

A.Nurgeldiyew, J.Akyýewa, G.Begenjowa

# MOLEKULÝAR FIZIKADAN MESELELER ÝYGÝNDYSY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi  
tarapyndan hödürlenildi*

Aşgabat  
Türkmen döwlet neşirýat gullugy  
2019

**Nurgeldiýew A. we başg.**

**N 86 Molekulýar fizikadan meseleler ýygyny.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2019.

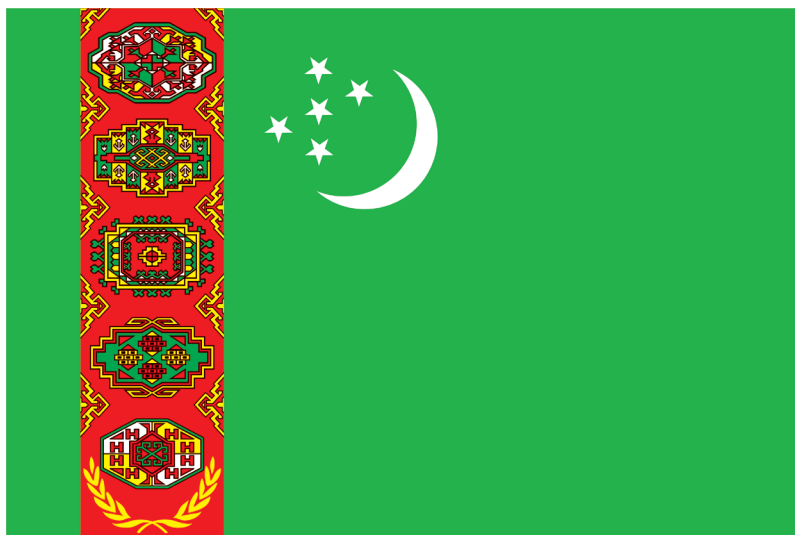
Bu meseleler ýygyny Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetinde okadylýan molekulýar fizika dersi boýunça okuw mak-satnamasy esasynda taýýarlanyldy. Ýygynyda getirilen dürli kynlyk de-rejeleri bolan meseleler molekulýar fizikanyň we termodinamikanyň köp soraglaryny öz içine alýar. Ýygyny ýurdumyzyň inžener-tehniki we mu-gallymçylyk ýokary okuw mekdeplerinde okaýan talyplar hem 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 öz çykyşlarynda umumybilim berýän, şeýle hem ýokary okuw mekdepleriniň mugallymlarynyň hünär derejesini, okuw kitaplarynyň we gollanmalarynyň, okuw maksatnamalarynyň hilini ýokarlandyrmagyň zerurlygyny belläp geçýär.

Ýurdumyzyň orta mekdepleri üçin täze okuw maksatnamalary, olara degişli okuw kitaplary hem-de gollanmalary yzygiderli taýýarlanýar. Umumy fizikanyň ähli bölümleri üçin okuw kitaplary bilen bir hatarda şol bölümler boýunça meseleler ýygyndysy hem zerur bolup durýar.

Hödürlenýän, umumy fizikanyň molekulýar fizika bölümine degişli meseleler ýygyndysy Magtymguly adyndaky Türkmen döwlet uniwersitetiniň fizika, radiofizika we elektronika hünärleriniň okuw maksatnamasyna laýyklykda taýýarlanandyr. Ýygindy ýigrimi bölümden ybarat bolup, her bölümiň başynda oňa degişli esasy formulalar getirilip, birnäçe meseleler hem işlenip görkezilýär. Soňra şol bölüme degişli özbaşdak işlemek üçin birnäçe meseleler getirilýär.

Meseleleriň şertlerinde fiziki ululyklaryň san bahalary Halkara ulgamynyň (HU) birlikleri bilen bir hatarda, SGS we ulgamdan daşary birlikler hem giňden ulanylýar. Sebäbi molekulýar fizika degişli meseleler çözülide häzirki güne çenli ulgamdan daşary birlikler giňden ulanylýar. Halk hojalygynyň dürli pudaklarynda ulanylýan abzallarda ölçenilýän fiziki ululyklar dürli ölçeg ulgamlarynda getirilýär. Fiziki ululyklaryň bahalaryny bir ulgamdan beýleki ulgama geçirmegi başarmak geljekki hünärmenlere zerur bolup durýar.

Ýygyndynyň ahyrynda zerur fiziki ululyklaryň dürli ulgamlardaky san bahalary, şeýle hem meseleleriň jogaplary we käbir ahyrky formulalar ýerleşdirildi.

# 1. MOLEKULÝAR-KINETIK NAZARYÝETIŇ

## ESASY DÜŞÜNJELERI

## ESASY KANUNLAR WE FORMULALAR

- Maddanyň mukdary

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_m} = \frac{m}{\mu},$$

bu ýerde  $N$  – maddany düzýän bölejikleriň (molekulalaryň, atomlaryň, ionlaryň we ş.m.) sany;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  – Awogadro sany;

$V$  – maddanyň göwrümi;

$V_m$  – maddanyň bir molunyň göwrümi;

$m$  – maddanyň massasy;

$\mu$  – maddanyň molýar massasy.

- Molýar massa

$$\mu = m_0 \cdot N_A,$$

bu ýerde  $m_0$  – maddanyň bir molekulasyň massasy.

- Otnositel molekulýar massa

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}},$$

$$A_r = \frac{m_a}{\frac{1}{12} m_{0C}},$$

bu ýerde  $m_a$  – bir atomyň massasy;  $m_{0C}$  – uglerodyň  $^{12}\text{C}$  izotopynyň bir atomynyň massasy.

- Massanyň atom birligi ( $m.a.b.$ )

$$1m.a.b. = \frac{m_{0C}}{12} = \frac{1,995 \cdot 10^{-26} \text{ kg}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg},$$

bu ýerde  $m_{0C} = 1,995 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  uglerodyň bir atomynyň massasy.

- Molýar massa bilen otnositel molekulýar massanyň arasyndaky gatnaşyk

$$\mu = m_0 \cdot N_A = \frac{1}{12} m_{0C} \cdot M_r \frac{0,012}{m_{0C}} = 10^{-3} \cdot M_r.$$



- Loşmidtñ sany

$$n_L = \frac{N_A}{V_m} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}} = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}.$$

Kadaly şertlerde (kadaly atmosfera basyşy  $p = 101325 \text{ Pa}$  we temperatura  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $T = 273,15 \text{ K}$ ) islendik gazyň bir moly  $V_m$  mol-ýar göwrüm diýlip atlandyrylýan şol bir göwrümi eýeleýär.

$$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}.$$

- Başga bir tarapdan, otnositel molekulýar massa aşakdaky gatnaşykdan kesgitlenýär:

$$M_r = \sum_i n_i \cdot A_{ri},$$

bu ýerde  $n_i$  – maddanyň molekulasyň düzýän  $i$ -nji himiki elementiň atomlarynyň sany;  $A_{ri}$  –  $i$ -nji himiki elementiň otnositel atom massasy.

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**1.1-nji mesele.** Göwrümi  $V = 1 \text{ m}^3$  bolan suwuň molekulalaryny bir-birine degip duran şar görnüşinde göz önüne getirip, ondaky molekulalaryň umumy sanyny, onuň bir molekulasyň massasyny we diametrini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $V = 1 \text{ m}^3$ ;  $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ;  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

**Tapmaly:**  $N$ ,  $m_0$ ,  $d$ .

**Çözülişi.** Massasy  $m$  bolan maddadaky molekulalaryň sany aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A.$$

Massany dykzlyk arkaly aňladyp alarys:

$$N = \frac{\rho V}{\mu} \cdot N_A.$$

Soňky formulada ululyklaryň san bahalaryny goýup, hasaplarys:

$$N = \frac{10^3 \cdot 1}{18 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 3,3 \cdot 10^{28}.$$

Suwuň bir molekulasyň massasy, onuň molýar massasy Awogadro sanyna bölüp alarys:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}.$$

Diametri  $d$  bolan her bir molekula  $d^3$  göwrümi tutar. Başga bir tarapdan, maddanyň umumy göwrümi bir molekulanyň göwrümini ähli molekulalaryň sanyna köpeltmek hasylyna deňdir. Onda

$$d^3 = \frac{V}{N},$$

bu ýerden molekulanyň diametri

$$d = \left( \frac{V}{N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

deň bolar. Soňky formulada san bahalaryny goýup, alarys:

$$d = \left( \frac{1}{3,3 \cdot 10^{28}} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

**1.2-nji mesele.** Massasy  $m_1 = 25\text{g}$  bolan kislorodyň we massasy  $m_2 = 75\text{g}$  bolan azotyň garyndysynyň molýar massasy tapmaly.

**Berlen:**  $m_1 = 25\text{g}$  ( $25 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ );  $m_2 = 75\text{g}$  ( $75 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ).

**Tapmaly:**  $\mu_{\text{gar}}$ .

**Çözülişi.** Gaz garyndysynyň molýar massasy garyndynyň massasyň  $m_{\text{gar}}$  onuň maddasynyň mukdaryna  $\nu_{\text{gar}}$  bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär.

$$\mu_{\text{gar}} = \frac{m_{\text{gar}}}{\nu_{\text{gar}}}.$$

Garyndynyň massasy düzüjileriň massalarynyň jemine deňdir.  $m_{\text{gar}} = m_1 + m_2$ . Garyndynyň maddasynyň mukdary aýry-aýry düzüjileriň maddalarynyň mukdarynyň jemine deňdir  $\nu_{\text{gar}} = \nu_1 + \nu_2$ . Onda

$$\mu_{\text{gar}} = \frac{m_1 + m_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}.$$

Maddalaryň molýar massalary aşakdaky formula arkaly kesgitlenýär:

$$\mu = M_r \cdot 10^{-3}.$$

Otnositel molekulýar massa  $M_r$  bolsa

$$M_r = \sum_i n_i A_{r_i}$$

formula boýunça hasaplanýar. Bu ýerde  $n_i$  – molekulany düzýän  $i$ -nji himiki elementiň atomlarynyň sany,  $A_{r_i}$  – himiki elementiň otnositel atom massasy. D. I. Mendeleyewiň tablisasy boýunça kislorod we azot üçin taparys:

$$\mu_1 = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}, \mu_2 = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

San bahalaryny formulada ornuna goýup hasaplarys:

$$\mu_{\text{gar}} = \frac{(25 + 75) \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{\frac{25}{32} + \frac{75}{28}} = 28,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

**1.3-nji mesele.** Eger kümşüň atomlary  $E = 10^{-7} \text{ J}$  energiýa eýe bolup, diwara  $p = 0,1 \text{ Pa}$  basyş edýän bolsa, onda tozanlandyрма usuly arkaly üste çökýän kümüş gatlagynyň galyňlygynyň ösüş tizligini kesgitlemeli. Kümşüň atom massasy  $A = 108$ , onuň dykyzlygy  $\rho = 10,5 \text{ g/sm}^3$

**Berlen:**  $E = 10^{-7} \text{ J}$ ;  $p = 0,1 \text{ Pa}$ ;  $A = 108$ ;  $\rho = 10,5 \text{ g/sm}^3$   
( $10,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ )

**Tapmaly:**  $g$

**Çözülişi.** Üste çökýän  $\Delta h$  galyňlykly kümüş gatlagynyň massasy aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$\Delta m = \rho \cdot \Delta h \cdot S.$$

Başga bir tarapdan, ol bir molekulanyň massasyny onuň üstüne çöken molekulalaryň sanyna köpeltmek hasyllyna deňdir.

$$\Delta m = \Delta N \cdot m_0.$$

Onda  $\rho \cdot \Delta h \cdot S = \Delta N \cdot m_0$ , bu ýerden

$$\Delta h = \frac{\Delta N \cdot m_0}{S \cdot \rho}.$$

Basyşyň formulasyndan taparys:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\Delta m \cdot \bar{\vartheta}}{S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta N \cdot m_0 \cdot \bar{\vartheta}}{S \cdot \Delta t}, \quad \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{p \cdot S}{m_0 \cdot \bar{\vartheta}},$$

$$E = \frac{m_0 \bar{\vartheta}^2}{2}; \quad A = m_0 \cdot N_A;$$

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{2E}{m_0}} = \sqrt{\frac{2N_A E}{A}}.$$

Bu ýerden kümüş gatlagynyň galyňlygynyň ösüş tizligini taparys:

$$u = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot \frac{m_0}{S \cdot \rho} = \frac{p \cdot S}{m_0 \cdot \bar{\vartheta}} \cdot \frac{m_0}{\rho \cdot S} = \frac{p}{\rho \cdot \bar{\vartheta}} = \frac{p}{\rho} \sqrt{\frac{A}{2N_A \cdot E}},$$

$$u = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{p}{\rho} \sqrt{\frac{A}{2N_A \cdot E}}.$$

Soňky formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$u = \frac{0,1}{10,5 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{108}{2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-7}}} = 9 \cdot 10^{-10} \frac{m}{s}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**1.1.** Bir bulgur suwda näçe molekula saklanýar?

**1.2.** Awogadro sanyndan peýdalanyňp:

a) wodorodyň atomynyň;

b) kislorodyň molekulasyň;

ç) uranyň atomynyň massasyny kesgitlemeli.

**1.3.** Awogadro sanyndan peýdalanyňp, massanyň atom birligini (*m.a.b.*) kegitlemeli.

**1.4.** Simabyň atomynyň diametrini kesgitlemeli.

**1.5.** a) suwuň  $H_2O$ ;

b) kömürturşy gazynyň  $CO_2$ ;

ç) nahar duzynyň  $NaCl$  otnositel molekulýar  $M_r$  massasyny kesgitlemeli.

**1.6.** Kükürt kislotasynyň  $H_2SO_4$  molýar massasyny tapmaly.

**1.7.** Kömürturşy gazynyň ( $CO_2$ ), nahar duzynyň ( $NaCl$ ) bir molekulasyň massasyny kegitlemeli.

**1.8.** Gapda massasy  $m = 4 \text{ g}$  bolan kislorod ýerleşýär. Maddanyň mukdaryny  $\nu$  we gaz molekulalarynyň  $N$  sanyny tapmaly.

**1.9.** Kadaly şertlerde kislorod göwrümi  $V = 11,2 \text{ l}$  bolan gaby doldurýar. Gazyň  $\nu$  maddasynyň mukdaryny we onuň  $m$  massasyny kesgitlemeli.

**1.10.** Göwrümi  $V = 3 \text{ l}$  bolan gaby doldurýan, dykzlygy  $\rho = 6,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  bolan wodorodyň maddasynyň  $\nu$  mukdaryny kesgitlemeli.

**1.11.** Göwrümi  $V = 0,5 \text{ l}$  bolan kolba normal şertlerde käbir gazy özünde saklaýar. Kolbada ýerleşen gazyň  $N$  molekulalarynyň sanyny tapmaly.

**1.12.** Her biriniň massasy  $1 \text{ g}$  bolan a) geliýde; b) uglerodda; ç) ftorda; d) poloniýde näçe atom ýerleşýär?

**1.13.** Göwrümi  $V = 5 \text{ l}$  bolan gapda maddasynyň mukdary  $\nu = 0,2 \text{ mol}$  bolan birhilli gaz ýerleşýär. Eger-de gazyň dykzlygy  $\rho = 1,12 \text{ kg/m}^3$  deň bolsa, onda onuň nähili gazdygyny kesgitlemeli.

**1.14.** Massasy  $m = 10 \text{ g}$  bolan azotyň molekulalarynyň üçden biri atomlara dargadylar. Gazdaky ähli bölejikleriň  $N$  sanyny tapmaly.

**1.15.** Suwuklygyň molekulalaryny biri-birine degip duran şarlar görnüşinde göz önüne getirip, kükürtli uglerodyň ( $\text{CS}_2$ ) molekulalarynyň diametriniň tertibini bahalandyrmaly. Suwuklygyň dykzlygyny belli diýip kabul etmeli ( $\rho_{\text{CS}_2} = 1,26 \text{ g/sm}^3$ ).

**1.16.** Adaty şertlerde suw bugunyň molekulalarynyň merkeziniň arasyndaky orta uzaklygy kesgitlemeli we ony molekulanyň öz diametri  $d = 0,311 \text{ nm}$  bilen deňeşdirmeli.

**1.17.** Göwrümi  $V = 1,12 \text{ l}$  bolan gapda adaty şertlerde azot ýerleşýär. Käbir temperatura çenli gyzdyrylanda gaz molekulalarynyň käbir bölegi atomlara dissosirlenýär. Dissosirlenme derejesi  $\alpha = 0,3$ . Maddanyň mukdaryny kesgitlemeli:

- a)  $\nu$  – azot gyzdyrylmanka;
- b)  $\nu_{\text{mol}}$  – gyzdyrylandan soňky molekulýar azotyňkyny;
- ç)  $\nu_{\text{at}}$  – gyzdyrylandan soňky atomar azotyňkyny;
- d)  $\nu_{\text{doly}}$  – gyzdyrylandan soňky ähli azotyňkyny.

**1.18.** Maddanyň dykyzlygyny  $\rho$  we molýar massasyny  $\mu$  bilip, onuň göwrüm birligindäki molekulalarynyň sanyny nähili hasaplap bolar?

**1.19.** Metallaryň arasynda  $\rho / A_r$  gatnaşygyň iň uly bahasyna berilliy, iň kiçi bahasyna bolsa kaliý eýedir. Bu metallar üçin göwrüm birligindäki atomlaryň sanyny tapmaly.

**1.20.** Daş (nabar) duzunyň bir kilomolunyň massasyny we dykyzlygyny  $\rho = 2,29 \text{ g/sm}^3$  bilip, onuň kristallik gözeneginiň hemişeligini  $d$  tapmaly. Daş duzunyň kristaly ýönekeý kub görnüşine eýedir.

**1.21.** Temperaturasy  $t = 100^\circ\text{C}$ -e deň bolan, doýgun suw bugunyň molekulalarynyň arasyndaky orta uzaklygy tapmaly.

**1.22.** Göwrümi  $V = 60 \text{ m}^3$  bolan otagda öz düzüminde massasy  $m = 10^{-4} \text{ g}$  ýakymly ysly maddany saklaýan atyryň bir damjasy bugarýar. Adam dem alanda onuň öýkenine ýakymly ysly maddanyň näçe molekulasy düşer? Alynýan demiň göwrümi  $V_h = 1 \text{ dm}^3$ . Ysly maddanyň molýar massasy  $\mu = 1 \text{ kg/mol}$ .

**1.23.** Massasy  $m = 1 \text{ kg}$  bolan atom bombasy ýarylanda  $^{242}\text{Pu}$  plutoniniň her atomynda bir radioaktiv bölejik emele gelýär. Bu bölejikleri şemal ähli atmosferada deňölçegli paýlaýar diýip hasap edip, Ýeriň töweregindäki howanyň  $V = 1 \text{ dm}^3$  göwrümine düşýän radioaktiv bölejikleriň sanyny hasaplaň. Ýeriň radiusyny  $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$  diýip kabul etmeli.

## 2. GAZLARYŇ MOLEKULÝAR-KINETIK NAZARYÝETINIŇ ESASY DEŇLEMESI

### Esasy kanunlar we formulalar

- Molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{\mathcal{J}}^2, \quad (2.1)$$

bu ýerde  $\rho$  – gazyň basyşy;

$n = \frac{N}{V}$  – gazyň molekulalarynyň konsentrasiýasy;

$m_0$  – gazyň bir molekulasyň massasy;

$\bar{\mathcal{J}}^2 = \frac{3kT}{m}$  – gazyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi.

Bu deňlemäni özgerdip alarys:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{\mathcal{J}}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E},$$

bu ýerde  $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{\mathcal{J}}^2}{2}$  – gazyň bir molekulasyň orta kinetik energiýasy.

Şeýlelikde, molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesiniň ýene bir görnüşi alynýar:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}. \quad (2.2)$$

1 mol üçin  $n = N_A / V$  we  $pV = N_A kT$  bolýandygyny göz önünde tutup ideal gazyň molekulalarynyň ýylylyk hereketiniň orta kinetik energiýasynyň deňlemesini alarys:

$$p = \frac{2}{3} \frac{N_A}{V} \bar{E}, \quad kT = \frac{2}{3} \bar{E},$$

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT, \quad (2.3)$$

bu ýerde  $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  – Bolsmanyň hemişeligi;  $T$  – gazyň absolýut temperaturasy.

(2.2) we (2.3) deňlemeleri ulanyp alarys:

$$p = nkT. \quad (2.4)$$

(2.4) deňleme hem molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesidir.

- Mendeleyew-Klapeýronyň ýa-da ideal gaz halynyň deňlemesi

$$pV = \frac{m}{\mu}RT, \quad (2.5)$$

bu ýerde  $V$  – gazyň göwrümi;  $m$  – gazyň massasy;  $\mu$  – gazyň molýar massasy;  $R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$  – uniwersal gaz hemişeligi.

- Daltonyň kanuny

$$p = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (2.6)$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**2.1-nji mesele.**  $p = 3,7 \text{ atm}$  basyşda azotyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{\vartheta} = 2400 \text{ m/s}$  bolsa,  $V = 1 \text{ m}^3$  göwrümdäki azotyň molekulalarynyň sanyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $p = 3,7 \text{ atm}$  ( $3,7 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ );  $\bar{\vartheta} = 2400 \text{ m/s}$ ;  $V = 1 \text{ m}^3$ ;  $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

**Tapmaly:**  $n$ .

**Çözülişi.** Gazlaryň molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi:

$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{\vartheta}^2.$$

Bir molekulanyň massasyny molýar massany Awogadro sanyna gatnaşdyryp taparys:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A}.$$

Bu deňlemelerden gazyň konsentrasiýasyny taparys:

$$n = \frac{3p}{m_0\bar{\vartheta}^2} = \frac{3pN_A}{\mu\bar{\vartheta}^2}.$$

Soňky formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$n = \frac{3 \cdot 3,7 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{28 \cdot 10^{-3} \cdot 2400^2} = 41,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}.$$



**2.2-nji mesele.** Kăbir gazyň molekularynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{v} = 450\text{ m/s}$ , onuň basyşy  $p = 5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ . Bu şertlerde gazyň dykzlygyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $\bar{v} = 450\text{ m/s}$ ;  $p = 5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .

**Tapmaly:**  $\rho$

**Çözülişi.** Gazlaryň molekulyar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2.$$

Maddanyň dykzlygyny molekularyň massasynyň we olaryň konsentrasiýasynyň üsti bilen aňladyp alarys:

$$\rho = n m_0.$$

Onda gazyň basyşy üçin deňleme aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolar:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2.$$

Soňky deňlemeden gazyň dykzlygyny taparys:

$$\rho = \frac{3p}{\bar{v}^2}.$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$\rho = \frac{3 \cdot 5 \cdot 10^4}{450^2} = 0,74 \text{ kg/m}^3.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**2.1.** Massasy  $m = 10\text{ g}$  bolan kislorod  $p = 760 \text{ mm.sim.süt.}$  basyşda we  $t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada näçe  $V$  göwrümi tutýar?

**2.2.** Göwrümi  $V = 12\text{ l}$  bolan gap basyşy  $p = 8,1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  we temperaturasy  $t = 20^\circ\text{C}$  bolan azot bilen doldurylan. Gapda azotyň näçe  $m$  massasy saklanýar?

**2.3.** Göwrümi  $V = 8\text{ l}$  bolan gapda massasy  $m = 8\text{ g}$  bolan geliý  $p = 1 \text{ atm}$  basyşda ýerleşýär. Gapdaky geliýniň molekularynyň  $N$  sanyny we olaryň  $\bar{E}$  doly orta kinetik energiýasyny kesgitlemeli.

**2.4.**  $T = 300\text{ K}$  temperaturada dykyzlygy  $\rho = 1,2\text{ kg/m}^3$  we orta kwadratik tizligi  $\bar{v} = 500\text{ m/s}$  bolan ideal gazyň molekularynyň  $n$  konsentrasiýasyny tapmaly.

**2.5.** Gaplaryň biri geliý, beýlekisi bolsa kislorod bilen doldurylan. Başda gazlaryň temperaturasy birmeňzeş we  $T_1 = 300\text{ K}$ -e deň. Gazlaryň molekularynyň orta kwadratik tizlikleri deň bolar ýaly gazlaryň biriniň temperaturasyny näçe  $\Delta T$  ulaltmaly?

**2.6.** Dykyzlygy  $\rho = 3\text{ kg/m}^3$  we molekularynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{v} = 100\text{ m/s}$  bolan ideal gazyň  $p$  basyşy näçe bolar?

**2.7.** Temperaturasy  $t = 0^\circ\text{C}$  we basyşy  $p = 1\text{ atm}$  bolan  $V = 1\text{ l}$  göwrümlü gazyň massasy  $m = 0,0894\text{ g}$ -a deň. Bu nähili gaz?

**2.8.** Temperaturasy  $T = 300\text{ K}$  we basyşy  $p = 0,1\text{ MPa}$  bolan ýapyk gapda massasy  $m_1 = 10\text{ g}$  wodorod we  $m_2 = 16\text{ g}$  geliý ýerleşýär. Gazy ideal hasap edip, garyndynyň  $V_{ud}$  udel göwrümünü kesgitlemeli.

**2.9.** Göwrümi  $V = 30\text{ l}$  bolan gapda  $t = 0^\circ\text{C}$  temperaturada ideal gaz saklanýar. Gazyň bir bölegi daşyna çykarylandan soň, gapdaky basyş  $\Delta p = 0,78\text{ atm}$  peseldi (temperatura üýtgänok). Gapdan çykarylan gazyň  $\Delta m$  massasyny tapmaly. Kadaly şertlerde berlen gazyň dykyzlygy  $\rho = 1,3\text{ g/l}$ .

**2.10.** Basyşy  $p_1 = 3\text{ MPa}$  we temperaturasy  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  bolan  $V = 5\text{ l}$  göwrümlü gapda geliý ýerleşýär. Gapdan  $m = 15\text{ g}$  geliý harçlanandan soň, gapdaky temperatura  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  - ä çenli peseldi. Gapdaky galan geliýniň  $p_2$  basyşyny kesgitlemeli.

**2.11.** Basyşy  $p = 50\text{ N / sm}^2$  we temperaturasy  $t = 27^\circ\text{C}$  bolan gaz geçirijiden kömürturşy gazy akyp geçýär. Eger  $\tau = 5\text{ min}$ -yň dowamynda geçirijiniň  $S = 6\text{ sm}^2$  kese kesiginiň meýdanyndan  $m = 2,5\text{ kg}$  kömürturşy gazy akyp geçýän bolsa, onda gazyň hereketiniň  $v$  tizligi näçe?

**2.12.** Wodorody geçirýän we kislorody geçirmeýän gap germew bilen deň ikä bölünen. Gabyň sag bölegine  $m_1 = 36\text{ g}$  kislorod we  $m_2 = 4\text{ g}$  wodorod goýberilýär. Gabyň göwrümi  $V = 20\text{ l}$  we temperaturasy  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . Ulgam deňagramlaşandan soň, gabyň sag bölegindäki  $p_1$  we çep bölegindäki  $p_2$  basyşy kesgitlemeli.

**2.13.** Gapda  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  temperaturada we  $p_1 = 2\text{ MPa}$  basyşda gysylan gaz saklanýar. Gapdan  $n = 0,3$  massa gazy çykarsaň we temperaturany  $t_1 = 12^\circ\text{C}$  -ä çenli peseltseň, gazyň  $p_2$  basyşy nähili bolar?

**2.14.** Gapda kislorodyň  $\nu_1 = 10^{-7} \text{ mol}$  mukdary we  $m_2 = 10^{-3} \text{ mg}$  massaly azot ýerleşýär. Garyndynyň temperaturasy  $t = 100^\circ\text{C}$  gapdaky basyş  $p = 133 \text{ mPa}$ . Gabyň  $V$  göwrümini, kislorodyň  $p_1$  we azotyň  $p_2$  parsial basyşlaryny hem-de gabyň birlik göwrümindäki molekularynyň  $n$  sanyny kesgitlemeli.

**2.15.** Kese ýerleşdirilen içi gazly silindr iki sany süýşýän porşeniň kömegi bilen üç bölege bölünen. Gazyň temperaturasy ähli böleklerde birmeňzeş we  $T_1$ -e deň. Birinji bölekde gazyň basyşy  $p_1$ , göwrümi  $V_1$ , ikinjide  $p_2$ ,  $V_2$ , üçünjide bolsa  $p_3$ ,  $V_3$ . Porşenleri gowşadyp, olara erkin hereket etmäge mümkinçilik berlenden soň we gazyň temperaturasy bolsa  $T_2$ -ä çenli üýtgedilenden soň, böleklerdäki  $p$  basyş nähili bolar?

**2.16.** Basyşy  $p = 100 \text{ kPa}$  we temperaturasy  $t = 13^\circ\text{C}$  bolan howada 23,6% kislorod we 76,4% azot (massa boýunça) saklanýar. Howanyň  $\rho$  dykzlygyny we kislorodyň hem azotyň  $p_1$  we  $p_2$  parsial basyşlaryny kesgitlemeli.

**2.17.** a)  $p = p_0 - \alpha V^2$  we b)  $p = p_0 e^{-\beta V}$  prosesler üçin ideal gazyň mümkin bolan  $T_{\max}$  iň uly temperaturasyny kesgitlemeli. Bu ýerde,  $V - 1 \text{ mol}$  gazyň göwrümi.

**2.18.**  $T = T_0 - \alpha V^2$  kanun boýunça bolup geçýän hadysada ideal gazyň basyşynyň mümkin bolan iň kiçi  $p_0$  bahasyny kesgitlemeli. Bu ýerde,  $T_0$  we  $\alpha$  – položitel hemişelik,  $V - 1 \text{ mol}$  gazyň göwrümi.

**2.19.** Göwrümi  $V = 0,5 \text{ l}$  bolan gapda  $m = 1 \text{ g}$  bug görnüşinde ýod ( $\text{I}_2$ ) ýerleşýär.  $t = 1000^\circ\text{C}$  temperaturada gapdaky basyş  $p = 93,3 \text{ kPa}$ . Ýoduň molekulasyň atomlara dargama (dissosasiýa) derejesini tapmaly. Ýoduň molekulasyň molýar massasy  $\mu = 0,254 \text{ kg/mol}$

**2.20.** Göwrümi  $V = 1 \text{ dm}^3$  bolan gapda  $m = 0,2 \text{ g}$  kömürturşy gazy ( $\text{CO}_2$ ) ýerleşýär.  $T = 2600 \text{ K}$  temperaturada kömürturşy gazynyň molekulalarynyň bir bölegi uglerodyň oksisiniň molekulalaryna dargayar:



Bu ýagdaýda gapdaky basyş  $p_{\text{gar}} = 108 \text{ kPa}$  -a deň boldy. Kömürturşy gazynyň dargama (dissosasiýa) derejesini tapmaly.

**2.21.** Göwrümi  $V = 5 \text{ l}$  bolan gapda  $p = 600 \text{ kPa}$  basyşda geliýniň we wodorodyň garyndysy saklanýar. Garyndynyň massasy  $m = 4 \text{ g}$ , geliýniň massa paýy  $w_1 = 0,6$  -a deň. Garyndynyň  $T$  temperaturasyny kesgitlemeli.

### 3. IZOTERMIK HADYSA

#### Esasy kanunlar we formulalar

Islendik  $m$  massaly gaz üçin Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesi:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (3.1)$$

bu ýerde  $R = k N_A = 8,31 J/mol \cdot K$  – uniwersal gaz hemişeligi.

$1 mol$  hyýaly gaz üçin Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesi:

$$pV = RT. \quad (3.2)$$

Şeýle hem bu deňlemeden başga birnäçe hyýaly gaz kanunlaryny almak mümkin, ýagny  $m = \text{hemişelik}$ ,  $T = \text{hemişelik}$  bolanda (3.1) deňleme

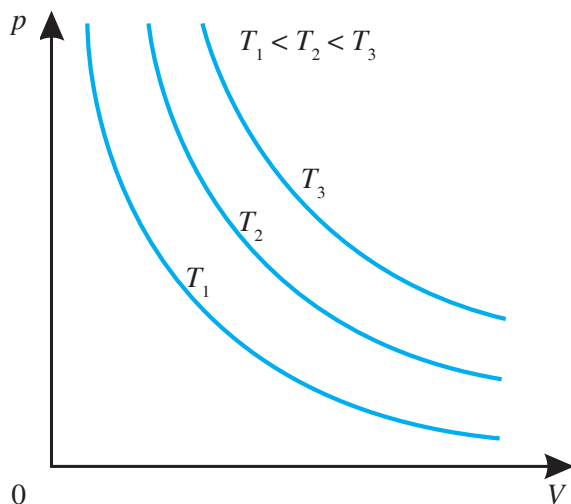
$$pV = \text{hemişelik} \quad (3.3)$$

görnüşe eýe bolar.

Bu kanun iňlis alymy P.Boýl (1669) we fransuz alymy E.Marriot (1676) tarapyndan biri-birine baglanyşyksyzlykda açylan. Şonuň üçin oňa Boýl-Mariottyň kanuny diýilýär. Belli mukdarda  $m$  massaly gaz üçin hemişelik  $T$  temperaturada gazyň basyşynyň onuň göwrümine köpeltmek hasyly hemişelik ululykdyr. Gazyň iki haly üçin (3.3) deňlemäni şeýle ýazyp bolar:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{we} \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}.$$

(3.3) deňleme giperbolanyň deňlemesidir. Dürli temperaturalarda basyşyň göwrüm bilen baglanyşygyny 3.1-nji suratdaky ýaly şekillendirmek bolar. Bu ýerde  $T_1 < T_2 < T_3 < \dots$ . Boýl-Mariottyň kanuny hemişelik temperaturalarda ýerine ýetýändigini üçin basyş bilen göwrümiň baglanyşygyny suratlandyran çyzyklara izotermalar diýilýär (*izo – hemişelik, termo – ýylylyk*).



3.1-nji surat

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**3.1-nji mesele.** Bir tarapy ýapyk silindrik turbada daşky howadan simap sütüni bilen bölünen howa ýerleşýär. Haçanda turbanyň ýapyk tarapy ýokary bolanda, onuň içindäki howa  $l$  uzynlygy, haçanda açyk tarapy ýokary bolanda, howa  $l' < l$  uzynlygy eýeleýär. Simap sütüniniň beýikligi  $h$  mm. Atmosfera basyşyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $l$ ;  $l' < l$ ;  $h$ .

**Tapmaly:**  $p_0$ .

**Çözülişi.** Turbanyň ýapyk tarapy ýokary bolanda (3.2-nji a surat).

$$p_0 = p_s + p_l. \quad (3.4)$$

Turbanyň açyk tarapy ýokary bolanda (3.2-nji b surat).

$$p_0 = p_{l'} - p_s, \quad (3.5)$$

bu ýerde  $p_0$  – atmosfera basyşy;

$p_s$  – simap sütüniniň basyşy;

$p_l$  – howanyň 1-nji ýagdaýyndaky basyşy;

$p_{l'}$  – howanyň 2-nji ýagdaýyndaky basyşy.

$$p_l V = \frac{m}{\mu} RT, \quad V = Sl, \quad p_l = \frac{m}{\mu Sl} RT,$$

şuňa meňzeşlikde,

$$p_r = \frac{m}{\mu Sl'} RT.$$

Bu deňliklerden  $p_l l = \frac{m}{\mu S} RT$ ,  $p_r l' = \frac{m}{\mu S} RT$ .

$p_l l = p_r l' \Rightarrow p_l = \frac{l'}{l} p_r$  (3.5) deňligi göz önünde tutup, alarys:

$$p_l = \frac{l'}{l} (p_0 + p_s).$$

(3.4) we (3.5) deňlikleri göz önünde tutup alarys:

$$p_0 = p_s + \frac{l'}{l} (p_0 + p_s),$$

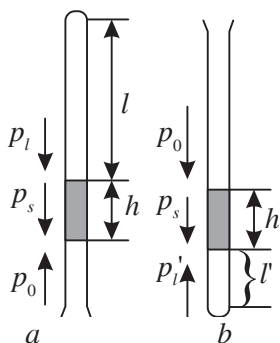
$$p_0 l = p_s l + p_0 l' + p_s l',$$

$$p_0 (l - l') = p_s (l + l'),$$

$$p_0 = \frac{l + l'}{l - l'} p_s.$$

Eger  $p_0$  we  $p_s$  basyşlar  $H$  we  $h$  mm. sim. süt.-de aňladylsa, onda alarys:

$$H = \frac{l + l'}{l - l'} h.$$



3.2-nji surat

**3.2-nji mesele.** Uzynlygy  $l$  bolan silindrik pipetkanyň ýarysy simaba çümdürilýär. Soňra onuň açyk uýy barmak bilen ýapylyp, ýokary galdyrylýar. Simabyň käbir bölegi dökülýär. Pipetkada näçe uzynlykly simap sütüni galar? Atmosfera basyşy  $H$  diýip kabul etmeli.

**Berlen:**  $l$ ;  $H$ .

**Tapmaly:**  $\Delta h$ .

**Çözülişi.** Birinji ýagdaýda pipetkadaky howanyň basyşy

$$p_1 = p_0 \quad (3.6)$$

bolar (3.3-nji a surat). Bu ýerde  $p_0$  – atmosfera basyşy.

Barmak bilen bir uýy ýapylyp gapdan çykarylandan soň bolsa

$$p_2 = p_0 - p_h \quad (3.7)$$

bolar (3.3-nji b surat). Bu ýerde  $p_h$  – simap sütüniň basyşy.

Temperaturanyň hemişelikdigini göz önünde tutup,

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (3.8)$$

we  $V_1 = S l_1$ ,  $V_2 = S l_2$ ,  $l_2 = l - \Delta h$

diýip ýazyp bileris, soňra (3.6) we (3.7) deňlikleri (3.8) deňlikde goýup alarys:

$$p_0 V_1 = (p_0 - p_h) V_2,$$

$$p_0 S l_1 = (p_0 - p_h)(l - \Delta h) S, \quad (3.9)$$

$p_0 = \rho g H$ ,  $p_h = \rho g \Delta h$  deňlikleri (3.9) deňlikde goýup alarys:

$$\rho g H l_1 = \rho g (H - \Delta h)(l - \Delta h),$$

$l_1 = \frac{l}{2}$  – meseläniň şertine görä.

Diýmek:

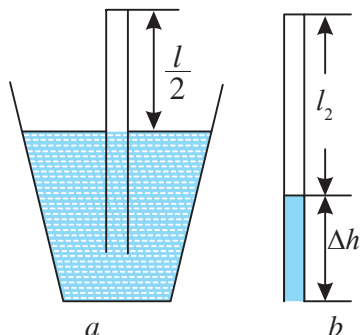
$$\frac{Hl}{2} = Hl - H\Delta h - \Delta h l + \Delta h^2,$$

$$\Delta h^2 - \Delta h(H + l) + Hl - \frac{Hl}{2} = 0,$$

$$\Delta h^2 - \Delta h(H + l) + \frac{Hl}{2} = 0.$$

Kwadrat deňlemäniň çözüwi:

$$\Delta h = \frac{1}{2}(H + l - \sqrt{H^2 + l^2}).$$



3.3-nji surat

**3.3-nji mesele.** Porşenli nasos  $V$  göwrümli gapdan gaz sorýar. Ol bir siklde  $\Delta V$  göwrüm sorýar. Näçe siklden soň gapda basyş  $n$  esse azalar? Hadysany izotermik we gazy hyýaly diýip hasaplamaly.

**Berlen:**  $V, \Delta V$

**Tapmaly:**  $n$ .

**Çözülişi.** Birinji  $\Delta V$  sorum üçin izotermik prosesini deňlemesini ýazalyň:

$$pV = p_1V_1,$$

bu ýerde  $V_1 = V + \Delta V$ ,

$p_1 - \Delta V$  sorumdan soňky basyş. Onda

$$pV = p_1(V + \Delta V). \quad (3.10)$$

Muny gaýtalap alarys:

$$p_1V = p_2(V + \Delta V). \quad (3.11)$$

(3.10) deňlemeden  $p_1$  basyşy tapyp, (3.11) deňlemede goýarys:

$$\begin{aligned} \frac{pV}{V + \Delta V} \cdot V &= p_2(V + \Delta V), \\ pV^2 &= p_2(V + \Delta V)^2, \end{aligned}$$

gaýtalap alarys:

$$pV^n = p_n(V + \Delta V)^n.$$

Bu ýerden  $n$ -i tapalyň:

$$\begin{aligned} \frac{p}{p_n} &= \left( \frac{V + \Delta V}{V} \right)^n, \\ n \ln \frac{V + \Delta V}{V} &= \ln \frac{p}{p_n}, \\ n &= \frac{\ln \frac{p}{p_n}}{\ln \frac{V + \Delta V}{V}}. \end{aligned}$$



## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**3.1.** Göwrümleri  $V_1 = 20l$  we  $V_2 = 44l$  bolan gaplarda gaz saklanýar. Birinji gapda basyş  $p_1 = 2,4MPa$  we ikinjide  $p_2 = 1,6MPa$ . Gaplar birleşdirilenden soň,  $p'_1$  we  $p'_2$  parsial basyşlary we umumy  $p$  basyşy kesgitlemeli.  $T = const$ .

**3.2.** Gapda massasy  $m_1 = 3kg$  bolan gaz saklanýar. Haçanda gapdan gazyň käbir bölegini çykaranlarynda, gazyň basyşy iki esse azaldy. Gapdan çykan gazyň massasy näçe?  $T = const$ .

**3.3.** Birmeňzeş massaly şol bir gazy saklaýan iki sany gaby kranly turbajyk bilen birikdirýärler. Birinji gapda basyş  $p_1 = 10^5 Pa$ , ikinji gapda bolsa  $p_2 = 3 \cdot 10^5 Pa$ . Gaplardaky temperatura bolsa birmeňzeş. Krany açanlaryndan soň gaplardaky basyş nähili bolar?

**3.4.** Göwrümleri  $V_1 = 2l$  we  $V_2 = 7l$  bolan gaplarda kislorod saklanýar. Basyşlary  $p_1 = 10^5 Pa$  we  $p_2 = 0,52 \cdot 10^5 Pa$  bolan gaplary turbajyk bilen birikdirdiler. Şondan soňky gaplardaky umumy basyşy kesgitlemeli.  $T = const$ .

**3.5.** Gaz  $V_1 = 8l$  göwrümünden  $V_2 = 6l$  göwürme çenli gysylanda onuň basyşy  $\Delta p = 4kPa$  basyşa çenli ulaldy. Gazyň başlangyç  $p_1$  basyşy näçe?

**3.6.** Basyşy  $p_2 = 0,1Mpa$  bolan howany saklaýan  $V_2 = 30l$  göwrümli gap,  $V_1 = 10l$  göwrümli içi howaly gap bilen birleşdirilende, olaryň basyşynyň  $p = 200kPa$  bolmagy üçin 1-nji gaby haýsy  $p_1$  basyşdaky howa bilen doldurmaly?

**3.7.** Iki sany dürli gaplarda birmeňzeş temperaturada birmeňzeş massaly gaz saklanýar. Birinji gapdaky basyş  $p_1 = 5atm$ , ikinjide bolsa  $p_2 = 15atm$ . Gaplary inçejik turbajyk bilen birikdirýärler. Deňagramlylyk ýagdaýyndaky basyşy tapmaly.

**3.8.** Basyşy  $p_1 = 1,2 \cdot 10^5 Pa$  ideal gaz bilen doldurylan  $V_1 = 4l$  göwrümli gap  $V_2 = 2l$  göwrümli boş gap bilen birikdirilen. Temperaturany hemişelik hasap edip, gapdaky soňky basyşy kesgitlemeli.

**3.9.** Uzynlygy  $l_1 = 1,6m$  bolan kadaly atmosfera basyşynda howa bilen doldurylan silindriň içine haýallyk bilen meýdany  $S = 200sm^2$  bolan porşeni salyp başladylar. Porşeni silindriň düýbünden  $l_2 = 10sm$  aralykda sakladylar. Porşene täsir edýän  $F$  güýji kesgitlemeli.  $T = const$ .

**3.10.** Basyşy  $p_1 = 10 \text{ MPa}$  bolan gapda massasy  $m_1 = 10 \text{ kg}$  -a deň bolan gaz ýerleşýär. Basyş  $p_2 = 2,5 \text{ MPa}$  deň bolanda, näçe  $\Delta m$  massaly gazy gapdan alypdyrlar?

**3.11.** Göwrümi  $V_1 = 300 \text{ sm}^3$  bolan içi howaly kolba kranly dyky bilen ýapylyan. Kolbadaky basyşy ölçemek üçin kolbanyň agzyny suwa çümdürdiler we krany açdylar. Netijede, kolbanyň içine massasy  $m = 292 \text{ g}$  bolan suw girdi. Atmosfera basyşy kadaly bolsa, kolbadaky başlangyç basyş nähili?  $T = \text{const}$ .

**3.12.** Gaz bilen doldurylýan elektrik çyrasynyň içinde basyşy  $p = 600 \text{ mm.sim.süt.}$ -ne deň bolan azot ýerleşýär. Çyranyň göwrümi  $V = 500 \text{ sm}^3$ . Haçanda çyranyň ujy adaty atmosfera basyşyndaky suwuň içinde käbir çuňlukda döwürse, onuň içine näçe mukdarda suw girer?

**3.13.** Göwrümi  $V_1 = 3 \text{ l}$  bolan futbol topy porşenli nasos bilen  $n = 40$  gezek ýel berlende onuň basyşy näçe bolar? Porşenli nasos her bir ädiminde atmosferadan göwrümi  $V_2 = 150 \text{ sm}^3$  -a deň bolan howany alýar. Atmosfera basyşy kadaly.

**3.14.** Gapdan howany porşenli nasos bilen sorup alanlarynda,  $m = 8$  gezekden soň basyş  $p_1$ -den  $p_2 = p_1 / 256$ -a çenli peselen bolsa, gabyň  $V_1$  göwrümi näçe? Porşenli nasosyň kamerasynyň göwrümi  $V_2 = 1,5 \text{ dm}^3$ ,  $T = \text{const}$ .

**3.15.** U görnüşli manometre simap guýlan. Manometriň açyk bölegi kadaly atmosfera basyşda daşky gurşaw bilen birikdirilen we ondaky simabyň sütüni ýapyk bölege görä  $\Delta h_1 = 10 \text{ sm}$  ýokarda ýerleşen. Ýapyk bölekde bolsa simap bilen dolmadyk sütüniň uzynlygy  $l_1 = 20 \text{ sm}$ . Haçanda manometriň açyk bölegini içi howaly gap bilen birikdirenlerinde simap sütünleriniň derejeleriniň tapawudy ulaldy we  $\Delta h_2 = 26 \text{ sm}$  -e deň boldy. Gapdaky howanyň  $p$  basyşyny kesgitlemeli. Simabyň dykzlygy  $\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$ .  $T = \text{const}$ .

**3.16.** İçki diametri  $d = 5 \text{ mm}$  bolan U görnüşli manometre simap guýlan. Onuň ýapyk bölegindäki howanyň göwrümi  $V_1 = 10 \text{ mm}^3$ . Simap sütünleriniň derejeleriniň tapawudy  $\Delta h_1 = 10 \text{ sm}$ . Manometriň açyk bölegini gap bilen birikdirenlerinde, olaryň derejeleriniň tapawudy  $\Delta h_2 = 1 \text{ sm}$  boldy. Gapdaky  $p_2$  basyşy kesgitlemeli. Simabyň dykzlygy  $\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$ ,  $T = \text{const}$ .

**3.17.** Uzynlygy  $l = 10\text{sm}$  bolan wertikal ýerleşdirilen probirkada howanyň ýokarsynda beýikligi  $h = 3\text{ sm}$  bolan simap sütüni ýerleşýär. Probirkany başaşak öwrenlerinde simabyň käbir bölegi dökülýär. Probirkadaky galan simap sütünjiginiň beýikligini tapmaly. Atmosfera basyşy  $p_0 = 10^5\text{Pa}$ . Simabyň dykzlygy  $\rho = 13600\text{kg/m}^3$ .

**3.18.** Barometriki turba simabyň derejesi turbada we gapda gabat geler ýaly edilip, çuň gaba çümdürilýär. Bu ýagdaýda turbadaky howa  $l\text{ sm}$  aralygy eýeleýär. Turba  $l'\text{ sm}$  ýokary galdyrylýar. Turbada simap näçe  $\Delta l\text{ sm}$  ýokaryk galar? Atmosfera basyşy  $H\text{ sm.sim.süt.}$ -ne deň diýip hasaplamaly.

**3.19.** Iki tarapy ýapylan, içinden howasy çykarylan gorizont tal ýerleşen kapillýaryň ortasynda uzynlygy  $l = 20\text{sm}$  bolan simap sütünjigi ýerleşýär. Kapillýar wertikal ýerleşdirilende simap sütünjigi  $\Delta l = 10\text{sm}$  aralyga süşýär. Kapillýaryň howasy näçe basyşa çenli sorulypdyr? Kapillýaryň uzynlygy  $L = 1\text{m}$ .

**3.20.** Dogry silindrik turbajykly simap barometrinde onuň gap-jagazyndaky simapdan turbajygyň ýapyk tarapyna çenli aralyk  $L$ -e deň. Adaty barometrik  $H$  basyşda we  $t$  temperaturada turbajyga howa düwmijigi düşüpdür. Şol sebäpli simap turbajykdaky simap sütüniniň uzynlygy kiçelip,  $h$ -a deň bolupdyr. Islendik  $t$  temperatura we simap sütüniniň  $h$  beýikligi üçin barometriň görkezmesine giriziljek basyş  $p_1$  üçin düzedişi kesgitleýän aňlatmany tapmaly.

**3.21.** Massasy  $m = 0,5\text{g}$  bolan wodorodyň a)  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ; b)  $t_2 = 100^\circ\text{C}$  temperaturalardaky izotermalaryny çyzmaly.

**3.22.** Massasy  $m = 15,5\text{g}$  bolan kislorodyň a)  $t_1 = 39^\circ\text{C}$ ; b)  $t_2 = 180^\circ\text{C}$  temperaturalardaky izotermalaryny çyzmaly.

**3.23.** Gapda  $m_1 = 10\text{kg}$  massaly gaz  $p_1 = 10\text{MPa}$  basyşda saklanýar. Eger gapdaky basyş  $p_2 = 2,5\text{MPa}$  -a deň bolan bolsa, gazyň näçe  $\Delta m$  massasy gapdan çykarylypdyr? Gazyň temperaturasyny hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.24.** Göwrümi  $V_1 = 3\text{l}$  bolan birinji gapda gaz  $p_1 = 10\text{MPa}$  basyşda, göwrümi  $V_2 = 4\text{l}$  bolan ikinji gapda şol bir gaz  $p_2 = 0,1\text{MPa}$  basyşda saklanýar. Gazyň temperaturasy iki gapda hem birmeňzeş. Eger gaplary turbajyk arkaly birikdirseň, gazyň  $p$  basyşy näçe bolar?

**3.25.** Göwrümi  $V = 0,5\text{m}^3$  bolan gapda  $t = 27^\circ\text{C}$  temperaturada ideal gaz saklanýar. Gazyň käbir bölegi gapdan çykandan soň basyş

$\Delta p = 10^3 Pa$  -a deň boldy. Eger gazyň temperaturasy üýtgemedik bolsa, gapdan gazyň näçe molekulasy çykypdyr?

**3.26.** Ýapyk gapda  $p_0 = 0,5 MPa$  basyşda ideal gaz saklanýar. Eger gabyň krany açylandan soň gazyň  $\alpha = 4/5$  massasy çykan bolsa, gapdaky soňky basyş näçä deň bolar? Gazyň temperaturasy hemişelik.

**3.27.** Gapdan ideal gazyň  $\Delta m = 2g$  massasyny çykardylar. Netijede, basyş  $n = 10\%$  peseldi. Gazyň başdaky dykzlygy  $\rho = 2 \cdot 10^{-4} g/sm^3$  -a deň bolsa, gabyň göwrümini kesgitlemeli. Gazyň temperaturasy hemişelik.

**3.28.** Temperaturasy  $T = 300K$  bolan  $m = 1kg$  massaly geliý bilen doldurylan meteozoneň maýyşgak gabygy meteorit tarapyndan deşilip, gabykda kesigi  $S = 10mm^2$  bolan deşik emele gelýär. Geliýniň deşikden syzylýp çykma tizligi hemişe  $v = 5m/s$  -a deň, gabygyň göwrümi bolsa gazyň dykzlygy elmydama hemişelik galar ýaly üýtgeýän bolsa, näçe wagtdan soň gabykdan gazyň  $\alpha = 50\%$  bölegi syzylýp çykar? Geliýniň molýar massasy  $\mu = 4 \cdot 10^{-3} kg/mol$ , atmosfera basyşy  $p_0 = 10^5 Pa$ . Geliýniň temperaturasyny hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.29.** Porşenli howa nasosy bilen gapdan howany sorup alýarlar. Porşeniň her bir hereketinde gapdaky howanyň göwrüminiň  $\alpha = 1/10$  bölegi sorulyp alynýar. Porşeniň iki gezek hereketinden soň gapdaky howanyň basyşy näçe esse peseler? Temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.30.** Nasosyň porşeniniň  $n = 6$  hereketinden soň gapdaky basyş  $p = 35 mm.sim.süt.$ -e deň boldy. Gabyň göwrümi  $V = 300sm^3$ , nasosyň silindriniň göwrümi  $V_0 = 200sm^3$  bolsa, gapdaky gazyň başlangyç basyşy näçä deň? Temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.31.** Başda gapdaky basyş  $\alpha = 8$  esse ulaltdylar, soňra gapdaky gazyň  $\beta = 0,25$  massasyny çykardylar. Temperatura üýtgemän galan bolsa, gazyň molekulalarynyň konsentrasiýasy näçe esse üýtgedi?

**3.32.** Göwrümi  $V = 100l$  bolan ýapyk gapda  $T = 300K$  temperaturada  $m_1 = 4g$  massaly wodorod we  $m_2 = 4g$  massaly geliý saklanýar. Gaba  $N = 3 \cdot 10^{23}$  sany azotyň molekulalary goýberilenden

soň, gazyň basyşy näçä deň bolar? Temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.33.** Göwrümi  $V_1 = 10l$  bolan gap  $p_2 = 1atm$  basyşda gazy saklaýan  $V_2 = 30l$  göwrümlü gap bilen birikdirilende basyş  $p = 2atm$  -a deň bolar ýaly,  $V_1$  göwrümlü gapdaky howanyň  $p_1$  basyşy näçä deň bolmaly? Temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.34.** Iki sany gapda birmeňzeş ideal gaz saklanýar. Gaplar kranly turbajyk bilen birikdirilen. Birinji gapda  $m_1 = 1kg$  massaly gaz  $p_1 = 105Pa$  basyşda, ikinjide bolsa  $p_2 = 4 \cdot 10^5 Pa$  basyşda  $m_2 = 2kg$  massaly gaz ýerleşýär. Kran açylandan soň gaplardaky basyş näçä deň bolar? Temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.35.** Käbir gazlary özünde saklaýan iki sany gap kranly turbajyk bilen birikdirilen. Gaplardaky basyşlar degişlilikde  $p_1$  we  $p_2$ , molekulalaryň sany bolsa  $N_1$  we  $N_2$ . Birikdiriji turbajygyň krany açylandan soň basyş näçä deň bolar? Gazlaryň temperaturasy hemişelik.

**3.36.** Howa bilen doldurylan açyk wertikal silindr görnüşli gapda iki sany birmeňzeş ýuka agyr porşenler deňagramlylykda ýerleşýär. Porşenleriň arasyndaky we aşaky porşenden gabyň düýbüne çenli aralyk birmeňzeş we  $l$ -e deň. Porşenleriň arasyndaky basyş  $p = 2p_0$ . Ýokarky porşen aşaky porşeniň ýerine geçär ýaly onuň üstüne basýarlar. Aşaky porşen gabyň düýbünden näçe aralykda ýerleşer? Sürtülme ýok, temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

**3.37.** Wertikal ähli tarapy ýapyk  $2l$  beýiklikli silindr görnüşli gap ýuka agramsyz süýşýän porşen bilen deň ikä bölünen. Porşende dyky bilen ýapylan deşik bar. Porşeniň iki tarapynda hem  $p$  basyşda birmeňzeş mukdarda howa ýerleşýär. Dyky basyşyň  $\Delta p$  üýtgemesinde uçup çykýan bolsa, ol uçup çykar ýaly porşeni  $\Delta h$  aralyga näçe süýşürmeli? Sürtülme ýok, temperaturany hemişelik diýip hasap etmeli.

## 4. IZOBARIK HADYSA

### Esasy kanunlar we formulalar

Hemişelik basyşda ( $p = \text{const}$ ) ideal gaz halynyň deňlemesi

$$pV = \frac{m}{\mu}RT.$$

Aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolar:

$$\frac{V}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{R}{p} = \text{const}.$$

Gazyň  $T$  temperaturadaky göwrümini  $V$ ,  $T_0$  temperaturadaky göwrümini bolsa  $V_0$  diýip kabul edip, bu deňlemäni iki ýagdaý üçin ýazyp bolar:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ ýa-da } \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}.$$

Bu deňlikler Geý-Lýussagyň kanunyny has sada görnüşde aňladýar: alnan  $m$  massaly ideal gaz üçin hemişelik basyşda göwrümiň üýtgemegi absolýut temperaturanyň üýtgemegine göni proporsionaldyr.

Soňky deňlemäni özgerdip alarys:

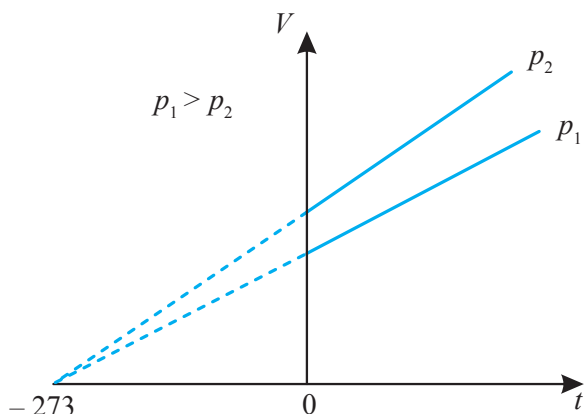
$$V = V_0 \frac{T}{T_0} = V_0 \frac{t + T_0}{T_0} = V_0 \left( 1 + \frac{t}{T_0} \right) = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273,15} t \right) = V_0 (1 + \alpha t),$$

bu ýerde  $\alpha = \frac{1}{273,15^\circ \text{C}}$  – göwrüm giňelmeginiň termiki koeffisiyenti;  $T = t + T_0 = t + 273,15^\circ \text{C}$ .

Alnan  $m$  massaly gazyň göwrümi hemişelik basyşda temperatura baglylykda çyzykly üýtgeýär (Geý-Lýussagyň kanuny):

$$V = V_0 (1 + \alpha t).$$

Hemişelik basyşda gazyň göwrüminiň temperatura baglylygynyň grafigi (izobaralar) bir nokatda kesişýän ýapgyt göni çyzyklar topary bilen aňladylýar.



4.1-nji surat.

### Meselelerin çözülişine mysallar

**4.1-nji mesele.** Gazyň temperaturasy  $\Delta T = 3K$  artanda onuň göwrümi  $\alpha = 1\%$  ulalýar. Gazyň basyşy hemişelik bolsa, onuň başlangyç  $T_1$  temperaturasyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $\Delta T = 3K$ ;  $\alpha = 1\%$ .

**Tapmaly:**  $T_1$

**Çözülişi.** Hemişelik massaly gazyň izobarik gyzdyrylmasy Geý-Lýussagyň kanunyna boýun egýär:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

Gazyň başlangyç  $V_1$  göwrümi  $\alpha$  göterime ulalany üçin (ýagny,  $\Delta V = \alpha V_1$  bu ýerde  $\alpha = 0,01$ ) onuň soňky  $V_2$  göwrümi:

$$V_2 = V_1 + \Delta V = (1 + \alpha) V_1.$$

Netijede,  $T_2$  temperatura  $T_1$  başlangyç temperaturadan

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 1 + \alpha$$

esse ulaldy.

Meseläniň berlen  $T_2 - T_1 = \Delta T$  şertini peýdalanyp alarys:

$$T_1(1 + \alpha) - T_1 = \Delta T$$

ýa-da

$$T_1 = \frac{\Delta T}{\alpha} = \frac{3}{0,01} = 300K.$$

**4.2-nji mesele.** Wertikal gapda porşeniň aşagynda  $m = 1g$  azot saklanýar. Porşeniň meýdany  $S = 10sm^2$ , massasy  $M = 1kg$ . Azoty  $\Delta T = 10K$ -e çenli gyzdysalar, porşen näçe  $\Delta h$  aralyga galar? Porşeniň üstündäki basyş kadaly. Azotyň molýar massasy  $\mu = 28 \cdot 10^{-3} kg/mol$ . Sürtülmäni hasaba almaly däl.

**Berlen:**  $m = 1g (10^{-3}kg)$ ;  $S = 10sm^2 (10^{-3}m^2)$ ;  $M = 1kg$ ;  $\Delta T = 10K$ ;  $\mu = 28 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**Tapmaly:**  $\Delta h$

**Çözülişi.** Deňagramlylyk ýagdaýynda porşene üç güýç täsir edýär: porşeniň  $Mg$  agyrylyk güýji, porşeniň üstündäki  $p_0S$  basyş we porşeniň aşagyndaky  $pS$  basyş, bu ýerde  $p_0$  we  $p$  – daşky basyş we porşeniň aşagyndaky basyş.

$$Mg + p_0S = pS.$$

Şeýlelikde, porşeniň aşagyndaky basyş

$$p = \frac{Mg}{S} + p_0$$

deňdir. Ol diňe porşeniň massasyna, meýdanyna we onuň aşagyndaky basyşa baglydyr, ýagny porşeniň aşagyndaky gazyň parametrlerine bagly däldir. Şonuň üçin azotyň gyzdrylma ýagdaýy izobarik bolup geçýär diýen netijä gelip bolýar. Diýmek, bu ýagdaý üçin Geý-Lýussagyň kanunyny ulanyp bolar:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1},$$

bu ýerde  $V_1 = Sh_1$ ,  $V_2 = Sh_2$  – gyzdrylmadan öňki we soňky azotyň eýeleýän göwrümi. Porşeniň galan aralygy

$$\Delta h = h_2 - h_1 - e$$

deň bolýandygy üçin, alarys:

$$\Delta h = \frac{V_2 - V_1}{S} = \frac{V_1}{S} \left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right) = \frac{V_1}{S} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{V_1}{ST_1} (T_2 - T_1) = \frac{V_1}{ST_1} \Delta T.$$

Azotyň başlangyç ýagdaýynyň deňlemesini



$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1$$

görnüşde peýdalanyp, alarys:

$$\left(\frac{Mg}{S} + p_0\right)V_1 = \frac{m}{\mu}RT_1 \text{ ýa-da } \frac{V_1}{T_1} = \frac{mR}{\mu\left(\frac{Mg}{S} + p_0\right)}$$

onda gutarnykly alarys:

$$\Delta h = \frac{mR\Delta T}{\mu\left(\frac{Mg}{S} + p_0\right)S} = \frac{mR\Delta T}{\mu(Mg + p_0S)}.$$

San bahalaryny formulada ornuna goýup, hasapalarys:

$$\Delta h = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 10}{28 \cdot 10^{-3}(1 \cdot 9,8 + 1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3})} \approx 2,7 \text{ sm}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**4.1.** Gazyň käbir massasy  $\Delta T = 200K$  temperatura çenli izobarik gyzdrylýar. Gazyň göwrümi bolsa  $n = 2$  esse ulalýar. Gazyň ahyrky  $T_2$  temperaturasyňy kesgitlemeli.

**4.2.** Başlangyç temperaturasy  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  bolan gaz izobarik giňelip göwrümini  $\alpha = 30\%$  ulaltmak üçin ony näçe  $\Delta T$  temperatura çenli gyzdymaly?

**4.3.** Göwrümi  $V_1 = 10 \text{ sm}^3$  bolan  $T_1 = 573K$  temperaturada howa bilen doldurylan şary simap bilen doldurylan gaba turbajyk arkaly birikdirilýär. Şardaky howa  $T_2 = 293K$  temperatura çenli sowanda şara girýän simabyň  $m$  massasyňy kesgitlemeli. Şaryň göwrüminiň üýtgemesini hasaba almaly däl. Simabyň dykzlygy  $\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$ .

**4.4.** Silindrdäki howanyň temperaturasy  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . Howa  $\Delta T = 30K$  temperatura çenli gyzdrylandan soň porşen  $\Delta l = 5 \text{ sm}$  aralyga süýşýär. Gyzdrylandan soň howa haýsy  $V_2$  göwrümi eýelär? Porşeniň meýdany  $S = 10 \text{ sm}^2$ .

**4.5.** Kese kesiginiň meýdany dürli bolan iki sany turba özara birleşdirilen. Turbalaryň birleşdirilen ýerinden deň aralykda diametrl-eri  $d_1 = 2 \text{ sm}$  we  $d_2 = 5 \text{ sm}$  bolan porşenler bir-biri bilen steržen arkaly birikdirilen. Porşenleriň arasyndaky howanyň temperatu-

rasy  $T_1 = 290K$ . Uly porşeni turbalaryň birleşdirilen ýerine çenli süýşürmek üçin porşenleriň arasyndaky howany näçe  $T_2$  temperatura çenli sowatmaly?

**4.6.** Basyşy  $p_0 = 10^5 Pa$  we temperaturasy  $t_1 = 15^\circ C$  bolan içi howaly aýna kolba dyky bilen ýapylyan we agramy ölçenen. Dykyny aýryp, kolbany  $t_2 = 80^\circ C$  temperatura çenli gyzdýrdylar. Kolba soňky gezek ölçenende, ol  $\Delta m = 0,25g$  ýeňil boldy. Kolbanyň  $V$  göwrümi näçä deň? Howanyň molýar massasy  $\mu = 29 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**4.7.** Ýuka maýyşgak gabykly howa şarynda  $t_0 = 0^\circ C$  temperaturada  $V_0 = 1500m^3$  göwrümlü gaz saklanýar. Gazy  $\Delta t = 20^\circ C$  temperatura çenli gyzdýrsaň, howa şarynyň  $\Delta F_g$  göteriji güýji nähili üýtgär? Atmosferada howanyň basyşy  $p_0 = 10^5 Pa$ , temperaturasy  $T_0 = 273K$ . Howanyň molýar massasy  $\mu = 29 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**4.8.** Iki gapdaly ýapyk gorizonta silindriň içinde ýuka porşen ýerleşip, ol silindriň içi boýunça sürtülmesiz süýşüp bilýär. Porşeniň bir gapdalynda massasy  $m_1 = 4g$  bolan wodorod ýerleşýär, beýleki gapdalynda bolsa massasy  $m_2 = 14g$  bolan azot ýerleşýär. Silindriň göwrüminiň näçe bölegini wodorod tutýar?

**4.9.** Göwrümi  $V_1 = 0,2m^3$  bolan gapda  $p_1 = 10^5 Pa$  basyşda we  $T_1 = 290K$  temperaturada gaz ýerleşýär. Gaba goşmaça gaz goýberilenden soňra, ondaky basyş  $p_2 = 3 \cdot 10^5 Pa$ -a we temperaturasy  $T_2 = 320K$ -e çenli ýokarlansa, molekulalaryň sany näçe  $\Delta N$  köpeler?

**4.10.** Temperaturasy  $t_1 = 7^\circ C$  bolan  $m = 12g$  massaly gaz  $V = 4l$  göwrümi eýeleýär. Gaz hemişelik basyşda gyzdýrylandan soň onuň dyklylygy  $\rho = 0,6kg/m^3$ -a deň boldy. Gazy näçe  $t_2$  temperatura çenli gyzdýrdylar?

**4.11.** Temperaturasy  $t_1 = 10^\circ C$  bolan  $m = 10g$  massaly kislorod  $p = 304kPa$  basyşda saklanýar. Hemişelik basyşda gyzdýrylan gaz giňelmeden soň  $V_2 = 10l$  göwrümi eýeledi. Gazyň giňelmeden öňki  $V_1$  göwrümini, giňelmeden soňky  $T_2$  temperaturany, gazyň giňelmeden öňki we soňky  $\rho_1$  we  $\rho_2$  dyklylyklaryny kesgitlemeli.

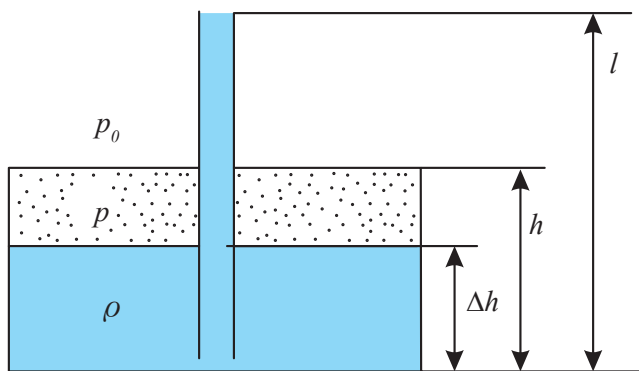
**4.12.** Massasy  $m = 10g$  bolan kislorod  $p = 200kPa$  basyşda we  $T = 280K$  temperaturada ýerleşýär. Izobarik giňelme netijesinde gaz  $V = 9l$  göwrüme eýe bolýar. Gazyň başdaky  $V_1$  göwrümini, giňelmeden soňky  $T_2$  temperaturany we giňelmeden soňky  $\rho_2$  dyklylygyny kesgitlemeli.

**4.13.** İki sany meňzeş gap öz aralarynda klapanyly turbajyk arkaly birikdirilen. Basyşlaryň tapawudy  $\Delta p \geq 1,10 \text{ atm}$ , bolanda klapany gazy bir gapdan beýleki gaba geçirýär. Başlangyç ýagdaýda bir gapda wakuum, beýlekisinde  $t_1 = 27^\circ \text{C}$  temperaturada we  $p_1 = 1 \text{ atm}$  basyşda ideal gaz ýerleşýär. Soňra iki gap hem  $t_2 = 107^\circ \text{C}$  temperatura çenli gyzdyrylýar. İçinde wakuum bolan gabyň soňky  $p'_2$  basyşyny tapmaly.

**4.14.** Ideal gazyň gysylma wagtynda onuň  $p$  basyşy we  $V$  göwrümi  $pV^{-1} = \text{const}$  kanun boýunça üýtgeýär. Bu ýagdaýda gazyň temperaturasy  $n = 4$  esse peseldi. Gysylmadan soň gazyň basyşy  $p_2 = 10^5 \text{ Pa}$  bolsa, onuň başlangyç  $p_1$  basyşy näçe?

**4.15.** Göwrümi  $V = 300 \text{ sm}^3$  bolan iki sany gap ýylylyk geçirmeýän süýşýän porşen bilen göwrümleri  $V_1 = 100 \text{ sm}^3$  we  $V_2 = 200 \text{ sm}^3$  bolan iki bölege bölünen. Gaplardaky gazyň başlangyç temperaturasy  $T_0 = 300 \text{ K}$ , basyşy  $p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Soňra kiçi gaby  $T_1 = 273 \text{ K}$  temperatura çenli sowatdylar, uly gaby bolsa  $T_2 = 373 \text{ K}$ -e çenli gyzdyrdylar. Gaplardaky soňky  $p$  basyşy kesgitlemeli.

**4.16.** Beýikligi  $h$  bolan silindr görnüşli gabyň gapagyndan onuň düýbüne ýetmeýän  $l$  uzynlykly inçe diwarly turba wertikal salnan (4.2-nji surat). Gaba trubka arkaly  $\rho$  dykzylykly suwuklyk guýýarlar. Trubka tutuşlygyna suwuklyk bilen dolanda, gabyň düýbünden suwuklygyň  $\Delta h$  beýiklik derejesi näçe bolar? Atmosfera basyşy  $p_0$  Gabyň gapagy bilen turbanyň birleşmesi germetik.



4.2-nji surat

**4.17.** Temperaturasy  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  we basyşy  $p_1 = 0,2\text{MPa}$  bolan gapda gysylan ideal gaz saklanýar. Gapdan gazyň  $\alpha = 0,7$  massasy çykarylssa we temperaturasy  $t_2 = 0^\circ\text{C}$ -e çenli peseldilse, gapdaky  $p_2$  basyş näçä deň bolar?

**4.18.** Göwrümi  $V = 1\text{dm}^3$  bolan gapda  $m = 0,28\text{g}$  massaly azot saklanýar. Gaz  $t = 1500^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzdyrylanda azotyň molekulalarynyň  $\alpha = 30\%$ -i atomlara dissosirlenýär. Gapdaky  $p$  basyşy kesgitlemeli. Azotyň molýar massasy  $\mu = 28 \cdot 10^{-3}\text{kg/mol}$ .

**4.19.** Çuňlugy  $h = 20\text{m}$  bolan kölüň düýbünde suwuň temperaturasy  $t_1 = 7^\circ\text{C}$ , ýüzünde  $t_2 = 25^\circ\text{C}$ . Atmosfera basyşy  $p_0 = 10^5\text{Pa}$ .  $V_1 = 1\text{mm}^3$  göwrümlü howa köpürjigi haýallyk bilen kölüň düýbünden ýokary galýar. Suwuň ýüzünde onuň  $V_2$  göwrümi näçä deň bolar?

**4.20.** Kese kesiginiň meýdany  $S$  we beýikligi  $h$  bolan dik ýerleşdirilen silindr görnüşli gap dykzyzlygy  $\rho$  bolan suwuklyk bilen doldurylan we  $p_0$  atmosfera basyşynda ýapylan. Bu ýagdaýda gapdaky howa sütüniň beýikligi  $h_0$  Gabyň aşaky böleginde kiçiräk yş döretseň, gapdan suwuklygyň näçe  $\Delta m$  mukdary çykar? Temperaturany hemişelik hasap etmeli.

**4.21.** Kislorodyň  $\rho$  dykzyzlygynyň:

a)  $T = \text{const} = 390\text{K}$  temperaturada her  $50\text{kPa}$ -dan  $0 \leq p \leq 400\text{kPa}$  aralykda  $p$  basyşa baglylyk;

b)  $p = \text{const} = 400\text{kPa}$  basyşda her  $20\text{K}$ -den  $200 \leq T \leq 300\text{K}$  aralykda  $T$  temperatura baglylyk grafigini gurmaly.

**4.22.** Ideal gaz hemişelik basyşda  $\Delta T = 1\text{K}$ -e çenli gyzdyrylanda onuň göwrümi  $1/350$  başlangyç göwrüme çenli ulaldy. Gazyň başlangyç  $T$  temperaturasyny tapmaly.

**4.23.** Sferik aerostatyň gabygynda ony bölekleyin doldurýan  $V = 1500\text{m}^3$  göwrümlü gaz ýerleşýär. Aerostatyň içindäki gaz  $T_0 = 273\text{K}$  temperaturadan  $T = 293\text{K}$  temperatura çenli gyzdyrylsa, aerostatyň ýokary göteriji güýji näçe üýtgär? Kadaly şertlerde howanyň dykzyzlygy  $\rho_0 = 1,29\text{kg/m}^3$ . Gabygyň içindäki gazyň we daşky gurşawyň howasynyň basyşy hemişelik we kadaly atmosfera basyşyna deň.

**4.24.** Massasy  $m = 7\text{g}$  bolan azot  $p = 0,1\text{MPa}$  basyşda we  $T_1 = 290\text{K}$  temperaturada ýerleşýär. Izobarik gyzdyrylma netijesinde azot  $V_2 = 10\text{l}$  göwrümi eýeledi. Gazyň başlangyç  $V_1$  göwrümini,

giňelmeden soňky gazyň  $T_2$  temperaturasy, gazyň giňelmeden öňki we soňky dykzlygyny kesgitlemeli.

**4.25.** Izobarik gyzdyrylma netijesinde ideal gazyň göwrümi  $n = 4$  esse ulaldy. Onuň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi näçe esse üýtgedi?

**4.26.** Dizel hereketlendirijiniň silindrinde ýangyç ýananda gazyň göwrümi hemişelik basyşda  $n = 2,2$  esse ulaldy. Gazyň başlangyç temperaturasy  $T_0 = 1650K$  bolsa, onuň temperaturasynyň üýtgemesini tapmaly.

**4.27.** Gazyň  $t_0 = 0^\circ C$  temperaturadaky dykzlygy bilen deňşdireniňde onuň dykzlygynyň  $n = 2$  esse kiçeler ýaly, ony haýsy temperatura çenli izobarik gyzdymaly?

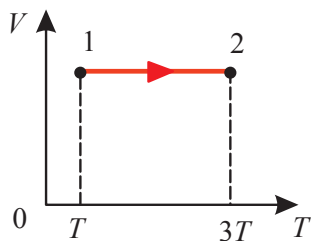
**4.28.** Göwrümi  $V = 10^3 m^3$  bolan goraýjy klapany gapda  $t_1 = 15^\circ C$  temperaturada we  $p = 10^5 Pa$  basyşda wodorod saklanýar. Gap  $t_2 = 37^\circ C$  temperatura çenli gyzdyrylanda, klapandan wodorodyň bir bölegi çykýar, netijede basyş üýtgemeyär. Gapdan çykan wodorodyň  $\Delta m$  massasyny kesgitlemeli.

**4.29.** Silindr görnüşli tüsse turbasy boýunça ýanan gazlaryň garyndysy ýokary galýar. Turbanyň aşaky böleginde olaryň temperaturasy  $T_1 = 1073K$ , tizligi bolsa  $\vartheta = 6m/s$ . Turbanyň ýokarky böleginde gazlar  $T_2 = 423K$  temperatura çenli sowaýan bolsa, bu ýerde gazlaryň tizligi näçe bolar? Turbada basyşyň üýtgemesini hasaba almaly däl.

**4.30.** Izobarik hadysada gazyň dykzlygynyň üýtgemek grafigini we izotermik hadysada gazyň dykzlygynyň basyşa baglylyk grafigini çyzmaly.

**4.31.** Ideal gazyň käbir massasynyň göwrümi  $\Delta T = 10K$  -e izobarik gyzdyrylmada başlangyç ululygyndan  $\alpha = 0,03$  bölege ulaldy. Gazyň başlangyç temperaturasyny kesgitlemeli.

**4.32.** 4.3-nji suratdaky  $(V, T)$  koordinatalarda hemişelik basyşda we hemişelik göwrümde ideal gaz bilen geçirilen ýagdaý görkezilen. Bu ýagdaýda ideal gazyň massasy nähili üýtgedi?



4.3-nji surat

## 5. IZOHORIK HADYSA

### Esasy kanunlar we formulalar

Islendik  $m$  massaly gaz üçin Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesi:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT. \quad (5.1)$$

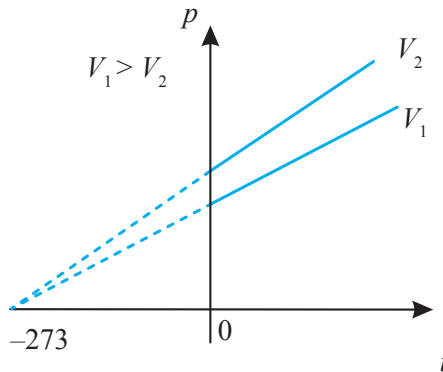
$m = \text{hemişelik}$ ,  $V = \text{hemişelik}$  bolanda (5.1) deňlemeden

$$\frac{p}{T} = \text{hemişelik}. \quad (5.2)$$

Bu fransuz alymy Şarlyň kanunydyr. Şarl bu kanuny Geý-Lýussakdan 15 ýyl öň, 1787-nji ýylda çaklama görnüşinde aýdandygy üçin, muňa käwagtlar Geý-Lýussagyň kanuny hem diýilýär. Bu kanun hemişelik göwrümi bolan  $m$  massaly gazyň basyşynyň absolýut temperatura baglylykda üýtgeýändigini görkezýär. Gazyň iki haly üçin (5.2) deňlemäni şeýle ýazmak bolýar:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Basyşyň temperatura baglylykda üýtgemegi 5.1-nji suratda şekillendirilen.



5.1-nji surat

Bu ýerde  $V_1 > V_2 > \dots$  dürli göwrümlerdäki izohorolardyr (izo – hemişelik, horos – göwrüm).

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**5.1-nji mesele.** Temperaturasy  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  bolan  $m = 20\text{ g}$  mas-saly gaz  $V = 6\text{ l}$  göwrümi eýeleýär. Gaz hemişelik göwrümde gyzdry-landan soň, onuň dykzlygy  $\rho = 0,5\text{ kg/m}^3$  boldy. Gaz nähili  $T_2$  tem-peratura çenli gyzdrylan?

**Berlen:**  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 300\text{ K}$ );  $m = 20\text{ g}$  ( $2 \cdot 10^{-2}\text{ kg}$ );  
 $V = 6\text{ l}$  ( $6 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ );  $\rho = 0,5\text{ kg/m}^3$ .

**Tapmaly:**  $T_2$ .

**Çözülişi.** Gazyň basyşyny hemişelik diýip kabul edip Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesinden peýdalanalyň we ony gazyň iki haly üçin ýazalyň:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1, \quad (5.3)$$

$$pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2. \quad (5.4)$$

Gaz gyzdrylandan soň gazyň dykzlygy belli bolany üçin (5.4) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$p = \frac{m}{V_2} \frac{RT_2}{\mu} = \frac{\rho_2 RT_2}{\mu},$$

bu ýerde

$$T_2 = \frac{p\mu}{\rho_2 R}.$$

Basyşy (5.3) deňlemeden kesgitlemeli:

$$p = \frac{mRT_1}{\mu V_1}.$$

Soňky deňlemeden peýdalanyp, gyzdrylan gazyň temperatu-rasyny aşakdaky görnüşde kesgitlemeli:

$$T_2 = \frac{mRT_1}{\mu V_1} \frac{\mu}{\rho_2 R} = \frac{mT_1}{\rho_2 V_1}.$$

Berlen ululyklary formulada ornuna goýup, taparys:

$$T_2 = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 300}{0,5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 2000 K.$$

**5.2-nji mesele.** Hemişelik göwrümde  $\Delta T = 3K$  -e çenli gaz gyzdyrylanda, onuň basyşy başlangyç basyşdan  $\alpha = 1\%$ -e çenli artdy. Gazyň başlangyç temperaturasyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $\Delta T = 3K$ ;  $\alpha = 1\%$ .

**Tapmaly:**  $T_1$

**Çözülişi.** Massasy hemişelik bolan gaz izohorik gyzdyrylanda, Şarlyň kanunyna boýun egýär:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Gazyň başlangyç  $p_1$  basyşy  $\alpha = 1\%$ -e çenli artdy ( $\Delta p = \alpha p_1$ ,  $\alpha = 0,01$ ), onda onuň soňky basyşy:

$$p_2 = p_1 + \Delta p = p_1(1 + \alpha).$$

Şoňa meňzeşlikde  $T_2$  temperatura  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} = 1 + \alpha$  esse başlangyç  $T_1$  temperaturadan ýokary bolar.

Meselede berlen  $T_2 - T_1 = \Delta T$  ululyklary peýdalanyp, alarys:

$$T_1(1 + \alpha) - T_1 = \Delta T \text{ ýa-da } T_1 = \frac{\Delta T}{\alpha} = 300 K.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**5.1.** Gaz  $t_1 = 100^\circ C$  temperaturada gapda saklanýar. Basyş 2 esse ulalar ýaly gazy näçe temperatura çenli gyzdyrmaly?

**5.2.** Gaz hemişelik göwrümde  $\Delta T = 1K$  temperatura gyzdyrylanda basyş  $0,2\%$  ulaldy. Gazyň başlangyç temperaturasy näçe?

**5.3.** Ammarda ýerleşýän gapda  $p_1 = 3,1 MPa$  basyşda we  $t_1 = 6^\circ C$  temperaturada gaz saklanýar. Temperaturany üýtgetmän gazyň ýarty bölegini harçlap, gaby otaga geçirdiler. Eger hemişelik göwrümde gazyň basyşy birnäçe wagtdan soň ulalyp  $p_2 = 1,6 MPa$ -a deň bolsa, onda otagdaky  $T_2$  temperaturany kesgitlemeli.



**5.4.** Dik ýerleşdirilen silindr görnüşli gap  $M = 2\text{ kg}$  massaly süýşýän porşen bilen ýapylan we özünde  $T_1 = 300\text{ K}$  temperaturada ideal gazy saklaýar. Porşeniň üstüne  $m = 100\text{ g}$  massaly jisim goýýarlar we porşen başlangyç ýagdaýyna geler ýaly gazy gyzdýrýarlar. Gyzdýrylan gazyň  $T_2$  temperaturasyny tapmaly. Atmosfera basyşyny hasaba almaly däl.

**5.5.** Meýdany  $S = 100\text{ cm}^2$  bolan agramsyz porşen bilen beklenen silindrde gaz saklanýar.  $T_1 = 280\text{ K}$  temperaturada porşeniň üstüne  $m = 10\text{ kg}$  massaly çekuw daşy goýlandan soň porşen aşak süýşdi. Porşen öňki ýagdaýyna geler ýaly silindrdäki gazy näçe  $\Delta T$  temperatura çenli gyzdymaly? Atmosfera basyşy  $p_0 = 101\text{ kPa}$ .

**5.6.** Kadaly atmosfera basyşda temperatura  $T_1 = 280\text{ K}$  -den  $T_2 = 300\text{ K}$  -e çenli ýokarlananda, göwrümi  $V = 60\text{ m}^3$  bolan otagdan howanyň näçe  $\Delta m$  massasy çykar? Kadaly şertlerde howanyň dykyzlygy  $\rho_0 = 1,25\text{ kg/m}^3$ .

**5.7.** Ideal gazyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi ýapyk gapda  $n = 1,5$  esse ulaldy. Gazyň basyşy näçe göterim artdy?

**5.8.** Dyky bilen beklenen çüýşe gabyň içindäki howanyň temperaturasy  $t_1 = 7^\circ\text{C}$ , basyşy  $p = 0,1\text{ MPa}$  -a deň. Dykynyň atylp çykmagy üçin çüýşe gabyň içindäki howany näçe  $\Delta T$  temperatura çenli gyzdymaly? Howany gyzdymazdan dykyny  $F = 30\text{ N}$  güýç bilen täsir edip çykaryp bolýar. Dykynyň kese keseginiň meýdany  $S = 2\text{ cm}^2$ .

**5.9.** Otagy doldurýan howanyň gyşdaky ( $t_1 = 7^\circ\text{C}$ ) dykyzlygy, onuň tomusdaky ( $t_2 = 37^\circ\text{C}$ ) dykyzlygyndan näçe esse uly? Gazyň basyşyny hemişelik diýip hasaplamaly.

**5.10.** Suwuň ýüzündäki howa köpürjiginiň radiusy haýsy  $h$  çuňlukda 2 esse kiçi bolar? Atmosfera basyşy  $p_0 = 10^5\text{ Pa}$ , suwuň temperaturasyny hemişelik diýip kabul etmeli.

**5.11.** Temperaturasy  $T$  bolan käbir mukdarly gazy özünde saklaýan  $L$  uzynlykly silindr görnüşli probirka  $\rho$  dykyzlykly suwuklyga doly çümdürilen. Probirkanyň düýbi suwuklygyň üstüne degýär we suwuklyk probirkanyň ýarysyny doldurýar. Probirkanyň aýyk ujuny suwuklygyň üstüne çala deger ýaly ýokaryk galdyrýarlar. Suwuklyk ýene-de probirkanyň ýarysyny doldurar ýaly probirkadaky gazyň temperaturasyny nähili üýtgetmeli? Atmosfera basyşy  $p_0$  -a deň.

**5.12.** Göwrümi  $V$  bolan awtomobil kamerasynyň basyşyny  $p_1$  -den  $p_2$ -ä çenli ýetirmek üçin nasosyň näçe sikl işlemelidigini kesgitlemeli. Nasosyň kamerasynyň göwrümi  $V_0$ . Atmosfera basyşy  $p_0$ . Howanyň temperaturasy hemişelik.

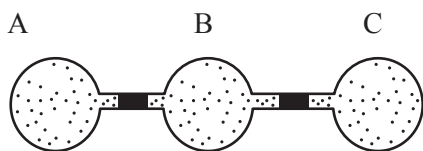
**5.13.** Iki sany birmeňzeş gap  $T_1$  temperaturada kislorod bilen doldurylan we göwrümi örän kiçi bolan turbajyk arkaly özara birikdirilen. Eger olaryň birini  $T_2$  temperatura çenli gyzdyryp, beýlekisini  $T_1$  temperaturada saklasaň, gaplardaky basyş näçe esse üýtgär?

**5.14.** Uzynlygy  $l = 1m$  bolan iki ujy hem ýapyk gorizontal ýerleşdirilen turbajygyň merkezinde süýşýän diwarjyk deňagramlylykda saklanýar. Diwarjygyň çep tarapynda gazyň temperaturasy  $t_1 = 100^\circ C$ , sag tarapynda bolsa şol bir gazyň temperaturasy  $t_2 = 0^\circ C$ . Ýylylyk çalşykdan soň, turbajygyň iki böleginde hem temperatura birmeňzeş bolsa, turbajygyň çep ujundan näçe aralykda diwarjyk ýerleşer?

**5.15.** Göwrümi  $V = 10^3 m^3$ -a deň bolan howa şary geliý bilen doldurylan. Normal şertlerde howa şary  $m_1 = 10^3 kg$  massaly ýüki galdyryp bilýär. Eger şol bir göwürümde we temperaturada şaryň içindäki geliýni wodorod bilen çalşyrsaň, ol nähili massaly ýüki galdyryp biler?

**5.16.** Göwrümi  $V = 240 m^3$  bolan howa şary temperaturasy  $T_{H_2} = 300K$ -e deň bolan wodorod gazy bilen doldurylanda, ol massasy  $m = 300 kg$ -a deň bolan peýdaly ýüki galdyryp bilýär. Eger howa şarynyň içindäki wodorody  $T_h = 400K$  temperaturadaky gyzgyn howa bilen çalşyrylsa, ol näçe ýüki galdyrar? Wodorodyň göterip bilýän massasyna deň bolan massany howaly şaryň götermegi üçin howany näçe gyzdymaly? Howanyň molýar massasy  $\mu = 29 g/mol$ .

**5.17.** Üç sany birmeňzeş A, B, C şarlar deň uzynlykly we deň kesikli (diametrli) turbajyk bilen birikdirilen (5.2-nji surat). Turbalaryň içinde simap damjalary ýerleşýär. Başlangyç ýagdaýda ( $t_1$  temperatura)

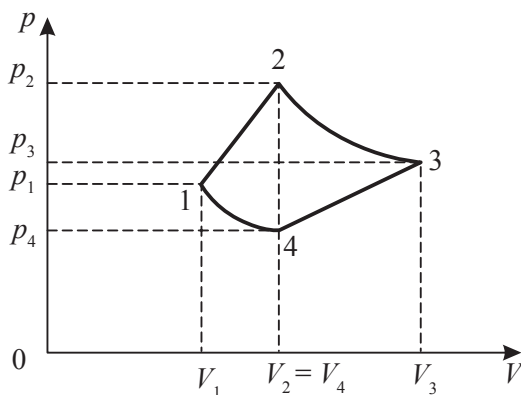


5.2-nji surat

simap damjalary her bir şardaky we turbajykdaky simap damjalaryna çenli bölegindäki howanyň göwrümi  $V_1$  göwürüme deň bolar ýaly ýerleşdirilen. Eger B şary  $\Delta T$  temperatura, C

şary bolsa  $2\Delta T$  temperatura çenli gyzdyrylsa, simap damjalary nirä we näçe aralyga süýşer? Turbajyklaryň kese kesiginiň meýdany  $S$ ,  $\Delta T \ll T_1$  diýip hasaplamaly.

**5.18.** 5.3-nji suratda şekillendirilen  $p - V$  diagrammada ideal gaz bilen geçirilen siklleýin proses görkezilen. 1-2 we 3-4 bölekler koordinatalar başlangyjyndan geçýän gönüde ýatýarlar. 4-1 we 2-3 bölekler izotermalar. Eger-de  $V_1$  we  $V_2$  göwrümler belli,  $V_2$  we  $V_4$  göwrümler bolsa deň bolsa,  $V_3$  göwrümi tapmaly. Siklleýin prosesini  $V - T$  diagrammada şekillendirmeli.



**5.3-nji surat**

**5.19.** Hemişelik basyşda we göwrümde gapdan ideal gazyň  $\alpha = 1/4$  bölegi çykarylsa, soňra bolsa hemişelik basyşda gapdaky temperatura  $\beta = 6$  esse ulaldylsa, ideal gazyň molekulalarynyň arasyndaky orta aralyk näçe esse üýtgär?

**5.20.** Göwrümi  $V = 800m^3$  bolan howa şarynyň gabygy  $T_1 = 273K$  temperaturada wodorod bilen doldurylan. Temperatura  $T_2 = 293K$ - e çenli ýokarlananda, şaryň ýokary göteriji güýji näçe esse üýtgär? Gabygyň aşaky böleginde wodorod daşky gurşawa çykyp biler ýaly yş bar. Howa şaryň gabygynyň göwrümini hemişelik we daşky basyşy kadaly diýip hasap etmeli.

**5.21.** Maşynyň şinasyndaky howanyň basyşy  $T_1 = 270K$  temperaturada  $p_1 = 1,8atm$  bolsa, temperatura  $\Delta T = 30K$ -e ýokarlananda, şinadaky howanyň basyşy näçe üýtgär? Göwrümiň üýtgemegini hasaba almaly däl.

**5.22.** Ideal gazyň başlangyç ýagdaýy  $V_0$  göwrüm,  $p_0$  basyş we  $T_0$  temperatura bilen kesgitlenýär. Başda, gazy  $V_1$  göwrüme çenli izobarik giňelmä sezewar etdiler, soňra  $p_2$  basyşa çenli hemişelik göwrümde gyzdýrdylar. Ahyrky ýagdaýda gazyň  $R_2$  temperaturasy näçä deň?

## 6. JISIMLERIŇ ÝYLYLYK DAN GIŇELMEGI. TEMPERATURA WE ONY ÖLÇEMEK

### Esasy kanunlar we formulalar

- Gysylmaklygyň izotermiki koeffisiýenti:

$$\gamma_T = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

bu ýerde  $V$  – gazyň başlangyç göwrümi.

Ideal gazda bu koeffisiýenti getirip çykarmak üçin Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesini hemişelik temperatura üçin ýazalyň:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT; \quad T = \text{const}; \quad pV = \text{const}$$

we ony differensirläp alarys:

$$d(pV) = 0; \quad p dV + V dp = 0; \quad p dV = -V dp;$$

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} = -\frac{1}{p} = \gamma_T.$$

«–» alamaty göwrümiň ulalmagy bilen basyşyň peselýändigini aňladýar.

- Göwrümine giňelmek koeffisiýenti:

$$\alpha_V = \frac{1}{V_0} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p,$$

bu ýerde  $V_0$  –  $0^\circ\text{C}$  temperaturadaky gazyň göwrümi.

Indi bolsa, hemişelik basyşda we üýtgeýän temperaturada saklanýan hyýaly gaz üçin Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesini ýazalyň:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT; \quad p = \text{const}; \quad \frac{V}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{R}{p} = \text{const}.$$

Bu deňlemäni differensirläp, alarys:

$$d\left(\frac{V}{T}\right) = 0; \quad T dV - V dT = 0; \quad T dV = V dT;$$

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dT} = \frac{1}{T} = \alpha_v.$$

- Basyşyň temperatura koeffisiýenti:

$$\beta = \frac{1}{p_0} \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v,$$

bu ýerde  $p_0 - 0^\circ\text{C}$  temperaturadaky gazyň basyşy.

Haçanda gazyň göwrümi hemişelik bolanda Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT; \quad V = \text{const}; \quad \frac{p}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{R}{V} = \text{const}.$$

Alnan deňlemäni differensirläp alarys:

$$d\left(\frac{p}{T}\right) = 0; \quad T dp - p dT = 0; \quad T dp = p dT;$$

$$\frac{1}{p} \frac{dp}{dT} = \frac{1}{T} = \beta.$$

- $\alpha$ ,  $\beta$  we  $\gamma$  koeffisiýentleriň arasyndaky baglanyşyk:

$$\frac{V_0}{p_0 V} \frac{\alpha}{\beta \gamma} = 1.$$

- Gaty jisimiň uzynlyk ölçegleriniň temperatura baglylygy:

$$l = l_0 (1 + \alpha_l \Delta t)$$

bu ýerde  $\alpha_l$  – uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti;

$l - t^\circ\text{C}$  temperaturadaky jisimiň uzynlyk ölçegi;

$l_0 - 0^\circ\text{C}$  temperaturadaky jisimiň uzynlyk ölçegi.

- Gaty jisimiň we suwuklygyň göwrüminiň we dyklygynyň temperatura baglylygy:

$$V = V_0 (1 + \alpha_v \Delta t) \quad \text{we} \quad \rho = \frac{\rho_0}{(1 + \alpha_v \Delta t)}$$

bu ýerde  $\alpha_v$  – göwrümine giňelmek koeffisiýenti;

$V$  we  $\rho - t^\circ\text{C}$  temperaturadaky jisimiň (suwuklygyň) göwrümi we dyklygy;

$V_0$  we  $\rho_0 - 0^\circ\text{C}$  temperaturadaky jisimiň (suwuklygyň) göwrümi we dyklygy.

Temperatura düşünjesine aýdyň düşünmek üçin başda hemme ideal gazlar üçin hemişelik bolan

$$\frac{pV}{N} = \theta$$

aňlatmanyň joullarda hasaplanylýan ululykdygyny düşündirmeli. Soňra bolsa, bu deňligi özgerdip we molekulýar-kinetik teoriýanyň esasy deňlemesini ulanyp,

$$\frac{pV}{N} = \frac{p}{\frac{N}{V}} = \frac{p}{n} = kT$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu iki aňlatmanyň çep taraplarynyň deňdigini göz önüne tutup  $\theta = kT$  alarys. Bu ýerden bolsa Bolsmanyň hemişeliginiň joullarda hasaplanylýan energiýa bilen graduslarda aňladylýan temperaturany özara birikdiriji hemişelikdigi gelip çykýar:

$$k = \frac{\theta}{T} \Rightarrow T = \frac{\theta}{k}.$$

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly temperatura şol gazyň (ulgamyň) energiýasynyň Bolsmanyň hemişeligine gatnaşygyna deňdir.

Gaz termometrleri iş ýüzünde ulanmaklyga amatsyz bolany üçin olar diňe nusga hökmünde saklanylýar. 1724-nji ýylda golland fizigi G.Farangeýt öz adyny göterýän temperatura şkalasyny döretdi. Bu şkalanyň noly hökmünde agyz suwunyň, buzuň we deňiz suwunyň garyndysynyň iň pes temperaturasy kabul edilen. Bu şkalanyň ýokarky daýanç nokady hökmünde Farangeýt adam bedeniniň temperaturasyny hasap edip alypdyr. Bu şkala ABŞ-da we käbir beýleki döwletlerde giňden ulanylýar. Selsiý şkalasy bilen Farangeýt şkalasynyň aşakdaky ýaly baglanyşygy bar:

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32), \quad t_F = \frac{9}{5}t_C + 32.$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**6.1-nji mesele.** Özara gatnaşykly gaplaryň biri temperaturasy  $t = 20^\circ\text{C}$ -ä deň bolan suwuklyk bilen  $H_0 = 10\text{ sm}$  beýiklige çenli doldurylan. Eger-de suwuklygyň temperaturasy  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$  ýokar-

lansa gaplardaky suwuklygyň derejesiniň tapawudy näçä deň bolar? Suwuklygyň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 2,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Gaplaryň giňelmegini hasaba almaly däl.

**Berlen:**  $t = 20^\circ C$  ( $T = 293 K$ );  $H_0 = 10 sm$  ( $0,1 m$ );  $\Delta t = 10^\circ C$  ( $\Delta T = 10 K$ );  $\alpha_v = 2,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ .

**Tapmaly:**  $\Delta H$

**Çözülişi.** Gyzdyrylýan gapda suwuklyk ýylylykdan giňelende, onuň gabyň düýbüne edýän basyşy üýtgemeyär. Şol sebäpli ikinji gapdaky suwuklygyň derejesi  $H_0$  öňküsi ýaly galýar. Gatnaşykly gaplardaky suwuklygyň deňagramlylyk şerti aşakdaky görnüşde bolar:

$$\rho_0 g H_0 = \rho g H,$$

bu ýerde  $\rho$  we  $H$  – suwuklyk sütüniň gyzdyrylýan gapdaky dykzlygy we beýikligi.

Suwuklygyň dykzlygy temperatura baglylykda aşakdaky ýaly üýtgeýär:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha_v \Delta T} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{1 + \alpha_v \Delta T}{\rho_0},$$

bu ýerde  $\frac{1}{\rho}$  we  $\frac{1}{\rho_0}$  – suwuklygyň udel göwrümleri.

Ýokardaky deňlemeleri ulanyp, alarys:

$$\frac{H}{H_0} = \frac{\rho_0}{\rho} = 1 + \alpha_v \Delta T; \quad \Delta H = H - H_0 = H_0 \alpha_v \Delta T.$$

Alnan deňlemä san bahalaryny goýup alarys:

$$\Delta H = 0,1 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 2,6 \cdot 10^{-3} m = 2,6 mm.$$

**6.2-nji mesele.** Suwuklykda polat şarjagazyň agramyny ölçediler. Birinji gezek onyň agramyny  $t_1$  temperaturada ölçediler, şonda onuň suwuklykdaky agramy howadaky agramyndan  $P_1$  kiçi boldy. Ikinji gezek onuň agramyny  $t_2$  temperaturada ölçediler we onuň suwuklykdaky agramy hakyky agramyndan  $P_2$  kiçi boldy. Poladyň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l$ . Suwuklygyň göwrümine giňelmekliginiň temperatura koeffisiýentini tapmaly.



**Berlen:**  $t_1$ ;  $P_1$ ;  $t_2$ ;  $P_2$ ;  $\alpha_1$ .

**Tapmaly:**  $\alpha_v$

**Çözülüşi.** Suwuklykda jisimleriň agramy ölçenilende olaryň dinamometre täsir edýän agramy-güýji suwuklygyň göteriji güýjüne deň bolan ululyga kiçelýär. Bu güýç öz gezeginde gysyp çykarylan suwuklygyň agramyna deňdir. Gyzdyrylmada agramy ölçenilýän jisimleriň ýylylykdan giňelmesi we suwuklygyň dykzlygynyň üýtgemesi netijesinde döreýän göteriji güýç, onuň bilen birlikde suwuklykdaky jisimiň agramynyň üýtgemesi hem dürli temperaturalarda dürli bolar. Eger  $t_1$  temperaturaly suwuklyga  $V_1$  göwrümlü şarjagaz çümdürilse, onda gysyp çykarylan suwuklygyň agramy

$$P_1 = \rho_1 g V_1 \quad (6.1)$$

deň bolar.  $t_2$  temperatura üçin bu deňleme aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$P_2 = \rho_2 g V_2. \quad (6.2)$$

Bu iki deňlemäni gatnaşdyryp alarys:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2} \quad \text{ýa-da} \quad P_1 \rho_2 V_2 = P_2 \rho_1 V_1. \quad (6.3)$$

$t_1$  temperaturada suwuklygyň  $\rho_1$  dykzlygyny we  $V_1$  göwrümini aşakdaky deňleme bilen aňladyp bolar:

$$\begin{aligned} \rho_1 &\approx \rho_0 (1 - \alpha_v t_1), \\ V_1 &= V_0 (1 + 3\alpha_1 t_1), \end{aligned} \quad (6.4)$$

bu ýerde  $\alpha_v$  – suwuklygyň göwrümine giňelmeginiň temperatura koeffisiýenti;  $3\alpha_1$  – poladyň göwrümine giňelmeginiň temperatura koeffisiýenti.

$t_2$  temperatura üçin hem ýokardaky meňzeşlikde alarys:

$$\begin{aligned} \rho_2 &\approx \rho_0 (1 - \alpha_v t_2), \\ V_2 &= V_0 (1 + 3\alpha_1 t_2). \end{aligned} \quad (6.5)$$

(6.4) we (6.5) deňlemeleri (6.3) deňlemede ornuna goýup,  $\alpha_v$  – suwuklygyň göwrümine giňelmeginiň temperatura koeffisiýentini taparys:

$$\alpha_v = 3\alpha_l + \frac{P_1 - P_2}{(P_1 t_2 - P_2 t_1)}.$$

Derejesi birden uly bolan ýylylykdan giňelme koeffisiýentlerini ( $\alpha_l \cdot \alpha_v$ ) özünde saklaýan agzalaryň gaty kiçiligi sebäpli olar hasaba alnan dälär.

**6.3-nji mesele.** Esasynyň meýdany  $S = 10 \text{ sm}^2$  bolan silindrde iki sany porşen sürtülmesiz erkin hereket edip bilýär. Porşenleriň arasynda ideal gaz saklanýar, sagynda we çepinde bolsa wakuum bar. Porşenler gabyň diwarlary hem-de puržinler bilen birikdirilen. Puržinleriň gatylyk koeffisiýentleri  $k_1 = 100 \text{ N/m}$  we  $k_2 = 5 \text{ N/m}$ .  $T_0 = 300 \text{ K}$ ; temperaturada basyş  $p_0 = 0,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ; we porşenleriň arasyndaky uzaklyk  $l = 10 \text{ sm}$ . Bu uzaklyk  $L = 12 \text{ sm}$ -e çenli ulanda gazyň  $T$  temperaturasy nähili bolar?

**Berlen:**  $S = 10 \text{ sm}^2 (10^{-3} \text{ m}^2)$ ;  $k_1 = 100 \text{ N/m}$ ;  $k_2 = 5 \text{ N/m}$ ;  $T_0 = 300 \text{ K}$ ;  $p_0 = 0,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ;  $l = 10 \text{ sm} (0,1 \text{ m})$ ;  $L = 12 \text{ sm} (0,12 \text{ m})$ .

**Tapmaly:**  $T$ .

**Çözülişi.** Gazyň başlangyç we ahyrky ýagdaýlary üçin deňlemeler aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$p_0 l S = \nu R T_0, \quad p L S = \nu R T. \quad (6.6)$$

Bu deňlemeleri gatnaşdyryp,  $T$  temperaturany taparys:

$$T = T_0 \frac{p L}{p_0 l}. \quad (6.7)$$

Porşenleriň deňagramlylyk şertine görä:

$$(p - p_0) S = k_1 \Delta l_1 = k_2 \Delta l_2, \quad (6.8)$$

bu ýerde  $\Delta l_1$  we  $\Delta l_2$  – çep we sag porşenleriň süýşmesi. Bu ýerden  $p$  basyşy tapalyň:

$$p = \frac{k_1 \Delta l_1}{S} + p_0. \quad (6.9)$$

Çep we sag porşenleriň süýşmeleriniň jemi  $\Delta l_1 + \Delta l_2 = L - l$ -e deň bolar. (6.8) deňlemeden  $\Delta l_2$ -ni tapyp,  $\Delta l_1$  üçin deňlemäni alarys:

$$\begin{aligned}\Delta l_2 &= \frac{k_1 \Delta l_1}{k_2}, \\ \Delta l_1 + \frac{k_1 \Delta l_1}{k_2} &= L - l, \quad \Delta l_1 \left( \frac{k_1 + k_2}{k_2} \right) = L - l, \\ \Delta l_1 &= \frac{k_2 (L - l)}{k_1 + k_2}.\end{aligned}\tag{6.10}$$

(6.7), (6.9) we (6.10) deňlemeleri birleşdirip, gazyň  $T$  temperaturasy taparys:

$$T = T_0 \frac{L}{l p_0} \left( \frac{k_1 \Delta l_1}{S} + p_0 \right) = T_0 \frac{L}{l} \left( \frac{k_1 k_2 (L - l)}{S p_0 (k_1 + k_2)} + 1 \right).$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup, alarys:

$$T = \frac{300 \cdot 0,12}{0,1} \left( \frac{100 \cdot 5 \cdot (0,12 - 0,1)}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^4 \cdot (100 + 5)} + 1 \right) = 417,6 K.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**6.1.** Atyr çüýşesiniň bokurdagynda galan aýna dykynyň diametri  $d_0 = 2,5 sm$ . Dykyny çykarmak üçin çüýşäniň bokurdagyny  $t_1 = 150^\circ C$  temperatura çenli gyzdylanlygynda, dykynyň özi  $t_2 = 50^\circ C$  temperatura çenli gyzdy. Bu ýagdaýda dyky bilen çüýşäniň bokurdagynyň arasynda nähili  $l$  yş döredi? Aýnanyň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ .

**6.2.** Özara gatnaşykly gaplar  $t_1 = 10^\circ C$  temperaturaly suwuklyk bilen  $h_1 = 10 sm$  beýiklige çenli doldurylan. Gaplaryň birindäki suwuklygy  $t_2 = 30^\circ C$  temperatura çenli gyzdylanlygynda, gapdaky suwuklygyň derejesi  $h_2 = 15 sm$  beýiklige galdy. Suwuklygyň  $\alpha_v$  göwrümüne giňelmek koeffisiýentini tapmaly.

**6.3.** Simap termometriniň aýna şarjagazyň  $V_0$  göwrümünü kesgitlemeli.  $t_0 = 0^\circ C$  temperaturada simap diňe şarjagazy doldurýar,  $t_0 = 0^\circ C$  we  $t_1 = 100^\circ C$  temperaturalara laýyk gelýän bölünmeleriň arasyndaky termometriň turbajygynyň göwrümi bolsa  $V = 3 mm^3$ . Aýnanyň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , simabyň göwrümüne giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 1,8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ .

**6.4.** Temperaturasy  $T_0 = 273 K$  bolan mis çyzgyjyň uzynlygy  $l_{01} = 78 sm$ -e, demir çyzgyjyňky  $l_{02} = 78,2 sm$ -e deň. Misiň we de-

mriň uzynlygyna giňelmek koeffisiýentleri  $\alpha_{t_1} = 1,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$  we  $\alpha_{t_2} = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ . Haýsy temperaturada çyzgyçlaryň uzynlyklary deňleşer?

**6.5.** Termostatyň temperaturasyny ölçemek üçin  $t_1 = 18^\circ C$  temperaturada  $R_1 = 15 \text{ Om}$  garşylygy bolan demir simjagazy ulandy-lar. Termostatda onuň garşylygy  $R_2 = 18,25 \text{ Om}$  -a deň boldy. Eger demriň garşylygynyň temperatura koeffisiýenti  $\alpha_R = 0,006^\circ C^{-1}$ -ä deň bolsa, onda termostatyň temperaturasyny tapmaly.

**6.6.** Garalanan platina zolagyndan taýýarlanan çyzykly bolometriň garşylygy  $R = 108 \text{ Om}$ . Eger garşylyklar  $\Delta R = 0,001 \text{ Om}$  takyk-lykda kesgitlenýän bolsa, onda şeýle bolometr bilen  $\Delta t$  temperatura-ny haýsy takyklykda ölçäp bolar? Platinanyň garşylygynyň tempera-tura koeffisiýenti  $\alpha_R = 0,0039^\circ C^{-1}$ .

**6.7.** Aýnanyň göwrümüne giňelmek koeffisiýentini kesgitlemek üçin uly bolmadyk aýna gaby ilki boşlugyna, soňra bolsa, onuň ähli göwrümüne  $0^\circ C$  we  $t$  temperaturalarda ony doldurmak üçin zerur bolan simaby guýup çekýärler. Goý simabyň görkezilen temperaturalar-daky massasy  $m_0$  we  $m_1$  bolsun. Eger simabyň göwrümüne giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v$  bolsa, onda aýnanyň  $\alpha_v$  göwrümüne giňelmek koef-fisiýentini kesgitlemeli.

**6.8.** Göwrümüne giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v$  bolan aýna şarjagaz  $t$  we  $t_1$  temperaturaly suwuklykda çekilýär. Şonda gysylýp çykary-lan suwuklyklaryň massasy degişlilikde  $m$  we  $m_1$ -e deň boldy. Suwuklygyň  $t$  we  $t_1$  interwaldaky  $\alpha_v$  göwrümüne giňelmek koef-fisiýentini kesgitlemeli.

**6.9.** Suwuklygyň hakyky göwrümüne giňelmek koeffisiýentini kesgitlemek üçin aşakdaky usul ulanylýar. Barlanylýan suwuklyk bilen özara gatnaşykly gaplar doldurylýar. Birmeňzeş temperaturada gaplardaky suwuklyklaryň derejesi deňdir. Haçanda gaplaryň birini ereýän buzda, beýlekisini gaýnaýan suwda ýerleşdirsek, onda atmos-fera basyşynda deňagramlylyk ýagdaýynda gaplardaky suwuklyklaryň derejeleri dürli bolar. Bu tapawut boýunça suwuklygyň göwrümüne giňelmek koeffisiýentini tapmaly.

**6.10.** Parawozyň tigriniň radiusy  $t_0 = 0^\circ C$  temperaturada  $r_0 = 1m$ -e deňdir. Parawoz tomsuna  $t_1 = 25^\circ C$  we gysyna  $t_2 = -25^\circ C$  temperaturada  $l = 100km$  ýoly geçende, onuň tigriniň aýlaw sanynyň

tapawudyny kesgitlemeli. Tigriň metalynyň uzynlyga giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**6.11.** Kwarsdan, onuň okuna parallel edip,  $t_1$  temperaturada  $r$  radiusly tegelek plastinka kesilip alnan. Plastinkanyň  $t_2$  temperatura-daky  $S$  meýdanyny kesgitlemeli. Kwarsyň oka parallel giňelme koeffisiýenti  $\alpha_{t_1}$  we oňa perpendikulýar bolsa  $\alpha_{t_2}$ -e deňdir.

**6.12.** Temperaturasy  $0^\circ\text{C}$ -e we basyşy atmosfera basyşyna deň bolan simabyň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 18 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , gysylma koeffisiýenti  $\gamma = 39 \cdot 10^{-7} \text{ atm}^{-1}$ . Simap üçin  $\beta$  basyşyň temperatura koeffisiýentini kesgitlemeli.

**6.13.** Kese kesiginiň meýdany  $S = 1 \text{ sm}^2$  bolan polat sterženini  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$  gyzdyrylanda näçä uzalýan bolsa, ony şonça uzaltmak üçin, oňa näçe  $F$  güýç goýmaly? Polat sterženiniň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , Ýunguň moduly  $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/sm}^2$ .

**6.14.** Uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_h$  bolan materialdan ýasalan  $l_{01}$  uzynlykly steržen bilen uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_{l_2}$  bolan materialdan ýasalan  $l_{02}$  uzynlykly sterženi birikdirdiler. Netijede,  $l_{01} + l_{02}$  uzynlykly steržen emele geldi. Bu sterženiň  $\alpha_l$  uzynlygyna giňelmek koeffisiýentini kesgitlemeli.

**6.15.** Radiusy  $r = 2 \text{ sm}$  bolan mis şarjagazyny kerosiniň içine salyp, kerosini  $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ -e gyzdysaň, mis şarjagazynyň  $\Delta P$  agramy näçä üýtgär? Misiň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , kerosiniň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 0,001 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada kerosiniň dykzlygy  $\rho = 0,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**6.16.** Göwrümi  $V_0 = 70 \text{ l}$  bolan maşynyň polat benzobagy  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  temperaturada benzin bilen doldurylan. Günüň aşagynda duran maşynyň bagy  $t_2 = 50^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzan bolsa, bakdan näçe  $\Delta V$  benzin döküler? Benziniň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 0,001 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , poladyň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**6.17.** Polat we latun plastinkalardan ybarat bolan bimetal plastinkany  $\Delta t = 80^\circ\text{C}$ -e gyzdyranlaryndan soň, onuň  $R$  egrilik radiusyny kesgitlemeli. Bimetal plastinkany düzýän polat we latun plastinkalaryň uzynlygyna giňelmek koeffisiýentleri degişlilikde

$\alpha_{l_1} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  we  $\alpha_{l_2} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , her biriniň galyňlygy bolsa  $d = 0,2 \text{ sm}$ .

**6.18.** Polat we mis sterženleriň uzynlyklarynyň tapawudy islen-dik temperaturada  $\Delta l = 10 \text{ sm}$  bolar ýaly  $0^\circ\text{C}$  temperaturada olaryň  $l_{0_1}$  we  $l_{0_2}$  uzynlyklary nähili bolmaly? Poladyň we misiň uzyn-lygyna giňelmek koeffisiýentleri deňişlilikde  $\alpha_{l_1} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  we  $\alpha_{l_2} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**6.19.** Simap barometriniň latun şkalasy  $0^\circ\text{C}$  temperaturada barlandy.  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  temperaturada barometr  $p_0 = 760 \text{ mm.sim.süt.}$  basyş görkezýär. Bu temperaturada hakyky  $p_{\text{atm}}$  atmosfera basyşy näçe? Aýnanyň giňelmesini hasaba almaly däl. Latunyň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  we simabyň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

**6.20.**  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  temperaturada açyk demir gabyň içine  $V_1 = 20 \text{ l}$  benzin guýanlarynda gap doldy. Bu gaby  $t_2 = 30^\circ\text{C}$  temperaturaly otagda ýerleşdirseň, içi benzinli gabyň  $\Delta m$  massasy näçä üýtgär? Demriň uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , benziniň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , benziniň dykzlygy  $\rho_0 = 800 \text{ kg/m}^3$ .

**6.21.** Ideal gazyň göwrümi  $\alpha = 10\%$  kiçeldilende, temperatu-rasy bolsa  $\Delta T = 16 \text{ K}$ -e ýokarlandyrylanda, onuň basyşy  $\beta = 20\%$  ulaldy. Gazyň başlangyç temperaturasy nähili?

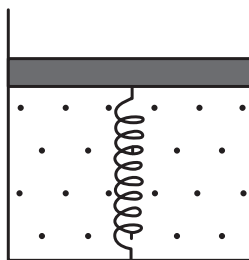
**6.22.** Bir ujy ýapylan  $L$  uzynlykly silindr görnüşli turba, onuň ýapyk ujy suwuň derejesi bilen deňleşýänçä, suwa çümdürilýär. Turbanyň içindäki howa bilen suwuň temperaturasy deňleşende, turbanyň içindäki suw  $2L/3$  beýiklige galdy. Eger suwuň temperatu-rasy  $T$ , başlangyç basyşy  $p_0$  bolsa, turbadaky howanyň başlangyç  $T_0$  temperaturasyny tapmaly.

**6.23.**  $t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada we  $p = 2 \text{ atm}$  basyşda göwrümi  $V = 20 \text{ l}$  bolan gapda wodorod bilen geliýniň garyndysy saklanýar. Garyndynyň massasy  $m = 5 \text{ g}$  Garyndyda wodorodyň massasynyň geliýniň massasyna bolan gatnaşygyny tapmaly.

**6.24.**  $0^\circ\text{C}$  temperaturada göwrümi  $V = 30 \text{ l}$  bolan gapda ideal gaz saklanýar. Gazyň käbir bölegi daşyna çykarylandan soň, gabyň basyşy  $\Delta p = 0,78 \text{ atm}$ -a çenli peseldi (temperatura hemişelik). Çy-

karylan gazyň  $\Delta m$  massasyny kesgitlemeli. Kadaly şertlerde berlen gazyň dykzlygy  $\rho = 1,3 \text{ g/l}$ .

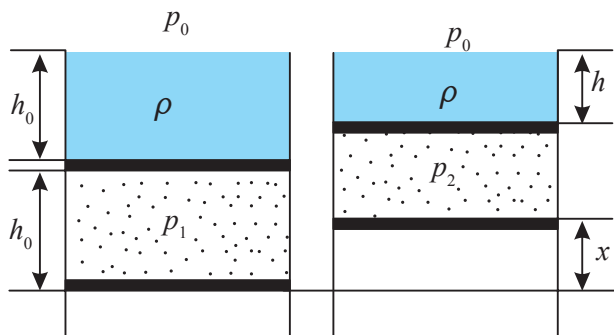
**6.25.** Wertikal ýerleşdirilen silindrde  $m = 64 \text{ g}$  massaly kislorod saklanýar. Silindriň agzy porşen bilen ýapylan, porşen bolsa silindriň düýbi bilen gatylyk koeffisiýenti  $k = 830 \text{ N/m}$  bolan puržin bilen birikdirilen.  $T_1 = 300 \text{ K}$  temperaturada porşen silindriň düýbünden  $h_1 = 1 \text{ m}$  aralykda ýerleşýär (6.1-nji surat). Porşen  $H_2 = 1,5 \text{ m}$  aralykda ýerleşer ýaly kislorody näçe  $T_2$  temperatura çenli gyzdymaly?



6.1-nji surat

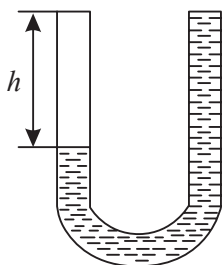
**6.26.** Üsti açyk, dik ýerleşdirilen silindriň içinde biri-birinden  $h_0$  aralykda iki sany porşen birikdirilen (6.2-nji surat). Porşenleriň arasynda gaz saklanýar. Ýokarky porşeniň üstüne silindriň agzy-na çenli  $\rho$  dykzlykly we  $h_0$  beýiklikde suwuklyk guýlan. Ýokarky porşeniň üstünde  $h < h_0$  beýiklikli suwuklyk gatlagy galar ýaly, aşaky porşeni hemişelik temperaturada  $x$  aralyga näçe galdymaly?

**6.27.** Göwrümi  $V_0 = 1 \text{ dm}^3$  bolan bitewi kub görnüşli demre  $Q = 296,4 \text{ kJ}$  ýylylyk berseň, onuň göwrümi  $\Delta V$  we temperaturasy  $\Delta T$  ululyga näçe ulalar? Demriň udel ýylylyk sygymy  $c = 460 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ , dykzlygy  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$  we uzynlygyna giňelme koeffisiýenti  $\alpha_l = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ -e deň.



6.2-nji surat

**6.28.** Temperaturasy  $0^\circ \text{C}$  bolan aýna kolbanyň içine  $m_0 = 680 \text{ g}$  simap,  $t = 100^\circ \text{C}$  temperaturada bolsa  $m = 670 \text{ g}$  simap sygýan



6.3-nji surat

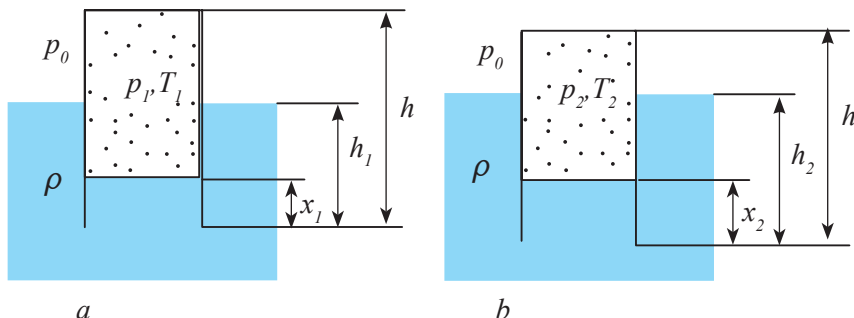
bolsa, aýnanyň  $\alpha_l$  uzynlygyna giňelme koeffi-siýenti näçe? Simabyň göwrümine giňelme koef-fisiýenti  $\alpha_v = 1,8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ .

**6.29.** Porşen bilen beklenen dik ýerleşdirilen gapda  $m_1 = 1g$  massaly azot saklanýar. Porşeniň meýdany  $S = 10sm^2$ , massasy  $M_2 = 1kg$ . Azoty  $\Delta T = 10K$  temperatura gyzdylanlarynda, porşen näçe  $\Delta h$  aralyga galar? Gabyň içinde basyş ka-daly (sürtülmäni hasaba almaly däl).

**6.30.** Bir tarapy ýapyk  $U$  görnüşli turba suw guýlanda, turbanyň içinde  $T_1$  temperaturaly howa bar bolany üçin suwuň derejesiniň tapawudy  $h$ -a deň boldy (6.3-nji surat). Suwuň derejesiniň tapawudy 2 esse kiçeler ýaly, turbanyň içindäki howanyň temperaturasy näçe bolmaly? Atmosfe-ra basyşy  $p_0$  Suwuň bugunyň basyşyny hasaba almaly däl.

**6.31.** Iki tarapy hem ýapyk dik ýerleşdirilen silindr görnüşli gap ýy-lylyk geçirmeyän porşen bilen iki bölege bölünen. Gabyň iki bölegi hem birmeňzeş mukdarly howany özünde saklaýar. Gabyň iki böleginde-de howanyň temperaturasy birmeňzeş  $T_1 = 400K$  bolanda gabyň aşaky bölegindäki  $p_2$  basyş ýokarky bölegindäki  $p_1$  basyşdan iki esse uly bol-ýar. Gabyň aşaky we ýokarky bölekleriniň göwrümleri deň bolar ýaly, aşaky bölegindäki howany haýsy  $T_2$  temperatura çenli gyzdymaly?

**6.32.** Massasy  $M$ , beýikligi  $h$  we kese kesiginiň meýdany  $S$  bo-lan silindr görnüşli bulgur  $\rho$  dykzlykly suwuklykda başaşak ýüzýär (6.4-nji surat).  $T_1$  temperaturada stakan  $h_1$  çuňluga çümýär. Bulgur  $h_2$  çuňluga çümer ýaly bulguryň içindäki howany haýsy  $T_2$  temperatura çenli peseltmeli?



6.4-nji surat



**6.33.** Iki sany diwaryň arasynda kese kesigi  $S$  bolan steržen ýerleşdirilen. Steržen birmeňzeş  $l/2$  uzynlykly iki bölekden durýar we her bölegiň uzynlygyna giňelmegiň koeffisiýentleri  $\alpha_1$  we  $\alpha_2$ . Ýunguň modullary  $E_1$  we  $E_2$ -ä deň.  $T_1$  temperaturada sterženiň uçlary diwarlara sähel degýär. Eger sterženi  $T_2$  temperatura çenli gyzdyrylsa, steržen diwarlara nähili güýç bilen täsir eder? Diwarlaryň deformasiýasyny hasaba almaly däl. Sterženleriň sepi näçe aralyga süýşer?

**6.34.** Göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\beta$  bolan aýna şarjagazy 3 gezek howada we temperaturasy  $t_1$  we  $t_2$  bolan suwuklykda terezi deňşililikde  $P$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  agramlary görkezdi. Suwuklygyň göwrümine giňelmek  $\beta_1$  koeffisiýentini kesgitlemeli.

**6.35.** Temperaturanyň iki aralygy üçin suwuň göwrümine giňelmek koeffisiýenti:  $\alpha_{v1} = -3,3 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ ,  $0^\circ C \leq t \leq 4^\circ C$ ;  $\alpha_{v2} = 4,8 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ ,  $4^\circ C \leq t \leq 10^\circ C$ .  $t_1 = 0^\circ C$  temperaturada suwuň göwrümi  $V_1 = 1l$  bolsa,  $t_2 = 10^\circ C$  temperaturada suwuň  $V_2$  göwrümini kesgitlemeli.

**6.36.** Simabyň  $t_0 = 20^\circ C$  temperaturada dykzlygy  $\rho_0 = 1,36 \cdot 10^4 kg/m^3$ , göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 0,18 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -e deň bolsa,  $t = 100^\circ C$  temperaturada simabyň dykzlygyny kesgitlemeli.

**6.37.** Nebit  $l = 8m$  beýiklikli silindr görnüşli gapda ammarda saklanýar. Nebitiň derejesi  $t_1 = -5^\circ C$  temperaturada gabyň ýokarky ujuna çenli  $h = 30sm$ -e ýetmeýär. Temperatura  $t_2 = +30^\circ C$ -e çenli ýokarlananda nebit gapdan dökülermi? Nebitiň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 1 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Gabyň giňelmesini hasaba almaly däl.

**6.38.** Göwrümi  $V_0 = 10l$  bolan demir gabyň ýokarky ujuna çenli  $t_1 = 5^\circ C$  temperaturada kerosin guýlan. Gap  $t_2 = 20^\circ C$  temperaturaly otagda ýerleşdirilse, kerosiniň näçe göwrümi daşyna döküler? Gabyň giňelmesini hasaba almaly däl, kerosiniň göwrümine giňelmek koeffisiýenti  $\alpha_v = 1 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ .

**6.39.** Göwrümi  $V_1 = 4 \cdot 10^{-3} m^3$  bolan gapda  $p_1 = 1atm$  basyşda  $m = 2g$  wodorod saklanýar. Gysylma netijesinde gazyň basyşy

$p_2 = 4 \text{ atm}$ -a deň boldy, göwrümi bolsa  $\Delta V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ -a kiçeldi. Gazyň temperaturasy näçe gradus üýtgedi?

**6.40.** Ideal gazyň bir moluny 1-nji ýagdaýdan 2-nji ýagdaýa tükeniksiz haýal  $\alpha^2 p^2 + \beta^2 V^2 = \gamma^2$  kanun boýunça geçirýärler, bu ýerde  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  – käbir belli hemişelikler. Bu prosesde gaz haýsy iň uly temperatura eýe bolup biler?

**6.41.** Ideal gazyň käbir massasy  $\Delta t = 250^\circ \text{C}$  temperatura gyzdyrylanda onuň göwrümi  $\alpha = 1/7$  ulaldy, basyşy bolsa  $\beta = 1/2$  başlangyç ululygyna ulaldy. Gazyň başlangyç temperaturasy näçe?

## 7. BAROMETRIK FORMULA

### Esasy kanunlar we formulalar

- Barometrik formula:

$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}} = p_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}},$$

bu ýerde  $p$  we  $p_0$  –  $h$  we  $h_0$  beýiklikdäki howanyň basyşy;

$m$  – howanyň massasy;

$\mu$  – howanyň molýar massasy;

$T$  – howanyň absolýut temperaturasy.

- Bolsmanyň paýlanyşygy:

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}} = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}},$$

bu ýerde  $n$  we  $n_0$  –  $h$  we  $h_0$  beýiklikdäki molekulalaryň konsentra-siýasy;  $U = mgh$  – molekulanyň potensial energiýasy.

- Agyrlyk güýjüniň tizlenmesi  $g$  beýiklige bagly bolandaky barometrik formula:

$$p = p_0 \exp \left[ -\frac{\mu g_0 r_0}{RT} \cdot \frac{h}{(r_0 + h)} \right],$$

bu ýerde  $r_0$  – Ýeriň radiusy;  $g_0$  – Ýeriň üstündäki erkin gaçmanyň tizlenmesi.

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**7.1-nji mesele.** Uçuş meýdançasynda barometr  $p_0 = 100kPa$  basyş görkezdi. Uçuş barýan dik uçaryň kabinasynda onuň görkez-mesi  $p = 90kPa$ -a deň boldy. Howanyň  $T$  temperaturasyny hemişelik we  $290K$ -e deň diýip hasap edip, dik uçaryň uçup barýan  $h$  beýikligini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $p_0 = 100kPa$  ( $10^5 Pa$ );  $p = 90kPa$  ( $9 \cdot 10^4 Pa$ );  
 $T = 290K$ .

**Tapmaly:**  $h$ .

**Çözülişi.** Ýeriň dartuw meýdanynda howanyň basyşy eksponensial kanun boýunça kiçelýär:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right),$$

bu ýerde  $p_0$  – Ýeriň üstündäki howanyň basyşy;

$p - h$  beýiklikdäki howanyň basyşy;

$\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  – howanyň molýar massasy.

Deňlemäni logarifmirläliň:

$$-\frac{\mu gh}{RT} = \ln \frac{p}{p_0}$$

we ondan beýikligi tapalyň:

$$h = -\frac{RT}{\mu g} \ln \frac{p}{p_0}.$$

San bahalaryny ornuna goýup taparys:

$$h = -\frac{8,31 \cdot 290}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} \ln \frac{90}{100} = 874 \text{ m}.$$

**7.2-nji mesele.** Uçup barýan uçaryň kabinasynda barometr hemişe birmeňzeş  $p = 79 \text{ kPa}$  basyş görkezýär. Şol sebäpli uçarman uçaryň uçuş beýikligini üýtgemeyär diýip hasap edýär. Emma uçaryň bortundan daşynda howanyň temperaturasy  $t_1 = 5^\circ \text{C}$  -den  $t_2 = 1^\circ \text{C}$ -ä çenli üýtgedi. Beýikligi kesgittlände uçarman nähili  $\Delta h$  ýalňyşlygy goýberdi? Ýeriň üstündäki  $p_0$  basyşy kadaly diýip hasap etmeli.

**Berlen:**  $p = 79 \text{ kPa}$  ( $79 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ );  $t_1 = 5^\circ \text{C}$  ( $T_1 = 278 \text{ K}$ );

$t_2 = 1^\circ \text{C}$  ( $T_1 = 274 \text{ K}$ );  $p_0 = 101 \text{ kPa}$  ( $101 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ).

**Tapmaly:**  $\Delta h$

**Çözülişi.** Barometrik formula laýyklykda

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}.$$

Dürli  $T_1$  we  $T_2$  temperaturalarda barometr şol bir  $p$  basyşy diňe haçanda uçar şol wagt dürli  $h_1$  we  $h_2$  beýikliklerde bolsa görkezip bilýär. Diýmek, uçaryň  $h_1$  uçuş beýikliginiň üýtgemeyänligi baradaky uçarmanyň çaklamasy ýalňyş.

Barometrik formulany bu iki ýagdaý üçin ýazalyň:

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu gh_1}{RT_1}}, \quad p = p_0 e^{-\frac{\mu gh_2}{RT_2}}.$$

$\frac{p_0}{p}$  gatnaşygy tapyp, deňlemäniň iki tarapyny hem logarifmirläliň:

$$\ln \frac{p_0}{p} = \frac{\mu g h_1}{RT_1}, \quad \ln \frac{p_0}{p} = \frac{\mu g h_2}{RT_2}.$$

Alnan deňlemelerden  $h_1$  we  $h_2$  beýiklikleri tapyp, olaryň tapawudyny aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{R(T_2 - T_1) \ln \frac{p_0}{p}}{\mu g}.$$

$p_0/p$  gatnaşykdaky basyşlary kilopaskallarda aňlatsak hem bolar. Sebäbi bu onuň netijesine täsir etmez. Temperaturalaryň tapawudy bolsa Kelwiniň we Selsiniň şkalasynda birmeňzeşdir. Onda san bahalaryny alnan deňlemede goýup taparys:

$$\Delta h = \frac{8,31 \cdot (1 - 5) \cdot \ln \frac{101}{79}}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} = -28,5m.$$

«-» alamaty  $h_2 < h_1$  bolýandygyny aňladýar. Diýmek, uçar çaklanylýan beýiklik bilen deňeşdirilende 28,5m-e aşak düşdi.

**7.3-nji mesele.** Massasy  $m = 10^{-18}g$  bolan tozanjyklaryň agramyny howada ölçediler. Tozanjyklaryň konsentrasiýasynyň 1%-den köp tapawutlanmaýan çäklerindäki howa gatlagynyň galyňlygyny kesgitlemeli. Howanyň temperaturasy ähli göwrümde birmeňzeş we 300K-e deň.

**Berlen:**  $\frac{\Delta n}{n} = 1\% = 0,01; \quad T = 300K; \quad m = 10^{-21}kg;$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K; \quad g = 9,8m/s^2.$

**Tapmaly:**  $\Delta h$

**Çözülişi.** Tozanjyklaryň deňagramly paýlanyşygynda olaryň konsentrasiýasy diňe dik ugrukdyrylan ok boýunça  $h$  koordinata bagly bolýar. Bu ýagdaýda tozanjyklaryň paýlanyşygyna Bolsmanyň formulasyny ulanyp bolýar:

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}.$$

Agyrlyk güýjüň birhilli meýdanynda potensial energiýa

$$U = mgh$$

formula bilen aňladylýar, onda:

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}.$$

Soňky aňlatmany  $h$  boýunça differensirläp, alarys:

$$dn = -n_0 \frac{mg}{kT} e^{-\frac{mgh}{kT}} dh.$$

$n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}} = n$  bilen çalşyp, aşakdaky gatnaşygy alarys:

$$dn = -\frac{mg}{kT} n dh.$$

Soňky aňlatmadan bizi gyzyklandyryan koordinatanyň üýtgemesini taparys:

$$dh = -\frac{kT}{mg} \frac{dn}{n}.$$

«—» alamaty koordinatanyň položitel üýtgemesine ( $dh > 0$ ) ot-nositel konsentrasiýanyň kiçelmeginiň ( $dn < 0$ ) laýyk gelýändigini görkezýär. Meseläniň şertine görä,  $\Delta n$  konsentrasiýanyň üýtgemesi  $n$  bilen deňeşdireniňde kiçi ( $\Delta n/n = 0,01$ ), şonuň üçin  $dn$  differens-ialy  $\Delta n$  konsentrasiýanyň üýtgemesi bilen çalşyp bolar.

«—» alamaty galdyralyň (berlen ýagdaýda ol möhüm däl) we  $dh$  we  $dn$  differensiallary  $\Delta n$  we  $\Delta n$  artdyrmalar bilen çalşyralyň:

$$\Delta h = \frac{kT}{mg} \frac{\Delta n}{n}.$$

Bu formulada ululyklaryň bahalaryny goýup we hasaplama geçi-rip, gözlenýän howa gatlagynyň galyňlygyny taparys:

$$h = 4,23 \text{ mm}.$$

Alnan netijeden görnüşi ýaly, şular ýaly kiçi tozanjyklaryň ( $m = 10^{-18} \text{ g}$ ) konsentrasiýasy hem beýiklik boýunça gaty çalt üýt-geýär.

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**7.1.** Obserwatoriýa deňiz derejesinden  $h = 3250 \text{ m}$  beýiklik-de ýerleşýär. Howanyň bu beýiklikdäki basyşyny tapmaly. Howa-nyň temperaturasy hemişelik we  $5^\circ\text{C}$ -e deň. Howanyň molýar

massasy  $\mu = 29 \text{ g/mol}$ . Howanyň deňiz derejesindäki basyşy  $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ .

**7.2.** Haýsy  $h$  beýiklikde howanyň basyşy deňiz derejesindäki howanyň basyşynyň 75%-ni düzýär? Howanyň temperaturasy hemişelik we  $0^\circ\text{C}$ -e deň.

**7.3.** Ýolagçy uçary deňiz derejesinden  $h_1 = 8300 \text{ m}$  beýiklikde uçýar. Kompressoryň kömegi bilen uçaryň içinde  $h_2 = 2700 \text{ m}$  beýiklige laýyk gelýän hemişelik basyş saklanýar. Uçaryň içindeki we daşyndaky basyşlaryň tapawudyny kesgitlemeli. Daşky howanyň temperaturasy  $0^\circ\text{C}$ .

**7.4.** 7.3 meseläniň şertlerini peýdalanyň, uçaryň içindeki howanyň  $\rho_2$  dykzlygynyň uçaryň daşyndaky howanyň  $\rho_1$  dykzlygyndan näçe esse uludygyny kesgitlemeli. Daşky howanyň temperaturasy  $t_1 = -20^\circ\text{C}$ , içindeki howanyň temperaturasy  $t_2 = 20^\circ\text{C}$

**7.5.** Howanyň  $\rho$  dykzlygyny: a) Ýeriň üst gatlagynda; b) Ýeriň üstünden  $h = 4 \text{ km}$  beýiklikde tapmaly. Howanyň temperaturasy hemişelik we  $0^\circ\text{C}$ -e deň. Ýeriň üstünde howanyň basyşy  $p_0 = 100 \text{ kPa}$ .

**7.6.** Haýsy  $h$  beýiklikde wodorodyň  $\rho_2$  dykzlygy deňiz derejesindäki wodorodyň  $\rho_1$  dykzlygyndan 2 esse kiçi bolar? Wodorodyň temperaturasy hemişelik we  $0^\circ\text{C}$ -e deň.

**7.7.** Agyrlyk güýjüniň birhilli meýdanynda ýerleşýän bölejige täsir edýän  $F$  güýji kesgitlemeli. Biri-birinden  $\Delta h = 1 \text{ m}$  aralykda ýerleşýän iki derejelerdäki bölejikleriň konsentrasiýalarynyň gatnaşygy  $n_1/n_2 = e$ . Temperatura bolsa hemişelik we  $T = 300 \text{ K}$ -e deň.

**7.8.** Goý, Ýeriň üstündäki howa kadaly şertlerde ýerleşýän bolsun. Howanyň temperaturasy we molýar massasy beýiklige bagly däl diýip hasap edip, Ýeriň üstünden  $h_1 = 5 \text{ km}$  beýiklikde we  $h_2 = 5 \text{ km}$  çuňlukdaky şahtanyň içinde howanyň  $p_1$  we  $p_2$  basyşyny tapmaly.

**7.9.** Howanyň temperaturasy we molýar massasy, şeýle hem erkin gaçmanyň tizlenmesi beýiklige bagly däl diýip hasap edip,  $0^\circ\text{C}$  temperaturada howanyň dykzlyklary biri-birinden

a)  $e$  esse;

b)  $\eta = 1\%$  tapawutlanýan beýikliklerini tapmaly.

**7.10.** Ýeriň üstünden  $h = 2 \text{ km}$  gatlakda ýerleşýän atmosferanyň massasynyň onuň ähli massasyna bolan gatnaşygyny kesgitlemeli.

Atmosferany izotermik hasap edip, temperaturany  $T = 300K$  -e deň diýip kabul etmeli.

**7.11.** Fransuz fizigi Ž.Perren mikroskopyň kömegi bilen suwda gaýmalaşýan gummigut bölejikleriniň konsentrasiýasynyň beýiklik boýunça paýlanyşyna syn edip we barometrik formulany peýdalanyň,  $N_A$  Awogadro sanyny tejribeden kesgitledi. Tejribeleriň birinde Perren gatlaklaryň arasy  $\Delta h = 100mkm$  bolanda gaýmalaşýan gummigut bölejikleriniň bir gatlakdakysynyň beýlekisinden iki esse köpdüginini gördi. Erginiň temperaturasy  $t = 20^\circ C$  bölejigiň diametri  $d = 0,3mkm$ . Olar dykzlygy bölejikleriň dykzlygyndan  $\Delta \rho = 0,2 \cdot 10^3 kg/m^3$  ululyga kiçi bolan suwuklykda gaýmalaşýarlar. Şu ululyklar boýunça  $N_A$  Awogadro sanyny kesgitlemeli.

**7.12.** Molýar massasy  $\mu$  bolan ideal gaz esasyň meýdany  $S$  we beýikligi  $h$  bolan uzyn silindr görnüşli gapda ýerleşýär. Gazyň temperaturasy  $T$ , onuň aşaky esasyňa basyşy  $p_0$ . Howanyň temperaturasy we erkin gaçmanyň tizlenmesi beýiklige bagly däl diýip hasap edip, gapdaky gazyň massasyny tapmaly.

**7.13.** Bir tarapy ýapyk gorizont al silindri silindriň açyk tarapynyň geçýän wertikal okuň töwereginde hemişelik  $\omega$  burç tizlik bilen aýlaýarlar. Daşky howanyň basyşy  $p_0$  temperaturasy  $T$ , molýar massasy  $\mu$ . Howanyň basyşyny aýlanma okundan  $r$  aralygyň funksiýasy hökmünde tapmaly. Molýar massany  $r$  aralyga bagly däl diýip hasap etmeli.

**7.14.** Içi gazly dik ýerleşdirilen silindr birhilli agyrlyk meýdanynda ýerleşýär. Gazyň molekulasyň massasy  $m$ , silindrdäki molekulalaryň sany  $N$ , onuň kese kesiginiň meýdany  $S$ . Silindriň aşaky we ýokarky esaslaryna gazyň edýän  $p_1$  we  $p_2$  basyşlarynyň tapawudyny kesgitlemeli.

**7.15.** Ýeriň üstüne ýakyn aralykda kislorodyň we azotyň konsentrasiýalarynyň howadaky gatnaşygy  $\eta_0 = 0,268$ . Atmosferanyň temperaturasyny beýiklige bagly däl we  $0^\circ C$ -ä deň diýip kabul edip, ol gatnaşygy  $h = 10km$  beýiklikde kesgitlemeli.

**7.16.** Deňagramlylykdaky hyýaly gaz birhilli agyrlyk meýdanynda ýerleşýär. Eger gazyň temperaturasy  $T$  bolsa, onda gazyň molekulalarynyň  $n$  konsentrasiýasynyň we  $p$  basyşynyň  $h$  beýiklige baglylygynyň  $n(h = 0) = n_0$ ,  $p(h = 0) = p_0$  formulasyny ýazmaly.  $n(h)$  we  $p(h)$  iki temperatura  $T_1 < T_2$  üçin grafigi çyzmaly.



**7.17.** Her biriniň masasy  $m = 10^{-12} \text{ g}$  bolan birmeňzeş bölejikler güýjenmesi  $G = 0,2 \text{ mN/kg}$  bolan birhilli grawitasion meýdanda paýlanan. Ekwipotensial derejelerde, biri-birinden  $\Delta h = 10 \text{ m}$  aralykda ýerleşen bölejikleriň konsentrasiýalarynyň  $n_1/n_2$  gatnaşygyny kesgitlemeli. Temperatura ähli gatlaklarda birmeňzeş we  $290 \text{ K}$ -e deň.

**7.18.** Radiusy  $a = 0,5 \text{ m}$  bolan rotorly sentrifugada  $T = 300 \text{ K}$  temperaturada otnositel molekulýar massasy  $M_r = 10^8$  bolan madda gaz halyna ýerleşýär. Rotor  $\nu = 30 \text{ s}^{-1}$  ýygylyk bilen aýlanýan bolsa, rotoryň diwarlarynyň ýanynda we onuň merkezinde konsentrasiýalarynyň  $n_1/n_2$  gatnaşygyny kesgitlemeli.

**7.19.** Erkin gaçmanyň tizlenmesi  $g$  bolan birhilli agyrlyk meýdanda içi azotly beýik silindr görnüşli gap ýerleşýär. Azotyň temperaturasy onuň dykzlygy beýiklik boýunça birmeňzeş bolar ýaly üýtgeýär. Temperaturanyň gradiýentini tapmaly.

**7.20.** Molýar massasy  $\mu$  bolan ideal gaz erkin gaçmanyň tizlenmesi  $g$  bolan birhilli agyrlyk meýdanda ýerleşýär. Eger  $h = 0$  bolanda, basyş  $p = p_0$  bolýan bolsa we onuň temperaturasy beýiklige baglylykda a)  $T = T_0(1 - ah)$ ; b)  $T = T_0(1 + ah)$  kanun boýunça üýtgeýän bolsa (bu ýerde  $a$  – položitel hemişelik), onda gazyň basyşynyň temperatura baglylygyny tapmaly.

## 8. MAKSWELLIŇ PAÝLANYŞYGY

### Esasy kanunlar we formulalar

Makswelliň tizlikler boýunça paýlanyşygy iki sany gatnaşyk arkaly kesgitlenilýär:

a) tizlikleri  $\vartheta$  -den  $\vartheta + d\vartheta$  aralykda ýerleşen molekulalaryň sany:

$$\frac{dN}{N} = f(\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 \vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2 d\vartheta,$$

bu ýerde  $f(\vartheta)$  – molekulalaryň tizlikleriniň moduly boýunça paýlanyşyk funksiýasy, ol molekulalaryň tizlikleri  $\vartheta$  -den  $\vartheta + d\vartheta$  interwaldaky tizlige eýe bolup biljek molekulalaryň sanynyň ähtimallygydyr;

$N$  – molekulalaryň umumy sany;

$m_0$  – bir molekulanyň massasy.

b) otnositel tizlikleri  $u$ -dan  $u+du$  çäkke ýerleşen molekulalaryň sany:

$$\frac{dN}{N} = f(u) du = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du,$$

bu ýerde  $u = \frac{\vartheta}{\vartheta_{\text{äb}}}$  – otnositel tizlik, ýagny  $\vartheta$  tizligiň  $\vartheta_{\text{äb}}$ -iň ähtimal tizlige bolan gatnaşygy;

$f(u)$  – otnositel tizlikler boýunça paýlanyşyk funksiýasy.

Molekulalaryň energiýalar boýunça paýlanyşygy. Energiýalary  $\varepsilon$ -den  $\varepsilon + d\varepsilon$  çäkke bolan molekulalaryň sany:

$$\frac{dN}{N} = f(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{1}{kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon,$$

bu ýerde  $f(\varepsilon)$  – energiýa boýunça paýlanyşyk funksiýasy.

Molekulalaryň impulsar boýunça paýlanyşygy. Impulsary  $p$ -den  $p + dp$  çäkke bolan molekulalaryň sany:

$$\frac{dN}{N} = f(p)dp = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{1}{2m_0 kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{p^2}{2m_0 kT}} p^2 dp,$$

bu ýerde  $f(p)$  – impulsar boýunça paylanyşyk funksiýasy.

**Molekulalaryň tizlikler boýunça paylanyşyk kanunyna degişli dürli  $u$  tizlikler üçin  $\Delta N / N\Delta u$  bahalary**

8.1-nji tablisa.

$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$	$u$	$\frac{\Delta N}{N\Delta u}$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9	0,22
0,2	0,02	1,1	0,82	2,0	0,16
0,3	0,09	1,2	0,78	2,1	0,12
0,4	0,31	1,3	0,71	2,2	0,09
0,5	0,44	1,4	0,63	2,3	0,06
0,6	0,57	1,5	0,54	2,4	0,04
0,7	0,68	1,6	0,46	2,5	0,03
0,8	0,76	1,7	0,36		

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**8.1-nji mesele.** Temperaturasy  $t = 27^\circ\text{C}$ , tizlikleriniň moduly  $\vartheta_1 = 1898\text{ m/s}$ -den  $\vartheta_2 = 1903\text{ m/s}$  interwalda ýerleşen wodorod molekulalarynyň oňnositel sanyny tapmaly.

**Berlen:**  $t = 27^\circ\text{C}$  ( $T = 300\text{ K}$ );  $\vartheta_1 = 1898\text{ m/s}$ ;  $\vartheta_2 = 1903\text{ m/s}$ .

**Tapmaly:**  $\Delta N / N$ .

**Çözülişi.**  $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 5\text{ m/s}$  tizlikleriniň interwaly molekulalaryň tizliklerine garanyňda has kiçi bolany üçin Makswelliň tizlikleriniň moduly boýunça paylanyşygyny aşakdaky görnüşde alarys:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2 \Delta\vartheta.$$

Bilşimiz ýaly berlen temperaturada gaz molekulasyňyň iň ähtimal tizligi:

$$\vartheta_{\bar{a}h} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}.$$

Bu deňlemäni göz öňünde tutup Makswelliň paýlanyşygyny aşakdaky görnüşde ýazalyň:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{\vartheta^2}{\vartheta_{\bar{a}h}^3} e^{-\frac{\vartheta^2}{\vartheta_{\bar{a}h}^2}} \Delta \vartheta.$$

Berlen interwalda orta tizlikligiň ähtimal tizlige bolan gatnaşygyny  $U$  bilen belläp alarys:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_{\bar{a}h}} = u, \quad \Delta \vartheta = \vartheta_{\bar{a}h} \Delta u.$$

Aňlatmalary ulanyp, molekulalaryň otnositel tizlikler boýunça paýlanyşygyny alarys:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 \cdot e^{-u^2} \cdot \Delta u.$$

Ähtimal tizligi tapalyň:

$$\vartheta_{\bar{a}h} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8,3 \cdot 300}{2 \cdot 10^{-3}}} = 1,57 \cdot 10^3 \text{ m/s}.$$

$u$  we  $\Delta u$  belgileme girizeliň:

$$u = 1,2, \quad \Delta u = \frac{\Delta \vartheta}{\vartheta_{\bar{a}h}} = 3,16 \cdot 10^{-3}.$$

Bu bahalary  $u$  we  $\Delta u$  ýerine goýup, alarys:

$$\frac{\Delta N}{N} = 2,45 \cdot 10^{-3} = 0,245\%.$$

**8.2-nji mesele.** Gapda maddasynyň mukdary  $\nu = 1,2 \text{ mol}$  bolan gaz saklanýar. Bu gazy ideal gaz hökmünde kabul edip,  $\vartheta$  tizligi  $\vartheta_{\bar{a}h}$  iň ähtimal tizlikden 1000 esse kiçi bolan molekulalaryň  $\Delta N$  sanyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $\nu = 1,2 \text{ mol}$ .

**Tapmaly:**  $\Delta N$ .

**Çözülüşi.** Meseläni çözmek üçin molekulalaryň  $u$  ( $u = \vartheta/\vartheta_{\text{äh}}$ ) otnositel tizlikler boýunça paýlanyşygyny peýdalanmak amatlydyr.  $u$  otnositel tizlikleri  $u$  we  $du$  aralykda bolan molekulalaryň sany aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$\frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du, \quad (8.1)$$

bu ýerde  $N$  – molekulalaryň sany.

Meseläniň şertine laýyklykda bizi gyzyklandyryýan molekulalaryň maksimal tizligi  $\vartheta_{\text{max}} = \frac{\vartheta_{\text{äh}}}{1000}$ , bu ýerde  $u_{\text{max}} = \frac{\vartheta_{\text{max}}}{\vartheta_{\text{äh}}} = 0,001$ . Bular ýaly bahalar üçin (8.1) formulany ýönekeýleşdirip bolar. Hakykatda  $u \ll 1$  üçin  $e^{-u^2} \approx 1 - u^2$  alarys. Onda  $u^2 = (0,001)^2 = 10^{-6}$  bahany hasap etmän, (8.1) formulany aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$dN = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N u^2 du. \quad (8.2)$$

Bu formulany 0 we  $u_{\text{max}}$  predellerde  $u$  görä integrirläp alarys:

$$\Delta N = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\text{max}} u^2 du = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{u^3}{3} \Big|_0^{\text{max}}$$

$$\text{ýa-da} \quad \Delta N = \frac{4N}{3\sqrt{\pi}} u_{\text{max}}^3. \quad (8.3)$$

(8.3) deňlemede molekulalaryň sany  $N = \nu \cdot N_A$  deňlemäniň üsti bilen aňladyp alarys:

$$\Delta N = \frac{4\nu N_A}{3\sqrt{\pi}} u_{\text{max}}^3. \quad (8.4)$$

Soňky formulada san bahalaryny ýerine goýup alarys:

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 0,001^3}{3 \cdot \sqrt{3,14}} = 5,44 \cdot 10^{14}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**8.1.** Ideal gaz molekulalarynyň tizlikler boýunça paýlanyşyk kanunyny ulanyp, iň ähtimal  $\vartheta_{\text{äh}}$  tizligiň formulasyny tapmaly.

**8.2.** Gaz molekularynyň tizlikleriniň birligi deregine iň ähtimal tizligi kabul edip, tizlikleri  $\vartheta$  we  $\vartheta + d\vartheta$  aralykda bolan molekularynyň tizlikleriniň absolýut bahasynyň gazyň temperaturasyna bagly dældigini görkeziň.

**8.3.** Ideal gaz molekularynyň tizlikler boýunça paýlanyşyk kanunyny ulanyp,  $\bar{\vartheta}_{kw}$  orta kwadratik tizligi we  $\bar{\vartheta}_{ar}$  orta arifmetik tizligi kesgitlemeli.

**8.4.** Kinetik energiýasy  $\varepsilon$  we  $\varepsilon + d\varepsilon$  aralykda bolan gazyň molekularynyň  $dN$  orta sany üçin deňlemäni ýazmaly.

**8.5.** Ideal gaz molekularynyň energiýa boýunça paýlanyşyk funksiýasyny ulanyp, molekularynyň orta kinetik energiýasyny  $\bar{\varepsilon}$  kesgitlemeli.

**8.6.** Gazyň molekularynyň öňe hereketiniň  $\varepsilon$  kinetik energiýasynyň iň ähtimal bahasyny, ýagny  $d\varepsilon$  energiýanyň fiksirlenen interwalda ýerleşýän molekularynyň  $\varepsilon_{\max}$  kinetik energiýasynyň maksimal bahasyny kesgitlemeli.

**8.7.** Ideal gaz molekularynyň energiýa boýunça paýlanyş funksiýasyny ulanyp, şol bir temperatura üçin molekularynyň orta kinetik energiýasynyň  $\bar{\varepsilon}$  iň ähtimal energiýasyna  $\varepsilon_{\bar{\varepsilon}}$  bolan gatnaşygyny kesgitlemeli.

**8.8.** Käbir molekulýar dessedäki gaz molekularynyň tizlikler boýunça paýlanyş kanuny  $f(\vartheta) = A\vartheta^3 \cdot e^{-\frac{m_0\vartheta^2}{2kT}}$  görnüşde bolsa, onda

1) iň ähtimal tizligi;

2) bu dessedäki molekularynyň energiýasynyň iň ähtimal bahasyny kesgitlemeli.

**8.9.** Tizlikleri 3000 m/s-den 3010 m/s-e çenli aralykda bolan wodorodyň molekularynyň  $N_1$  otnositel sanynyň tizlikleri 1500 m/s -den 1510 m/s-a çenli aralykda bolan  $N_2$  otnositel sanyna bolan gatnaşygyny tapmaly. Wodorodyň temperaturasy  $t = 300^\circ\text{C}$ .

**8.10.** Temperaturanyň haýsy bahasynda kesgitlenen interwalda-ky ( $\vartheta$ ,  $\vartheta + d\vartheta$ ) tizlikler gurşawynda ýerleşýän molekularynyň sany maksimal?

**8.11.** Tizlikleriniň komponenti käbir oka parallel bolup, ( $\vartheta_{\perp}$ ,  $\vartheta_{\perp} + d\vartheta_{\perp}$ ) interwalda ýatan, tizligiň perpendikulýar düzüjisiniň absolýut bahasy bolsa  $\vartheta_{\perp}$  we  $\vartheta_{\perp} + d\vartheta_{\perp}$  aralykda bolan molekularynyň orta sanyny kesgitlemeli.

**8.12.** Gaz molekularynyň orta kwadratik tizligi bilen  $1s$ -de gabyň diwarynyň kwadrat santimetrine urulýan molekularynyň  $z$  sanyny görkezmeli. Molekularynyň tizlikler boýunça paýlanyşyk funksiýasy izotrop (ýagny, molekularynyň tizliginiň ugruna däl-de, diňe absolýut bahasyna bagly). Makswelliň paýlanyşygynyň hususy halyna seretmeli.

**8.13.** Ideal gaz molekularynyň otnositel tizlikler boýunça  $f(u) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2$  ( $u = \vartheta/\vartheta_{\text{ah}}$ ) paýlanyşyk funksiýasyny peýdalanyň,  $\vartheta$  tizlikleri  $\vartheta_{\text{ah}}$  iň ähtimal tizliginden  $0,002$  kiçi bolan molekularynyň  $\Delta N$  sanyny kesgitlemeli. Gazyň göwrümünde  $N = 1,67 \cdot 10^{24}$  molekula saklanýar.

**8.14.** Tizlikleri  $\vartheta_{\text{ah}}$  we  $\vartheta_{\text{ah}} + \Delta \vartheta$  interwalda ýatan molekularynyň  $\Delta N_1$  sany  $\vartheta_{\text{kw}}$  we  $\vartheta_{\text{kw}} + \Delta \vartheta$  interwalda ýatan molekularynyň  $\Delta N_2$  sanýndan näçe esse ulý bolar?

**8.15.** Azotyň molekularynyň haýsy bölegi a)  $T = 400K$ ; b)  $T = 900K$  temperaturada  $\vartheta_{\text{ah}}$ -dan  $\vartheta_{\text{ah}} + \Delta \vartheta$  interwalda ýatan tizlige eýe? Bu ýerde  $\Delta \vartheta = 20 m/s$ .

**8.16.** Molekularynyň  $f(p)$  impulsar boýunça paýlanyşyk funksiýasyny bilip, impulsyň kwadratynyň  $\bar{p}^2$  orta bahasyny kesgitlemeli.

**8.17.** Makswelliň paýlanyşygynyň kömegi bilen wagıt birliginde meýdan birligine düşýän gazyň molekularynyň sanyny kesgitlemeli. Molekularynyň konsentrasiýasy  $n$ , temperaturasy  $T$  we her molekularyň massasy  $m$ .

**8.18.** Gaz molekularynyň tizliklerini kesgitlemek boýunça Otto Şterniň belli tejribesinde iki sany koaksial silindrleriň merkezinden geçýän üstüne kümüş çäýylan wolfram simi gyzdýrylýar. Haçanda wolfram siminiň temperaturasy  $1607^\circ\text{C}$ -e ýetende onuň üstünden bugaran kümşüň atomlary kiçi silindriň ýarçygyndan çykyp, daşky silindriň içki üstüne çökýärler. Eger silindrleriň  $n = 50$  aýl/s tizlik bilen aýlansa, onda molekulýar dessäniň enjamyň dynçlyk ýagdaýyndakydan gýşarmasy  $\delta = 4,8 mm$ -e bolar. Daşky silindriň radiusy  $R = 10 sm$ -e deň bolsa, kümşüň atomlarynyň tizliklerini kesgitlemeli. Alnan netijeleri kümşüň şol temperaturadaky orta kwadratik tizligi bilen deňeşdirmeli.

**8.19.** Wodorod kadaly şertlerde ýerleşýär we  $V = 1 \text{ sm}^3$  göwrümi eýeleýär. Käbir  $\vartheta_{\text{max}} = 1 \text{ m/s}$  ululykdan kiçi tizliklere eýe bolan bu göwürümdäki molekulalaryň  $N$  sanyny kesgitlemeli.

**8.20.** Energiýasy 0-dan käbir  $\varepsilon$  aralykda bolan molekulalaryň sany molekulalaryň umumy sanynyň 0,1%-ini düzýär.  $\varepsilon$  ululygy  $kT$ -niň bölegi görnüşinde kesgitlemeli.

**8.21.** Molekulalaryň kinetik energiýalar boýunça  $f(\varepsilon)d\varepsilon$  paýlanyşyk funksiýasyny molekulalaryň otnositel kinetik energiýalar boýunça  $f(\theta)d\theta$  paýlanyşyk funksiýasyna özgertmeli (bu ýerde  $\theta = \varepsilon/\varepsilon_{\text{äh}}$ ;  $\varepsilon_{\text{äh}}$  – molekulalaryň kinetik energiýasynyň iň ähtimal bahasy).

**8.22.** Kinetik energiýalary energiýanyň iň ähtimal  $\varepsilon_{\text{äh}}$  bahasyndan 1%-den köp tapawutlanmaýan ideal gazyň molekulalarynyň  $w$  otnositel sanyny tapmaly.

**8.23.** Kinetik energiýalary 0-dan  $0,01 \varepsilon_{\text{äh}}$  ululyga deň aralykda bolan ideal gazyň molekulalarynyň otnositel  $w$  sanyny tapmaly ( $\varepsilon_{\text{äh}}$  – molekulalaryň kinetik energiýasynyň iň ähtimal bahasy).

**8.24.** Impulsary iň ähtimal  $p_{\text{äh}}$  baha eýe bolan ideal gazyň molekulalarynyň kinetik energiýasy üçin aňlatmany tapmaly.

**8.25.** Ideal gazyň temperaturasy iki esse ulaldylsa, gazyň molekulalarynyň energiýalar boýunça paýlanyşyk funksiýasynyň maksimum bahasy näçe esse üýtgär? Netijäni grafik arkaly düşündirmeli.



## 9. GAZ MOLEKULALARYNYŇ HÄSIÝETLI TIZLIKLERI

### Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Molekulalaryň orta kwadratik tizligi:

$$\bar{v}_{kw} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

bu ýerde  $T$  – termodinamik temperatura;

$m_0 = \frac{\mu}{N_A}$  – bir molekulanyň massasy;

$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  – Bolsmanyň hemişeligi;

$\mu$  – molýar massa;

$R = 8,31 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$  – uniwersal gaz hemişeligi.

- Molekulalaryň iň ähtimal tizligi:

$$v_{\bar{a}h} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}.$$

- Molekulalaryň orta arifmetik tizligi:

$$\bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}.$$

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**9.1-nji mesele.** Dykzyzlygy  $\rho = 0,3 \text{ kg/m}^3$  bolan ideal gazyň  $p = 35 \text{ kPa}$  basyşda molekulalarynyň  $\bar{v}_{ar}$  orta arifmetik tizligini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $p = 35 \text{ kPa}$  ( $35 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ );  $\rho = 0,3 \text{ kg/m}^3$ .

**Tapmaly:**  $\bar{v}_{ar}$ .

**Çözülişi.** Molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesine görä

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}_{kw}^2.$$

Ideal gazyň orta arifmetik tizliginiň formulasy

$$\bar{v}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$$

orta kwadratik tizliginiň formulasy bolsa,

$$\bar{\vartheta}_{kw} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

bolýandygyny göz önünde tutup alarys:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \sqrt{\frac{8}{3\pi} \cdot \bar{\vartheta}_{kw}}.$$

Gazyň dykzlygy

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{Nm_0}{V} = nm_0$$

bolýandygy sebäpli birinji deňleme aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{\vartheta}_{kw}^2.$$

Bu deňlemeden alarys:

$$\bar{\vartheta}_{kw} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}.$$

Soňky alan deňlemämizi ulanyp, ideal gazyň molekulalarynyň orta arifmetik tizligini taparys:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \sqrt{\frac{8p}{\pi\rho}}.$$

San bahalaryny formulada goýup hasaplarys:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \sqrt{\frac{8 \cdot 35 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,3}} = 545 \text{ m/s}.$$

**9.2-nji mesele.** Ideal gazyň molekulalarynyň tizlikler boýunça paýlanyş funksiýasyny ulanyp, molekulalaryň orta arifmetik tizligini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $f(\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 \vartheta^2}{2kT}} \vartheta^2 d\vartheta.$

**Tapmaly:**  $\bar{\vartheta}_{ar}.$

**Çözülişi.** Kesgitlemä laýyklykda orta arifmetik tizlik aşakdaky formula bilen berilýär:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \int_0^{\infty} \vartheta f(\vartheta) d\vartheta,$$

bu ýerde  $f(\vartheta)$  – molekulalaryň tizlikler boýunça paýlanyşyk funksiýasy.

Ýokardaky deňlemä paýlanyşyk funksiýasyny goýup, alarys:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^{\infty} \vartheta^3 e^{-\frac{m_0 \vartheta^2}{2kT}} d\vartheta.$$

Tablisada bar bolan

$$\int_0^{\infty} x^3 e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2} a^{-2}$$

integrally ulanyp we  $x = \vartheta$  we  $a = \frac{m_0}{2kT}$  belgileme girizip, alarys:

$$\bar{\vartheta}_{ar} = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{2} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{-2} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}},$$

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**9.1.** Temperaturasy  $t = 227^\circ\text{C}$  bolan hloruň molekulalarynyň iň ähtimal tizligini, orta kwadratik we orta arifmetik tizligini kesgitlemeli. Hloruň molýar massasy  $\mu = 70,9 \text{ g/mol}$ .

**9.2.** Haýsy temperaturada kislorodyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi  $t = 100^\circ\text{C}$  temperaturadaky azotyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligine deň bolar?

**9.3.** Wodorodyň  $p = 266,6 \text{ Pa}$  basyşda gabyň göwrüm birligine düşýän molekulalarynyň sanyny tapmaly. Wodorodyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{\vartheta}_{kw} = 500 \text{ m/s}$ .

**9.4.** Käbir gazyň dykzlygy  $\rho = 0,06 \text{ kg/m}^3$ , onuň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{\vartheta}_{kw} = 500 \text{ m/s}$ . Gabyň diwarlaryna gazyň edýän basyşyny kesgitlemeli.

**9.5.** Howada gaýmalaşýan ownuk tozanjygyň orta kwadratik tizligi howanyň molekulalarynyň orta kwadratik tizliginden näçe esse kiçi? Tozanjygyň massasy  $m_1 = 10^{-8} \text{ g}$ . Howany  $\mu_2 = 29 \text{ g/mol}$  molýar massaly birhilli gaz diýip hasap etmeli.

**9.6.** Dykzlygy  $\rho = 0,01 \text{ kg}/\text{m}^3$  bolan gapdaky gazyň orta kwadratik tizligi  $480 \text{ m/s}$ -a deň. Gazyň molekulalarynyň gabyň diwaryna edýän basyşyny kesgitlemeli.

**9.7.** Temperaturasy  $t = 20^\circ\text{C}$  bolan wodorodyň molekulasyň impulsyny kesgitlemeli. Molekulanyň tizligini orta kwadratik tizlige deň diýip hasap etmeli.

**9.8.** Göwrümi  $V = 20 \text{ l}$  bolan ballonda ýerleşýän azotyň molekulalarynyň öňe bolan hereketiniň energiýasy  $W = 5 \text{ kJ}$ , orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ . Ballondaky azotyň  $m$  massasyny we  $p$  basyşyny tapmaly.

**9.9.** Haýsy  $T$  temperaturada geliýniň atomlarynyň ýylylyk hereketiniň energiýasy geliýniň atomlary Ýeriň dartuw güýjüni ýeňip geçip, Ýeriň atmosferasyny hemişelik taşlap gitmäge ýeterlik bolar? Bu meseläni Aý üçin hem çözmeli.

**9.10.** Gazyň ähli molekulalarynyň haýsy  $N$  böleginiň tizligi: a) iň ähtimal tizlikden uludyr; b) iň ähtimal tizlikden kiçidir? Meseläniň çözülişinde 8.1-nji tablisadan peýdalanmaly.

**9.11.** Gapda  $m = 2,5 \text{ kg}$  massaly kislorod saklanýar. Tizligi orta kwadratik tizlikden uly bolan kislorodyň molekulalarynyň  $N$  sanyny kesgitlemeli.

**9.12.** Gapda  $T = 1600 \text{ K}$  temperaturada  $m = 8 \text{ g}$  massaly kislorod saklanýar. Kislorodyň molekulalarynyň haýsy  $N_x$  sany  $W_0 = 6,65 \cdot 10^{-20} \text{ J}$  energiýadan uly öňe bolan hereketiň kinetik energiýasyna eýe bolar?

**9.13.** Zaryadlanan bölejikleriň energiýasyny, köplenç, elektronwoltlarda aňladýarlar:  $1 \text{ eV}$  – bu elektronyň elektrik meýdanda  $U = 1 \text{ V}$  potenciallaryň tapawudyny geçende eýe bolýan energiýasydyr, ýagny  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Haýsy  $T_0$  temperaturada molekulalaryň öňe bolan hereketiniň orta kinetik energiýasy  $W_0 = 1 \text{ eV}$  -a deň bolar? Haýsy temperaturada ähli molekulalaryň 50%-i  $W_0 = 1 \text{ eV}$  energiýadan uly öňe bolan hereketiniň orta kinetik energiýasyna eýe bolar?

**9.14.** Kaliniň atomlarynyň ionlaşmagy üçin gerek bolan molýar energiýa  $W_i = 418,68 \text{ kJ/mol}$ . Gazyň haýsy  $T$  temperaturasynda ähli molekulalaryň 10%-i  $W_i$  energiýadan uly öňe bolan hereketiniň molýar kinetik energiýasyna eýe bolar?

**9.15.** Haýsy temperaturada kislorodyň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi onuň iň ähtimal tizliginden  $100\text{ m/s}$  uly?

**9.16.** Kadaly atmosfera basyşda dykzlygy  $\rho = 1\text{ g/l}$  bolan gazyň molekulalarynyň iň ähtimal, orta arifmetik we orta kwadratik tizliklerini kesgitlemeli.

**9.17.** Gazyň aşakdaky hallary üçin temperaturany kesgitlemeli:

a) wodorodyň molekulasyň orta kwadratik tizligi onuň iň ähtimal tizliginden  $\Delta\vartheta = 400\text{ m/s}$  uly bolanda;

b) kislorodyň molekulasyň tizlikleri boýunça  $F(\vartheta)$  paýlanyşyk funksiýasy  $\vartheta = 420\text{ m/s}$  tizlikde maksimal baha eýe bolanda.

**9.18.** Gaz görnüşli azot üçin:

a) molekulalaryň  $\vartheta_1 = 300\text{ m/s}$  we  $\vartheta_2 = 600\text{ m/s}$  tizliklerine Makswelliň  $f(\vartheta)$  paýlanyşyk funksiýasynyň birmeňzeş bahalarynyň laýyk gelýän temperaturasy;

b) molekulalaryň haýsy  $\vartheta$  tizliginde  $T_0$  we ondan  $\eta$  esse uly bolan temperatura üçin Makswelliň paýlanyşyk funksiýasynyň birmeňzeş baha eýe bolýandygyny tapmaly.

**9.19.** Azot bilen kislorodyň garyndysyndan ybarat bolan gazyň haýsy temperaturasynda azotyň we kislorodyň molekulalarynyň iň ähtimal tizlikleri biri-birinden  $\Delta\vartheta = 30\text{ m/s}$  tapawutlanar?

**9.20.** Wodorod bilen geliýniň garyndysy  $T = 300\text{ K}$  temperaturada ýerleşýär. Molekulalaryň orta kwadratik tizliginiň haýsy bahasynda Makswelliň tizlikler boýunça  $f(\vartheta)$  paýlanyşyk funksiýasy iki gaz üçin hem birmeňzeş bolar?

**9.21.** Haýsy  $T$  temperaturada geliýniň atomlarynyň orta kwadratik tizligi ikinji kosmiki  $\vartheta_2 = 11,2\text{ km/s}$  tizlige deň bolar?

**9.22.** Göwrümi  $V = 4\text{ l}$  bolan kolbada  $p = 200\text{ kPa}$  basyşda  $m = 0,6\text{ g}$  massaly käbir gaz saklanýar. Gazyň molekulalarynyň  $\bar{\vartheta}_{kw}$  orta kwadratik tizligini kesgitlemeli.

**9.23.** Geliýniň we argonyň garyndysy  $T = 1,2\text{ kK}$  temperaturada ýerleşýär. Geliýniň we argonyň atomlarynyň  $\bar{\vartheta}_{kw}$  orta kwadratik tizligini we  $\bar{\varepsilon}$  orta kinetik energiýasyny kesgitlemeli.

**9.24.** Howada gaýmalaşýan ownuk tozanjyklar örän uly molekulalar ýaly hereket edýärler. Howanyň temperaturasy  $T = 300\text{ K}$  bolsa,  $m = 10^{-10}\text{ g}$  massaly tozanjygyň  $\bar{\vartheta}_{kw}$  orta kwadratik tizligini tapmaly.

**9.25.** Kislorodyň molekularynyň orta kwadratik tizligi kislorodyň molekularynyň arasynda ýerleşýän  $m = 10^{-8} g$  massaly tozanjygyň  $\bar{v}_{kw}$  orta kwadratik tizliginden näçe esse uly?

**9.26.** Gazyň molekularynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 1 km/s$  bolsa, olaryň  $\bar{v}_{ar}$  orta arifmetik tizligi näçe bolar?

**9.27.** Temperaturasy  $T = 400 K$  bolan wodorodyň molekularynyň  $\bar{v}_{ah}$  iň ähtimal tizligini kesgitlemeli.

**9.28.** Gazyň dykzlygy  $\rho = 0,01 kg/m^3$ , molekularyň orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 480 m/s$  bolsa, gabyň diwarlaryna gazyň edýän  $p$  basyşyny kesgitlemeli.

## 10. MOLEKULÝAR HEREKETIŇ KINEMATIKI HÄSIÝETNAMALARY

### Esasy kanunlar we aňlatmalar

- Molekulalaryň wagt birliginde çaknyşmalarynyň orta sany

$$\bar{z} = \sqrt{2} \pi d^2 \bar{\vartheta} n,$$

bu ýerde

$$\bar{\vartheta}_{ar} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} - \text{molekulalaryň orta arifmetik tizligi;}$$

$d$  – molekulanyň diametri;

$n$  – molekulalaryň konsentrasiýasy.

- Molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{\vartheta}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}.$$

- Eýnşteýniň-Smowluhowskiniň formulasy ýa-da broun bölejiginiň süýşmesiniň kwadratyň orta bahasy

$$\overline{\Delta x^2} = \frac{kT}{3\pi\eta r} \tau,$$

bu ýerde  $\eta$  – suwuklygyň ýa-da gazyň dinamik şepbeşiklik koeffisiýenti;

$r$  – sfera şekilli bölejigiň radiusy;

$T$  – suwuklygyň ýa-da gazyň absolýut temperaturasy;

$\tau$  – broun bölejiginiň süýşme wagty;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  – Bolsmanyň hemişeligi.

- Molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy boýunça paýlanyşy. Klauziusyň formulasy

$$N = N_0 e^{-\frac{x}{\bar{\lambda}}}.$$

Bu formula  $x$  aralygy çaknyşman geçýän  $N$  molekulalaryň sanyny kesgitleýär.

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**10.1-nji mesele.** Eger azotyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $p = 8 \text{ kPa}$  basyşda  $\bar{\lambda} = 1 \text{ mkm}$ -e deň bolsa, onda

azotyň  $T$  temperaturasy näçe bolar? Azotyň molekulalarynyň diametri  $d = 0,38nm$ .

**Berlen:**  $p = 8kPa$  ( $8 \cdot 10^3 Pa$ );  $\bar{\lambda} = 1mkm$  ( $10^{-6}m$ );

$d = 0,38nm$  ( $0,38 \cdot 10^{-9}m$ ).

**Tapmaly:**  $T$ .

**Çözülişi.** Ideal gaz halynyň deňlemesine laýyklykda

$$p = nkT.$$

Gazyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}.$$

Bu deňlemeden alarys:

$$n = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 \bar{\lambda}}.$$

Bu deňlemäni ýokardaky formulada goýup taparys:

$$p = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 \bar{\lambda}}.$$

Bu ýerden azotyň  $T$  temperaturasy taparys:

$$T = \frac{\sqrt{2} \pi d^2 \bar{\lambda} p}{k}.$$

Soňky formula san bahalary goýup, alarys:

$$T = \frac{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot (0,38 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^3}{1,38 \cdot 10^{-23}} = 372K.$$

**10.2-nji mesele.** Käbir basyşda we  $T = 280K$  temperaturada kislorodyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda}_1 = 0,1mkm$ . Eger gapdaky basyşy başlangyç basyşa göreä 0,02-ä çenli peseltseň, onda 1s-daky molekulalaryň  $\bar{z}_2$  çaknyşmalarynyň orta sany näçe deň bolar? Kislorodyň temperaturasy hemişelik hasap etmeli.

**Berlen:**  $T=280K$ ;  $\bar{\lambda}_1 = 0,1mkm$  ( $10^{-7}m$ );  $p_2 = 0,02p_1$ ;

$\mu = 32 \cdot 10^{-3} kg/mol$ ;  $d = 0,36nm$  ( $0,36 \cdot 10^{-9}m$ ).

**Tapmaly:**  $\bar{z}_2$ .



**Çözülişi.** Ahyrky basyşda molekulalaryň 1s-daky  $\bar{z}_2$  çaknyşmalarynyň orta sany şol basyşda molekulanyň  $\bar{\vartheta}$  orta arifmetik tizliginiň onuň  $\bar{\lambda}_2$  erkin ýolunyň orta uzynlygyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär:

$$\bar{z}_2 = \frac{\bar{\vartheta}}{\bar{\lambda}_2}. \quad (10.1)$$

Bu ýerde molekulalaryň orta arifmetik tizligi

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (10.2)$$

formula bilen kesgitlenýär.

$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$  we  $p = nkT$  formulalardan görnüşi ýaly molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy basyşa ters proporsional:

$$\frac{\bar{\lambda}_1}{\bar{\lambda}_2} = \frac{p_2}{p_1}.$$

Bu deňlemeden alarys:

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{p_1}{p_2} \bar{\lambda}_1.$$

(10.2) deňlemäni göz önünde tutup we soňky alan deňlemämizi

(10.1) formulada goýup, molekulalaryň 1s-daky  $\bar{z}_2$  çaknyşmalarynyň orta sanyny taparys:

$$\bar{z}_2 = \frac{\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}}{\frac{p_1}{p_2} \bar{\lambda}_1} = \frac{p_2}{p_1 \bar{\lambda}_1} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}.$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$\bar{z}_2 = \frac{0,02}{1 \cdot 10^{-7}} \sqrt{\frac{8 \cdot 8,31 \cdot 280}{3,14 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}} = 8,61 \cdot 10^7 s^{-1}.$$

**10.3-nji mesele.** Eger  $T=250K$  temperaturada kislorodyň molekulasyň erkin ylgawynyň orta wagty  $\bar{\tau} = 280ns$ -a deň bolsa, onda gapdaky kislorodyň  $p$  basyşyny kesgitlemeli. Kislorodyň molekulasyň diametri  $d=0,35nm$ .

**Berlen:**  $\bar{\tau} = 280ns$  ( $28 \cdot 10^{-8}s$ );  $\mu = 32 \cdot 10^{-3}kg/mol$ ;  $T = 250K$ ;  $d = 0,35nm$  ( $0,35 \cdot 10^{-9}m$ ).

**Tapmaly:**  $p$ .

**Çözülişi.** Molekulalaryň erkin ylgawynyň orta wagty:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\bar{z}}. \quad (10.3)$$

Bu ýerde

$$\bar{z} = \sqrt{2} \pi d^2 \bar{\vartheta} n \quad (10.4)$$

– gazyň molekulalarynyň 1s-yň dowamynda sezewar bolýan çaknyşmalarynyň orta sany.

Molekulalaryň orta arifmetik tizligi

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}. \quad (10.5)$$

Molekulalaryň konsentrasiýasy

$$n = \frac{p}{kT}. \quad (10.6)$$

(10.4) – (10.6) formulalary (10.3) formulada goýup, gazyň basyşyny taparys:

$$p = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{T\mu}{\pi R}} \frac{k}{\bar{\tau} d^2}.$$

Berlen ululyklary formulada goýup, taparys:

$$p = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{250 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 8,31}} \frac{1,38 \cdot 10^{-23}}{28 \cdot 10^{-8} \cdot (0,35 \cdot 10^{-9})^2} = 52,6 Pa.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**10.1.** Basyşy  $p = 53,33 kPa$  we temperaturasy  $t = 27^\circ C$  bolan azotyň molekulalarynyň wagat birligindäki çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sanyny tapmaly. Azotyň molekulasyň diametri  $d = 0,37 nm$ .

**10.2.** Kadaly şertlerde göwrümi  $V = 0,5 l$  bolan gapda kislorod ýerleşýär. Bu göwrümde kislorodyň molekulalarynyň wagat birligindäki çaknyşmalarynyň umumy  $Z$  sanyny tapmaly. Kislorodyň molekulasyň diametri  $d = 0,35 nm$ .

**10.3.** Kăbir basyşda we  $t = 0^{\circ}\text{C}$  temperaturada kislorodyň molekularynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 95\text{nm}$ . Eger şol temperaturada gazyň basyşyny 100 esse peseltseň, kislorodyň molekularynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sany näçe bolar?

**10.4.** Kăbir şertlerde gazyň molekularynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 160\text{nm}$ , orta arifmetik tizligi  $\bar{v}_{ar} = 1,95\text{km/s}$ . Eger şol temperaturada gazyň basyşyny 1,27 esse peseltseň, gazyň molekularynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sany näçe bolar?

**10.5.** Temperaturasy  $t = 27^{\circ}\text{C}$  bolan suwda 1min wagtyň dowamynda radiusy  $r = 0,5\text{mkm}$  bolan gummigut dănejikleriniň  $\bar{\Delta}^2$  gorizontal süýşmesiniň kwadratynyň orta bahasyny kesgitlemeli. Suwuň şepbeşiklik koeffisiýenti  $\eta = 0,01\text{din} \cdot \text{s}/\text{sm}^2$ .

**10.6.** Temperaturasy  $t = 27^{\circ}\text{C}$  bolan gliserinde 5 min wagtyň dowamynda radiusy  $r = 0,385\text{mkm}$  bolan gummigut dănejikleriniň süýşmesiniň kwadratynyň orta bahasy  $\overline{\Delta x^2} = 1,5\text{mkm}$  bolsa, Awogadro sany näçä deň? Gliseriniň şepbeşiklik koeffisiýenti  $\eta = 1,49\text{din} \cdot \text{s}/\text{sm}^2$ .

**10.7.** Massasy  $m = 10^{-10}\text{g}$  bolan ýag damjasy howada  $h = 1\text{m}$  beýiklikden broun hereketini amala aşyryp gaçýar. Onuň gaçmasyna Stoksyň formulasyny ulanyp bolar diýip hasap edip, garaşylýan gaçma nokadyndan  $\bar{r}$  gyşarmasynyň orta kwadratik bahasyny kesgitlemeli. Howanyň temperaturasy  $T = 300\text{K}$ . Eger ýagyň dykyzlygy  $\rho = 0,9\text{g}/\text{sm}^3$ , howanyň şepbeşikligi  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4}\text{din} \cdot \text{s}/\text{sm}^2$  bolsa, onda Stoksyň formulasynyň ulanarlyk şertleriniň ýerine ýetişini barlamaly.

**10.8.** Temperaturasy  $t = 10^{\circ}\text{C}$  we basyşy  $p = 133\text{Pa}$  bolan azotyň molekularynyň iki yzygider çaknyşmalarynyň arasyndaky  $\bar{\tau}$  orta wagty tapmaly. Azotyň molekulasyň diametri  $d = 0,37\text{nm}$ .

**10.9.** Gabyň içindäki howa  $p = 1,33 \cdot 10^{-4}\text{Pa}$  basyşa çenli sorulyp çykarylan. Gapdaky howanyň  $\rho$  dykyzlygyny, gabyň göwrüm birligindäki molekularyň  $n$  sanyny we gazyň molekularynyň erkin ýolunyň  $\bar{\lambda}$  orta uzynlygyny tapmaly. Howanyň molekularynyň diametri  $d = 0,3\text{nm}$ , molýar massasy  $\mu = 29\text{g/mol}$ , temperaturasy  $t = 17^{\circ}\text{C}$

**10.10.** Zarýadsyzlanma turbajykdaaky anodyň we katodyň arasyndaky aralyk  $l = 1,5\text{sm}$ . Katoddan anoda çenli ýolda elektronlar howanyň molekulalary bilen çaknyşmaz ýaly zarýadsyzlanma turbajykda nähili  $p$  basyş döretmeli? Howanyň temperaturasy  $t = 27^\circ\text{C}$ , molekulalarynyň diametri  $d = 0,3\text{nm}$ . Gazdaky elektronyň erkin ýolunyň orta uzynlygy gazyň öz molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygyndan, takmynan, 5,7 esse uly.

**10.11.** Göwrümi  $V = 1\text{l}$  bolan sferik kolbada azot saklanýar. Azotyň haýsy dykzlygynda onuň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy gabyň ölçeglerinden uly bolar?

**10.12.** Eger käbir gazyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 5\text{mkm}$ , orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 500\text{m/s}$  bolsa, onda bu gazyň molekulalarynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sanyny tapmaly.

**10.13.** Kadaly şertlerde  $1\text{sm}^3$  atomar wodorodda  $3 \cdot 10^9$  atom saklanýar. Näçe wagtyň dowamynda atomlaryň ýarty bölegi wodorodyň molekulalaryna öwrüler? Wodorodyň iki atomlarynyň arasyndaky çaknyşma molekulanyň emele gelmegine getirýär diýip hasap etmeli. Wodorodyň atomynyň diametri  $d = 0,12\text{nm}$ .

**10.14.** Molekulalaryň haýsy bölegi:

a)  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyndan uly bolan aralygy çaknyşman geçýär;

b)  $\bar{\lambda}$  -dan  $2\bar{\lambda}$  -a çenli interwalda erkin ýolunyň orta uzynlygyna eýe bolýar.

**10.15.** Molekulalaryň inçe dessesi basyşy ýeterlik kiçi bolan gazly gaba girýär. Eger dessedäki molekulalaryň akymy dessäniň boýuna  $\Delta l$  aralykda  $\eta$  esse azalýan bolsa, onda dessäniň molekulalarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyny tapmaly.

**10.16.** Goý,  $ad\tau$  gazyň molekulasyň  $d\tau$  wagtyň dowamynda sezewar bolýan çaknyşmalaryň ähtimallygy;  $\alpha$  hemişelik bolsun. Tapmaly:

a)  $\tau$  wagtyň dowamynda molekulanyň çaknyşma sezewar bolmazlygynyň ähtimallygyny;

b) çaknyşmalaryň arasyndaky orta wagty.

**10.17.** Gaz görnüşli azotyň molekulalarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyny we çaknyşmalaryň arasyndaky orta wagty tapmaly. Azot:

a) kadaly şertlerde;

b)  $t = 0^{\circ}\text{C}$  temperaturada we  $p = 1 \text{ nPa}$  basyşda (bular ýaly basyşy häzirki zaman wakuum nasoslary almaga mümkinçilik berýär) ýerleşýär.

**10.18.** Kadaly şertlerde ýerleşýän azotyň molekulalarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygy onuň molekulalarynyň arasyndaky orta uzaklykdan näçe esse uly?

**10.19.** Yrgyldylaryň haýsy ýygylgynda azotdaky ses tolkunyny uzynlygy onuň molekulalarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyna deň bolar? Azot kadaly şertlerde ýerleşýär. Azotyň molekulasyň diametri  $d = 0,37 \text{ nm}$ .

**10.20.** Kislorod  $t = 0^{\circ}\text{C}$  temperaturada  $l = 10 \text{ mm}$  häsiýetli ölçegli (bu bizi gyzyklandyran fiziki prosesiniň häsiýetini kesgitleýän çyzykly ölçegi) gapda ýerleşýär. Tapmaly:

a) molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygyndan kiçi bolan  $f(p)$  gazyň basyşyny;

b) molekulalaryň degişli konsentراسیاسyny we olaryň arasyndaky orta uzaklygy.

**10.21.** Azot kadaly şertlerde ýerleşýär. Tapmaly:

a)  $1 \text{ s}$  wagtyň dowamynda ortaça her bir molekulanyň sezewar bolýan çaknyşmalaryň orta sanyny;

b) göwrümi  $1 \text{ sm}^3$  bolan azotdaky molekulalaryň arasynda her sekuntda bolup geçýän ähli çaknyşmalaryň sanyny.

**10.22.** Eger ideal gaz:

a) izohorik;

b) izobarik prosesleri amala aşyran bolsa, onda her molekulanyň erkin ýolunyň orta uzynlygy we wagt birligindäki çaknyşmalaryň orta sany ideal gazyň absolyt temperaturasyna nähili bagly?

**10.23.** Ideal gaz käbir prosesi amala aşyrdy. Netijede onuň basyşy  $n$  esse artdy. Eger hadysa:

a) izohorik;

b) izotermik bolsa, onda erkin ýolunyň orta uzynlygy we her molekulanyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň sany nähili we näçe esse üýtgär?

**10.24.** Eger iki atomly gazyň göwrümini 2 esse adiabatik ulaltsaň, onuň molekulalarynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sany näçe esse azalar?

**10.25.** Ideal gaz politropa görkezijisi  $n$  bolan politropik prosesi amala aşyrýar. Gazyň molekulalarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyny we her bir molekulanyň her sekuntaky çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sanyny:

a)  $V$  göwrümiň;

b)  $p$  basyşyň;

ç)  $T$  temperaturanyň funksiýasy ýaly tapmaly.

**10.26.** Geliý  $p = 1Pa$  basyşda biri-birinden  $l = 5mm$  aralykda bolan iki sany uly parallel plastinalaryň arasynda ýerleşýär. Plastinalaryň biri  $t = 17^{\circ}C$  temperaturada, beýlekisi bolsa  $t_2 = 37^{\circ}C$  temperaturada saklanýar. Geliýniň atomlarynyň  $\bar{\lambda}$  erkin ýolunyň orta uzynlygyny tapmaly.

**10.27.** Kadaly şertlerde wodorodyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda}_1 = 0,1mkm$  -e deň. Temperatura hemişelik bolsa,  $p = 0,1mPa$  basyşda olaryň erkin ýolunyň  $\bar{\lambda}_2$  orta uzynlygyny tapmaly.

**10.28.** Temperaturasy  $T = 300K$  bolan we käbir basyşda kislorodyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 0,1mkm$ -e deň. Gapdaky basyş başlangyç basyşyň 0,1-ne çenli peseldilse, molekulalaryň 1s-da sezewar bolýan çaknyşmalaryň  $\bar{z}$  orta sanyny tapmaly. Temperaturany hemişelik hasap etmeli.

**10.29.** Iki atomly gazyň göwrümi adiabatik 2 esse ulaldylsa, gazyň molekulalarynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň orta sany näçe esse kiçeler?

**10.30.** Sferik gabyň diametri: a)  $D = 1 sm$ ; b)  $D = 10 sm$ ; ç)  $D = 100 sm$  bolsa, gazyň molekulalary bir-biri bilen çaknyşmaz ýaly gabyň içindäki basyş näçä deň bolmaly? Gazyň molekulasyň diametri  $d = 0,3 nm$

**10.31.** Geliýniň dykyzlygy  $\rho = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$  -a deň. Geliýniň atomlarynyň erkin ýolunyň  $\bar{\lambda}$  orta uzynlygyny tapmaly. Geliýniň molekulalarynyň effektiw diametri  $d = 0,22 \text{ nm}$

**10.32.** Kābir gazyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 5 \text{ mkm}$ , orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 600 \text{ m/s}$ . Bu gazyň molekulalarynyň wagt birligindäki çaknyşmalarynyň orta sanyny tapmaly.

**10.33.** Göwrümi  $V = 5 \text{ l}$  bolan gapda  $m = 1 \text{ g}$  massaly wodorod saklanýar. Molekulalaryň erkin ýolunyň  $\bar{\lambda}$  orta uzynlygyny tapmaly. Wodorodyň molekulalarynyň effektiw diametri  $d = 0,28 \text{ nm}$ .

**10.34.** Kislorodyň molekulalarynyň  $T = 280 \text{ K}$  temperaturadaky erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 0,12 \text{ mkm}$  -e deň. Molekulalaryň 1s-yň dowamynda sezewar bolýan çaknyşmalarynyň  $\bar{z}$  orta sanyny tapmaly.

## 11. GEÇİŞ HADYSALARY. DIFFUZIÝA

### Esasy kanunlar we formulalar

- Fikiň kanuny:

$$\Delta m = -D \frac{d\rho}{dx} S \Delta \tau,$$

bu ýerde  $\Delta m$  – diffuziýa netijesinde  $S$  meýdanyň üstünden  $\Delta \tau$  wagt aralygynda geçirilen gazyň massasy;

« $\leftarrow$ » alamat massanyň dykyzlygyň gradiýentiniň kemelýän tarapyna geçirilýändigini görkezýär;

$D$  – diffuziýa koeffisiýenti;

$\frac{d\rho}{dx}$  – dykyzlygyň gradiýenti.

- Diffuziýa koeffisiýenti:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda},$$

bu ýerde  $\bar{v}$  – gazyň molekulalarynyň orta arifmetik tizligi;

$\bar{\lambda}$  – molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy.

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**11.1-nji mesele.** Birmeňzeş temperaturada we basyşda azotyň diffuziýa koeffisiýenti kömürturşy gazyň diffuziýa koeffisiýentinden näçe esse tapawutlanýar. Bu gazlaryň molekulalarynyň diametrlerini birmeňzeş diýip hasap etmeli.

**Berlen:**  $\mu_1 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ;  $\mu_2 = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

**Tapmaly:**  $\frac{D_1}{D_2}$ .

**Çözülişi.** Gazyň diffuziýa koeffisiýenti:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}, \quad (11.1)$$

bu ýerde molekulanyň orta arifmetiki tizligi:



$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}},$$

molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}.$$

$p = nkT$  formuladan we meseläniň şertinden ( $p_1 = p_2$ ,  $T_1 = T_2$ ) peýdalanyň,  $n_1 = n_2$  alarys.

$\bar{\vartheta}$ ,  $\bar{\lambda}$  ululyklary (11.1) formulada ýerine goýup alarys:

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{44 \cdot 10^{-3}}{28 \cdot 10^{-3}}} = 1,25.$$

**11.2-nji mesele.** Beýikligi  $H$  we kese kesiginiň meýdany  $S$  bolan silindr görnüşli gapda şekerin ergini ýerleşýär. Şekerin molekulalarynyň konsentrasiýasy gabyň düýbünde  $n_1$ -den onuň üstünde  $n_2$ -ä çenli üýtgap,  $z$  beýiklige görä eksponensial kanun boýunça kemelýär. Şekerin molekulalarynyň diffuziýa koeffisiýenti  $D$ , molekulalarynyň massasy  $m$ -e deňdir. Şekerin massasynyň akymyny  $z$ -e görä funksiýa görnüşde kesgitlemeli.

**Berlen:**  $H$ ;  $S$ ;  $n_1$ ;  $n_2$ ;  $z$ ;  $D$ ;  $m$ .

**Tapmaly:**  $J$ .

**Çözülüşi.** Diffuziýa wagtynda massanyň akymy:

$$J = \frac{\Delta m}{\Delta t} = -D \frac{dn}{dz} mS, \quad (11.2)$$

bu ýerde  $\Delta m$  – şekerin massasy;  $m$  – bir molekulanyň massasy.

$J$  massasynyň akymyny kesgitlemek üçin  $dn/dz$  konsentrasiýanyň gradiýentini tapmak zerurdyr. Meseläniň şertine görä,  $n(z) = n_1 e^{-az}$ , bu ýerde  $a$  – näbelli koeffisiýent. Konsentrasiýa  $n(H) = n_2$ ,  $n_2 = n_1 e^{-aH}$ . Bu ýerden

$$a = \frac{1}{H} \ln \frac{n_1}{n_2}.$$

Onda konsentrasiýanyň gradiýenti:

$$\frac{dn}{dz} = -an_1 e^{-az} = -\frac{n_1}{H} \left( \ln \frac{n_1}{n_2} \right) \exp \left( -\frac{z}{H} \ln \frac{n_1}{n_2} \right) = \frac{n_1}{H} \left( \ln \frac{n_2}{n_1} \right) \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^{\frac{z}{H}}.$$

$\frac{dn}{dz}$ -in bahasyny (11.2) formulada ýerine goýup taparys:

$$J = \frac{DmSn_1}{H} \left( \ln \frac{n_2}{n_1} \right) \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^{\frac{z}{H}}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**11.1.** Kadaly şertlerde geliýniň atomynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-7} m$ . Diffuziýa koeffisiýentini kesgitlemeli.

**11.2.** Temperaturasý  $t = 10^\circ C$  we basyşy  $p = 10^5 Pa$  bolan azotyň diffuziýa koeffisiýentini kesgitlemeli. Azotyň molekulasyň diametri  $d = 0,37 nm$ .

**11.3.** Eger kislorodyň diffuziýa koeffisiýenti  $t = 0^\circ C$  temperaturada we kadaly şertlerde  $D = 0,19 sm^2/s$ -a deň bolsa, onda kadaly şertde kislorodyň molekulasyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny kesgitlemeli.

**11.4.** Eger azotyň dykzylygynyň gradiýenti  $1,26 kg/m^4$ -e deň bolsa, onda  $10s$ -da  $100 sm^2$  meýdançadan diffuziýa netijesinde geçýän azotyň massasyny kesgitlemeli. Azotyň temperaturasy  $27^\circ C$ . Azotyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 10^{-5} sm$ .

**11.5.** Eger temperatura 3 esse kiçelse, diffuziýa wagty bolsa 2 esse ulalsa stasionar hadysada diffuzirlenýän gazyň massasy näçe esse üýtgär?

**11.6.** Birmeňzeş temperaturada we basyşlarda ýerleşýän kömürturşy gazyň we azotyň diffuziýa koeffisiýentleriniň gatnaşygyny kesgitlemeli.

**11.7.**  $100K \leq T \leq 600K$  interwalda her  $100K$ -de wodorodyň diffuziýa koeffisiýentiniň temperatura baglylyk grafigini gurun.  $p = 10^5 Pa$ .

**11.8.**  $T$  temperaturada  $D$  diffuziýa koeffisiýentiniň

a) izobarik;

b) izohorik hadysalara baglylygyny kesgitlemeli.

**11.9.**  $p$  basyşda  $D$  diffuziýa koeffisiýentiniň

a) izotermik;

b) izohorik hadysalara baglylygyny kesgitlemeli.

**11.10.** Aşa seýreklandirilen gazyň turbadan akymyny diffuziýa hadysasy hökmünde kabul edip bolar. Diffuziýa koeffisiýenti gazyň molekulalarynyň gabyň diwarlaryna çaknyşmalary bilen kesgitlenýär. Molekulalaryň öz aralaryndaky çaknyşmalaryny hasaba almaly däl.

Erkin ýolunyň uzynlygy hökmünde turbanyň  $2r$  diametrini kabul etmeli. Eger turbanyň bir ujunda gazyň molekulalarynyň konsentrasıýasy  $n_1$ , beýleki ujunda bolsa 0-a deň bolsa, onda turbanyň kese kesiginden her sekuntda geçýän molekulalaryň sanyny tapmaly.

**11.11.** 11.10 meseläniň şertlerinde turbanyň bir ujunda molekulalarynyň konsentrasıýasy  $n_1$ , beýleki ujunda bolsa  $n_2$  diýip hasap edip çözmeli we  $Q = \frac{\pi \mu r^4}{16 \eta R T} \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{l}$  formula bilen deňeşdirmeli.

**11.12.** Eger gazyň göwrümi hemişelik basyşda 2 esse ulalsa, onda azotyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygynyň we diffuziýa koeffisiýentiniň üýtgemelerini kesgitlemeli.

**11.13.** Käbir prosesin netijesinde ideal gazyň şepbeşiklik koeffisiýenti  $\alpha = 2$  esse, diffuziýa koeffisiýenti bolsa  $\beta = 4$  esse ulaldy. Gazyň basyşy nähili we näçe esse üýtgedi?

**11.14.** Eger ideal gazyň göwrümini:

a) izotermik;

b) izobarik  $n$  esse kiçeltseň, onda gazyň diffuziýa koeffisiýenti nähili üýtgär?

**11.15.** Azotyň diffuziýa koeffisiýentini:

a) kadaly şertlerde;

b) basyşy  $p = 100 Pa$  we temperaturasy  $T = 300 K$ -e deň bolanda kesgitlemeli.

**11.16.**  $p = 10^5 Pa$  basyşda we  $t = 17^\circ C$  temperaturada azotyň molekulalarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny we diffuziýa koeffisiýentini kesgitlemeli. Gazyň göwrümi:

a) hemişelik basyşda;

b) hemişelik temperaturada 2 esse ulaldylanda tapylan ululyklar nähili üýtgär? Azotyň molekulasyň diametri  $d = 3,7 \cdot 10^{-8} sm$ .

**11.17.** Ideal gaz iki atomly molekuladan durýar. Eger gazyň göwrümi adiabatiki  $n = 10$  esse kiçeldilse, onda diffuziýa koeffisiýenti nähili we näçe esse üýtgär?

**11.18.** Diffuziýa koeffisiýenti üýtgemeýän ýagdaýynda ideal gaz politropik prosesi amala aşyrýan bolsa, politropanyň  $n$  görkezijisini kesgitlemeli.

## 12. GEÇİŞ HADYSSALARY. ÝYLYLYK GEÇİRİJILIK. ÝYLYLYK GEÇİRİJILIGIŇ WAGTA BAGLY FORMULASY

### Esasy kanunlar we formulalar

- Furýeniň kanuny:

$$\Delta Q = -\chi \frac{dT}{dx} S \Delta \tau,$$

bu ýerde  $\Delta Q$  –  $S$  meýdanly kesikden  $\Delta \tau$  wagtda ýylylyk geçirijilik boýunça geçýän ýylylyk mukdary;

«–» alamaty ýylylyk mukdarynyň temperaturanyň gradiýentiniň kemelýän tarapyna geçirilýändigini görkezýär;

$\chi$  – ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti;

$\frac{dT}{dx}$  – temperaturanyň gradiýenti.

- Ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti:

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{\vartheta} c_v,$$

bu ýerde  $c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}$  – gazyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy;

$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  – gazyň molekulalarynyň orta arifmetik tizligi;

$\bar{\lambda}$  – molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygy;

$\rho$  – gazyň dykzlygy.

- Ýylylyk geçirijiligiň wagta bagly bolan (stasionar däl) deňlemesi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T,$$

bu ýerde  $\alpha = \frac{\chi}{c_v \rho}$  – temperatura geçirijilik koeffisiýenti.

Eger  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$  bolsa, onda

$$\chi \nabla^2 T = 0$$

bolar. Bu ýylylyk geçirijiligiň stasionar deňlemesi.

- Stasionar ýylylyk geçirijiligiň silindrik koordinatalar ulgamyndaky deňlemesi:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{dT}{dr} \right) + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0.$$

- Stasionar ýylylyk geçirijiligiň sferik koordinatalar ulgamyndaky deňlemesi:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{dT}{dr} \right) + \frac{2}{r} \frac{dT}{dr} = 0.$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**12.1-nji mesele** Gapda  $T = 300K$  temperaturada saklanýan kislorodyň  $\chi$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Kislorodyň molekulasynyň diametri  $d = 0,36nm$ , udel ýylylyk sygymy  $c_v = 649 J/kg \cdot K$ .

**Berlen:**  $T = 300K$ ;  $\mu = 32 \cdot 10^{-3} kg/mol$ ;  $d = 0,36nm$

$(0,36 \cdot 10^{-9} m)$ ;  $c_v = 649 J/kg \cdot K$ .

**Tapmaly:**  $\chi$

**Çözülişi.** Ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{\vartheta} c_v, \quad (12.1)$$

bu ýerde gazyň dykyzlygy

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}, \quad (12.2)$$

molekulalaryň orta arifmetik tizligi

$$\bar{\vartheta} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (12.3)$$

we kislorodyň molekularynyň erkin ýolunyň orta uzynlygy

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}. \quad (12.4)$$

Bu ýerde gazyň  $p$  basyşy we molekulalaryň  $n$  konsentrasiýasy  $p = nkT$  formula bilen baglanysýar.

(12.2) – (12.4) deňlikleri (12.1) formulada ýerine goýup alarys:

$$\chi = \frac{2}{3} \frac{k c_v}{\pi d^2} \sqrt{\frac{\mu T}{\pi R}}. \quad (12.5)$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup, alarys:

$$\chi = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 649}{3 \cdot 3,14 \cdot (0,36 \cdot 10^{-9})^2} \sqrt{\frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{3,14 \cdot 8,31}} = 8,9 \frac{mWt}{m \cdot K}.$$

**12.2-nji mesele.** Howanyň ýylylyk geçirijiliginiň hasabyna  $\tau = 1sag$  wagtyň dowamynda penjiräniň çarçuwasyndan otag näçe ýylylyk mukdaryny ýitirer? Her bir çarçuwanyň meýdany  $S = 4m^2$ , olaryň arasyndaky uzaklyk  $l = 30sm$ . Otagyň temperaturasy  $t_1 = 18^\circ C$ , daşky howanyň temperaturasy  $t_2 = -20^\circ C$ . Howanyň molekulasyň diametri  $d = 0,3nm$ . Çarçuwalaryň arasyndaky howanyň temperaturasyny daşky howa bilen otagyň orta arifmetik temperaturasyna deň diýip hasap etmeli. Basyş  $p = 101,3kPa$ .

**Berlen:**  $\tau = 1sag$  (3600s);  $S = 4m^2$ ;  $l = 30sm$  (0,3m);  $t_1 = 18^\circ C$  ( $T_1 = 291K$ );  $t_2 = -20^\circ C$  ( $T_2 = 253K$ );  $d = 0,3nm$  ( $0,3 \cdot 10^{-9}m$ ).

**Tapmaly:**  $\chi$

**Çözülişi.** Ýylylyk geçirijilik netijesinde  $\tau$  wagtyň dowamynda geçirilen ýylylyk mukdary

$$Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta x} S \tau$$

formula bilen kesgitlenýär. Ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiň temperatura baglylygyny görkezýän (12.5) formuladan peýdalanalyň:

$$\chi = \frac{2}{3} \frac{k c_v}{\pi d^2} \sqrt{\frac{\mu T}{\pi R}}.$$

Bu ýerde  $T$  çarçuwalaryň arasyndaky howanyň temperaturasy,

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 272K.$$

Howanyň udel ýylylyk sygymy  $c_v = 717J/kg \cdot K$ , molýar massasy  $\mu = 29g/mol$ . Berlen san bahalaryny formulada ýerine goýup taparys:

$$\chi = 12,9 \cdot 10^{-3} \text{ Wt/m} \cdot \text{K}.$$

$\Delta x = d$  bolýandygy üçin  $\tau$  wagtyň dowamynda geçen ýylylyk mukdary taparys:

$$Q = -\chi \frac{T_2 - T_1}{d} S \cdot \tau.$$

Soňky formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$Q = -\frac{12,9 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 291) \cdot 4 \cdot 3600}{0,3 \cdot 10^{-9}} = 24 \text{ kJ}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**12.1.** Eger molekulanyň erkin ýolunyň orta uzynlygy  $\bar{\lambda} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  bolsa, onda kadaly şertlerde geliýniň ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Geliýniň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**12.2.** Göwrümi  $V = 2 \text{ l}$  bolan gapda gazyň  $N = 4 \cdot 10^{22}$  sany molekulasy bar. Gazyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 14 \text{ mWt/m} \cdot \text{K}$ . Gazyň diffuziýa koeffisiýentini kesgitlemeli. Gazyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**12.3.** Molekulasynyň diametri  $d = 0,35 \text{ nm}$  bolan kislorodyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Kislorod kadaly şertlerde ýerleşýär. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**12.4.** Kadaly şertlerde geliýniň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti argonyňkydan 8,7 esse uly bolsa, argonyň we geliýniň molekulalarynyň diametrleriniň gatnaşygyny kesgitlemeli. Geliýniň erkinlik derejesiniň sany  $i_g = 5$ , molýar massasy  $\mu_g = 4 \text{ g/mol}$ , argonyň erkinlik derejesiniň sany  $i_a = 3$ , molýar massasy  $\mu_a = 40 \text{ g/mol}$ .

**12.5.** Bir-birinden  $\Delta x = 5 \text{ mm}$  aralykda ýerleşen her biriniň meýdany  $S = 150 \text{ cm}^2$  bolan parallel plastinkalarynyň arasyndaky boşluk kislorod bilen doldurylan. Bir plastinkanyň temperaturasy  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  beýleki plastinkanyňky bolsa  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ . Ýylylyk geçirijilik arkaly  $\tau = 5 \text{ min}$  -yň dowamynda bir plastinkadan beýleki plastinka geçýän  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Kislorodyň molekulalarynyň diametri  $d = 0,35 \text{ nm}$ , erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ . Kislorod bolsa kadaly şertlerde ýerleşýär.

**12.6.** Kăbir göwrümde  $T=280\text{ K}$  temperaturada ýerleşýän azotyň  $\chi$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Azotyň molekulasyňň diametri  $d=0,37\text{ nm}$ ,

**12.7.** Içki radiusy  $r_1=9\text{ sm}$  we daşky radiusy  $r_2=10\text{ sm}$  bolan silindr görnüşli termos buz bilen doldurylan. Termosyň beýikligi  $h=20\text{ sm}$ . Buzuň temperaturasy  $t_1=0^\circ\text{C}$ , daşky howanyň temperaturasy  $t_2=20^\circ\text{C}$ . Termosyň diwarlarynyň arasyndaky howanyň basyşy näçe bolanda ýylylyk geçirijilik basyşa bagly bolmagyny dowam eder? Howanyň molekulasyňň diametri  $d=0,3\text{ nm}$ , termosyň diwarlarynyň arasyndaky howanyň temperaturasyny daşky howa bilen buzuň orta arifmetik temperaturasyna deň diýip hasap etmeli.  $p_1=101,3\text{ kPa}$  we  $p_2=133,3\text{ mPa}$  basyşlarda termosyň diwarlarynyň arasyndaky howanyň  $\chi_1$  we  $\chi_2$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentlerini we  $\Delta\tau=1\text{ min}$  wagtyň dowamynda orta radiusy  $r=9,5\text{ sm}$  bolan termosyň gapdal üstünden geçýän ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Howanyň molýar massasy  $\mu=29\text{ g/mol}$ .

**12.8.** Bir-birinden  $l=1\text{ mm}$  aralykda ýerleşen iki sany plastinkalaryň arasynda howa ýerleşýär. Plastinkalaryň arasyndaky temperaturalaryň tapawudy  $\Delta T=1\text{ K}$ . Her bir plastinkanyň meýdany  $S=0,01\text{ m}^2$ . Ýylylyk geçirijiligiň hasabyna  $\tau=1\text{ min}$  wagtyň dowamynda bir plastinkadan beýleki plastinka geçýän  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Howa kadaly şertlerde ýerleşýär diýip hasap etmeli. Howanyň molekulalarynyň diametri  $d=0,3\text{ nm}$ .

**12.9.** Uzynlygy  $l=20\text{ sm}$  we kese kesiginiň meýdany  $S=3\text{ sm}^2$  bolan polat sterženiň bir tarapy  $t=300^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzdyrylýar, beýleki tarapy bolsa buza degip dur. Ýylylygyň geçirilmesi diňe sterženiň uzynlygyna (diwarlaryndan ýitgisiz) bolup geçýär diýip kabul edip,  $\tau=10\text{ min}$  wagtyň dowamynda erän buzuň  $m$  massasyny hasaplamaly. Poladyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi=0,16\text{ kal}/(\text{s} \cdot \text{sm} \cdot ^\circ\text{C})$ , buzuň eremeginiň udel ýylylygy  $\lambda=80\text{ kal/g}$ .

**12.10.** Mis kofeýnigi primusda gyzdyrylýar. Suw gaýnap, her minutda  $m=2\text{ g}$  bug bölüp çykarýar. Kofeýnigiň düýbünüň galyňlygy  $l=2\text{ mm}$ , meýdany bolsa  $S=300\text{ sm}^2$ . Kofeýnigiň düýbünüň içki we daşky üstleriniň arasyndaky  $\Delta t$  temperaturalarynyň tapawudyny kesgitlemeli. Kofeýnigiň ähli düýbi deňölçegli gyzyýar diýip hasap et-



meli. Misiň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 0,92 \text{ kal} / (s \cdot \text{sm}^\circ\text{C})$ , suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $\lambda = 539 \text{ kal} / g$ .

**12.11.** Ýokardaky meseläni eger kofeýnigiň düýbi iç ýüzünden galyňlygy  $l_1 = 1 \text{ mm}$  bolan joş örtügi bilen örtülen ýagdaýynda çözmeli. Joşuň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi_1 = 0,003 \text{ kal} / (s \cdot \text{sm}^\circ\text{C})$ .

**12.12.** Galyňlygy  $l$ , üstleriniň temperaturalary  $T_1$  we  $T_2$  bolan birhilli plastinada temperaturanyň stasionar paýlanyşygyny kesgitlemeli.

**12.13.** Radiuslary  $r_1$  we  $r_2$  bolan iki sany koaksial silindrleriň arasyndaky gurşaw ýylylyk geçiriji birhilli madda bilen doldurylan. Eger içki silindriň temperaturasy  $T_1$ , daşky silindriňki  $T_2$  bolsa, bu gurşawdaky temperaturanyň stasionar paýlanyşygyny tapmaly.

**12.14.** Radiuslary  $r_1$  we  $r_2$  bolan iki sany konsentrik sferalaryň arasyndaky gurşaw ýylylyk geçiriji birhilli madda bilen doldurylan. Eger iki sferanyň temperaturasy hemişelik we  $T_1$  we  $T_2$ -ä deň bolsa, bu gurşawdaky temperaturanyň stasionar paýlanyşygyny tapmaly.

**12.15.** Ýylylyk geçirmeýän bardada ýerleşýän sterženiň bir uýy  $T_1$  temperaturada, beýleki uýy bolsa  $T_2$  temperaturada saklanýar. Sterženiň öz uzynlyklary  $l_1$  we  $l_2$ , ýylylyk geçirijilik koeffisiýentleri  $\chi_1$  we  $\chi_2$  bolan iki bölekden ybarat. Sterženiň bu bölekleriniň galtaşma üstleriniň temperaturasyny tapmaly.

**12.16.** Uzynlyklary  $l_1$  we  $l_2$ , ýylylyk geçirijilik koeffisiýentleri  $\chi_1$  we  $\chi_2$  bolan iki sany steržen uçlary bir-birine degrip goýlan. Bu iki sterženden ybarat sistema ýaly ýylylygy geçirýän  $l_1 + l_2$  uzynlykly birhilli sterženiň ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Sterženleriň gapdal üstlerinden ýylylyk ýitgileri ýok diýip kabul etmeli.

**12.17.** Gapdal üstleri ýylylyk geçirmeýän  $l$  uzynlykly steržen ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti temperatura baglylykda  $\chi = \alpha / T$  kanun boýunça üýtgeýän maddadan taýýarlanan, bu ýerde  $\alpha$  – hemişelik. Sterženiň uçlary  $T_1$  we  $T_2$  temperaturada saklanýar.  $T(x)$  baglanyşygy we ýylylyk mukdaryny tapmaly. Bu ýerde  $x$  – sterženiň temperaturasy  $T_1$  bolan ujundan aralyk.

**12.18.** Ýylylyk sygymlary  $C_1$  we  $C_2$  bolan iki sany demir bölegi kese kesiginiň meýdany  $S$ , uzynlygy  $l$  we ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi$  ýeterlik kiçi bolan steržen bilen birikdirilen. Ähli

sistema daşky gurşawa ýylylyk geçirmeýär.  $t = 0$  pursatda iki sany demir bölegiň arasyndaky temperaturalaryň tapawudy  $(\Delta T)$ -a deň. Sterženiň ýylylyk sygymyny hasaba alman, demirleriň arasyndaky temperaturalaryň tapawudyny wagtyň funksiýasy hökmünde tapmaly.

**12.19.** Iki sany parallel plastinalaryň arasyndaky maddanyň temperaturalarynyň paýlanyşygyny tapmaly. Plastinalar  $T_1$  we  $T_2$  temperaturada saklanýar, olaryň arasyndaky uzaklyk  $l$ ,  $T_1$  temperaturaly plastinadan aralyk  $x$  we maddanyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi \sim \sqrt{T}$ .

**12.20.** Iki sany uly gorizental plastinalaryň arasy geliý bilen doldurylan. Plastinalaryň arasyndaky uzaklyk  $l = 50 \text{ mm}$ . Aşaky plastina  $T_1 = 290 \text{ K}$ , ýokarky plastina  $T_2 = 330 \text{ K}$  temperaturada saklanýar. Gazyň basyşy kadaly basyşa golaý. Geliýniň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ , molekulasyň diametri  $d = 0,2 \text{ nm}$ . Ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

**12.21.** Geliý  $p = 1 \text{ Pa}$  basyşda biri-birinden  $l = 5 \text{ mm}$  uzaklykda ýerleşen iki sany uly parallel plastinalaryň arasynda saklanýar. Plastinalaryň biri  $t_1 = 17^\circ \text{C}$ , beýlekisi bolsa  $t_2 = 37^\circ \text{C}$  temperatura-da ýerleşýär. Geliniň atomlarynyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny we ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

**12.22.** Suwly gaba salnan  $R = 10 \text{ sm}$  radiusly uran şary neýtron akymy bilen deňölçeqli şöhlendirilýär. Uranyň ýadrolarynyň dargama reaksiýalary netijesinde şarda  $Q = 100 \text{ Wt/sm}^3$  energiýa bölünip çykýar. Suwuň temperaturasy  $T = 373 \text{ K}$ , uranyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 400 \text{ Wt/m} \cdot \text{K}$ . Şarda temperaturanyň stasionar paýlanyşygyny we şaryň merkezindäki temperaturany kesgitlemeli.

**12.23.** Hemişelik elektrik togy radiusy  $R$  we ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi$  bolan birhilli geçirijiden akýar. Geçirijiniň birlik göwrüminden  $\omega$  ýylylyk kuwwaty bölünip çykýar. Eger geçirijiniň üstündäki durnuklaşan temperatura  $T_0$  bolsa, onda geçirijidäki temperaturanyň paýlanyşygyny kesgitlemeli.

**12.24.** Bir gije-gündiziň dowamynda asuda kölüň ýüzünde emele gelýän buzuň  $x$  galyňlygyny kesgitlemeli. Gurşap alýan howanyň temperaturasy ähli wagt hemişelik we buzuň daşky üstüniň temperaturasyna deň, ýagny  $t = -10^\circ \text{C}$  ( $T < T_{er}$ , bu ýerde  $T_{er}$  – buzuň

ereme temperaturasy). Buzuň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 2,22 \cdot 10^5 \text{ erg}/(\text{s} \cdot \text{sm} \cdot \text{K})$ , buzuň eremeginiň udel ýylylygy  $q = 3,35 \cdot 10^9 \text{ erg/g}$ , buzuň dykzlygy  $\rho = 0,9 \text{ g/sm}^3$ .

**12.25.** Buzuň sferik bölegi ( $R_0 = 1 \text{ sm}$  başlangyç radiusly)  $10^\circ\text{C}$  temperaturaly köp massaly suwa çümdürilen. Suwuklykda ýylylyk diňe onuň ýylylyk geçirijiligi bilen berilýär diýip hasap edip, buzuň doly ereýän  $\tau$  wagtynyň dowamlylygyny kesgitlemeli. Suwuň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Wt}/(\text{sm} \cdot \text{K})$ , buzuň eremeginiň udel ýylylygy  $q = 330 \text{ J/g}$ , buzuň dykzlygy  $\rho = 0,9 \text{ g/sm}^3$ .

**12.26.** Howanyň  $p = 100 \text{ kPa}$  basyşda we  $t = 10^\circ\text{C}$  temperaturada  $\chi$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Howanyň molekulasynyň diametri  $d = 0,3 \text{ nm}$ .

**12.27.** Wodorodyň  $\chi$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiniň her  $100 \text{ K}$ -den  $100 \leq T \leq 600 \text{ K}$  aralykda  $T$  temperatura baglylyk grafigin gurmaly.

**12.28.** Azotyň  $\chi$  ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemek üçin radiuslary  $r_1 = 0,5 \text{ sm}$  we  $r_2 = 2 \text{ sm}$  bolan iki sany uzyn koksial silindrleriň aralygy azot bilen dolduryldy. Içki silindr üstünden  $I = 0,1 \text{ A}$  tok geýýän spiral boýunça deňölçegli gyzdrylýar. Silindriň uzynlyk birligine düşýän spiralyň garşylygy  $R = 0,10 \text{ m}$ -a deň. Daşky silindr  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  temperaturada saklanýar. Hadysa durnuklaşanda içki silindriň temperaturasy  $t_1 = 93^\circ\text{C}$ -e deň boldy. Azotyň molekulasynyň  $d$  diametrini tapmaly. Bular ýaly tejribelerde gazyň basyşy örän kiçi alynýar, şonuň üçin konweksiýany hasaba almasaň hem bolýar.

**12.29.** Ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiň  $\chi$

1) izobarik;

2) izohorik hadysalarda  $T$  temperatura baglylygyny tapmaly.

**12.30.** Ýylylyk geçirijilik koeffisiýentiň  $\chi$

1) izotermik;

2) izohorik hadysalarda  $p$  basyşa baglylygyny tapmaly.

## 13. GEÇİŞ HADYSALARY. IÇKI SÜRTÜLME

### Esasy kanunlar we formulalar

- Nýutonyň kanuny

$$F = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} \Delta S,$$

bu ýerde  $F$  – iki sany hereket edýän gazyň gatlagynyň içki sürtülme güýji;

« $\rightarrow$ » alamat impulsyň tizligiň gradiýentiniň kemelýän tarapyna geçirilýändigini görkezýär;

$\eta$  – gazyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti;

$\frac{d\vartheta}{dx}$  – akymyň tizliginiň gradiýenti;

$\Delta S$  – üst elementiniň meýdany.

- Şepbeşiklik koeffisiýenti

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\vartheta} \bar{\lambda},$$

bu ýerde  $\rho$  – gazyň dykzlygy;

$\bar{\vartheta}$  – gazyň molekularynyň orta arifmetik tizligi;

$\bar{\lambda}$  – erkin ýolunyň orta uzynlygy.

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**13.1-nji mesele.** Eger azotyň diffuziýa koeffisiýenti  $D = 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ -a deň bolsa, onda onuň kadaly şertlerdäki şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $D = 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $T = 273\text{K}$ ;  $p = 10^5 \text{ Pa}$ ;

$\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

**Tapmaly:**  $\eta$ .

**Çözülişi.** Diffuziýa we şepbeşiklik koeffisiýentleri aşakdaky formulalar arkaly kesgitlenýär:

$$D = \frac{1}{3} \bar{\vartheta} \bar{\lambda}, \quad \eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\vartheta} \bar{\lambda}.$$

Şeýlelikde,  $\frac{\eta}{D} = \rho$  gazyň dykyzlygy. Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesi esasynda

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \quad \text{ýa-da} \quad p = \frac{\rho RT}{\mu}.$$

Bu ýerden

$$\frac{RT}{\mu} = \frac{p}{\rho} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{RT}{\mu} = \frac{pD}{\eta}.$$

Soňky formuladan alarys:

$$\eta = \frac{pD\mu}{RT}.$$

San bahalaryny formulada ornuna goýup hasaplarys:

$$\eta = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 1,42 \cdot 10^{-5} \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273} = 17,8 \text{ mPa} \cdot \text{s}.$$

**13.2-nji mesele.** Uzynlyklary  $l = 10 \text{ sm}$  bolan ýuka diwarly iki sany koaksial silindrlər umumy  $z$  okuň töwereginde erkin aýlanýarlar. Silindrleriň arasynda  $d = 2 \text{ mm}$  ölçegli yş bar. Uly silindriň radiusy  $R = 5 \text{ sm}$ . Iki silindr hem kadaly şertlerde howada ýerleşýär. Içki silindri  $\nu_1 = 20 \text{ s}^{-1}$  ýygylýk bilen aýlandyrýarlar. Daşky silindr bolsa hereketsiz saklanýar. Daşky silindriň boşadylan pursadyndan başlap, näçe wagt aralygyndan soň ol  $\nu_2 = 1 \text{ s}^{-1}$  ýygylýga eýe bolar? Hasaplamalarda silindrleriň oňnositel tizlikleriniň üýtgemelerini hasaba almaly däl. Daşky silindriň massasy  $m = 100 \text{ g}$ .

**Berlen:**  $l = 10 \text{ sm}$  ( $0,1 \text{ m}$ );  $\nu_1 = 20 \text{ s}^{-1}$ ;  $\nu_2 = 1 \text{ s}^{-1}$ ;

$d = 2 \text{ mm}$  ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ );  $R = 5 \text{ sm}$  ( $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ );  $m = 100 \text{ g}$  ( $0,1 \text{ kg}$ ).

**Tapmaly:**  $\Delta t$ .

**Çözülişi.** Içki silindriň aýlanmagy bilen onuň töweregindäki howa gatlagy hem oňa goşulyp, aýlanma hereketine gatnaşyp başlaýar. Bu silindriň üstüniň golaýyndaky howa gatlagy wagtyň geçmegi bilen edil silindriň üstündäki nokatlaryň tizligi ýaly çyzykly tizlige eýe bolýar, ýagny  $\vartheta = 2\pi\nu_1(R - d)$ .  $d \ll R$  bolany üçin  $\vartheta = 2\pi\nu_1R$ .

Içki sürtülmäniň netijesinde impulsyň momenti gazyň goňşy gatlagyna geçirilýär.  $\Delta t$  wagt aralygynda daşky silindr

$$L = pR \quad (13.1)$$

impulsyň momentine eýe bolýar. Bu ýerde  $p - \Delta t$  wagtda daşky silindriň eýe bolan impulsy. Bu ýerden

$$p = \frac{L}{R}. \quad (13.2)$$

Başga tarapdan

$$p = \eta \frac{d\vartheta}{dz} S \Delta t, \quad (13.3)$$

bu ýerde  $\eta$  – dinamiki şepbeşiklik;  $\frac{d\vartheta}{dz}$  – tizligiň gradiýenti;  $S$  – silindriň üstüniň meýdany ( $S = 2\pi Rl$ ).

Bu formulalary deňläp, gözlenýän  $\Delta t$  wagt aralygyny taparys:

$$\Delta t = \frac{L}{\eta R \frac{d\vartheta}{dz} S}. \quad (13.4)$$

Bu formula girýän  $L$ ,  $\frac{d\vartheta}{dz}$  we  $S$  ululyklary tapalyň. Impulsyň momenti  $L = I\omega_2$ , bu ýerde  $I$  – silindriň inersiýa momenti ( $I = mR^2$ ),  $m$  – onuň massasy,  $\omega_2$  – daşky silindriň burç tizligi ( $\omega_2 = 2\pi\nu_2$ ). Bulary hasaba alyp, ýazarys:

$$L = mR^2 \cdot 2\pi\nu_2 = 2\pi mR^2 \nu_2.$$

Tizligiň gradiýenti  $\frac{d\vartheta}{dz} = \frac{\vartheta}{z} = \frac{\vartheta}{d}$ . Silindriň meýdany  $S = 2\pi Rl$ , (13.4) formulada  $L$ ,  $\frac{d\vartheta}{dz}$  we  $S$  ululyklaryň aňlatmalaryny goýup taparys:

$$\Delta t = \frac{m\nu_2 d}{\eta \vartheta l}.$$

Bu ýerde  $\vartheta$  tizligiň aňlatmasyny ulanyp alarys:

$$\Delta t = \frac{m\nu_2 d}{2\pi\eta Rl\nu_1}. \quad (13.5)$$

Howanyň dinamiki şepbeşikligi  $\eta = 17,2 \text{ mKPa} \cdot \text{s}$ . San bahalaryny (13.5) formulada goýup alarys:

$$\Delta t = \frac{0,1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 17,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,31 \cdot 0,1 \cdot 20} = 18,5s.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**13.1.** Eger kömürturşy gazy we azot birmeňzeş temperaturada we şol bir basyşda ýerleşýän bolsalar, onda olaryň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýentleri biri-birinden näçe esse tapawutlanar? Bu gazlaryň molekulalarynyň effektiw diametrleri özara deňdir.

**13.2.** Azotyň şepbeşiklik koeffisiýenti kadaly şertlerde  $10mkPa \cdot s$ -a deň. Azotyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Azotyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**13.3.** Haýsy basyşda käbir gazyň şepbeşiklik koeffisiýentiniň diffuziýa koeffisiýentine bolan gatnaşygy  $\eta/D = 0,3kg/m^3$ -a deň bolar. Onuň molekulalarynyň orta kwadratik tizligi  $\bar{v}_{kw} = 632m/s$ -a deňdir.

**13.4.** Eger geliýniň şepbeşikligi  $\eta = 13mkPa \cdot s$  bolsa, onda  $p = 101,3kPa$  basyşda we  $t = 0^\circ C$  temperaturada molekulanyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny kesgitlemeli.

**13.5.** Şepbeşiklik koeffisiýenti  $\eta = 8,6 \cdot 10^{-6}Pa \cdot s$  bolan kislorodyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini kesgitlemeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**13.6.** Temperaturasy  $t = 0^\circ C$  bolan kislorodyň şepbeşikligi  $\eta = 18,8mkPa \cdot s$ -a deň bolsa, onda kislorodyň molekulasyň diametrini kesgitlemeli.

**13.7.**  $100K \leq T \leq 600K$  interwalda her  $100K$ -de azotyň şepbeşiklik koeffisiýentiniň temperatura baglylyk grafigini gurun.

**13.8.**  $p = 101,3kPa$  basyşda we  $t = 10^\circ C$  temperaturada howanyň diffuziýa koeffisiýentini we şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemeli. Howanyň molekulasyň diametri  $d = 0,3nm$ .

**13.9.** Kislorodyň şepbeşiklik koeffisiýenti azotyň şepbeşiklik koeffisiýentinden näçe esse uly? Gazlaryň temperaturalary birmeňzeş.

**13.10.** Käbir şertlerde kislorodyň diffuziýa koeffisiýenti  $D = 1,22 \cdot 10^{-5}m^2/s$  we şepbeşiklik koeffisiýenti  $\eta = 19,5mkPa \cdot s$ -a deň. Kislorodyň dykzlygyny, onuň molekulasyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny we orta arifmetik tizligini kesgitlemeli.

**13.11.** Diametri  $D = 0,3mm$  bolan ýagys damjasynyň eýe bolup biljek iň uly tizligi näçe? Howanyň molekulalarynyň diametri  $d = 0,3nm$ -e deň. Howanyň temperaturasy  $t = 0^{\circ}C$ . Ýagys damjasy üçin Stoksuň kanuny ýerine ýetýär diýip hasap etmeli.

**13.12.** Uçar  $\vartheta = 360km/sag$  tizlik bilen uçýar. Uçaryň ganatynyň aşagynda şepbeşiklik netijesinde ýüze çykýan howa gatlagynyň galyňlygy  $l = 4sm$  bolsa, uçaryň ganatynyň birlik meýdanyna düşýän galtaşma güýjüni kesgitlemeli. Howanyň molekulalarynyň diametri  $d = 0,3nm$ -e deň. Howanyň temperaturasy  $t = 0^{\circ}C$

**13.13.** Iki sany koaksial silindrleriň arasyndaky giňişlik gaz bilen doldurylan. Silindrleriň radiuslary  $r = 5sm$  we  $R = 5,2sm$ . Içki silindriň beýikligi  $h = 25sm$ . Daşky silindr  $360aýl/min$  ýygylýk bilen aýlanýar. Içki silindri hereketsiz saklamak üçin oňa  $F = 1,38mN$  galtaşma güýji bilen täsir etmeli bolýar. Hadysa birinji ýakynlaşma bilen tekiz ýagdaý ýaly seredip, bu tejribäniň berlenleri boýunça silindrleriň arasynda ýerleşýän gazyň şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemeli.

**13.14.** Kömürturşy gazy we azot birmeňzeş temperaturada we basyşlarda ýerleşdirilýär. Bu gazlar üçin:

- a) diffuziýa koeffisiýentleriniň
  - b) şepbeşiklik koeffisiýentleriniň
  - ç) ýylylyk geçirijilik koeffisiýentleriniň gatnaşygyny kesgitlemeli.
- li. Bu gazlaryň molekulalarynyň effektiv diametrleri özara deňdirler.

**13.15.** Temperaturasy  $0^{\circ}C$  bolan argonyň şepbeşikligi  $\eta = 21 \cdot 10^{-5} din \cdot s / sm^2$ . Kadaly şertlerde ýerleşen argon üçin aşakdaky ululyklary kesgitlemeli:

- 1) atomlaryň ýylylyk hereketiniň orta tizligini  $\bar{v}$ ;
- 2) atomyň erkin ýolunyň orta uzynlygyny  $\bar{\lambda}$ ;
- 3)  $1sm^3$  göwrümdäki atomlaryň  $1s$  wagtdaky çaknyşmalaryň orta sanyny  $\bar{z}$ ;
- 4) atomyň gazokinetik effektiv kesigini  $\bar{\sigma}$ ;
- 5) argonyň atomynyň gazokinetik diametrini  $d$ .

**13.16.** Eger maýyşgak sapakdan asylan diskiň aşagynda  $h = 1sm$  aralykda edil şolar ýaly ikinji disk  $\omega = 50rad/s$  burç tizlik bilen aýlanýan bolsa, onda birinji disk haýsy  $\varphi$  burça öwrüler? Diskleriň radiusy  $R = 10sm$ , sapagyň aýlanma moduly  $f = 100din \cdot sm / rad$ ,



howanyň şepbeşikligi  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ din} \cdot \text{s} / \text{sm}^2$ -a deň diýip hasap etmeli. Gyra efektleri hasaba almaly däl. Diskleriň arasyndaky howanyň hereketini laminar diýip hasap etmeli.

**13.17.**  $h = 20 \text{ sm}$  beýiklikde  $\vartheta_1 = 70 \text{ m/s}$  tizlik bilen hereket edýän transmission gorizontallentanyň ýokarsynda oňa parallel ýagdaýda meýdany  $S = 4 \text{ sm}^2$  bolan plastinka asylan. Plastinka hereketsiz ýagdaýda durar ýaly oňa nähili güýç goýmaly? Kadaly şertlerde howanyň şepbeşikligi  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Tejribäniň şertlerinde temperatura, atmosfera basyşy kadaly.

**13.18.**  $T$  temperaturada  $\eta$  dinamiki şepbeşikligiň

a) izobarik;

b) izohorik hadysalara baglylygyny kesgitlemeli. Bu baglylygy grafiklerde görkezmeli.

**13.19.**  $p$  basyşda  $\eta$  dinamiki şepbeşikligiň

a) izotermik;

b) izohorik hadysalara baglylygyny kesgitlemeli. Bu baglylygy grafiklerde görkezmeli.

**13.20.** Radiusy  $R = 20 \text{ sm}$  bolan iki sany gorizontall diskler oklary gabat geler ýaly biri-biriniň üstünde ýerleşdirilen. Diskleriň tekizlikleriniň arasyndaky  $d$  uzaklyk  $0,5 \text{ sm}$ -e deň. Ýokarky disk hereketsiz, aşaky disk geometrik oka göre  $\nu = 10 \text{ s}^{-1}$  ýygylýk bilen aýlanýar. Ýokarky diske täsir edýän  $M$  aýlaw momentini kesgitleň. Diskleriň ýerleşen howasynyň dinamiki şepbeşikligi  $\eta = 17,2 \text{ mkPa} \cdot \text{s}$ -a deň.

**13.21.** Wodorodyň ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti  $\chi = 0,09 \text{ Wt/m} \cdot \text{K}$  bolsa, onuň şol şertlerdäki  $\eta$  dinamiki şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemeli.

**13.22.** Kömürturşy gazyň  $\eta$  şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemek üçin  $p_1 = 1600 \text{ mm.sim.süt.}$  basyşda  $V = 1 \text{ l}$  göwrümlil kolbany bu gaz bilen doldurdylar. Soňra  $l = 10 \text{ sm}$  uzynlykly we  $D = 0,1 \text{ mm}$  diametrli kapillýar boýunça gazyň akyp çykmagyna mümkinçilik berýän krany açýarlar.  $\tau = 22 \text{ min}$  wagtdan soň kolbadaky basyş  $p_3 = 1350 \text{ mm.sim.süt.}$ -e çenli peselýär. Bu berlenlerden  $\eta$  şepbeşiklik koeffisiýentini we kömürturşy gazyň molekulasyň  $d$  diametrini hasaplamaly. Daşky atmosfera basyşy  $p_2 = 735 \text{ mm.sim.süt.}$

Prosesi  $t=15^{\circ}\text{C}$  temperaturada bolup geçýän izotermik diýip hasap edip bolar.

**13.23.** Aşa seýreklendirilen,  $p = 1\text{mPa}$  basyşda we  $T = 300\text{K}$  temperaturada ýerleşýän azotda biri-birine görälikde iki sany parallel plastinalar  $\vartheta = 1\text{m/s}$  tizlik bilen hereket edýär. Plastinalaryň arasyndaky aralyk üýtgemeyär we molekulalaryň erkin ýolunyň orta uzynlygyndan has kiçi. Meýdany  $S = 1\text{m}^2$  bolan plastinalaryň üstüne täsir edýän içki sürtülme güýji kesgitlemeli.

## 14. TERMODINAMIKANYŇ BIRINJI KANUNY

### Esasy kanunlar we formulalar

- Termodinamikanyň birinji kanuny:

$$Q = \Delta U + A.$$

- Ulgamyň içki energiýasy:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T.$$

- Ulgamyň eden işi:

$$A = p \Delta V.$$

- Ulgama berlen ýylylyk mukdary:

$$Q = cm \Delta T,$$

bu ýerde  $c$  – maddanyň udel ýylylyk sygymy.

- Gazyn molyar we udel yylylyk sygymlyrynyn arasyndaky baglanyşyk:

$$C = c \cdot \mu,$$

bu ýerde  $\mu$  – gazyň molýar massasy

- Hemişelik gowrumdaki we hemişelik basyşdaky molyar yylylyk sygymlyary degişlilikde

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad \text{we} \quad C_p = \frac{i+2}{2} R,$$

bu ýerde  $i$  – erkinlik derejesiniň sany;  $R$  – uniwersal gaz hemişeligi.

- Hemişelik gowrumdaki we hemişelik basyşdaky udel yylylyk sygymlyary degişlilikde

$$c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu} \quad \text{we} \quad c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}.$$

- Maýeriň deňlemesi:

$$C_p - C_V = R.$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**14.1-nji mesele.** Kadaly şertlerde göwrümi  $V = 20\text{ l}$  bolan gaz  $t = 80^\circ\text{C}$  temperatura çenli izobariki gyzdyryldy. Gazyň giňelendäki eden işini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $V_1 = 20\text{ l}$  ( $2 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3$ );  $T_1 = 273\text{ K}$ ;  $p = 10^5\text{ Pa}$ ;  
 $t_2 = 80^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 353\text{ K}$ ).

**Tapmaly:**  $A$ .

**Çözülişi.** Izobara hadysasynda gazyň giňelendäki eden işi aşakdaky formula boýunça kesgitlenýär:

$$A = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = pV_1\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right). \quad (14.1)$$

Izobara hadysasynyň deňlemesini peýdalanyp:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \quad (14.2)$$

Gazyň giňelmeden öňki we soňky göwrümleriniň gatnaşygyny temperaturanyň gatnaşygy bilen çalşyp alarys, onda gazyň giňelmedäki eden işi aşakdaky formula deň bolar:

$$A = pV_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right). \quad (14.3)$$

Ululyklaryň san bahalaryny (14.3) deňlemede ýerine goýup alarys:

$$A = 1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{353}{273} - 1\right) = 586\text{ J}.$$

**14.2-nji mesele.**  $t = 17^\circ\text{C}$  temperaturada  $m = 5\text{ g}$  massasy bolan azot  $p = 100\text{ kPa}$  basyşda ýerleşdirilen. Gyzdyrylandan soň gaz hemişelik basyşda  $V = 10\text{ l}$  göwrümi eýeledi. Gaz tarapyndan alnan ýylylyk mukdaryny we gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $t_1 = 17^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 290\text{ K}$ );  $m = 5\text{ g}$  ( $5 \cdot 10^{-3}\text{ kg}$ );  
 $p = 100\text{ kPa}$  ( $10^5\text{ Pa}$ );  $V_1 = 10\text{ l}$  ( $10^{-2}\text{ m}^3$ );  $\mu = 28 \cdot 10^{-3}\text{ kg/mol}$ ;  $i = 5$ .

**Tapmaly:**  $Q$ ,  $\Delta U$ .

**Çözülişi.** Gaz izobarik gyzdyrylanda alnan ýylylyk mukdary

$$Q = \frac{m}{\mu} C_p (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T, \quad (14.4)$$

bu ýerde  $C_p = \frac{i+2}{2}R$  – hemişelik basyşda molýar ýylylyk sygymy. Gyzdurylmadan öňki we soňky ýagdaýlar üçin Mendeleyew-Klapereýronyň deňlemesini ýazalyň:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1 \quad pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2. \quad (14.5)$$

$$V_1\text{-i tapalyň:} \quad V_1 = \frac{mRT_1}{\mu p}.$$

(14.5) deňlemede tapawudyny alyp ýazarys:

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu}R\Delta T.$$

Temperaturanyň üýtgemesini tapalyň:

$$\Delta T = \frac{p\mu}{mR} \left( V_2 - \frac{mRT_1}{\mu p} \right).$$

Tapan ululyklarymyzy (14.4) deňlemede ýerine goýup alarys:

$$Q = \frac{i+2}{2}p \left( V_2 - \frac{mRT_1}{\mu p} \right). \quad (14.6)$$

$m$  massaly ideal gazyň içki energiýasy:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT.$$

(14.6) deňlemäni  $\Delta T$  üçin ulanyp, gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini alarys:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{i}{2} p \left( V_2 - \frac{mRT_1}{\mu p} \right) = \frac{i}{i+2} Q.$$

San bahalaryny ýerine goýup alarys:

$$Q = \frac{5+2}{2} \cdot 1 \cdot 10^5 \left( 1 \cdot 10^{-2} - \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 290}{28 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5} \right) = 1,99 kJ$$

$$\text{we} \quad \Delta U = \frac{5}{5+2} \cdot 1,99 \cdot 10^3 = 1,42 kJ.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**14.1.** Göwrümi  $V = 2l$  bolan ýapyk gapda ýerleşen bir atomly ideal gaz izohorik sowadylýar. Gazyň basyşy  $p_1 = 1atm$ -dan  $p_1 = 2atm$ -e çenli üýtgeýän bolsa, gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini, gaz tarapyndan edilen işi we bölünip çykýan ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

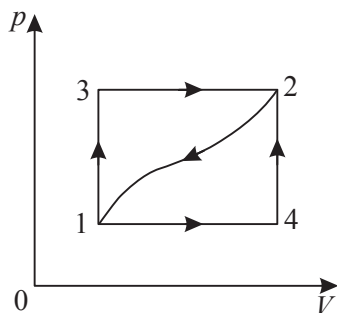
**14.2.** Geliniň  $1kmol$  -y izobarik giňelende, onuň temperaturasy  $\Delta t = 20^\circ C$ -ä çenli ýokarlanýar. Gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini, gaz tarapyndan edilen işi we gaza berlen ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Geliniň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**14.3.** Silindriň içinde massasy  $m = 50kg$  we kese kesiginiň meýdany  $S = 50sm^2$  bolan porşeniň astynda  $T_1 = 300K$  temperaturada gaz saklanýar. Süýşýän porşen başda silindriň esasyndan  $h = 50sm$  beýiklikde ýerleşdirilýär. Eger gaz  $\Delta T = 30K$  temperatura çenli gyzdyrylsa, onda onuň eden işini kesgitlemeli. Atmosfera basyşy kadaly.

**14.4.** a)  $V = const$ ; b)  $p = const$  üçin kislorodyň udel ýylylyk sygymyny kesgitlemeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**14.5.** 14.1-nji suratda şekillendirilen  $pV$  diagrammada käbir termodinamik sistemanyň dürli öwrülişikli hadysalary görkezilen. Haçanda sistema 1-nji haldan 2-nji hala 132 ýol bilen geçende, ol  $Q_{132} = 80J$  ýylylygy alyp,  $A_{132} = 30J$  iş edýär.

1) Sistema 1-nji haldan 2-nji hala 142 ýol bilen geçende, ol  $A_{142} = 10J$  iş edýän bolsa, sistemanyň alan  $Q_{142}$  ýylylyk mukdaryny tapmaly.



14.1-nji surat

2) Sistema 2-nji haldan 1-nji hala 21 ýol boýunça gaýdyp gelýär. Bu halda sistemanyň üstünden edilen daşky iş  $A'_{21} = 20J$ . Bu hadysanyň dowamynda sistema näçe  $Q'_{21}$  ýylylyk mukdaryny berer?

3) Eger içki energiýalaryň tapawudy  $U_4 - U_1 = 40J$  -a deň bolsa, onda 14 we 42 hadysalaryň dowamynda sistema berlen  $Q_{14}$  we  $Q_{42}$  ýylylyk mukdaryny tapmaly.

**14.6.** Ýylylyk sygymy temperatura baglylykda  $C = \alpha T$  kanun boýunça üýtgeýän hadysanyň ideal gaz üçin deňlemesini ýazmaly. Bu ýerde  $\alpha$  – hemişelik.

**14.7.** Gapda  $p_0 = 1 \text{ atm}$  basyşda göwrümi  $V = 10 \text{ l}$  bolan kislorod ýerleşdirilen. Gabyň diwarlary  $p_1 = 10 \text{ atm}$  basyşa çenli saklap bilýärler. Gaza nähili maksimum ýylylyk mukdaryny bermeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**14.8.** Massasy  $m = 1 \text{ kg}$  bolan argony  $p_1 = 760 \text{ mm.sim.süt.}$  hemişelik basyşda  $\Delta t_1 = 2^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzdymak üçin  $Q_1 = 250 \text{ kal}$  ýylylyk mukdary gerek bolsa,  $p_2 = 10 \text{ atm}$  basyşda we  $V = 5 \text{ l}$  hemişelik göwrümde  $100^\circ\text{C}$  -dan  $0^\circ\text{C}$ -ä çenli sowadylanda  $Q_2 = 500 \text{ kal}$  ýylylyk bölünip çykyň bolsa, onda ol gaz üçin  $\gamma = C_p/C_v$ -ni tapmaly.

**14.9.**  $C_p/C_v = 1,47$  bolanda azotyň dissosasiýa koeffisiýentini kesgitlemeli.

**14.10.** a)  $p = \alpha V$  we b)  $V = \beta p^{-2/3}$  bolanda ideal gazyň molunyň ýylylyk sygymyny kesgitlemeli.  $C_v$  belli diýip hasap etmeli.

**14.11.** Dik ýerleşdirilen ýylylyk geçirmeýän uzyn silindrik gapda onuň düýbünden  $h$  beýiklikde sapajykdan  $m$  massaly porşen asylan. Porşeniň aşagynda basyşy başlangyç ýagdaýdan daşky  $p_0$  basyşa, temperaturasy bolsa  $T_0$ -a deň bolan gazyň bir moly ýerleşýär. Porşen  $2h$  beýiklige galar ýaly gaza näçe ýylylyk mukdaryny bermeli.  $1 \text{ mol}$  gazyň içki energiýasy  $U = cT$ ,  $c = \text{const}$ . Sürtülmäni hasaba almaly däl.

**14.12.**  $1 \text{ mol}$  mukdardaky bir atomly ideal gazyň  $p = 5 \text{ atm}$  hemişelik basyşda  $V_1 = 10 \text{ l}$  göwrümden  $V_1 = 20 \text{ l}$  göwrüme çenli izobarik giňelendäki içki energiýasynyň üýtgemegini tapmaly.

**14.13.** Göwrümi  $1 \text{ m}^3$  bolan howany hemişelik göwrümde we  $p = 760 \text{ mm.sim.süt.}$  başlangyç basyşda  $0^\circ\text{C}$ -den  $1^\circ\text{C}$ -e çenli gyzdymak üçin zerur bolan ýylylyk mukdaryny tapmaly. Normal şertlerde howanyň dykzlygy  $\rho_0 = 1,29 \text{ mg/sm}^3$ , hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymy  $c_p = 0,237 \text{ kal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ ,  $\gamma = C_p/C_v = 1,41$ .

**14.14.** Massasy  $m = 4,032 \text{ g}$  bolan wodorod we massasy  $m_1 = 32 \text{ g}$  bolan kislorod özara garyşdyrylan. Olaryň hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymlyary  $c_p = 3,50 \text{ kal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$  we  $c_{p1} = 0,218 \text{ kal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ .

Hemişelik göwrümde  $\Delta t = 20^\circ\text{C}$  temperaturada sowadylanda bu garyndynyň  $\Delta U$  içki energiýasynyň azalmasyny kesgitlemeli. Iki gaz üçin hem  $\gamma = 1,41$  -e deň.

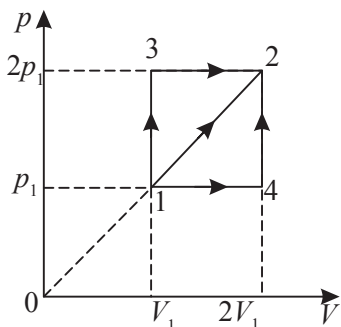
**14.15.** Massalary  $m_1 = 3\text{g}$  we  $m_2 = 4\text{g}$  bolan kömürturşy gazyň we azotyň garyndysynyň  $c_p$  we  $c_v$  udel ýylylyk sygymalaryny kesgitlemeli. Kömürturşy gazynyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 6$ , azotyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**14.16.** Basyşy  $p = 1\text{MPa}$ , massasy  $m = 280\text{g}$  bolan azot izobara hadysasy netijesinde giňelýär. Eger giňelme üçin  $Q = 5\text{kJ}$  ýylylyk mukdary berlen bolsa, gazyň soňky göwrümünü we giňelmede edilen işi kesgitlemeli. Azotyň başlangyç temperaturasy  $T_1 = 290\text{K}$ , erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**14.17.** Käbir ideal gazyň bir moluna  $Q = 1,6\text{kJ}$  ýylylyk berilip, ol  $\Delta T = 72\text{K}$  temperatura çenli izobarik gyzdyryldy. Gazyň eden işini, içki energiýasynyň üýtgemesini we  $\gamma = C_p/C_v$  ululygy tapmaly.

**14.18.** Massasy  $m = 12\text{g}$  bolan azot  $t = 10^\circ\text{C}$  temperaturada göwrümi  $V = 2\text{l}$  bolan ýapyk gapda ýerleşdirilen. Gyzdyrylandan soň gapdaky basyş  $p = 1,33\text{kPa}$ -a deň boldy. Gazy gyzdirmek üçin näçe mukdarda ýylylyk mukdary gerek?

**14.19.**  $p = 0,1\text{MPa}$  basyşda we  $t = 27^\circ\text{C}$  temperaturada massasy  $m = 14\text{g}$  bolan azot ýapyk gapda ýerleşdirilýär. Gyzdyrylandan soň, gapdaky basyş 5 esse ýokarlandy. Haýsy  $t_2$  temperatura çenli gaz gyzdyryldy. Gabyň göwrümünü we gaza berlen ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



14.2-nji surat

**14.20.** Molýar ýylylyk sygymy  $C_v = 3R/2$  bolan ideal gazyň bir moly 132, 142 we 12 üç sany dürli termodinamik prosesleriň yzygider ýerine ýetirilmegi netijesinde 1-nji ýagdaýdan 2-nji ýagdaýa üç gezek öwrülişikli geçirilýär (14.2-nji surat). Bu prosesleriň her biriniň geçişinde gazyň alýan  $Q_{132}$ ,  $Q_{142}$  we  $Q_{12}$  ýylylyk mukdaryny tapmaly. 12 proses üçin gazyň



$C_{12}$  molýar ýylylyk sygymyny tapmaly. Ähli netijeleri  $R$  hemişeligiň we 1-nji ýagdaýdaky gazyň  $T_1$  temperaturasynyň üsti bilen aňlatmaly.

**14.21.** Temperaturasy  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  bolan  $M = 100\text{g}$  massaly kükürtli efiriň bugarmasy bilen  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  temperaturaly suwuň näçe  $m$  massasyny doňduryp bolar? Kükürtli efiriň udel ýylylyk sygymy  $c_e = 0,5\text{kal/g}\cdot^\circ\text{C}$ , bugarmagynyň udel ýylylygy  $q_e = 90\text{kal/g}$ . (bugarmagyň udel ýylylygy diňe suwuň hasabyna alynmak şerti bilen). Efiriň bugarmagynyň udel ýylylygy temperatura bagly däl diýip hasap etmeli. Suwuň udel ýylylyk sygymy  $c_s = 1\text{kal/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ , doňmagynyň udel ýylylygy  $q_s = 80\text{kal/g}$ .

**14.22.** Sinkiň udel ýylylyk sygymyny kesgitlemek üçin massasy  $m_2 = 235,6\text{g}$  bolan onuň bölegi  $t_2 = 99,3^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzdýrylýar we latun kalorimetre salynýar. Latunyň udel ýylylyk sygymy  $c_1 = 0,093\text{kal/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ , suwuň udel ýylylyk sygymy  $c = 1\text{kal/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ , kalorimetriň massasy  $m_1 = 100\text{g}$ , suwuň massasy  $m = 209,3\text{g}$ , kalorimetriň we suwuň başlangyç temperaturasy  $t_0 = 20,5^\circ\text{C}$ . Kalorimetrde suwuň temperaturasy  $t = 27,6^\circ\text{C}$ -e çenli ýokarlandy. Sinkiň  $c_2$  udel ýylylyk sygymyny kesgitlemeli.

**14.23.** Massasy  $1\text{g}$  bolan wodorod ýanyp we suwa öwrülip  $Q = 34000\text{kal}$  ýylylyk bölüp çykarýar. Kömür ýakylanda bölünip çykýan ýylylygyň 50%-i ulanylýan bolsa,  $1\text{g}$  suwuň dissosiasiýasy üçin kömrüň näçe massasyny ýakmaly? Kömrüň ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 700\text{kal/g}$ .

**14.24.** Gurşundan ýasalan ok polat plita urlanda erär ýaly okuň  $\vartheta$  tizligi näçe bolmaly? Okuň temperaturasy  $t_0 = 27^\circ\text{C}$ , ereme temperaturasy  $t_1 = 327^\circ\text{C}$ , gurşunyň eremeginiň udel ýylylygy  $q = 5\text{kal/g}$ , gurşunyň udel ýylylyk sygymy  $c = 0,03\text{kal/g}\cdot^\circ\text{C}$ .

**14.25.**  $370\text{K}$  temperaturada ýerleşýän  $10\text{g}$  massaly kislorody adiabatik giňelmä sewewar etdiler. Netijede, onuň basyşy  $n = 4$  esse peseldi. Soň izotermik prosesiniň netijesinde gaz başlangyç basyşa çenli gysyldy. Prosesiň soňunda gazyň temperaturasyny, gaz tarapyndan berlen ýylylyk mukdaryny, gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini we gaz tarapyndan edilen işi kesgitlemeli.

**14.26.** Gaza  $Q = 5 \cdot 10^5 J$  ýylylyk mukdary berildi. Bu prosesde gazyň giňelendäki eden işi  $A = 2 \cdot 10^5 J$  bolsa, içki energiýanyň ulalmagyna ýylylygyň näçe  $\alpha$  bölegi gider?

**14.27.** Massasy  $m = 1 kg$  bolan geliýniň  $T = 300 K$  temperaturadaky içki energiýasyny kesgitlemeli. Geliýniň molýar massasy  $\mu = 4 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**14.28.**  $p_1 = 0,8 MPa$  basyşda  $V_1 = 1 l$  göwrümi eýeleýän howa  $V_2 = 10 l$  göwrüme çenli izotermik giňeldi. Gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini we gaz tarapyndan edilen işi kesgitlemeli. Giňelme prosesinde gaza näçe ýylylyk mukdary berildi?

**14.29.** Bir atomly ideal gaz  $p_1 = 10^6 Pa$  basyşly we  $V_1 = 1 l$  göwrümlü ýagdaýyndan iki esse uly göwrüme çenli izotermik giňeldi. Ahyrky ýagdaýda gazyň içki energiýasyny tapmaly.

## 15. IDEAL GAZLARDAKY DÜRLI HADYSALAR ÜÇİN TERMODINAMIKANYŇ BIRINJI KANUNYNY ULANMAK

### Esasy kanunlar we formulalar

- Termodinamikanyň birinji kanuny:

a) *izobarik hadysada*

$$Q = \Delta U + A = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T + \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T;$$

b) *izohorik hadysada* ( $A = 0$ )

$$Q = \Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T;$$

ç) *izotermik hadysada* ( $\Delta U = 0$ )

$$Q = A = \frac{m}{\mu} R T \ln \frac{V_2}{V_1};$$

d) *adiabatik hadysada* ( $Q = 0$ )

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu} C_v \Delta T.$$

- Adiatatik hadysanyň deňlemesi (Puassonyň deňlemesi):

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}, \quad T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const},$$

bu ýerde  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$  – adiatatanyň görkezijisi;

$i$  – erkinlik derejesiniň sany.

- Politropik hadysanyň deňlemesi:

$$pV^n = \text{const},$$

bu ýerde  $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$  – politropanyň görkezijisi;

- Gazyň işi:

a) *izobarik hadysada*

$$A = p(V_2 - V_1), \quad A = \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1).$$

b) *izotermik hadysada*

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

ç) *adiabatik hadysada*

$$A = \frac{m}{\mu} C_v (T_1 - T_2),$$

$$A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{\mu} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right].$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**15.1-nji mesele.** Massasy  $m = 56g$  bolan kadaly şertlerde ýerleşýän azot adiabatik giňelende onuň göwrümi iki esse ulalýar. Gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini we giňelendäki eden işini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $m = 56g$  ( $56 \cdot 10^{-3} kg$ );  $T_1 = 273K$ ;  $V_2 = 2V_1$ ;  
 $\mu = 28 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**Tapmaly:**  $\Delta U$ ,  $A$ .

**Çözülişi.** Gazyň 1-nji ýagdaýdan 2-nji ýagdaýa geçende içki energiýasynyň üýtgemesi

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} C_v (T_2 - T_1), \quad (15.1)$$

bu ýerde  $C_v = \frac{i}{2}R$  – hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy;  $\mu$  – gazyň molýar massasy;  $T_1$  we  $T_2$  – gazyň degişlilikde başlangyç 1-nji we ahyrky 2-nji ýagdaýlardaky temperaturalary;  $i$  – erkinlik derejesiniň sany (iki atomly gaz (azot) üçin  $i = 5$ ).

Adiabatik hadysanyň deňlemesi (Puassonyň deňlemesi)

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \quad (15.2)$$

bu ýerde  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = 1,4$  – adiabatanyň görkezijisi. (15.2) deňlemeden taparys:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}. \quad (15.3)$$

(15.3) gatnaşygy (15.1) formulada ýerine goýup, içki energiýanyň üýtgemesini taparys:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R T_1 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right].$$

Berlen san bahalaryny formulada goýup taparys:

$$\Delta U = \frac{56 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 8,31 \cdot 273}{28 \cdot 10^{-3} \cdot 2} \left[ \left( \frac{1}{2} \right)^{1,4-1} - 1 \right] = 2,75 kJ.$$

Termodinamikanyň birinji kanunyna laýyklykda gaza berlen  $Q$  ýylylyk mukdary onuň  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemesine we giňelendäki eden  $A$  işine harçlanýar:

$$Q = \Delta U + A.$$

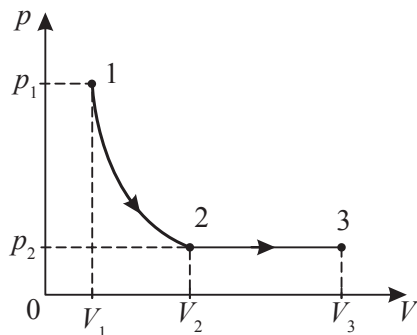
Adiabatik hadysada  $Q = 0$ , şonuň üçin

$$A = -\Delta U.$$

Onda  $A = 2,75 kJ$ ,  $\Delta U = -2,75 kJ$ .

### 15.2-nji mesele.

$p_1 = 0,5 MPa$  basyşda we  $T_1 = 350 K$  temperaturada ýerleşýän kislorod ilki  $V_1 = 1 l$  göwrümünden  $V_2 = 2 l$  göwrüme çenli adiabatik, soňra  $V_2$  göwrümünden  $V_3 = 3 l$  göwrüme çenli izobarik giňelýär. Bu prosesleriň her biri üçin gazyň eden  $A$  işini,  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemegini we gaza berlen  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



15.1-nji surat

**Berlen:**  $p_1 = 0,5 MPa$  ( $5 \cdot 10^5 Pa$ );  $T_1 = 350 K$ ;  $V_1 = 1 l$  ( $10^{-3} m^3$ );  $V_2 = 2 l$  ( $2 \cdot 10^{-3} m^3$ );  $V_3 = 3 l$  ( $3 \cdot 10^{-3} m^3$ ).

**Tapmaly:**  $A$ ,  $\Delta U$ ,  $Q$ .

**Çözülişi.** Termodinamikanyň birinji kanunyna laýyklykda gaza berlen  $Q$  ýylylyk mukdary onuň  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemesine we gazyň daşky güýçleriň garşysyna eden  $A$  işine harçlanýar:

$$Q = \Delta U + A. \quad (15.4)$$

1-2 adiabatik hadysada daşky gurşaw bilen ýylylyk çalşygy bolmaýar. Şonuň üçin

$$Q_{12} = 0. \quad (15.5)$$

Adiabatik hadysada gazyň eden işi

$$A_{12} = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right], \quad (15.6)$$

bu ýerde  $\gamma = \frac{i+2}{i} = 1,4$  (kislorod – iki atomly gaz, onuň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ ).

Soňky formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$A_{12} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{1,4 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \right)^{1,4-1} \right] = 303J,$$

(15.4) deňlemä laýyklykda adiabatik hadysada

$$\Delta U_{12} = - A_{12} = - 303J. \quad (15.7)$$

2-3 izobarik hadysada izobarik giňelmäniň işi

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_2). \quad (15.8)$$

Bu ýerden  $p_2$  basyşy 1-2 adiabata üçin Puassonyň deňlemesini ulanyp taparys:

$$p_2 = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma}.$$

Bu gatnaşygy (15.8) formulada goýup alarys:

$$A_{23} = p_1 (V_3 - V_2) \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma}. \quad (15.9)$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$A_{23} = 5 \cdot 10^5 \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \cdot \left( \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \right)^{1,4} = 189J.$$

Gazyň içki energiýasynyň üýtgemesi

$$\Delta U_{23} = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T = \frac{m}{\mu} C_V (T_3 - T_2), \quad (15.10)$$

bu ýerde  $m$  – gazyň massasy;  $C_V$  – onuň hemişelik göwrüm-däki molýar ýylylyk sygymy. Gazyň massasyny Mendeleyew-

-Klapeýronyň deňlemesinden taparys:  $p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$ , bu ýerden  $m = \frac{\mu p_1 V_1}{RT_1}$ . Gazyň hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy  $C_V = \frac{i}{2} R$ . Bu aňlatmalary (15.10) formulada ýerine goýup alarys:

$$\Delta U_{23} = \frac{i}{2} \frac{p_1 V_1}{T_1} (T_3 - T_2). \quad (15.11)$$

$T_2$  we  $T_3$  temperaturalary bolsa 1-2 adiabatik proses üçin Puassonyň deňlemesinden we 2-3 izobarik proses üçin Geý-Lýussagyň kanunyndan peýdalanyp taparys:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 265 K \quad \text{we} \quad T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2} = 397 K.$$

Berlen san bahalaryny formulada goýup taparys:

$$\Delta U_{23} = \frac{5 \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 350} (397 - 265) = 471 J.$$

Izobarik prosesde gaza berlen  $Q_{23}$  ýylylyk mukdaryny (15.4) formula laýyklykda kesgitleýis:

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = 660 J.$$

Netijede,  $A_{12} = 303 J$ ;  $A_{23} = 189 J$ ;  $\Delta U_{12} = -303 J$ ;  $\Delta U_{23} = 471 J$ ;  $Q_{12} = 0$ ;  $Q_{23} = 660 J$ .

**15.3-nji mesele.** Iki atomly gazy  $V_1 = 5l$  göwrümden  $V_2 = 2,5l$  göwrüme çenli gysmaly. Gazy nähili (adiabatik ýa-da izotermik) we näçe esse gysmak amatlydygyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $i=5$ ;  $Q=0$ ;  $T = const$ ;

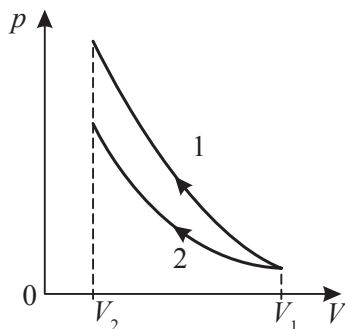
$V_1 = 5l$  ( $5 \cdot 10^{-3} m^3$ );

$V_2 = 2,5l$  ( $2,5 \cdot 10^{-3} m^3$ ).

**Tapmaly:**  $A_1/A_2$ .

**Çözülişi.** Iki hadysanyň hem diagramasy – adiabat (1-nji egri) we izoterma (2-nji egri)  $p, V$  koordinatalarynda giperbola görnüşinde bolýarlar.

Iki hadysada hem edilen iş absissa oky,  $V_1$  we  $V_2$  gönüleri we deňiş-



15.2-nji surat

lilikde adiabata we izoterma bilen çäklenen meýdana san taýdan deň. Şonuň üçin 15.2-nji suratdan görnüşi ýaly gazy izotermik gysmak amatlydyr (gaz gysylanda işiň daşky güýçler tarapyndan edilýändigini belläliň).

Bu netijäni hasaplamalar bilen tassyklalyň. Adiabatik gysylmada iş

$$A_1 = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right], \quad (15.12)$$

bu ýerde  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$  – adiabatanyň görkezijisi;  $T_1$  – gazyň başlangyç temperaturasy;  $V_1$  we  $V_2$  – deňşlilikde gazyň başlangyç we ahyrky göwrümleri.

Izotermik gysylmada gazyň işi

$$A_2 = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (15.13)$$

(15.12) we (15.13) deňlemelerden gelip çykýar:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]}{(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1}} = 1,15.$$

( $T = T_1$  diýip kabul etdik).

$A_1 = 1,15A_2$ . Diýmek, gazy izotermik gysmak amatlydyr.

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**15.1.** Käbir iki atomly gaz politropik gysylýar. Netijede, onuň basyşy  $p_1 = 10 \text{ kPa}$ -dan  $p_2 = 30 \text{ kPa}$ -a çenli ulalýar, göwrümi bolsa  $V_1 = 2,5 \text{ l}$ -den  $V_2 = 1 \text{ l}$ -e çenli kiçelýär. Politropanyň  $n$  görkezijisini we gazyň  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**15.2.**  $T_1 = 290 \text{ K}$  temperaturada kislorodyň bir moly ýerleşýär we onuň basyşy  $n = 10$  esse ulalar ýaly adiabatik gysylan. Gysylmadan soňky gazyň temperaturasyny we gazyň üstünde edilen işi kesgitlemeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**15.3.** Käbir ideal gaz  $V_1 = 1 \text{ l}$  göwrümden  $V_2 = 11 \text{ l}$  göwrüme çenli giňelende onuň basyşy  $p = \alpha V$  kanun boýunça üýtgeýär. Bu ýerde  $\alpha = 4 \text{ Pa/m}^3$ . Gazyň edýän işini kesgitlemeli.



**15.4.** Ideal gazyň bir kilomoly  $p = \alpha/V^2$  kanun boýunça giňelende gazyň  $V_1 = 5l$  başlangyç göwrümi iki esse ulaldy. Bu ýerde  $\alpha = 2R$  ( $R$  – uniwersal gaz hemişeligi). Eger gazyň molýar ýylylyk sygymy prosesde  $C = C_V - R$ -e deň bolsa, onda gazyň giňelendäki eden işini kesgitlemeli.

**15.5.** Başlangyç ýagdaýda temperaturasy  $T_1 = 290K$  bolan ideal gazyň bir molunyň göwrümi  $n=2$  esse ulalýança izobarik giňelýär. Soňra gaz başlangyç  $T_1$  temperatura çenli izohorik sowadylýar. Gazyň  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemesini, eden  $A$  işini we gaza berlen  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

**15.6.** Ideal gazyň  $1mol$  mukdary  $V_1$  göwrümünden  $V_2$  göwrüme çenli izotermiki giňelýär (gysylýar). Gazyň edýän işini we oňa berlen ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

**15.7.** Massasy  $m=7g$  bolan azot izotermiki gysylanda onuň basyşy  $n=50$  gezek ýokarlanýan bolsa, ondan bölünip çykýan  $Q'$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Şeýle hem, gazy gysmak üçin zerur bolan  $A$  işi tapmaly. Gazyň temperaturasy  $t=27^\circ C$ .

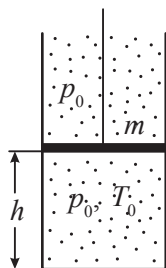
**15.8.** Hemişelik ýylylyk sygymynda  $C$  bolup geçýän hadysalara politropiki hadysalar diýilýär. Politropik hadysany şekillendirýän egrä *politropa* diýip at berilýär. Hemişelik göwrümdäki ýylylyk sygymy temperatura bagly bolmadyk ideal gaz üçin politropanyň deňlemesini tapmaly. Hususy hallara seretmeli: 1)  $C = C_V$ , 2)  $C = C_p$ , 3)  $C = 0$ , 4)  $C = \infty$ .

**15.9.** Normal atmosfera basyşynda  $V_1 = 10l$  göwrümi tutýan azotyň kwazistatistik (örän haýal) adiabatik  $V_2 = 320l$  göwrüme çenli giňelendäki içki energiýasynyň üýtgemegini tapmaly. Azotyň erkinlik derejesiniň sany  $i=5$ .

**15.10.** Başlangyç basyşy  $p_1 = 1atm$  bolan argonyň göwrümi  $V_1 = 1l$ -den  $V_2 = 2l$ -e çenli adiabatik giňelenden soň emele gelen  $p_2$  basyşy kesgitlemeli. Argon üçin  $\gamma = C_p/C_V = 1,68$ .

**15.11.**  $p_1 = 0,1MPa$  basyşda  $V_1 = 2l$  göwrümi eýeleýän gaz  $V_2 = 4l$  göwrüme çenli izotermik giňeldi. Soňra izohorik sowadylma netijesinde gazyň basyşy iki esse peseldi. Ondan soň gaz  $8l$  göwrüme çenli izobarik giňeldi. Gazyň eden işini kesgitlemeli.

**15.12.** Göwrümi  $V_1$  bolan gapda  $p_1$  basyşda we  $T_1$  temperaturada,  $V_2$  göwrümlü gapda bolsa  $p_2$  basyşda we  $T_2$  temperaturada bir atom-



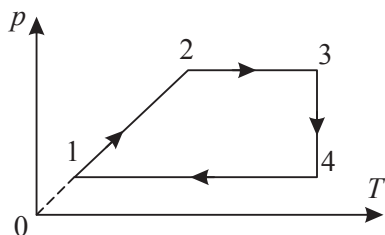
15.3-nji surat

ly ideal gaz saklanýar. Gaplar birleşdirilenden soň olarda  $p$  basyş we  $T$  temperatura nahili bolar? Daşky gurşaw bilen gabyň diwarlarynyň arasyndaky ýylylyk alyş--çalşygy hasaba almaly däl.

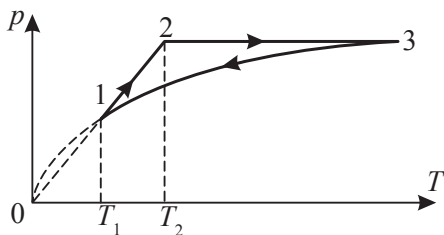
**15.13.** Dik ýerleşdirilen, üsti açyk, ýylylyk geçirmeyän uzyn silindr görnüşli gapda düýbünden  $h$  beýiklikde sapakdan  $m$  massaly porşen asylan. Porşeniň aşagynda  $p_0$  basyşda we  $T_0$  temperaturada bir atomly gazyň moly ýerleşýär (15.3-nji surat). Porşen  $2h$  beýiklige galar ýaly gaza näçe ýylylyk mukdaryny bermeli? Sürtülme ýok diýip hasap etmeli.

**15.14.** Gaz adiabatik giňelende onuň göwrümi iki esse ulalýar, temperaturasy bolsa 1,32 esse pese gaçýar. Bu gazyň molekulalarynyň erkinlik derejesiniň sany näçe?

**15.15.** Bir atomly ideal gazyň 2 moly 15.4-nji suratda görkezilen 1-2-3-4-1 siklli prosese gatnaşýar. 1-nji we 2-nji ýagdaýda gazyň temperaturasy degişlilikde  $T_1=300K$  we  $T_2=400K$ -e deň. Eger 3-4 bölekde gaza  $Q=2000J$  ýylylyk berlen bolsa, gazyň sikliň dowamyn-da eden işini kesgitlemeli.



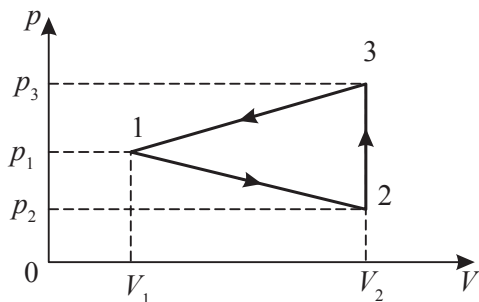
15.4-nji surat



15.5-nji surat

**15.16.** Bir atomly ideal gazyň bir moly 15.5-nji suratda görkezilen 1-2-3-1 siklli prosese gatnaşýar. 3-1 uçastokda basyş temperatura baglylykda  $p = \alpha\sqrt{T}$  kanun boýunça üýtgeýär. Bu ýerde  $\alpha$  položitel hemişelik. 1-nji we 2-nji ýagdaýda gazyň temperaturasy degişlilikde  $T_1=400K$  we  $T_2=500K$ -e deň. Gazyň sikliň dowamynda eden işini kesgitlemeli.

**15.17.** Bir atomly ideal gazyň 15.6-njy suratda görkezilen 1-2-3-1 sikliň dowamynda edýän işini kesgitlemeli. Bu ýerde  $p_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $p_3 = 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_1 = 1 \text{ m}^3$ ,  $V_2 = 4 \text{ m}^3$ .



15.6-njy surat

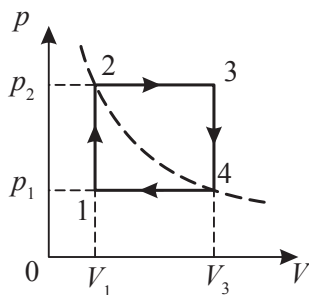
**15.18.** Goý, azot hemişelik basyşda gyzdyrylýan bolsun. Onuň massasy  $m = 280 \text{ g}$ , sarp edilen ýylylyk mukdary  $Q = 600 \text{ J}$  we hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy  $c_V = 745 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$  bolsa, onda azotyň temperaturasynyň  $\Delta T$  üýtgemesini kesgitlemeli.

**15.19.** Gazyň bir moly iki sany izohoradan we iki sany izobaradan ybarat sikli (15.7-nji surat) amala aşyrýar. 1 we 3 ýagdaýlarda gazyň temperaturasy deňşlilikde  $T_1$  we  $T_3$ , 2 we 4 nokatlar bir izotermada ýatýan bolsa, gazyň bütin sikliň dowamynda eden işini kesgitlemeli.

**15.20.** Kislorod  $V_1 = 1 \text{ m}^3$  göwrümi eýeleýär we  $p_1 = 200 \text{ kPa}$  basyş astynda ýerleşýär. Gazy ilki  $V_2 = 3 \text{ m}^3$  göwrüme çenli hemişelik basyşda, soňra bolsa hemişelik göwrümde  $p_2 = 500 \text{ kPa}$  basyşa çenli gyzdyrdylar. Prosesiň grafigini gurmaly we gazyň  $\Delta U$  içki energiýasynyň üýtgemesini, onuň eden  $A$  işini we gaza berlen  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**15.21.**  $10 \text{ g}$  massaly näbelli gazy  $\Delta T = 1 \text{ K}$  temperatura hemişelik basyşda gyzdyrmak üçin  $9,12 \text{ J}$ , hemişelik göwrümde gyzdyrmak üçin bolsa  $6,49 \text{ J}$  ýylylyk mukdary gerek. Bu nähili gaz?

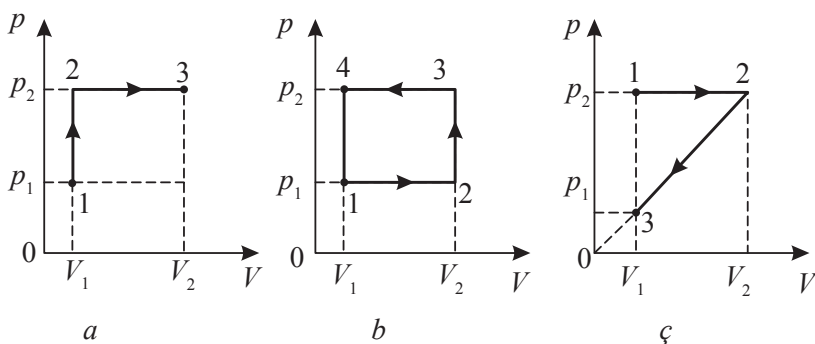
**15.22.** Silindrde porşeniň astynda  $T_1 = 300 \text{ K}$  temperaturada  $m = 0,02 \text{ kg}$



15.7-nji surat

massaly wodorod saklanýar. Ilki wodorod öz göwrümini baş esse uladyp adiabatik giňeldi, soňra öz göwrümini ýene-de baş esse kiçeldip izotermik gysyldy. Adiabatik giňelmäniň soňundaky  $T_2$  temperaturany we bütün prosesiniň dowamynda gazyň eden  $A$  işini kesgitlemeli. Prosesi grafikde şekillendirmeli. Wodorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i=5$ .

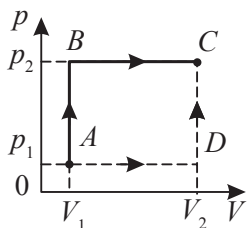
**15.23.** Gaz 15.8-nji a, b, ç suratlarda şekillendirilen prosesleri amala aşyrýar. Bu proseslerde gazyň ýerine ýetirýän işini kesgitlemeli.  $p$  we  $V$  ululyklar berlen diýip hasap etmeli.



15.8-nji surat

**15.24.** Ideal gazyň  $\nu$  molunyň basyşy temperatura  $T = \alpha p^2$  gatnaşyk bilen bagly, bu ýerde  $\alpha$ -belli hemişelik. Gazyň göwrüminiň  $V_1$ -den  $V_2$ -ä çenli ulalanda gazyň ýerine ýetirýän  $A$  işini kesgitlemeli. Bu prosesde gaza ýylylyk mukdary berilýärmikä ýa-da bölünip çykarylýar?

**15.25.** Eger gaz 15.9-njy surtdaky  $ABC$  prosesi amala aşyrýan bolsa, onda oňa  $Q_1$  ýylylyk mukdary berilýär.  $ADC$  prosesde gaza nähili  $Q_2$  ýylylyk mukdaryny bermeli?  $p_1, p_2, V_1$  we  $V_2$  ululyklar berlen.



15.9-njy surat

**15.26.** Massasy  $m = 0,5\text{ kg}$  bolan kislorody  $T = 320\text{ K}$  temperaturada izohorik sowatdylar. Netijede, onuň basyşy  $n=3$  esse peseldi. Soňra gazyň temperaturasy başlangyç ululygyna deň bolar ýaly izobarik giňeldiler. Gazyň ýerine ýetirýän  $A_{123}$  işini tapmaly. Onuň içki energiýasy nähili üýtgär? Gaz haýsy mukdardaky ýylylygy alypdyr?

**15.27.**  $T = 300K$  temperaturada izotermik giňelme prosesinde gazyň bir moluna  $Q = 2,5kJ$  ýylylyk mukdary berildi. Gazyň göwrümi näçe esse üýtgedi?

**15.28.** Kompressoryň silindrinde  $\nu = 4mol$  bir atomly ideal gazy adiabatik gysýarlar. Daşky güýçleriň işi  $A = 500J$  bolsa, porşeniň bir ädiminde gazyň temperaturasy näçe  $\Delta T$  ulaldy?

**15.29.** Bir atomly ideal gazyň bir moly üç sany: adiabatik giňelme, izotermik gysylma we izohorik gyzdyrylma proseslerden ybarat bolan sikleýin prosesi amala aşyrýar. Izohorik gyzdyrylma prosesinde gaza  $Q_{31} = 10kJ$  ýylylyk mukdary berlen bolsa, adiabatik prosesde gazyň ýerine ýetiren  $A_{12}$  işini kesgitlemeli.

**15.30.** Adiabatik giňelmede  $1kg$  massaly azot tarapyndan  $A = 300J$  iş amala aşyryldy. Gazyň  $\Delta U$  içki energiýasynyň we  $\Delta T$  temperaturasynyň üýtgemesini tapmaly. Azotyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy  $c_v = 745J/kg \cdot K$ .

**15.31.** Ideal gaz gysylanda politropanyň  $n$  görkesijisiniň haýsy bahasynda gaz gyzyýar, haýsy bahasynda sowaýar?

**15.32.** 1) Ideal gaz  $pV^2 = const$  kanun boýunça giňelýän bolsa, gaz gyzyarmy ýa-da sowaýar? 2) Bu prosesde onuň molýar ýylylyk sygymy nähili?

**15.33.** 15.32 meseläni  $p^2V = const$  kanun boýunça giňelýän ideal gaz üçin çözmeli.

## 16. TERMODINAMIKANYŇ IGINJI KANUNY

### Esasy kanunlar we formulalar

- Karnonyň sikli boýunça işleýän ýylylyk maşyny üçin peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

bu ýerde  $Q_1$  – işçi jisimiň gyzdryjydan alan ýylylyk mukdary;

$Q_2$  – işçi jisimiň gyzdryja beren ýylylyk mukdary;

$A = Q_1 - Q_2$  – sikl boýunça ýerine ýetirilýän iş.

$$Q_1 = q \cdot m,$$

bu ýerde  $q$  – ýanmagyň udel ýylylygy;

$m$  – ýangyjyň massasy.

- Ýylylyk maşynynyň peýdaly täsir koeffisiýenti:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

bu ýerde  $T_1$  – gyzdryjynyň temperaturasy;

$T_2$  – sowadyjynyň temperaturasy.

- Karnonyň birinji teoremasy.

Karnonyň ideal sikli boýunça işleýän ýylylyk maşynynyň PTK-sy işçi jisimiň hiline bagly däldir.

- Karnonyň ikinji teoremasy.

Öwrülišiksiz işleýän maşynyň PTK-sy öwrülišikli maşynyň PTK-syndan hemişe kiçidir.

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**16.1-nji mesele.** Bug maşynynyň gazandaky temperaturasy  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ , sowadyjynyň temperaturasy bolsa  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ . Eger-de bug gazanyň PTK-sy 60% deň bolsa, onda maşynyň nazary taýdan maksimal edip biljek işini tapmaly? Gazanyň aşagynda massasy  $m = 200\text{kg}$ , ýanmagynyň udel ýylylygy  $2,9 \cdot 10^7\text{J/kg}$  bolan kömür ýanýar.

**Berlen:**  $t_1 = 160^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 433\text{K}$ );  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 283\text{K}$ );  
 $\eta_1 = 60\%$  (0,6);  $m = 200\text{kg}$ ;  $q = 2,9 \cdot 10^7 \text{J/kg}$ .

**Tapmaly:**  $A$ .

**Çözülişi.** Maksimal işi Karnonyň sikli boýunça işleýän ideal ýylylyk maşyny amala aşyryp biler. Onuň PTK-sy aşakdaky formula bilen kesgitlenýär.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

bu ýerde  $T_1$  we  $T_2$  gyzdýryjynyň we sowadyjynyň absolýut temperaturasy. Islendik ýylylyk maşynyň PTK-sy şeýle tapylýar:

$$\eta = \frac{A}{Q_1},$$

bu ýerde  $A$ -ýylylyk maşynyň eden işi,  $Q_1$ -maşynyň gyzdýryjydan alan ýylylyk mukdary. Meseläniň şertinden belli bolşy ýaly  $Q_1$ -ýangyjyň ýanandaky bölünip çykýan ýylylyk mukdary  $\eta_1 = \frac{Q_1}{mq}$  ýa-da  $Q_1 = \eta_1 mq$ . Gutarnykly alarys:

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{\eta_1 mq}.$$

Bu ýerden alarys:

$$A = \eta_1 mq \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right).$$

Berlen san bahalary formulada goýup, taparys:

$$A = 0,6 \cdot 200 \cdot 2,9 \cdot 10^7 \cdot \left(1 - \frac{283}{433}\right) = 1,2 \cdot 10^9 \text{J}.$$

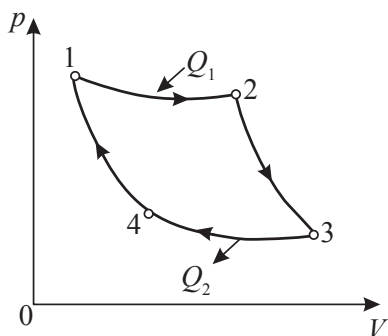
**16.2-nji mesele.** Massasy  $m = 1\text{kg}$  bolan kislorod Karnonyň siklini amala aşyrýar. Gaz izotermik giňelende onuň göwrümi 2 esse ulaldy, soňra adiabatik giňelende bolsa gaz  $A_{23} = 3000\text{J}$  iş edýär. Sikliniň eden işini tapmaly.

**Berlen:**  $i=5$ ;  $V_2 = 2V_1$ ;  $m = 1\text{kg}$ ;  $A_{23} = 3000\text{J}$ .

**Tapmaly:**  $A$ .

**Çözülişi.** Karnonyň ideal sikli iki sany izotermadan we iki sany adiabatadan durýar. Gaz izotermik giňelende (diagrammada 1-2 bölekler)  $Q_1$  ýylylyk mukdaryny alýar:

$$Q_1 = A_{12} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}.$$



16.1-nji surat

Izotermiki gysylmada  $Q_2$  ýylylyk mukdary sowadyja berilýär we ol gazy gysmak üçin sarp edilen iş bilen kesgitlenýär:

$$Q_2 = A_{34} = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}.$$

2 we 3 hallar bir adiabatada ýatyrlar, onda ýazyp bileris:

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}.$$

$T_1 = T_2$  we  $T_3 = T_4$  deň bolany üçin 4 we 1 bölekler üçin hem alarys:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}.$$

Soňky iki deňlikleri biri-birine bölüp, aşakdaky gatnaşygy alarys:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}.$$

2-3 bölekde adiabatik giňelme esasynda iş aşakdaky gatnaşyk bilen kesgitlenýär:

$$A_{23} = -\Delta U_{23} = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R(T_2 - T_3).$$

4-1 bölekde adiabatik gysylma esasynda iş aşakdaky deňlik bilen kesgitlenýär.

$$A_{41} = -\Delta U_{41} = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R(T_4 - T_1) = -\frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_4).$$

$T_1 = T_2$ ,  $T_3 = T_4$  bolany üçin  $A_{23} = -A_{41}$ , adiabatik giňelmede we gysylmada doly iş nola deň. Sikliň işi:

$$A = A_{12} - A_{34}.$$

1-2 we 3-4 bölekler üçin işiň deňliklerini alyp goýarys:

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}.$$



$A_{23}$  deňlik üçin  $T_1 - T_2$  tapawuda deň bolan  $T_2 - T_3$  temperaturanyň tapawudyny aýryp, aşakdaky deňligi alarys:

$$A = \frac{2}{i} A_{23} \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

San bahalary formula goýup hasaplarys:

$$A = \frac{2}{5} \cdot 3000 \cdot \ln 2 = 831,6 J.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**16.1.** Kuwwaty  $N = 14,7 kWt$  bolan ýylylyk maşyny 1 sagat işiň dowamynda ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 3,3 \cdot 10^7 J/kg$  bolan  $m = 8,1 kg$  massaly kömür ulanýar. Gyzdyryjynyň (gazanyň) temperaturasy  $t_1 = 200^\circ C$ , sowadyjynyň temperaturasy bolsa  $t_2 = 58^\circ C$ . Bu maşynyň PTK- syny tapyp, ideal ýylylyk maşynyň PTK-sy bilen deňeşdirmeli.

**16.2.** PTK-sy  $\eta = 30\%$  bolan ideal ýylylyk maşyny sikli ters ugur boýunça amala aşyrýar.  $A = 53 kJ$  iş ýerine ýetirip sowadyjydan näçe maksimal ýylylyk mukdaryny alyp bolar?

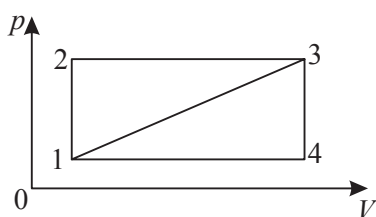
**16.3.** Karnonyň ters ugry boýunça işleýän ideal sowadyjy maşyny  $t_2 = 0^\circ C$  temperaturaly suwly sowadyjydan  $t_1 = 17^\circ C$  temperaturaly suwly gyzdyryja ýylylyk mukdaryny berýär. Massasy  $m_1 = 1 kg$  bolan suwy gyzdyryjyda buga öwürmek üçin suwuň näçe  $m_2$  mukdaryny sowadyjyda doňdurmaly? Buzuň eremeginiň udel ýylylygy  $\lambda = 335 kJ/kg$ , suwuň bugarmagynyň udel ýylylygy  $r = 2,26 MJ/kg$ .

**16.4.** Eger-de politropanyň görkezijisi  $n = 1,33$  we gysylmanyň derejesi a)  $\frac{V_1}{V_2} = 4$ , b)  $\frac{V_1}{V_2} = 6$ , c)  $\frac{V_1}{V_2} = 8$  deň bolsa, içinden ýandyrylýan hereketlendirijiniň PTK-syny kesgitlemeli.

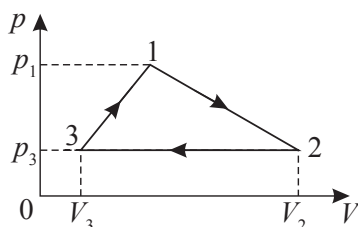
**16.5.** Göwrümi  $V = 5 l$  bolan  $p = 1 MPa$  basyşda ýerleşýän iki atomly ( $\nu = 3 mol$ ) ideal gazy  $T_2 = 500 K$  temperatura çenli izohorik gyzdyrdylar. Soňra başlangyç basyşa çenli gazy izotermik giňelmä sezewar etdiler we izobarik gysylma netijesinde başlangyç ýagdaýa getirdiler. Sikliň grafigini gurmaly we sikliň termiki PTK-syny kesgitlemeli.

**16.6.** Ýylylyk hereketlendirijiniň işçi jisimi - ideal gaz izobarik, adiabatik we izotermik hadysalaryň yzygiderliginden durýan sikli ýerine ýetirýär. Izobara hadysasy netijesinde gaz  $T_1 = 300K$ -den  $T_2 = 600K$ -e çenli gyzdyrylýar. Ýylylyk hereketlendirijiniň termiki PTK-syny kesgitlemeli.

**16.7.** Ideal gaz Karnonyň siklini ýerine ýetirýär. Gyzydyryjynyň temperaturasy  $T_1 = 500K$ , sowadyjynyň temperaturasy  $T_2 = 300K$ . Gazyň izotermiki giňelmesiniň işi  $A = 2kJ$ -a deň. Sikliň termiki PTK-syny, sowadyjynyň izotermiki gysylmasynda gaza berlen  $Q_2$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.



16.2-nji surat



16.3-nji surat

**16.8.** Köp atomly ideal gaz Karnonyň siklini ýerine ýetirýär. Netijede, adiabatik giňelme hadysasy esasynda gazyň göwrümi  $n = 4$  esse ulaldy. Sikliň termiki PTK-syny kesgitlemeli.

**16.9.** 1-2-3-1 sikliň PTK-syny  $\eta_1 = 1/13$  bolsa, 1-3-4-1 sikliň PTK-syny kesgitlemeli (16.2-nji surat). İşçi jisim hökmünde ideal gazy ulanmaly.

**16.10.** 1 we 2 ýagdaýlar üçin temperaturalary birmeňzeş bolan 1-2-3-1 sikliň PTK-syny kesgitlemeli (16.3-nji surat). İşçi jisim hökmünde bir atomly ideal gazy kabul etmeli. Bu ýerde  $p_1 = 2p_0$ ,  $p_2 = p_3 = p_0$ ,  $V_2 = 4V_0$ ,  $V_3 = V_0$ .

**16.11.** Karnonyň ideal ýylylyk maşynynyň kuwwaty  $N = 10^4 Wt$ . Gyzydyryjynyň temperaturasy  $T_1 = 500K$ , sowadyjynyňky bolsa  $T_2 = 300K$ . Gyzydyryjydan alynýan ýylylyk kuwwatyny  $N_1$  we maşynyň  $\tau = 10s$  işiň dowamynda sowadyja berýän  $Q_2$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli.

**16.12.** PTK-sy 40% bolan Karnonyň ýylylyk maşynyny sowadyjy maşyn ýaly ulanylýar. Eger bu maşyna her sikl üçin  $A = 10kJ$

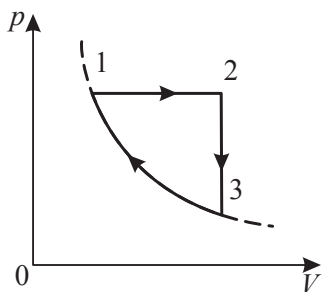
iş berilýän bolsa, onda ol näçe  $Q_2$  ýylylyk mukdaryny sowadyjydan gyzdyryja geçirip biler?

**16.13.**  $t_2 = -3^\circ\text{C}$  temperaturany saklamak üçin Karnonyň ýylylyk maşynyň sowadyjy maşyn hökmünde ulanylýar. Gurşap alýan howanyň temperaturasy  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ . Eger bir siklini dowamynda örtügiň rezerwuaryndan  $Q_2 = 900\text{kal}$  ýylylyk mukdary aýrylýan bolsa, onda maşynyň bir siklini ýerine ýetirmek üçin nähili iş gerek bolar?

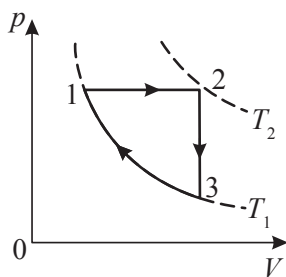
**16.14.** Işçi jisim hökmünde ideal gazy kabul edip, iki izotermadan we iki izobaradan durýan siklini PTK-syny kesgitlemeli.

**16.15.** Temperaturalary  $T_1$  we  $T_2$  bolan iki sany izotermadan we görümleri  $V_1$  we  $V_2$  bolan iki sany izohoradan ybarat bolan ideal gaz bilen geçirilýän siklini PTK-syny kesgitlemeli.

**16.16.** 16.4-nji suratda ideal gazyň bir molunyň käbir ýylylyk maşynynda ýerine ýetirýän öwrülişikli sikliniň diagrammasy şekillendirilen. Sikliniň her etapynda maşynyň ýerine ýetirýän  $A$  işini, gazyň alýan  $Q$  ýylylyk mukdaryny we sikliniň PTK-syny  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  temperaturalaryň funksiýasy hökmünde tapmaly. 3-1 proses adiabatik.



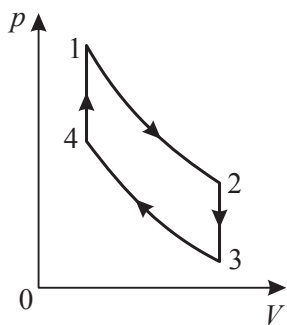
16.4-nji surat



16.5-nji surat

**16.17.** 16.5-nji suratda ideal gazyň bir molunyň käbir ýylylyk maşynynda ýerine ýetirýän öwrülişikli sikliniň diagrammasy şekillendirilen. Sikliniň her etapynda maşynyň ýerine ýetirýän  $A$  işini we gazyň alýan  $Q$  ýylylyk mukdaryny kesgitlemeli. Sikliniň PTK-syny  $T_1$ ,  $T_2$  temperaturalaryň funksiýasy hökmünde kesgitlemeli. 3-1 proses izotermik.

**16.18.** Eger işçi jisim hökmünde ideal gaz ulanylýan bolsa, onda 1-2, 3-4 adiabatdan we 2-3, 4-1 izohoradan durýan Ottonyň öwrülişikli sikliniň PTK-syny kesgitlemeli (16.6-njy surat).



16.6-njy surat

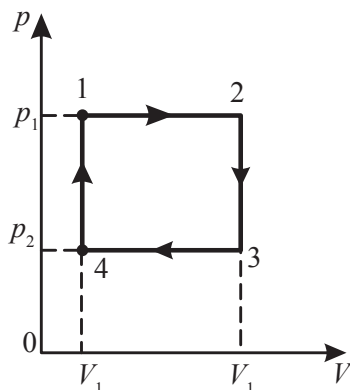
**16.19.** Wodorod Karnonyň siklini ýerine ýetirýär. Eger adiabatik giňelmede: a) gazyň göwrümi  $n=2$  esse ulalsa; b) basyşy bolsa  $n=2$  esse kiçelse, sikliniň PTK-sy näçä deň bolar?

**16.20.** Eger sikliniň çäginde ideal gazyň göwrümi  $n=10$  esse ulalsa, onda iki izohoradan we iki adiabatadan durýan sikliniň PTK-syny kesgitlemeli. Işçi jisim hökmünde azot hyzmat edýär.

**16.21.** Karnonyň sikli boýunça işleýän ýylylyk maşynyň gyzdyryjysynyň temperaturasy  $t_1=200^\circ\text{C}$ -ä deň. Gyzdyryjydan  $Q_1=1\text{J}$  ýylylyk mukdary alnanda maşyn  $A=0,4\text{J}$  işi ýerine ýetirýän bolsa, sowadyjynyň  $T_1$  temperaturasy kesgitlemeli.

**16.22.** Ýylylyk maşyny Karnonyň sikli boýunça işleýär. Gyzdyryjynyň absolýut temperaturasy sowadyjynyň absolýut temperaturasyndan 3 esse uly. Sikliniň dowamynda maşyn tarapyndan sowadyja berilýän ýylylyk mukdary maşyn tarapyndan alynýan ýylylyk mukdarynyň näçe bölegini tutýar?

**16.23.** Ýylylyk maşynyň PTK-sy  $\eta_1=40\%$ . Sikliniň dowamynda sarp edilýän ýylylyk mukdary 20% ulaldylsa, sowadyja berilýän ýylylyk mukdary bolsa 10% kiçeldilse, maşynyň  $\eta_2$  PTK-sy näçä deň bolar?



16.7-nji surat

**16.24.** Ýylylyk maşyny Karnonyň sikli boýunça işleýär we onuň PTK-sy  $\eta_1=60\%$ -e deň. Işçi jisimiň izotermik giňelmesinde alnan ýylylyk mukdary izotermik gysylmada berlen ýylylyk mukdaryndan näçe esse uly?

**16.25.** Ýylylyk maşyny 16.7-nji suratda şekillendirilen sikl boýunça işleýär. Işçi jisim hökmünde bir atomly gazyň bir moly alnan.  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  ululyklar belli bolsa, sikliniň  $\eta$  PTK-syny kesgitlemeli. Sikli  $(p,T)$  we  $(V,T)$  koordinatalarda şekillendiriň.

**16.26.** Ideal ýylylyk maşynyň gyzdryjysynyň temperaturasy  $T_1 = 500K$ -e, sowadyjysynyň temperaturasy bolsa  $T_2 = 300K$ -e deň. Gyzdryjynyň temperaturasy  $\Delta T = 100K$ -e ulaldylsa, maşynyň PTK-sy näçe esse üýtgär?

**16.27.** Karabinden atyş wagtynda dähriniň näçe massasy ýanýar? Okuň massasy  $m = 10g$ , atyş wagtynda okuň tizligi  $\vartheta = 700m/s$ , karabiniň PTK-sy  $\eta = 30\%$ , dähriniň ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 3,8MJ/kg$ .

**16.28.** Awtoulagyň hereketlendirijisi  $\tau = 1sag$  işiň dowamynda  $m = 5kg$  benzini sarp edýär. Hereketlendirijiniň silindrinde gazyň temperaturasy  $T_1 = 1200K$ , işlenen gazlaryň temperaturasy bolsa  $T_2 = 370K$ . Benziniň ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 46MJ/kg$  bolsa, hereketlendirijiniň  $N$  kuwwatyny kesgitlemeli.

**16.29.** Tizligi  $\vartheta = 25km/sag$  bolan moped  $S = 100km$  ýoluň dowamynda  $V = 1,7l$  benzin sarp edýän bolsa, mopediň hereketlendirijisiniň  $N$  kuwwatyny kesgitlemeli. Hereketlendirijiniň PTK-sy  $\eta = 20\%$ , benziniň dykzlygy  $\rho = 0,7g/sm^3$ , benziniň ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 46MJ/kg$ .

**16.30.** Massasy  $m = 0,45kg$  bolan ýangyç sarp edilende turbina  $A = 1,4kWt \cdot sag$  işi ýerine ýetirýär. Işçi jisimiň temperaturasy  $T_1 = 520K$ , sowadyjynyň temperaturasy  $T_2 = 300K$ . Bu turbinanyň  $\eta_i$  PTK-sy bilen şol bir temperaturalarda işleýän ideal ýylylyk maşynyň  $\eta$  PTK-syny deňeşdirmeli. Ýangyjyň ýanmagynyň udel ýylylygy  $q = 46MJ/kg$ .

## 17. ENTROPIÝA

### Esasy kanunlar we formulalar

- Entropiýanyň üýtgemesi:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

- Bolsmanyň formulasy:

$$S = k \ln W,$$

bu ýerde  $S$  – ulgamyň entropiýasy;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$  - Bolsmanyň hemişeligi;

$W$  – halyň termodinamiki ähtimallygy.

- Klauzisiň deňsizligi:

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0,$$

deňsizlik belgisi öwrülişiksiz proseslerde;

deňlik belgisi öwrülişikli proseslerde;

### Meseleleriň çözülişine mysallar

**17.1-nji mesele.** Basyşy  $p_1 = 0,1 MPa$ -dan  $p_2 = 50 kPa$ -a çenli peselen  $m = 10 g$  massaly azotyň izotermik giňelendäki  $\Delta S$  entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $p_1 = 0,1 MPa$  ( $10^5 Pa$ );  $p_2 = 50 kPa$  ( $5 \cdot 10^4 Pa$ );  
 $m = 10 g$  ( $0,01 kg$ );  $\mu = 28 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**Tapmaly:**  $\Delta S$

**Çözülişi.** Hadysanyň izotermikdigini göz önünde tutup entropiýanyň üýtgemesini aşakdaky ýaly ýazarys:

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int dQ = \frac{Q}{T}. \quad (17.1)$$

Termodinamikanyň birinji kanunyna laýyklykda, gaza berlen ýylylyk mukdary  $Q = \Delta U + A$ . Izotermik hadysa üçin  $\Delta U = 0$ , şonuň üçin  $Q = A$ . Izotermik hadysada gazyň işi

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (17.2)$$

(17.2) deňlemäni (17.1) formulada goýup gözlenýän entropiýanyň üýtgemesini taparys:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

Soňky formula san bahalary goýup, alarys:

$$\Delta S = \frac{0,01 \cdot 8,31}{28 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \frac{1 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^4} = 2,06 J/K.$$

**17.2-nji mesele.**  $m = 100g$  massaly azot göwrümi iki esse ulalar ýaly izobarik gyzdyryldy, soňra bolsa basyşy iki esse peseler ýaly izohorik sowadyldy. Berlen prosesleriň dowamynda  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**Berlen:**  $m = 100g$  ( $0,01kg$ );  $V_2 = 2V_1$ ;  $p_1 = 2p_3$ ;

$\mu = 28 \cdot 10^{-3} kg/mol$ .

**Tapmaly:**  $\Delta S$ .

**Çözülişi.** Entropiýa – additiw ululyk, şonuň üçin entropiýanyň umumy üýtgemesi onuň berlen proseslerdäki (1-2 izobarik, 2-3 izohorik proses) üýtgemeleriniň jemine deňdir:

$$\Delta S = \Delta S_{12} + \Delta S_{23}. \quad (17.3)$$

1-2 izobarik prosesde entropiýanyň üýtgemesi:

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ_{12}}{T} = \frac{m}{\mu} C_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (17.4)$$

bu ýerde  $dQ_{12} = \frac{m}{\mu} C_p dT$  – gaza berlen ýylylyk mukdary;

$C_p$  – hemişelik basyşdaky molýar ýylylyk sygymy.

2-3 izohorik prosesde entropiýanyň üýtgemesi:

$$\Delta S_{23} = \int_2^3 \frac{dQ_{23}}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \int_{T_2}^{T_3} \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_3}{T_2}, \quad (17.5)$$

bu ýerde  $dQ_{23} = \frac{m}{\mu} C_v dT$  – gaza berlen ýylylyk mukdary;

$C_V$  – hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy.

1-2 izobarik proses üçin  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ , bu ýerden  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 2$ ;

2-3 izohorik proses üçin  $\frac{p_1}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$ , bu ýerden  $\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_1} = \frac{1}{2}$ .

Alnan gatnaşyklary (17.4) we (17.5) formulalarda goýup alarys:

$$\Delta S_{12} = \frac{m}{\mu} C_p \ln 2 \quad \text{we} \quad \Delta S_{23} = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{1}{2}.$$

Bu gatnaşyklary bolsa (17.3) formulada goýup berlen prosesleriň dowamynda entropiýanyň üýtgemesini taparys:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_p \ln 2 + \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{1}{2} = \frac{m}{\mu} (C_p - C_V) \ln 2 = \frac{m}{\mu} R \ln 2.$$

Bu ýerde  $C_p - C_V = R$  Maýeriň deňlemesini göz önünde tutduk.

Alnan formulada san bahalary goýup, hasaplarys:

$$\Delta S = \frac{0,01 \cdot 8,31}{28 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln 2 = 20,6 \text{ J/K}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**17.1.** Klauziusyň deňsizliginden ugur alyp Karnonyň sikliniň termiki PTK-sy üçin formulany getirip çykarmaly.

**17.2.**  $0^\circ\text{C}$  temperaturadaky  $m = 1\text{g}$  massaly suwuň  $100^\circ\text{C}$  temperaturaly buga öwürülendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Suwuň udel ýylylyk sygymy  $c_{\text{suw}} = 4,19\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $r = 2,26\text{MJ}/\text{kg}$ .

**17.3.**  $-13^\circ\text{C}$  temperaturadaky  $m = 15\text{g}$  massaly buzuň  $100^\circ\text{C}$  temperaturadaky buga öwürülendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Buzuň udel ýylylyk sygymy  $c_{\text{buz}} = 2,1\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , buzuň eremeginiň udel ýylylygy  $\lambda = 3,35 \cdot 10^5\text{J}/\text{kg}$ , suwuň udel ýylylyk sygymy  $c_{\text{suw}} = 4,19\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $r = 2,26\text{MJ}/\text{kg}$ .

**17.4.**  $t_1 = 327^\circ\text{C}$  temperaturadaky  $m = 640\text{g}$  massaly gurşuny  $t_2 = 0^\circ\text{C}$  temperaturadaky buzuň üstüne guýdular. Bu hadysadaky  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Gurşunyň eremeginiň



(kristallaşmagynyň) udel ýylylygy  $\lambda = 22,6 \text{ kJ/kg}$ , gurşunyň udel ýylylyk sygymy  $c_g = 126 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ .

**17.5.** Massasy  $m = 8\text{g}$  bolan kislorodyň  $t_1 = 80^\circ\text{C}$  temperaturadaky  $V_1 = 10 \text{ l}$  göwrümden  $t_2 = 300^\circ\text{C}$  temperaturadaky  $V_2 = 40 \text{ l}$  göwrüme çenli giňelendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**17.6.** Massasy  $m = 6\text{g}$  bolan wodorodyň  $p_1 = 150 \text{ kPa}$  basyşdaky  $V_1 = 20 \text{ l}$  göwrümden  $p_2 = 100 \text{ kPa}$  basyşdaky  $V_2 = 60 \text{ l}$  göwrüme geçendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Wodorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**17.7.** Massasy  $m = 6,6\text{g}$  bolan wodorod  $V_1$  göwrümden  $V_2 = 2V_1$  göwrüme giňelýär. Bu giňelme izobarik bolsa  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.8.** Massasy  $m = 28\text{g}$  bolan azoty 2 esse adiabatik giňeltdiler, soňra başlangyç göwrüme çenli izobarik gysdylar. Berlen prosesleriň geçişindäki entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Azotyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

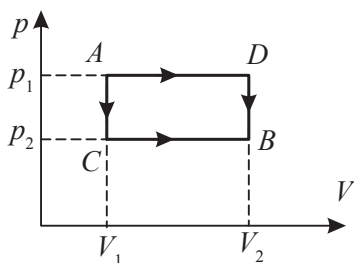
**17.9.** Massasy  $m = 6\text{g}$  bolan wodorodyň  $p_1 = 100 \text{ kPa}$  basyşdan  $p_2 = 50 \text{ kPa}$  basyşa izotermik giňelendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.10.** Massasy  $m = 10,5\text{g}$  bolan azot  $V_1 = 2 \text{ l}$  göwrümden  $V_2 = 5 \text{ l}$  göwrüme izotermik giňelýär. Bu giňelmedäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.11.** Massasy  $m = 10\text{g}$  bolan kislorod  $t_2 = 50^\circ\text{C}$  temperaturadan  $t_1 = 150^\circ\text{C}$  temperatura çenli gyzdyrylýar. Eger gyzdyrylma prosesi a) izohorik; b) izobarik bolsa  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.12.** Iki atomly gazyň  $\nu = 1 \text{ kmol}$  mukdary gyzdyrylanda onuň termodinamik temperaturasy  $T_1$ -den  $T_2 = 1,5T_1$ -a çenli ulalýar. Eger gyzdyrylma prosesi a) izohorik; b) izobarik bolsa  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.13.** Massasy  $m = 22\text{g}$  bolan azotyň gyzdyrylmany netijesinde onuň termodinamik temperaturasy  $T_1$ -den  $T_2 = 1,2T_1$ -a çenli, entropiýasy bolsa  $\Delta S = 4,19 \text{ J/K}$ -e ulalýar. Azot nähili şertlerde (hemişelik göwrümdemi ýa-da hemişelik basyşdamy) gyzdyrylýar? Azotyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .



**17.1-nji surat**

**17.14.**  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  temperaturada we  $p_1 = 98 \text{ kPa}$  basyşda ýerleşýän howanyň  $V_1 = 1 \text{ m}^3$  göwrümi  $V_1$ -den  $V_2 = 2V_1$ -e çenli izotermik giňelýär. Bu hadysadaky  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.15.** Kislorodyň käbir massasy  $A$  ýagdaýda  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  temperaturada we  $p_1 = 820 \text{ kPa}$  basyşda  $V_1 = 3 \text{ l}$  göwrümi,  $B$  ýagdaýda bolsa  $p_2 = 600 \text{ kPa}$  basyşda  $V_2 = 4,5 \text{ l}$  göwrümi eýeleýär (17.1-nji surat). Gazyň  $A$  ýagdaýdan  $B$  ýagdaýa:

a)  $ACB$  ýol boýunça;

b)  $ADB$  ýol boýunça geçendäki  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.16.** Karnonyň siklindäki iki sany adiabatanyň arasyndaky bölekde entropiýanyň üýtgemesi  $\Delta S = 4,19 \text{ kJ/K}$ . Iki izotermiýanyň arasyndaky temperaturalaryň tapawudy  $\Delta T = 100 \text{ K}$ . Bu siklde näçe ýylylyk mukdary işe öwrülýär?

**17.17.** Massasy  $m = 1,7 \text{ g}$  bolan geliý  $n=3$  esse adiabatik giňelýär we soňra başlangyç göwrüme çenli izobarik gysyldy. Bu prosesde gazyň entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.18.** Ideal gazyň bir molunyň izohorik, izotermik we izobarik proseslerdäki entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.19.**  $pV^n = \text{const}$  politropa boýunça  $V_1$  göwrümden  $V_2$  göwrüme çenli giňelendäki ideal gazyň bir molunyň içki energiýasynyň we entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli. Izotermik we adiabatik hadysalaryň hususy hallaryna seretmeli.

**17.20.**  $pV^3 = \text{const}$  politropa boýunça  $p_1 = 20 \text{ atm}$  basyşdan we  $V_1 = 1 \text{ l}$  göwrümden  $V_2 = 3 \text{ l}$  göwrüme çenli giňelendäki kabul eden ýylylyk mukdaryny, bir atomly ideal gazyň bir molunyň içki energiýasynyň we entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli. Prosesiň dowamyndaky temperatura molýar ýylylyk sygym üçin  $C_V = 3R/2$ -e deň diýip kabul eder ýaly baha eýe.

**17.21.** Birmeňzeş göwrümlü iki gapda dürli ideal gazlar saklanýar. Birinji gapdaky gazyň massasy  $m_1$ , ikinji gapdaky gazyň massasy  $m_2$ , gazlaryň basyşy we temperaturasy bolsa deň. Gaplar özara birikdirilenden soň diffuziýa hadysasy başlandy. Eger birinji gazyň molýar

massasy  $\mu_1$ , ikinjiňki  $\mu_2$  bolsa, seredilýän ulgamyň entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.22.** Massasy  $m$  bolan maddanyň udel ýylylyk sygymy  $c$  hemişelik, göwrümine giňelmek koeffisiýenti bolsa 0-a deň bolsa, maddanyň  $T_1$  temperaturadan  $T_2$  temperatura çenli gyzdrylandaky  $\Delta S$  entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.23.**  $V_1$  göwrümi eýeleýän  $m$  massaly ideal gazyň  $V_2$  göwrüme çenli boşluga giňelendäki  $\Delta S$  entropiýasynyň ulalmagyny kesgitlemeli (Geý-Lýussagyň hadysasy).

**17.24.** 5g massaly wodorod 10l göwrümden 25l göwrüme çenli izotermik giňelýär. Wodorodyň  $\Delta S$  entropiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**17.25.** 300°C temperatura çenli gyzdrylan massasy 100g bolan demri 15°C temperaturaly suwa çümdürilende suwuň we demriň  $\Delta S$  entropiýasynyň jemi üýtgemesini tapmaly. Demriň udel ýylylyk sygymy  $c=0,11 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ .

**17.26.** Massasy  $m = 3 \text{ kg}$  bolan alýuminiý bölegini  $T_1 = 300 \text{ K}$  temperaturadan  $T_2 = 600 \text{ K}$  temperatura çenli gyzdrylandaky entropiýanyň  $\Delta S$  ulalmagyny kesgitlemeli. Temperaturalaryň bu aralygynda alýuminiň udel ýylylyk sygymy  $c = a + bT$ , bu ýerde  $a = 0,77 \text{ J/g} \cdot \text{K}$ ,  $b = 0,46 \text{ mJ/g} \cdot \text{K}^2$ .

**17.27.** Käbir prosesde maddanyň temperaturasy onuň entropiýasyna  $T = aS^n$  kanun boýunça bagly, bu ýerde  $a$  we  $n$  – hemişelikler. Maddanyň degişli  $C$  ýylylyk sygymyny  $S$  entropiýanyň funksiýasy ýaly tapmaly. Haýsy şertde  $C < 0$  bolar?

**17.28.** Politropik proses üçin  $T$  temperaturany  $C$  ýylylyk sygymly maddanyň  $S$  entropiýasynyň funksiýasy ýaly tapmaly.  $T_0$  temperaturada maddanyň entropiýasy  $S_0$  deň.  $C > 0$  we  $C < 0$  şertlerde  $T(S)$  baglylygyň grafiklerini şekillendirmeli.

**17.29.** Hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy  $C_V$  belli bolan ideal gazyň bir molynyň onuň  $S$  entropiýasy  $T$  temperatura  $S = \alpha / T$  ýaly bagly bolan prosesi amala aşyrýar, bu ýerde  $\alpha$ -hemişelik. Gazyň temperaturasy  $T_1$ -den  $T_2$ -ä çenli üýtgedi. Tapmaly:

a) gazyň molýar ýylylyk sygymyny onuň temperaturasynyň funksiýasy ýaly;

b) gaza berlen ýylylyk mukdaryny;

c) gazyň ýerine ýetiren işini.

## 18. REAL GAZLAR. WAN-DER-WAALSYŇ DEŇLEMESI. JOUL-TOMSONYŇ HADYSASY

### Esasy kanunlar we formulalar

- Bir mol real gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesi:

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT.$$

- Islendik massaly real gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesi:

$$\left(p + \frac{m^2 a}{\mu^2 V^2}\right)\left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT,$$

bu ýerde  $a$  we  $b$  – molekulalaryň arasyndaky dartýşma güýjüni häsiýetlendirýän we molekulalaryň hususy göwrümini hasaba alýan Wan-der-Waalsyň hemişelikleri;

$V_m$  – molýar göwrüm;

$V$  – gazyň eýeleýän göwrümi;

$p$  – gabyň diwarlaryna gazyň edýän basyşy.

- Molekulalaryň özara täsirleşmeleri bilen şertlendirilýän gazyň içki basyşy

$$p' = \frac{a}{V_m^2} \quad \text{ýa-da} \quad p' = \frac{\nu^2 a}{V^2}.$$

Wan-der-Waalsyň  $a$  we  $b$  hemişelikleri bilen kritiki parametrleriň (molýar göwrüm, basyş we temperatura) baglanyşygy:

$$V_{kr} = 3b, \quad p_{kr} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{kr} = \frac{8a}{27Rb}.$$

- Bir mol gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesiniň getirilen ululyklarda aňladylyşy:

$$\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau,$$

bu ýerde  $\pi = \frac{p}{p_{kr}}$ ;  $\omega = \frac{V}{V_{kr}}$ ;  $\tau = \frac{T}{T_{kr}}$ .

- Real gazyň içki energiýasy:

$$U = C_v \nu T - \frac{\nu^2 a}{V},$$

bu ýerde  $C_v$  – gazyň hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymy.

- Entalpiýa:

$$H = U + PV = \text{const}.$$

- Joule-Tomsonyň otrisatel effekti:

$$\Delta T > 0, \quad \Delta U > 0, \quad P_1 > P_2.$$

- Joule-Tomsonyň položitel effekti:

$$\Delta T < 0, \quad \Delta U < 0, \quad V_2 > V_1.$$

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**18.1-nji mesele.** Mukdary  $0,5 \text{ kmol}$  bolan gazyň göwrümi  $V_1 = 1 \text{ m}^3$  -den  $V_2 = 1,2 \text{ m}^3$  giňelende, molekulalaryň arasyndaky özara dartýşma güýjüne edilen iş  $A = 5690 \text{ J}$ -a deň. Bu gaza degişli Wan-der-Waalsyň deňlemesine girýän  $a$  hemişeligi kesgitlemeli.

**Berlen:**  $\nu = 0,5 \text{ kmol}$  ( $500 \text{ mol}$ );  $V_1 = 1 \text{ m}^3$ ;  $V_2 = 1,2 \text{ m}^3$ ;  $A = 5690 \text{ J}$ .

**Tapmaly:**  $a$ .

**Çözülişi.** Molekulalaryň arasyndaky dartýşma güýjüne garşy real gazyň işini kesgitlemek üçin aşakdaky shemadan peýdalanylýar:  $V_1$  göwrümlü gaz wakuumdan germew bilen bölünen gapda ýerleşýär. Soňra germew aýrylýar we gaz  $V_2$  göwrüme çenli giňelende  $p_i$  içki basyş bilen şertlenen güýji ýeňip geçýär:

$$p_i = \nu^2 \frac{a}{V^2}, \quad (18.1)$$

bu ýerde  $\nu$  – gapdaky gazyň mukdary;  $a$  – Wan-der-Waalsyň hemişeligi;  $V$  – gazyň eýeleýän göwrümi.

Elementar iş üçin aşakdaky deňlemäni ýazyp bolar:

$$dA = -p_i dV = -\frac{a}{V^2} \nu^2 dV. \quad (18.2)$$

«—» alamaty germewe täsir edýän güýjüň süýşmä garşylykly ugrukdyrylandygyny aňladýar. Gazyň giňelendäki doly işi (18.2) deňlemäni integrirläp taparys:

$$A = av^2 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^2} = av^2 \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right), \quad (18.3)$$

bu ýerden  $a$  hemişeligi alarys:

$$a = \frac{AV_1V_2}{v^2(V_2 - V_1)}.$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup hasapalarys:

$$a = \frac{5690 \cdot 1 \cdot 1,2}{500^2(1,2 - 1)} = 0,136 \frac{N \cdot m^4}{mol^2}.$$

**18.2-nji mesele.** Gapda 8 MPa basyşda dykzlygy  $100 \text{ kg/m}^3$  bolan kislorod ýerleşýär. Gazy real hasap edip, onuň temperaturasyň kesgitlemeli we edil şol şertlerde ýerleşen ideal gazyň temperaturasy bilen deňeşdirmeli.

**Berlen:**  $p = 8 \text{ MPa}$  ( $8 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ );  $a = 0,136 \text{ N} \cdot \text{m}^4 / \text{mol}^2$ ;  
 $b = 3,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$ ;  $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

**Tapmaly:**  $T$ .

**Çözülişi.** Ideal gazyň temperaturasyň Mendeleyew-Klapeýronyň ideal gaz halynyň deňlemesinden tapyp bolar:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Massanyň göwrüme gatnaşygyny dykzlyk bilen aňladyp, ýokardaky deňlemäni

$$p\mu = \rho RT$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu deňlemeden ideal gazyň temperaturasyň taparys:

$$T_1 = \frac{p\mu}{\rho R} = 308 \text{ K}.$$

Islendik massaly real gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesi

$$\left( p + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left( \frac{V\mu}{m} - b \right) = RT$$

görnüşe eýe. Bu deňlemäni  $\rho = \frac{m}{V}$  gatnaşykdan peýdalanyp özgerdip bolar:

$$\left(p + \frac{\rho^2 a}{\mu^2}\right) \left(\frac{\mu}{\rho} - b\right) = RT.$$

Bu deňlemeden real gazyň temperaturasyny taparys:

$$T_2 = \frac{\left(p + \frac{\rho^2 a}{\mu^2}\right) \left(\frac{\mu}{\rho} - b\right)}{R}.$$

Berlen san bahalaryny formulada goýup taparys:

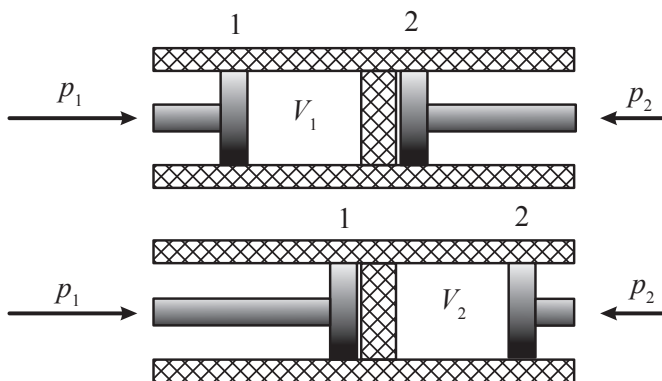
$$T_2 = \frac{\left(8 \cdot 10^6 + \frac{100^2 \cdot 0,136}{(32 \cdot 10^{-3})^2}\right) \left(\frac{32 \cdot 10^{-3}}{100} - 3,17 \cdot 10^{-5}\right)}{8,31} = 324K.$$

**18.3-nji mesele.** Eger molekularyň hususy göwrümlerini hasaba almasaň hem bolýan drosselirlenýän gaz üçin Joule-Tomsonyň effektiniň hemişe položitel bolýandygyny subut etmeli.

**Berlen:**  $b=0$ .

**Tapmaly:**  $\Delta T$ .

**Çözülişi.** Real gaz bir hemişelik basyşdan beýleki hemişelik basyşa drossel arkaly adiabatik giňelende onuň temperaturasynyň üýtgame hadysasyna Joule-Tomsonyň effekti diýilýär (18.1-nji surat).



18.1-nji surat

Eger gaz drosselden geçenden soň sowayan bolsa ( $\Delta T < 0$ ), onda Joule-Tomsonyň effekte položitel diýip atlandyrmak kabul

edilen. Joule-Tomsonyň effektinde halyň funksiýasy bolan entalpiýa hemişelik saklanýar:

$$H = U + PV = \text{const} \quad \text{ýa-da} \quad p_1 V_1 + U_1 = p_2 V_2 + U_2, \quad (18.4)$$

bu ýerde  $p_1, V_1, U_1$  we  $p_2, V_2, U_2$  – 1-nji we 2-nji porşenleriň aşagyndaky gazyň basyşy, göwrümi we içki energiýasy.

Real gazyň içki energiýasy:

$$U_1 = \nu \left( C_v T_1 - \frac{a\nu}{V_1} \right) \quad \text{we} \quad U_2 = \nu \left( C_v T_2 - \frac{a\nu}{V_2} \right), \quad (18.5)$$

bu ýerde  $\nu$  – maddanyň mukdary;  $C_v$  – hemişelik göwrümdäki molyň ýylylyk sygymy;  $a$  – molekulalaryň arasyndaky dartýşma güýjüni häsiýetlendirýän Wan-der-Waalsyň hemişeligi;  $T_1$  we  $T_2$  – 1-nji we 2-nji porşenleriň aşagyndaky gazyň temperaturasy.

Islendik massaly real gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesi:

$$\left( p + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT, \quad (18.6)$$

bu ýerde  $b$  – molekulalaryň hususy göwrümini hasaba alýan Wan-der-Waalsyň düzedişi.

Meseläniň şertine laýyklykda  $b=0$

kabul edip, (18.6) deňlemäni gazyň iki haly üçin ýazalyň:

$$p_1 V_1 + \frac{\nu^2 a}{V_1} = \nu RT_1 \quad \text{we} \quad p_2 V_2 + \frac{\nu^2 a}{V_2} = \nu RT_2,$$

bu ýerden

$$p_1 V_1 = \nu RT_1 - \frac{\nu^2 a}{V_1} \quad \text{we} \quad p_2 V_2 = \nu RT_2 - \frac{\nu^2 a}{V_2}. \quad (18.7)$$

(18.5) we (18.7) deňlemeleri (18.4) formulada ornuna goýup alarys:

$$\nu RT_1 - \frac{\nu^2 a}{V_1} + \nu \left( C_v T_1 - \frac{a\nu}{V_1} \right) = \nu RT_2 - \frac{\nu^2 a}{V_2} + \nu \left( C_v T_2 - \frac{a\nu}{V_2} \right),$$

$$\frac{2\nu^2 a}{V_2} - \frac{2\nu^2 a}{V_1} = \nu T_2 (R + C_v) - \nu T_1 (R + C_v).$$

Maýeriň deňlemesinden  $C_p = R + C_v$  bolýandygyny göz önünde tutup alarys:



$$2\nu^2 a \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = \nu C_p (T_2 - T_1).$$

Bu ýerden  $V_2 \gg V_1$  bolýandygy üçin gözlenýän temperaturalaryň tapawudyny alarys:

$$T_2 - T_1 = \frac{2a\nu}{C_p} \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) < 0.$$

Şeýlelikde, hasaplamalaryň netijelerine görä, eger molekulalaryň hususy göwrümini hasaba almasaň, drosselirleme prosesinde gaz so-  
waýar, ýagny Joul-Tomsonyň effekti položitel bolýar.

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**18.1.** Mukdary  $1 \text{ mol}$  bolan gaz üçin Wan-der-Waalsyň deňlemesini maddanyň mukdary  $\nu$  bolan gaz üçin ýazmaly.

**18.2.** Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýän  $1 \text{ mol}$  gaz üçin kritiki nokatda basyşyň, temperaturanyň we göwrümiň aňlatmasyny tapmaly we olaryň arasyndaky baglanyşygy kesgitlemeli.

**18.3.** Wan-der-Waalsyň deňlemesini  $\pi = p/p_{kr}$ ,  $\tau = T/T_{kr}$ ,  $\omega = V/V_{kr}$  getirilen ululyklarda ýazmaly.

**18.4.** Kömürturşy gaz üçin kritiki temperatura  $t_{kr} = 31^\circ\text{C}$ , kritiki basyş  $p_{kr} = 73 \text{ atm}$ -a deň. Kömürturşy gazyň bir molunyň kritiki göwrümini kesgitlemeli.

**18.5.** Kitabyň goşmaçalar bölüminiň 10-njy tablisasynda käbir gazlar üçin Wan-der-Waalsyň hemişelik ululyklary getirilen. Bu ululyklary peýdalanyň, kritiki basyşy, kritiki temperaturany, kritiki göwrümi, şeýle-de Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýändigini göz önünde tutup, getirilen gazlar üçin Boýluň temperaturasyny kesgitlemeli.

**18.6.** Eger azotyň kritiki temperaturasy  $t_{kr} = 146^\circ\text{C}$ , kritiki basyşy  $p_{kr} = 33 \text{ atm}$ -a deň bolsa, onda Wan-der-Waalsyň deňlemesiniň hemişeliklerini tapmaly.

**18.7.** Eger suwuň kritiki basyşy  $p_{kr} = 195 \text{ atm}$  we kritiki temperaturasy  $t_{kr} = 374^\circ\text{C}$ -e deň bolsa, onda suwuň Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýändigini göz önünde tutup, onuň kritiki dykzlygyny kesgitlemeli.

**18.8.** Suw üçin Wan-der-Waalsyň  $a$  hemişeligini  $0,547 Pa \cdot m^6 / mol^2$ -a deň diýip kabul edip, suwuň içki  $p'$  basyşyny tapmaly.

**18.9.** Massasy  $m = 6,6 kg$  bolan kömürturşy gazy  $p = 0,1 MPa$  basyşda  $V = 3,75 m^3$  göwrümi eýeleýär. Gazyň temperaturasyny:

a) gaz ideal bolanda;

b) gaz real bolanda kesgitlemeli.  $a$  we  $b$  düzedişleri deňişlikde  $a = 0,361 N \cdot m^4 / mol^2$  we  $b = 4,28 \cdot 10^{-5} m^3 / mol$  -a deň.

**18.10.** Massasy  $m = 100g$  bolan kislorod  $V_1 = 5l$ -den  $V_1 = 10l$ -e çenli giňelýär. Bu giňelmedäki molekulalarynyň arasyndaky özara çekişme güýjüniň işini kesgitlemeli.  $a$  düzedişi  $a = 0,136 N \cdot m^4 / mol^2$ -a deň diýip kabul etmeli.

**18.11.** Massasy  $m = 88g$  bolan kömürturşy gazy  $\Delta T = 290K$  temperaturada  $V = 1000 cm^3$  göwrümi eýeleýär.  $a$  düzedişi  $a = 0,136 N \cdot m^4 / mol^2$ -a deň diýip kabul etmeli. Gazyň içki energiýasyny:

a) gaz ideal bolanda;

b) gaz real bolanda kesgitlemeli. Kömürturşy gazyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 6$ .

**18.12.** Eger gazyň göwrümi we temperaturasy onuň kritiki bahalaryndan 2 esse uly bolsa, onda gazyň basyşy onuň kritiki bahasynydan näçe esse uly bolar?

**18.13.** Kislorodyň  $\nu = 2 mol$  mukdary  $V_1 = 1l$  göwrümi eýeleýär. Gaz  $V_2 = 10l$  göwrüme adiabatik prosesde iş etmezden giňelýän bolsa, onda kislorodyň temperaturasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.  $a$  düzedişi  $a = 0,136 N \cdot m^4 / mol^2$ -a deň diýip kabul etmeli. Kislorodyň erkinlik derejesiniň sany  $i = 5$ .

**18.14.** Azotyň  $\nu = 3 mol$  mukdary izotermik giňelýär. Netijede, onuň göwrümi  $V_1 = 1l$ -den  $V_2 = 5l$  -e çenli ulalýar. Onuň temperaturasy hemişelik saklanar ýaly gaza näçe mukdarda  $Q$  ýylylyk bermeli?  $a$  düzedişi  $a = 0,136 N \cdot m^4 / mol^2$  -a deň diýip kabul etmeli.

**18.15.**  $T_1 = 400K$  tempeaturada kislorodyň bir moly  $V_1 = 1l$  göwrüme eýe bolup,  $V_2 = 2V_1$  çenli izotermiki giňelýär. Giňelmede edilen işi, gazyň içki energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.  $a$  we  $b$  düzedişleri deňişlikde  $a = 0,136 N \cdot m^4 / mol^2$  we  $b = 3,17 \cdot 10^{-5} m^3 / mol$ -a deň diýip kabul etmeli.

**18.16.**  $p = 3\text{MPa}$  basyşda göwrümi  $V = 0,5\text{m}^3$  bolan ýapyk gapda  $\nu = 0,6\text{kmol}$  mukdarda kömürturşy gazy saklanýar. Wan-der-Waalsyň deňlemesinden peýdalanyň, basyş 2 esse ulalanda gazyň temperaturasynyň näçe esse ulalýandygyny kesgitlemeli.

**18.17.**  $t = -200^\circ\text{C}$  temperaturada geliýniň  $\nu = 1\text{kmol}$  mukdary  $V = 0,237\text{m}^3$  göwrümi eýeleýär. Getirilen ululyklarda aňladylan Wan-der-Waalsyň deňlemesinden peýdalanyň, gazyň  $p$  basyşyny tapmaly.

**18.18.** Göwrümi  $V = 8\text{l}$  bolan ballonda  $T = 300\text{K}$  temperaturada  $m = 0,3\text{kg}$  massaly kislorod ýerleşdirilen. Gabyň näçe bölegini gazyň molekulalarynyň göwrümi düzýär?  $p'$  içki basyşyň gabyň diwarlaryna edýän gazyň  $p$  basyşyna bolan gatnaşygyny kesgitlemeli.

**18.19.** Kritiki halda bolan kömürturşy gazyň bir moly izobarik gyzdýrylanda onuň göwrümi 2 esse ulaldy. Gazyň kritiki temperaturasy  $T_{kr} = 304\text{K}$  bolsa, onuň temperaturasynyň  $\Delta T$  üýtgemesini kesgitlemeli.

**18.20.** Silindrde porşeniň aşagynda  $m = 20\text{g}$  massaly hlor ýerleşdirilen.  $V_1 = 200\text{sm}^3$  göwürümden  $V_2 = 500\text{sm}^3$  göwürüme çenli izotermiki giňelende hloruň içki energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**18.21.** Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýän,  $a=0$  bolan  $1\text{mol}$  gazyň Joul-Tomsonyň hadysasynda elmydama gyzyandygyny görkeziň. Giňelmede temperaturanyň ýokarlanmagyny kesgitlemeli.

**18.22.** Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýän,  $b=0$  bolan  $1\text{mol}$  gazyň Joul-Tomsonyň hadysasynda elmydama sowadygyny görkeziň. Giňelmede temperaturanyň peselmesini kesgitlemeli.

**18.23.** Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýän  $1\text{mol}$  gazyň Joul-Tomsonyň hadysasynda temperaturanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**18.24.** Joul-Tomsonyň hadysasynda gazyň entropiýasynyň ulalýandygyny görkezmeli.

**18.25.** Eger geliýniň kritiki temperaturasy  $T_{kr} = 5,1\text{K}$ -e deňdigi belli bolsa, onda Joul-Tomsonyň tejribesinde geliý haýsy temperaturada sowap başlar? Geliýniň ýagdaýy Wan-der-Waalsyň deňlemesi bilen beýan edilýär diýip hasap etmeli.

**18.26.** Wan-de-Waalsyň deňlemesine boýun egýän seýreklendirilen wodorod, howa we kömürturşy gazlary üçin Joule-Tomsonyň differensial effektiniň  $T_{inv}$  inwersiýa temperaturasyny tapmaly. Şeýle hem, eger temperatura  $T = 300K$  -e deň, basyş bolsa  $|\Delta p| = 0,1 atm$  peselýän bolsa, onda bu gazlar üçin Joule-Tomsonyň tejribesinde temperaturanyň  $\Delta T$  üýtgemesini kesgitlemeli. Berlen gazlar üçin Wan-der-Waalsyň hemişelikleri kitabyň goşmaçalar bölüminiň 10-njy tablisasynda getirilen (howa üçin  $a$  we  $b$  hemişelikleri azot üçin diýip kabul etmeli).

**18.27.** Başda  $V = 10 sm^3$  göwrüme çenli güýçli gysylan seýreklendirilen wodorod, howa we kömürturşy gazy Joule-Tomsonyň hadysasynda atmosfera basyşyna çenli giňedi. Berlen gazlar Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap edip, bu hadysadaky  $\Delta T$  temperaturanyň üýtgemesini kesgitlemeli.

**Bellik.** Gazyň güýçli gysylmasynda Joule-Tomsonyň differensial effekti üçin formulany ulanyp bolmaýar. Atmosfera basyşynda gazlary ideal diýip hasap edip bolýar.

**18.28.** Joule-Tomsonyň hadysasynda gazyň giňelmesi başlangyç  $T$ ,  $V$  ýagdaýdan gaz ideal hökmünde hasaplanyp bolýan güýçli seýreklendirilen ýagdaýa çenli bolup geçýär. Eger gazyň başlangyç ýagdaýyny  $T$ ,  $V$  diagrammada şekillendirseň, onda bu diagrammada  $T$ ,  $V$  tekizligi iki bölege bölýän (bir bölegiň nokatlaryna  $\Delta T < 0$  (gaz sowayar), beýlekisine bolsa  $\Delta T > 0$  (gaz gyzýar) laýyk gelýär) egrini çyzyp bolar. Bu egrä Joule-Tomsonyň integral effektiniň inwersiýa egrisi diýilýär. Bu egriniň deňlemesini tapmaly we Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap edip azot, wodorod we geliý üçin inwersiýa egrileri çyzmaly.

**18.29.** Azot  $T_{kr} = 147^\circ C$  kritiki temperaturada  $V_{kr} = 0,12 l/mol$  kritiki göwrümi eýeleýär. Azot Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap edip, 7g massaly azotyň  $V_1 = 5 l$  göwrümünden  $V_2 = 50 l$  göwrüme çenli boşluga giňelende temperaturanyň peselmesini tapmaly.

**18.30.** Wan-der-Waalsyň gazynyň bir moly  $V_1$  göwrümünden  $V_2$  göwrüme çenli boşluga giňelende, onuň temperaturasy üýtgemez ýaly gaza näçe  $Q$  ýylylyk mukdaryny bermeli?

**18.31.** Wan-der-Waalsyň gazynyň bir moly  $V_1$  göwrümden  $V_2$  göwrüme çenli boşluga giňelende, onuň basyşy hemişelik galar we  $p$  deň bolar ýaly gaza näçe  $Q$  ýylylyk mukdaryny bermeli?

**18.32.** Gaz Wan-der-Waalsyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap edip, inwersiýa egrisiniň, ýagny  $V, T$  tekizliginde Joul-Tomsonyň effektiniň alamatyny üýtgedýän egrisiniň deňlemesini tapmaly.

**18.33.** Azotyň  $\nu = 1 \text{ kmol}$  mukdary  $t = 27^\circ\text{C}$  temperaturada we  $p = 5 \text{ MPa}$  basyşda ýerleşýär. Azot berlen şertlerde özüni real gaz ýaly alyp barýar diýip hasap edip onuň  $V$  göwrümünü tapmaly.

**18.34.** Adaty şertlerde gazyň  $\nu = 1 \text{ kmol}$  mukdarynda jemlenen molekulalaryň arasyndaky özara täsir güýji bilen şertlendirilen  $p_i$  basyşy tapmaly. Bu gazyň kritiki basyşy  $p_{kr} = 7,7 \text{ MPa}$  we kritiki temperaturasy  $T_{kr} = 417 \text{ K}$ .

**18.35.** Mukdary  $\nu = 2 \text{ mol}$  bolan käbir gaz  $V_1 = 10^{-3} \text{ m}^3$  göwrümden  $V_2 = 10^{-2} \text{ m}^3$  göwrüme çenli wakuuma adiabatik giňelýär. Gaz giňelende onuň temperaturasy  $\Delta T = 11,8 \text{ K}$ -e peselen bolsa, gazyň  $i$  erkinlik derejesiniň sanyny kesgitlemeli.

## 19. SUWUKLYKLAR

### Esasy kanunlar we formulalar

- Üst dartylma koeffisiýenti:

$$\alpha = \frac{F}{l}, \quad \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

bu ýerde  $F$  – üst dartylma güýji;

$l$  – suwuklygyň üsti bilen çäklenen konturyň uzynlygy;

$\Delta E$  – üst energiýasy;

$\Delta S$  – plýonkanyň üstüniň meýdany.

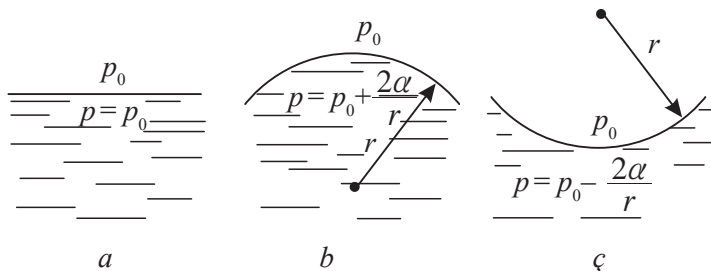
- Laplasyň formulasy:

$$P = P_0 + \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

bu ýerde  $P$  – suwuklygyň üstündäki basyş;

$P_0$  – atmosfera basyşy;

$R_1$  we  $R_2$  – suwuklygyň bir-birine perpendikulýar bolan egrilik radiuslary.



- Sferik üstäki goşmaça basyş:

$$\Delta P = \frac{2\alpha}{R}.$$

- Kapillýaryň içindäki suwuklygyň galýan beýikligi:

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g r},$$

bu ýerde  $\theta$  – gyra burçy;

$r$  – kapillýaryň radiusy;

$\rho$  – suwuklygyň dykzlygy.

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**19.1-nji mesele.** Sabyn köpürjiginiň göwrümi  $V_1 = 10 \text{ sm}^3$  göwüründen  $V_2 = 2V_1$  göwürüme çenli izotermik giňelendäki onuň  $\Delta E$  üst energiýasynyň üýtgemesini kesgitlemeli. Sabynly erginiň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 40 \text{ mN/m}$ .

**Berlen:**  $V_1 = 10 \text{ sm}^3$  ( $10^{-5} \text{ m}^3$ );  $V_2 = 2V_1$ ;  $T = \text{const}$ ;  
 $\alpha = 40 \text{ mN/m}$  ( $40 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$ ).

**Tapmaly:**  $\Delta E$ .

**Çözülişi.** Suwuklygyň  $E$  üst energiýasy bu üstüň  $S$  meýdanyna proporsionaldyr:

$$E = \alpha S,$$

bu ýerde  $\alpha$  – üst dartyлма koeffisiýenti.

Sabyn köpürjiginiň iki üsti bar – daşky we içki. Sabyn ýorkasynyň galyňlygynyň kiçiligi sebäpli bu üstleriň meýdanlary takmynan deň. Şonuň üçin sabyn köpürjiginiň üst energiýasy (daşky we içki bilelikde)

$$E = 2\alpha S. \quad (19.1)$$

Meseläniň şertine görä, izotermik hadysada suwuklygyň üst dartyлма koeffisiýenti temperaturanyň funksiýasy bolany üçin hemişelik bolup galýar.

$$\Delta E = 2\alpha \Delta S, \quad (19.2)$$

bu ýerde  $\Delta S$  – köpürjigiň üstüniň meýdanynyň üýtgemesi (içki ýa-da daşky üstüniň).

Sabyn köpürjigi sfera görnüşli diýip hasap edip, üst meýdanynyň üýtgemesini taparys:

$$\Delta S = 4\pi r_2^2 - 4\pi r_1^2, \quad (19.3)$$

bu ýerde  $r_1$  we  $r_2$  – başlangyç  $V_1$  we ahyrky  $V_2$  göwürüme degişli bolan sferanyň radiuslary:

$$r_1 = \left( \frac{3V_1}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad r_2 = \left( \frac{3V_2}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Indi (19.3) formula aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolar:

$$\Delta S = 4\pi \left[ \left( \frac{3V_2}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}} - \left( \frac{3V_1}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \right].$$

$V_2 = 2V_1$  göz önünde tutup,  $\left( \frac{3V_1}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}}$  umumy agzany ýaýyň daşyna çykaryp alarys:

$$\Delta S = 4\pi \left( \frac{3V_1}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}} (2^{\frac{2}{3}} - 1).$$

$\Delta S$  deňligi (19.2) formulada ýerine goýup alarys:

$$\Delta E = 8\pi\alpha \left( \frac{3V_1}{4\pi} \right)^{\frac{2}{3}} (2^{\frac{2}{3}} - 1). \quad (19.4)$$

San bahalary (19.4) formulada ýerine goýup we hasaplamalary geçirip alarys:

$$\Delta E = 8 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{3 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 3,14} \right)^{\frac{2}{3}} (2^{\frac{2}{3}} - 1) = 106 \text{ mJ}.$$

**19.2-nji mesele.** Massasy  $m = 5g$  bolan simap iki sany parallel aýna plastinalaryň arasynda ýerleşdirilen. Simap aýnany ölemeýär diýip hasap edip, simap damjasyny  $h = 0,15mm$  galyňlyga çenli gysmak üçin gerek bolan güýji kesgitlemeli. Simabyň dykzlygy  $\rho = 13,6 \text{ g/sm}^3$ , üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 0,51 \text{ N/m}$ .

**Berlen:**  $m = 5g$  ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ );  $h = 0,15mm$  ( $15 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ );  $\rho = 13,6 \text{ g/sm}^3$  ( $13600 \text{ kg/m}^3$ );  $\alpha = 0,51 \text{ N/m}$ .

**Tapmaly:**  $F$ .

**Çözülişi.** Simap damjasy iki sany aýna plastinkalaryň arasynda ýerleşdirilende damja gapdal üstleri güberçek bolan inçe disk görnüşe eýe bolar. Üstün egriligi sebäpli ýüze çykyan goşmaça basyş Laplasyň formulasy bilen kesgitlenýär:

$$\Delta P = \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (19.5)$$

bu ýerde  $R_1$  – aýna plastinkalara parallel bolan (diskniň radiusy) tekizlikdäki simabyň üstüniň egrilik radiusy;  $R_2 = h/2$  – aýna plastinkalara perpendikulýar bolan tekizlikdäki simabyň üstüniň egrilik radiusy.



Goşmaça basyş (19.5):

$$\Delta p = \frac{F}{S} \quad (19.6)$$

daşky basyş bilen deňagramlaşýar. Bu ýerde  $S$  – simap damjasynyň plastinka bilen galtaşýan üstüniň meýdany:

$$S = \frac{V}{h} = \frac{m}{\rho h} = \pi R_1^2, \quad (19.7)$$

bu ýerde  $V$  – simabyň göwrümi. Onda

$$R_1 = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho h}}. \quad (19.8)$$

(19.6) formula laýyklykda gözlenilýän  $F$  güýji tapyp we (19.7), (19.5) we (19.8) deňlemeleri ýerine goýup, alarys:

$$F = S \Delta p = \frac{m \alpha}{\rho h} \left( \sqrt{\frac{m}{\pi \rho h}} + \frac{2}{h} \right).$$

San bahalaryny formulada goýup hasaplarys:

$$F = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,51}{13600 \cdot 15 \cdot 10^{-5}} \left( \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 13600 \cdot 15 \cdot 10^{-5}}} + \frac{2}{15 \cdot 10^{-5}} \right) = 16,4N.$$

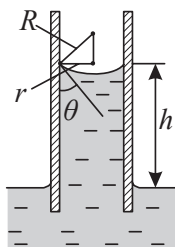
## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**19.1.** Beýikligi  $h = 15mm$  bolan gorizonta mis halkasyny suwuň üstünden ýokary çekmek üçin oňa nähili  $F$  güýç goýmaly? Mis halkanyň içki diametri  $d_1 = 40mm$ , daşky diametri  $d_2 = 42mm$ . Misiň dykzlygy  $\rho = 8,93g/sm^3$ , suwuň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 73mN/m$ .

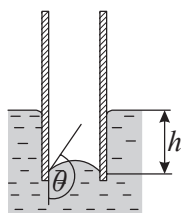
**19.2.** Gabyň içindäki spirt içki diametri  $d = 1,5mm$  bolan dik ýerleşdirilen turbajyk boýunça damjalap akýar. Spirtiň dykzlygy  $\rho = 0,8g/sm^3$ , onuň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 22mN/m$  Spirt damjasy turbajykdan gopýan pursadynda sferik görnüşe eýe bolýar diýip hasap edip, onuň  $D$  diametrini tapmaly.

**19.3.** Gapdan içki diametri  $d = 2mm$  bolan dik ýerleşdirilen turbajyk boýunça spirt damjalap akýar. Damjalar biri-birinden soň  $\Delta \tau = 1s$  wagtdan gopýarlar. Näçe  $\tau$  wagtdan soň spirtiň  $m = 10g$  mas-sasy akyp gutarar? Spirtiň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 22mN/m$

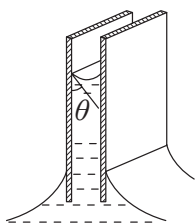
Spirt damjasy turbajykdan gopýan pursadynda onuň boýunjagazynyň diametri turbajygyň içki diametrine deň diýip hasap etmeli.



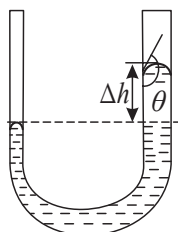
19.1-nji surat



19.2-nji surat



19.3-nji surat



19.4-nji surat

**19.4.** Suwuň üstünden  $h = 15 \text{ sm}$  çuňlukda ýerleşen  $d = 0,01 \text{ mm}$  diametrli howa köpürjigindäki howanyň  $P$  basyşyny kesgitlemeli. Suwuň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 73 \text{ mN/m}$ , atmosfera basyşy kadaly.

**19.5.** Içki diametri  $d_1 = 50 \text{ mm}$ , daşky diametri  $d_2 = 52 \text{ mm}$  we beýikligi  $h = 10 \text{ mm}$  bolan gorizont alýuminiý halkasyny suwuň üstünden goparmak üçin oňa nähili  $F$  güýç goýmaly? Tapylan  $F$  güýjüň näçe bölegini üst dartyлма güýji düzýär? Alýuminiň dykzlygy  $\rho = 2,7 \text{ g/sm}^3$ , suwuň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 73 \text{ mN/m}$ .

**19.6.** Simaply gabyň içine üsti açyk kapillýar goýberilen. Gapda we kapillýarda simabyň derejeleriniň tapawudy  $h = 37 \text{ sm}$ . Simabyň dykzlygy  $\rho = 13,6 \text{ g/sm}^3$ , üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 0,51 \text{ N/m}$ . Kapillýardaky simabyň üstüniň egriлик radiusyny kesgitlemeli.

**19.7.** Içki diametri  $d = 0,04 \text{ sm}$  bolan dik kapillýar suwa çümdürilen (19.1-nji surat). Kapillýardaky suw haýsy  $h$  beýiklige galar? Suwuň üst dartyлма koeffisiýenti  $\alpha = 73 \text{ mN/m}$ . Suw aýnanyň içini doly ölleýär diýip hasap etmeli.

**19.8.** Içki radiusy  $r = 0,2 \text{ mm}$  bolan aýnadan ýasalan dik kapillýar simaply gaba goýberilen (19.2-nji surat). Kapillýardaky simap  $h = 3,75 \text{ sm}$  çuňluga aşak düşdi. Simabyň üst dartyлма koeffisiýentini kesgitlemeli. Simabyň dykzlygy  $\rho = 13,6 \text{ g/sm}^3$  Simap kapillýary öllemeýär diýip hasap etmeli.

**19.9.** Aralygy  $d = 1 \text{ mm}$  bolan iki sany birmeňzeş uzyn tekizparallel plastinalar suwa çümdürilen (19.3-nji surat). Suw plastinalary doly ölleýär diýip kabul edip, plastinalaryň arasyndaky

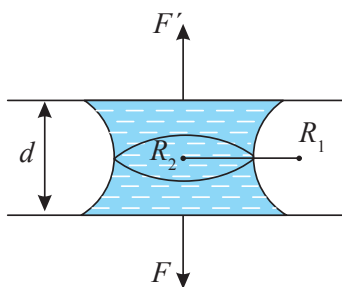
suwuň haýsy  $h$  beýiklige galýandygyny kesgitlemeli. Suwuň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 73 \text{ mN/m}$ .

**19.10.** Suwuň üst dartylmasyny kesgitlemek üçin kapillýardan damýan damjalary çekýärler we damjanyň boýunjagazynyň radiusyny ölçeýärler. Geçirilen ölçegleriň netijesinde 318 sany suw damjasynyň massasy  $m = 5 \text{ g}$ -a we bir damjanyň boýunjagazynyň diametri  $d = 0,7 \text{ mm}$ -e deň boldy. Suwuň üst dartylma koeffisiýentini kesgitlemeli.

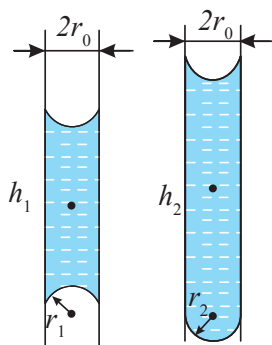
**19.11.**  $U$  görnüşli simap manometriniň inçe böleginiň diametri  $d_1 = 2 \text{ mm}$ , giň böleginiňki bolsa  $d_2 = 4 \text{ mm}$ . Bu böleklerdäki simabyň derejeleriniň  $\Delta h$  tapawudyny kesgitlemeli (19.4-nji surat). Simabyň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 0,51 \text{ N/m}$ , dykzlygy  $\rho = 13,6 \text{ g/sm}^3$ , gyra burçy  $\theta = 138^\circ$ .

**19.12.** Radiusy  $R$  bolan damja  $n$  sany birmeňzeş damja dargar ýaly haýsy  $h$  beýiklikden gaçmaly? Üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha$ , suwuklygyň dykzlygy  $\rho$ . Temperatura hemişelik.

**19.13.** Iki sany aýna bölejiginiň arasyna  $m$  massaly suw damjasy düşen bolsa (19.5-nji surat), olary biri-birinden aýrmak üçin nähili güýç gerek bolar? Aýnalaryň arasyndaky uzaklyk  $d$ , üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha$ , suwuklygyň dykzlygy  $\rho$ . Suwuklyk aýna bölejikleriň üstüni doly ölleýär.



19.5-nji surat



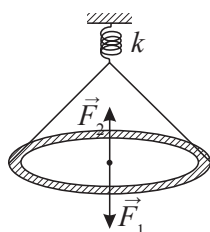
19.6-nji surat

**19.14.** Iki tarapy hem açyk iki sany uzyn kapillýarlar dik ýagdaýda ýerleşýärler (19.6-nji surat). Kapillýarlarda  $h_1 = 2 \text{ sm}$  we  $h_2 = 4 \text{ sm}$  beýiklikde suwuň sütüni bar. Içki diametri  $d_0 = 1 \text{ mm}$  we doly öllenen kapillýaryň aşaky meniskiniň egrilik radiusyny kesgitlemeli.

**19.15.** Eger howa köpürjiginiň içindeki howanyň dykzlygy  $\rho = 2 \text{ kg/m}^3$ -a deňdigi belli bolsa, onda howa köpürjigi suwuň aşagynda näçe çuňlukda saklanar? Köpürjigiň diametri  $d = 15 \text{ mkm}$ , temperaturasy  $t = 20^\circ\text{C}$ , atmosfera basyşy  $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ .

**19.16.** U görnüşli kapillýar turbajygyň çep böleginiň radiusy  $r_1 = 0,5 \text{ mm}$ , sag bölegi bolsa  $r_2 = 1 \text{ mm}$ . Turbajykdaky suwuň derejeleriniň  $\Delta h$  tapawudy nähili? Suwuň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 0,073 \text{ N/m}$ , gyra burçy  $\theta = 0$ .

**19.17.** Içki diametri  $d_1 = 25 \text{ mm}$  we daşky diametri  $d_2 = 26 \text{ mm}$  bolan halka puržinden asylan we suwuklygyň üsti bilen galtaşyp dur



**19.7-nji surat**

(19.7-nji surat). Puržiniň gatylygy  $k = 0,98 \text{ N/m}$ . Suwuklygyň üsti aşak düşürilende halka ondan puržin  $\Delta l = 5,3 \text{ mm}$ -e çenli süýnende gopdy. Suwuklygyň  $\alpha$  üst dartylma koeffisiýentini tapmaly.

**19.18.** Simaply gaba içki diametri  $d = 3 \text{ mm}$  bolan açyk kapillýar goýberilen. Kapillýardaky we gapdaky derejeleriň tapawudy  $\Delta h = 3,7 \text{ mm}$ . Kapillýardaky meniskiň  $R$  egrilik radiusyny tapmaly.

**19.19.** Içki diametrleri  $d_1 = 5 \text{ mm}$  we  $d_2 = 1,5 \text{ mm}$  bolan simap bilen doldurylan barometrik turbalarda simap sütüniniň beýikligini tapmaly. Tapylan beýiklikler boýunça atmosfera basyşyny kesgittläp bolarmy? Atmosfera basyşy  $p_0 = 758 \text{ mm.sim.süt}$ . Simap turbajygy doly öllemeyär diýip hasap etmeli.

**19.20.** Iki ujy hem açyk U görnüşli turbajyk kerosin bilen doldurylan. Turbalaryň içki radiuslary  $r_1 = 0,5 \text{ mm}$  we  $r_2 = 0,9 \text{ mm}$ . Derejeleriň tapawudy näçe bolanda birinji turbanyň ujundaky menisk:

- $R = r_1$  egrilik radiusly oýuk;
- tekiz;
- $R = r_2$  egrilik radiusly güberçek;
- $R = r_1$  egrilik radiusly güberçek bolar? Kerosin turbany doly ölleýär diýip hasap etmeli.

**19.21.** Howzuň düýbünde diametri  $d = 4 \text{ mkm}$  bolan howa köpürjigi emele geldi. Bu köpürjik suwuň üstüne galanda onuň diametri  $n = 1,1$  esse ulaldy. Berlen ýerdäki howzuň çuňlugyny kes-

gitlemeli. Atmosfera basyşy kadaly, köpürjikdäki howanyň giňelme prosesini izotermik diýip hasap etmeli.

**19.22.** Kese kesiginiň meýdany  $S$  bolan  $l$  uzynlykly rezin ýüpden edilen halka käbir suwuklygyň ýorkasyna goýlan. Halkanyň içindäki plýonka deşilenden soň halka  $R$  radiusly töwerege uzalan bolsa, suwuklygyň  $\alpha$  üst dartylma koeffisiýentini kesgitlemeli. Kiçi süýnmelerde rezin üçin Gukuň kanuny ýerine ýetýär we Ýunguň moduly  $E$  deň diýip hasap etmeli.

**19.23.** Diametri  $d = 0,8\text{sm}$  bolan sabyn köpürjiginiň içindäki  $p$  goşmaça basyşy kesgitlemeli. Sabynly erginiň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 40\text{din/sm}$ .

**19.24.** Diametri  $d = 1\text{mm}$  bolan aýna turbajykdan akyp çykýan suw damjasynyň boýunjagazynyň diametri turbajygyň içki diametri-ne deň diýip hasap edip, turbajykdan akyp çykýan suw damjasynyň  $m$  massasyny kesgitlemeli. Suwuň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 73\text{mN/m}$ .

**19.25.** Simaply barometri ýasamak üçin  $d = 3\text{mm}$  diametrli aýna turbajygy aldylar. Simabyň üst dartylma koeffisiýentini hasaba alsañ, barometriň görkezmelerine nähili  $\Delta h$  düzedişi girizmeli? Simap aýnany öllemeýär. Simabyň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 510\text{mN/m}$ , dykzylygy  $\rho = 13,6\text{g/sm}^3$ .

**19.26** Çäýnegiň düýbünde  $d = 1\text{mm}$  diametrli töwerek görnüşli deşik bar. Suw deşikden dökülmez ýaly çäýnegiň içine näçe  $h$  beýiklige çenli suw guýup bolar? Suwuň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 73\text{mN/m}$ , suwuň dykzylygy  $\rho = 1\text{g/sm}^3$ .

**19.27.** Radiusy  $r = 0,5\text{mm}$  bolan aýna kapillýar turbajygyň uýy  $h = 2\text{sm}$  çuňluga çenli suwa çümdürilen. Turbajygyň aşaky ujundan howa düwmejigini çykarar ýaly, onda nähili  $p$  goşmaça basyş döretmeli? Suwuň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 73\text{mN/m}$ , suwuň dykzylygy  $\rho = 1\text{g/sm}^3$ .

**19.28.** Diametri  $d = 1,5\text{mm}$  bolan simap damjalarynda we  $d = 3\text{mm}$  diametrli sabyn köpürjiginiň içinde  $\Delta p$  kapillýar basyşy tapmaly. Sabynly erginiň üst dartylma koeffisiýenti  $\alpha = 40\text{din/sm}$ .

**19.29.** Sabyn köpürjigi çişirilende onuň diametriniň  $d_1 = 1\text{sm}$ -den  $d_2 = 5\text{sm}$ -e çenli ulalmagy üçin  $A = 603\text{mkJ}$  iş edilyän bolsa, sabynly erginiň  $\alpha$  üst dartylma koeffisiýentini kesgitlemeli.

## 20. BUGARMA. GAÝNAMA. IDEAL ERGINLER

### Esasy kanunlar we formulalar

- Klapeýronyň-Klauziusyň deňlemesi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L_0}{T(V_2 - V_1)},$$

bu ýerde  $p$  – doýgun buguň basyşy;

$L_0 = L\mu$  – bug emele gelmegiň molýar ýylylygy;

$V_1$  we  $V_2$  – suwuklygyň we buguň molýar göwrümleri.

Ýeterlik pes temperaturalarda doýgun buglaryň dyklylygy ýeterlik kiçi bolany üçin buguň häsiýetleri ideal gazyň häsiýetlerine ýakynlaşýar. Bu ýagdaýda  $V_{bug} \gg V_{suw}$  we Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesine laýyklykda  $V_{bug} = \frac{RT}{p}$ . Onda Klapeýronyň-Klauziusyň deňlemesi aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolar:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{pL_0}{RT^2}.$$

- Klapeýronyň-Klauziusyň deňlemesini gaýnama hadysasy üçin aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{T(V_2 - V_1)}{L_0}.$$

- Osmos basyşy üçin Want - Goffyň formulasy:

$$p = CRT,$$

bu ýerde  $C = \frac{m}{\mu V}$  – erginiň molýar konsentrasiýasy.

- Raulýň kanuny:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2},$$

bu ýerde  $p_0$  – arassa suwuklygyň (eredijiniň) doýgun buglarynyň basyşy;

$p$  – erginiň doýgun buglarynyň basyşy;

$v_1$  – suwuklygyň (eredijiniň) mukdary;  
 $v_2$  – erän maddanyň mukdary.

## Meseleleriň çözülişine mysallar

**20.1-nji mesele.** Maddanyň mukdary  $\nu = 1 \text{ kmol}$  bolan buz erände entropiýanyň üýtgemesi  $\Delta S = 22,2 \text{ kJ/K}$ . Daşky basyş  $\Delta p = 100 \text{ kPa}$  ulalanda buzň ereme temperaturasy  $\Delta T$  näçe üýtgär?  
**Berlen:**  $\Delta S = 22,2 \text{ kJ/K}$  ( $22,2 \cdot 10^3 \text{ J/K}$ );  $\nu = 1 \text{ kmol}$  ( $10^3 \text{ mol}$ );  $\Delta p = 100 \text{ kPa}$  ( $10^5 \text{ Pa}$ ).

**Tapmaly:**  $\Delta T$ .

**Çözülişi.** Klapeýronyň-Klauziusyň deňlemesi:

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{L_0}{T(V_2 - V_1)}.$$

Bu deňlemeden temperaturanyň  $\Delta T$  üýtgemesini taparys:

$$\Delta T = \frac{\Delta p T (V_2 - V_1)}{L_0}, \quad (20.1)$$

bu ýerde  $V_1$  – buzň molýar göwrümi;  $V_2$  – suwuň molýar göwrümi. Molýar göwrümleri dykyzlygyň we molýar massanyň üsti bilen aňladyp taparys:

$$V_1 = \frac{\mu}{\rho_1} \quad \text{we} \quad V_2 = \frac{\mu}{\rho_2}, \quad (20.2)$$

bu ýerde  $\rho_1 = 900 \text{ kg/m}^3$  – buzň dykyzlygy;  $\rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$  – suwuň dykyzlygy;  $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  – suwuň molýar massasy.

Entropiýanyň üýtgemesi

$$\Delta S = \frac{m\lambda}{T} = \frac{\nu\lambda_0}{T}, \quad (20.3)$$

bu ýerde  $\lambda$  – eremegiň udel ýylylygy;  $\lambda_0$  – eremegiň molýar ýylylygy;  $m$  – maddanyň massasy.

(20.3) deňlemeden alarys:

$$\frac{T}{\lambda_0} = \frac{\nu}{\Delta S}. \quad (20.4)$$

(20.2) we (20.4) deňlemeleri (20.1) formulada ýerine goýup we  $\lambda_0 = L_0$  kabul edip, alarys:

$$\Delta T = \Delta p \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) \frac{\nu \mu}{\Delta S}.$$

Alnan formulada san bahalaryny goýup hasaplaýs:

$$\Delta T = 1 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{1}{1000} - \frac{1}{900} \right) \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{22,2 \cdot 10^3} = -0,009 K.$$

**20.2-nji mesele.**  $t_1=40^\circ\text{C}$  we  $t_2=60^\circ\text{C}$  temperaturalarda etil spirtiniň ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) doýgun bugunyň basyşy  $p_1 = 17,7\text{kPa}$  we  $p_2 = 67,9\text{kPa}$ .  $t=50^\circ\text{C}$  temperaturadaky etil spirtiniň  $\Delta m = 1\text{g}$  massasy bugarandaky entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Etil spirtiniň molýar massasy  $\mu = 46\text{ g/mol}$ .

**Berlen:**  $t_1=40^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 313\text{K}$ );  $t_2=60^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 333\text{K}$ );  $p_1 = 17,7\text{kPa}$  ( $17,7 \cdot 10^3\text{Pa}$ );  $p_2 = 67,9\text{kPa}$  ( $67,9 \cdot 10^3\text{Pa}$ );  $t=50^\circ\text{C}$  ( $T = 323\text{K}$ );  $\Delta m = 1\text{g}$  ( $10^{-3}\text{kg}$ );  $\mu = 46\text{ g/mol}$  ( $46 \cdot 10^{-3}\text{kg/mol}$ ).

**Tapmaly:**  $\Delta S$

**Çözülişi.** Doýgun buglar Mendeleyew-Klapeýronyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap edip Klapeýronyň-Klauziusyň deňlemesinden

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{r_0}{T(V_2 - V_1)} \quad (20.5)$$

bir mol buguň molýar göwrümini alarys:

$$V_2 = \frac{RT}{p}.$$

Buguň häsiýetleri ideal gazyň häsiýetlerine ýakynlaşanda  $V_1 \ll V_2$  şert ýerine ýetýär, onda (20.5) deňleme aşakdaky ýaly görnüşe eýe bolýar:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{pr_0}{RT^2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{dp}{p} = \frac{r_0}{R} \frac{dT}{T^2}. \quad (20.6)$$

(20.6) deňlemäni integrirläp, alarys:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{r_0(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}. \quad (20.7)$$

Bu ýerden

$$r_0 = \frac{RT_1 T_2 \ln \frac{p_2}{p_1}}{T_2 - T_1}. \quad (20.8)$$



## Entropiýanyň üýtgemesi

$$\Delta S = \frac{mr}{T} = \frac{\nu r_0}{T} = \frac{\Delta m}{\mu} \frac{r_0}{T},$$

bu ýerde maddanyň mukdaryny  $\nu = \frac{\Delta m}{\mu}$  deňleme bilen aňladyp we (20.8) deňlemäni hasaba alyp,  $\Delta S$  entropiýanyň üýtgemesini taparys:

$$\Delta S = \frac{mr}{T} = \frac{\nu r_0}{T} = \frac{RT_1 T_2 \Delta m \ln \frac{p_2}{p_1}}{(T_2 - T_1) \mu T}.$$

Berlen san bahalaryny formulada goýup taparys:

$$\Delta S = \frac{8,31 \cdot 313 \cdot 333 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{67,9 \cdot 10^3}{17,7 \cdot 10^3}}{(333 - 313) \cdot 46 \cdot 10^{-3} \cdot 323} = 2,92 J/K.$$

**20.3-nji mesele.** Göwrümi  $V = 0,5l$  bolan gapdaky suwda  $m = 40g$  massaly şeker ( $C_{12}H_{12}O_{11}$ ) ereýär. Erginiň temperaturasy  $t = 50^\circ C$ . Erginiň üstündäki suwuň doýgun bugunyň  $P$  basyşyny kesgitlemeli.

**Berlen:**  $V = 0,5l$  ( $0,5 \cdot 10^{-3} m^3$ );  $m = 40g$  ( $40 \cdot 10^{-3} kg$ );  $t = 50^\circ C$  ( $T = 323K$ ).

**Tapmaly:**  $p$ .

**Çözülişi.** Erginiň üstündäki doýgun buguň basyşy arassa eredijiniň (suwuň) üstündäkä görä kiçi. Erginiň üstündäki doýgun buguň basyşy Raulyň kanuny bilen kesgitlenilýär:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}, \quad (20.9)$$

bu ýerde  $p_0$  – arassa suwuklygyň (eredijiniň) üstündäki doýgun buguň basyşy;  $p$  – erginiň üstündäki doýgun buguň basyşy;  $\nu_1$  – suwuň (eredijiniň) mukdary;  $\nu_2$  – şekerin (erän maddanyň) mukdary.

Bu kitabyň goşmaçalar bölümünde ýerleşdirilen 13-nji tablisadan peýdalanylýp,  $t = 50^\circ C$  üçin suwuň doýgun bugunyň basyşyny taparys:  $p_0 = 12302 Pa$ .

Suwuň we şekerin mukdary:

$$\nu_1 = \frac{m}{\mu_1} = \frac{\rho V}{\mu_1} \quad \text{we} \quad \nu_2 = \frac{m}{\mu_2}, \quad (20.10)$$

bu ýerde  $\mu_1 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  - suwuň molýar massasy;  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  - suwuň dykzlygy;  $\mu_2 = 342 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  - şeke-riň molýar massasy.

(20.10) deňlemeleri hasaba alyp, erginiň üstündäki suwuň doýgun bugunyň  $p$  basyşyny taparys:

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{m\mu_1}{\rho V\mu_2 + m\mu_1} \right).$$

Soňky formulada san bahalaryny goýup alarys:

$$p = 12302 \cdot \left( 1 - \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{(0,5 \cdot 342 + 40 \cdot 18) \cdot 10^{-3}} \right) = 12,3 \text{ kPa}.$$

## Özbaşdak çözmek üçin meseleler

**20.1.** Mukdary  $1 \text{ mol}$  bolan buz erände entropiýanyň üýtgemesi  $\Delta S = 25 \text{ J/K}$  -e deň. Daşky basyş  $\Delta p = 1 \text{ MPa}$  -a ulalanda buzuň ereme temperaturasy nähili üýtgär? Buzuň dykzlygy  $\rho_b = 0,9 \text{ g/sm}^3$ , suwuň dykzlygy  $\rho_s = 1 \text{ g/sm}^3$ .

**20.2.**  $t_1 = 100^\circ\text{C}$  we  $t_2 = 120^\circ\text{C}$  temperaturalarda simabyň doýgun bugunyň basyşy degişlilikde  $p_1 = 37,3 \text{ Pa}$  we  $p_2 = 101,3 \text{ Pa}$ . Berlen temperaturalarda bug emele gelmegiň udel ýylylygynyň orta bahasyny kesgitlemeli.

**20.3.**  $p_2 = 0,1 \text{ MPa}$  basyşda benzolyň ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) gaýnama temperaturasy  $t_2 = 80,2^\circ\text{C}$ -e deň.  $t_2 = 75,6^\circ\text{C}$  temperaturadaky benzolyň doýgun bugunyň basyşyny kesgitlemeli. Berlen temperaturalarda benzolyň bugarmagynyň udel ýylylygynyň orta bahasyny  $r = 0,4 \text{ MJ/kg}$ -a deň diýip kabul etmeli.

**20.4.**  $p_1 = 100 \text{ kPa}$  basyşda galaýynyň ereme temperaturasy  $t_2 = 231,9^\circ\text{C}$ ,  $p_2 = 10 \text{ MPa}$  basyşda bolsa  $t_2 = 232,2^\circ\text{C}$ . Suwuk galaýynyň dykzlygy  $\rho_2 = 7000 \text{ kg/m}^3$ .  $1 \text{ kmol}$  mukdardaky galaýy erände entropiýanyň üýtgemesini kesgitlemeli. Galaýynyň molýar massasy  $\mu = 118,7 \text{ g/mol}$ , dykzlygy  $\rho_1 = 7300 \text{ kg/m}^3$ .

**20.5.**  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  temperaturada ýerleşýän käbir suwuklygyň  $\Delta \nu = 1 \text{ mol}$  mukdary bugaranda entropiýanyň üýtgemesi

$\Delta S = 133 \text{ J/K}$ -e deň boldy. Doýgun buguň basyşy  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  temperaturada  $p_1 = 12,33 \text{ kPa}$ -a deň. Temperatura  $t_1 = 50^\circ\text{C}$ -den  $t_2 = 51^\circ\text{C}$ -e çenli üýtgände suwuklygyň doýgun bugunyň  $\Delta p$  basyşy näçe üýtgär?

**20.6.** Basyş  $\Delta p = 98 \text{ kPa}$  üýtgände demriň ereme temperaturasy  $\Delta T = 0,012 \text{ K}$  üýtgeýär. Maddanyň mukdary  $\nu = 1 \text{ kmol}$  bolan demir erände onuň  $\Delta V$  göwrümi näçe üýtgär?

**20.7.** Göwrümi  $V = 0,5 \text{ l}$  bolan gapdaky suwda  $m = 10 \text{ g}$  mas-saly şeker ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) erände erginiň osmos basyşy  $p = 152 \text{ kPa}$ -a deň boldy. Ergin nähili  $T$  temperaturada ýerleşýär? Şekeriň molekulalarynyň dissosasiýasy ýok.

**20.8.**  $t = 87^\circ\text{C}$  temperaturada ýerleşýän erginiň osmos basyşy  $p = 165 \text{ kPa}$ . Erän erginiň her molekulasyňa suwuň näçe  $N$  sany molekulasy düşýär? Maddanyň molekulalarynyň dissosasiýasy ýok.

**20.9.** Massasy  $m = 2 \text{ g}$  bolan nahar duzy göwrümi  $V = 0,5 \text{ l}$  bolan suwda eredilen. Nahar duzunyň molekulalarynyň dissosasiýa derejesi  $\alpha = 0,75$ .  $t = 17^\circ\text{C}$  temperaturadaky erginiň  $p$  osmos basyşyny kesgitlemeli.

**20.10.** Nahar duzy suwda erände onuň molekulalarynyň dissosasiýa derejesi  $\alpha = 0,4$ -e deň.  $t = 27^\circ\text{C}$  temperaturada erginiň osmos basyşy  $p = 118,6 \text{ kPa}$ -a deň. Nahar duzunyň näçe massasy  $V = 1 \text{ l}$  göwrümli suwda eredilen?

**20.11.** Massasy  $m = 2,5 \text{ g}$  bolan nahar duzy göwrümi  $V = 1 \text{ l}$  bolan suwda eredilen. Erginiň temperaturasy  $t = 27^\circ\text{C}$ , osmos basyşy  $p = 160 \text{ kPa}$ . Bu ýagdaýda nahar duzunyň molekulalarynyň  $\alpha$  dissosasiýa derejesi näçä deň? Erginiň göwrüm birliginde eredilen maddanyň näçe bölejigi ýerleşýär?

**20.12.**  $t = 30^\circ\text{C}$  temperaturada erginiň üstündäki doýgun bugunyň basyşy  $p_1 = 4,2 \text{ kPa}$ -a deň.  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  temperaturada bu erginiň üstündäki  $p_2$  doýgun bugunyň basyşy näçä deň bolar?

**20.13.** Erginiň doýgun bugunyň basyşy arassa suwuň doýgun bugunyň basyşyndan  $1,02$  esse kiçi. Eredilen maddanyň bir molekulasyňa suwuň näçe sany  $N$  molekulasy düşýär?

**20.14.** Massasy  $m = 100 \text{ g}$  bolan bugarmaýan madda  $V = 1 \text{ l}$  göwrümli suwda eredildi. Erginiň temperaturasy  $t = 90^\circ\text{C}$ , doýgun bugunyň basyşy  $p = 68,8 \text{ kPa}$ . Erginiň  $\mu$  molýar massasyny kesgitlemeli.

**20.15.** Molýar massasy  $\mu = 60\text{g/mol}$  bolan bugarmaýan mad-da suwda eredilen. Erginiň temperaturasy  $t=80^{\circ}\text{C}$ , doýgun bugunyň basyşy  $p = 47,1\text{kPa}$ . Erginiň  $p$  osmos basyşy näçe deň bolar?

**20.16.** Eger buzuň udel göwrümi suwuň udel göwrüminden  $\Delta V' = 0,091\text{sm}^3/\text{g}$  uly bolsa, onda  $0^{\circ}\text{C}$  temperaturada basyş  $\Delta p = 1\text{atm}$  ulalanda buzuň ereme temperaturasynyň  $\Delta T$  üýtgemesini tapmaly.

**20.17.** Eger basyşyň  $\Delta p = 3,2\text{kPa}$ -a peselmesi suwuň gaýnama temperaturasynyň  $\Delta T = 0,9\text{K}$ -e peselmesine getirýän bolsa, onda kadaly basyşda suwuň doýgun bugunyň udel göwrümünü tapmaly.

**20.18.** Suwuň doýgun buguny ideal gaz hökmünde kabul edip,  $101,1^{\circ}\text{C}$  temperaturada onuň basyşyny kesgitlemeli.

**20.19.** Ýapyk gapda  $t=100^{\circ}\text{C}$  temperaturada suwuň käbir mukdary we onuň doýgun bugy ýerleşýär. Ulgamyň temperaturasy  $\Delta T = 1,5\text{K}$  ulalanda doýgun bugunyň massasy näçe göterim ulalar? Bugy ideal gaz hökmünde we suwuň udel göwrümi buguň udel göwrümi bilen deňeşdirilende has kiçi diýip hasap etmeli.

**20.20.** Eger  $T_0$  temperaturada onuň basyşy  $p_0$  bolsa, doýgun buguň basyşyny temperaturanyň  $p(T)$  funksiýasy ýaly tapmaly. Bug emele gelmegiň udel ýylylygy temperatura bagly däl, suwuklygyň udel göwrümi buguň udel göwrümine garanynda has kiçi, doýgun bug ideal gaz halynyň deňlemesine boýun egýär diýip hasap etmeli.

**20.21.** Kadaly şertlerde ýerleşýän buzy  $p = 640\text{atm}$  basyşa çenli gysylma sezewar etdiler. Berlen şertlerde buzuň ereme temperaturasynyň peselmesi basyşa çyzykly bagly diýip hasap edip, buzuň näçe böleginiň erändigini tapmaly. Suwuň udel göwrümi buzuň udel göwrüminden  $\Delta V' = 0,09\text{sm}^3/\text{g}$  kiçi.

**20.22.** Silindrdäki porşeniň astyndaky gurşawy doldurýan suwuň bugy kondensasiýanyň çäginde ýerleşip, ol hemişe doýgun bolar ýaly gysýarlar (giňeldýärler). Berlen hadysada bugy ideal gaz hökmünde kabul edip, onuň  $C$  molýar ýylylyk sygymyny  $T$  temperaturanyň funksiýasy ýaly tapmaly. Suwuklygyň udel göwrümünü buguň udel göwrümi bilen deňeşdireniňde hasaba almasaň hem bolýar.  $C$  molýar ýylylyk sygymyny  $t=100^{\circ}\text{C}$  temperaturada kesgitlemeli.

**20.23.**  $T_1$  temperaturada özünüň hasaba alarlykdan has kiçi bolan doýgun bugy bilen deňagramlykda ýerleşen suwuň bir moluny tutuşlygyna  $T_2$  temperaturaly doýgun buga geçirdiler. Ulgamyň entropiýasynyň üýtgemesini tapmaly. Bugy ideal gaz hökmünde kabul etmeli. Suwuklygyň udel göwrümini buguň udel göwrümi bilen deňeşdireniňde hasaba almasaň hem bolýar.

**20.24.** Mukdary  $1\text{ mol}$  bolan buz erände entropiýanyň üýtgemesi  $\Delta S = 25\text{ J/K}$ -e deň boldy. Daşky basyş  $\Delta p = 1\text{ MPa}$ -a ulalanda buzuň ereme temperaturasy näçe  $\Delta T$  üýtgär? Buzuň dykzlygy  $\rho_1 = 0,9\text{ g/sm}^3$ , suwuň dykzlygy  $\rho_2 = 1\text{ g/sm}^3$ .

**20.25.** Basyşyň  $\Delta p = 3,2\text{ kPa}$ -a peselmegi suwuň gaýnama temperaturasynyň  $\Delta T = 0,9\text{ K}$ -e peselmegine getirýän bolsa, kadaly basyşda doýgun suw bugunyň udel göwrümini tapmaly. Suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $r = 2250\text{ kJ/kg}$ , gaýnama temperaturasy  $T = 373\text{ K}$ .

**20.26.** Doýgun suw buguny ideal gaz hökmünde kabul edip  $t = 101,1^\circ\text{C}$  temperaturada onuň basyşyny tapmaly. Suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $r = 2250\text{ kJ/kg}$ , gaýnama temperaturasy  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ .

**20.27.** Ýapyk gapda suwuň uly bolmadyk mukdary ýerleşýär we onuň doýgun bugunyň temperaturasy  $t = 100^\circ\text{C}$ . Ulgamyň temperaturasy  $\Delta T = 1,5\text{ K}$  -e ulalanda doýgun bugunyň massasy näçe göterim ulalar? Bugy ideal gaz we suwuň udel göwrümi buguň udel göwrümi bilen deňeşdireniňde hasaba alardan kiçi diýip hasap etmeli. Suwuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy  $r = 2250\text{ kJ/kg}$ .

## MESELELERİŇ JOGAPLARY

1.1.  $N = 83,6 \cdot 10^{23}$ .

1.2. a)  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ; b)  $m_0 = 5,31 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ ;  
c)  $m_0 = 3,95 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ .

1.3.  $1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

1.4.  $d \approx 2,9 \text{ \AA}$ .

1.5. a)  $M_r = 18$ ; b)  $M_r = 44$ ; c)  $M_r = 58,4$ .

1.6.  $\mu = 98 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

1.7.  $m_{0\text{CO}_2} = 7,31 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ ;  $m_{0\text{NaCl}} = 9,7 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ .

1.8.  $\nu = 0,125 \text{ mol}$ ;  $N = 7,52 \cdot 10^{22}$ .

1.9.  $\nu = 0,5 \text{ mol}$ ;  $m = 16 \text{ g}$ .

1.10.  $\nu = 9,97 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

1.11.  $N = 1,34 \cdot 10^{22}$ .

1.12. a)  $N = 1,5 \cdot 10^{23}$ ; b)  $N = 5,02 \cdot 10^{22}$ ;  
c)  $N = 3,7 \cdot 10^{22}$ ; d)  $N = 2,8 \cdot 10^{21}$ .

1.13.  $M_r = 28$  – azot.

1.14.  $N = 2,87 \cdot 10^{23}$ .

1.15.  $d = 0,464 \text{ nm}$ .

1.16.  $\bar{l}/d = 10,7$ .

1.17. a)  $\nu = 50 \text{ mmol}$ ; b)  $\nu = 35 \text{ mmol}$ ;  
c)  $\nu = 30 \text{ mmol}$ ; d)  $\nu = 65 \text{ mmol}$ .

1.18.  $n = \frac{\rho \cdot N_A}{\mu}$ .

1.19.  $n_{\text{Be}} = 1,2 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$ ;  $n_{\text{K}} = 1,3 \cdot 10^{29} \text{ m}^{-3}$ .

$$1.20. d = 2,81\text{\AA}.$$

$$1.21. l = 3,7 \cdot 10^{-9} m.$$

$$1.22. N = 10^{12}.$$

$$1.23. n \approx 700 dm^{-3}.$$

$$2.1. V = 7,6 \cdot 10^{-3} m^3.$$

$$2.2. m = 1,13 kg.$$

$$2.3. N = 12 \cdot 10^{23}; \quad \bar{E} = 1,2 kJ.$$

$$2.4. n = 2,4 \cdot 10^{25} m^{-3}.$$

$$2.5. \Delta T = 2100 K.$$

$$2.6. p = 10^4 Pa.$$

$$2.7. \text{Wodorod } H_2.$$

$$2.8. V_{ud} = 8,63 m^3 / kg.$$

$$2.9. \Delta m = 30 g.$$

$$2.10. p_2 = 1,1 MPa.$$

$$2.11. \vartheta = 1,5 m/s.$$

$$2.12. p_1 = 5,29 \cdot 10^5 Pa; \quad p_2 = 2,48 \cdot 10^5 Pa.$$

$$2.13. p_2 = 13 \cdot 10^5 Pa.$$

$$2.14. V = 3 l; \quad p_1 = 103 mPa; \quad p_2 = 36,9 mPa; \\ n = 0,25 \cdot 10^{20} m^{-3}.$$

$$2.15. p = \frac{(p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3) T_2}{(V_1 + V_2 + V_3) T_1}.$$

$$2.16. \rho = 1,2 kg/m^3; \quad p_1 = 21 kPa; \quad p_2 = 79 kPa.$$

$$2.17. a) T_{\max} = \frac{2}{3} \frac{p_0}{R} \sqrt{\frac{p_0}{3\alpha}}; \quad b) T_{\max} = \frac{p_0}{R\beta e}.$$

$$2.18. p_0 = 2R\sqrt{\alpha T_0}.$$

$$2.19. \alpha = 0,12.$$

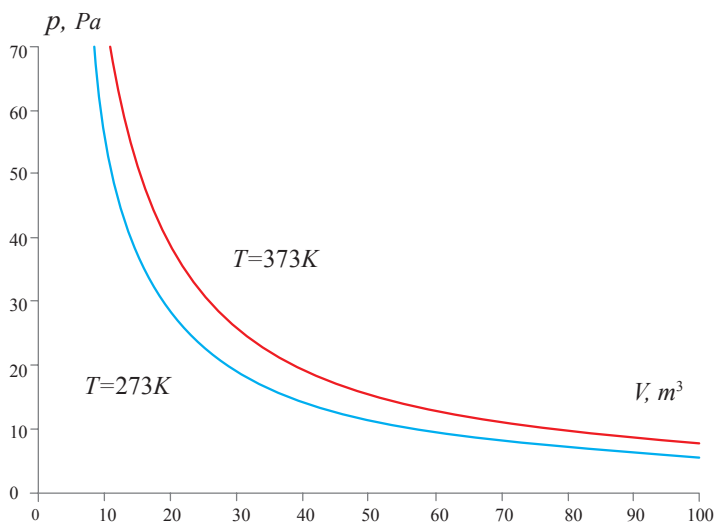
$$2.20. \alpha = 0,2.$$

$$2.21. T = \frac{pV}{\left(\frac{w_1}{\mu_1} + \frac{1-w_1}{\mu_2}\right)mR} = 259 K.$$

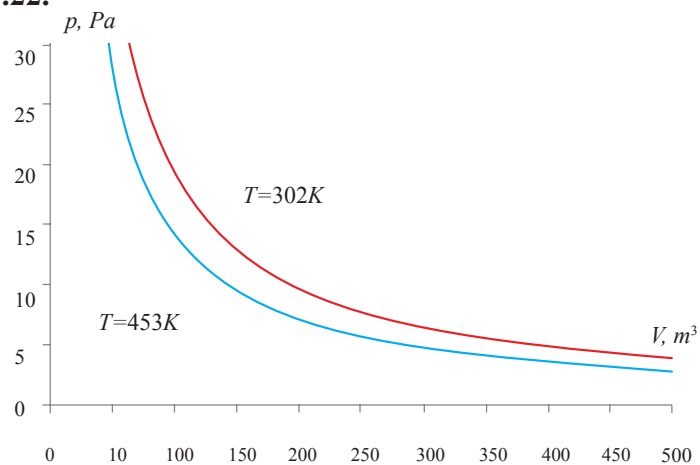
- 
- 3.1.  $p'_1 = 0,75 \text{ MPa}$ ;  $p'_2 = 1,1 \text{ MPa}$ ;  $p = 1,85 \text{ MPa}$ .
- 3.2.  $\Delta m = 1,5 \text{ kg}$ .
- 3.3.  $p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .
- 3.4.  $p = 0,63 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .
- 3.5.  $p_1 = 12 \text{ kPa}$ .
- 3.6.  $p_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .
- 3.7.  $p = 7,5 \text{ atm}$ .
- 3.8.  $p_2 = 8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .
- 3.9.  $F = 32 \text{ kN}$ .
- 3.10.  $\Delta m = 7,5 \text{ kg}$ .
- 3.11.  $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$ .
- 3.12.  $m = 105 \text{ g}$ .
- 3.13.  $p = 3 \text{ atm}$ .
- 3.14.  $V_1 = 1,5 \text{ dm}^3$ .
- 3.15.  $p = 46,2 \text{ kPa}$ .
- 3.16.  $p_2 = 2,3 \text{ kPa}$ .
- 3.17.  $x = 2,5 \text{ sm}$ .
- 3.18.  $\Delta l_{1,2} = \frac{1}{2} [H + l + l' \mp \sqrt{(H + l + l')^2 - 4l'H}]$ .
- 3.19.  $p_0 = 5 \text{ kPa}$ .
- 3.20.  $p_1 = \frac{(l - h_1)(H - h_1)}{L - h} \cdot \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}$ .



**3.21.**



**3.22.**



**3.23.**  $\Delta m = 7,5kg$ .

**3.24.**  $p = 140kPa$ .

**3.25.**  $N \approx 1,2 \cdot 10^{23}$  molekula.

**3.26.**  $p = 10^5 Pa$ .

$$3.27. V = \frac{\Delta m}{n\rho} = 0,1m^3.$$

$$3.28. t = \frac{\alpha RTm}{\mu p S \vartheta} \approx 17,3 \text{ sagat.}$$

$$3.29. \left(1 + \frac{\alpha}{V}\right)^2 = 1,21 \text{ esse.}$$

$$3.30. p_0 = p \left( \frac{V + V_0}{V} \right)^6 \approx 83,4 \text{ mm.sim.süt.}$$

$$3.31. \alpha(1 - \beta) = 6 \text{ esse ulaldy.}$$

$$3.32. p = \frac{RT}{V} \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{N}{N_A} \right) \approx 87,2kPa.$$

$$3.33. p_1 = \frac{p(V_1 + V_2) - p_2 V_2}{V_1} = 5 \cdot 10^5 Pa.$$

$$3.34. p = \frac{m_1 + m_2}{m_1/p_1 + m_2/p_2} = 2 \cdot 10^5 Pa.$$

$$3.35. p = \frac{N_1 + N_2}{N_1/p_1 + N_2/p_2}.$$

$$3.36. h = 0,55 \cdot l.$$

$$3.37. \Delta h = l \left( \sqrt{1 + \frac{p^2}{\Delta p^2}} - \frac{p}{\Delta p} \right).$$


---

$$4.1. T_2 = 400K.$$

$$4.2. \Delta T = 87K.$$

$$4.3. m = 66,5g.$$

$$4.4. V_2 = 55l.$$

$$4.5. T_2 = 80K.$$

$$4.6. V = 1,1l.$$

$$4.7. \Delta F_g = 1,38 \cdot 10^3 N.$$

$$4.8. \eta = 80\%.$$

$$4.9. \Delta N = 8,6 \cdot 10^{24}.$$

$$4.10. T_2 = 1400K.$$

$$4.11. V_1 = 2,4l; T_2 = 1170K; \rho_1 = 4,14kg/m^3; \rho_2 = 1kg/m^3.$$

$$4.12. V_1 = 3,6l; T_2 = 693K; \rho_2 = 1,1kg/m^3.$$

4.13.  $p'_2 = 0,1 \text{ atm}$ .

4.14.  $p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

4.15.  $p = 1,15 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

4.16.  $\Delta h = \frac{1}{2} \left[ \frac{p_0}{\rho g} + l + h - \sqrt{\left( \frac{p_0}{\rho g} + l + h \right)^2 - 4hl} \right]$ .

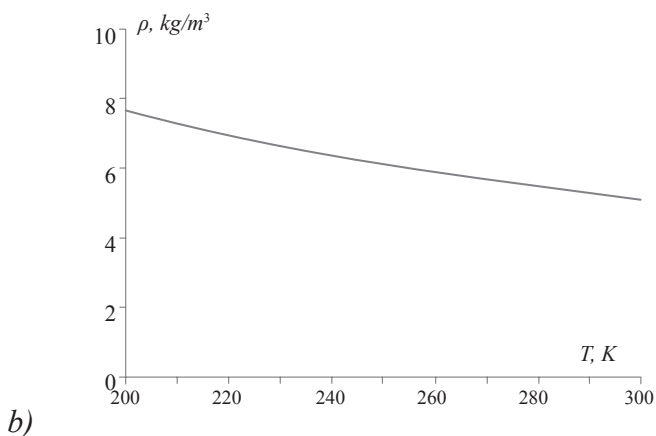
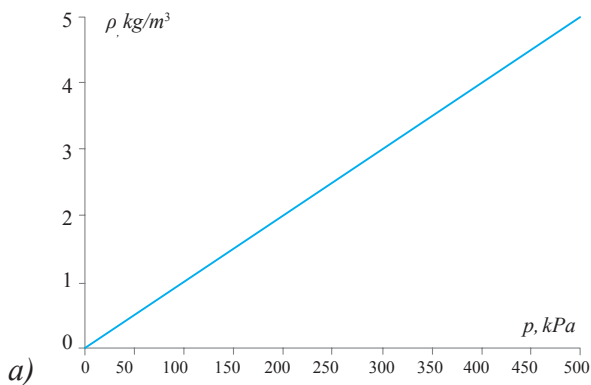
4.17.  $p_2 = 5,46 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .

4.18.  $p = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

4.19.  $V_2 = 3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$ .

4.20.  $\Delta m = \frac{\rho S}{2} \left[ \frac{p_0}{\rho g} + 2h_0 - h + \sqrt{\left( \frac{p_0}{\rho g} + 2h_0 - h \right)^2 + 4h_0(h - h_0)} \right]$ .

4.21.



4.22.  $T = 350K$ .

4.23.  $\Delta F = \frac{\rho_0 g V (T - T_0)}{T_0} = 1,39kN$ .

4.24.  $V_1 = 6,02 \cdot 10^{-3} m^3$ ;  $T_2 = 481K$ ;  $\rho_1 = 1,16kg/m^3$ ;  
 $\rho_2 = 0,7kg/m^3$ .

4.25.  $\sqrt{n} = 2$  esse ulaldy.

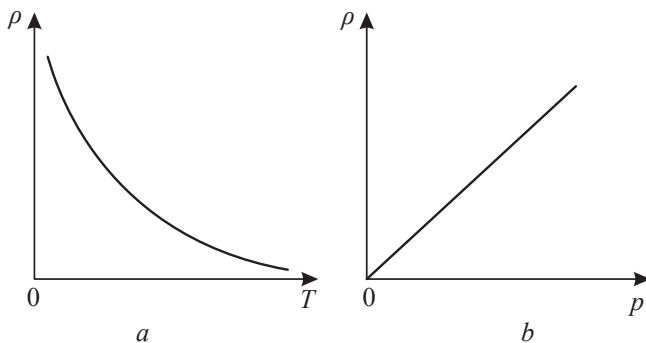
4.26.  $\Delta T = (n - 1)T_0 = 1980K$ .

4.27.  $T = nT_0 = 546K$ .

4.28.  $\Delta m = \frac{\mu p V (T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \approx 6kg$ .

4.29.  $\vartheta_2 = \vartheta \frac{T_2}{T_1} \approx 2,4m/s$ .

4.30.



4.31  $T_0 = \frac{\Delta T}{\alpha} \approx 333K$ .

4.32. 3 esse kiçeldi.

5.1.  $T_2 = 746K$ .

5.2.  $T_1 = 500K$ .

5.3.  $T_2 = 288K$ .

5.4.  $T_2 = 315K$ .

5.5.  $\Delta T = 27K$ .

5.6.  $\Delta m = 5kg$ .

$$5.7. \alpha = 125\%.$$

$$5.8. \Delta T = 140K.$$

$$5.9. \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1,1.$$

$$5.10. h = 71,4m.$$

$$5.11. T_1 = T \frac{2p_0 - \rho g L}{2p_0 + \rho g L}.$$

$$5.12. N = \frac{(p_2 - p_1) \cdot V}{p_0 \cdot V_0}.$$

$$5.13. \eta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2}.$$

$$5.14. x = 0,42m.$$

$$5.15. m_2 = 1088,3kg.$$

$$5.16. P_2 = 1077N; \quad T_h = 4350K.$$

$$5.17. \Delta l = \frac{V_1 \Delta T}{ST_1}.$$

$$5.18. V_3 = \frac{V_2^2}{V_1}.$$

$$5.19. \left( \frac{\beta}{1 - \alpha} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 \text{ esse kiçeler.}$$

$$5.20. \Delta F = (\rho_{02} - \rho_{01})gV \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 642N.$$

$$5.21. \Delta p = \frac{p_1 \Delta T}{T_1} = 2 \cdot 10^4 Pa.$$

$$5.22. T_2 = T_0 \frac{V_1 p_2}{V_0 p_0}.$$

$$6.1. l = 0,01mm.$$

$$6.2. \alpha_V = 25 \cdot 10^{-3} K^{-1}.$$

$$6.3. V_0 \approx 192mm^3.$$

$$6.4. T = 789K.$$

$$6.5. t_2 = 54,1^\circ C.$$

$$6.6. \Delta t = 0,0025^\circ C.$$

$$6.7. \alpha_V = \frac{m_1(1 + \alpha_{V_1}t) - m_0}{m_0 t}.$$

$$6.8. \alpha_{V_1} = \frac{m - m_1}{m_1(t_1 - t)} + \alpha_V.$$

$$6.9. \alpha_V = \frac{h - h_0}{100 h_0}.$$

$$6.10. n_2 - n_1 \approx 9,5 \text{ а́лw.}$$

$$6.11. S = \pi r^2 [1 + (\alpha_{l_1} + \alpha_{l_2})(t_2 - t_1)].$$

$$6.12. \beta = 46^\circ \text{C}.$$

$$6.13. F = 250N.$$

$$6.14. \alpha_l = \frac{\alpha_{l_1} l_{0_1} + \alpha_{l_2} l_{0_2}}{l_{0_1} + l_{0_2}}.$$

$$6.15. \Delta P = 0,251 \dot{N}.$$

$$6.16. \Delta V \approx 2l.$$

$$6.17. R \approx 3,5m.$$

$$6.18. l_{0_1} \approx 32sm; \quad l_{0_2} \approx 22sm.$$

$$6.19. p_{atm} = 758mm \cdot sim \cdot s\ddot{u}t.$$

$$6.20. \Delta m \approx 0,29kg.$$

$$6.21. T_1 = 200K.$$

$$6.22. T_0 = \frac{3p_0 T}{p_0 + \frac{2}{3}\rho g L}.$$

$$6.23. \frac{m_1}{m_2} = 0,5.$$

$$6.24. \Delta m = 30g.$$

$$6.25. T_2 = 487,5K.$$

$$6.26. x = 2h_0 - h - \frac{p_0 + \rho g h_0}{p_0 + \rho g h} h_0.$$

$$6.27. \Delta T = \frac{\Delta Q}{c\rho V_0}; \quad \Delta V = 3 \cdot 10^{-6} m^3.$$

$$6.28. \alpha_a = 1 \cdot 10^{-5} K^{-1}.$$

$$6.29. \Delta h = \frac{mR\Delta T}{\mu(Mg + p_0S)} \approx 2,7sm.$$

$$6.30. T_2 = \frac{3}{8} T_1 \frac{2p_0 + \rho gh}{p_0 + \rho gh}.$$

$$6.31. T_2 = 700K.$$

$$6.32. T_2 = \frac{\rho g S(h - h_2) + mg}{\rho g S(h - h_1) + mg} T_1.$$

$$6.33. F = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{E_1 + E_2} \cdot E_1 E_2 (T_2 - T_1) S;$$

$$\Delta L = \frac{l}{2} \frac{\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2}{E_1 + E_2} (T_2 - T_1).$$

$$6.34. \beta_1 = \frac{p_2 - p_1 + \beta \Delta t (p - p_1)}{(p - p_2) \Delta t}.$$

$$6.35. V_2 = V_1 (1 + \alpha_{V_1} t') [1 + \alpha_{V_2} (t_2 - t')] = 1,00016l.$$

$$6.36. \rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha_V (t - t_0)} = 13,4g/sm^3.$$

$$6.37. V_2 = 7,96S, V_0 = 8S. V_2 < V_0, \text{ şonuñ üçin nebit dökülmez.}$$

$$6.38. V = V_2 - V_0 = 0,15l.$$

$$6.39. \Delta T = \frac{\mu}{mR} [V_1 (p_2 - p_1) - p_2 \Delta V] \approx 48K \text{ -e ulaldy.}$$

$$6.40. T_{\max} = \frac{\gamma^2}{2\nu R \alpha \beta}.$$

$$6.41. T_0 = \frac{\Delta t}{\alpha + \beta + \alpha \beta} \approx 350K.$$

$$7.1. p = 67,9 \cdot 10^3 Pa.$$

$$7.2. h = 2246m.$$

$$7.3. \Delta p = 35,6kPa.$$

$$7.4. n = 1,7.$$

$$7.5. \text{a) } \rho = 1,27kg/m^3; \text{ b) } \rho = 0,77kg/m^3.$$

$$7.6. h = 80229m.$$

$$7.7. F = 4,14 \cdot 10^{-21} N.$$

$$7.8. p_1 = 0,5atm; \quad p_2 = 2atm.$$

$$7.9. \text{ a) } h_1 = 8 \text{ km}; \quad \text{ b) } h_2 \approx 0,08 \text{ km}.$$

$$7.10. \frac{\Delta m}{m} = 0,2.$$

$$7.11. N_A = 6,1 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

$$7.12. m = \left(1 - e^{-\frac{\mu g h}{RT}}\right) \frac{p_0 S}{g}.$$

$$7.13. p = p_0 e^{\frac{\mu \omega^2 r^2}{2RT}}.$$

$$7.14. p_2 - p_1 = \frac{mgN}{S}.$$

$$7.15. \eta_1 = \frac{n'_1}{n'_2} = 0,225.$$

$$7.16. p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}; \quad n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}.$$

$$7.17. \frac{n_1}{n_2} = 1,65.$$

$$7.18. \frac{n_1}{n_2} = 5,91.$$

$$7.19. \frac{dT}{dh} = -\frac{Mg}{R} = -34 \frac{K}{\text{km}}.$$

$$7.20. \text{ a) } p = p_0 (1 - ah)^n, \quad h < \frac{1}{a}; \quad \text{ b) } p = \frac{p_0}{(1 + ah)^n}, \quad n = \frac{Mg}{aRT_0}.$$

$$8.1. \vartheta_{\bar{a}h} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}.$$

$$8.2. \frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} du.$$

$$8.3. \bar{\vartheta}_{kw} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

$$8.4. dN = 2\pi N \left(\frac{1}{\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon.$$

$$8.5. \bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} kT.$$

$$8.6. \varepsilon_{\max} = \frac{kT}{2}.$$



$$8.7. \frac{\bar{\varepsilon}}{\varepsilon_{\dot{a}h}} = 3.$$

$$8.8. \vartheta_{\dot{a}h} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; \quad \varepsilon_{\dot{a}h} = kT.$$

$$8.9. \frac{N_1}{N_2} = 0,98.$$

$$8.10. T = \frac{m_0 \vartheta^2}{3k}.$$

$$8.11. dN = f d\omega = 2\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \vartheta_{\perp} d\vartheta_{\perp} d\vartheta_{\parallel}.$$

$$8.12. z = n \sqrt{\frac{kT}{2\pi m_0}}.$$

$$8.13. \Delta N = 10^{16}.$$

$$8.14. \frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = 0,9.$$

$$8.15. \text{a) } \frac{\Delta N}{N_1} = 3,4\%; \quad \text{b) } \frac{\Delta N}{N_2} = 2,2\%.$$

$$8.16. \bar{p}^2 = 3m_0 kT.$$

$$8.17. N = \frac{1}{4} n \bar{\vartheta}.$$

$$8.18. \vartheta = \frac{2\pi R^2 n}{\delta} = 660 \frac{m}{s}.$$

$$8.19. N = 6 \cdot 10^9.$$

$$8.20. \varepsilon = 8,28 \cdot 10^{-3} kT.$$

$$8.21. f(\theta) d\theta = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{\theta}{2}} \theta^{\frac{1}{2}} d\theta.$$

$$8.22. w = 4,84 \cdot 10^{-3}.$$

$$8.23. w = 2,67 \cdot 10^{-4}.$$

$$8.24. \varepsilon = kT.$$

$$8.25. 2 \text{ esse kiçeler.}$$

$$9.1. \vartheta_{\dot{a}h} = 342 m/s; \quad \bar{\vartheta}_{kw} = 419 m/s; \quad \bar{\vartheta}_{ar} = 386 m/s.$$

$$9.2. T_{N_2} = 426 K.$$

$$9.3. n = 4,2 \cdot 10^{24} m^{-3}.$$

9.4.  $p = 5kPa$ .

9.5.  $\frac{\bar{\vartheta}_{kw2}}{\bar{\vartheta}_{kw1}} = 1,44 \cdot 10^7$ .

9.6.  $p = 768Pa$ .

9.7.  $P = 6,3 \cdot 10^{-24} \frac{kg \cdot m}{s}$ .

9.8.  $p = 167kPa$ .

9.9.  $T \approx 2 \cdot 10^4 K$ ;  $T = 900K$ .

9.10. a)  $\frac{N_1}{N} = 57,2\%$ ; b)  $\frac{N_1}{N} = 42,8\%$ .

9.11.  $N = 1,905 \cdot 10^{22}$ .

9.12.  $N_x = 1,8 \cdot 10^{22}$ .

9.13.  $T_0 = 7730K$ ;  $T = 9600K$ .

9.14.  $T = 1,57 \cdot 10^4 K$ .

9.15.  $T = 376K$

9.16.  $\vartheta_{\bar{a}h} = 0,45km/s$ ;  $\bar{\vartheta}_{ar} = 0,51km/s$ ;  $\bar{\vartheta}_{kw} = 0,55km/s$ .

9.17. a)  $T = 384K$ ; b)  $T = 342K$ .

9.18. a)  $T \approx 330K$ ; b)  $\vartheta = \sqrt{\frac{3RT_0}{\mu} \frac{\eta \cdot \ln \eta}{\eta - 1}}$ .

9.19.  $T \approx 350K$ .

9.20.  $\vartheta = 1,6km/s$ .

9.21.  $T = 20,1kK$ .

9.22.  $\bar{\vartheta}_{kw} = 2km/s$ .

9.23. Geliy:  $\bar{\vartheta}_{kw} = 2,73km/s$ ,  $\bar{\varepsilon} = 2,48 \cdot 10^{-20} J$ ;

Argon:  $\bar{\vartheta}_{kw} = 864m/s$ ,  $\bar{\varepsilon} = 2,48 \cdot 10^{-20} J$ .

9.24.  $\bar{\vartheta}_{kw} = 352mkm/s$ .

9.25.  $1,37 \cdot 10^7$  esse.

9.26.  $\bar{\vartheta}_{ar} = 0,92km/s$ .

9.27.  $\vartheta_{\bar{a}h} = 1,82km/s$ .

9.28.  $p = 768Pa$ .

- 
- 10.1.  $\bar{z} = 3,7 \cdot 10^9 s^{-1}$ .
- 10.2.  $Z = 3 \cdot 10^{31}$ .
- 10.3.  $\bar{z} = 4,5 \cdot 10^7 s^{-1}$ .
- 10.4.  $\bar{z} = 9,6 \cdot 10^9 s^{-1}$ .
- 10.5.  $\sqrt{\Delta^2} \approx 10 mkm$ .
- 10.6.  $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$ .
- 10.7.  $\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} = 2 \sqrt{\frac{hkT}{mg}} = 1,3 \cdot 10^{-11} m$ .
- 10.8.  $\bar{\tau} = 1,6 \cdot 10^{-7} s$ .
- 10.9.  $\rho = 1,6 \cdot 10^{-9} kg/m^3$ ;  $n = 3,32 \cdot 10^{16} m^{-3}$ ;  $\bar{\lambda} = 75,33 m$ .
- 10.10.  $p \leq 394 mPa$ .
- 10.11.  $\rho < 9,38 \cdot 10^{-7} kg/m^3$ .
- 10.12.  $\bar{z} = 9,21 \cdot 10^7 s^{-1}$ .
- 10.13.  $\bar{\tau} = \frac{\ln 2}{n\sigma\bar{\theta}}$ ,  $\sigma = \frac{\pi d^2}{4}$ .
- 10.14. a)  $\eta \approx 0,37$ ; b)  $\eta \approx 0,23$ .
- 10.15.  $\bar{\lambda} = \frac{\Delta l}{\ln \eta}$ .
- 10.16. a)  $p = e^{-\alpha \tau}$ ; b)  $\bar{\tau} = \frac{1}{\alpha}$ .
- 10.17. a)  $\lambda = 0,06 mkm$ ;  $\tau = 0,13 ns$ ; b)  $\lambda = 6 Mm$ ;  
 $\tau = 3,8 sag$ .
- 10.18. 18 esse.
- 10.19.  $\nu = \pi d^2 p_0 N_A \sqrt{\frac{2\gamma}{\mu R T_0}} = 5,5 GGs$ .
- 10.20. a)  $p = 0,7 Pa$ ; b)  $n = 2 \cdot 10^{14} sm^{-3}$ ;  $\bar{r} = 0,2 mkm$ .
- 10.21. a)  $\bar{z} = 0,74 \cdot 10^{10} s^{-1}$ ; b)  $\bar{z} = 1 \cdot 10^{29} s^{-1} \cdot sm^{-3}$ .
- 10.22. a)  $\lambda = const$ ;  $\bar{z} \sim \sqrt{T}$ ; b)  $\lambda \sim T$ ;  $\bar{z} \sim \frac{1}{\sqrt{T}}$ .
- 10.23. a)  $\lambda = const$ ;  $\bar{z} \sqrt{n}$  esse ulalar;  
b)  $\lambda n$  esse kiçeler;  $\bar{z} n$  esse ulalar.
- 10.24.  $\frac{\bar{z}_1}{\bar{z}_2} = 2,34$ .
- 10.25. a)  $\bar{\lambda} \sim V$ ,  $\bar{z} \sim V^{-\frac{n+1}{2}}$ ; b)  $\bar{\lambda} \sim p^{-\frac{1}{n}}$ ,  $\bar{z} \sim p^{\frac{n+1}{2n}}$ ;

$$\varphi) \bar{\lambda} \sim T^{\frac{1}{1-n}}, \quad \bar{z} \sim T^{\frac{n+1}{2(n-1)}}.$$

**10.26.**  $\bar{\lambda} = 23 \text{ mm} > l$ , diýmek gaz aşıa seýreklendirilen.

**10.27.**  $\bar{\lambda}_2 = 101 \text{ m}$ .

**10.28.**  $\bar{z}_1 = 4,45 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ .

**10.29.** 2,34 esse.

**10.30.** a)  $p = 942 \text{ MPa}$ ; b)  $p = 94,2 \text{ MPa}$ ; c)  $p = 9,42 \text{ MPa}$ .

**10.31.**  $\bar{\lambda} = 1,55 \text{ mkm}$ .

**10.32.**  $\bar{z} = 1,11 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ .

**10.33.**  $\bar{\lambda} = 47,7 \text{ nm}$ .

**10.34.**  $\bar{z} = 3,59 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$ .

**11.1.**  $D = 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ .

**11.2.**  $D = 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ .

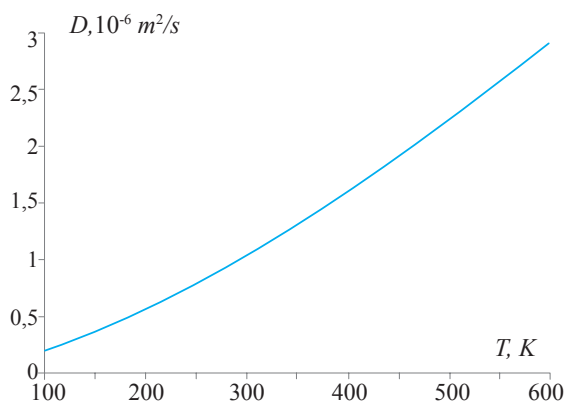
**11.3.**  $\bar{\lambda} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ .

**11.4.**  $M = 2 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ .

**11.5.**  $\frac{M_2}{M_1} = \frac{2}{3\sqrt{3}}$ .

**11.6.**  $\frac{D_1}{D_2} = 0,79$ .

**11.7.**



$$11.8. \text{ a) } D \sim \sqrt{T^3}; \quad \text{ b) } D \sim \sqrt{T}.$$

$$11.9. \text{ a) } D \sim \frac{1}{p}; \quad \text{ b) } D \sim \sqrt{p}.$$

$$11.10. N = \frac{2}{3} \cdot \frac{n_1}{l} \pi \vartheta \cdot r^3.$$

$$11.11. N = N_1 - N_2 = \frac{2}{3} n \cdot \vartheta \cdot r^3 \cdot \frac{n_1 - n_2}{e}.$$

$$11.12. \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 2; \quad \frac{D_2}{D_1} = 2^{\frac{3}{2}}.$$

$$11.13. \frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{2}.$$

$$11.14. \text{ a) } \frac{D_2}{D_1} = n^{-1}; \quad \text{ b) } \frac{D_2}{D_1} = n^{-\frac{3}{2}}.$$

$$11.15. \text{ a) } D = 90 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}; \quad \text{ b) } D = 0,061 \frac{m^2}{s}.$$

$$11.16. \frac{D_2}{D_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 2.$$

$$11.17. n^{\frac{4}{5}} \approx 6,3 \text{ esse azalar.}$$

$$11.18. n = 3.$$


---

$$12.1. \chi = 73 \frac{mWt}{m \cdot K}.$$

$$12.2. D = 2 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}.$$

$$12.3. \chi = 24 \frac{mWt}{m \cdot K}.$$

$$12.4. \frac{d_a}{d_g} = 1,28.$$

$$12.5. Q = 80J.$$

$$12.6. \chi = 8,25 \frac{mWt}{m \cdot K}.$$

$$12.7. p = 980mPa; \quad \chi_1 = 13,1 \frac{mWt}{m \cdot K}; \quad \chi_2 = 178 \frac{mWt}{m \cdot K};$$

$$Q_1 = 188J; \quad Q_2 = 2,55kJ.$$

$$12.8. Q = 24kJ.$$

$$12.9. m = 54g.$$

$$12.10. \Delta t = 0,013^{\circ}\text{C}.$$

$$12.11. \Delta t \approx 2^{\circ}\text{C}$$

$$12.12. T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{l} x.$$

$$12.13. T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{r}{r_1}.$$

$$12.14. T = \frac{T_1 r_1 - T_2 r_2}{r_1 - r_2} - \frac{T_2 - T_1}{r_1 - r_2} \frac{r_1 r_2}{r}.$$

$$12.15. T = \frac{\chi_1 T_1 l_2 + \chi_2 T_2 l_1}{\chi_1 l_2 + \chi_2 l_1}.$$

$$12.16. \chi = \frac{l_1 + l_2}{l_1 \chi_2 + l_2 \chi_1} \chi_1 \chi_2.$$

$$12.17. T(x) = T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{x}{l}}; \quad Q = \frac{\alpha}{l} \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

$$12.18. \Delta T = (\Delta T)_0 e^{-\alpha x}, \quad \alpha = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \frac{S \chi}{l}.$$

$$12.19. T = T_1 \sqrt{1 + \frac{x}{l} \left[ \sqrt{\left( \frac{T_2}{T_1} \right)^3} - 1 \right]^3}.$$

$$12.20. Q = \frac{2i}{9ld^2 N_A} \sqrt{\frac{R^3 (T_2^3 - T_1^3)}{\pi^3 \mu}} = 4Wt/m^2.$$

$$12.21. l < \lambda = 23\text{mm}; \quad Q = \frac{p\bar{\theta}(t_2 - t_1)}{6T(\gamma - 1)} = 22 \frac{Wt}{m^2},$$

$$T = \frac{(T_1 + T_2)}{2}.$$

$$12.22. T = T_0 + \frac{Q}{6\chi} (R^2 - r^2); \quad T_c = T_0 + \frac{QR^2}{6\chi} = 790\text{K}.$$

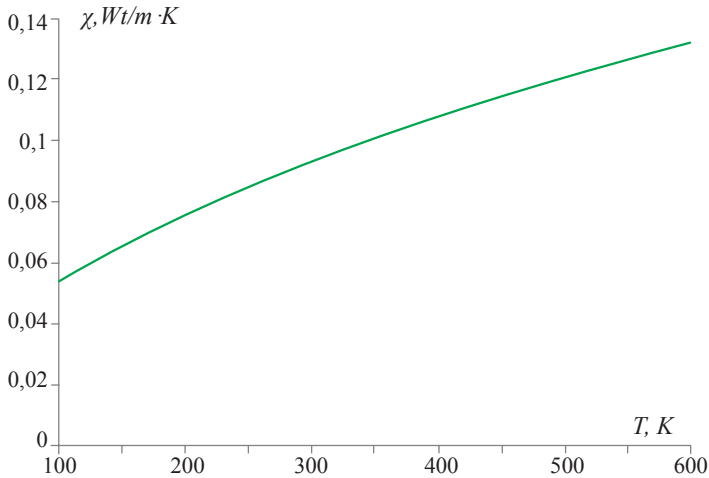
$$12.23. T = T_0 + \frac{I^2 \rho}{4\pi^2 R^4 \chi} (R^2 - r^2).$$

$$12.24. x \approx 11,3\text{sm}.$$

$$12.25. \tau = 40\text{min}.$$

$$12.26. \chi = 13,1 \frac{mWt}{m \cdot K}.$$

**12.27.**



**12.28.**  $d = \sqrt{\frac{\sqrt{2} c_v m \bar{\vartheta} (t_1 - t_2)}{0,72 I^2 R \ln r_2 / r_1}} = 0,23 \cdot 10^{-8} sm.$

**12.29.** 1)  $\chi \sim \sqrt{T}$ ; 2)  $\chi \sim \sqrt{T}$ .

**12.30.** 1) bagly däl; 2)  $\chi \sim \sqrt{p}$ .

**13.23.**  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 1,25.$

**13.24.**  $\chi = 7,42 \frac{mWt}{m \cdot K}.$

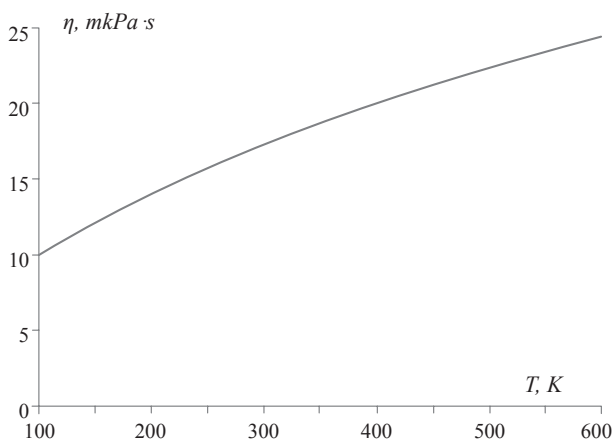
**13.25.**  $p = 39,9 kPa.$

**13.26.**  $\bar{\lambda} = 182 nm.$

**13.27.**  $\chi = 89,93 \frac{mWt}{m \cdot K}.$

**13.28.**  $d = 0,3 nm.$

**13.29.**



**13.30.**  $D = 1,45 \cdot 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ ;  $\eta = 18,2 \text{mkPa} \cdot \text{s}$ .

**13.31.**  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 1,07$ .

**13.32.**  $\rho = 1,6 \text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\lambda = 83,5 \text{nm}$ ;  $\bar{\vartheta} = 440 \text{m}/\text{s}$ .

**13.33.**  $\vartheta = 2,6 \text{m}/\text{s}$ .

**13.34.**  $\frac{F}{S} = 44,83 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

**13.35.**  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}$ .

**13.36.**  $\frac{D_1}{D_2} = 0,8$ ;  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = 1,25$ ;  $\frac{\chi_1}{\chi_2} = 0,96$ .

**13.37.**  $\bar{\vartheta} = 3,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ ;  $\bar{\lambda} = 0,92 \cdot 10^{-5} \text{sm}$ ;

$\bar{z} = 5,6 \cdot 10^{28} \text{s}^{-1} \cdot \text{sm}^{-3}$ ;  $\bar{\sigma} = 0,283 \cdot 10^{-14} \text{sm}^2$ ;

$d = 3 \cdot 10^{-6} \text{sm}$ .

**13.38.**  $\varphi = 81^\circ$ .

**13.39.**  $F = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{N}$ .

**13.40.** a)  $\eta \sim \sqrt{T}$ ; b)  $\eta \sim \sqrt{T}$ .



13.41. a) bagly däl; b)  $\eta \sim \sqrt{p}$ .

13.42.  $M = \frac{\pi^2 \eta n R^4}{d} = 0,58 mN \cdot m$ .

13.43.  $\eta = 8,66 mkPa \cdot s$ .

13.44.  $\eta = \frac{\pi p_2 D^4 \tau}{128 t V} \left[ \ln \frac{(p_1 - p_2)(p_2 + p_3)}{(p_3 - p_2)(p_1 + p_2)} \right]^{-1} \approx 14 \cdot 10^{-5} \text{ din} \cdot s / \text{sm}^2$ ,

$d = \sqrt{\frac{m \vartheta}{3 \sqrt{2} \pi \eta}} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$ .

13.45.  $F = \frac{1}{3} \left( \frac{2\eta}{\pi R T} \right)^{\frac{1}{2}} p \vartheta = 0,89 mN$ .

---

14.1.  $\Delta U = 300J$ ;  $A = 0$ ;  $Q = 300J$ .

14.2.  $\Delta U = 415,5kJ$ ;  $A = 166,2kJ$ ;  $Q = 581,7kJ$ .

14.3.  $A = 49,5J$ .

14.4. a)  $c_V = 650J/(kg \cdot K)$ ; b)  $c_p = 910J/(kg \cdot K)$ .

14.5.  $Q_{142} = 60J$ ;  $Q'_{21} = 70J$ ;  $Q_{14} = 50J$ ;  $Q_{42} = 10J$ .

14.6.  $TV^{\gamma-1} e^{-(\gamma-1)\frac{qT}{R}} = \text{const}$ ,  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ .

14.7.  $Q = \frac{V}{\gamma-1} (p_1 - p_0) = 2,27 \cdot 10^4 J$ .

14.8.  $\gamma = 1,68$ .

14.9.  $\alpha = 0,23$ .

14.10. a)  $C = C_V + R/2$ ; b)  $C = C_V - 2R$ .

14.11.  $Q = mgh \left( 1 + \frac{2c}{R} \right) + (c + R) T_0$ .

14.12.  $\Delta U = 7500J$ .

14.13.  $Q = 910J$ .

14.14.  $\Delta U = 1200J$ .

14.15.  $c_V = 667J/(kg \cdot K)$ ;  $c_p = 917J/(kg \cdot K)$ .

14.16.  $A = 1,43kJ$ ;  $V_2 = 5l$ .

$$14.17. A = 0,6kJ; \quad \Delta U = 1kJ; \quad \gamma = 1,6.$$

$$14.18. Q = 4,15kJ.$$

$$14.19. Q = 12,4J.$$

$$14.20. Q_{132} = \frac{19}{2}RT_1; \quad Q_{142} = \frac{17}{2}RT_1; \quad Q_{12} = 9RT_1; \quad C_{12} = 3R.$$

$$14.21. m = \frac{M(q_e - c_e t_1)}{c_s t_0 + q_s} = 80g.$$

$$14.22. c_2 = \frac{mc + m_1 c_1}{m_2} \frac{t - t_0}{t_2 - t} = 0,092 \text{ kal/g} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$14.23. m = 1,1g.$$

$$14.24. \vartheta = 340 \text{ m/s}.$$

$$14.25. T_2 = 249K; \quad Q = 896J; \quad \Delta U = -786J; \quad A = -110J.$$

$$14.26. \alpha = \frac{Q - A}{Q} = 60\%.$$

$$14.27. U = 9,35 \cdot 10^5 J.$$

$$14.28. \Delta U = 0; \quad A = Q = 2,6kJ.$$

$$14.29. U_1 = U_2 = 1,5kJ.$$

$$15.1. n = 1,2; \quad \Delta U = 12,5J.$$

$$15.2. T_2 \approx 560K; \quad A' \approx 5,6kJ.$$

$$15.3. A = 2,4 \cdot 10^{-4} J.$$

$$15.4. A \approx 1,6kJ.$$

$$15.5. \Delta U = 0; \quad Q = A = 2,41kJ.$$

$$15.6. Q = A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad Q = A = RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

$$15.7. Q' = A = 2,43kJ.$$

$$15.8. pV^n = \text{const}; \quad 1) V = \text{const}; \quad 2) p = \text{const};$$

$$3) pV^\gamma = \text{const}; \quad 4) pV = \text{const}.$$

$$15.9. A = -\Delta U = 1875J.$$

$$15.10. p_2 = 0,312 \text{ atm}.$$

$$15.11. A \approx 238,6J.$$

$$15.12. p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}; \quad T = T_1 T_2 \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}.$$

$$15.13. Q = \frac{5}{2} \nu R T_0 + 4mgh.$$

$$15.14. i = 5.$$

$$15.15. A = 339J.$$

$$15.16. A = 104J.$$

$$15.17. A = 3 \cdot 10^5 J.$$

$$15.18. \Delta T = 2,1K.$$

$$15.19. A = RT_3 \left( 1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \right)^2.$$

$$15.20. \Delta U = 3,25MJ; \quad A = 0,4MJ; \quad Q = 3,65MJ.$$

$$15.21. O_2 - \text{kislorod.}$$

$$15.22. T_2 = 157K; \quad A = 8,8kJ.$$

$$15.23. \text{a) } A_{123} = p_2(V_2 - V_1); \text{ b) } A_{1234} = -(p_2 - p_1)(V_2 - V_1);$$

$$\text{c) } A_{123} = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1).$$

$$15.24. A = \frac{1}{2} \frac{V_2^2 - V_1^2}{\alpha \nu R}; \text{ gaza ýylylyk mukdary berilýär.}$$

$$15.25. Q_2 = Q_1 - (p_2 - p_1)(V_2 - V_1).$$

$$15.26. A_{123} = \frac{n-1}{n} \frac{m}{\mu} R T_1 = 41,55kJ.$$

$$15.27. \text{Gazyň göwrümi } e \text{ esse ulaldy.}$$

$$15.28. \Delta T = 10K.$$

$$15.29. A_{12} = 10kJ.$$

$$15.30. \Delta U = -A = 300J; \quad \Delta T = \frac{A}{mc_V} \approx 4K.$$

$$15.31. n > 1 \text{ bolanda gyzýar, } n < 1 \text{ bolanda sowaýar.}$$

$$15.32. 1) \text{ Gaz giňelende sowaýar, özi hem onuň temperaturasy } \sqrt{p} \text{ proporsional; } 2) C = C_V - R.$$

$$15.33. 1) \text{ Gaz giňelende gyzýar, özi hem onuň temperaturasy } \sqrt{V} \text{ proporsional; } 2) C = C_p + R.$$

---

**16.1.**  $\eta \approx 20\%$ ;  $\eta_{id} = 30\%$ .

**16.2.**  $Q_2 = 123 \text{ kJ}$ .

**16.3.**  $m_2 = 4,94 \text{ kg}$ .

**16.4.** a)  $\eta = 36,7\%$ ; b)  $\eta = 44,6\%$ ; c)  $\eta = 49,6\%$ .

**16.5.**  $\eta = 13,3\%$ .

**16.6.**  $\eta = 30,7\%$ .

**16.7.**  $\eta = 40\%$ ;  $Q_2 = 1,2 \text{ kJ}$ .

**16.8.**  $\eta = 37\%$ .

**16.9.**  $\eta_2 = \frac{1}{12}$ .

**16.10.**  $\eta_2 = \frac{1}{6}$ .

**16.11.**  $Q_2 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ J}$ ;  $N_1 = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Wt}$ .

**16.12.**  $Q_2 = 15 \text{ kJ}$ .

**16.13.**  $A = 418 \text{ J}$ .

**16.14.**  $T_1 > T_2$ ,  $P_1 > P_2$ ,  $\eta(T_1 - T_2) \left( T_1 + \frac{C_p}{R} \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{P_1}{P_2}} \right)^{-1}$ .

**16.15.**  $\eta = \frac{(\gamma - 1)(T_1 - T_2) \ln \frac{V_1}{V_2}}{(\gamma - 1)T_1 \ln \frac{V_1}{V_2} + (T_1 - T_2)}$ .

**16.16.**  $A_{12} = R(T_2 - T_1)$ ;  $Q_{12} = C_p(T_2 - T_1)$ ;

$$A_{23} = 0; \quad Q_{23} = C_v(T_3 - T_2) < 0;$$

$$A_{31} = C_v(T_3 - T_1); \quad Q_{31} = 0; \quad \eta = 1 - \frac{T_2 - T_3}{\gamma(T_2 - T_1)}.$$

**16.17.**  $A_{12} = R(T_2 - T_1)$ ;  $Q_{12} = C_p(T_2 - T_1)$ ;

$$A_{23} = 0; \quad Q_{23} = C_v(T_1 - T_2) < 0;$$

$$A_{31} = Q_{31} = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} = RT_1 \ln \frac{T_1}{T_2} < 0;$$

$$\eta = \frac{R(T_2 - T_1) + RT_1 \ln \frac{T_1}{T_2}}{C_p(T_2 - T_1)}.$$

$$16.18. \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

$$16.19. \text{a) } \eta = 0,25; \quad \text{b) } \eta = 0,18.$$

$$16.20. \eta = 60\%.$$

$$16.21. T_2 = \left(1 - \frac{A}{Q_1}\right) T_1 = 284 K.$$

$$16.22. \frac{|Q_2|}{Q_1} = \frac{1}{3}.$$

$$16.23. \eta_2 = 55\%.$$

$$16.24. \frac{Q_1}{|Q_2|} = 2,5.$$

$$16.25. \eta = \frac{(p_1 - p_2)(V_2 - V_1)}{\frac{3}{2} V_1 (p_1 - p_2) + \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1)}.$$

$$16.26. 25\% \text{ ulalar.}$$

$$16.27. m_d = \frac{m \vartheta^2}{2 \eta q} = 2,15 g.$$

$$16.28. N = \frac{Q \eta}{\tau} = 44,2 k W t.$$

$$16.29. N = \frac{\eta V \rho q \vartheta}{S} = 766 W t.$$

$$16.30. \eta_i < \eta.$$

$$17.1. \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

$$17.2. \Delta S = 7,4 J / K.$$

$$17.3. \Delta S = 130 J / K.$$

$$17.4. \Delta S = 62,2 J / K.$$

17.5.  $\Delta S = 5,4 J/K$ .

17.6.  $\Delta S = 71 J/K$ .

17.7.  $\Delta S = 66,3 J/K$ ;

17.8.  $\Delta S = -20,2 J/K$ .

17.9.  $\Delta S = 17,3 J/K$ .

17.10.  $\Delta S = 2,85 J/K$ .

17.11. a)  $\Delta S = 1,75 J/K$ ; b)  $\Delta S = 2,45 J/K$ .

17.12. a)  $\Delta S = 8,5 kJ/K$ ; b)  $\Delta S = 11,8 kJ/K$ .

17.13. Gyzdyrylma hemişelik basyşda amala aşyrylýar.

17.14.  $\Delta S = 500 J/K$ .

17.15. a)  $\Delta S = 4,58 J/K$ ; b)  $\Delta S = 4,58 J/K$ .

17.16.  $A = 419 kJ$ .

17.17.  $\Delta S = -10 J/K$ .

17.18.  $V = const, \Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = C_V \ln \frac{p_2}{p_1};$

$$T = const, \Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2};$$

$$p = const, \Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = C_p \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

17.19.  $\Delta U = \frac{pV^n}{\gamma - 1} \left( \frac{1}{V_2^{n-1}} - \frac{1}{V_1^{n-1}} \right); \Delta S = (nC_V - C_p) \ln \frac{V_1}{V_2};$

$$T = const, \Delta U = 0, \Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$Q = 0, \Delta U = \frac{pV^\gamma}{\gamma - 1} \left( \frac{1}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \right), \Delta S = 0.$$

17.20.  $\Delta U = -2,6 \frac{kJ}{mol}; \Delta S \approx -16,8 \frac{J}{mol \cdot ^\circ C};$

$$Q \approx -1,75 \frac{kJ}{mol}.$$

17.21.  $\Delta S = R \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \ln 2.$

17.22.  $\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}.$

$$17.23. \Delta S = R \frac{m}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

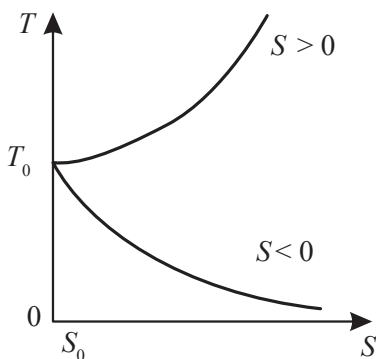
$$17.24. \Delta S = 4,56 \text{ kal}/^\circ\text{C}.$$

$$17.25. \Delta S = 3,2 \text{ kal}/^\circ\text{C}.$$

$$17.26. \Delta S = m \left[ a \ln \frac{T_2}{T_1} + b(T_2 - T_1) \right] = 2 \text{ kJ}/\text{K}.$$

$$17.27. C = \frac{S}{n}; \quad n < 0 \quad \text{bolanda} \quad C < 0 \quad \text{bolar.}$$

$$17.28. T = T_0 e^{\frac{S-S_0}{C}}, \quad 17.28\text{-nji surat.}$$



17.28-nji surat

$$17.29. \text{a) } C = -\frac{\alpha}{T}; \text{ b) } Q = \alpha \ln \frac{T_1}{T_2}; \text{ c) } A = \alpha \ln \frac{T_1}{T_2} + C_V(T_1 - T_2).$$

$$18.1. \left( p + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT.$$

$$18.2. p_{kr} = \frac{a}{27b^2}; \quad T_{kr} = \frac{8a}{27Rb}; \quad V_{kr} = 3b; \quad \frac{T_{kr}}{p_{kr} V_{kr}} = \frac{8}{3R}.$$

$$18.3. \left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) \left( \omega - \frac{1}{3} \right) = \frac{8}{3} \tau.$$

$$18.4. V_{kr} = 128 \text{ sm}^3.$$

$$18.5.$$

Gaz	$V_{kr}, 10^{-6} m^3$	$p_{kr}, 10^5 Pa$	$T_{kr}, K$	$T_B, K$
Azot	117	33,5	128	433
Geliý	71,1	2,24	5,17	17,5
Wodorod	79,8	12,6	12,6	32,7
Kislorod	95,4	49,8	155	524
CO <sub>2</sub>	128	73,3	304	1000

**18.6.**  $a = 0,139 \frac{N \cdot m^4}{mol^2}$ ;  $b = 3,91 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{mol}$ .

**18.7.**  $\rho_{kr} \approx 180 kg/m^3$ .

**18.8.**  $p' \approx 17000 atm$ .

**18.9.** a)  $T = 302K$ ; b)  $T = 301K$ .

**18.10.**  $A = 133J$ .

**18.11.** a)  $U = 14,5kJ$ ; b)  $U = 13kJ$ .

**18.12.**  $\pi = 2,45$ .

**18.13.**  $\Delta T = -11,8K$ .

**18.14.**  $Q = 972J$ .

**18.15.**  $A = 2,29kJ$ ;  $\Delta U = 68kJ$ .

**18.16.**  $\frac{T_2}{T_1} = 1,85$ .

**18.17.**  $p = 2,78MPa$ .

**18.18.**  $\frac{V'}{V} = 0,91\%$ ;  $\frac{p'}{p} = 6,3\%$ .

**18.19.**  $\Delta T = 332K$ .

**18.20.**  $\Delta U = 154J$ .

**18.21.**  $\Delta T = \frac{b(p_1 - p_2)}{C_p} > 0$ .

**18.22.**  $\Delta T = \frac{2a}{C_p} \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) < 0$ .

**18.23.**  $\Delta T = \frac{1}{C_p} \left( \frac{RT_1 b}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} \right)$ .



$$18.24. \left( \frac{dS}{dp} \right)_H = - \frac{V}{T}.$$

$$18.25. T < T_{inv} = 34,4K.$$

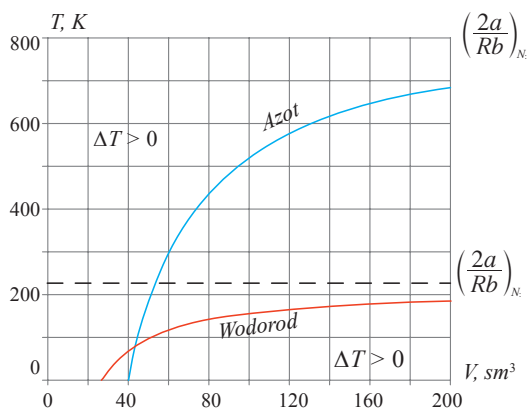
18.26.

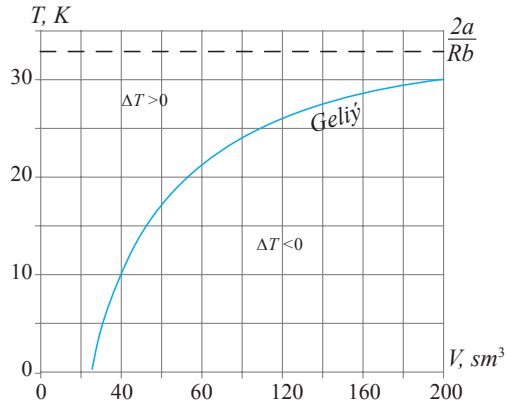
Gaz	$T_{inv}, K$		$\Delta T, K$
	hasaplanyldy	ölçenildi	
Wodorod	220	200	+0,008
Howa	870	794	-0,026
CO <sub>2</sub>	2060	2050	-0,75

$$18.27. \Delta T = \frac{1}{C_p} \left( \frac{RT_1 b}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} \right);$$

$$\Delta T_{H_2} = 16K; \quad \Delta T_{howa} = -41K; \quad \Delta T_{CO_2} = 160K.$$

$$18.28. \text{Giperbola: } T = \frac{2a}{Rb} \frac{V-b}{V},$$





**18.29.**  $T' - T = \frac{9RT_{kr}V_{kr}}{8C_V} \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = -0,013^\circ \text{C},$

bu yerde  $V_1 = 20\text{l}, V_2 = 200\text{l}$  - molýar göwrümler.

**18.30.**  $Q = a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right).$

**18.31.**  $Q = \frac{C_V}{R} \left[ \left( p + \frac{a}{V_2^2} \right) (V_2 - b) - \left( p + \frac{a}{V_1^2} \right) (V_1 - b) \right] + a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right).$

**18.32.**  $\frac{bRT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2} = 0.$

**18.33.**  $V = 231\text{l}.$

**18.34.**  $p_i = \frac{27T_{kr}^2 p^2}{64p_{kr}T^2} = 1,31\text{kPa}.$

**18.35.**  $i = \frac{2a\nu(V_2 - V_1)}{R\Delta TV_1V_2} = 5.$

**19.1.**  $F = 35,7\text{mN}.$

**19.2.**  $D = 2,93\text{mm}.$

**19.3.**  $\tau = 13\text{min}.$

**19.4.**  $P = 131\text{kPa}.$

**19.5.**  $F = 63,5\text{mN}; \quad \frac{F_2}{F} = 37\%.$

$$19.6. R = 2,03mm.$$

$$19.7. h = 7,44sm.$$

$$19.8. \alpha = 0,5N/m.$$

$$19.9. h = 14,9mm.$$

$$19.10. \alpha = 0,07N/m.$$

$$19.11. \Delta h = 2,78mm.$$

$$19.12. h = \frac{3\alpha(\sqrt[3]{n} - 1)}{\rho g R}.$$

$$19.13. F = \alpha \left( \sqrt{\frac{\pi \rho d}{m}} - \frac{2}{d} \right) \frac{m}{d\rho}.$$

$$19.14. r_1 = 1,52mm; \quad r_2 = 1,46mm.$$

$$19.15. h = 4,72m.$$

$$19.16. \Delta h = 14,6mm.$$

$$19.17. \alpha = 32mN/m.$$

$$19.18. R = 2mm.$$

$$19.19. h_1 = 3mm; \quad h_2 = 1mm;$$

$$p_1 = 755 \text{ mm.sim.süt.}; \quad p_2 = 757 \text{ mm.sim.süt.}$$

$$19.20. \text{a) } \Delta h = 6,8mm; \quad \text{b) } \Delta h = 8,5mm; \quad \text{ç) } \Delta h = 1,7mm; \\ \text{d) } \Delta h = 23,8mm.$$

$$19.21. h = 5m.$$

$$19.22. \alpha = \frac{(2\pi R - l)ES}{2\pi R^2}.$$

$$19.23. p = \frac{8\alpha}{d} \approx 0,29 \text{ mm.sim.süt.}$$

$$19.24. m = \frac{\pi d \alpha}{d} = 0,023g.$$

$$19.25. \Delta h = \frac{4\alpha}{\rho g d} = 5mm.$$

$$19.26. h = \frac{4\alpha}{\rho g d} \approx 2,9sm.$$

$$19.27. p = \rho g h + \frac{2\alpha}{r} \approx 490Pa.$$

$$19.28. \text{a) } \Delta p = \frac{4\alpha}{d} = 13atm; \quad \text{b) } \Delta p = \frac{8\alpha}{d} = 1,2 \cdot 10^{-3}atm.$$

$$19.29. \alpha = \frac{A}{2\pi(d_2^2 - d_1^2)} = 40mN/m.$$

- 
- 20.1.  $\Delta T = -0,004K$ .
- 20.2.  $r = 320kJ/kg$ .
- 20.3.  $p_1 = 87kPa$ .
- 20.4.  $\Delta S = 23,3MJ/K$ .
- 20.5.  $\Delta p = 624Pa$ .
- 20.6.  $\Delta V = 1,03l$ .
- 20.7.  $T = 312K$ .
- 20.8.  $N = 1007$ .
- 20.9.  $p = 300kPa$ .
- 20.10.  $m = 1,93g$ .
- 20.11.  $\alpha = 0,52$ ;  $n = 3,98 \cdot 10^{25}m^{-3}$ .
- 20.12.  $p_2 = 19,68kPa$ .
- 20.13.  $N=52$ .
- 20.14.  $\mu = 0,092kg/mol$ .
- 20.15.  $p = 398kPa$ .
- 20.16.  $\Delta T = -7,5mK$ .
- 20.17.  $V' = 1,7m^3/kg$ .
- 20.18.  $p = 1,04atm$ .
- 20.19.  $\frac{\Delta m}{m} = 5\%$ .
- 20.20.  $p = p_0 \exp\left[\frac{L\mu}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$ .
- 20.21.  $\eta = 0,03$ .
- 20.22.  $C = -74J/K \cdot mol$ .
- 20.23.  $\Delta S = \frac{L\mu}{T_2} + C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$ .

$$\mathbf{20.24.} \ \Delta T = \frac{\nu \mu \Delta p}{\Delta S} \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) = -0,08 K.$$

$$\mathbf{20.25.} \ V' \approx \frac{r \Delta T}{T \Delta p} = 1,7 m^3 / kg.$$

$$\mathbf{20.26.} \ p \approx p_0 \left( 1 + \frac{r \mu \Delta T}{R T^2} \right) = 1,04 atm.$$

$$\mathbf{20.27.} \ \frac{\Delta m}{m} = \left( \frac{r \mu}{R T} - 1 \right) \frac{\Delta T}{T} = 5 \%.$$

# Goşmaçalar

## 1. Esasy fiziki hemişelikler

Wakuumda ýagtylygyň tizligi	$c = 3 \cdot 10^8 m/s$
Erkin gaçmanyň tizlenmesi	$g = 9,8 m/s^2$
Grawitasiýa hemişeligi	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2/kg^2$
Elektrik hemişeligi	$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$
Elementar zarýad	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl$
Elektronyň dynçlykdaky massasy	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} kg$
Protonyň dynçlykdaky massasy	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} kg$
Neýtronyň dynçlykdaky massasy	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} kg$
Faradeýiň hemişeligi	$F = 96,48 \cdot 10^3 Kl/mol$
Magnit hemişeligi	$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} Gn/m$
Awogadro hemişeligi	$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} mol^{-1}$
Uniwersal gaz hemişeligi	$R = 8,314 J/mol \cdot K$
Bolsmanyň hemişeligi	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$
Kadaly şertlerde:	
ideal gazyň molýar göwrümi	$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} m^3/mol$
atmosfera basyşy	$p_0 = 101325 Pa \approx 10^5 Pa$
temperatura	$T_0 = 273K$
Loşmidtň sany	$n_L = N_A/V_m = 2,7 \cdot 10^{25} m^{-3}$
Massanyň atom birligi	$1m.a.b. = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$

## 2. Halkara ulgamdan daşary käbir ölçeg birlikleri

Fiziki ululyk	Ölçeg birlik		
	Atlandyrylyşy	Belgilenilişi	HU-nyň ölçeg birligi bilen gatnaşygy
Massa	Tonna	<i>t</i>	$10^3 kg$
Wagt	Minut	<i>min</i>	$60s$
	Sagat	<i>sag</i>	$3600s$
	Gije-gündiz	<i>g.g.</i>	$86400s$
	Ýyl	<i>ýyl</i>	$365,25g.g. = 3,16 \cdot 10^7 s$
Meýdan	Gektar	<i>ga</i>	$10^4 m^2$
Göwrüm	Litr	<i>l</i>	$10^{-3} m^3$
Basyş	Millimetr simap sütüni	<i>mm.sim.süt.</i>	$133,3Pa$
	Atmosfera basyşy	<i>atm</i>	$101325Pa \approx 10^5 Pa = 760 mm.sim.süt.$
		<i>din/sm<sup>2</sup></i>	$0,1Pa$
	Bar	<i>bar</i>	$10^5 Pa$
Energiýa	Elektron-wolt	<i>eW</i>	$1,6 \cdot 10^{-19} J$
		<i>erg</i>	$10^{-7} J$
Güýç	Dina	<i>din</i>	$10^{-5} N$
Ýylylyk mukdary	Kaloriýa	<i>kal</i>	$4,1868 J$

### 3. Maddalaryň dykzlygy

Gaty maddalar	$\rho, 10^3 \text{ kg/m}^3$	Suwuklyklar	$\rho, 10^3 \text{ kg/m}^3$
Almaz	3,5	Benzol	0,88
Alýuminiý	2,7	Suw	1,00
Wolfram	19,1	Gliserin	1,26
Grafit	1,6	Kerosin	0,80
Demir (polat)	7,8	Simap	13,6
Altyn	19,3	Spirt	0,79
Kadmiý	8,65	Agyr suw	1,1
Kobalt	8,9	Efir	0,72
Buz	0,916	Gazlar (kadaly şertlerde)	$\rho, \text{ kg/m}^3$
Mis	8,9		
Molibden	10,2		
Natriý	0,97		
Nikel	8,9		
Galaýy	7,4	Azot Ammiak Wodorod Howa Kislorod Metan Kömürturşy gazy Hlor	1,25 0,77 0,093 1,293 1,43 0,72 1,98 3,21
Platina	21,5		
Probko (dyky)	0,20		
Gurşun	11,3		
Kümüş	10,5		
Titan	4,5		
Uran	19,0		
Farfor	2,3		
Sink	7,0		
Nahar duzy	2,17		
Berilliý	1,84		
Latun	8,4		
Kaliý	0,87		



#### 4. Suwuklyklaryň we gaty jisimleriň hemişeligi (kadaly şertlerde)

Jisim	Udel ýylylyk sygymy $c, J/kg \cdot K$	Bug emele gelmegiň udel ýylylygy $r, 10^3 J/kg$	Eremegiň udel ýylylygy $\lambda, 10^3 J/kg$
Suw	4180	2250	—
Gliserin	2420	—	—
Simap	140	284	—
Spirt	2420	853	—
Alýuminiý	900	—	321
Demir	500	—	270
Buz	2100	—	333
Mis	395	—	175
Kümüş	234	—	88
Gurşun	126	—	25
Latun	386	—	—
Sink	391	—	117
Polat	460	—	—
Wolfram	130	—	185
Altyn	130	—	67
Aýna	670	—	—
Benzin	1500	293	—
Kerosin	2100	—	—
Efir	2340	355	—

## 5. Gazlaryň molekulalarynyň diametri (kadaly şertlerde)

Gaz	Molekulanyň diametri <i>d</i> , nm
Argon (Ar)	0,35
Geliý (He)	0,20
Wodorod (H <sub>2</sub> )	0,27
Azot (N <sub>2</sub> )	0,37
Kislород (O <sub>2</sub> )	0,35
Kömürturşy gazy (CO <sub>2</sub> )	0,40

## 6. Käbir gaty maddalaryň ereme temperaturasy

Madda	Temperatura, °C
Alýuminiý	659
Demir	1530
Latun	900
Buz	0
Mis	1100
Galaýy	232
Platina	1770
Gurşun	327
Kümüş	960
Polat	1300
Sink	420
Wolfram	3421
Altyn	1064

## 7. Dürli maddalaryň atmosfera basyşynda gaýnama temperaturasy

Madda	Temperatura, °C
Geliý	–269
Wodorod	–253
Azot	–296
Kislorod	–183
Suw	100
Simap	356,6
Mis	2336
Gurşun	1620
Aseton	56
Benzin	40 – 180
Spirt	78
Efir	34,5

## 8. Gazlaryň hemişeligi (kadaly şertlerde)

Gaz	Diffuziýa koeffisiýenti $D, 10^{-4} m^2/s$	Şepbeşiklik koeffisiýenti $\eta, mkPa \cdot s$	Ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti $\chi, Wt/m \cdot K$
Argon	0,16	21,0	0,017
Geliý	1,62	20,7	0,143
Wodorod	1,28	8,6	0,168
Azot	0,17	16,7	0,024
Kislorod	0,18	19,9	0,025
Howa	–	17,2	0,024
Kömürturşy gazy	0,136	14,0	0,023

## 9. Ýylylykdan giňelme koeffisiýenti (otag temperaturasynda)

Gaty jisim	Çyzyklaýyn giňelme koeffisiýenti $\alpha_l, 10^{-4} K^{-1}$	Suwuklyk	Göwrümine giňelme koeffisiýenti $\alpha_v, 10^{-4} K^{-1}$
Alýuminiý	22,9	Suw	2,1
Latun	18,9	Gliserin	5,0
Mis	16,7	Kerosin	10,0
Demir (polat)	11	Simap	1,8
Ýönekeý aýna	8,5	Etil spirti	11,0

## 10. Wan-der-Waalsyň hemişeligi

Gaz	$a, \frac{N \cdot m^4}{mol^2}$	$b, 10^{-5} \frac{m^3}{mol}$
Azot	0,139	3,91
Geliý	0,0034	2,37
Wodorod	0,024	2,66
Kislorod	0,136	3,18
Kömürturşy gazy CO <sub>2</sub>	0,36	4,27

### 11. $T_{kr}, p_{kr}$ we $V_{kr}$ -nyň kritiki bahalary

Madda	$T_{kr}, K$	$p_{kr}, MPa$	$V_{kr}, 10^{-6} m^3/mol$
Suwuň bugy	647,3	21,839	56
Kömürturşy gazy	304	7,38	128,36
Kislorod	154,78	5,014	78
Argon	151	4,87	96,8
Azot	126,25	3,354	90,1
Wodorod	33,24	1,28	65
Geliý	5,2	0,226	57,8
Simap	1460	164	48
Spirt	516	6,3	167

### 12. Suwuklyklaryň üst dartylmasy

Suwuklyk	Üst dartylma $\alpha, mN/m$
Suw	73
Benzol	30
Gliserin	66
Simap	510
Spirt	22
Sabyňly ergin	40

### 13. Suwuň doýgun buglarynyň basyşy

°C	Basyş, $kPa$	°C	Basyş, $kPa$	°C	Basyş, $kPa$
0	0,61	25	3,15	60	19,9
5	0,87	30	4,23	70	31,0
10	1,22	35	5,60	80	47,3
15	1,70	40	7,35	90	70,0
20	2,33	50	12,3	100	101

#### 14. Birlikleriň atlaryna goşulýan onluk goşulmalar

Atlandyrylyşy	Köpeldiji	Belgilenilişi
eksa	$10^{18}$	E
geta	$10^{15}$	P
tera	$10^{12}$	T
giga	$10^9$	G
mega	$10^6$	M
kilo	$10^3$	k
gekto	$10^2$	g
deka	10	da
desi	$10^{-1}$	d
santi	$10^{-2}$	s
milli	$10^{-3}$	m
mikro	$10^{-6}$	mk
nano	$10^{-9}$	n
piko	$10^{-12}$	p
femto	$10^{-15}$	F
atto	$10^{-18}$	A

#### 15. Grek elipbiyi

A, $\alpha$ – alfa	I, $i$ – ýota	P, $\rho$ – ro
B, $\beta$ – beta	K, $\chi$ – kappa	$\Sigma$ , $\sigma$ – sigma
$\Gamma$ , $\gamma$ – gamma	$\Delta$ , $\lambda$ – lýmnda	T, $\tau$ – tau
$\Delta$ , $\delta$ – delta	M, $\mu$ – mýu	$\Upsilon$ , $\upsilon$ – ipsilon
E, $\varepsilon$ – epsilon	N, $\nu$ – nýu	$\Phi$ , $\phi$ – fi
Z, $\zeta$ – dzeta	$\Xi$ , $\xi$ – ksi	X, $\chi$ – hi
H, $\eta$ – eta	O, $o$ – omikron	$\Psi$ , $\psi$ – psi
$\Theta$ , $\vartheta$ , $\theta$ – teta	$\Pi$ , $\pi$ – pi	$\Omega$ , $\omega$ – omega

## 16. Trigonometrik funksiýalaryň käbir bahalary

Funksiýa	Burç, gradus (radian)							
	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°
	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	$\infty$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$
$\operatorname{ctg} \alpha$	$\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	-1	$-\sqrt{3}$

## 17. Esasy trigonometrik formulalar

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ $\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ $\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$ $\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha}$
--	--

$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}$ $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$ $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$ $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$ $\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$	$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$ $\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin \alpha \sin \beta}$
$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$ $\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$	$2 \sin \alpha \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$ $2 \cos \alpha \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$ $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$

### 18. Kābir hemişelik sanlar we ýakynlaşan formulalar

Hemişelik sanlar	$\alpha < 1$ bolanda ýakynlaşma formulalar
$\pi = 3,14156$ $\pi^2 = 9,8696$ $\sqrt{\pi} = 1,772453$ $e = 2,71823$ $\lg e = 0,4343$ $\ln 10 = 2,3026$	$(1 \pm \alpha)^n \approx 1 \pm n\alpha$ $e^\alpha \approx 1 + \alpha$ $\ln(1 + \alpha) \approx \alpha$ $\sin \alpha \approx \alpha$ $\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2$ $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$



## 19. Öñümleriň tablisasy

Funksiýa	Öñüm	Funksiýa	Öñüm
$x$	1	$\ln x$	$\frac{1}{x}$
$x^n$	$nx^{n-1}$	$\sin x$	$\cos x$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\cos x$	$-\sin x$
$\frac{1}{x^n}$	$-\frac{n}{x^{n+1}}$	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$
$e^x$	$e^x$	$\sqrt{u}$	$\frac{u'}{2\sqrt{u}}$
$e^{nx}$	$ne^{nx}$	$\ln u$	$\frac{u'}{u}$
$a^x$	$a^x \ln a$	$\frac{u}{v}$	$\frac{vu' - v'u}{v^2}$

## 20. Integrallaryň tablisasy

$\int 0 \cdot dx = C, \quad C = \text{const}$ $\int 1 \cdot dx = \int dx = x + C$ $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C, \quad (n \neq -1)$ $\int \frac{dx}{x} = \ln x + C$ $\int \sin x dx = -\cos x + C$ $\int \cos x dx = \sin x + C$ $\int \operatorname{tg} x dx = -\ln \cos x + C$ $\int \operatorname{ctg} x dx = \ln \sin x + C$	$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C$ $\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x + C$ $\int e^x dx = e^x + C$ $\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arctg} x + C$ $\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \operatorname{arcsin} x + C$ $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln(x + \sqrt{x^2-1}) + C$
Bölek boýunça integral: $\int u \cdot dv = uv - \int v du$	

## 21. Kābir kesgitli integrallaryň manysy

$\int_0^{\infty} x^n e^{-x} dx = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ \sqrt{\pi}/2, & n = 1/2 \\ 1, & n = 1 \\ 2, & n = 2 \end{cases}$	$\int_0^{\infty} x^n e^{-x^2} dx = \begin{cases} \sqrt{\pi}/2, & n = 0 \\ 1/2, & n = 1 \\ \sqrt{\pi}/4, & n = 2 \\ 1/2, & n = 3 \end{cases}$
$\int_0^{\infty} \frac{x^n dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 2,31, & n = 1/2 \\ \pi^2/6, & n = 1 \\ 2,405, & n = 2 \\ \pi^4/15, & n = 3 \\ 24,9 & n = 4 \end{cases}$	$\int_0^{\alpha} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \begin{cases} 0,225, & \alpha = 1 \\ 1,18, & \alpha = 2 \\ 2,56, & \alpha = 3 \\ 4,91, & \alpha = 5 \\ 6,43 & \alpha = 10 \end{cases}$

## Peýdalanylan edebiýatlar

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. VIII tom. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2015.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Bilim-bagtyýarlyk, ruhubelentlik, rowaçlyk. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2014.
3. «Bilim hakynda» Türkmenistanyň Kanuny. Türkmenistanyň Mejlisiniň maglumatlary, 2013. №2.
4. Türkmenistanda ýaşlar baradaky döwlet syýasatynyň 2015-2020-nji ýyllar üçin Döwlet Maksatnamasy. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2015.
5. Paýhas çeşmesi. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2016.
6. Nurgeldiýew A., Bekmyradow Ö., Akmyradow A. Molekulýar fizika we termodinamika. A., Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.
7. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика, М., Лань, 2007.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики,. Т.2. Молекулярная физика и термодинамика, М., Физматлит, 2006.
9. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М., Высшая школа, 2000.
10. Иванов Е. А, Иванов С. А. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. М.: КНОРУС, 2012.
11. Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д.В., Яковлев И.А. Сборник задач по общему курсу физики, Термодинамика и молекулярная физика Под ред. Д.В.Сивухина, -М.: Физматлит, 2006.
12. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М., БИНОМ, 2007.
13. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики, Санкт – Петербург, Книжный мир, 2007.
14. Toýlyýew G., Nurgeldiýew A., Rahmanow A., Fizikadan meseleler.

Molekulýar fizika we termodinamika. Aşgabat.: TDNG, 2008.

15. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. М., Астрель АСТ, 2001.
16. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Курс физики. Задачи и решения, 4-е издание, М., «Академия», 2011.

## MAZMUNY

1. Molekulýar-kinetik nazaryýetiň esasy düşüňjeleri .....	8
2. Gazlaryň molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi .....	15
3. Izotermik hadysa .....	20
4. Izobarik hadysa .....	30
5. Izohorik hadysa .....	38
6. Jisimleriň ýylylykdan giňelmegi. Temperatura we ony ölçemek .....	45
7. Barometrik formula .....	59
8. Makswelliň paýlanyşygy .....	66
9. Gaz molekulalarynyň häsiýetli tizlikleri .....	73
10. Molekulýar hereketiň kinematiki häsiýetnamalary .....	79
11. Geçiş hadysalary. Diffuziýa .....	88
12. Geçiş hadysalary. Ýylylyk geçirijilik. Ýylylyk geçirijiligiň wagta bagly formulasy .....	92
13. Geçiş hadysalary. Içki sürtülme .....	100
14. Termodinamikanyň birinji kanuny .....	107
15. Ideal gazlardaky dürli hadysalar üçin termodinamikanyň birinji kanuny ulanmak .....	115
16. Termodinamikanyň ikinji kanuny .....	126
17. Entropiýa .....	134

18. Real gazlar. Wan-der-Waalsyň deňlemesi.	
Joul-Tomsonyň hadysasy .....	140
19. Suwuklyklar .....	150
20. Bugarma. Gaýnama. Ideal erginler .....	158
Meseleleriň jogaplary.....	166
Goşmaçalar .....	198
Peýdalanylan edebiýatlar .....	211

**Anna Nurgeldiyew, Jennet Akyýewa, Gülşat Begenjowa**

## MOLEKULÝAR FIZIKADAN MESELELER ÝYGYNDYSY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Redaktor

*M. Berdiyewa*

Surat redaktory

*O. Çerkezowa*

Teh. redaktor

*O. Nurýagdyýewa*

Kompýuter bezegi

*M. Atajanowa*

Neşir üçin jogapkär

*A. Çaryýew*

Çap etmäge rugsat edildi 15.11.2019. Ölçeği 60x90  $\frac{1}{16}$ .  
Şertli çap listi 13.5. Hasap-neşir listi 10.16.  
Çap listi 13.5. Şertli-reňkli ott 13.75.  
Sargyt № 1493. Sany 800.

Türkmen döwlet neşirýat gullugy.  
744000. Aşgabat. Garaşsyzlyk şaýoly, 100.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Metbugat merkezi.  
744015. Aşgabat. 2127-nji (G. Gulyýew) köçe, 51/1