we örän massiw gipotetik bölejikler döräp bilendir. Temperaturanyň we dyklylygyň pese düşmegi bilen olara görä kiçiräk bölejikler emele gelendir. Şol wagtyň özünde bolsa, has massiw bölejikler annigilýasiýanyň ýa-da dargamanyň hasabyna «ölüp gutarýandyр».

Bölejikleriň we deňşli antibölejikleriň «ölüp gutarmalary» deň bolup geçen däl, ýagny antibölejikler doly gutarandyр, protonlar bilen neýtronlaryň (nuklonlar) ujypsyzja bölegi galandyр. Netijede, gözegçilik edýän dünýämiz antimaddadan däl-de, maddadan durýandyр, ýöne Älemde antimaddadan ybarat çäkleriň bolmagy hem mümkindir. Bölejikleriň we antibölejikleriň häsiýetleriniň ýeterlik asimmetriýasy bolmadyк bolsa, onda dünýäniň maddasyz galmagy hem ahmal eken.

Nuklonlaryň emele gelmegi bilen Älemiň ewolýusiýasynyň adronlar eýýamy tamamlanýandyр (adronlar güýçli özara täsire sezewar bolýan bölejiklerdir: protonlar, neýtronlar, mezonlar we ş.m.). Adronlar eýýamyndan soňra leptonlar eýýamy başlanýar. Şonda sreda esasan hem položitel we otrisatel myuonlardan, neýtrino we antineýtrinolardan, pozitronlardan we elektronlardan ybaratdyр. Nuklonlar örän seýrekdir. Älemiň ondan soňky giňelmesi netijesinde myuonlaryň, şeýle hem elektronlaryň we pozitronlaryň annigilýasiýasy bolýar. Soňra neýtrinonyň madda bilen özara täsiri tamamlanýar we singulýarlykdan $0,2$ sekuntadan soň, oň belläp geçişimiz ýaly, neýtrinonyň «goparylmasy» bolýar. Häzirki wagtda bu relikt neýtrinolaryň ýylylyk energiýalary kemelendir we 2 K temperatura laýyk gelýändir.

Singulýarlykdan takmynan 10 sekuntadan soň temperatura 10^{10} K töweregine ýetýär we şöhlelenme eýýamy başlanýar. Bu tapgyrda mukdary boýunça, entek hem madda bilen güýçli täsirleşýän fotonlar, şeýle hem ondan eýýam «goparylan» neýtrino agdyklyk edýär. Uly partlamadan 100 sekuntadan soň nukleosinteziň ilkinji prosesle-

ri başlanýar. Protonlaryň käbir böleginiň neýtronlar bilen birleşip, geliniň ýadrosyny emele getirmäge ýetişýärler. Protonlaryň umumy sanynyň 10% neýtronlar bilen birleşip ýetişýär. Şöhlenenme eýýamy plazmanyň ionlaşan ýagdaýdan neýtral ýagdaýa geçmegi bilen, maddanyň dury dälliginiň kemelmegi we şöhlenenmäniň «goparylmagy» bilen tamamlanýar. Giňelme başlanyndan million ýyldan soň madda eýýamy başlanýar. Şol wagtda beýleki ýadrolaryň ujypsyzja garyndysyny saklaýan gyzgyn wodorod-geliý plazmadan biziň dünýämiziň köpdürliligi ösüp başlapdyr.

Älemiň giňelmeginiň bu tapgyrlary seredilende, soňra olardan Älemiň düzümi emele gelmeleri (galaktikalar, galaktika üýşmekleri we ş.m.) dörän, birhilli dälliklerini emele gelmeginiň sebäpleri barada wajyp sorag ýüze çykýandyr. Bu birhilli dällikler ujypsyzja fluktuasiýalar görnüşinde ýüze çykyp, soňra Älemdäki ionlaşan gazyň neýtral ýagdaýa geçip başlan eýýamynda, ýagny şöhlenenmäniň maddadan «goparylyp», relikt şöhlenenme bolanda, güýçlenendir. Şeýle güýçlenme ýeterlik fluktuasiýalaryň döremegine getirip biler we olardan soňra galaktikalar emele gelip başlandyrlar.

Älemiň has iri düzümi bölekleri emele gelenlerinde, eger-de dynçlyk massalary noldan tapawutlanýan bolsa, neýtrinolarýň wajyp täsiriniň, ornunyň bolan bolmagy mümkindir. Neýtrinolar ýagtylygyň tizligine ýakyn tizlikler bilen hereket eden döwründe olaryň islendik fluktuasiýalary örän çalt siňdirilendir. Emma giňelme başlanandan birnäçe ýüz ýyl geçenden soň massasy bolan neýtrinolarýň tizligi ýagtylygyň tizliginden ýeterlik kiçi bolmalydyr.

Şonuň üçin käbir wagtda pursadyndan başlap neýtrinolarýň iri goýulanmalary eýýam siňdirilmeýärler we Älemiň galaktikalaryň üýşmekleri hem-de aşa üýşmekleri ýaly düzümi emele gelmelerine başlangyç berýärler. Galaktikalaryň özleri şunlukda adaty maddadan emele gelýändirler. Neýtrino bolsa, eger ýeterlik massalary bar bolsa, onda olar äpet goýulanma massalary üçin dartylma merkezi bolup çykyş edýärler.

Häzirki wagtda kosmologiýanyň meseleleri, göräýmäge ýönekeý ýaly bolsa-da, käbir soraglaryň çylşyrymlyklary bilen baglanyşykly bolan kynçylyklara garamazdan, intensiw işlenilýändir. Şol sebäpli entek anyklanylmalý zatlar örän köpdür. Emma oňa garamazdan,



häzirki döwre çenli belli bolan maglumatlaryň esasynda kosmologiýa, Älemiň gurluşynyň we ösüşiniň umumy kanunalaýyklyklary barada düşünje almaga mümkinçilik berýändir. Astronomiýanyň bu bölümüniň dogry dünýägaraýşy kemala getirmekde wajyp ornunyň bardygy düşnükli. Älemiň kanunlaryny umumylykda öwrenip, biz materiýanyň, giňişligiň we wagtyň häsiýetlerine has çuňňur akyl ýetirýäris. Olaryň käbirlerini, mysal üçin, hakyky fiziki giňişligiň we wagtyň uly masştabdaky häsiýetnamalaryny kosmologiýanyň çäklerinde öwrenip bolýandyr. Şol sebäpli onuň netijeleri astronomiýa we fizika ylymlary üçin wajyp bolmak bilen çäklenmän, filosofiýa üçin hem wajypdyr.



PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. – A.: TDNG, 2008 – 360s.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. – A.: TDNG, 2009 – 368s.
3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. III tom. – A.: TDNG, 2010 – 480s.
4. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. IV tom. – A.: TDNG, 2011.
5. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. V tom. – A.: TDNG, 2012.
6. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiniň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. VI tom. – A.: TDNG, 2013.
7. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedow Türkmenistanyň ykdysady strategiýasy: halka daýanyp, halkyň hatyrasyna. – A.: TDNG, 2010 – 112s.
8. Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň 2011–2030-njy ýyllar üçin Milli maksatnamasy. – A.: TDNG, 2010.
9. Türkmenistanyň Prezidentiniň ýanynda Milli kosmos agentligini döretmek hakynda. Türkmenistanyň Prezidentiniň Permany. – «Türkmenistan» gazeti, Aşgabat, 2011-nji ýylyň 31-nji maýy.
10. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň 2012-nji ýylyň 12-nji iýunynda Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynda eden çykyşy. – A.: «Ylym», 2012 – 68s.
11. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. – 5-е изд. – М.: Наука, 1983.
12. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. – 3-е изд. – М.: Наука, 1977.
13. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. – 3-е изд. – М.: Наука, 1979.
14. Дагаев М.М., Демин В.Г., Климишин И.А., Чаругин В.М. Астрономия. – М.: Просвещение, 1983.
15. Климишин И.А. Астрономия наших дней. – 2-е изд. – М.: Наука, 1980.
16. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. – Учебное пособие, 4-е изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 544 с.
17. Meläýew H. Syrly Älem. – Aşgabat.: «Ylym», 2004.



MAZMUNY

Sözbaşy	7
Giriş	9
§1. Astronomiýa dersi we onuň meseleleri	9
§2. Astronomiýanyň döreýşi we ösüş ýollary	10
§3. Astronomiýanyň bölümleri	12
§4. Astronomik barlaglaryň esasy we çeşmesi	15
§5. Älemiň gurluşy barada umumy düşüňjeler	16

I bap

ASMAN SFERASY BARADA ESASY DÜŞÜNJELER

§6. Asman jisimleriniň özara ýerleşşi. Ýyldyz toparlary	19
§7. Ýyldyzlaryň, Günň, Aýyň we planetalaryň görünýän hereketleri	20
§8. Geografik koordinatalar	23
§9. Asman sferasy we onuň bilen baglanyşykly esasy düşüňjeler	26
§10. Gorizont we ekwatorial koordinatalar sistemalary	29
§11. Dünýä polýusynyň beýikligi barada teorema	33
§12. Asman sferasynyň aýlanmasy bilen baglanyşykly hadysalar	34
§13. Gije-gündiz hereketinde ýagtyltgyçlaryň koordinatalarynyň üýtgemesi	38
§14. Ekliptika. Ekliptik koordinatalar sistemasy	40
§15. Günň ekwatorial koordinatalarynyň üýtgemesi	42
§16. Günň dürli giňliklerde gije-gündiz hereketi	45
§17. Wagt ölçeginiň esaslary	47
§18. Ýyldyz gije-gündizi. Ýyldyz wagty	48
§19. Hakyky Gün gije-gündizi. Hakyky Gün wagty	50
§20. Ortaça Gün gije-gündizi. Ortaça Gün wagty	52
§21. Wagt deňlemesi	53
§22. Wagt hasaplamagyň sistemalary	55
§23. Kalendar	58
§24. Sferik üçburçluk we sferik trigonometriýanyň formulalary	63
§25. Parallaktik üçburçluk we koordinatalary özgertmek	67
§26. Refraksiýa	69
§27. Günlük parallaks	72
§28. Ýagtyltgyçlaryň dogýan we ýaşýan wagtlaryny hem azimutlaryny kesgitlemek	73

II bap PLANETALARYŇ GÖRÜNÝÄN WE HAKYKY HEREKETLERI

§29. Planetalaryň ýyldyzlaryň arasynda görünýän hereketleri	77
§30. Ptolemeýiň Älem baradaky taglymaty	79
§31. Kopernigiň Älem baradaky taglymaty	82
§32. Planetalaryň konfigurasiýalarynyň we görünýän hereketleriniň düşündirilişi	84
§33. Planetalaryň hereketiniň sinodik we siderik periodlary	86
§34. Kepleriň kanunlary	87
§35. Planetalaryň orbitalarynyň esasy häsiýetnamalary. Nazary astronomiýanyň esasy meseleleri	89
§36. Mehanikanyň esasy kanunlary	93
§37. Nýutonyň bütindünýä dartyлма kanuny	94
§38. Dartyлма güýjüniň massa we şekile baglylygy	95
§39. Dartyлма güýjüniň we agyrlyk güýjüniň deňligi	97
§40. Agyrlyk güýjüniň Ýeriň üstünde üýtgemesi	97
§41. Dartyлmanyň tebigaty we tapawutly häsiýetleri	98
§42. Material nokadyň dartyлма güýjüniň täsiri astynda hereketi (iki jisim meselesi)	99
§43. Kepleriň umumylaşdyrylan birinji kanuny	101
§44. Kepleriň ikinji kanuny	102
§45. Kepleriň üçünji (takyklanan) kanuny	103
§46. Tolgunmaly hereket barada düşünje	105
§47. Tolgundyryjy güýç barada düşünje	106
§48. Aýyň hereketini tolgundyryjy güýç	107
§49. Daşgynlar we gaýtgynlar	109
§50. Üç we köp jisim meselesi	113
§51. Neptunyň açylyşy	114
§52. Asman jisimleriniň massalaryny kesgitlemek	115
§53. Ýeriň emeli hemralarynyň hereketi	118
§54. Kosmos apparatларыnyň hereketi	123

III bap ASMAN JISIMLERINIŇ ULULYKLARYNY, ŞEKILLERINI WE UZAKLYKLARYNY KESGITLEMEK

§55. Ýeriň radiusynyň kesgittenilişi. Triangulýasiýa	128
§56. Ýeriň ölçegleri we görnüşi	130
§57. Asman jisimlerine çenli uzaklyklary kesgitlemek	133
§58. Astronomiýada uzaklyk ölçeg birlikleri	134
§59. Gözegçiliklerden günlük we ýyllyk parallaksalaryň kesgittenilişi	135
§60. Astronomik birligiň kesgittenilişi	137
§61. Asman jisimleriniň ölçeglerini we şekilini kesgitlemek	139



IV bap ÝERIŇ WE AÝYŇ HEREKETLERI. TUTULMALAR

§62. Ýeriň Gününň töweregindeki hereketi.....	141
§63. Ýerde pasyllaryň çalyşmagy.....	144
§64. Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanýanlygynyň subutnamasy.....	146
§65. Ýeriň okunyň presession we nutasion hereketi.....	149
§66. Ýeriň okunyň presession hereketiniň netijesi.....	151
§67. Ýeriň polýuslarynyň hereketi.....	154
§68. Ýeriň öz okunyň töwereginde aýlanmagynyň deňölçegsizligi. Efemerid wagt.....	155
§69. Aýyň orbitasy we onuň tolgunmalary.....	158
§70. Aýyň görünýän hereketi we çäýekleri.....	160
§71. Aýyň aýlanma periodlary.....	162
§72. Aýyň öz okunyň töwereginde aýlanmagy we librasiýa.....	163
§73. Gün we Aý tutulmalary.....	166
§74. Tutulma pursatlaryny kesgitlemek.....	169
§75. Tutulmalaryň bir ýylyň dowamyndaky sany. Saros.....	172

V bap AMALY ASTRONOMIÝANYŇ WE FUNDAMENTAL ASTROMETRIÝANYŇ ESASY MESELELERI WE GURALLARY

§76. Amaly astronomiýanyň meseleleri.....	174
§77. Wagtyň we geografik giňligiň kesgitlenilişi.....	175
§78. φ geografik giňligi we u sagada düzedişi kesgitlemek.....	178
§79. φ we λ geografik koordinatalary bilelikde kesgitlemek.....	180
§80. Ýerdäki jisimiň azimutyny kesgitlemek.....	182
§81. Fundamental astrometriýanyň meseleleri.....	183
§82. Ekwatorial koordinatalary (α we δ) kesgitlemegiň absolyút we otnositel usullary.....	184
§83. Ýyldyzlaryň hususy hereketleri.....	188
§84. Fotografik astrometriýa.....	190
§85. Astronomiýa kataloglary we ýyldyz kartalary.....	192
§86. Burç ölçeyän gurallar. Astronomik turba.....	193
§87. Uniwersal gural.....	195
§88. Sekstant.....	198
§89. Meridian tegelek.....	201
§90. Passaž guraly.....	203
§91. Zenit teleskop, prizmalı astrolýabiýa, fotografik zenit turba.....	204
§92. Astronomik sagatlar we hronometrler.....	208

VI bap ASTROFIZIKANYŇ ESASLARY

§93. Astrofizikanyň meseleleri we esasy bölümleri.....	214
§94. Astrofizikada öwrenilýän elektromagnit şöhleleri	215
§95. Astrofotometriýa barada düşünje	220
§96. Molekulýar fizikadan käbir maglumatlar	226
§97. Ýagtylygyň maddadan geçende gowşamasy	231
§98. Şöhlelenmäniň häsiýetnamalary we spektral derňewiň esaslary	234
§99. Spektral çyzyklaryň Dopler hadysasy sebäpli süýşmesi.....	247
§100. Temperaturany kesgitlemegiň usullary	251
§101. Asman jisimleriniň himiki düzümini we dykzylygyny kesgitlemek.....	256

VII bap ASTROFIZIKI GURALLAR WE GÖZEGÇILIK ETMEGIŇ ESASY USULLARY

§102. Teleskoplar	260
§103. Adamyň gözi kabul ediji hökmünde	278
§104. Astrofotografiýa	279
§105. Şöhlelenmäni fotoelektrik kabul edijiler.....	283
§106. Spektral abzallar.....	288
§107. Aerostatlaryň, uçarlaryň we kosmos apparatlarynyň astrofiziki barlaglarda ulanylyşy. Radiolokasiya barada düşünje	293

VIII bap GÜN

§108. Gün barada umumy maglumatlar.....	297
§109. Günüň spektri we himiki düzümi	299
§110. Gün hemişeligi we onuň ölçenilişi	303
§111. Günüň daşky gatlaklarynyň temperaturasy	305
§112. Günüň içki gurluşy	306
§113. Fotosfera.....	312
§114. Granulýasiýa we konwektiw zolak	318
§115. Gün atmosferasynyň daşky gatlaklary	319
§116. Hromosfera.....	321
§117. Gün täji.....	323
§118. Günüň radiotolkunlary şöhlelendirmegi	329
§119. Gün atmosferasynda işjeň emele gelmeler.....	331
§120. Gün işjeňligi.....	339

IX bap GÜN SISTEMASY

§121. Umumy maglumatlar	342
-------------------------------	-----



§122. Ýer.....	344
§123. Ýeriň magnit meýdany. Gün-Ýer arabaglanyşygy.....	358
§124. Aý.....	364
§125. Planetalaryň fazalary. Olaryň görünmek şertleri	375
§126. Merkuriý	377
§127. Wenera.	380
§128. Mars. Ýere meňzeş planetalaryň gurluşynyň umumy meseleleri	389
§129. Ýupiter	399
§130. Saturn	407
§131. Uran we Neptun. Äpet planetalaryň gurluşynyň umumy meseleleri.....	409
§132. Kiçi planetalar.....	412
§133. Kometalar.....	415
§134. Meteorlar.....	420
§135. Meteoritler.....	425
§136. Zodiakal ýagtylyk we garşydan şöhle saçma.....	428

X bap ÝYLDYZLAR

1. Adaty ýyldyzlar	430
§137. Adaty ýyldyzlaryň spektrleri we olaryň spektrleri boýunça toparlara bölünüşleri	431
§138. Kolorimetriýanyň esaslary	434
§139. Absolýut ýyldyz ululygy we ýyldyzlaryň ýagtylanyjylygy	438
§140. Spektr-ýagtylanyjylyk diagrammasy	441
§141. Ýyldyzlaryň temperaturalarynyň şkalasy barada düşünje	445
§142. Ýyldyzlaryň ölçeglerini kesgitlemegiň usullary	446
§143. Radius-ýagtylanyjylyk-massa baglanyşygy	448
§144. Ýyldyzlaryň gurluşlary we jümmüşlerindäki fiziki şertler	451
§145. Ýyldyzlaryň umumy gurluşy we atmosferalary.....	456
2. Planetar dumanlyklar.....	460
3. Goşa ýyldyzlar.....	462
§146. Goşa sistemalaryň umumy häsiýetnamalary.....	463
§147. Wizual-goşa ýyldyzlar	465
§148. Tutulma üýtgeýän ýyldyzlar	467
§149. Spektral-goşa ýyldyzlar	471
4. Fiziki üýtgeýän ýyldyzlar	475
§150. Pulsirläp üýtgeýän ýyldyzlar.....	475
§151. Eruptiw üýtgeýänler, pulsarlar we neýtron ýyldyzlar	484
§152. Rentgen şöhlenlemeleriň çeşmeleri	495

XI bap BIZIŇ GALAKTIKAMYZ

§ 153. Biziň Galaktikamyza degişli ýyldyzlar.....	498
§ 154. Ýyldyzlara çenli uzaklyklary kesgitlemek.....	500
§ 155. Galaktikada ýyldyzlaryň paýlanylyşy.....	501
§ 156. Ýyldyz üşmekleri we assosiasiýalary.....	506
§ 157. Ýyldyzlaryň giňişlikdäki tizlikleri we Gün sistemasynyň hereketi.....	510
§ 158. Galaktikada ýyldyzlaryň aýlanmasy.....	512
§ 159. Ýyldyzara tozanlar.....	515
§ 160. Ýyldyzara gaz.....	522
§ 161. Kosmiki şöhleler. Galaktikanyň täji we magnit meýdany.....	531
§ 162. Galaktikanyň umumy düzümi.....	535

XII bap GALAKTIKADAN DAŞARY ASTRONOMIÝA

§ 163. Galaktikalaryň toparlara bölünişi we spektrleri.....	539
§ 164. Galaktikalara çenli uzaklyklary kesgitlemek.....	545
§ 165. Galaktikalaryň fiziki häsiýetnamalary.....	546
§ 166. Galaktikalaryň ýadrolarynyň işjeňligi we kwazarlar.....	550
§ 167. Galaktikalaryň giňişlikdäki paýlanylyşy.....	554

XIII bap ASMAN JISIMLERINIŇ GELIP ÇYKYŞY WE EWOLÝUSIÝASY

§ 168. Kosmogoniýanyň meseleleri.....	557
§ 169. Ýyldyzlaryň gelip çykyşy we ewolýusiýasy.....	558
§ 170. Galaktikalaryň ewolýusiýasy.....	569
§ 171. Planetalaryň emele gelşi. Kantyň, Laplasyň, Jinsiň çaklamalary.....	572
§ 172. Gün sistemasynyň emele gelşi we ewolýusiýasy barada häzirki zaman düşünjeler.....	574

XIV bap KOSMOLOGIÝANYŇ ESASLARY

§ 173. Kosmologiýanyň esaslary.....	578
§ 174. Nýutonyň kanunlaryna esaslanan, birhilli izotrop Älemiň modeli.....	581
§ 175. Relýatiwistik kosmologiýa.....	585
§ 176. «Gyzgyn» Älem modeli.....	587
Peýdalanylýan edebiýatlar.....	593



Muhametdurdy Annamanow, Hojamuhammet Meläýew

ASTRONOMIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Redaktor	<i>K. Gurbanow</i>
Teh. redaktor	<i>O. Nurýagdyýewa</i>
Surat redaktory	<i>G. Orazmyradow</i>
Suratçylar	<i>K. Bondarenko, T. Nazarow</i>
Korrektor	<i>A. Kiçiýewa</i>
Kompýuter bezegi	<i>M. Hasanowa</i>
Neşir üçin jogapkär	<i>A. Çaryýew</i>

Çap etmäge rugsat edildi 29.03.2016. Ölçeği 60x90^{1/16}.
Edebi garniturasý. Şertli çap listi 37,5. Şertli reňkli ottiski 150,25.
Hasap-neşir listi 37,7. Çap listi 37,5. Sargyt 2457. Sany 300.

Türkmen döwlet neşirýat gullugy.
744000. Aşgabat. Garaşsyzlyk şaýoly, 100.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Metbugat merkezi.
744015. Aşgabat, 2127-nji (G. Gulyýew) köçe, 51/1.