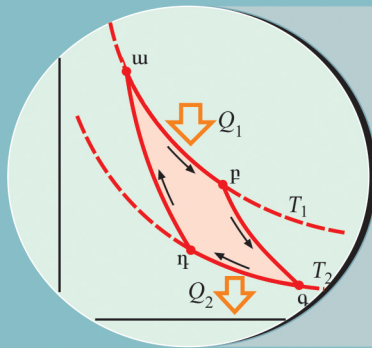


Դ. Հ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱՅԻ
ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԴԱՍԸՆԹԱՅ
ԽՆԴԻՐՆԵՐ, ԽԱՐԳԵՐ և ԿՆԴՈՒՄՆԵՐ



ՄԱՍ II

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ
ԵՎ ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ

ԴԱՎԻԹ ՀԱԿՈԲԻ ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ

ՍՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ ԵՎ
ՋԵՐՄԱՂԻՆԱՍԻԿԱ

(Խնդիրներ, հարցեր, պնդումներ)

Ձեռնարկը նախատեսված է բուհերի ուսանողների, բարձր
դասարանի աշակերտների և դիմորդների համար:

ԵՐԵՎԱՆ 2025

Հեղինակի կողմից

Ֆիզիկայի ընդհանուր դասընթացն ընդգրկող 5 մասից կազմված ձեռնարկներից II մասի բովանդակության գրեթե 90% հրատարակվել է իմ հեղինակած [6,7,8] աշխատանքներում, ընդ որում [8]-ը ՌԴ կրթության և գիտության նախարարության կողմից հաստատված է եղել որպես ուսումնական ձեռնարկ ՌԴ մանկավարժական բուհերի ուսանողների համար: Ի տարբերություն դրանց, այս գրքում էապես ավելացվել է տեսական տեղեկատվությունը և առաջին անգամ ընդհանուր ֆիզիկայի ԲՈՒՀ-ական ծրագիրը ներկայացվել է «պնդումներ»-ի փնջերով:

Այսպիսով, ներկայացվող գրքերի կարևոր առանձնահատկություն են հանդիսանում՝

1. Գրքի բոլոր բաժիններն ըդգրկում են դպրոցական և ԲՈՒՀ-ական ծրագրերին համապատասխանող տեսական լայն տեղեկատվություն;
2. Դպրոցական և ԲՈՒՀ-ական ծրագրերին համապատասխանող մատչելի և միջին բարդության խնդիրներից բացի, պարունակում է տվյալ դասընթացն ընդգրկող հարցաշար;
3. Ձեռնարկում առաջին անգամ ընդհանուր ֆիզիկայի ԲՈՒՀ-ական դասընթացը ներկայացված է ճիշտ ու սխալ պնդումներով «փնջերի» տեսքով:

Բերված հարցերի և պնդումների գերակշիռ մասի (շուրջ 90%-ի) ճիշտ պատասխանը կարելի տալ՝ օգտվելով միայն ձեռնարկում ընդգրկված տեսական նյութից:

Բուհական ծրագրերին համապատասխանող խնդիրներն ու հարցերը նշված են • նշանով (պարզ խնդիր կամ հարց) և ■ նշանով (համեմատաբար բարդ խնդիր կամ հարց): Դպրոցական ծրագրերին համապատասխանող խնդիրներն ու հարցերը նշված են O նշանով՝ պարզերը և □ նշանով՝ համեմատաբար բարդերը:

Խնդիրների, հարցերի և պնդումների բազմազանությունը հնարավորություն է տալիս այս ձեռնարկն օգտագործել ֆիզիկա առարկան ուսումնասիրող բոլոր մասնագիտությունների ուսանողների կողմից: Ձեռնարկը հաջողությամբ կարող է օգտագործվել նաև ավագ դպրոցի ուսուցիչների և աշակերտների կողմից:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

§1. Մոլեկուլային - կինետիկ տեսությունը: Իդեալական գազի օրենքները	
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր.....	4-10
Խնդիրներ և հարցեր.....	11-35
Պնդումներ.....	35-46
§2. Ջերմադինամիկա: Աշխատանքը տարբեր պրոցեսներում	
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր.....	47-53
Խնդիրներ և հարցեր.....	53-71
Պնդումներ.....	71-87
§3. Ջերմադինամիկայի օրենքները: Ջերմադինամիկական պոտենցիալներ	
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր.....	88-92
Խնդիրներ և հարցեր.....	92-104
Պնդումներ.....	104-113
§4. Փոխանցման երևույթներ	
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր.....	114-118
Խնդիրներ և հարցեր.....	118-126
Պնդումներ.....	126-131
§5. Ռեալ գազեր: Փուլային անցումներ: Ջերմային ընդարձակում	
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր.....	132-139
Խնդիրներ և հարցեր.....	140-160
Պնդումներ.....	160-171
Խնդիրների պատասխանները.....	172-191
Գրականություն.....	192
Հավելված.....	193-200

§1. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը:

Իդեալական գազի օրենքները

Հիմնական հասկացությունները և բանաձևերը

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության խնդիրը մակրոսկոպական մարմինների ֆիզիկական հատկությունների բացատրությունն է՝ հիմնվելով հետևյալ երեք դրույթների վրա.

- 1. Նյութը կազմված է փոքրագույն մասնիկներից՝ ատոմներից և մոլեկուլներից:**
- 2. Ատոմները և մոլեկուլներն անընդհատ, քառսային (ջերմային) շարժման մեջ են:**
- 3. Նյութի մասնիկները փոխազդում են իրար հետ:**

Ատոմների և մոլեկուլների չափսերը 10^{-10} մ կարգի մեծություններն են, իսկ դրանց զանգվածները՝ 10^{-26} կգ կարգի:

Ատոմների և մոլեկուլների միջև եղած փոխազդեցության ուժերը էլեկտրամագնիսական բնույթի ձգողական և վանողական ուժեր են

Բրոունյան շարժում

Սա բրոունյան մասնիկի անկանոն շարժումն է հեղուկ, որի խտությունը մոտ այդ մասնիկի խտությանը: Բրոունյան մասնիկը կազմված է շատ մեծ թվով մոլեկուլներից, սակայն անգն աչքով տեսանելի չէ, տեսանելի է դառնում 500-600 անգամ խոշորացնող խոշորացույցով: Նրա անկանոն շարժումը պայմանավորված հեղուկի մոլեկուլների անկանոն շարժումով, որոնք անկանոն կերպով բախվելով այդ մասնիկի հետ, նրան ստիպում են կատարել քառսային շարժում:

Բրոունյան շարժման միջին տեղափոխության պրոյեկցիան t ժամանակում համեմատական է \sqrt{t} -ին

1. Նյութի քանակ, նյութի մասնիկների զանգվածը

- Ավոգադրոյի հաստատուն. Մոլային զանգված.**

0,012կգ ածխածնում պարունակվող ատոմների թիվը կոչվում է Ավոգադրոյի հաստատուն՝ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ մոլ $^{-1}$:

Նյութի մոլային զանգված կոչվում է Ավոգադրոյի թվին հավասար այդ նյութի մոլեկուլների (ատոմների) զանգվածը: Եթե մեկ մոլեկուլի (ատոմի) զանգվածը m_0 է, ապա դրա M մոլային զանգվածը կլինի $M=m_0N_A$: Սահմանումից հետևում է, որ մոլային զանգվածի միավորը 1 կգ/մոլ, իսկ անխաճնի մոլային զանգվածը, այսինքն մեկ մոլի զանգվածը՝ $M = 0,012$ կգ/մոլ:

• **Նյութի քանակ.**

$$\nu = m/M = N/N_A, \quad (1.1)$$

որտեղ m -ը նյութի զանգվածն է, N -ը՝ նյութի մասնիկների (ատոմների կամ մոլեկուլների) թիվը:

• **Նյութի մասնիկի զանգվածը.**

$$m_0 = M/N_A = m/N: \quad (1.2)$$

2. Մասնիկների կոնցենտրացիան (միավոր ծավալում մասնիկների թիվը).

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\rho}{m_0}, \quad (1.3)$$

որտեղ ρ -ն նյութի խտությունն է, իսկ V -ն՝ ծավալը:

3. Մասնիկների միջին կինետիկ էներգիան և արագությունը

• **Մեկ մասնիկի համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան.**

$$\overline{w}_{\text{համ}} = 3kT/2, \quad (1.4)$$

որտեղ $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ կոչվում է Բոլցմանի հաստատուն, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

• **Մեկ մասնիկի պտտական շարժման միջին կինետիկ էներգիան.**

$$\overline{w}_{\text{պտ}} = kT, \quad (1.5)$$

• **Մեկ մասնիկի տատանողական շարժման միջին կինետիկ էներգիան.**

$$\overline{w}_{\text{տ}} = kT: \quad (1.6)$$

• **Մասնիկի շարժման միջին քառակուսային արագությունը.**

$$\overline{v}_{\text{քառ}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (1.7)$$

որտեղ R -ը գազային հիմնարար հաստատունն է:

4. Ջերմաստիճանային սանդղակներ

Նյութի ջերմաստիճանը պայմանավորված է ատոմների և մոլեկուլների քառասային (ջերմային) շարժման միջին կինետիկ էներգիայով

- Ցելսիուսի ջերմաստիճանային սանդղակում սառույցի հալման ջերմաստիճանը վերցվում է 0°C ջերմաստիճան, իսկ ջրի եռման ջերմաստիճանը, 1մթն ճնշան դեպքում՝ 100°C : Այս սանդղակում ջերմաստիճանը նշանակվում է t° -ով :

- Ֆարենհայտի t_F° ջերմաստիճանը Ցելսիուսի սանդղակի t° ջերմաստիճանի հետ կապված է $t_F^{\circ} = 32 + 1,8t^{\circ}$ առնչությամբ;

- Բացարձակ T ջերմաստիճանը Ցելսիուսի ջերմաստիճանի հետ կապված է $T = 273 + t$ առնչությամբ; Բացարձակ ջերմաստիճանի միավորին անվանում են կելվին և գրում՝ 1°K և այն հաղիսանում է ջերմաստիճանի միավորը ՄՀ-ում: Այս սանդղակով սառույցի հալման ջերմաստիճանը կլինի 273°K , իսկ ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ 373°K :

5. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը.

$$p = \frac{2}{3} n \overline{w}_{\text{համ}} = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v_p}^2 = nkT, \quad (1.8)$$

որտեղ p -ն գազի ճնշումն է:

6. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը

Երբ գազի մոլեկուլների միջև եղած միջին հեռավորությունը շատ մեծ է մոլեկուլների չափսերից, ապա կարելի է անտեսել դրանց միջև էլեկտրամագնիսական բնույթի փոխազդեցության ուժը, իսկ մոլեկուլների բախումները համարել 10^{-10} մ շառավղով գնդիկների առաձգական բախումներ: Այս պայմաններին բավարարող գազին անվանում են իդեալական գազ:

Ռեալ գազերը կարելի է համարել իդեալական, եթե նրա կոնցենտրացիան այնքան մեծ չէ, որ հնարավոր չլինի անտեսել մոլեկուլների չափսերը, նրանց միջև եղած միջին հեռավորության նկատմամբ, իսկ ջերմաստիճանը սենյակայինից այնքան բարձր կամ ցածր չէ, որ տեղի

ունենա ագրեգատային վիճակի փոփոխություն (հեղուկի կամ պլազմայի վերածվելու):

Տվյալ զանգվածով իդեալական գազի վիճակը նկարագրվում է նրա p ճնշումով, V ծավալով, T ջերմաստիճանով: Այն հավասարումը, որը կապ է հաստատում այդ մեծությունների միջև, կոչվում է իդեալական գազի վիճակի հավասարում:

• **Կլապեյրոնի հավասարումը:**

Երբ գազի m զանգվածը հաստատուն է.

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \quad \text{կամ} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (1.9)$$

• **Կլապեյրոն- Մենդելևի հավասարումը.**

Երբ գազի զանգվածը m է, որը կարող է փոփոխվել.

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT: \quad (1.10)$$

6. Գազային օրենքները

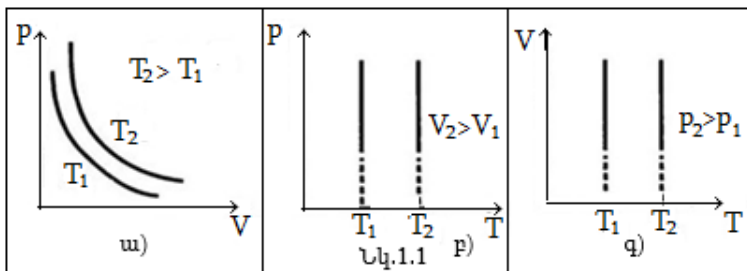
Այս օրենքները ճիշտ են հաստատուն զանգվածով իդեալական գազի համար:

• **Բոյլ-Մարիոտի օրենքը:**

Երբ գազի m զանգվածը և T ջերմաստիճանը հաստատուն են, ապա (1.10) -ից հետևում է, որ ճնշման և ծավալի արտադրյալը հաստատուն է, կամ ճնշումը հակադարձ համեմատական է ծավալին՝

$$pV = \text{const} \quad \text{կամ} \quad p_1 V_1 = p_2 V_2: \quad (1.11)$$

Հաստատուն ջերմաստիճանում տեղի ունեցող պրոցեսին անվանում են իզոթերմ պրոցես(Նկ.1.1):

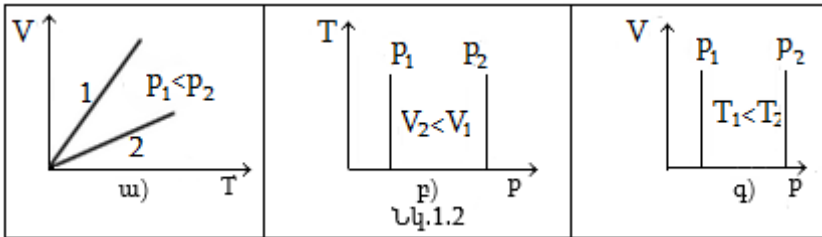


• **Գեյ-Լյուսակի օրենքը:**

Երբ գազի m զանգվածը և p ճնշումը հաստատուն են, ապա (1.10) -ից հետևում է, որ ծավալն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին՝

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{կամ} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}: \quad (1.12)$$

Հաստատուն ճնշման տակ տեղի ունեցող պրոցեսին անվանում են իզոբար պրոցես (Նկ.1.2):

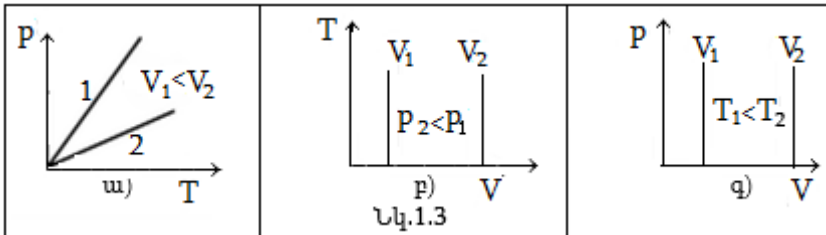


• Շառլի օրենքը:

Երբ գազի m զանգվածը և V ծավալը հաստատուն են, ապա ապա (1.10) -ից հետևում է, որ ճնշումն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին՝

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad \text{կամ} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}: \quad (1.13)$$

Հաստատուն ծավալի դեպքում տեղի ունեցող պրոցեսին անվանում են իզոխոր պրոցես (Նկ.1.3):



7. Դալտոնի օրենքը

Տարբեր գազերի խառնուրդի ճնշումը հավասար է բաղադրիչ գազերի ստեղծած ճնշումների գումարին՝

$$p = \sum_i p_i, \quad (1.14)$$

որտեղ p_i -ն խառնուրդի i բաղադրիչ գազի ճնշումն է:

8. Մոլեկուլների բաշխումը ըստ արագությունների

• Հստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման օրենքը.

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv} = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{m_0 v^2}{2kT} \right), \quad (1.15)$$

որտեղ $f(v)$ -ն մոլեկուլների ըստ արագությունների բաշխման ֆունկցիան է, dN -ը՝ մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունը է ընկած է v -ից $v+dv$ միջակայքում, N -ը՝ մոլեկուլների ընդհանուր թիվը, m_0 -ն՝ մոլեկուլի զանգվածը, իսկ T -ն՝ գազի ջերմաստիճանը: $f(v)$ ֆունկցիային անվանում են նաև Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիա, որի գրաֆիկը տարբեր ջերմաստիճանների համար բերված է Նկ.1.4-ում:

Մոլեկուլի արագության արժեքը, որին համապատասխանում է $f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմում արժեքին կոչվում է ամենահավանական արագություն:

• **Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի բերված տեսքը.**

$$f(u) = \frac{dN}{Ndu} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2}, \quad (1.16)$$

որտեղ $u = v/v_{wh}$, իսկ v_{wh} -ն՝ մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը ($f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումին համապատասխանող արագությունը):

• **Հստ համընթաց շարժման կինետիկ էներգիաների մոլեկուլների բաշխման օրենքը.**

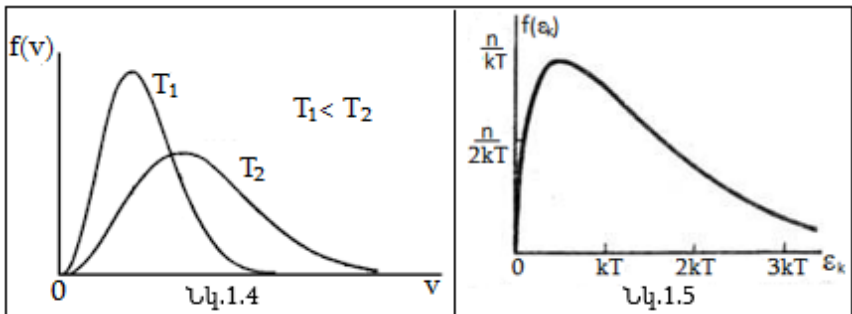
$$f(\varepsilon_k) = \frac{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_k}}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_k}{kT}\right), \quad (1.17)$$

որտեղ $\varepsilon_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ մոլեկուլի համընթաց շարժման կինետիկ էներգիան է (Նկ.1.5):

9. Մոլեկուլների արագությունները ըստ նրանց մաքսվելյան $f(v)$ բաշխվածության

• **Միջին քառակուսային արագությունը.**

$$\bar{v}_{\text{քառ}} = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M} = c\sqrt{3/\gamma}, \quad (1.18)$$



որտեղ c -ն մեխանիկական ալիքի կամ ձայնի արագությունն է այդ գազում, իսկ $\gamma = C_p/C_v$ -ն՝ ադիաբատի հաստատունը:

- **Ամենահավանական արագությունը.**

$$v_{uh} = \sqrt{2kT/m_0} = \sqrt{2RT/M} = c\sqrt{2/\gamma}: \quad (1.19)$$

- **Միջին թվաբանական արագությունը.**

$$\bar{v} = \sqrt{8kT/(\pi m_0)} = \sqrt{8RT/(\pi M)} = c\sqrt{8/(\pi\gamma)}: \quad (1.20)$$

- **Գազի երկու մոլեկուլների միջին հարաբերական արագությունը.**

$$v_h = \sqrt{2}\sqrt{8kT/\pi m_0} = \sqrt{2}\langle v \rangle: \quad (1.21)$$

10. Բոլցմանի բաշխումը

- **Գազի մոլեկուլների բաշխումը ծանրության ուժի դաշտում.**

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{m_0 g h}{kT}\right) = n_0 \exp\left(-\frac{w_y}{kT}\right), \quad (1.22)$$

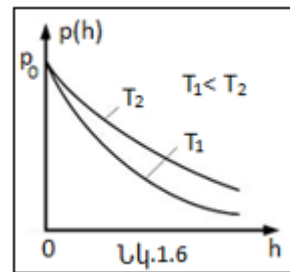
որտեղ n_0 -ն մոլեկուլների կոնցենտրացիան է $h = 0$ սկզբնական մակարդակի վրա (գրոյական պոտենցիալ էներգիայով մոլեկուլների կոնցենտրացիան), իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան է h բարձրության վրա (w_y պոտենցիալ էներգիայով մոլեկուլների կոնցենտրացիան):

(1.22) բանաձևը ճիշտ է, երբ միատեսակ մոլեկուլներից կազմված գազը գտնվում է կամայական պոտենցիալային դաշտում, իսկ գազի բոլոր կետերում ջերմաստիճանը նույնն է: Այդ բաշխումը կոչվում է Բոլցմանի բաշխում:

- **Բարոմետրական բանաձևը.**

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{m_0 g h}{kT}\right) = p_0 \exp\left(-\frac{M g h}{RT}\right), \quad (1.23)$$

որտեղ p_0 -ն գազի (մթնոլորտի) ճնշումն է $h=0$, իսկ p -ն՝ ճնշումը h բարձրության վրա (Նկ.1.6): (1.23)-ը ճիշտ է, եթե անտեսվում է ջերմաստիճանի կախումը բարձրությունից:



11. Իդեալական գազի ջերմաստիճանային գործակիցները

- **Իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը.**

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T, \quad (1.25)$$

որտեղ V_0 -ն ծավալն է 0°C -ում:

- **Ծավալային ընդարձակման գործակից.**

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p : \quad (1.26)$$

• **Ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը.**

$$\gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V, \quad (1.27)$$

որտեղ p_0 -ն ճնշումն է 0°C -ում:

Խնդիրներ

Նյութի մոլեկուլային կառուցվածքը

○1.1. Որոշեք՝ **ա)** հելիումի ատոմի, **բ)** ազոտի մոլեկուլի, **գ)** ջրի մոլեկուլի զանգվածը:

○1.2. Քանի՞ մոլեկուլ կա թելի գդալով վերցված ջրում ($m=5\text{գ}$):

○1.3. Անոթում եղած $m=50\text{գ}$ ջուրը լրիվ գոլորշացավ $t=70^\circ\text{C}$ -ում: Միջին հաշվով քանի՞ մոլեկուլ էր դուրս թռչում ջրի մակերևույթից $t_1 = 1\text{վ}$ -ում:

□1.4. Որոշեք օդի էֆեկտիվ մոլային զանգվածը, համարելով, որ այն կազմված է միայն թթվածնից ու ազոտից, որոնց զանգվածային մասերն են՝ $\omega_1 = 0,23$ և $\omega_2 = 0,77$:

□1.5. Անոթում գտնվում է նույն զանգվածով երկու գազերի խառնուրդ, որոնց մոլային զանգվածներն է՝ $M_1 = 12$ գ/մոլ և $M_2 = 12$ գ/մոլ: Որոշեք խառնուրդի էֆեկտիվ մոլային զանգվածը:

○1.6. Համարելով հայտնի նյութի մոլային զանգվածը և խտությունը, որոշեք՝ **ա)** պղնձի ատոմների, **բ)** ջրի մոլեկուլների, **գ)** օդի մոլեկուլների կոնցենտրացիան նորմալ պայմաններում:

○1.7. Համարելով հայտնի նյութի մոլային զանգվածը և խտությունը, որոշեք՝ **ա)** պղնձի, **բ)** ջրի, **գ)** օդի մոլային ծավալները նորմալ պայմաններում:

○1.8. Նմուշներից մեկն ալյումինից է, իսկ մյուսը՝ օսմիումից: Որոշեք նմուշների ատոմների քանակների հարաբերությունը, եթե դրանք ունեն **ա)** հավասար ծավալներ, **բ)** հավասար զանգվածներ:

□1.9. Որոշեք Երկրի մթնոլորտում եղած օդի մոլեկուլների մոտավոր թիվը, եթե հայտնի է ազատ անկման արագացումը, Երկրի շառավիղը, օդի մոլային զանգվածը և նորմալ մթնոլորտային ճնշումը:

○1.10. Համարելով հայտնի ջրի խտությունն ու մոլային զանգվածը, որոշեք մեկ մոլեկուլի տրամագծի և զբաղեցրած ծավալի մոտավոր արժեք-

ները:

○1.11. $V=1\text{մ}^3$ ծավալ ունեցող յուղի կաթիլը, տարածվելով ջրի մակերես-վրային, կազմեց $S=3\text{մ}^2$ մակերեսով միամուկեկուլ թաղանթ: Որոշեք յուղի մոլեկուլի տրամագծի մոտավոր արժեքը:

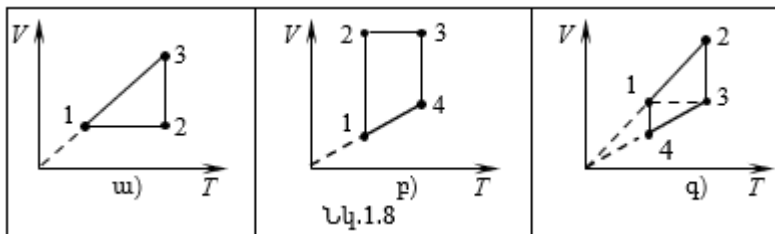
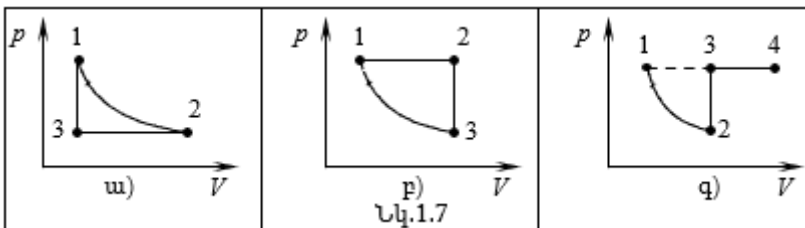
○1.12. $m=0,04\text{գ}$ զանգվածով ոսկու շատ բարակ թիթեղն ունի $S=80\text{սմ}^2$ մա-կերես: Որոշեք այդ թիթեղի հաստությունը և այդ հաստության վրա տե-ղավորված ատոմական շերտերի թիվը:

□1.13. Ածխածնի ատոմի տրամագիծը՝ $d=0,15\text{նմ}$: Որոշեք $m=1\text{գ}$ ածխած-նի մոլեկուլներից կազմված միաշար շղթայի երկարությունը, եթե դրանք դասավորվում են իրար կիպ մեկ շարքով:

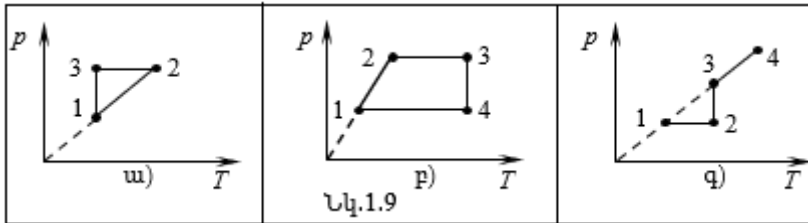
Գրաֆիկներ

□1.14. Նկ.1.7-ում բերված են գազի կատարած պրոցեսները (p, V) կոոր-դինատական հարթությունում, որտեղ կորերն իզոթերմ պրոցես են: Այդ պրոցեսները պատկերեք՝ ա) (p, T); բ) (V, T) կոորդինատական հարթու-թյան վրա:

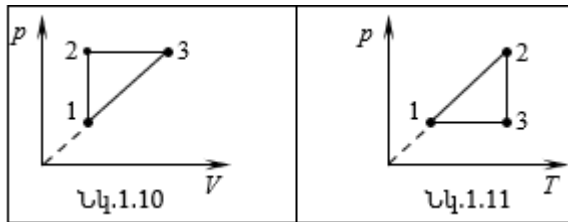
□1.15. Նկ.1.8-ում բերված են գազի կատարած պրոցեսները (V, T) կոոր-դինատական հարթությունում: Այդ պրոցեսները պատկերեք՝ ա) (p, V); բ) (p, T) կոորդինատական հարթության վրա:



□1.16. Նկ.1.9-ում բերված են գազի կատարած պրոցեսները (p, T) կոորդինատական հարթությունում: Այդ պրոցեսները պատկերեք՝ ա) (p, V); բ) (V, T) կոորդինատական հարթությունում:



□1.17. Նկ.1.10-ում բերված են գազի կատարած պրոցեսները (p, V) կոոր-



դինատական հարթությունում: Որոշեք T_2 ջերմաստիճանը, եթե $T_1=400$ Կ, $T_3 = 900$ Կ:

□1.18. $\nu=1$ մոլ քանակությամբ գազը կատարում է Նկ.1.11-ում բերված պրոցեսը (p, T) կոորդինատական հարթությունում: 1 վիճակում ջերմաստիճանը՝ $T_1=600$ Կ, 2 վիճակում ճնշումը՝ $p_2 = 20$ կՊա, իսկ 3 վիճակում՝ $V_1 = 1$ մ³: Որոշեք 1 վիճակի ճնշումը և ծավալը, իսկ 3 վիճակի՝ ջերմաստիճանը:

Կլասայերոն-Մենդելևի հավասարումը

○1.19. $V_1=40$ լ տարողությամբ բալոնը լցված է թթվածնով, որի ճնշումը՝ $p_1=150$ մթն, իսկ ջերմաստիճանը՝ $t_1=27^\circ\text{C}$: Որոշեք բալոնի գազի զանգվածը: Ի՞նչ ծավալ կգրավի այդ գազը նորմալ պայմաններում:

○1.20. Հեղուկ ազոտը գոլորշանալով անցավ գազային վիճակի: Այդ պրոցեսում քանի՞ անգամ մեծացավ ծավալը, եթե գազը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Հեղուկ ազոտի խտությունը՝ $\rho = 810$ կգ/մ³:

○1.21. Որոշեք օդի խտությունը և մոլային ծավալը նորմալ պայմաններում, եթե հայտնի է օդի մոլային զանգվածը:

○1.22. Ամոնի մի օր բարոմետրի և ջերմաչափի ցուցմունքները համապատասխանաբար եղել են՝ $p_1 = 720$ մմ. սնդ.ս. և $t_1 = 27^\circ\text{C}$: Չմոնի մի օր այդ սարքերի ցուցմունքները եղել են՝ $p_2 = 750$ մմ սնդ.ս. և $t_2 = -33^\circ\text{C}$: Քանի՞ անգամ օդի խտությունը ձմռանն ավելի մեծ կլինի, քան ամռանը:

□1.23. Որոշեք գազի մոլեկուլների միջև եղած միջին հեռավորությունը նորմալ պայմաններում:

■1.24. V ծավալ և M մոլային զանգված ունեցող գազը գտնվում է երկու հարթ-գուգահեռ թիթեղների միջև: Գազի ջերմաստիճանը մի թիթեղի մոտի T_1 արժեքից գծայնորեն աճում է մինչև մյուս թիթեղի T_2 ջերմաստիճանը, իսկ գազի ճնշումը բոլոր կետերում նույն p -ն է: Որոշեք գազի զանգվածը:

□1.25. Ջրածնի և հելիումի խառնուրդով լցված $V=20$ լ տարողությամբ բալոնում ջերմաստիճանը՝ $t_1=15^\circ\text{C}$, իսկ ճնշումը՝ $p=2,5$ մթն: Որոշեք խառնուրդի էֆեկտիվ մոլային զանգվածը և յուրաքանչյուր գազի պարզիալ ճնշումը:

□1.26. Բալոնում գտնվում է $m_1 = 7$ գ ազոտի և $m_2 = 11$ գ ածխաթթու գազի խառնուրդ: Որոշեք խառնուրդի խտությունը, եթե ջերմաստիճանը բալոնում՝ $t_1 = 15^\circ\text{C}$, իսկ ճնշումը՝ $p=1$ մթն:

□1.27. $V=5$ լ տարողությամբ բալոնը լցված է $m=1$ գ զանգվածով ազոտով: Բալոնում ջերմաստիճանը՝ $T=1800$ Կ, իսկ ճնշումը՝ $p=142$ կՊա: Ազոտի մոլեկուլների n ՝ p մասն է դիսոցվել ատոմների:

Միջին քառակուսային արագություն, կինետիկ էներգիա

○1.28. $V=150$ մ³ ծավալով սենյակում օդի ճնշումը՝ $p=100$ կՊա, իսկ ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 27^\circ\text{C}$: Որոշեք սենյակի օդի զանգվածը, մոլեկուլների թիվը, դրանց միջին քառակուսային արագությունը և բոլոր մոլեկուլների համընթաց շարժման կինետիկ էներգիան: Օդի մոլային զանգվածը համարեք հայտնի:

○1.29. $V=4$ լ տարողությամբ անոթում $p=90$ կՊա ճնշման տակ գտնվում է $m=3$ գ զանգվածով գազ: Որոշեք գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը և բոլոր մոլեկուլների համընթաց շարժման կինետիկ

էներգիան:

○1.30. Որոշեք գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան, եթե գազի ճնշումը՝ $p=200$ կՊա, իսկ մոլեկուլների կոնցենտրացիան՝ $n = 4 \cdot 10^{19}$ սմ⁻³:

○1.31. Որոշեք ազոտի ճնշումը, ջերմաստիճանը և մոլեկուլների կոնցենտրացիան, եթե դրա խտությունը՝ $\rho = 1,2$ կգ/մ³, իսկ մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը՝ $\bar{v}_p = 500$ մ/վ:

○1.32. Օդում գտնվում են $m = 10^{-15}$ կգ զանգվածով փոշեհատիկներ: Որոշեք դրանց բրոունյան շարժման միջին քառակուսային արագությունը $t_1 = 27^\circ C$ ջերմաստիճանի դեպքում:

□1.33. Օդի ջերմաստիճանի h° նչ արժեքի դեպքում նրանում գտնվող ազոտի և թթվածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունները կտարբերվեն $\Delta v = 50$ մ/վ -ով:

○1.34. Որոշեք գազի խտությունը և մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը, եթե հայտնի է գազի M մոլային զանգվածը, p ճնշումը և n կոնցենտրացիան:

○1.35. Որոշեք գազի ջերմաստիճանը և ճնշումը, եթե հայտնի է դրա V ծավալը, մոլեկուլների N թիվը և դրանց համընթաց շարժման \bar{v}_p միջին կինետիկ էներգիան:

●1.36. $m=16$ գ զանգվածով թթվածինն ունի $t=27^\circ C$ ջերմաստիճան: Որոշեք դրա բոլոր մոլեկուլների ջերմային շարժման կինետիկ էներգիան, որը բաժին է ընկնում՝ **ա)** համընթաց շարժմանը, **բ)** պտտական շարժմանը: Ինչքա՞ն է այդ գազի ներքին էներգիան:

Իզոխոր պրոցես

□1.37. Իզոխոր տաքացման դեպքում գազի ջերմաստիճանը բարձրացավ $\Delta T = 70$ Կ-ով, իսկ ճնշումը մեծացավ 20%-ով ($a = 0,2$): Ինչքա՞ն է գազի վերջնական ջերմաստիճանը:

□1.38. Բաց փականով բալոնի օդը տաքացնելուց հետո, փականը փակում և սառեցնում են մինչև $t = 7^\circ C$: Դրա արդյունքում ճնշումը դառնում է $p = ap_0$, որտեղ p_0 -ն մթնոլորտային ճնշումն է, իսկ $a = 0,7$: Մին-

չել n ր ջերմաստիճանն էին տաքացրել գազը:

□1.39. Ուղղաձիգ գլանում մխոցի տակ գտնվում է օդ՝ $p_1 = 200$ կՊա ճնշման տակ և $t_1 = 27^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում: Օդը $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ -ով տաքացնելուց հետո ի՞նչ զանգվածով բեռ պետք է դնել մխոցի վրա, որպեսզի օդի ծավալը չփոխվի: Մխոցի մակերեսը՝ $S=30\text{սմ}^2$:

□1.40. Իրար հետ չձգվող թելով կապված երկու անկշիռ մխոց տեղադրված են բաց ծայրերով խողովակի մեջ, որի լայնական հատույթի մակերեսը՝ $S=10\text{սմ}^2$: Մխոցները խողովակի ներսում կարող են շարժվել առանց շփման: Մխոցների միջև և դրանցից դուրս օդի ճնշումը՝ $p_0=0,1$ ՄՊա, իսկ ջերմաստիճանը՝ $T_0=300^\circ\text{C}$: Մինչև ի՞նչ առավելագույն ջերմաստիճանը կարելի է տաքացնել մխոցների միջև եղած օդը, որպեսզի նրանց միացնող թելը չկտրվի: Թելը դիմանում է $F=30\text{Ն}$ առավելագույն ձգման ուժի:

Իզոբար պրոցես

○1.41. $m=7\text{գ}$ զանգվածով ազոտն ունի $p = 0,1$ ՄՊա ճնշում և $T_1 = 290$ Կ ջերմաստիճան: Իզոբար տաքացնելուց հետո ազոտը զբաղեցրեց $V_2=10\text{լ}$ ծավալ: Որոշեք գազի սկզբնական ծավալն ու վերջնական ջերմաստիճանը:

○1.42. Իզոբար տաքացնելուց գազի ջերմաստիճանը բարձրացավ $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ -ով, իսկ ծավալը մեծացավ 5% -ով ($\alpha=0,05$): Ինչքա՞ն էր գազի սկզբնական ջերմաստիճանը:

○1.43. Շարժական մխոցով փակված ուղղաձիգ գլանում գտնվում է $m=8\text{գ}$ զանգվածով գազ: $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում գազը զբաղեցնում էր $V_1 = 4\text{լ}$ ծավալ: Տաքացնելուց հետո գազի խտությունը դարձավ $\rho=0,5\text{կգ/մ}^3$: Մինչև n ր ջերմաստիճանն էր գազը տաքացվել:

□1.44. Օդ պարունակող $V=0,5\text{լ}$ ծավալով բաց փորձանոթը տաքացվում է մինչև $t_1 = 100^\circ\text{C}$, որից հետո բաց բերանով մտցվում է ջրի մեջ այնպիսի խորությամբ, որ փորձանոթը մինչև $t_2 = 25^\circ\text{C}$ հովանալուց հետո՝ ջրի մակարդակները նրանում և անոթում հավասարվում են: Որոշեք փորձանոթի մեջ մտնող ջրի ծավալը:

Իզոթերմ պրոցես

□1.45. $l = 25\text{սմ}$ երկարությամբ գլանային անոթը լցված է $p_0 = 100\text{կՊա}$ մթնոլորտային ճնշման օդով: Դրա մեջ դանդաղորեն սկսեցին մտցնել

$S=5\text{սմ}^2$ մակերեսով մխոց: Ի՞նչ ուժով պետք է ճնշել մխոցի վրա այն պահին, երբ նա հատակից գտնվում է $x=5\text{սմ}$ հեռավորության վրա:

□1.46. Երկու ծայրերը փակ նեղ խողովակը տեղադրված է հորիզոնական դիրքով: Դրա ներքին ծավալը սնդիկի սյունով բաժանված է երկու հավասար մասերի, որոնցից յուրաքանչյուրի երկարությունը՝ $l = 23\text{սմ}$: Երկու մասում էլ օդի ճնշումը՝ $p=750\text{մմ.սնդ.ս.}$: Եթե խողովակը բերվի ուղղաձիգ դիրքի, սնդիկի սյունը կիջնի $\Delta l = 3$ սմ-ով: Որոշեք սնդիկի սյան երկարությունը:

□1.47. Մի ծայրը փակ, բարակ խողովակը պարունակում է օդ, որն արտաքին օդից անջատված է $h=45\text{սմ}$ երկարությամբ սնդիկի սյունով: Երբ խողովակը դրվում է փակ ծայրով դեպի վեր, օդի սյան երկարությունը խողովակում՝ $l_1 = 20$ սմ, իսկ երբ այն շրջվում է բաց ծայրով դեպի վեր, օդի սյան երկարությունը՝ $l_2 = 5\text{սմ}$: Որոշեք մթնոլորտային ճնշումը:

Ինչքա՞ն կլինի օդի սյան երկարությունը, երբ խողովակը տեղադրվի հորիզոնական դիրքով:

□1.48. Ջրի տակ սուզվելու և ջրից վեր բարձրանալու համար սուզանավն ունի միմյանց հետ հաղորդակցվող երկու ռեգերվուարներ: Սուզված վիճակում նրանցից մեկը՝ $V_1 = 20\text{մ}^3$ ծավալով, լցված է ջրով, իսկ մյուսը, որի ծավալը $V_2 = 5\text{մ}^3$, լցված է սեղմված գազով: Սեղմված գազի ի՞նչ ամենափոքր ճնշման դեպքում հնարավոր կլինի $h=40\text{մ}$ խորության վրա արտամղել առաջին ռեգերվուարում պարունակվող ամբողջ ջուրը: Մթնոլորտային ճնշումը՝ $p_0 = 0,1\text{ՄՊա}$:

□1.49. Գլանը փակված է $S=30\text{սմ}^2$ մակերեսով ծանր մխոցով: Երբ գլանն ուղղաձիգ դեպի վեր $a=ng$ (որտեղ $n=2$) արագացմամբ բարձրացրին, գազի ծավալը մխոցի տակ փոքրացավ $b=1,5$ անգամ: Որոշեք մխոցի զանգվածը: Մթնոլորտի ճնշումը համարեք $p_0 = 0,1\text{ՄՊա}$, իսկ շփումը մխոցի և գլանի պատերի միջև անտեսեք:

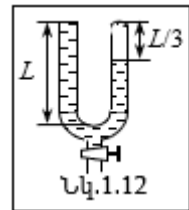
□1.50. Ուղղաձիգ խողովակի վերևի ծայրը փակ է, իսկ ներքևի բաց ծայրը ընկղմված է բաժակում լցված սնդիկի մեջ: Օդի սյան բարձրությունը խողովակում՝ $l = 19\text{սմ}$, իսկ սնդիկի սյան մակարդակը դրանում $h=4\text{սմ}$ -ով բարձր է բաժակի սնդիկի մակարդակից: Ինչքա՞ն պետք է իջեցնել

խողովակը, որպեսզի սնդիկի մակարդակը խողովակում և բաժակում համընկնեն: Մթնոլորտի ճնշումը համարենք $p_0 = 760$ մմ.սնդ.ս., իսկ սընդիկի մակարդակի փոփոխությունը բաժակում անտեսենք:

□1.51. $l = 1$ մ երկարությամբ ապակե բաց խողովակն ուղղաձիգ դիրքով կիսով չափ մտցնում են սնդիկի մեջ: Այնուհետև, խողովակը մատով փակելով, այն հանում են սնդիկից: Ի՞նչ բարձրությամբ սնդիկի սյուն կմնա խողովակում: Մթնոլորտի ճնշումը՝ $p_0 = 750$ մմ սնդ.ս.:

□1.52. $m_1 = 34$ գ զանգվածով ռետինե բարակ պատերով գնդոլորտը լրցված է $m_2 = 0,5$ գ ազոտով և ընկղմված է ջրի մեջ: Ի՞նչ խորության վրա գնդոլորտը կգտնվի հավասարակշռության վիճակում, եթե ջրի ջերմաստիճանը՝ $t = 7^\circ\text{C}$, իսկ մթնոլորտային ճնշումը՝ $p_0 = 0,1$ ՄՊա: Այդ հավասարակշռությունը կայուն է, թե՞ անկայուն:

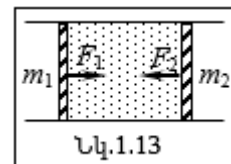
■1.53. Մի ծայրը գողված U-աձև խողովակի յուրաքանչյուր ծնկի երկարությունը հավասար է L -ի: Երբ խողովակի մեջ մինչև եզրը լցրին ρ խտությամբ հեղուկ, գողված ծնկում մնաց որոշակի քանակով օդ, որի սյան բարձրությունը հավասար է $L/3$ -ի (Նկ.1.12):



Հեղուկի n -ր մասը պետք է բաց թողնել խողովակի ներքևի մասում գտնվող ծորակից, որպեսզի բաց և փակ ծնկներում հեղուկի մակարդակները համընկնեն: Մթնոլորտի ճնշումը p_0 է:

■1.54. Երկու ծայրերը փակ նեղ խողովակը, որի լայնական հատույթի մակերեսը՝ $S=2$ սմ², տեղադրված է հորիզոնական դիրքով: Դրա ներքին ծավալը $m=10$ գ զանգված ունեցող մխոցով բաժանված է երկու հավասար մասերի, որոնցից յուրաքանչյուրի երկարությունը՝ $l = 10$ սմ: Մխոցի երկու կողմում օդի ճնշումը՝ $p_0 = 0,1$ ՄՊա: Որոշեք մխոցի փոքր տատանումների պարբերությունը: Շփումն անտեսենք:

■1.55. Հորիզոնական երկար խողովակում, որի լայնական հատույթի մակերեսը հավասար է S -ի, տեղադրված են m_1 և m_2 զանգվածներով մխոցներ, որոնք կարող են առանց շփման շարժվել (Նկ.1.13): Մխոցների միջև կա v մոլ քանակով գազ: Ի՞նչ հավասա-



րակշռություն կհաստատվի, եթե մխոցների վրա կիրառվեն խողովակի առանցքով ուղղված F_1 և F_2 ուժեր: Գազի ջերմաստիճանը հավասար է T -ի, իսկ մթնոլորտի ճնշումը՝ p_0 -ի:

Տարբեր պրոցեսներ

□1.56. Գազի ջերմաստիճանը 75%-ով ($a = 0,75$) բարձրացնելուց ճնշումը ավելացավ 25%-ով ($b=0,25$): Քանի՞ անգամ փոխվեց գազի ծավալը, եթե այդ ընթացքում դրա զանգվածը մնացել է հաստատուն:

□1.57. Երբ գազ պարունակող բալոնից բաց թողեցին նրա որոշ մասը, գազի ճնշումն ընկավ 40%-ով ($a = 0,4$), իսկ բացարձակ ջերմաստիճանը՝ 20%-ով ($b=0,2$): Գազի սկզբնական զանգվածի n մասը բաց թողեցին բալոնից:

■1.58. Ջրածնով լցված $V=10$ լ ծավալով բալոնում ճնշումը՝ $p_1 = 100$ մթն, իսկ ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 20^\circ\text{C}$: Փականի անսարքության պատճառով $m_1 = 26$ գ զանգվածով ջրածին արտահոսել է բալոնից: Ի՞նչ զանգվածով ջուր կառաջանա բալոնում, եթե մնացած գազն ամբողջությամբ այրվի:

□1.59. Վակուումային մխոցային պոմպը յուրաքանչյուր արտամղման ժամանակ (մխոցի քայլ) դատարկվող անոթին միացնում է $V_0 = 1$ լ ծավալով խցիկ, որտեղ մտած գազը հեռացնում է մթնոլորտ: $V=10$ լ ծավալով բալոնում սկզբնական ճնշումը՝ $p_0 = 0,1$ ՄՊա: Որոշեք ճնշումը բալոնում, եթե դրան միացրած վակուումային պոմպի մխոցը կատարել է $n=10$ քայլ: Գազի ջերմաստիճանը համարեք հաստատուն:

□1.60. Նախորդ խնդրում մխոցի քանի՞ քայլի դեպքում դատարկվող բալոնում ճնշումը կլինի՝ ա) $p = 1$ կՊա; բ) $p = 0,01$ կՊա:

□1.61. Մխոցային պոմպը մխոցի յուրաքանչյուր քայլի դեպքում մթնոլորտից վերցնում է $V_0 = 1$ լ օդ և այն ներմղում է դողի $V = 80$ լ ծավալով օդախցի մեջ, որտեղ սկզբնական ճնշումը՝ $p_1=2$ մթն: Մխոցի քանի՞ քայլ է պետք դողում ճնշումը $p_2=3$ մթն-ի հասցնելու համար: Օդի ջերմաստիճանը համարեք հաստատուն, իսկ մթնոլորտային ճնշումը՝ $p_0 = 1$ մթն:

□1.62. Սենյակում եղել է $t_1 = 17^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան: Երբ վառեցին վառարանը, ջերմաստիճանը սենյակում բարձրացավ մինչև $t_2 = 27^\circ\text{C}$: Սեն-

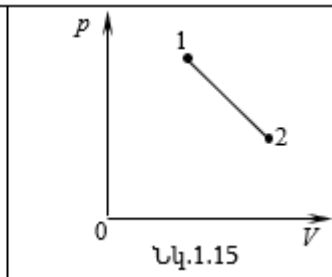
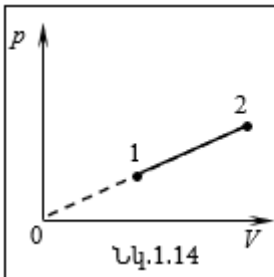
յակի ծավալը՝ $V=40\text{մ}^3$, իսկ օդի ճնշումը նրանում՝ $p=0,1\text{ՄՊա}$: Ինչքանով փոխվեց սենյակում գտնվող օդի զանգվածը:

□1.63. Ջերմային օդապարիկն ունի $V=2500\text{մ}^3$ ծավալը, իսկ թաղանթի և բեռի զանգվածը միասին՝ $m=750\text{կգ}$: Օդապարիկի ներսի օդի ճնշումը հավասար է արտաքին օդի $p=750\text{մմ սնդ.ս.}$ ճնշմանը: Մինչև ի՞նչ մինիմալ ջերմաստիճան պետք է տաքացնել օդապարիկի ներսի օդը, որպեսզի այն սկսի բարձրանալ: Շրջապատող օդի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 17^\circ\text{C}$:

□1.64. $V=1\text{սմ}^3$ ծավալ ունեցող օդագուրկ շիկացման լամպի ապակին ունի ճեղք, որով լամպի մեջ յուրաքանչյուր $\tau = 1\text{վ}$ -ում թափանցում են օդի $N = 10^9$ մոլեկուլ: Որքա՞ն ժամանակում լամպը կլցվի նորմալ պայմանների օդով:

□1.65. $V=40\text{լ}$ ծավալով բալոնից փականի անսարքության պատճառով արտահոսում է ջրածին: $t_1 = 7^\circ$ ջերմաստիճանում մանոմետրը ցույց էր տալիս $p=9\text{ՄՊա}$: $\tau = 5\text{ժ}$ անց ջերմաստիճանը բարձրացավ մինչև $t_2 = 37^\circ\text{C}$, իսկ մանոմետրի ցուցմունքը մնաց անփոփոխ: Միջինով հաշված, ի՞նչ զանգվածով գազ է արտահոսել մեկ րոպեյում:

■1.66. Նկ.1.14-ում բերված է ինչ-որ պրոցեսի համար գազի ճնշման կախումը ծավալից: Քանի՞ անգամ կփոխվի գազի ծավալը, եթե դրա ջերմաստիճանը $T_1 = 200^\circ\text{Կ}$ -ից բարձրացվի մինչև $T_2 = 800^\circ\text{Կ}$:



■1.67. Նկ.1.15-ում բերված է ինչ-որ պրոցեսի համար $\nu=1\text{մոլ}$ գազի ճնշման կախումը ծավալից: Որոշեք այդ պրոցեսում ջերմաստիճանի մինիմալ և մաքսիմալ արժեքները: Հայտնի է, որ $p_1 = 100\text{կՊա}$, $p_2 = 0,5\text{կՊա}$, $V_1 = 0,5\text{լ}$, $V_2 = 20\text{լ}$:

□1.68. Տարբեր ծավալներով երկու անոթներ պարունակում են նույն գա-

զից և ունեն նույն ջերմաստիճանը: Առաջին անոթի գազն ունի $m_1 = 20$ գ զանգված և $p_1 = 400$ կՊա ճնշում, իսկ երկրորդ անոթինը՝ $m_2 = 30$ գ զանգված և $p_2 = 900$ կՊա ճնշում: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի անոթներում, եթե դրանք իրար միացվեն շատ նեղ խողովակով: Ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն:

□1.69. $V_1 = 20$ լ և $V_2 = 30$ լ ծավալներով երկու անոթներ պարունակում են նույն գազից և ունեն նույն ջերմաստիճանը: Առաջին անոթի գազն ունի $p_1 = 400$ կՊա ճնշում, իսկ երկրորդինը՝ $p_2 = 900$ կՊա: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի անոթներում, եթե դրանք իրար միացվեն շատ նեղ խողովակով: Ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն:

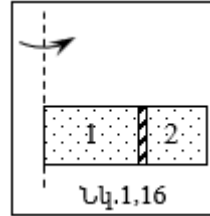
□1.70. Նույն ծավալներով երկու անոթներ միացած են իրար շատ նեղ խողովակով: Անոթներում գազի ջերմաստիճանը հավասար է T -ի: Քանի՞ անգամ կփոխվի գազի ճնշումը համակարգում, եթե անոթներից մեկը տաքացվի մինչև $T_1 = 3T$ ջերմաստիճանը, իսկ մյուսի ջերմաստիճանը մնա հաստատուն՝ $T_2 = T$:

□1.71. Երկու կողմերից փակ $S=10$ սմ² լայնական հատույթի մակերեսով ուղղաձիգ գլանը $m=1$ կգ զանգված ունեցող շարժական մխոցով բաժանված է երկու հավասար մասերի: Գլանի երկու մասում էլ կա նույն գազից, որոնց ջերմաստիճաններն իրար հավասար են: Գազի զանգվածը վերևի կեսում $a = 1,2$ անգամ փոքր է ներքևի կեսի զանգվածից: Որոշեք գազի ճնշումները գլանի վերևի և ներքևի կեսերում:

□1.72. Հորիզոնական դրված փակ գլանը շարժական միջնորմով բաժանված է երկու մասի, որոնց ծավալների հարաբերությունը՝ $\frac{V_1}{V_2} = 2/3$, իսկ ճնշումներն իրար հավասար են: Մասերից մեկի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 177^\circ\text{C}$, մյուսինը՝ $t_2 = 167^\circ\text{C}$: Ինչքա՞ն կլինի այդ մասերի ծավալների հարաբերությունը դրանց ջերմաստիճաններն հավասարվելուց հետո:

□1.73. Երկու միատեսակ բալոններ, որոնք պարունակում են $t = 0^\circ\text{C}$ գազ, միացված են $S=1$ սմ² հատույթի մակերես ունեցող հորիզոնական խողովակով, որի մեջտեղում գտնվում է սնդիկի կաթիլ: Վերջինս ամբողջ անոթը բաժանում է երկու հավասար $V = 0,5$ լ ծավալների: Ինչքա՞ն կտեղափոխվի սնդիկի կաթիլը, եթե բալոններից մեկը տաքացնենք $\Delta t = 3^\circ\text{C}$ -ով, իսկ մյուսը նույն չափով հովացնենք:

■ **1.74.** Երկու ծայրերը փակ, օդով լցված $L=10$ սմ երկարությամբ խողովակի ներսում տեղադրված է $S=25\text{սմ}^2$ մակերես և $m=4\text{կգ}$ զանգված ունեցող մխոց, որը կարող է առանց շփման սահել խողովակում (Նկ.1.16): Խողովակի հորիզոնական դիրքում մխոցը գտնվում է նրա մեջտեղում, իսկ օդի ճնշումը $p=36\text{կՊա}$: Երբ խողովակը պտտվում է իր ծայրերից մեկով անցնող ուղղաձիգ առանցքի շուրջը, մխոցի երկու կողմերում գտնվող օդի ծավալների հարաբերությունը դառնում է՝ $V_1/V_2=b=1,5$: Որոշեք խողովակի պտտման հաճախությունը: Օդի ջերմաստիճանը հաստատուն է: Մխոցի հաստությունն անտեսեք:



Մաքսվելի բաշխումը

■ **1.75.** Օգտվելով Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայից, ստացեք այդ բաշխման ֆունկցիայի բերված տեսքը:

● **1.76.** Ազոտի մոլեկուլների n ՝ մասի արագություններն են ընկած $v_1 = 500$ -ից $v_2 = 520$ մ/վ միջակայքում, եթե զազի ջերմաստիճանը՝ **ա)** $t = -173^\circ\text{C}$, **բ)** $t = 27^\circ\text{C}$, **գ)** $t = 167^\circ\text{C}$, **դ)** $t = 627^\circ\text{C}$:

● **1.77.** $t=-33^\circ\text{C}$ -ում հելիումի մոլեկուլների n ՝ մասի արագություններն են ընկած՝ **ա)** $v_1 = 500$ -ից $v_2 = 550$ մ/վ, **բ)** $v_1 = 1000$ -ից $v_2 = 1050$ մ/վ, **գ)** $v_1 = 1500$ -ից $v_2 = 1550$ մ/վ միջակայքում:

● **1.78.** $m=10\text{գ}$ զանգվածով թթվածինն ունի $t = 0^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանը: Դրա մոլեկուլներից քանիսի՝ արագությունն է ընկած $v_1=199$ մ/վ-ից $v_2=201$ մ/վ միջակայքում:

● **1.79.** Որոշեք զազի մոլեկուլների հարաբերական թիվը, որոնց արագությունը միջին քառակուսային արագությունից տարբերվում է 1%-ից ոչ ավել:

■ **1.80.** Որոշեք այն բանի հավանականությունը, որ իդեալական զազի տվյալ մոլեկուլի արագությունը 1%-ից ոչ ավել է տարբերվում՝ **ա)** $0,5 v_{\text{տե}}$ -ից, **բ)** $v_{\text{տե}}$ -ից, **գ)** $2v_{\text{տե}}$ -ից ($v_{\text{տե}}$ -ն ամենահավանական արագությունն է):

■1.81. Որոշեք իդեալական գազի մոլեկուլների հարաբերական թիվը, որոնց արագությունները ընկած են 0-ից $0,1v_{\text{տհ}}$ միջակայքում ($v_{\text{տհ}}$ -ն ամենահավանական արագությունն է):

■1.82. $V=1\text{սմ}^3$ ծավալ ունեցող ջրածինը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Որոշեք մոլեկուլների թիվն այդ ծավալում, որոնց արագությունը փոքր է $v_1 = 1\text{մ/վ}$ -ից:

■1.83. Արագության ի՞նչ արժեքի դեպքում T_1 և $T_2 = 2T_1$ ջերմաստիճանների համար Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիաները կհատվեն: Արդյունքը արտահայտեք $v_{2\text{տհ}}$ -ով ($v_{2\text{տհ}}$ -ը ամենահավանական արագությունն է T_2 ջերմաստիճանում):

●1.84. Որոշեք Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի մաքսիմալ արժեքը, եթե ամենահավանական արագությունը՝ $v_{\text{տհ}} = 415\text{ մ/վ}$:

■1.85. Ապացուցեք, որ Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան նորմավորված է՝ $\int_0^\infty f(v)dv = 1$:

■1.86. Օգտվելով Մաքսվելի բաշխման f ֆունկցիայից և միջինի հաշվման $\bar{v} = \int_0^\infty v f(v)dv$ բանաձևից, ստացեք գազի մոլեկուլների միջին թվաբանական արագության $\bar{v} = \sqrt{8kT/(\pi m_0)} = \sqrt{8RT/(\pi M)}$ արտահայտությունը:

■1.87. Օգտվելով Մաքսվելի բաշխման f ֆունկցիայից և միջինի հաշվման $\overline{v^2} = \int_0^\infty v^2 f(v)dv$ բանաձևից, ստացեք գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագության $\bar{v}_p = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M}$ արտահայտությունը:

■1.88. Օգտվելով մոլեկուլների ըստ արագության Մաքսվելի բաշխման $f(v)$ ֆունկցիայից, ստացեք դրանց ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon_l = \frac{m_0 v^2}{2}$

կինետիկ էներգիաների բաշխման $f = \frac{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_l}}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_l}{kT}\right)$ ֆունկցիան:

■1.89. Ապացուցեք, որ մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon_l = m_0 v^2/2$ կինետիկ էներգիաների բաշխման $f(\varepsilon_l) = \frac{2 \cdot \sqrt{\varepsilon_l}}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_l}{kT}\right)$ ֆունկցիան նորմավորված է՝ $\int_0^\infty f(\varepsilon_l)d\varepsilon_l = 1$:

Բույցմանի բաշխումը

- **1.90.** Ինչքա՞ն է օդի ճնշումը՝ **ա)** $h=1$ կմ բարձրության վրա; **բ)** $h=1$ կմ խորության վրա գտնվող հանքահորում: Համարեք, որ օդի ջերմաստիճանը կախված չէ բարձրությունից և $t = 27^{\circ}\text{C}$, իսկ ճնշումը Երկրի մակերևույթի վրա՝ $p_0 = 100$ կՊա:
- **1.91.** Էվերեստի գագաթը գտնվում է ծովի մակարդակից $h=8850$ մ բարձրության վրա: Քանի՞ անգամ է օդի ճնշումն այդ լեռան գագաթին փոքր, քան ծովի մակարդակի վրա: Համարեք, որ օդի ջերմաստիճանը կախված չէ բարձրությունից, իսկ $t = 0^{\circ}\text{C}$:
- **1.92.** Ինքնաթիռի թռիչքի բարձրությունը կարելի է որոշել բարոմետրի օգնությամբ: Ի՞նչ բարձրության վրա է գտնվում ինքնաթիռը, եթե այդ բարձրության վրա բարոմետրը ցույց է տալիս $p=90$ կՊա ճնշում, իսկ Երկրի մակերևույթի մոտ՝ $p_0 = 100$ կՊա: Համարեք, որ օդի ջերմաստիճանը կախված չէ բարձրությունից և $t=0^{\circ}\text{C}$:
- **1.93.** Ի՞նչ բարձրության վրա է մթնոլորտի ճնշումը երկու անգամ փոքր, քան Երկրի մակերևույթի մոտ: Համարեք, որ օդի ջերմաստիճանը կախված չէ բարձրությունից և $t=0^{\circ}\text{C}$:
- **1.94.** Որոշեք օդի խտությունը՝ **ա)** Երկրի մակերևույթի մոտ, **բ)** Երկրի մակերևույթից $h=8$ կմ բարձրության վրա: Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 0^{\circ}\text{C}$ և կախված չէ բարձրությունից, իսկ ճնշումը Երկրի մակերևույթի վրա՝ $p_0 = 100$ կՊա:
- **1.95.** Ի՞նչ բարձրության վրա օդի խտությունը կփոքրանա 1%-ով ($\alpha = 0,01$): Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 0^{\circ}\text{C}$ և կախված չէ բարձրությունից:
- **1.96.** Օդում պարունակվում են $m = 10^{-18}$ գ զանգվածով փոշեհատիկներ: Քանի՞ անգամ կտարբերվեն դրանց կոնցենտրացիաներն երկու մակարդակների վրա, որոնց միջև հեռավորությունը ըստ բարձրության՝ $h=3$ մ: Օդի ջերմաստիճանը՝ $T=300$ Կ:
- **1.97.** Երկրի մակերևույթի մոտ $V=1$ սմ³ ծավալով օդը պարունակում է $N_1 = 10^5$ փոշեհատիկ, իսկ $h=1$ կմ բարձրության վրա՝ $N_2 = 10^2$: Որոշեք մեկ փոշեհատիկի զանգվածն ու չափերը, եթե դրա խտությունը $\rho=1,5$ գ/սմ³: Պարզության համար ընդունեք, որ փոշեհատիկն ունի խորանար-

դի տեսք: Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 0^{\circ}\text{C}$:

●**1.98.** Երկրի մակերևույթի մոտ ազոտի մոլեկուլների կոնցենտրացիայի հարաբերությունը արգոնի մոլեկուլների կոնցենտրացիային՝ $\alpha = \frac{n_1}{n_2} = 84$: Այդ հարաբերությունը որոշեք $h=10\text{կմ}$ խորության վրա: Համարեք, որ ջերմաստիճանը՝ $t = -23^{\circ}\text{C}$ և կախված չէ բարձրությունից:

■**1.99.** M մոլային զանգվածով գազը գտնվում է ուղղաձիգ անոթում, որի հիմքի մակերեսը S է, իսկ բարձրությունը՝ h : Գազի ջերմաստիճանը T է, իսկ ճնշումը ներքևի հիմքի վրա՝ p_0 : Որոշեք անոթում եղած գազի զանգվածը:

■**1.100.** Բավականին մեծ թվով միանման բրոունյան մասնիկներ, որոնք ունեն ρ խտություն և τ ծավալ, լցրել են ρ_0 խտություն ունեցող հեղուկով լցված անոթի մեջ: ρ -ն շատ քիչ չափով մեծ է ρ_0 -ից: Որոշեք բրոունյան մասնիկների կոնցենտրացիայի կախումն անոթի հատակից ունեցած h բարձրությունից:

■**1.101.** Հաշվի առնելով ազատ անկման արագացման կախումը Երկրի մակերևույթից ունեցած h բարձրությունից, որոշեք մթնոլորտի օդի կոնցենտրացիայի կախումը h բարձրությունից: Օդի մոլեկուլի զանգվածը համարեք m , Երկրի շառավիղը R :

Մոլեկուլների բնութագրական արագությունները

●**1.102.** Ո՞ր ջերմաստիճանում օդի մոլեկուլների ըստ արագությունների բաշխման ֆունկցիան կունենա մաքսիմում $v=400\text{մ/վ}$ արագության համար:

●**1.103.** Որոշեք գազի մոլեկուլների միջին թվաբանական և ամենահավանական արագությունները, եթե դրանց միջին քառակուսային արագությունը՝ $\langle v_p \rangle = 1\text{կմ/վ}$: Ի՞նչ միջին արագությամբ են այդ գազի մոլեկուլները շարժվում իրար նկատմամբ:

●**1.104.** Գազը նորմալ պայմաններում ունի $\rho=1\text{կգ/մ}^3$ խտություն: Որոշեք այդ գազի մոլեկուլների ամենահավանական, միջին թվաբանական և միջին քառակուսային արագությունները: Ի՞նչ միջին արագությամբ են այդ մոլեկուլները շարժվում իրար նկատմամբ:

●1.105. Որոշեք ջրածնի ջերմաստիճանը, եթե դրա մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը $\Delta v = 400 \text{ մ/վ}$ -ով մեծ է իրենց ամենահավանական արագությունից:

●1.106. Ինչ-որ պայմաններում գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային և ամենահավանական արագությունների տարբերությունը՝ $\Delta v = \bar{v}_p - v_{\text{wh}} = 100 \text{ մ/վ}$: Որոշեք այդ արագությունները (միջին քառակուսային և ամենահավանական):

■1.107. Ի՞նչ ջերմաստիճանում ազոտի և թթվածնի խառնուրդից կազմված գազում, դրանց մոլեկուլների (ազոտի և թթվածնի) ամենահավանական արագությունները կտարբերվեն $\Delta v = 30 \text{ մ/վ}$ -ով:

●1.108. Ո՞ր ջերմաստիճանում ազոտի մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը հավասար կլինի ջրածնի մոլեկուլների ամենահավանական արագությանը: Ջրածնի ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 200^\circ \text{C}$:

●1.109. Ենթադրենք ունենք $\ll \text{գազ} \gg$, որը կազմված է $m = 0,1 \text{ գ}$ զանգված ունեցող գնդիկներից: Մինչև n -ր ջերմաստիճանը պետք է տաքացնել այդ $\ll \text{գազ} \gg$, որպեսզի գնդիկների ջերմային շարժման ամենահավանական արագությունը լինի՝ $v_{\text{wh}} = 1 \text{ մ/վ}$:

■1.110. $t = 20^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանի ջրի մակերևույթի միավոր մակերեսից մեկ վայրկյանում քանի՞ մոլեկուլ են դուրս թռչում, եթե հայտնի է հազեցած ջրային գոլորշու p_0 ճնշումն այդ ջերմաստիճանում:

●1.111. Ինչքա՞ն պետք է լինի օդի համար ադիաբատի $\gamma = C_p/C_v$ ցուցիչը, որպեսզի նրանում ձայնի տարածման արագությունը հավասար լինի՝ **ա)** օդի մասնիկների միջին թվաքանական արագությանը, **բ)** միջին քառակուսային արագությանը, **գ)** ամենահավանական արագությանը:

Թերմիկական գործակիցներ

●1.112. Օգտվելով իդեալական գազի վիճակի հավասարումից, որոշեք այդ գազի՝ **ա)** α ծավալային ընդարձակման, **բ)** γ ճնշման թերմիկական գործակիցը:

●1.113. Օգտվելով իդեալական գազի վիճակի հավասարումից, որոշեք այդ գազի՝ **ա)** β իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը, **բ)** $K_T = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T$

ծավալային առաձգականության իզոթերմիկ մոդուլը:

■1.114. Ապացուցեք, որ իդեալական գազի ծավալային ընդարձակման, ճնշման թերմիկական և իզոթերմ սեղմելիության գործակիցները կապված են $\alpha = p_0 \beta \gamma$ առնչությամբ:

■1.115. Ցույց տվեք, որ իդեալական գազի վիճակը նկարագրող պարամետրերի համար տեղի ունի $\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -1$ առնչությունը:

Հարցեր

- 1. Ձևակերպեք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության (ՄԿՏ) հիմնական դրույթները: Բերեք դրանց փորձական հիմնավորումներ:
- 2. Ի՞նչ կարգի չափեր ունեն ատոմներն ու մոլեկուլները:
- 3. Ի՞նչ կարգի զանգվածներ ունեն ատոմներն ու մոլեկուլները:
- 4. Երբ կոտրված ապակու կտորներն իրար սեղմում ենք, դրանք չեն կպնում: Այդ փաստը չի՞ հակասում արդյոք մոլեկուլների միջև ձգողական ուժերի առկայությանը:
- 5. Ո՞րն է բրոունյան շարժումը: Ինչու՞ դա կարող է հանդիսանալ ՄԿՏ դրույթների հիմնավորում:
- 6. Մասնիկի բրոունյան շարժման միջին արագության վրա ինչպե՞ս է ազդում դրա՝ **ա)** զանգվածը; **բ)** ջերմաստիճանը:
- 7. Ինչու՞ բրոունյան շարժումն անզեն աչքով հնարավոր չէ նկատել:
- 8. Նյութի վիճակը նկարագրող n ՞ր պարամետրերին են անվանում մակրոսկոպական, իսկ n ՞րը միկրոսկոպական:
- 9. Նյութի n ՞ր մակրոսկոպական պարամետրերն են օժտված ադետիվության հատկությամբ, այսինքն համակարգի դրանց արժեքը հավասար է առանձին մասերի արժեքների գումարին:
- 10. Ո՞րն է կոչվում նյութի քանակ: Ի՞նչ միավորով է այն չափվում: Տվեք այդ միավորի սահմանումը:
- 11. Ինչպե՞ս հաշվել նյութի քանակը, իմանալով՝ **ա)** նյութի զանգվածը, **բ)** նյութի մասնիկների թիվը:
- 12. Ո՞րն է Ավոգադրոյի հաստատունի ֆիզիկական իմաստը:
- 13. Ո՞ն է կոչվում զանգվածի ատոմական միավոր (զ.ա.մ.): Ավոգադ-

րոյի հաստատունն ինչպե՞ս է կապված զանգվածի ատոմական միավորի հետ:

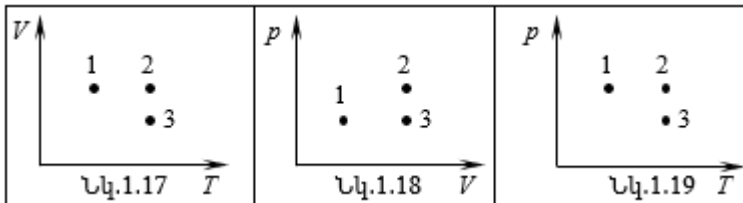
- 14. Ո՞րն է կոչվում մոլային զանգված: Ո՞րն է դրա միավորը ՄՀ-ում:
- 15. Ինչպե՞ս որոշել մոլեկուլի (ատոմի) զանգվածը, եթե տրված է նյութի մոլային զանգվածը:
- 16. Քիմիական տարրերը կարող են կազմել՝ **ա)** քիմիական միացություններ, **բ)** խառնուրդ: Այդ դեպքերի համար ինչպե՞ս հաշվել էֆեկտիվ մոլային զանգվածը:
- 17. Ո՞րն է մասնիկների կոնցենտրացիան: Ո՞րն է դրա միավորը ՄՀ-ում:
- 18. Ի՞նչ է ջերմաստիճանը ըստ ՄԿՏ տեսանկյունից:
- 19. Ինչու՞ մեկ մոլեկուլին չեն վերագրում ջերմաստիճանի հասկացություն:
- 20. Բերեք ջերմաստիճանը չափելու առնվազն երկու եղանակ:
- 21. Ինչպե՞ս է քամին ազդում ջերմաչափի ցուցմունքի վրա:
- 22. Ո՞րն է կոչվում բացարձակ ջերմաստիճան: Ո՞րն է դրա միավորը ՄՀ-ում:
- 23. Ի՞նչ հիմնական կետեր են ընտրված՝ **ա)** Ցելսիուսի սանդղակում, **բ)** Կելվինի սանդղակում:
- 24. Ո՞ր ջերմաստիճանին են անվանում բացարձակ զրո: Այդ ջերմաստիճանին ի՞նչ ջերմաստիճան է համապատասխանում՝ **ա)** Ֆարենհայտի, **բ)** Ցելսիուսի սանդղակում:
- 25. Մասնիկների n ՝ բնույթի շարժումներն են, որ չեն վերանում բացարձակ զրո ջերմաստիճանում:
- 26. Ի՞նչ ազատության աստիճաններով կարող է օժտված լինել մոլեկուլը: Ինչքա՞ն է ազատության աստիճանների թիվը՝ **ա)** միատոմ, **բ)** երկատոմ, **գ)** բազմատոմ մոլեկուլի համար:
- 27. Ձևակերպեք էներգիայի հավասարաչափ բաշխման օրենքը ըստ ազատության աստիճանների:
- 28. Ո՞րն է կոչվում մոլեկուլի՝ **ա)** միջին արագություն, **բ)** միջին քառակուսային արագություն: Մի քանի մոլեկուլների համար ինչպե՞ս

կգրվեն այդ արագությունները, եթե առանձին մոլեկուլների արագությունները տրված են:

- 29. Համեմատեք օդի բաղադրության մեջ մտնող գազերի(ազոտ, թթվածին, ածխաթթու գազ) մոլեկուլների՝ **ա)** միջին քառակուսային արագությունները, **բ)** համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիաները:
- 30. Ինչո՞ւ գազի վիճակը նկարագրելու համար անիմաստ է դրա մոլեկուլների շարժման քննարկումը կատարել Նյուտոնի դինամիկայի օրենքներով:
- 31. Ո՞ր գազն են անվանում իդեալական:
- 32. Ի՞նչ պայմանների դեպքում ռեալ գազերն օժտված կլինեն իդեալական գազի հատկությամբ:
- 33. Մթնոլորտի n^o շերտերում օդի հատկությունները մոտ կլինեն իդեալական գազի հատկությանը՝ Երկրի մակերևույթի մոտ, թե՞ մեծ բարձրություններում:
- 34. Գրեք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը: Ի՞նչ ենթադրություններ են կատարվում այդ հավասարման դուրս բերման ժամանակ:
- 35. Սովորաբար անոթի պատին հարվածող գազի մոլեկուլներն անդրադառնում են: Ինչպե՞ս կփոխվի անոթի պատի այն տեղամասի վրա ճնշումը, որը պատված է այնպիսի նյութով, որին հարվածող մոլեկուլները կաչում են (չեն անդրադառնում):
- 36. Օգտվելով ՄԿՏ-ի հիմնական հավասարումից, բացատրեք գազի ճնշման աճը՝ **ա)** իզոխոր տաքացման, **բ)** իզոթերմ սեղման պրոցեսներում:
- 37. Գրեք Կլապեյրոնի բանաձևը:
- 38. Գրեք Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումը:
- 39. Գրեք մոլեկուլների կոնցենտրացիայից և ջերմաստիճանից գազի ճնշման կախումն արտահայտող բանաձևը:
- 40. Ո՞ր պրոցեսին են անվանում իզոթերմ: Իդեալական գազի իզոթերմ պրոցեսի գրաֆիկները պատկերեք (p,V) , (V,T) և (p,T) կոորդինա-

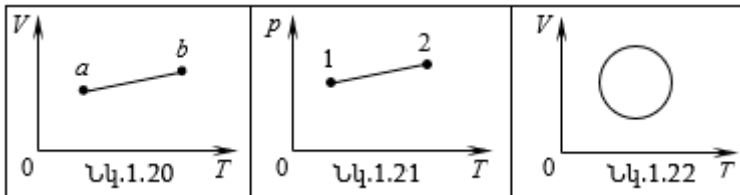
տական հարթություններում:

- 41. Ձևակերպեք և գրեք Բոյլ-Մարիոտի օրենքը:
- 42. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում իզոբար: Իդեալական գազի իզոբար պրոցեսի գրաֆիկները պատկերեք (p,V) , (V,T) և (p,T) կոորդինատական հարթություններում:
- 43. Ձևակերպեք և գրեք Գեյ-Լյուսակի օրենքը:
- 44. Օգտվելով Գեյ-Լյուսակի օրենքից, որոշեք իդեալական գազի ծավալային ընդարձակման գործակիցը:
- 45. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում իզոխոր: Իդեալական գազի իզոխոր պրոցեսի գրաֆիկները պատկերեք (p,V) , (V,T) և (p,T) կոորդինատական հարթություններում:
- 46. Ձևակերպեք և գրեք Շառլի օրենքը:
- 47. Օգտվելով Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումից, դուրս բերեք՝
ա) Բոյլ-Մարիոտի, **բ)** Գեյ-Լյուսակի, **գ)** Շառլի օրենքը:
- 48. Կառուցեք գազի խտության կախման գրաֆիկը՝ **ա)** ջերմաստիճանից՝ **բ)** իզոբար պրոցեսում, **գ)** ճնշումից՝ իզոթերմ պրոցեսում:
- 49. Ի՞նչ տարբերություն կա սեղմված գազանակի և սեղմված գազի առաձգական ուժերի միջև:
- 50. Ո՞ր պայմաններն են կոչվում նորմալ: Ի՞նչ ծավալ է զբաղեցնում 1 մոլ իդեալական գազը նորմալ պայմաններում:
- 51. Ձևակերպեք Դալտոնի օրենքը: Ո՞րն է կոչվում պարզիալ ճնշում:
- 52. Հրթիռային շարժիչներում օգտագործվում է այնպիսի վառելանյութ, որոնց այրումից ստացվի հնարավորինս փոքր մոլային զանգվածով գազ (օրինակ, H_2O): Ինչու՞:
- 53. Նկ.1.17-ում (V,T) կոորդինատական հարթությունում կետերով նշված են նույն քանակության գազերի երեք վիճակներ: Ո՞ր կետե-

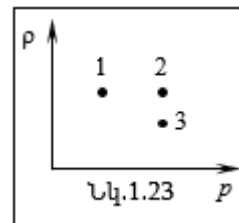


րին է համապատասխանում ճնշման ամենամեծ և ամենափոքր արժեքներն: Ո՞ր կետում է մոլեկուլների կոնցենտրացիան առավելագույնը:

- 54. Նկ.1.18-ում ($p;V$) կոորդինատական հարթությունում կետերով նշված են նույն քանակության գազերի երեք վիճակներ: Ո՞ր կետերին է համապատասխանում ջերմաստիճանի ամենամեծ և ամենափոքր արժեքներն: Ո՞ր կետում է խտությունն առավելագույն:
- 55. Նկ.1.19-ում ($p;T$) կոորդինատական հարթությունում կետերով նշված են նույն քանակության գազերի երեք վիճակներ: Ո՞ր կետերին է համապատասխանում ծավալի ամենամեծ և ամենափոքր արժեքներն: Ո՞ր կետում է մոլեկուլների կոնցենտրացիան առավելագույնը:
- 56. Իդեալական գազը a վիճակից անցավ b վիճակ (Նկ.1.20): Ինչպե՞ս փոխվեց գազի ճնշումը:
- 57. Իդեալական գազը 1վիճակից անցավ 2 վիճակ (Նկ.1.21): Ինչպե՞ս փոխվեց գազի ծավալը:



- 58. Հաստատուն զանգվածով իդեալական գազի նկատմամբ կատարվել է Նկ.1.22-ում պատկերված պրոցես: Այդ գրաֆիկի վրա նշեք այն կետերը, որոնց համապատասխանում են ամենամեծ և ամենափոքր ճնշումներով վիճակներին:
- 59. Նկ.1.23-ում (ρ, p) կոորդինատական հարթությունում կետերով նշված են նույն քանակության գազերի երեք վիճակներ: Ո՞ր կետերին է համապատասխանում ջերմաստիճանի ամենամեծ և ամենափոքր արժեքները:



Ո՞ր կետում է ծավալն առավելագույն:

- 60. Նույն քանակությամբ իդեալական գազեր գտնվում են տարբեր ծավալներով փակ անոթներում՝ $V_1 > V_2$: Նույն (p;T) կոորդինատական հարթության վրա պատկերեք դրանց ճնշման կախումը ջերմաստիճանից:
- 61. Տարբեր քանակությամբ իդեալական գազեր ($\nu_1 > \nu_2$) գտնվում են նույն ծավալներով փակ անոթներում: Նույն (p;T) կոորդինատական հարթության վրա պատկերեք դրանց ճնշման կախումը ջերմաստիճանից:
- 62. Երկու աերոստատներից մեկը լցրել են ջրածնով, մյուսը՝ հելիումով: Ինչպե՞ս կտարբերվեն դրանց վերամբարձ ուժերը, եթե այդ գազերի ճնշումները լինեն նույնը:
- 63. Գրեք Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան:
- 64. Գրեք իդեալական գազի մոլեկուլների բաշխման ֆունկցիան հարաբերական արագություններով:
- 65. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան:
- 66. Ի՞նչ չափայնություն ունի Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան:
- 67. Ինչու՞մ է կայանում Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի նորմավորված լինելը:
- 68. Ինչպե՞ս որոշել այն բանի հավանականությունը, որ գազի մոլեկուլի արագությունը ընկած է տվյալ միջակայքում (օրինակ, 500-ից 510 մ/վ): Ի՞նչ երկրաչափական իմաստ ունի այդ հավանականությունը:
- 69. Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի գրաֆիկները պատկերեք նույն գազի տարբեր ջերմաստիճանների համար:
- 70. Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի գրաֆիկները պատկերեք նույն ջերմաստիճանի տարբեր գազի համար:
- 71. Իդեալական գազը իզոթար կերպով ընդարձակվում է: Ինչպե՞ս կփոխվի՝ ա) Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի մաքսիմումի արժեքը, բ) մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը:
- 72. Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի օգնությամբ, ինչպե՞ս են որոշում

գազի մոլեկուլների՝ **ա)** միջին քառակուսային արագությունը, **բ)** միջին թվաբանական արագությունը, **գ)** ամենահավանական արագությունը:

- **73.** Ո՞րն է հանդիսանում ամենահավանական պատահարը՝ գազում հանդիպել մոլեկուլի, որի արագությունը մեծ է v_h -ից, թե՞ փոքր v_h -ից (v_h -ն ամենահավանական արագությունն է):
- **74.** Կարելի՞ է արդյոք հաշվել այն բանի հավանականությունը, որ գազի մոլեկուլի արագությունն ունի որևէ ճշգրիտ արժեք, օրինակ, 500մ/վ:
- **75.** Նկարագրեք որևէ փորձ, որի օգնությամբ ստուգվել է Մաքսվելի բաշխումը:
- **76.** Տվյալ ջերմաստիճանում օդում պարունակվող գազերից (ազոտ, թթվածին, արգոն, ածխաթթու գազ) ո՞րն է օժտված մեծ միջին թվաբանական արագությամբ:
- **77.** Շտերնի փորձում ինչպե՞ս են փոխվում արծաթի շերտի լայնությունը և կենտրոնի դիրքը, երբ մեծացնում են գլանների պտտման հաճախությունը:
- **78.** Ո՞րն կոչվում իդեալական գազի մոլեկուլների ամենահավանական արագություն: Ինչպե՞ս է այն կախված ջերմաստիճանից: Ինչպե՞ս այն կփոխվի, եթե ջրածնից թթվածնին անցում կատարվի:
- **79.** Որն է կոչվում իդեալական գազի մոլեկուլների միջին թվաբանական արագություն:
- **80.** Նույն գազի համար, տվյալ ջերմաստիճանում, համեմատեք մոլեկուլների միջին քառակուսային և ամենահավանական արագությունները:
- **81.** Հայտնի է, որ նորմալ պայմաններում գազի մոլեկուլների միջին արագությունները կազմում են մի քանի հարյուր մետր վայրկյանում: Սակայն հոտը օդում տարածվում է շատ անգամ փոքր արագությամբ: Ինչու՞ :
- **82.** Գրեք բարոմետրական բանաձևը և պարզաբանեք նրանում եղած նշանակումները: Շփումն անտեսեք:

- 83. Ո՞րն է կոչվում համասեռ մթնոլորտի բարձրություն և ինչի՞ պայն հավասար $0^\circ C$ -ում:
- 84. Երկու տարբեր ջերմաստիճանների համար գրաֆիկորեն պատկերեք օդի ճնշման կախումը բարձրությունից:
- 85. Իդեալական գազի մոլեկուլների համար գրեք Բոլցմանի բաշխման ֆունկցիան և պարզաբանեք նրանում եղած նշանակումները:.
- 86. Դիտարկենք ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող գազը: Էներգիայի պահպանման օրենքի համաձայն, դեպի վերև շարժվող մոլեկուլների կինետիկ էներգիան նվազում է: Սակայն գազի ջերմաստիճանը և մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան կախված չեն բարձրությունից: Բացատրեք այս հակասությունը:
- 87. Նկարագրեք բրոունյան մասնիկի դիտման վերաբերյալ Ժ. Պերենի հայտնի փորձը, որը հնարավորություն է տվել որոշել Բոլցմանի հաստատունը (և դրա հետ կապված՝ Ավոգադրոյի հաստատունը):
- 88. Կարելի՞ է արդյոք Բոլցմանի բաշխումը կիրառել բրոունյան մասնիկների նկատմամբ:
- 89. Բացատրեք, թե ինչու՞ մեծ մոլորակները (Երկիրը պայմանականորեն կարելի է համարել դրանցից մեկը) կարողացել են պահել իրենց մթնոլորտը, իսկ փոքրերը՝ ոչ: (Ցուցում. Երկրի համար երկրորդ տիեզերական արագությունը 11,2 կմ/վ է, իսկ Լուսնի համար՝ 2,4 կմ/վ):
- 90. Բարձրությունից կախված ինչպե՞ս է փոփոխվում օդի բաղադրությունը:
- 91. Մեկնաբանեք $\int_{v_0}^{\infty} f(v) dv$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
- 92. Մեկնաբանեք $\int_0^{v_0} f(v) dv$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
- 93. Մեկնաբանեք $\int_0^{\varepsilon_0} f(\varepsilon) d\varepsilon$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ

- $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
- 94. Մեկնաբանեք $\int_{\varepsilon_0}^{\infty} f(\varepsilon) d\varepsilon$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
 - 95. Մեկնաբանեք $f(v) dv$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
 - 96. Մեկնաբանեք $f(\varepsilon) d\varepsilon$ մեծության ֆիզիկական իմաստը, որտեղ $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է:
 - 97. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի ըստ արագությունների մոլեկուլների Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի նորմավորումը՝ $\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$:
 - 98. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման $f(\varepsilon)$ ֆունկցիայի նորմավորումը՝ $\int_0^{\infty} f(\varepsilon) d\varepsilon = 1$:
 - 99. Ի՞նչ կապ կա տվյալ գազի մասնիկների միջին թվաբանական արագության և այդ գազում մեխանիկական ալիքի տարածման արագության միջև:
 - 100. Ի՞նչ կապ կա տվյալ գազի մասնիկների միջին քառակուսային արագության և այդ գազում մեխանիկական ալիքի տարածման արագության միջև:

Հիմնավորեք պնդումների ճիշտ և սխալ լինելը

1.1. ա) Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական դրույթներն են. **1.** Նյութը կազմված է մասնիկներից՝ ատոմներից և մոլեկուլներից: **2.** Ատոմներն ու մոլեկուլները գտնվում են անընդհատ, քառսային (ջերմային) շարժման մեջ: **3.** Նյութը կազմող մասնիկները փոխազդում են իրար հետ, **բ)** Եթե տվյալ նյութի մոլեկուլի զանգվածը m_0 է, ապա այդ

նյութի զանգվածը կլինի՝ $m = m_0 N$, իսկ մոլային զանգվածը՝ $M = m_0 N_u$, որտեղ N -ը մասնիկների (ատոմների, մոլեկուլների) թիվն է, իսկ N_u -ն՝ Ավոգադրոյի հաստատունը, **գ)** t ժամանակամիջոցում բրոունյան մասնիկի բազմաթիվ բախումների արդյունքում որոշակի ուղղությամբ կատարված $|\Delta x|$ տեղափոխության մոդուլն ուղիղ համեմատական է այդ ժամանակամիջոցի $3/2$ աստիճանին՝ $|\Delta x| \sim t^{3/2}$; **դ)** Եթե նույն իդեալական գազի երեք վիճակները (V, T) կոորդինատական հարթության վրա ունեն Նկ.1.17-ում բերված դասավորությունը, ապա այդ գազն ամենամեծ ճնշումով օժտված կլինի 2 վիճակում:

1.2. ա) Ատոմների չափերը մի քանի անգստրեմի ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{մ}$) կարգի մեծություններ են; **բ)** Նյութի քանակի $\nu = N/N_u$ սահմանումից հետևում է, որ այն հավասար է նյութի m զանգվածի և M մոլային զանգվածի հարաբերությանը՝ $\nu = m/M$; **գ)** Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ բրոունյան շարժման ուժգնությունը թուլանում է, որի հետևանքով բրոունյան մասնիկի հաջորդական դիրքերը միացնող բեկյալը կանոնավոր տեսք է ընդունում; **դ)** Եթե նույն իդեալական գազի երեք վիճակները (V, T) կոորդինատական հարթության վրա ունեն Նկ.1.17-ում բերված դասավորությունը, ապա այդ գազն ամենափոքր ճնշումով օժտված կլինի 3 վիճակում:

1.3. ա) Նյութի հարաբերական մոլեկուլային զանգված՝ M_r , անվանում են նյութի մոլեկուլի զանգվածի և ածխածնի ատոմի զանգվածի $1/12$ մասի հարաբերությանը՝ $M_r = \frac{m_0}{m_{0C}/12}$; **բ)** Նյութի քանակի $\nu = N/N_u$ սահմանումից հետևում է, որ այն հավասար է մոլային զանգվածի և նյութի զանգվածի հարաբերությանը՝ $\nu = m/M$; **գ)** Բրոունյան մասնիկի խտությունը պետք է մոտ լինի այն միջավայրի խտությանը, որում նա գտնվում է; **դ)** Եթե նույն իդեալական գազի երեք վիճակները (p, V) կոորդինատական հարթության վրա ունեն Նկ.1.18-ում բերված դասավորությունը, ապա այդ գազն ամենաբարձր ջերմաստիճանով օժտված կլինի 2 վիճակում:

1.4. ա) Գազի տրված ծավալի դեպքում ավելի բարձր ջերմաստիճանով իզոթերմին համապատասխանում է ավելի մեծ ճնշում; **բ)** Եթե նյութի M մոլային զանգվածը բաժանենք ρ խտության վրա, ապա կստանանք այդ

նյութի մեկ մոլի ծավալը, որին անվանում են մոլային ծավալ՝ $V_M = \frac{M}{\rho}$, **զ)** (p,V) կոորդինատական հարթության վրա իզոթերմ պրոցեսն արտահայտող հիպերբոլի ճյուղը (իզոթերմը) ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում մոտենում է ճնշման և ծավալի առանցքներին; **դ)** Հեղուկում կամ գազում <<կախված>> բրոունյան մասնիկի շարժման պատահական, քառային բնույթը պայմանավորված է հեղուկի կամ գազի մոլեկուլների քառային շարժմամբ:

1.5. ա) Ածխածնի ատոմի զանգվածի $1/12$ մասին՝ $m_C/12$, անվանում են զանգվածի ատոմական միավոր (1գ.ա.մ.), **բ)** Իդեալական գազի մոլեկուլների մեծ մասն օժտված է $v_h = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$ արագությամբ, որին անվանում են ամենահավանական արագություն, որտեղ k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունն է, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, իսկ m_0 -ն՝ մեկ մոլեկուլի զանգվածը; **զ)** Բոլոր նոսր գազերի համար γ ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը նույնն է և 0°C -ում $\gamma \approx \frac{1}{273^\circ\text{C}}$ (Շառլի օրենք); **դ)** Իդեալական գազը կարելի է պատկերացնել որպես անվերջ փոքր շառավղով կոշտ գնդիկների հանրություն, որոնց փոխազդեցության միակ մեխանիզմը առաձգական բախումներն են:

1.6. ա) Նյութի քանակ կոչվում է տվյալ մարմնում պարունակվող մոլեկուլների N թվի և Ավոգադրոյի N_A հաստատունի հարաբերությունը՝ $\nu = \frac{N}{N_A}$; **բ)** Մաքսվելյան $f(v)$ բաշխվածության այն տիրույթում, որտեղ գազի մոլեկուլների արագությունները մեծ են ամենահավանական արագությունից, այդ ֆունկցիայի ածանցյալը բացասական է՝ $\frac{\partial f(v)}{\partial v} < 0$; **զ)** Հեղուկի կամ գազի մոլեկուլների (ատոմների) անկանոն շարժման անվանում են բրոունյան շարժում; **դ)** Իդեալական գազի ծավալային ընդարձակման $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ գործակցի բանաձևից հետևում է, որ $\alpha = \frac{1}{273^\circ\text{C}}$:

1.7. ա) Նյութի քանակ կոչվում է Ավոգադրոյի N_A հաստատունի և տվյալ մարմնում պարունակվող մոլեկուլների N թվի հարաբերությունը՝ $\nu = N/N_A$; **բ)** Քանի որ ջրի M մոլային զանգվածը հավասար է $0,018$ կգ/մոլ-ի, իսկ խտությունը 1000 կգ/մ³, ուստի ջրի մոլային ծավալը կլինի՝ $V_M = \frac{M}{\rho} = 18 \cdot 10^{-6}$ մ³/մոլ; **զ)** (p,t) կոորդինատական հարթության վրա նոսր գազի իզոխոր պրոցեսի գրաֆիկն ուղիղ գիծ է, որի անկյունային գործակիցը $p_0\gamma$ -ն է, որտեղ p_0 -ն գազի ճնշումն է 0°C ջերմաստիճա-

նում, իսկ $\gamma \approx \frac{1}{273^{\circ}C}$ -ն՝ ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը; **դ)** $\int_{v_0}^{\infty} f(v)dv$ մեծությունը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց արագությունները մեծ են որևէ v_0 արժեքից:

1.8. ա) 0,012կգ ածխածնում պարունակվող ատոմների թիվը հանդիսանում է Ավոգադրոյի N_A հաստատունը՝ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ մոլ⁻¹; **բ)** Ֆարենհայտի t_F ջերմաստիճանը Ցելսիուսի սանդղակի t ջերմաստիճանի հետ կապված է $t_F = 32 + 1,8t$ առնչությամբ; **գ)** Դիֆուզիայի արագությունը կախված է ներթափանցող նյութերի խտությունից: Գազերի դեպքում որքան մեծ է խտությունը, այնքան փոխադարձ ներթափանցումն արագ է կատարվում; **դ)** Եթե անոթներից մեկում գտնվում է թթվածին ($M=32$ գ/մոլ), մյուսում ջրածին ($M=2$ գ/մոլ) և գազերի ջերմաստիճանները նույնն են, ապա ջրածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը 16 անգամ մեծ կլինի թթվածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունից:

1.9. ա) Գազի մոլեկուլների արագությունների բաշխվածության Մաքսվելի $f(v)$ ֆունկցիան $v = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$ արժեքի դեպքում ունի մաքսիմում: Այսինքն, արագության այդ արժեքի համար $\frac{\partial f(v)}{\partial v} = 0$; **բ)** Եթե երեք հավասար զանգված ունեցող տարբեր գազերի (որոնց մոլային զանգվածներն են M_1 , M_2 և M_3) խառնուրդ ստեղծենք, ապա այդ խառնուրդի M մոլային զանգվածը կլինի $M = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{3}$; **գ)** Իդեալական գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունն ուղիղ համեմատական է գազի բացարձակ ջերմաստիճանին՝ $\bar{v}_p \sim T$; **դ)** Իրական գազը կարելի է համարել իդեալական, եթե նրա մոլեկուլների ձգողությամբ պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան մոդուլով շատ փոքր լինի մոլեկուլների քառասանյին շարժման միջին կինետիկ էներգիայից:

1.10. ա) Մոլային զանգված կոչվում է մեկ մոլ նյութի զանգվածը; **բ)** Բրոունյան մասնիկը այնքան փոքր է, որ անգեն աչքով անտեսանելի է, և տեսանելի է դառնում 500-ից 600 անգամ խոշորացնող մանրադիտակի օգնությամբ; **գ)** Դիֆուզիայի արագությունը կախված է նյութի ագրեգատային վիճակից: Հեղուկ վիճակում դիֆուզիան ավելի արագ է ընթանում, քան՝ գազային, **դ)** Իդեալական գազի իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը՝ $\beta = -\frac{1}{v_0} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T$, կախված է V_0 ելակետային ծավալից:

1.11. ա) Ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի փոփոխությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կոչվում է իզոբար պրոցես; **բ)** Եթե գազի զանգվածի մի կեսն ունի M_1 մոլային զանգված, իսկ մյուս կեսը M_2 , ապա դրանց խառնուրդի մոլային զանգվածը կլինի՝ $M = \sqrt{M_1 M_2}$; **գ)** Իդեալական գազի ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը՝ $\gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$, իզոխոր պրոցեսում կախված է գազի $\nu = m/M$ նյութի քանակից; **դ)** Տրված քանակով գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալը իզոթերմ պրոցեսում մնում է հաստատուն՝ $pV = \text{const}$, երբ $m = \text{const}$, $t = \text{const}$ (Բոյլ-Մաքսուելի օրենք):

1.12. ա) $\int_0^{\varepsilon_0} f(\varepsilon) d\varepsilon$ մեծությունը, որտեղ $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = 0,5 m_0 v^2$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց կինետիկ էներգիաները փոքր են որևէ ε_0 արժեքից; **բ)** Բրոունյան մասնիկի բնութագրական չափը $d_{\text{բն}} \approx 10^{-6}$ մ է, հետևաբար այն պարունակում է $\approx 10^9 \div 10^{12}$ մոլեկուլ; **գ)** Իդեալական գազի α ծավալային ընդարձակման գործակիցը իզոբար պրոցեսի դեպքում՝ $\alpha = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p$, կախված է p_0 ելակետային ճնշումից; **դ)** Միևնույն գազի երկու կամայական վիճակների համար, որոնք բնութագրվում են p_1, V_1, t և p_2, V_2, t պարամետրերով, Բոյլ-Մարիոտի օրենքը կլինի՝ $p_1, V_1 = p_2, V_2$:

1.13. ա) Եթե նույն իդեալական գազի երեք վիճակները (p, T) կոորդինատական հարթության վրա ունեն Նկ.1.13-ում բերված դասավորությունը, ապա այդ գազն ամենամեծ ծավալով օժտված կլինի 3 վիճակում; **բ)** Եթե գազի մոլեկուլները համարակալենք և դրանց արագության մոդուլները համապատասխանաբար նշանակենք v_1, v_2, \dots, v_N -ով, ապա $\bar{v} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_N}{N}$ կլինի միջին թվաբանական արագությունը, որտեղ N -ը գազի մոլեկուլներ թիվն է; **գ)** Եթե տրված զանգվածով նոսր գազի (իդեալական գազի) պարամետրերից որևէ մեկը մնում է հաստատուն, ապա քանակական կապերը մնացած երկու պարամետրերի միջև կոչվում են հիմնական գազային օրենքներ; **դ)** Եթե տաք և սառ օդն ունեն նույն ճնշումը, ապա դրանց խտություններն իրար հավասար են:

1.14. ա) Եթե ջերմադինամիկական համակարգը հանդիսանում է տարբեր գազերի խառնուրդ, ապա այդ համակարգի վիճակը նկարարագրելու համար բացի <<ճնշում>>, <<ծավալ>>, <<ջերմաստիճան>> պարամետրերից անհրաժեշտ է իմանալ յուրաքանչյուր գազի կոնցենտրացի-

ան խառնուրդում; **բ)** Գազի p ճնշումը միավոր ժամանակում՝ միավոր մակերեսին գազի մոլեկուլների կողմից հաղորդված իմպուլսն է; **գ)** $f(\varepsilon)d\varepsilon$ մեծությունը, որտեղ $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց կինետիկ էներգիաներն ընկած են ε -ից $\varepsilon + d\varepsilon$ միջակայքում; **դ)** Նյութի մոլեկուլների միջև հեռավորության մեծացմանը զուգընթաց միջմոլեկուլային վանողության ուժը մեծանում է, իսկ ձգողությանը՝ փոքրանում:

1.15. ա) Եթե միատոմ իդեալական գազի ծավալը փոքրանա m անգամ, իսկ մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան մեծանա n անգամ, ապա գազի ճնշումը կմեծանա m/n անգամ; **բ)** Եթե գազի ծավալը 0°C ջերմաստիճանում հավասար է V_0 -ի, իսկ $t^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ V -ի, ապա $\alpha = \frac{V-V_0}{V_0 t}$ մեծությունը իրենից կներկայացնի ծավալի հարաբերական փոփոխությունը 1°C -ով ջերմաստիճանը փոփոխելիս: Այս մեծությանն անվանում են ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից; **գ)** Գազի p ճնշումը միավոր ժամանակում միավոր մակերեսին գազի մոլեկուլների կողմից ազդող ուժն է; **դ)** Եթե իդեալական գազի ջերմաստիճանը բարձրանա $t_1^\circ\text{C}$ -ից մինչև $t_2^\circ\text{C}$, ապա մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան կաճի $\frac{t_2-t_1}{t_1} 100\%$ -ով:

1.16. ա) Ջերմաստիճանը մակրոսկոպական մարմիններում մոլեկուլների քառասային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի չափն է; **բ)** $f(v)dv$ մեծությունը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց արագությունները ընկած են v -ից $v+dv$ միջակայքում; **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգը գտնվում է արտաքին զրավիտացիոն, էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտում, ապա այդ համակարգի վիճակը նկարագրելու համար բացի <<ճնշում>>, <<ծավալ>>, <<ջերմաստիճան>> պարամետրերից անհրաժեշտ է իմանալ նաև այդ դաշտերի բնութագրերը; **դ)** Իրարից r հեռավորության վրա գտնվող երկու միատեսակ ատոմների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան սովորաբար տալիս են $W_{\text{պ}}(r) = 4w_0 \left(\left(\frac{l_0}{r} \right)^{12} - \left(\frac{l_0}{r} \right)^6 \right)$ արտահայտությամբ, որը կոչվում է Լենարդ-Ջոնսի պոտենցիալ: Այդ բանաձևում l_0 -ն ունի

երկարության չափողականություն, իսկ w_0 -ն՝ էներգիայի: Դրանք տարբեր ատոմների համար ունեն տարբեր արժեք:

1.17. ա) t ժամանակամիջոցում բրոունյան մասնիկի բազմաթիվ բախումների արդյունքում որոշակի ուղղությամբ կատարված $|\Delta x|$ տեղափոխության մոդուլն ուղիղ համեմատական է այդ ժամանակամիջոցի $1/2$ աստիճանին՝ $|\Delta x| \sim t^{1/2}$; **բ)** Ատոմների հեռավորությունն իրարից մեծացնելիս ձգողության ուժերը նվազում են վանողության ուժերից դանդաղ և երբ ատոմների կենտրոնների r հեռավորությունը դառնում է ավելի մեծ, քան ատոմների d տրամագիծը՝ $r > d$, ձգողության ուժերը մոդուլով գերազանցում են վանողության ուժերին և արդյունաբար ուժը դառնում է ձգողական ուժ; **գ)** Գազի տրված ծավալի դեպքում ավելի բարձր ջերմաստիճանով իզոթերմին համապատասխանում է ավելի փոքր ճնշում; **դ)** Ըստ մոլեկուլայինկենտրոնի տեսության՝ այն սահմանային ջերմաստիճանը, որի դեպքում իդեալական գազի ծավալը դառնում է հավասար զրոյի, կոչվում է բացարձակ զրո ջերմաստիճան:

1.18. ա) Եթե գազի զանգվածի մի կեսն ունի M_1 մոլային զանգված, իսկ մյուս կեսը՝ M_2 , ապա դրանց խառնուրդի մոլային զանգվածը կլինի՝ $M = \frac{M_1 + M_2}{2}$; **բ)** $\int_0^{v_0} f(v) dv$ մեծությունը, որտեղ $f(v)$ -ն ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց արագությունները փոքր են որևէ v_0 արժեքից; **գ)** Դիֆուզիայի արագությունը կախված է ներթափանցող նյութերի խտությունից: Որքան փոքր է նյութի խտությունը, այնքան մեծ է մոլեկուլների ազատ վազքի երկարությունը և փոխադարձ ներթափանցումն արագ է կատարվում; **դ)** Եթե իդեալական գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան հավասար է \overline{W}_h -ի, ապա գազի բացարձակ ջերմաստիճանը կլինի՝ $T = \frac{2\overline{W}_h}{3k}$, որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է:

1.19. ա) Հեղուկում կամ գազում <<կախված>> վիճակում գտնվող բրոունյան մասնիկի անկանոն շարժմանն անվանում են բրոունյան շարժում; **բ)** Եթե նույն իդեալական գազի երեք վիճակները (p, ρ) կոորդինա-

նատական հարթության վրա ունեն Նկ.1.23-ում բերված դասավորությունը, ապա այդ գազն ամենաբարձր ջերմաստիճանով օժտված կլինի 3 վիճակում; **զ)** Եթե իդեալական գազը իզոբար կերպով ընդարձակվի, ապա արագությունների Մաքսվելյան բաշխվածության $f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումի դիրքը կտեղաշարժվի դեպի փոքր արագությունների տիրույթը; **դ)** Եթե իդեալական գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան հավասար է \overline{W}_h -ի, ապա գազի բացարձակ ջերմաստիճանը կլինի՝ $T = \frac{2\overline{W}_h}{3R}$, որտեղ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունն է:

1.20. ա) Նյութի մոլեկուլների քառսային շարժման հետևանքով տարբեր նյութերի ինքնաբերաբար(առանց արտաքին գործոնների ազդեցության) միախառնմանն անվանում են դիֆուզիա; **բ)** Երբ երկու միատեսակ ատոմների կենտրոնների r հեռավորությունը դառնում է ավելի փոքր, քան ատոմների d տրամագիծը՝ $r < d$, ապա ատոմների միջև գործող էլեկտրամագնիսական բնույթի ձգողության ուժերը նույնպես մոդուլով աճում են, սակայն ավելի դանդաղ, քան վանդոդայան ուժերը և արդյունաբար ուժը դառնում է վանդոդական ուժ; **գ)** Եթե իդեալական գազը ադիաբատ կերպով ընդարձակվի, ապա արագությունների Մաքսվելյան բաշխվածության $f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումի դիրքը կտեղաշարժվի դեպի փոքր արագությունների տիրույթը; **դ)** Եթե իդեալական գազն a վիճակից անցնում է b վիճակի Նկ.1.20-ում բերված պրոցեսով, ապա այդ պրոցեսում ճնշումը կմեծանա՝ $p_b > p_a$:

1.21. ա) Քանի որ գազի M մոլային զանգվածի արժեքը կախված է գազի տեսակից, ուստի $pV = mRT/M$ Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից հետևում է, որ իդեալական գազի ճնշումը կախված է գազի տեսակից; **բ)** Երբ երկու միատեսակ ատոմների կենտրոնների r հեռավորությունը դառնում է ավելի մեծ, քան ատոմների d տրամագիծը՝ $r > d$, վանդոդական ուժերն արագորեն նվազում են և գործնականորեն վերանում $r \approx 2d \div 3d$ հեռավորությունների վրա; **գ)** Այն պատահարի հավանականությունը, որ գազի բոլոր մոլեկուլների արագությունները ընկած են 0 -ից ∞ միջակայքում հանդիսանում է հավասարի պատահար, որի հավա-

նականությունը հավասար է 1-ի: Հենց սա է նշանակում ըստ արագությունների մոլեկուլների Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի $\int_0^\infty f(v)dv = 1$ նորմավորումը; **դ)** Տրված զանգվածով իդեալական գազի V ծավալն իզոթեր պրոցեսում t ջերմաստիճանից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով՝ $V = V_0(1 + \alpha t)$ (Գեյ-Լյուսակի օրենք), որտեղ $\alpha \approx \frac{1}{273^\circ C}$, իսկ V_0 -ն՝ գազի ծավալն է $0^\circ C$ ջերմաստիճանում:

1.22. ա) Դիֆուզիայի արագությունը կախված է նյութի ագրեգատային վիճակից: Գազային վիճակում դիֆուզիան ավելի արագ է ընթանում, քան՝ հեղուկ; **բ)** Եթե իդեալական գազի ճնշումը հավասար է p -ի, իսկ կոնցենտրացիան n -ի, ապա այդ գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան կլինի՝ $\overline{W}_h = \frac{3}{2}pn$; **գ)** Իդեալական գազի

մոլեկուլների միջին թվաքանակական արագությունը որոշվում է $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$

առնչությամբ, որտեղ k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունն է, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, իսկ m_0 -ն՝ մեկ մոլեկուլի զանգվածը; **դ)** Եթե արտաքին գործոնները բացակայում են, ապա ջերմային հավասարակշռության վիճակում համակարգի մակրոսկոպական պարամետրերը մնում են անփոփոխ:

1.23. ա) Դիֆուզիայի արագությունը կախված է նյութի ագրեգատային վիճակից: Հեղուկ վիճակում դիֆուզիան ավելի արագ է ընթանում, քան՝ պինդ վիճակում; **բ)** Ջերադինամիկական համակարգն ամբողջությամբ բնութագրող մեծությունները, որոնք չեն արձագանքում առանձին մոլեկուլների ազդեցությանը, կոչվում են մակրոսկոպական կամ ջերմադինամիկական պարամետրեր; **գ)** Այն պատահարի հավանականությունը, որ գազի բոլոր մոլեկուլների համընթաց շարժման կինետիկ էներգիաները ընկած են 0 -ից ∞ միջակայքում հանդիսանում է հավաստի պատահար, որի հավանականությունը հավասար է 1-ի: Հենց սա է նշանակում ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = m_0 v^2 / 2$ կինետիկ էներգիաների բաշխման $f(\varepsilon)$ ֆունկցիայի $\int_0^\infty f(\varepsilon)d\varepsilon = 1$ նորմավորումը; **դ)** Եթե միատոմ իդեալական գազի ծավալը փոքրանա 3 անգամ, իսկ մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան մեծանա 2 անգամ, ապա գազի ճնշումը կմե-

ծանա 6 անգամ:

1.24. ա) Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց դիֆուզիայի արագությունը մեծանում է, քանի որ մեծանում է մոլեկուլների ջերմային շարժման արագությունը; **բ)** Երբ երկու միատեսակ ատոմների կենտրոնների r հեռավորությունը դառնում է ավելի փոքր, քան ատոմների d տրամագիծը՝ $r < d$, այդ ատոմների էլեկտրոնային թաղանթների վերադրման արդյունքում վանողական ուժերը կտրուկ աճում են; **գ)** Ջերմադինամիկական համակարգը նկարագրող մակրոսկոպական պարամետրերի թիվը կախված է այդ համակարգի տեսակից և արտաքին ազդեցություններից; **դ)** $\int_{\varepsilon_0}^{\infty} f(\varepsilon) d\varepsilon$ մեծությունը, որտեղ $f(\varepsilon)$ -ն մոլեկուլների ըստ համընթաց շարժման $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ կինետիկ էներգիաների բաշխման Մաքսվելի նորմավորված ֆունկցիան է, գազի մոլեկուլների այն մասն է, որոնց կինետիկ էներգիաները մեծ են որևէ ε_0 արժեքից:

1.25. ա) Էլեկտրաչեզոք ատոմների (մոլեկուլների) փոխազդեցության ուժերը պայմանավորված են հարևան ատոմների էլեկտրոնների և միջուկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությամբ; **բ)** Տվյալ ջերմաստիճանում գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը մեծ է միջին թվաբանական արագությունից, որն իր հերթին մեծ է ամենահավանական արագությունից՝ $\bar{v}_p > \bar{v} > v_h$; **գ)** Եթե իդեալական գազն a վիճակից անցնում է b վիճակի Նկ.1.21-ում բերված պրոցեսով, ապա այդ պրոցեսում ծավալը կնեծանա՝ $V_b > V_a$; **դ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգում մակրոսկոպական երևույթներ չեն ընթանում, ապա այդ համակարգը գտնվում է ջերմային հավասարակշռության վիճակում:

1.26. ա) Միևնույն նոսր գազի երկու կամայական վիճակների համար, որոնք բնութագրվում են p_1, V_1, T_1 և p_2, V_2, T_2 պարամետրերով, Կլապեյրոնի հավասարումը կլինի՝ $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$; **բ)** Հայտնի է, որ բնակարանը ջեռուցելիս օդի ճնշումը չի փոփոխվում: Այս փաստը հակասում Շառլի օրենքին, քանի որ բնակարանի օդը չի կարելի համարել իդեալական գազ, իսկ այդ օրենքը ճիշտ է իդեալական գազերի համար; **գ)** Եթե

գազի մոլեկուլները համարակալենք և դրանց արագության մոդուլները համապատասխանաբար նշանակենք v_1, v_2, \dots, v_N -ով, ապա $\bar{v}_{\text{բառ}} =$

$$= \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

մեծությունը կլինի միջին քառակուսային արագությունը, որտեղ N -ը գազի մոլեկուլներ թիվն է; **դ)** Իդեալական գազի իզոթերմ սեղմելիության գործակցի $\beta = -\frac{1}{v_0} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T$, բանաձևից ստացվում է, որ $\beta = 1/p$, ինչը նշանակում է, որ իդեալական գազի իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը կախված է ճնշումից, իսկ գազի տեսակից կախված չէ:

1.27. ա) Ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի փոփոխությունը հաստատուն ջերմաստիճանում կոչվում է իզոթերմ պրոցես; **բ)** Ըստ մոլեկուլային-կենետիկ տեսության՝ այն սահմանային ջերմաստիճանը, որի դեպքում իդեալական գազի ճնշումը դառնում է հավասար զրոյի, կոչվում է բացարձակ զրո ջերմաստիճան; **գ)** Իդեալական գազի մասնիկների շարժման միջին քառակուսային արագությունը տրվում է

$\bar{v}_{\text{բառ}} = \sqrt{\frac{3RM}{T}}$ առնչությամբ, որտեղ R -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, իսկ M -ը՝ գազի մոլային զանգվածը; **դ)** R ունիվերսալ գազային հաստատունը հավասար է Ավոգադրոյի հաստատունի և Բոլցմանի հաստատունի հարաբերությանը՝ $R = N_A/k$:

1.28. ա) Հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում գազի ճնշման կախումը ծավալից պատկերող կորը կոչվում է իզոթերմ; **բ)** Ըստ մոլեկուլային-կենետիկ տեսության՝ T բացարձակ ջերմաստիճանը կապված է ատոմների և մոլեկուլների համընթաց քառասային շարժման \overline{W}_h միջին կինետիկ էներգիայի հետ $\overline{W}_h = \frac{3}{2} kT$ առնչությամբ, որտեղ $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ-ն Բոլցմանի հաստատունն է; **գ)** Եթե իդեալական գազը ադիաբատ կերպով սեղմվի, ապա արագությունների Մաքսվելյան բաշխվածության $f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումի դիրքը կտեղաշարժվի դեպի մեծ արագությունների տիրույթ; **դ)** Տրված զանգվածով գազի խտությունն իզոթերմ պրոցեսում հակադարձ համեմատական է գազի ճնշմանը՝

$\rho \sim 1/p$:

1.29. ա) Կելվինի T ջերմաստիճանը Ցելսիուսի սանդղակի t ջերմաստիճանի հետ կապված է $T = t + 273$ առնչությամբ; **բ)** Եթե տրված է գազի V ծավալը, մոլեկուլների N թիվը և դրանց համընթաց շարժման \overline{W}_h միջին կինետիկ էներգիան, ապա գազի p ճնշումը կլինի՝ $p = \frac{2V\overline{W}_h}{3N}$; **գ)** Մաքսվելյան $f(v)$ բաշխվածության այն տիրույթում, որտեղ գազի մոլեկուլների արագությունները փոքր են ամենահավանական արագությունից, այդ ֆունկցիայի ածանցյալը դրական է՝ $\frac{\partial f(v)}{\partial v} > 0$; **դ)** Իդեալական գազի մեկ մոլի ծավալի և ճնշման արտադրյալի հարաբերությունը գազի բացարձակ ջերմաստիճանին՝ հաստատուն մեծություն է բոլոր գազերի համար: Այդ հաստատուն մեծությունը $R = 8,31 \text{ Ջ/(մոլ} \cdot \text{Կ)}$ գազային ունիվերսալ հաստատունն է:

1.30. ա) Նյութի մեկ մասնիկի պտտական շարժման միջին կինետիկ էներգիան տրվում է $\overline{W}_{\text{պտ}} = \frac{i_{\text{պտ}}}{2} kT$ առնչությամբ, որտեղ $i_{\text{պտ}}$ -ը մասնիկի պտտական ազատության աստիճանների թիվն է, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ/Կ} \cdot \text{ն}^{\circ}$ Բոլցմանի հաստատունը, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը; **բ)** Եթե իդեալական գազի ջերմաստիճանը հավասար է T -ի, իսկ մոլեկուլների արագություններն ունեն Մաքսվելի բաշխում, ապա երկու մոլեկուլների հարաբերական արագության մոդուլի միջին արժեքը կորոշ-

վի $\overline{v}_{\text{հար}} = \sqrt{\frac{16kT}{\pi m_0}}$ Բանաձևով, որտեղ m_0 -ն մոլեկուլի զանգվածն է; **գ)**

Տվյալ ջերմաստիճանում գազի մոլեկուլների կեսից ավելին օժտված են ամենահավանական արագությունից մեծ արագությամբ; **դ)** Եթե երկու մարմին առանձին-առանձին ջերմային հավասարակշռության մեջ են գտնվում երրորդ մարմնի հետ, ապա երեքն էլ ունեն միևնույն ջերմաստիճանը:

§2. Ջերմադինամիկա: Աշխատանքը տարբեր պրոցեսներում

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ներքին էներգիա

Մակրոսկոպական մարմնի ներքին էներգիան հավասար է մարմինը կազմող բոլոր մասնիկների՝ մարմնի զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ քառասային շարժման կինետիկ և բոլոր մասնիկների՝ միմյանց հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարին: Ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան ընդհանուր դեպքում կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U = U(V, T)$:

Իդեալական գազի դեպքում՝ $U = U(T)$:

• Իդեալական գազի ներքին էներգիան.

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (2.1)$$

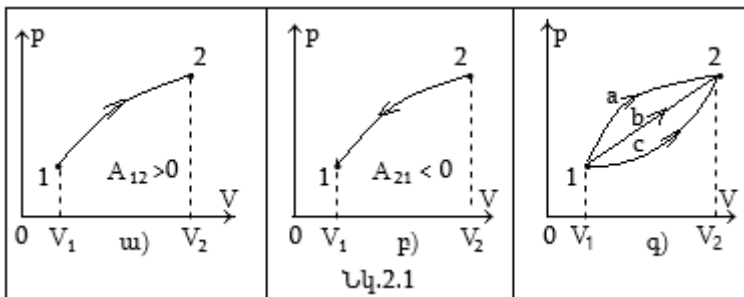
որտեղ i -ն մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է, R -ը՝ գազային հիմնարար հաստատունը, ν -ն՝ նյութի քանակը, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

2. Աշխատանքը ջերմադինամիկայում

• Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը.

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV: \quad (2.2)$$

(p, V) հարթության վրա գազի աշխատանքը թվապես հավասար է $p=$

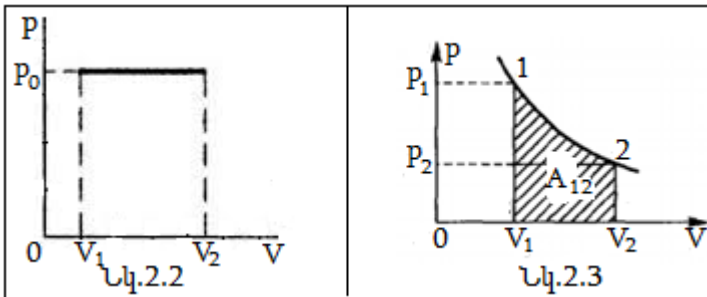


$=p(V)$ գրաֆիկի տակի մակերեսին, որն ընկած է V_1 -ից V_2 միջակայքում (Նկ2.1):

• **Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը իզոբար պրոցեսում.**

$$A = p_0(V_2 - V_1); \quad A = \nu R(T_2 - T_1); \quad (2.3)$$

որտեղ p_0 -ն ճնշումն է, իսկ T_1 -ը և T_2 -ը՝ սկզբնական և վերջնական ջերմաստիճանները (Նկ2.2):



• **Իդեալական գազի ընդարձակման աշխատանքը իզոթերմ պրոցեսում (Նկ.2.3).**

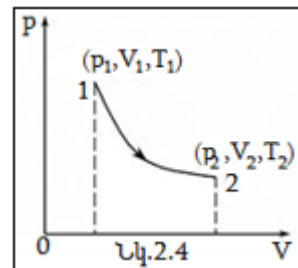
$$A_{12} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} : \quad (2.4)$$

3. Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (օրենքը)

Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը պնդում է՝

1. Ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան հանդիսանում է վիճակի միարժեք ֆունկցիա: Սա նշանակում է, որ 1 վիճակից կամայական պրոցեսով 2 վիճակը անցնելիս (Նկ.2.4) ներքին էներգիայի փոփոխությունը նույնն է, և

$$\Delta U = U_2(p_2, V_2, T_2) - U_1(p_1, V_1, T_1):$$



2. Համակարգի ներքին էներգիայի փոփո-

խությունը հավասար է նրա նկատմամբ արտաքին ուժերի կողմից կատարած A' աշխատանքի և այդ համակարգին հաղորդած կամ նրանից վերցրած Q ջերմաքանակի գումարին՝

$$\Delta U = Q + A': \quad (2.5)$$

Եթե նկատի ունենանք, որ համակարգի նկատմամբ կատարված A' աշխատանքը հավասար է համակարգի կողմից արտաքին ուժերի դեմ կատարած A աշխատանքին հակառակ նշանով՝ $A = -A'$, ապա կունենանք՝

$$Q = \Delta U + A: \quad (2.6)$$

Այսինքն, ջերմադինամիկական համակարգի կողմից ստացած ջերմաքանակը ծախսվում է նրա ներքին էներգիան փոփոխելու և արտաքին ուժերի դեմ աշխատանք կատարելու վրա: (2.5) կամ (2.6) առնչությունները հանդիսանում են ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի ինտեգրալ տեսքը:

- **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը իդեալական գազի իզոպրոցեսներում**

ա) Իզոթերմ պրոցես.

Այս պրոցեսի համար $\Delta U = 0$ և կունենանք՝

$$Q = A_{12} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}: \quad (2.7)$$

բ) Իզոբար պրոցես.

$$Q = \Delta U + p(V_2 - V_1): \quad (2.8)$$

գ) Իզոխոր պրոցես.

$$Q = \Delta U: \quad (2.9)$$

- **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի դիֆերենցիալ տեսքը.**

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (2.10)$$

որտեղ δQ -ն անվերջ փոքր (տարրական) ջերմաքանակն է, dU -ն՝ ներքին էներգիայի տարրական փոփոխությունը, որը լրիվ դիֆերենցիալ է՝ $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$, իսկ δA -ն՝ տարրական աշխատանքը: A -ն և Q -ն պրոցեսից կախված մեծություններ են, այդ պատճառով դրանց տարրական արժեքները լրիվ դիֆերենցիալ չեն և գրվել են δA և δQ տեսքով: Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը հանդիսանում է էներգիայի պահպանման օրենքը ջերմային երևույթներում:

- **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը** T և V փոփոխականներով՝

$$\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] dV : \quad (2.11)$$

- **Առաջին սեռի հավերժական շարժիչի անհնարիությունը**

Առաջին սեռի հավերժական շարժիչ կոչվում է այն համակարգը, որն արտաքինից էներգիա չստանալով կարող է հավերժ աշխատանք կատարել: Եթե համակարգին ջերմաքանակ Q հաղորդվում, ապա համակարգի կողմից կատարված աշխատանքը կլինի՝ $A = -\Delta U$: Այսինքն, առավելագույն աշխատանքը կարող է հավասար լինել համակարգի ներքին էներգիային, որից հետո ջերմային շարժիչը կանգ կառնի: Իրականում հնարավոր առավելագույն աշխատանքը միշտ փոքր է համակարգի ներքին էներգիայից: Այսպիսով, ջերմադինամիկայի առաջին օրենքն արգելում է առաջին սեռի հավերժական շարժիչների գոյությունը:

4. Ջերմունակություն

Ջերմունակություն կոչվում է այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է համակարգի ջերմաստիճանը 1°C -ով փոփոխելու համար.

$$C = \frac{\delta Q}{dT} : \quad (2.12)$$

Քանի որ δQ -ն կախված է պրոցեսի ընթացքից, ուստի C -ն պրոցեսի ֆունկցիա է, դրա միավորը $\text{ՄՋ/}^\circ\text{C}$:

Միավոր զանգվածի ջերմունակությունը կոչվում է տեսակարար ջերմունակություն՝ $c = C/m$, դրա միավորը $\text{ՄՋ/կգ}^\circ\text{C}$: Գործնականում առավել նշանակություն ունեն C_p և C_V (ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման և հաստատուն ծավալի դեպքում): Այն ջերմադինամիկական համակարգը, որի $C \rightarrow \infty$, կոչվում է թերմոստատ:

- **Ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում.**

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V : \quad (2.13)$$

- Իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում.

$$C_V = \frac{i}{2} \nu R : \quad (2.14)$$

- Զերմոնականությունը հաստատուն ճնշման դեպքում.

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p : \quad (2.15)$$

կամ

$$C_p - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p : \quad (2.16)$$

- Իդեալական գազի ջերմունականությունը հաստատուն ճնշման դեպքում.

$$C_p = C_V + \nu R = \frac{i}{2} \nu R + \nu R : \quad (2.17)$$

- Տաքացման և սառեցման ջերմաքանակը.

$$Q = cm(T_2 - T_1) = C_\mu \sqrt{T_2 - T_1}, \quad (2.18)$$

որտեղ C_μ -ն մոլային ջերմունականությունն է, դրա միավորը ՄՀ-ում $1 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot ^\circ\text{C}}$:

Մոլային և տեսակարար ջերմունականությունները կապված են $C_\mu = cM$ առնչությամբ, որտեղ M -ը մոլային զանգվածն է:

- Զերմային հաշվեկշռի հավասարումը.

$$\sum_i Q_i = 0, \quad (2.19)$$

որտեղ Q_i -ն համակարգի որևէ մասի ստացած կամ տված ջերմաքանակն է: Ընդունված է համակարգի ստացած ջերմաքանակը համարել դրական՝ $Q > 0$, իսկ տվածը՝ $Q < 0$: Այս հավասարումը ճիշտ է մարմինների ջերմամեկուսացված համախմբի համար, երբ դրանց միջև տեղի ունի միայն ջերմափոխանակում:

- Բյուրեղային մարմնի հալման և հեղուկի բյուրեղացման ջերմաքանակը.

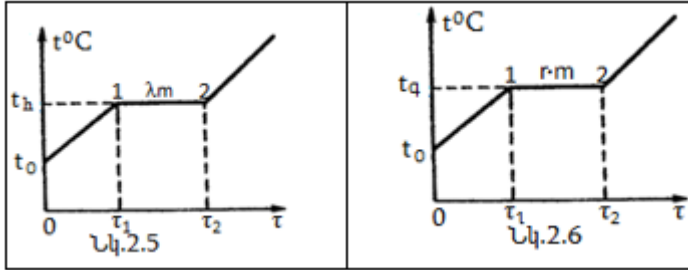
$$Q = \pm \lambda m, \quad (2.20)$$

որտեղ λ -ն մարմնի հալման տեսակարար ջերմությունն է, դրա միավորը ՄՀ-ում 1Ջ/կգ : Դրական նշանը վերաբերում է հալմանը, իսկ բացասականը՝ բյուրեղացմանը: Նկ.2.5-ում բերված է բյուրեղային մարմնի ջերմաստիճանի կախումը ժամանակից, երբ այդ մարմնին անընդհատ ջերմաքանակ է հաղորդվում:

- Հեղուկի շոգեգոյացման և գոլորշու կոնդենսացման (խտացման) ջերմաքանակը.

$$Q = \pm rm, \quad (2.21)$$

որտեղ r -ը շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է: Դրական նշանը վերաբերվում է շոգեգոյացմանը, իսկ բացասականը՝ գոլորշու կոնդենսացմանը: Նկ.2.6-ում բերված է հեղուկի ջերմաստիճանի կախումը ժամանակից, երբ նրան անընդհատ ջերմաքանակ է հաղորդվում:



- Վառելանյութի այրումից անջատված ջերմաքանակը.

$$Q = qm, \quad (2.22)$$

որտեղ q -ն վառելանյութի այրման տեսակարար ջերմությունն է:

5. Ադիաբատ պրոցես

Ջերմամեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսը կոչվում է ադիաբատ: Ադիաբատ պրոցեսում $Q = 0$:

- Ադիաբատ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + \gamma \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV = 0, \quad (2.23)$$

որտեղ $\gamma = C_p/C_V$ և կոչվում է ադիաբատի գործակից:

- Իդեալական գազի ադիաբատ պրոցեսի առնչությունները.

$$pV^\gamma = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}; \quad \frac{p^{\gamma-1}}{T^\gamma} = \text{const}, \quad (2.24)$$

որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = (i+2)/i$ -ն Պուասոնի գործակիցն է:

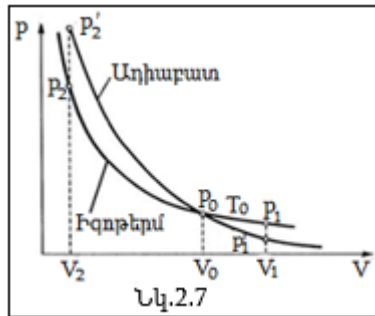
- Իդեալական գազի աշխատանքը ադիաբատ պրոցեսում.

$$A = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]: \quad (2.25)$$

Նկ.2.7-ում բերված է նույն գազի հետ իրականացրած ադիաբատ և իզոթերմ պրոցեսների գրաֆիկների դասավորությունը: Այդ գրաֆիկի օգնությամբ կարելի է հետևություններ անել ադիաբատ և իզոթերմ սեղմման ու ընդարձակման աշխատանքների համեմատության մասին:

6. Պոլիտրոպ պրոցես

Այն պրոցեսը, որում ջերմունակությունը մնում է հաստատուն, կոչվում է պոլիտրոպ:



- Պոլիտրոպ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + \frac{c_p - c}{c_V - c} \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV = 0: \quad (2.26)$$

- Իդեալական գազի պոլիտրոպ պրոցեսի առնչությունները.

$$pV^n = \text{const}; \quad TV^{n-1} = \text{const}; \quad \frac{p^{n-1}}{T^n} = \text{const}, \quad (2.27)$$

որտեղ $n = \frac{c - c_p}{c - c_V}$ -ը պոլիտրոպի ցուցիչն է:

- Իդեալական գազի աշխատանքը պոլիտրոպ պրոցեսում.

$$A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]: \quad (2.28)$$

Խնդիրներ Ներքին էներգիա

◻2.1. Որոշեք միատոմ գազի ներքին էներգիան նորմալ պայմաններում՝ ա) $v = 1$ մոլի համար, բ) $V = 1$ ծավալի համար:

◻2.2. Որոշեք $m=20$ գ գազի ներքին էներգիան, որի մասնիկների ազատության աստիճանների թիվը՝ $i=3$, իսկ միջին քառակուսային արագությունը՝ $\bar{v}_p = 500$ մ/վ:

◻2.3. Հաստատուն զանգվածով գազը մի վիճակից մյուսին անցնելուց խտությունը մեծացավ $a=2$ անգամ, իսկ ճնշումը՝ $b=3$ անգամ: Ինչպե՞ս

փոխվեց գազի ներքին էներգիան:

Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը

(իզոխոր պրոցես)

□2.4. Միատոմ գազը գտնվում է $V=20$ լ տարողությամբ փակ անոթում:

Ի՞նչ քանակությամբ ջերմություն կանջատվի, եթե այդ գազի ճնշումը սառեցման հետևանքով փոքրանա $p_1 = 0,6$ ՄՊա-ից մինչև $p_2 = 0,1$ ՄՊա:

□2.5. $m=2,8$ գ զանգված և $t_1 = 23^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան ունեցող ազոտը գտնվում է $V=2$ լ տարողությամբ փակ անոթում: Տաքացնելուց հետո գազի ճնշումը՝ $p=0,5$ ՄՊա: Ի՞նչ ջերմաստիճան ունեցավ գազը և ինչքա՞ն ջերմաքանակ հաղորդեցին դրան:

□2.6. $V=10$ լ տարողությամբ փակ անոթում գտնվող թթվածինն ունի $p_1 = 0,1$ ՄՊա ճնշում և $T_1 = 50^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան: Որոշեք գազի ջերմաստիճանը և ճնշումն այն բանից հետո, երբ դրան հաղորդեցին $Q=1$ կՋ ջերմաքանակ:

□2.7. $\nu = 2$ մոլ քանակությամբ հելիումը $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -ից մինչև $t_2 = 60^\circ\text{C}$ -ը տաքացնելու համար նրան հաղորդեցին $Q=1$ կՋ ջերմաքանակ: Տաքացման պրոցեսում ճնշումն է մնացել հաստատուն, թե՞ ծավալը:

□2.8. Ջերմամեկուսացված անոթը ջերմահաղորդիչ միջնորմով բաժանված է երկու մասի: Դրանցից մեկը լցվում է $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ի $m_1 = 12$ գ հելիումով, իսկ մյուսը՝ $t_2 = 150^\circ\text{C}$ -ի $m_2 = 16$ գ հելիումով: Ի՞նչ ջերմաստիճան կհաստատվի անոթի երկու մասերում և մեկից մյուսին ի՞նչ ջերմաքանակ կհաղորդվի այդ ընթացքում:

Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը

(իզոբար պրոցես)

□2.9. $m=7$ գ զանգվածով ազոտը իզոբար կերպով տաքացրին $\Delta T = 400$ Կ-ով: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը, նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը և նրան հաղորդած ջերմաքանակը:

□2.10. $V_1 = 12$ լ ծավալ և $p=0,1$ ՄՊա ճնշում ունեցող երկատոմ գազն իզոբար կերպով տաքացրին $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -ից մինչև $t_2 = 120^\circ\text{C}$: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը, նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը և նրան հաղորդած ջերմաքանակը:

□2.11. $v=1$ մոլ քանակությամբ գազն իզոբար կերպով $\Delta T = 72^\circ\text{C}$ -ով տաքացնելու համար ծախսվեց $Q=1,6$ կՋ ջերմաքանակ: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը և դրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

□2.12. Միատոմ գազին իզոբար կերպով հաղորդեցին $Q=5$ կՋ ջերմաքանակ: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը և նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

□2.13. $m=0,1$ կգ զանգվածով գազը իզոբար կերպով $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ -ով տաքացնելու համար ծախսվեց $\Delta Q = 300$ Ջ ջերմաքանակ ավել, քան այդ գազը իզոխոր կերպով նույնքան տաքացնելու համար: Որոշեք այդ գազի մոլային զանգվածը:

□2.14. $S=10$ սմ² լայնական հատույթի մակերեսով ուղղաձիգ բաց անոթում $m=1$ կգ զանգվածով միացի տակ գտնվում է հեղիում: Մթնոլորտի ճնշումը՝ $p_0 = 0,1$ ՄՊա: Ի՞նչ ջերմաքանակ պետք է հաղորդել գազին, որպեսզի միացը բարձրանա $h=2$ սմ-ով: Ինչքա՞ն կլինի գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունն այդ ընթացքում:

Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը

(իզոթերմ պրոցես)

□2.15. Միատոմ գազին հաղորդեցին $Q=250$ Ջ ջերմաքանակ՝ ա) իզոբար պրոցեսում, բ) իզոթերմ պրոցեսում, գ) իզոխոր պրոցեսում: Որոշեք գազի աշխատանքը ամեն մի պրոցեսում:

●2.16. Նորմալ պայմաններում գտնվող հեղիումը իզոթերմ կերպով ընդարձակվում է $V_1 = 1$ ծավալից $V_2 = 2$ ծավալը: Որոշեք գազի ստացած ջերմաքանակն այդ պրոցեսում:

●2.17. $m=14$ գ զանգվածով ազոտը իզոթերմ կերպով ընդարձակվում է $t = 17^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում: Այդ պրոցեսում ճնշումը $p_1 = 10$ մթն-ից իջնում է մինչև $p_2 = 1$ մթն: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը:

●2.18. Քանի՞ անգամ մեծացավ ջրածնի ծավալն իզոթերմ ընդարձակման դեպքում, եթե նրան հաղորդվել է $Q=800$ Ջ ջերմաքանակ: Գազի նյութի քանակը՝ $\nu=4$ մոլ, իսկ ջերմաստիճանը՝ $T=300^\circ\text{C}$:

●2.19. $m=10$ գ զանգվածով գազի ծավալն իզոթերմ կերպով մեծացավ $a=2$

անգամ, ընդ որում այդ ընթացքում գազը կատարեց $A=575\text{Ջ}$ աշխատանք: Որոշեք այդ գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը:

■2.20. Ուղղաձիգ գլանում անկշիռ մխոցի տակ գտնվում է $v=1\text{մոլ}$ քանակությամբ գազ, որի ջերմաստիճանը՝ $t=0^\circ\text{C}$: Մխոցից դուրս տարածությունը մթնոլորտն է: Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել՝ ա) մխոցն իզոթերմ կերպով դանդաղ բարձրացնելու համար, որպեսզի գազի ծավալը մեծանա $a=2$ անգամ, բ) մխոցն իզոթերմ կերպով դանդաղ իջեցնելու համար, որպեսզի գազի ծավալը փոքրանա $a=2$ անգամ:

Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը

(ադիաբատ պրոցես)

■2.21. Երկատոմ գազը մի անգամ սեղմեցին ադիաբատ, իսկ մյուս անգամ՝ իզոթերմ կերպով այնպես, որ նրա ծավալը փոքրացավ $a=2$ անգամ: Ո՞ր դեպքում շատ աշխատանք կատարվեց և քանի՞ անգամ, եթե նրանց սկզբնական վիճակներն եղել են նույնը:

■2.22. Ազոտը նորմալ պայմաններում զբաղեցնում էր $V_1 = 5\text{լ}$ ծավալ, ադիաբատ սեղմելուց հետո այն զբաղեցրեց $V_2 = 1\text{լ}$ ծավալ: Որոշեք գազի ջերմաստիճանն ու ծավալը սեղմելուց հետո և նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

■2.23. Դիզելային շարժիչում օդը ադիաբատորեն սեղմվում է մինչև $t_2 = 800^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանը, որը բավարար է վառելանյութի բոցավառման համար: Այդ նպատակով քանի՞ անգամ պետք է փոքրացնել օդի ծավալը և քանի՞ անգամ մեծացնել ճնշումը, եթե օդի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 50^\circ\text{C}$, իսկ ճնշումը՝ $p_1 = 0,1$ ՄՊա: Որոշեք օդի սեղմման աշխատանքը, եթե շարժիչի գլանի ծավալը՝ $V_1 = 1\text{լ}$:

■2.24. $v=1\text{մոլ}$ թթվածինը, որն ուներ $t = 17^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան, ադիաբատ կերպով սեղմվեց այնպես, որ նրա ճնշումը մեծացավ $k=10$ անգամ: Որոշեք գազի ջերմաստիճանը սեղմելուց հետո և սեղմելու վրա կատարված աշխատանքը:

■2.25. Միատոմ գազը նորմալ պայմաններում զբաղեցրել էր $V_1 = 2\text{լ}$

ծավալ: Այդ գազն առանց ջերմափոխանակմամբ ընդարձակվելուց կատարեց $A=35\text{Ջ}$ աշխատանք: Որոշեք գազի ջերմաստիճանը, ծավալը և ճնշումը ընդարձակվելուց հետո:

■**2.26.** Բալոնում գտնվող օդն ունի $T_1=300^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան և $p_1=10$ ՄՊա ճնշում: Որոշեք գազի ճնշումը և ջերմաստիճանը բալոնում այն քանից հետո, երբ դրա կեսն արագ բաց է թողնվում:

■**2.27.** Կոշտ երկատոմ մոլեկուլներից կազմված գազի ծավալը քանի՞ անգամ պետք է ադիաբատ կերպով մեծացնել, որպեսզի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը փոքրանա $a = 2$ անգամ:

■**2.28.** Ադիաբատ կերպով գազը ընդարձակելիս ծավալը մեծացավ $a=2$ անգամ, իսկ բացարձակ ջերմաստիճանը փոքրացավ $b = 1.32$ անգամ: Որոշեք մոլեկուլի ազատության աստիճանների թիվը:

Ջերմունակություն և ադիաբատի ցուցիչ

●**2.29.** Ինչի՞ է հավասար միատոմ գազի տեսակարար ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի և հաստատուն ճնշման դեպքում, եթե նրա խտությունը նորմալ պայմաններում՝ $\rho=1,41\text{կգ/մ}^3$:

●**2.30.** Գազի մոլային զանգվածը՝ $M=0,003\text{կգ/մոլ}$, իսկ ադիաբատի ցուցիչը՝ $\gamma=1,4$: Որոշեք նրա տեսակարար ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի և հաստատուն ճնշման դեպքում:

●**2.31.** Երկատոմ գազը հաստատուն ճնշման դեպքում ունի $C_p = 14,5$ կՋ/կգ $^\circ\text{C}$ ջերմունակություն: Ինչքա՞ն է դրա մոլային զանգվածը:

■**2.32.** Որոշեք մոլային ջերմունակությունները հաստատուն ծավալի դեպքում՝ ա) արգոնի, բ) ազոտի, գ) $m_1 = 20\text{գ}$ արգոնի և $m_2 = 7\text{գ}$ ազոտի խառնուրդի համար:

■**2.33.** Որոշեք տեսակարար ջերմունակությունները հաստատուն ծավալի դեպքում՝ ա) արգոնի, բ) ազոտի, գ) $m_1 = 20\text{գ}$ արգոնի և $m_2 = 7\text{գ}$ ազոտի խառնուրդի համար:

■**2.34.** Որոշեք ադիաբատի ցուցիչը՝ ա) հելիումի, բ) ջրածնի, գ) $\nu_1 = 2$ մոլ հելիումի և $\nu_2 = 1$ մոլ ջրածնի խառնուրդի համար:

Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը

(պոլիտրոպ պրոցես)

■2.35. Ինչ-որ պրոցեսում միատոմ գազի ծավալը ջերմաստիճանից կախված է $V = \frac{a}{T}$ օրենքով, որտեղ a -ն հաստատուն է: Այդ պրոցեսի գրաֆիկը պատկերեք (p, V) կոորդինատական հարթությունում: Որոշեք այդ գազի պոլիտրոպի ցուցիչը և մոլային ջերմունակությունը: Եթե գազն այդ պրոցեսում ընդարձակվել է, ապա այն ստացել է ջերմաքանակ, թե՞ տվել:

■2.36. Ինչ-որ պրոցեսում միատոմ գազի ճնշումը ծավալից կախված է $p = aV$ օրենքով, որտեղ a -ն հաստատուն է: Որոշեք գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը, դրա կատարած աշխատանքը և ստացած ջերմաքանակը, եթե ծավալը V_1 -ից մեծացել է մինչև V_2 : Ինչքա՞ն է այդ գազի պոլիտրոպի ցուցիչը և մոլային ջերմունակությունը:

■2.37. Որոշեք գազի մոլային ջերմունակությունը, եթե նրա պոլիտրոպի ցուցիչը n է, իսկ ադիաբատի ցուցիչը՝ γ :

■2.38. Միատոմ գազը կատարեց $n=1,5$ ցուցիչով պոլիտրոպ պրոցես: Այդ ընթացքում գազի ջերմաստիճանը փոքրացավ $a=2$ անգամ: Քանի՞ անգամ փոխվեց այդ գազի ծավալը և ճնշումը: Որոշեք գազի մոլային ջերմունակությունն այդ պրոցեսում: Ի՞նչ նշան ունեն ΔU , A , Q մեծությունները:

■2.39. Պոլիտրոպ պրոցեսում միատոմ գազի ծավալը մեծացավ $a=2$ անգամ, իսկ ճնշումը փոքրացավ $b = 4,2$ անգամ: Քանի՞ անգամ և ինչպե՞ս փոխվեց ջերմաստիճանը: Որոշեք այդ գազի պոլիտրոպի ցուցիչը և մոլային ջերմունակությունը: Գազը ստացել է ջերմաքանակ, թե՞ տվել:

■2.40. Միատոմ գազը կատարել է պրոցես, որի դեպքում հաղորդած ջերմաքանակը հավասար է դրա ներքին էներգիայի նվազմանը: Որոշեք այդ գազի պոլիտրոպի ցուցիչը և մոլային ջերմունակությունը:

■2.41. Ապացուցեք, որ եթե գազի կատարած աշխատանքը ուղիղ համեմատական է ներքին էներգիայի փոփոխությանը՝ $A = a\Delta U$, ապա այդ գազը կատարել է պրոցեսը, որը կարելի է նկարագրել $pV^n = const$ հավասարումով, որտեղ $n = \frac{a+1-\gamma}{a}$, իսկ γ -ն ադիաբատի ցուցիչը:

■2.42. Որոշեք գազի մոլային ջերմունակությունը այն պրոցեսում, որը նկարագրվում է $pV^n = const$ հավասարումով: Հայտնի են պոլիտրոպի n և ադիաբատի γ ցուցիչները: Ի՞նչ պայմանի դեպքում է $C < 0$: Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի բացասական ջերմունակությունը:

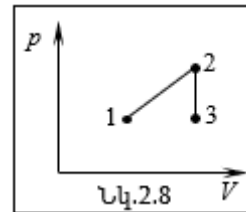
Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (պրոցեսների հաջորդականություն)

□**2.43.** Միատոմ գազն իզոբար կերպով ընդարձակվելուց հետո, իզոխոր կերպով սառեցրին մինչև սկզբնական ջերմաստիճանը: Ի՞նչ քանակությամբ ջերմություն գազը տվեց իզոխոր սառեցման դեպքում, եթե իզոբար ընդարձակման ժամանակ այն կատարել էր $A_{12} = 20\text{Ջ}$ աշխատանք:

□**2.44.** $\nu=4$ մոլ քանակությամբ գազն ուներ $T_1 = 300\text{Կ}$ ջերմաստիճան: Սկզբում այդ գազն իզոխոր սառեցվել է, ճնշումը փոքրացնելով $n=2$ անգամ: Այնուհետև իզոբար կերպով ընդարձակվել է այնքան, որ ջերմաստիճանը դարձել է հավասար սկզբնականին: Որոշեք գազի կողմից ստացած ջերմաքանակը տվյալ պրոցեսում: Ինչքա՞ն ջերմաքանակ կստանա գազը, եթե այն սկզբնական վիճակից վերջնականին անցնի իզոթերմ պրոցեսով:

□**2.45.** Միատոմ գազը սկզբում տաքացրին իզոխոր կերպով, այնուհետև՝ իզոբար կերպով: Երկու դեպքում էլ փոխանցված ջերմաքանակը եղել է նույնը: Իզոխոր պրոցեսում ճնշումը մեծացավ $a=2$ անգամ: Քանի՞ անգամ մեծացավ ծավալը իզոբար պրոցեսում:

□**2.46.** Միատոմ գազը կատարել է Նկ.2.8-ում պատկերված պրոցես: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը, ներքին էներգիայի փոփոխությունը և ստացած ջերմաքանակը, եթե հայտընի են V_1 , V_2 ծավալներն ու p_1 , p_2 ճնշումները, իսկ $p_3 = p_1$:



■**2.47.** Երկատոմ գազի ճնշումը ադիաբատ սեղմելով $p_1 = 0,1$ ՄՊա-ից դարձրին $p_2 = ap_1$, որտեղ $a=2$: Այնուհետև իզոխոր կերպով սառեցրին մինչև սկզբնական ջերմաստիճանը: Որոշեք գազի այդ վիճակի ճնշումը:

■**2.48.** $\nu=10$ մոլ քանակությամբ հելիումը, որն օժտված էր $T_1 = 300\text{Կ}$ ջերմաստիճանով, ադիաբատ կերպով ընդարձակեցին այնպես, որ ծավալը մեծացավ $a=2$ անգամ: Այնուհետև գազը իզոբար կերպով սեղմեցին մինչև սկզբնական ծավալը: Որոշեք գազի ջերմաստիճանը ադիա-

բատ ընդարձակելուց և իզոբար սեղմելուց հետո: Ի՞նչ աշխատանք է կատարել գազն այդ պրոցեսներից յուրաքանչյուրի ընթացքում:

■**2.49.** $m=56\text{գ}$ ազոտը, որն ունի $T_1=300\text{Կ}$ ջերմաստիճան, ադիբատ ընդարձակվելով իր ծավալը մեծացրեց $a=5$ անգամ: Այնուհետև այն իզոթերմ կերպով սեղմվել է մինչև սկզբնական ծավալը: Որոշե՞ք գազի աշխատանքն այդ պրոցեսներից յուրաքանչյուրի ընթացքում:

■**2.50.** Միատոմ գազը, որն ունի $p_1 = 0,1\text{ՄՊա}$ ճնշում, 1 վիճակից ադիաբատ ընդարձակվելով անցել է 2 վիճակին, կատարելով $A=300\text{Ջ}$ աշխատանք: Այդ ընթացքում ջերմաստիճանը նվազել է $a = 2$ անգամ: Այնուհետև գազը իզոթերմ պրոցեսով բերվել է 3 վիճակի, որում $p_3 = 3p_1$: Որոշե՞ք գազի ծավալը վիճակներից յուրաքանչյուրում:

□**2.51.** Երկու անոթներ լցված են միևնույն գազով և ունեն նույն ճնշումը: Առաջին անոթում ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 300\text{Կ}$, իսկ երկրորդում՝ $T_2 = 600\text{Կ}$: Անոթների ծավալների հարաբերությունը՝ $\frac{V_1}{V_2}=a=2$: Ի՞նչ ջերմաստիճան կհաստատվի անոթներում, եթե նեղ խողովակով դրանք իրար միացվեն:

□**2.52.** V_1 ծավալով անոթում գտնվող գազն ունի p_1 ճնշում և T_1 ջերմաստիճան, իսկ V_2 ծավալով անոթում գտնվող նույնպիսի գազն ունի p_2 ճնշում և T_2 ջերմաստիճան: Ի՞նչ ճնշում և ջերմաստիճան կհաստատվի անոթներում, եթե նեղ խողովակով դրանք միացվեն իրար:

Ջերմային հաշվեկշռի հավասարումը

○**2.53.** Ինչպիսի՞նք կլինի խառնուրդի ջերմաստիճանը, եթե խառնվեն $m_1=1\text{կգ}$, $m_2=2\text{կգ}$, $m_3=3\text{կգ}$ զանգված և $t_1=10^\circ\text{C}$, $t_2=40^\circ\text{C}$ և $t_3=60^\circ\text{C}$ սկզբնական ջերմաստիճան ունեցող ջրերը:

○**2.54.** Պետք է պատրաստել $V=300\text{լ}$ տարողությամբ և $t=37^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի լոգարան: Տաք ծորակից լցվում է $t_1=70^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ջուր, իսկ սառը ծորակից՝ $t_2=10^\circ\text{C}$ -ի ջուր: Ի՞նչ ծավալի տաք և սառ ջրեր պետք է լցնել լոգարանի մեջ:

○**2.55.** Որոշե՞ք այն ջերմության քանակը, որն անհրաժեշտ է $t_1=-27^\circ\text{C}$ -ի $m=1\text{կգ}$ զանգվածով սառույցը $t_2=120^\circ\text{C}$ -ի գոլորշու վերածելու համար: Այդ ընթացքում քանի՞ պրոցես է իրականացվում և ո՞ր պրոցեսի հա-

մար է ծախսվում առավելագույն ջերմաքանակ:

○**2.56.** Մինչև $t_2 = 70^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանը տաքացրած պղնձե գլանն ուղղաձիգ դիրքով տեղադրեցին $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի սառույցի մակերևույթին: Իր բարձրության n ր մասով այն կընկղմվի սառույցի մեջ:

□**2.57.** $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -ի $m_1 = 1$ կգ ջուր պարունակող կալորիմետրի մեջ գցեցին $m = 200$ գ զանգվածով թաց ձյուն: Ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո կալորիմետրում ջերմաստիճանը եղավ $t_2 = 10^\circ\text{C}$: Ինչքա՞ն ջուր կար ձյան մեջ: Կալորիմետրի ջերմունակությունն անտեսեք:

□**2.58.** Ջերմամեկուսացված անոթում կար $m_1 = 150$ գ ջրի և $m_2 = 50$ գ սառույցի խառնուրդ: Դրա ներսը բաց են թողնում $m_3 = 20$ գ և $t_3 = 100^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի գոլորշի: Ի՞նչ ջերմաստիճան կհաստատվի անոթում ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո:

□**2.59.** Ամանի մեջ լցրին $t = 10^\circ\text{C}$ -ի ջուր և տեղադրեցին վառարանի վրա: $\tau_1 = 10$ րոպ անց ջուրը սկսեց եռալ: Դրանից ինչքա՞ն ժամանակ անց ամբողջ ջուրը կփոխարկվի գոլորշու:

□**2.60.** Գլանում $S = 100 \text{ սմ}^2$ մակերեսով անկշիռ մխոցի տակ գտնվում է $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -ի $m = 1$ կգ զանգվածով ջուր: Գլանի ներսում միացրին $N = 0,5$ կՎտ հզորությամբ էլեկտրական ջեռուցիչ: $\tau = 10$ րոպ ջեռուցչի աշխատանքի ընթացքում ի՞նչ զանգվածով գոլորշի կառաջանա: Ի՞նչ բարձրության կհասնի մխոցը, եթե մթնոլորտի ճնշումը՝ $p_0 = 0,1 \text{ ՄՊա}$: Ջեռուցչի անջատած ամբողջ ջերմությունը ծախսվում է ջրի տաքացման և գոլորշիացման վրա:

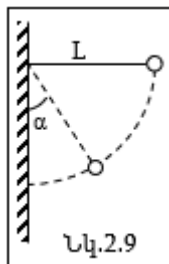
Էներգիայի պահպանումն ու փոխակերպումը

□**2.61.** Ի՞նչ նվազագույն արագություն պետք է ունենա հորիզոնական ուղղությամբ թռչող $t_0 = 77^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի կապարե գնդակը, որպեսզի անշարժ և մեծ զանգված ունեցող արգելքին հարվածելիս լրիվ հալվի: Հարվածը բացարձակ ոչ առաձգական է, իսկ անջատված ամբողջ ջերմաքանակը ծախսվում է գնդակի հալման վրա:

□**2.62.** Նույն զանգվածի և միևնույն ջերմաստիճանի երկու կապարե գնդեր $v_1 = 50$ մ/վ և $v_2 = 100$ մ/վ արագություններով շարժվում են

իրար ընդառաջ: Որոշեք գնդերի ջերմաստիճանների բարձրացումը դրանց ոչ առաձգական հարվածի դեպքում:

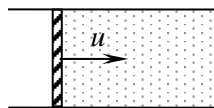
□**2.63.** $L = 1,6\text{մ}$ երկարությամբ թելից կախված կապարե գնդիկը շեղել են հորիզոնական դիրքի և բաց թողել (Նկ.2.9): Պատին հարվածելուց հետո գնդիկը շեղվեց $\alpha = 25^\circ$ անկյունով: Ինչքանով բարձրացավ գնդիկի ջերմաստիճանը, եթե վատնված մեխանիկական էներգիայի $k=0,9$ մասը փոխակերպվեց գնդիկի ներքին էներգիայի:



○**2.64.** Կալորիմետրում գտնվում է $m=3\text{կգ}$ ջուր և պտուտակ: $N=250$ Վտ հզորության շարժիչը $\tau=10$ րոպե պտտում է պտուտակին և մեխանիկական էներգիան փոխակերպվելով ջերմայինի՝ տաքացնում է ջուրը: Որոշեք ջրի ջերմաստիճանի փոփոխությունը, եթե նրա տաքացման վրա գնում է շարժիչի կատարած աշխատանքի $k=0,3$ մասը:

○**2.65.** $M = 28 \cdot 10^{-3}$ կգ/մոլ մոլային գանգվածով երկատոմ գազ պարունակող անոթը շարժվում է $v=50$ մ/վ արագությամբ: Քանի՞ աստիճանով կբարձրանա գազի ջերմաստիճանը, եթե անոթը կտրուկ կանգ առնի: Անոթի ջերմունակությունն անտեսեք:

■**2.66.** M գանգվածով մխոցով փակված միատոմ գազի սկզբնական ծավալը V_0 է, ճնշումը՝ p_0 , ջերմաստիճանը՝ T_0 : Մխոցին հաղորդվում է u սկզբնական արագություն (Նկ.2.10): Որոշեք գազի ջերմաստիճանը և ծավալը նրա առավելագույն սեղման դեպքում: Համակարգը համարեք ջերմամեկուսացած և անտեսեք անոթի և մխոցի ջերմունակությունները:



Նկ. 2.10

Փակ պրոցեսներ

■**2.67.** Գազը կատարում է փակ պրոցես, որը կազմված է 4 իզոպրոցեսներից: Գազի ներքին էներգիան 1, 2, 3 և 4 վիճակներում բավարարում է $U_2 < U_1 < U_3 = U_4$ պայմաններին: Այդ փակ ցիկլը պատկերեք (p, V) կոորդինատական հարթությունում: Այդ ցիկլի n ր տեղամասերում է գազը ջերմաքանակ ստացել: Քննարկումը կատարեք, երբ ցիկլի

ընթացքում գազի կատարած աշխատանքը՝ **ա)** դրական է; **բ)** բացասական է:

■**2.68.** 1.14–18 խնդիրներում բերված ցիկլերի n° տեղամասերում է գազը ջերմաքանակ ստացել, որում տվել: Դրանցից որում է գազը կատարել դրական աշխատանք, իսկ որում՝ բացասական:

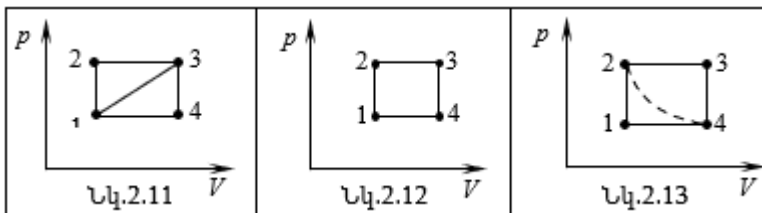
□**2.69.** Միատոմ գազը կատարել է իրար հաջորդող իզոթերմ, իզոխոր և իզոբար պրոցեսներով փակ ցիկլ: Ամբողջ ցիկլի ընթացքում գազը տվել է $Q = -20$ կՋ ջերմաքանակ: Իզոթերմ պրոցեսում գազը կատարել է $A_{12} = -30$ կՋ աշխատանք: Որոշեք ցիկլի ամեն մի պրոցեսի ջերմաքանակը:

□**2.70.** Միատոմ գազը կատարել է իրար հաջորդող իզոթերմ, իզոբար և իզոխոր պրոցեսներով փակ ցիկլ: Ամբողջ ցիկլի ընթացքում գազը ստացել է $Q = 20$ կՋ ջերմաքանակ: Իզոթերմ պրոցեսում գազը կատարել է $A_{12} = -30$ կՋ աշխատանք: Որոշեք ցիկլի ամեն մի պրոցեսի ջերմաքանակը և ցիկլի ՕԳԳ-ն:

■**2.71.** Երկատոմ գազը սկզբում իզոխոր կերպով տաքացրին, այնուհետև իզոթերմ կերպով ընդարձակեցին այնքան, որ ճնշումը փոքրացավ մինչև սկզբնական արժեքը: Որից հետո գազը իզոբար կերպով սեղմեցին մինչև սկզբնական ծավալը: Որոշեք ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե ցիկլի սահմաններում ջերմաստիճանը փոփոխվում է $k=2$ անգամ: ՕԳԳ-ի այդ արժեքը համեմատեք Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ի հետ, որն ունի ջերմաստիճանի նույն մաքսիմալ և մինիմալ արժեքներն:

□**2.72.** Նկ.2.11-ում բերված է միատոմ գազի կատարած ցիկլերը՝ **ա)** 1-2-3-1, **բ)** 1-3-4-1: Որոշեք այդ ցիկլերի ՕԳԳ-ն, եթե $\frac{p_2}{p_1} = a = 2$, $\frac{V_4}{V_1} = b = 2$:

□**2.73.** Միատոմ գազը կատարում է 1-2-3-4-1 (Նկ.2.12): Հայտնի է, որ $\frac{T_2}{T_1} = a = 2$, $\frac{T_3}{T_2} = b = 2$: 1 վիճակում $p_1 = 60$ կՊա, $V_1 = 1$ լ: Ինչքան ջերմա-



քանակ է ստանում (տալիս) գազը յուրաքանչյուր իզոպրոցեսում: Ինչ-
քան է այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն:

■2.74. ν քանակությամբ գազը կատարում է երկու իզոբարից և երկու իզոխորից բաղկացած փակ ցիկլ (Նկ.2.13): 1 և 3 վիճակների ջերմաստիճանները համապատասխանաբար T_1 և T_3 են: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը մեկ ցիկլի ընթացքում, եթե 2 և 4 կետերը գտնվում են նույն իզոթերմի վրա:

■2.75. Որոշեք Օտոյի ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը բաղկացած է երկու իզոխորից և երկու ադիաբատից, իսկ ցիկլի ընթացքում ծավալը փոփոխվում է $k=2$ անգամ: Բանող գազի ադիաբատի ցուցիչը՝ p_1 : Ինչպե՞ս կփոխվի ՕԳԳ-ն k -ի մեծացման դեպքում:

■2.76. Որոշեք գազոտուրբինային շարժիչի ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը կազմված է երկու իզոբարից և երկու ադիաբատից, իսկ ցիկլի ընթացքում ճնշումը փոխվում է $k=2$ անգամ: Բանող գազի ադիաբատի ցուցիչը՝ $\gamma=1,4$: Ինչպե՞ս կփոխվի ՕԳԳ-ն k -ի մեծացման դեպքում:

■2.77. Գազը կատարում է Ստիրլինգի ցիկլ, որը կազմված է երկու իզոխորից և երկու իզոթերմից: Որոշեք այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե ցիկլի ընթացքում ջերմաստիճանը փոփոխվում է $a = 2$ անգամ, իսկ ծավալը՝ $b=2$ անգամ:

■2.78. Երկատոմ գազը կատարում է ուղիղ ցիկլ, որը բաղկացած է ադիաբատից, իզոբարից և իզոխորից: Որոշեք այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե ադիաբատ պրոցեսում գազի ծավալը՝ α մեծանում է $n=3$ անգամ, p փոքրանում է $n=3$ անգամ:

Ապացուցման խնդիրներ

■2.79. Արտածեք իդեալական գազի իզոթերմ ընդարձակման աշխատանքի $A_{12} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ բանաձևը:

■2.80. Արտածեք իդեալական գազի ադիաբատ ընդարձակման աշխատանքի $A = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$ բանաձևը, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = (i + 2)/i$:

■**2.81.** Արտածեք իդեալական գազի պոլիտրոպ պրոցեսով ընդարձակման աշխատանքի $A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]$ բանաձևը, որտեղ $n = \frac{C_p - C_v}{C - C_v}$ -ը պոլիտրոպի ցուցիչն է:

■**2.82.** Նկատի ունենալով, որ ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան ընդհանուր դեպքում կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U=U(T,V)$, ցույց տվեք, որ ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը կներկայացվի $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] dV$ տեսքով:

■**2.83.** Նկատի ունենալով, որ համակարգի ներքին էներգիան ընդհանուր դեպքում կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U=U(T,V)$, ցույց տվեք, որ $C_p - C_v = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$:

■**2.84.** Օգտվելով ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքի $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] dV$ բանաձևից, ստացեք պոլիտրոպ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը:

■**2.85.** Օգտվելով պոլիտրոպ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումից՝ $\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V dp + \frac{C_p - C}{C_v - C} \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p dV = 0$, իդեալական գազի համար ստացեք $pV^n = \text{const}$ բանաձևը:

■**2.86.** Օգտվելով ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքի $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] dV$ բանաձևից, ստացեք ադիաբատ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը:

■**2.87.** Օգտվելով ադիաբատ պրոցեսի $\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V dp + \gamma \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p dV = 0$ դիֆերենցիալ հավասարումից, իդեալական գազի համար ստացեք $pV^\gamma = \text{const}$ Պուասոնի բանաձևը:

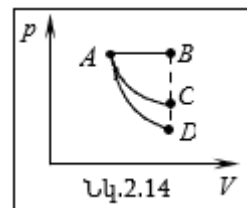
■**2.88.** Օգտվելով հաստատուն ճնշման և հաստատուն ծավալի ջերմունակությունների կապի ընդհանուր բանաձևից $C_p - C_v = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$, իդեալական գազի համար ստացեք $C_p = C_v + \nu R = \frac{i}{2} \nu R + \nu R$ առնչությունը:

■**2.89.** Ապացուցեք, որ իդեալական գազը պոլիտրոպ պրոցեսով սեղմելուց տաքանում է, իսկ ընդարձակվելիս՝ սառչում, եթե պոլիտրոպի ցուցիչը՝ $n > 1$:

■**2.90.** Ապացուցեք, որ իդեալական գազը պոլիտրոպ պրոցեսով սեղմելուց սառչում է, իսկ ընդարձակվելիս՝ տաքանում, եթե պոլիտրոպի ցուցիչը՝ $n < 1$:

Հարցեր

- 1.** Ո՞րն է կոչվում մարմնի ներքին էներգիա: Ի՞նչ բաղադրիչներ են մտնում նրա մեջ:
- 2.** Ենթադրենք հելիումն ու թթվածինն ունեն նույն քանակություն ու ջերմաստիճան: Դրանցից որի՞ ներքին էներգիան է մեծ և քանի՞ անգամ:
- 3.** Մենյակը տաքացնելու համար վառեցին վառարանը: Մենյակի ոչ հերմետիկության պատճառով օդի ճնշումը չփոխվեց: Մենյակի օդի $U = ipV/2$ ներքին էներգիան ևս չփոխվեց: Այդ դեպքում ինչու՞ վառեցին վառարանը: Ու՞ր գնաց վառելիքի այրումից անջատված ջերմությունը:
- 4.** Գազը իզոխոր կերպով տաքացնելուց ինչ պե՞ս են փոխվում մոլեկուլների միջին կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները:
- 5.** Ինչպե՞ս է փոխվում հաստատուն զանգվածով իդեալական գազի ներքին էներգիան իզոթերմ սեղման պրոցեսում:
- 6.** Ինչպե՞ս է փոխվում հաստատուն զանգվածով իդեալական գազի ներքին էներգիան իզոբար ընդարձակման պրոցեսում:
- 7.** Գրեք կամայական պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքի բանաձևը: Ո՞ր դեպքում է այդ աշխատանքը դրական (բացասական):
- 8.** Ենթադրենք (p, V) կոորդինատական հարթությունում ունենք որևէ պրոցեսի գրաֆիկը: Ի՞նչ երկրաչափական իմաստ ունի աշխատանքն այդ պրոցեսում: Ինչպե՞ս որոշել այդ աշխատանքի նշանը:



- 9. Ի՞նչ երկրաչափական իմաստ ունի գազի կատարած աշխատանքը շրջանային պրոցեսում: Ինչպե՞ս որոշել աշխատանքի նշանը շրջանային պրոցեսում:
- 10. Գրեք գազի կատարած աշխատանքի բանաձևը՝ **ա)** իզոբար ընդարձակման, **բ)** իզոթերմ ընդարձակման դեպքում:
- 11. Նկ.2.14-ում պատկերված է իզոբար, իզոթերմ և ադիաբատ պրոցեսների գրաֆիկները: Սկզբնական վիճակը և ծավալի փոփոխությունը երեք դեպքերում էլ նույնն է: Այդ երեք դեպքերի համար համեմատեք գազի կատարած աշխատանքները, ներքին էներգիայի փոփոխությունը և ստացած ջերմաքանակները:
- 12. Ո՞ր մեծություններին են անվանում պրոցեսի ֆունկցիա և ինչո՞ւ է կայանում դրանց և վիճակի ֆունկցիայի տարբերությունը:
- 13. Ո՞րն է կոչվում ջերմության քանակ: Ո՞րն է դրա միավորը ՄՀ-ում:
- 14. Ո՞րն է կոչվում ջերմափոխանակում և դրա ի՞նչ տեսակներ կան:
- 15. Ի՞նչ եղանակով է էներգիան Արեգակից հաղորդվում Երկիր:
- 16. Ջերմափոխանակության ո՞ր տեսակի դեպքում է տեղի ունենում նյութի տեղափոխություն:
- 17. Ո՞ր դեպքում է ջերմաքանակը համարվում դրական, ո՞ր դեպքում՝ բացասական:
- 18. Գրեք m զանգվածով մարմինը Δt աստիճանով տաքացնելու համար անհրաժեշտ ջերմաքանակի բանաձևը:
- 19. Ո՞րն է կոչվում նյութի տեսակարար ջերմունակություն: Ո՞րն է նրա միավորը ՄՀ-ում:
- 20. Միևնույն զանգվածով, սակայն տարբեր նյութերից պատրաստված երկու մարմնի հաղորդում են նույն ջերմաքանակը: Ո՞ր մարմնի ջերմաստիճանն ավելի շատ կբարձրանա:
- 21. Միևնույն զանգվածն ու սկզբնական ջերմաստիճանն ունեցող, սակայն տարբեր նյութերից պատրաստված երկու մարմին տաքացնում են մինչև նույն ջերմաստիճանը: Ո՞ր մարմնին է անհրաժեշտ ավելի մեծ ջերմաքանակ հաղորդել:
- 22. Կալորաչափում խառնել են նույն հեղուկի հավասար զանգվածով

- մասնաբաժիններ, որոնց ջերմաստիճաններն են t և $2t$: Որքա՞ն կլինի խառնուրդի վերջնական ջերմաստիճանը:
- 23. Ո՞ր մեծությանն են անվանում մոլային ջերմունակություն: Ո՞րն է դրա միավորը ՄՀ-ում:
- 24. Գրեք նյութի տեսակարար և մոլային ջերմունակությունների կապն արտահայտող բանաձևը:
- 25. Ձևակերպեք ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը և գրեք համապատասխան բանաձևը:
- 26. Գրեք ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքի հետևանքները՝
ա) իզոխոր, **բ)** իզոթերմ, **գ)** շրջանային պրոցեսի համար:
- 27. Ո՞ր պրոցեսում է համակարգին հաղորդվում ջերմաքանակը հավասար նրա ներքին էներգիայի փոփոխությանը:
- 28. Ո՞ր պրոցեսում է համակարգին հաղորդվում ջերմաքանակը հավասար նրա կատարած աշխատանքին:
- 29. Գրեք գազի մոլային ջերմունակության բանաձևը, երբ հաստատուն է՝ **ա)** ծավալը, **բ)** ճնշումը:
- 30. Գրեք գազի հաստատուն ճնշման և հաստատուն ծավալի դեպքում մոլային ջերմունակությունների կապը:
- 31. Մի դեպքում գազին իզոխոր պրոցեսում հաղորդեցին ΔQ ջերմաքանակ, մյուս դեպքում նույնքան ջերմաքանակ հաղորդեցին իզոբար պրոցեսում: Ո՞ր դեպքում շատ բարձրացավ գազի ջերմաստիճանը:
- 32. Ձեր իմացած գազերից որի՞ ջերմունակությունն է մեծ (ասենք, ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում):
- 33. Ի՞նչ կարելի է ասել գազի մոլային ջերմունակության համար հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում:
- 34. Հայտնի է, որ գազերի ջերմունակությունները կարելի է հաստատուն համարել ջերմաստիճանային որոշակի տիրույթում: Օրինակ, ցածր ջերմաստիճաններում (մոտավորապես 40Կ-ում) ջրածնի ջերմունակությունը փոքրանում և հավասարվում է միատոմ գազի ջերմունակությանը: Ինչպե՞ս է դա բացատրվում:

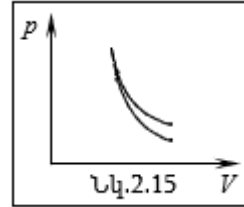
- 35. Գազ պարունակող անոթը միացրին դատարկ (վակուում) անոթին: Ինչպե՞ս կփոխվի գազի ջերմաստիճանը, որը ընդարձակվում է <<դատարկությունում>>:
- 36. Առանց գնդակի փամփուշտը կրակելուց հրացանի փողն ավելի շատ է տաքանում, քան գնդակով փամփուշտը կրակելուց: Ինչու՞ :
- 37. Մետաղական գունդը մի դեպքում կախված է թելից, մյուս դեպքում՝ գտնվում է հորիզոնական հենարանի վրա: Երկու դեպքում էլ գունդը պետք է տաքացնել մինչև որոշակի ջերմաստիճան: Ո՞ր դեպքում շատ ջերմաքանակ կպահանջվի: Թելի և հենարանի տաքացման վրա ջերմային կորուստներն անտեսեք, սակայն հաշվի առեք գնդի ծավալի փոփոխությունը:
- 38. Ինչպե՞ս բացատրել, որ փայտը կարելի է կտրել մեծ արագությամբ պտտվող կարտոնե սկավառակով:
- 39. Ինչի՞նչ է անցնում շարժվող ավտոմեքենայի կինետիկ էներգիան, երբ այն կանգ է առնում:
- 40. Ինչի՞նչ է անցնում վառելիքի այրումից անջատված էներգիան, երբ ավտոմեքենան հաստատուն արագությամբ շարժվում է հորիզոնական ճանապարհով:
- 41. Ո՞ր դեպքում են ավտոմեքենայի անվադողերը շատ տաքանում, երբ դրանք լավ են փչած, թե՞ թույլ:
- 42. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում աղիաբատ: Բերեք աղիաբատ կամ դրան մոտ պրոցեսի օրինակներ:
- 43. Ինչու՞ արագ ընթացող պրոցեսներին կարելի է համարել աղիաբատ:
- 44. Գրեք ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքի հետևանքը աղիաբատ պրոցեսի համար:
- 45. Իդեալական գազը տաքանում է, թե՞ սառչում աղիբատ՝
ա) ընդարձակվելուց, բ) սեղմվելուց:
- 46. Նկ.2.15-ում պատկերված են հեղիումի և թթվածնի աղիաբատները: Այդ կորերից ո՞րն է պատկանում հեղիումին, ո՞րը թթվածնին:

○47. Ինչու՞ է բալոնի փականը սառչում, երբ նրանից գազն արագ բաց է թողնվում:

●48. Ադիաբատ պրոցեսի համար գրեք այն բանաձևը, որը կապում է՝
ա) գազի ճնշումը և ծավալը, **բ)** գազի ծավալը և ջերմաստիճանը,
գ) գազի ճնշումը և ջերմաստիճանը:

●49. Ո՞ր մեծությանն են անվանում ադիաբատի ցուցիչ և ի՞նչ բանաձևով են այն հաշվում իդեալական գազի համար:

■50. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում պոլիտրոպ: Ինչու՞ իզոբար, իզոթերմ, ադիաբատ, իզոխոր պրոցեսները կարելի է համարել որպես պոլիտրոպ պրոցեսի մասնավոր դեպքեր:



■51. Ո՞րն է կոչվում պոլիտրոպի ցուցիչ: Ինչի՞նչ է այն հավասար նախորդ հարցում թվարկած պրոցեսներում:

■52. Պոլիտրոպ ցուցիչի ի՞նչ արժեքի դեպքում գազը սեղմելուց տաքանում է, իսկ ի՞նչ արժեքի դեպքում՝ սառչում:

■53. Գրեք մոլային ջերմունակության բանաձևը պոլիտրոպ պրոցեսի դեպքում: Ո՞ր դեպքում է մոլային ջերմունակությունը բացասական և ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի այդ փաստը:

■54. Մի դեպքում ջրի մեջ իջեցնում են տաքացրած քար (գրանիտ), մյուս դեպքում՝ նույն ծավալն ու ջերմաստիճանն ունեցող երկաթ: Ո՞ր դեպքում ջուրը շատ կտաքանա, եթե գրանիտի տեսակարար ջերմունակությունը 1,7 անգամ մեծ է երկաթի տեսակարար ջերմունակությունից, իսկ երկաթի խտությունը 2,9 անգամ մեծ է գրանիտի խտությունից:

■55. Նախորդ հարցը, եթե գրանիտն ու երկաթն ունեն հավասար զանգվածներ:

□56. Մթնոլորտի վերին շերտերում (200կմ-ից բարձր) մոլեկուլների միջին արագությունը համապատասխանում է մոտավորապես 1500° ջերմաստիճանի: Մինչդեռ այդտեղ տեղադրված ջերմաչափը (Արեգակով չլուսավորվող) ցույց է տալիս բավականին ցածր ջերմաստիճան: Ինչու՞:

- 57. Ի՞նչ հատկությամբ օժտված մարմինները կարող են օգտագործվել որպես ջերմաչափ:
- 58. Ջերմաչափ համարվող համակարգի ազատության աստիճանների թիվն է մեծ, թե՞ հետազոտվող համակարգի ազատության աստիճանների թիվը:
- 59. Ո՞րն է կոչվում ջերմաչափի ջերմաստիճանային պարամետր: Բերեք այդպիսի պարամետրի օրինակ:
- 60. Ո՞րն է հանդիսանում սնդիկային կամ սպիրտային ջերմաչափի ջերմաստիճանային պարամետրը:
- 61. Ո՞րն է հաստատուն ծավալով գազային ջերմաչափը և ո՞րն է դրա ջերմաստիճանային պարամետրը:
- 62. Ո՞րն է հաստատուն ճնշման գազային ջերմաչափը և ո՞րն է դրա ջերմաստիճանային պարամետրը:
- 63. Ո՞րն է դիմադրության ջերմաչափը և ո՞րն է դրա ջերմաստիճանային պարամետրը:

Հիմնավորեք պնդումների ճիշտ և սխալ լինելը

2.1. ա) Ջերմադինամիկան ուսումնասիրում է մակրոսկոպական մարմիններում տեղի ունեցող ջերմային երևույթները; **բ)** Եթե երկու մարմինների միջև հաստատվում է ջերմային հպում, ապա դրանց ջերմաստիճանների տարբեր լինելու դեպքում կատարվում է ջերմափոխանակություն, որի արդյունքում համակարգը գալիս է մեկ՝ նույն ջերմաստիճանով բնութագրվող հավասարակշռված վիճակի; **գ)** Միատոմ գազի մոլեկուլն օժտված է 3 ազատության աստիճանով, քանի որ այդ մասնիկի դիրքը տարածության մեջ բնութագրվում x, y, z երեք անկախ կոորդինատներով; **դ)** Եթե մի վիճակից մյուսին անցնելիս տրված զանգվածով իդեալական գազի ճնշումը մեծանա a անգամ, իսկ խտությունը՝ b անգամ, ապա ներքին էներգիան կմեծանա $a \cdot b$ անգամ:

2.2. ա) Եթե արտաքին գործոնները բացակայում են, ապա ջերմային հավասարակշռության վիճակում համակարգի մակրոսկոպական պար-

բամետրերը մնում են անփոփոխ; **բ)** Ցանկացած ջերմադինամիկական համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի (C_V) և հաստատուն ճնշման դեպքում (C_p) հանդիսանում են վիճակի ֆունկցիաներ: Դրանում է կայանում C_V -ի և C_p -ի կարևորությունը; **գ)** Քանի որ միատոմ գազի մեկ մասնիկի միջին կինետիկ էներգիան տրվում է $\overline{w}_t = 1,5kT$ բանաձևով, ուստի մասնիկի համընթաց շարժման յուրաքանչյուր ազատության աստիճանին բաժին է ընկնում $kT/2$ ջերմային էներգիա, որտեղ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը; **դ)** Երբ ջերմադինամիկական համակարգն արտաքին ուժերի դեմ աշխատանք է կատարում, արտաքին պարամետրերը մնում են անփոփոխ:

2.3. ա) Ներքին էներգիայի մեջ չեն մտնում համակարգի՝ արտաքին ուժային դաշտում ունեցած պոտենցիալ և նրա զանգվածների կենտրոնի շարժման կինետիկ էներգիաները; **բ)** Եթե իդեալական գազի ծավալն ադիաբատ պրոցեսով մեծանում է, ապա մեծանում է նաև գազի մասնիկների միջին քառակուսային արագությունը, **գ)** Եթե գազի մասնիկն ունի i ազատության աստիճան, ապա նրա ջերմային շարժման միջին էներգիան կլինի $\overline{w}_g = ikT/2$, որտեղ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը; **դ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգում մակրոսկոպական երևույթներ չեն ընթանում, ապա այդ համակարգը գտնվում է ջերմային հավասարակշռության վիճակում:

2.4. ա) Եթե մարմինը դադարի վիճակում է և չի փոխազդում այլ մարմինների հետ, ապա մարմնի լրիվ էներգիան համընկնում է նրա ներքին էներգիայի հետ; **բ)** Բնականորեն ընթացող բոլոր պրոցեսները (օրինակ. դիֆուզիան, ջերմափոխանակումը և այլն) ոչ դարձելի պրոցեսներ են; **գ)** Եթե իդեալական գազի մասնիկներն ունեն i ազատության աստիճան, ապա գազի ներքին էներգիան կլինի $U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$, որտեղ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունն է, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը; **դ)** Կոշտ երկատոմ իդեալական գազի $C_{V\mu}$ մոլային ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում՝ $C_{V\mu} = 5R/2$:

2.5. ա) Մարմնի (համակարգի) ներքին էներգիան միաբաժանորեն որոշ-

վում է մարմնի(համակարգի) վիճակի պարամետրերով; **բ)** Ջերմադինամիկայում շրջակա միջավայրի տակ հասկանում են այն բոլոր մարմինները, որոնք չեն մտնում տվյալ համակարգի մեջ, սակայն համակարգն անմիջականորեն փոխազդում է նրանց հետ; **գ)** Ջերմաչափ կարող է հանդիսանալ այսպիսի մակրոսկոպական համակարգը, որի վիճակը նկարագրող բոլոր մակրոսկոպիկ պարամետրերից միայն մեկը ջերմաքանակ ստանալուց կամ տալուց կրում է էական փոփոխություն, իսկ մյուսների փոփոխությունը անտեսվում է: Այդ փոփոխվող պարամետրին անվանում են ջերմաստիճանային պարամետր: Օրինակ, ապակե նեղ խողովակում պարունակող հեղուկը(սնդիկ, սպիրտ): Այս դեպքում ջերմաստիճանային պարամետր հանդիսանում է հեղուկի սյան երկարությունը խողովակում; **դ)** Եթե իդեալական գազի մասնիկներն ունեն i ազատության աստիճան, ապա երկու մոլ գազի ներքին էներգիան կլինի $U=iRT$, որտեղ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունն է, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

2.6. ա) Քանի որ մարմինը կազմող մասնիկների շարժման միջին կինետիկ էներգիան կախված է մարմնի T ջերմաստիճանից, իսկ մարմնի մասնիկների փոխազդեցության էներգիան կախված է միջմասնիկային միջին հեռավորությունից, որն իր հերթին կախված է մարմնի ծավալից, ուստի մարմնի ներքին էներգիան կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U=U(T,V)$; **բ)** Ջերմաստիճանը միակ մակրոսկոպական պարամետրն է, որն ունի միևնույն արժեքը ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող համակարգի բոլոր մասերում; **գ)** Եթե իդեալական գազի ծավալը $pV^n = a$ պոլիտրոպ պրոցեսով սեղմվի V_1 -ից V_2 արժեքը, ապա գազի ստացած ջերմաքանակը կլինի $Q = a(\frac{1}{\gamma-1} + \frac{1}{1-n})(V_2^{1-n} - V_1^{1-n})$, որտեղ $a = const$, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$, $n = \frac{C_p}{C_p - C_v}$; **դ)** Եթե մի վիճակից մյուսին անցնելիս տրված զանգվածով իդեալական գազի ճնշումը մեծանա a անգամ, իսկ խտությունը փոքրանա b անգամ, ապա ներքին էներգիան կմեծանա a/b անգամ:

2.7. ա) Ջերմադինամիկական մեթոդներով հնարավոր է ուսումնասի-

րել միայն հավասարակշիռ կամ քվադրատատիկ պրոցեսներ; **բ)** Եթե իդեալական գազի ծավալն ադիաբատ պրոցեսով փոքրանում է, ապա փոքրանում է նաև գազի մասնիկների միջին քառակուսային արագությունը; **գ)** Եթե երկատոմ մոլեկուլն առաձգական է, ապա ատոմները միմյանց նկատմամբ կտատանվեն, որը նկարագրելու համար անհրաժեշտ է մեկ ազատության աստիճան և առաձգական երկատոմ մոլեկուլի ազատության աստիճանների թիվը կլինի հավասար 6-ի; **դ)** Կամայական համակարգի իզոթերմ ընդարձակման աշխատանքը T ջերմաստիճանում ավելի մեծ է, քան այդ ջերմաստիճանում նույն չափով ընդարձակման աշխատանքն ադիաբատ պրոցեսում:

2.8. ա) Միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին ու մասնիկների թվին և կախված չէ գազի ծավալից; **բ)** Քանի որ տատանողական էներգիան բաղկացած է կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաներից, որոնց միջին արժեքներն իրար հավասար են, ուստի տատանողական մեկ ազատության աստիճանին բաժին կընկնի kT ջերմային էներգիա, որտեղ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը; **գ)** Մակրոսկոպական պարամետրերի <<անվերջ դանդաղ>> փոփոխման դեպքում ջերմադինամիկական համակարգը հաջորդաբար մի հավասարակշռության վիճակից անցնում է մյուս վիճակին: Այսպիսի պրոցեսներին անվանում են հավասարակշիռ կամ քվադրատատիկ պրոցեսներ; **դ)** Եթե միատոմ իդեալական գազին իզոբար կերպով հաղորդվի Q ջերմաքանակ, ապա այդ պրոցեսում գազը կկատարի $A=2Q/5$ աշխատանք:

2.9. ա) Դարձելի կոչվում են այն պրոցեսները, որոնք ընթանում են այնպես, որ պրոցեսն ավարտվելուց հետո համակարգը հնարավոր է վերադարձնել ելավիճակին առանց շրջակա միջավայրում փոփոխություններ առաջացնելու; **բ)** Մարմնի ներքին էներգիայի մեջ մտնում է նաև ատոմների և մոլեկուլների կազմի մեջ մտնող էլեկտրոնների և միջուկների շարժմամբ և փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիան, սակայն ջերմադինամիկայում այս էներգիաները հաշվի չի առնվում; **գ)** Ջերմաչափի համարվող համակարգի ազատության աստիճան-

ների թիվը շատ փոքր պետք է լինի հետազոտվող համակարգի ազատության աստիճանների թվից: Այս դեպքում հետազոտվող համակարգի տված կամ ստացած ջերմաքանակը կարելի է համարել փոքր գրգռում և դրա հետևանքով անտեսել այդ համակարգի ջերմաստիճանի փոփոխությունը; **դ)** Ադիաբատ պրոցեսի դիֆերենցցիալ հավասարումն է՝ $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + \gamma \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV = 0$, որտեղ $\gamma = C_p/C_V$ և կոչվում է ադիաբատի գործակից:

2.10. ա) Իզոխոր պրոցեսում համակարգին հաղորդած ջերմաքանակը հավասար է նրա ներքին էներգիայի փոփոխությանը; **բ)** Ջերմադինամիկական պրոցես է կոչվում մակրոսկոպական համակարգի անցումը մի ջերմադինամիկական վիճակից մյուսին; **գ)** Ջերմադինամիկական համակարգի (գազի) ընդարձակման $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ աշխատանքի բանաձևից հետևում է, որ վերջավոր աշխատանքը կարելի է հաշվարկել, եթե հայտնի լինի ճնշման կախվածությունը ծավալից; **դ)** Եթե պրոցեսների հետևանքով համակարգը վերադառնում է ելման վիճակին, ապա պրոցեսը կոչվում է ցիկլիկ (շրջանային):

2.11. ա) Երկատոմ ատոմգական մոլեկուլներից բաղկացած իդեալական գազի ներքին էներգիան՝ $U = \frac{7}{2} \frac{m}{M} RT$, որում $\frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$ արժեքը պայմանավորված է մոլեկուլների անկանոն համընթաց շարժմամբ, իսկ $\frac{m}{M} RT$ -ն՝ պտտական շարժմամբ և նույնքան էլ՝ տատանողական շարժմամբ, որտեղ R -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը; **բ)** Համակարգի անհավասարակշիռ վիճակից հավասարակշիռ վիճակի անցնելու պրոցեսը կոչվում է ռելաքսիացիա, իսկ դրա համար անհրաժեշտ ժամանակամիջոցը՝ ռելաքսիացիայի ժամանակ; **գ)** Ցիկլիկ պրոցեսը p, V (ճնշում, ծավալ) կոորդինատական հարթության մեջ փակ կոր է, որի եզրագծած մակերեսը շրջելի պրոցեսի դեպքում հավասար է ցիկլի ընթացքում կատարված աշխատանքին; **դ)** Քանի որ ադիաբատ պրոցեսում $\delta Q = 0$, ուստի համակարգի ջերմունակությունը ադիաբատ պրոցեսում հավասար է գրոյի՝ $C = \frac{\delta Q}{dT} = 0$:

2.12. ա) Իրական գազերի ներքին էներգիան ջերմաստիճանային կախ-

վածությունից բացի, թույլ կերպով կախված է նաև ծավալից, ինչը պայմանավորված է իրական գազի մասնիկների փոխադարձ ձգողության թույլ ուժերով; **բ)** Ինքնակամ ջերմային պրոցեսներն ունեն ուղղվածություն և անշրջելություն, ինչը չի հետևում պահպանման օրենքներից, մասնավորապես՝ ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքից (էներգիայի պահպանման օրենքից); **գ)** Գազի իզոթար և իզոթերմ ընդարձակման աշխատանքների $A = p(V_2 - V_1)$ և $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ բանաձևերից հետևում է, որ աշխատանքը չի որոշվում համակարգի սկզբնական և վերջնական վիճակներով, այլ նրա արժեքը կախված է անցման ուղղուց; **դ)** Եթե p_1 ճնշում և V_1 ծավալ ունեցող իդեալական գազն ադիաբատ կերպով սեղմվի մինչև V_2 ծավալը, ապա գազի ճնշումը կդառնա $p_2 = p_1 \cdot$

$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$, իսկ i -ն՝ գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է:

2.13. ա) Հեղուկներում և պինդ մարմիններում մասնիկների միջին կինետիկ և միջին պոտենցիալ էներգիաները նույն կարգի մեծություններ են, ուստի նրանց ներքին էներգիան էապես կախված է ծավալից; **բ)** Եթե հաստատուն C_p և C_v ջերմունակություններ ունեցող համակարգը կատարել է 1-2-3-1 շրջելի ցիկլ p, V (ճնշում, ծավալ) կոորդինատական հարթությունում, որում 1-2 պրոցեսը իզոթար է, 2-3-ը՝ իզոխոր, իսկ 3-1-ը՝ ադիաբատ, ապա 1, 2 և 3 կետերի T_1 , T_2 և T_3 ջերմաստիճանները կապված են $\frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma}$ առնչությամբ, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$; **գ)** Եթե օգտվենք Մենդելեև-Գլաշեյրոնի հավասարումից, ապա իդեալական գազի իզոթերմ պրոցեսում կատարած $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ աշխատանքը կգրվի $A = p_2 V_2 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ տեսքով, որտեղ p_2 -ը գազի վերջնական վիճակի ճնշումն է; **դ)** Եթե իդեալական գազը կատարել է պոլիտրոպ պրոցես, որի ցուցիչը գտնվում է $1 < \gamma < \infty$ միջակայքում, որտեղ γ -ն ադիաբատի ցուցիչն է, ապա գազի ջերմունակությունը կլինի բացասական:

2.14. ա) Համակարգի U ներքին էներգիան հանդիսանում է վիճակի ֆունկցիա, այսինքն, եթե համակարգը մի ջերմադինամիկական վիճա-

կից անցնի մեկ ուրիշ վիճակի, ապա ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը կախված չի լինի անցման պրոցեսից; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքից հետևում է, որ իզոխոր պրոցեսում համակարգի ներքին էներգիան փոքրանում է այլ մարմինների նկատմամբ կատարված աշխատանքի չափով; **գ)** Համակարգի ներքին էներգիան կարող է փոփոխվել նաև առանց աշխատանք կատարելու: Օրինակ, գլանում գտնվող գազի ծավալը մնա հաստատուն և այն տաքացվի, ապա գազի ներքին էներգիան կմեծանա; **դ)** Եթե իդեալական գազը կատարի պրոցես, որի ընթացքում հաղորդած Q ջերմաքանակը հավասար լինի գազի ներքին էներգիայի նվազմանը՝ $Q = U_1 - U_2$, ապա այդ գազի մոլային ջերմունակությունը կլինի՝ $C_\mu = \frac{(i+2)R}{i}$, որտեղ R -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է, իսկ i -ն՝ գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվը:

2.15. ա) Քվազիհավասարակշիռ պրոցեսների դեպքում գազի ներքին ճնշումը հավասար է նրա վրա արտաքինից ազդող ճնշմանը; **բ)** Եթե համակարգի կատարած 1-2-3-1 շրջելի ցիկլը p, V (ճնշում, ծավալ) կոորդինատական հարթությունում կազմված է 1-2 իզոթերմից, հաստատուն C ջերմունակությամբ 2-3 պոլիտրոպից և 3-1 ադիաբատից, ապա ցիկլի աշխատանքը կլինի՝ $A = C \left(T_1 \ln \frac{T_1}{T_3} - T_1 + T_3 \right)$, որտեղ T_1 -ը 1-2 իզոթերմի ջերմաստիճանն է, իսկ T_3 -ը՝ 3 կետի ջերմաստիճանն է; **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգը աշխատանք է կատարում, ապա փոխվում է նրա վիճակը, հետևաբար՝ նաև համակարգի ներքին էներգիան: Սակայն միշտ չէ, որ համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխության մոդուլը հավասար է աշխատանքի մոդուլին; **դ)** Ջերմաչափ կարող է հանդիսանալ այնպիսի մակրոսկոպական համակարգը, որի վիճակը նկարագրող բոլոր մակրոսկոպիկ պարամետրերից միայն մեկը ջերմաքանակ ստանալուց կամ տալուց կրում է էական փոփոխություն, իսկ մյուսների փոփոխությունը անտեսվում է: Այդ փոփոխվող պարամետրին անվանում են ջերմաստիճանային պարամետր: Օրինակ. հաստատուն ճնշման գազային թերմոմետրը, որտեղ թերմի-

կական պարամետրը, հանդիսանում է ծավալը՝ $V = V_0(1 + \alpha t)$, այստեղ V_0 -ն ծավալն է 0°C -ում, $\alpha = 1/273^\circ$ -ն՝ իդեալական գազի ծավալային ընդարձակման գործակիցն է: Չափելով ծավալը որոշում են ջերմաստիճանը:

2.16. ա) Եթե ջերմադինամիկական համակարգի ծավալն իզոբար պրոցեսում փոփոխվել է ΔV -ով, ապա կատարվել է $\Delta A = p\Delta V$ մեխանիկական աշխատանք, որտեղ p -ն ճնշումն է; **բ)** Ադիաբատ պրոցեսում ծավալի միևնույն ΔV փոփոխությանն համապատասխանում է ճնշման ավելի փոքր փոփոխություն, քան իզոթերմ պրոցեսում; **գ)** Իդեալական գազի T ջերմաստիճանը և V ծավալը պոլիտրոպ պրոցեսում իրար հետ կապված են $TV^{n-1} = \text{const}$ առնչությամբ, որտեղ $n = \frac{C_p - C_v}{C - C_v}$ -ն պոլիտրոպի ցուցիչն է; **դ)** Եթե իդեալական գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունն ադիաբատ ընդարձակման հետևանքով փոքրացել է a անգամ, ապա գազի ծավալը մեծացել a^{2i} անգամ, որտեղ i -ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է:

2.17. ա) Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը կախված է պրոցեսից և չի հանդիսանում վիճակի ֆունկցիա; **բ)** Ջերմահաղորդականությամբ օժտված կամայական մարմին կարելի է օգտագործել որպես ջերմաչափ; **գ)** Միմյանց հետ հպվող մարմինների միջև ներքին էներգիայի փոփոխման պրոցեսը առանց աշխատանք կատարելու կոչվում է ջերմափոխանակություն; **դ)** Եթե իդեալական գազը կատարել է պոլիտրոպ պրոցես, որի ցուցիչը բավարարում է $n > \gamma$ պայմանին, որտեղ γ -ն ադիաբատի ցուցիչն է, ապա գազի ջերմունակությունը կլինի բացասական, ինչը նշանակում է, որ գազի ջերմունակությունը հաստատուն պահելու համար նրանից պետք է ջերմաքանակ վերցնել:

2.18. ա) Քանի որ գազի կատարած ΔA աշխատանքը ծավալի ΔV փոփոխության դեպքում որոշվում է $\Delta A = p\Delta V$ արտահայտությամբ, ուստի գազը ընդարձակվելիս ($\Delta V > 0$) կատարում է դրական աշխատանք, իսկ սեղմվելիս ($\Delta V < 0$)՝ բացասական; **բ)** Եթե T_1 ջերմաստիճան և V_1 ծավալ ունեցող իդեալական գազն ադիաբատ կերպով սեղմվի մինչև V_1 ծա-

վալը, ապա գազի ջեմաստիճանը կդառնա՝ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}$, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$ (i-ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է); **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգը ադիաբատորեն մեկուսացված է, ապա դրա ներքին էներգիան հնարավոր է փոփոխել միայն աշխատանքի կատարելով; **դ)** m զանգվածով մարմնի ջերմաստիճանը T_1 -ից T_2 դարձնելու համար պահանջվող ջերմաքանակը տրվում է $Q = cm(T_2 - T_1)$ բանաձևով, որտեղ c-ն նյութի տեսակար ջերմունակությունն է;

2.19. ա) Եթե գազը ընդարձակվում է ոչ շրջելի կերպով, ապա այս դեպքում արտաքին ճնշումը փոքր կլինի գազի ճնշումից և արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքը կլինի փոքր գազի ընդարձակման աշխատանքից; **բ)** Քանի որ իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում տրվում է $C = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R + \frac{m}{M} R$ արտահայտությամբ, իսկ $\frac{i}{2} \frac{m}{M} R$ մեծությունը հանդիսանում է իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում, ուստի՝ $C_p = C_v + \frac{m}{M} R$; **գ)** Համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխության պրոցեսն առանց աշխատանք կատարելու կոչվում է ջերմափոխանակություն (ջերմահաղորդականություն); **դ)** Եթե իդեալական գազի ճնշումը ինչ-որ պրոցեսում ծավալից կախված է $p = aV$ օրենքով ($a = \text{const}$), ապա այդ գազի մոլային ջերմունակությունը կլինի՝ $C_\mu = \frac{(i+2)R}{i}$, որտեղ i-ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է, իսկ R-ը՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը:

2.20. ա) Քանի որ աշխատանքը կախված է պրոցեսից և չի հանդիսանում վիճակի ֆունկցիա, ուստի նրա անվերջ փոքր տարրը նշանակում են δA -ով՝ $\delta A = p dV$; **բ)** Այն սարքավորումը, որը կարող է անընդհատ աշխատանք կատարել առանց էներգիա ստանալու, կոչվում է առաջին սեռի հավերժական շարժիչ; **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգը արտաքին ուժերի դեմ կատարում է աշխատանք, ապա այն իրականանում է արտաքին պարամետրերի փոփոխման հաշվին; **դ)** Իդեալական գազի ծավալը մի դեպքում ադիաբատ կերպով են a անգամ փոք-

րացրել, իսկ երկրորդ դեպքում՝ իզոթերմ պրոցեսով: Եթե գազի սկզբնական վիճակը երկու դեպքում էլ եղել է նույնը, ապա ադիաբատ սեղման աշխատանքն իզոթերմ սեղման աշխատանքից $\frac{a^{\gamma-1}+1}{\gamma-1} \ln a$ անգամ փոքր կլինի, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$ (i-ն մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է):

2.21. ա) Քանի որ պինդ մարմիններում մասնիկների միջին կինետիկ և միջին պոտենցիալ էներգիաները նույն կարգի մեծություններ են, ուստի դրանց ներքին էներգիան կախված չէ ծավալից; **բ)** Քանի որ իզոխոր պրոցեսում համակարգին հաղորդած ջերմաքանակը տրվում է $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$ արտահայտությամբ, ուստի համակարգի ջերմունա-

կությունը հաստատուն ծավալի դեպքում (C_V -ն) կլինի՝ $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$; **գ)** Ջերմադինամիկական համակարգի կողմից արտաքին ուժերի դեմ կատարած A աշխատանքը հավասար է համակարգի նկատմամբ արտաքին ուժերի կատարած A' աշխատանքին հակառակ նշանով՝ $A = -A'$; **դ)** Առաձգական երկատոմ իդեալական գազի $C_{\mu p}$ մոլային ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում հավասար է $C_{\mu p} = 9R/2$, որտեղ R -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է:

2.22. ա) Եթե p, V կոորդինատական հարթության վրա պատկերենք $p = p(V)$ կախվածության գրաֆիկը, ապա V առանցքի վրայի V_1 և V_2 կետերից այդ առանցքին տարված ուղղահայաց ուղիղները հատվելով $p = p(V)$ կորի հետ ստեղծում են կորագիծ սեղան, որի մակերեսը հավասար է գազի կատարած աշխատանքին; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (էներգիայի պահպանման օրենքը) չի կարող բացատրել մեխանիկական էներգիայի անշրջելիորեն ներքին էներգիայի փոխակերպվելը; **գ)** Ընդունված է մարմնի ստացած (կամ մարմնին հաղորդած ջերմաքանակը) համարել դրական ($Q > 0$), իսկ մարմնի տված (կամ վերցված) ջերմաքանակը՝ բացասական ($Q < 0$); **դ)** Եթե համակարգին δQ ջերմաքանակ հաղորդելիս նրա ջերմաստիճանը բարձրանում է dT -ով, ապա այդ համակարգի C ջերմունակությունը կլինի $C = \delta Q/dT$:

2.23. ա) Երկատոմ առաձգական մոլեկուլներից բաղկացած իդեալական գազի ներքին էներգիան հավասար է $U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT$, որտեղ R -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (էներգիայի պահպանման օրենքը) չի արգելում ջերմաքանակը սառը մարմնից տաք մարմնին անցնելուն; **գ)** Ջերմափոխանակման պրոցեսում համակարգին տրված կամ նրանից վերցված էներգիան կոչվում է ջերմաքանակ; **դ)** Բոլոր ինքնակամ ջերմային պրոցեսները ընթանում են այնպես, որ համակարգի ջերմադինամիկական պարամետրերն ունենան նվազագույն արժեք:

2.24. ա) Եթե օգտվենք Մենդելև-Կլապեյրոնի հավասարումից, ապա իդեալական գազի իզոբար պրոցեսում կատարած $A = p(V_2 - V_1)$ աշխատանքը կգրվի $A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ տեսքով; **բ)** Բարձր ջերմաստիճաններում տեղի ունեցող պրոցեսներին անվանում են պոլիտրոպ պրոցեսներ; **գ)** Քանի որ իզոբար պրոցեսում իդեալական գազի ստացած ջերմաքանակը տրվում է $\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{N} R dT + \frac{m}{N} R dT$ արտահայտությամբ, ուստի իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կլինի $C_p = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{i}{2} \frac{m}{N} R + \frac{m}{N} R$; **դ)** Քանի որ հեղուկներում մասնիկների միջին կինետիկ և միջին պոտենցիալ էներգիաները նույն կարգի մեծություններ են, ուստի նրանց ներքին էներգիան կախված չէ ծավալից:

2.25. ա) p, V կոորդինատական հարթության վրա գազի իզոբար ընդարձակման աշխատանքը հավասար է $(V_2 - V_1)$ հիմքով և p բարձրությամբ ուղղանկյան մակերեսին; **բ)** Եթե իդեալական գազի նկատմամբ կատարվի պոլիտրոպ պրոցես, որի n ցուցիչը բացասական է, ապա գազի սեղման դեպքում ջերմաստիճանը բարձրանում է; **գ)** Նյութի տեսակար ջերմունակությունը թվապես հավասար է այն ջերմաքանակին, որն անհրաժեշտ է այդ մարմնի 1 կգ-ը 1° -ով տաքացնելու համար; **դ)** Եթե գազն ադիաբատ կերպով ընդարձակվում է, ապա $A = -\frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_2) > 0$, որտեղից հետևում է, որ $T_1 > T_2$: Այսինքն, ադիա-

բատ ընդարձակվելիս գազի ջերմաստիճանն ընկնում է:

2.26. ա) Նյութի տեսակարար ջերմունակության միավորը ՄՀ-ում հանդիսանում է $1\Omega/(\text{կգ}\cdot^\circ\text{C})$; **բ)** Եթե գազը ընդարձակվում է շրջելի կերպով (քվադրատատիկ), ապա այս դեպքում արտաքին p_1 ճնշումն անվերջ փոքր չափով կտարբերվի գազի p ճնշումից և արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքը կլինի առավելագույնը; **գ)** Ջերմամեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսը կոչվում է ադիաբատ պրոցես: Ադիաբատ պրոցեսում $\delta Q = 0$; **դ)** Քանի որ ադիաբատ պրոցեսում համակարգը աշխատանք է կատարում իր ներքին էներգիայի նվազման հաշվին՝ $A = U_1 - U_2$, ուստի առավելագույն աշխատանքը այս դեպքում հավասար է համակարգի ներքին էներգիային:

2.27. ա) Այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է m զանգվածով մարմնի ջերմաստիճանը 1° -ով տաքացնելու համար, կոչվում է ջերմունակություն և նշանակվում է C -ով; **բ)** Եթե իդեալական գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունն ադիաբատ ընդարձակման հետևանքով փոքրանա a անգամ, ապա գազի ծավալը կմեծանա a^2 անգամ; **գ)** Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը կախված չէ պրոցեսից և հանդիսանում է վիճակի ֆունկցիա; **դ)** Գազի ծավալի միևնույն փոփոխության դեպքում, իզոթերմ պրոցեսով ընդարձակման աշխատանքը մեծ է ադիաբատ պրոցեսով ընդարձակման աշխատանքից:

2.28. ա) Մարմնի C ջերմունակությունը հավասար է մարմնի զանգվածի և նրա c տեսակարար ջերմունակության արտադրյալին՝ $C=mc$; **բ)** Քանի որ ներքին էներգիայի փոփոխությունը ընդհանուր դեպքում տրվում է $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$, արտահայտությամբ, ուստի իզոխոր պրոցեսի դեպքում $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$ և համակարգին հաղորդած ջերմաքանակը, համաձայն ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքի, կլինի՝ $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$; **գ)** Եթե իդեալական գազը կատարի պրոցես, որի ընթացքում հաղորդած Q ջերմաքանակը հավասար լինի գազի ներքին էներգիայի նվազմանը՝ $Q = U_1 - U_2$, ապա այդ պրոցեսը $n = \frac{i+3}{2i}$ ցուցիչով պոլիտրոպ պրոցես է, որտեղ i -ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների

թիվն է; **դ)** Այն պրոցեսը, որի դեպքում համակարգի ջերմունակությունը մնում է հաստատուն՝ $C = \frac{\delta Q}{dT} = const$, կոչվում է պոլիտրոպ պրոցես:

2.29. ա) Այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է նյութի 1մոլ-ը 1^0 -ով տաքացնելու համար, կոչվում մոլային ջերմունակություն՝ C_μ ; **բ)** Եթե իդեալական գազի նկատմամբ կատարվի պոլիտրոպ պրոցես, որի ո ցուցիչը բացասական է, ապա գազի սեղման դեպքում ջերմաստիճանը բարձրանում է; **գ)** Եթե գազը ընդարձակվում է ոչ շրջելի կերպով, ապա այս դեպքում արտաքին p_1 ճնշումը փոքր կլինի գազի p ճնշումից և արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքը կլինի փոքր գազի ընդարձակման աշխատանքից; **դ)** Քանի որ իզոբար պրոցեսում ($dp=0$) ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքն ունի $\delta Q = dU + pdV$ տեսքը, իսկ իդեալական գազի դեպքում $dU = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R dT$ և $pdV = \frac{m}{M} R dT$, հետևաբար այդ համակարգի ստացած ջերմաքանակը կլինի՝ $\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R dT + \frac{m}{M} R dT$:

2.30. ա) Նյութի մոլային ջերմունակությունը հավասար է մարմնի C ջերմունակության հարաբերությանը նյութի ν քանակին՝ $C_\mu = \frac{C}{\nu} = \frac{C}{m} M = cM$; **բ)** Եթե իդեալական գազի ճնշումը, ինչ-որ պրոցեսում, ծավալից կախված է $p = aV$ օրենքով ($a=const$), ապա այդ գազի մոլային ջերմունակությունը կլինի՝ $C_\mu = \frac{i+1}{2i} R$, որտեղ i -ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է, իսկ R -ը՝ գազային ունիվերսալ հաստատունը; **գ)** Եթե օգտվենք Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից, ապա իդեալական գազի ադիաբատ պրոցեսում կատարած $A = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_1 - T_2)$ աշխատանքը կգրվի $A = \frac{i}{2} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$ տեսքով; **դ)** Եթե իդեալական գազ պարունակող անոթը միացվի դատարկ անոթին, ապա գազի ադիաբատ ընդարձակման հետևանքով էնտրոպիան կնվազի:

2.31. ա) Նյութի C_μ մոլային ջերմունակությունը հավասար է մարմնի c տեսակարար ջերմունակության և M մոլային զանգվածի արտադրյալին $C_\mu = cM$; **բ)** Բոլոր ինքնակամ ջերմային պրոցեսները ընթանում են այնպես, որ հավասարվեն համակարգի ջերմադինամիկական պարամետրերը՝ ջերմաստիճանը, խտությունը, ճնշումը, քիմիական բաղադ-

րությունը և այլն; **զ)** Քանի որ ջերմամեկուսացված համակարգի կատարած առավելագույն աշխատանքը հավասար է իր ներքին էներգիային, որն ունի վերջավոր արժեք, ուստի ներքին էներգիան սպառվելուց հետո համակարգն այլևս աշխատանք չի կատարի; **դ)** Քանի որ համակարգի ջերմունակությունը որոշվում է $C = \frac{\delta Q}{dT}$ արտահայտությամբ, իսկ իզոթերմ պրոցեսում $dT = 0$, ուստի իզոթերմ պրոցեսում համակարգի ջերմունակությունն անվերջ մեծ է:

2.32. ա) Նյութի C_μ մոլային ջերմունակության միավորը ՄՇ-ում հանդիսանում է $1\Omega/(\text{մոլ}\cdot^\circ\text{C})$, իսկ C ջերմունակությանը՝ $1\Omega/^\circ\text{C}$; **բ)** Եթե իդեալական գազի պոլիտրոպի ցուցիչը լինի n , իսկ ադիաբատինը՝ γ , ապա այդ գազի մոլային ջերմունակությունը կլինի՝ $C_\mu = \frac{n-\gamma}{(n-1)(\gamma+1)} R$, որտեղ R -ը ունի վերսալ գազային հաստատունն է; **գ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքն արգելում է առաջին սեռի հավերժական շարժիչների գոյությունը; **դ)** Գազի ծավալի միևնույն փոփոխության դեպքում, ոչ շրջելի պրոցեսում ստացված կամ ծախսված աշխատանքները փոքր են շրջելի պրոցեսով կատարված աշխատանքներից:

2.33. ա) Իդեալական գազի իզոթերմ ընդարձակման $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ աշխատանքը հավասար է ստացած ջերմաքանակին՝ $Q = A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$;

բ) Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը T և V փոփոխականներով ունի $\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] dV$ տեսքը; **գ)** Իդեալական գազի p ճնշումը և V ծավալը ադիաբատ պրոցեսում իրար հետ կապված են $pV^\gamma = \text{const}$ առնչությամբ, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ -ն ադիաբատի ցուցիչն է (Պուասոնի գործակիցը); **դ)** Եթե իդեալական գազ պարունակող անոթը միացվի դատարկ անոթին, ապա գազի ադիաբատ ընդարձակման հետևանքով ջերմաստիճանը կնվազի:

2.34. ա) Եթե ջերմամեկուսացված համակարգում ջերմափոխանակությանը մասնակցում են մի քանի մարմին, ապա $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = 0$, որտեղ $Q_i = c_i m_i (T - T_i)$ -ն i -րդ մարմնի ստացած կամ տված ջերմաքանակն է: Այս արդյունքը հանդիսանում է էներգիայի պահպանման օրենքի հե-

տևանք և հայտնի է որպես ջերմային հաշվեկշռի հավասարում; **բ)** Ջերմադինամիկական ոչ փակ պրոցեսում ջերմային ռեզերվուարից (ջերմության աղբյուրից) վերցված ջերմաքանակը կարող է ամբողջությամբ փոխակերպվել աշխատանքի; **գ)** Իդեալական գազի $C_{p\mu}$ մոլային ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կլինի՝ $C_{p\mu} = C_{v\mu} + R = \frac{i}{2}R + R$, որտեղ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունն է իսկ i -ն՝ գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվը; **դ)** Եթե իզոթերմի բոլոր կետերում ծավալային ընդարձակման գործակիցը հավասար է զրոյի, ապա այդ իզոթերմը կհամընկնի ադիաբատի հետ: Այսինքն, այդ իզոթերմի ցանկացած կետի համար $\delta Q = 0$:

2.35. ա) Նկատի ունենալով, որ համակարգի ստացած (տված) ջերմաքանակը կախված է պրոցեսից և չի հանդիսանում վիճակի ֆունկցիա, նրա անվերջ փոքր տարրը նշանակում են δQ -ով; **բ)** Քանի որ համակարգի ներքին էներգիան կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U = U(T, V)$, ուստի ներքին էներգիայի փոփոխությունը կլինի՝ $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$; **գ)** Քանի որ ադիաբատ պրոցեսում $\delta Q = 0$, ուստի ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը ադիաբատ պրոցեսի համար կլինի՝ $\delta A = -dU$, ինչը նշանակում է, որ այս պրոցեսում համակարգը աշխատանք է կատարում իր ներքին էներգիայի նվազման հաշվին; **դ)** Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքից հետևում է, որ համակարգի ներքին էներգիան հնարավոր չէ փոփոխել առանց ջերմաքանակ հաղորդելու:

2.36. ա) Մարմնի ջերմաստիճանը միևնույն չափով կարելի է փոփոխել ինչպես նրան որոշակի ջերմաքանակ հաղորդելու, այնպես էլ աշխատանք կատարելու միջոցով; **բ)** Երբ մթնոլորտի օդի երկրամերձ տաք շերտերը բարձրանում են վերև, նրանց ջերմաստիճանը ադիաբատ ընդարձակման հետևանքով նվազում է, որը բերում է դրանցում առկա ջրային գոլորշու խտացմանը՝ առաջանում են ջրի մանր կաթիլներ (մառախուղ) կամ սառցի բյուրեղիկներ (ամպ); **գ)** Իզոխոր պրոցեսում ($V = \text{const}$, $\delta A = p dV = 0$) ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը կլինի՝ $\delta Q = dU$, ինչը նշանակում է, որ իզոխոր պրոցեսում համակարգի ներ-

քին էներգիան փոքրանում է այլ մարմիններին տված ջերմաքանակի չափով; **դ)** Ջերմադինամիկական ոչ փակ պրոցեսում ջերմային ռեզերվուարից (ջերմության աղբյուրից) վերցված ջերմաքանակը չի կարող ամբողջությամբ փոխակերպվել աշխատանքի:

2.37. ա) Ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը մի վիճակից մյուսին անցնելիս հավասար է արտաքին ուժերի կատարած A' աշխատանքի և համակարգին տրված Q ջերմաքանակի գումարին՝ $\Delta U = Q + A'$: Այս արդյունքին անվանում են ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունք (օրենք); **բ)** Եթե իդեալական գազի ճնշումը պոլիտրոպ պրոցեսում ծավալից կախված է $p = aV$ օրենքով ($a = const$), ապա այդ պրոցեսի պոլիտրոպի n ցուցիչը հավասար կլինի ադիաբատի γ ցուցչին; **գ)** Քանի որ հաստատուն ծավալի դեպքում ջերմունակությունը տրվում է $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ արտահայտությամբ, իսկ իդեալական գազի համար $U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$, ուստի իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում կլինի՝ $C_V = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R$ որտեղ i -ն գազի մասնիկների ազատության աստիճանների թիվն է; **դ)** Ջերմամեկուսացված երկու անոթներ, որոնց ծավալների հարաբերությունը հավասար է a -ի՝ $a = \frac{V_1}{V_2}$, լցված են նույն գազով և ունեն նույն ճնշումը, իսկ ջերմաստիճաններն են՝ T_1 և T_2 : Եթե այդ անոթները նեղ խողովակով միացվեն, ապա անոթներում կհաստատվի $T = \frac{T_2 T_1}{a(T_2 + T_1)}$ ջերմաստիճան:

2.38. ա) Եթե շրջանային պրոցեսի ժամանակ համակարգը ստանում է ջերմաքանակ, ապա նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը ցիկլի ընթացքում կլինի դրական՝ $\oint dU > 0$; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքից հետևում է, որ համակարգի ներքին էներգիան հնարավոր չէ փոփոխել առանց աշխատանք կատարելու; **գ)** Եթե օգտվենք ադիաբատ պրոցեսի $pV^\gamma = const$ հավասարումից, որտեղ $\gamma = C_p/C_v$, ապա իդեալական գազի ադիաբատ պրոցեսում կատարած $A = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_1 - T_2)$

աշխատանքի բանաձևը կգրվի $A = \frac{m}{M} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$ տեսքով; **դ)** Քանի

որ իզոխոր պրոցեսում համակարգի ջերմունակությունը տրվում է $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ արտահայտությամբ, իսկ այդ պրոցեսի համար $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$, ուստի $dU = C_V dT$ կամ $U = \int C_V dT + const$:

2.39. ա) Եթե անտեսվի բազմատոմ իդեալական գազի C_V -ի թույլ կախվածություն T -ից, ապա այդ գազի ներքին էներգիան կլինի՝ $U = C_V T + U_0$, որտեղ U_0 -ն անորոշ հաստատուն է, որը կարելի է համարել ներքին էներգիայի հաշվման սկզբնակետ և վերցնել հավասար գրոյի; **բ)** Համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխության մոդուլը միշտ հավասար է աշխատանքի մոդուլին; **գ)** Իդեալական գազի p ճնշումը և T ջերմաստիճանը պոլիտրոպ պրոցեսում իրար հետ կապված են $\frac{p^{n-1}}{T^n} = const$ առնչությամբ, որտեղ n -ը պոլիտրոպի ցուցիչն է; **դ)** Եթե իդեալական գազի ծավալն ինչ-որ պրոցեսում ջերմաստիճանից կախված է $V = \frac{a}{T}$ օրենքով ($a = const$), ապա այդ գազի մոլային ջերմունակությունը կլինի՝ $C_\mu = \frac{i-2}{i}R$, որտեղ i -ն գազի մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է:

2.40. ա) Գազի ծավալի միևնույն փոփոխության դեպքում, ադիաբատ պրոցեսով սեղման աշխատանքը մեծ է իզոթերմ պրոցեսով սեղման աշխատանքից; **բ)** Եթե աշխատող սառնարանի դուռը երկար ժամանակ բաց մնա, ապա դրա հետևանքով սենյակի ջերմաստիճանը կիջնի; **գ)** Կոշտ երկատոմ իդեալական գազի $C_{p\mu}$ մոլային ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում $C_{p\mu} = 2,5R$, որտեղ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունն է; **դ)** Եթե շրջանային պրոցեսի ժամանակ համակարգը տալիս է ջերմաքանակ, ապա նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը ցիկլի ընթացքում կլինի բացասական՝ $\oint dU < 0$:

§3. Ջերմադինամիկայի օրենքները: Ջերմադինամիկական պոտենցիալներ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ջերմային մեքենաներ (շարժիչներ)

Ջերմային մեքենաներ կոչվում են այն սարքավորումները, որոնք ջերմային էներգիան փոխակերպում են մեխանիկական աշխատանքի:

Նկ.3.1 -ում բերված է ջերմային մեքենայի կառուցվածքի սկզբունքը: Բոլոր ջերմային մեքենաները կազմված են երեք հիմնական մասերից՝ ջեռուցիչ, սառնարանից և բանող մարմնից: Բանող մարմինը, որը սովորաբար գազ է, ջեռուցիչի վերջնում է Q_1 ջերմաքանակ, կատարում է ինչ որ A աշխատանք, Q_2 ջերմաքանակ տալիս է սառնարանին և գալիս է ելման վիճակին:

• Ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն.

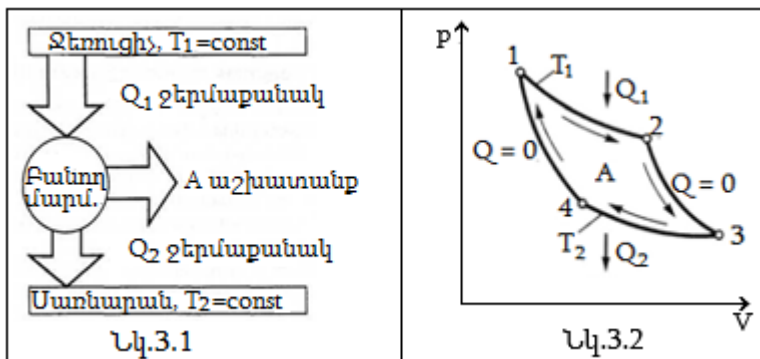
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}, \quad (3.1)$$

որտեղ $A = Q_1 - |Q_2|$ -ը մեքենայի կատարած մեխանիկական աշխատանքն է:

2. Կառնոյի ցիկլը (Նկ.3.2)

Կառնոյի ցիկլը երկու իզոթերմից (1-2; 3-4) և երկու ադիաբատից (2-3; 4-1) կազմված շրջելի ցիկլ է:

• Շրջելի կոչվում է այն հավասարակշիռ ջերմադինամիկական պրոցեսը, որն ուղիղ և հակառակ ուղղությամբ անցնում է բոլոր նույն միջան-



կյալ վիճակները և առանց էներգիա ծախսելու վերադառնում է սկզբնական վիճակին: Այս ընթացքում շրջապատող միջավայրում մակրոսկոպական փոփոխություն չի լինում: Շրջելի պրոցեսի ՕԳԳ-ն առավելագույնն է:

- **Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն.**

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (3.2)$$

որտեղ T_1 -ը ջեռուցչի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ սառնարանինը:

- **Կառնոյի առաջին թեորեմը.**

Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն կախված է միայն ջեռուցչի և սառնարանի ջերմաստիճաններից, բայց կախված չէ մեքենայի կառուցվածքից ու բանող մարմնի նյութի տեսակից:

- **Կառնոյի երկրորդ թեորեմը.**

Ցանկացած ջերմային մեքենայի η' ՕԳԳ-ն, որն աշխատում է ոչ շրջելի պրոցեսով, փոքր է Կառնոյի շրջելի պրոցեսով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ից, դրանց ջեռուցիչների և սառնարանների միևնույն ջերմաստիճանների դեպքում՝ $\eta' < \frac{T_1 - T_2}{T_1}$:

Այս թեորեմից հետևում է, որ ջերմային մեքենաների ՕԳԳ-ն չի կարող լինել 100%: Այսինքն, ջերմային մեքենաները ջերմության քանակի միայն մի մասը կարող են փոխակերպել աշխատանքի, մնացած մասը փոխանցվում է շրջապատող միջավայրին: 100% ՕԳԳ ունեցող ջերմային շարժիչներին անվանում են երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ:

3. Սառնարան

Այն սարքավորումները, որոնք ավելի սառը մարմնից ջերմաքանակը փոխանցում են տաք մարմնին, կոչվում են սառնարաններ:

Նկ.3.3-ում բերված է սառնարանի աշխատանքի սկզբունքը: Բանող մարմնի նկատմամբ մեկ ցիկլի ընթացքում կատարվում է A' աշխատանք, որի արդյունքում այն սառը մարմնից վերցնում է Q_2 ջերմաքանակ և տաք մարմնին փոխանցում է Q_1 ջերմաքանակ, ընդ որում՝

$$Q_1 = A' + Q_2:$$

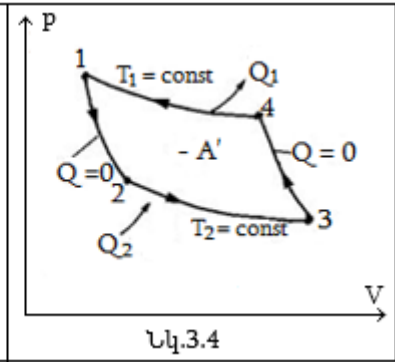
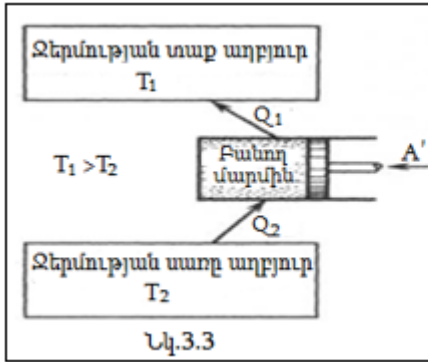
- **Սառնարանի սառեցման գործակից.**

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (3.3)$$

- **Կառնոյի հակադարձ ցիկլով աշխատող մեքենայի սառեցման գործակիցը (Նկ.3.4).**

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \quad (3.4)$$

որտեղ T_1 -ը տաք ռեզերվուարի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ սառեցվող մարմնի ջերմաստիճանը:



4. Էնտրոպիա

Էնտրոպիան համակարգի վիճակի պարամետր է, որի փոփոխությունը շրջելի պրոցեսի համար հանդիսանում է հետևյալը.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}, \quad (3.5)$$

որտեղ 1-ը համակարգի սկզբնական վիճակն է, իսկ 2-ը՝ վերջնական: Իզոթերմ պրոցեսների համար $\Delta S = Q/T$:

• Ոչ շրջելի պրոցեսների համար.

$$\Delta S > \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}: \quad (3.6)$$

Այսպիսով՝ ջերմամեկուսացված համակարգի էնտրոպիան շրջելի փակ պրոցեսների համար մնում է հաստատուն և աճում է ոչ շրջելի պրոցեսների դեպքում՝ $\Delta S \geq 0$:

• Իդեալական գազի էնտրոպիան.

ա) Արտահայտված ջերմաստիճանով և ծավալով.

$$S = Nk \ln \frac{V}{N} + C_V \ln kT + NkS_0, \quad (3.7)$$

որտեղ $C_V = \frac{i}{2} Nk$ ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, S_0 -ն՝ հաստատուն է:

բ) Արտահայտված ջերմաստիճանով և ճնշումով.

$$S = C_p \ln kT - Nk \ln p + NkS_0, \quad (3.8)$$

որտեղ $C_p = C_V + kN$ ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպ-

քում: Եթե գազի մասնիկների թիվը հաստատուն է, ապա հարմար է օգտվել $S = C_V \ln T + \nu R \ln V + S_0$ բանաձևից:

- **Էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ գազի մասնիկների N թիվը մնում է հաստատուն.**

$$\Delta S = Nk \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{կամ} \quad \Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - Nk \ln \frac{p_2}{p_1}: \quad (3.9)$$

5. Ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքը (օրենքը)

Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի համարժեք ձևակերպումները.

1. Անհնարին է ստեղծել ցիկլիկ պրոցես, որի գործողության միակ արդյունքը լինի ջերմության աղբյուրի ջերմաստիճանի իջեցման հաշվին մեխանիկական աշխատանքի կատարումը (Կելվինի ձևակերպումը):
2. Անհնարին է ստեղծել պարբերաբար պրոցեսով գործող մեքենա, որի բոլոր գործողությունները հանգեն ջերմության աղբյուրի ջերմաստիճանի իջեցման հաշվին ծանրություն բարձրացնելուն (Պլանկի ձևակերպումը):
3. Ջերմաքանակն ինքնակամ կերպով չի կարող սառը մարմնից անցնել տաք մարմնին (Կլաուզիուսի ձևակերպումը):
4. Հնարավոր չէ կառուցել երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ:
5. Ջերմամեկուսացված համակարգի էնտրոպիան շրջելի ցիկլային պրոցեսների համար մնում է հաստատուն և աճում է ոչ շրջելի պրոցեսներում՝ $\Delta S \geq 0$:

6. Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը

Ջերմադինամիկայի երրորդ օրենքը համակարգի քվանտային հատկությունների հետևանք է և պնդում է, որ բացարձակ զրո ջերմաստիճանում համակարգի էնտրոպիան կախված չէ համակարգի վիճակը նրկաբազրող պարամետրերից և այն հավասար է անորոշ հաստատունի, որը վերցվում է հավասար զրոյի՝

$$\lim_{T \rightarrow 0} [S(T, p_1, V_1, \dots) - S(T, p_2, V_2, \dots)] = 0:$$

7. Ջերմադինամիկական ֆունկցիաներ (պոտենցիալներ)

- **Ջերմադինամիկայի հիմնական հավասարումը շրջելի պրոցեսի համար.**

$$TdS = dU + pdV: \quad (3.10)$$

- **Ջերմադինամիկական համակարգի էնթալպիան.**

$$H = U + pV: \quad (3.11)$$

- Ջերմադինամիկական համակարգի ազատ էներգիան.

$$F = U - TS: \quad (3.12)$$

- Գիբսի ջերմադինամիկական պոտենցիալը.

$$G = U + pV - TS = H - TS: \quad (3.13)$$

- Գիբս -Հելմհոլցի հավասարումները.

$$U = F - T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V; \quad H = G - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p: \quad (3.14)$$

- Համակարգի ծավալը.

$$V = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T; \quad V = \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_S: \quad (3.15)$$

- Համակարգի ճնշումը.

$$p = \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_S: \quad (3.16)$$

- Համակարգի ջերմաստիճանը.

$$T = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_p: \quad (3.17)$$

- Համակարգի էնտրոպիան.

$$S = - \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V; \quad S = - \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p: \quad (3.18)$$

- Էնտրոպիայի վիճակագրական սահմանումը.

$$S = k \ln \Omega, \quad (3.19)$$

որտեղ $\Omega(E_n)$ -ը E_n էներգիայով միկրովիճակների թիվն է:

Խնդիրներ

Ջերմային մեքենաներ և սառնարաններ

○3.1. Ավտոմեքենայի շարժիչը $v=72$ կմ/ժ արագության դեպքում զարգացնում է $N=20$ կՎտ հզորություն և $l=100$ կմ ճանապարհի վրա ծախսում է $m=10$ կգ բենզին: Որոշեք շարժիչի ՕԳԳ-ն:

□3.2. Ջերմանավը գետի հոսանքին հակառակ $l=150$ կմ անցնելու վրա ծախսեց $q=42$ ՄՋ/կգ ջերմարարություն ունեցող $m=1$ տ վառելանյութ: Գետի հոսանքի արագությունը՝ $v_1=4$ կմ/ժ, իսկ ջերմանավի արագությունը ջրի նկատմամբ՝ $v_2=22$ կմ/ժ: Շարժիչի ՕԳԳ-ն՝ $\eta=25\%$: Որոշեք շարժիչի օգտակար հզորությունը, ջրի դիմադրության ուժը և ուղերթի ընթացքում շրջապատող միջավայրին հաղորդած ջերմաքանակը:

●3.3. $\varepsilon=3$ սառեցման գործակցով սառնարանի ծախսած միջին հզորու-

թյունը՝ $N=40$ Վտ: Ինչքա՞ն էլեկտրաէներգիա կծախսի $\tau = 1$ օրվա ընթացքում: Ի՞նչ ջերմաքանակ է անջատվում այդ ընթացքում: Ինչքա՞ն ջերմաքանակ է հեռացվում սառեցվող խցիկից:

○3.4. Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենան մեկ ցիկլի ընթացքում կատարում է $A = 400\text{Ջ}$ աշխատանք, սառնարանին տալով $|Q_2| = 600\text{Ջ}$ ջերմաքանակ: Որոշեք ցիկլի ՕԳԳ-ն և ջեռուցիչի ջերմաստիճանը, եթե սառնարանի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 0^\circ\text{C}$:

○3.5. Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենան ջեռուցիչից ստացած ջերմաքանակի $k=0,24$ (40%) մասը տալիս է սառնարանին: Որոշեք ցիկլի ՕԳԳ-ն և ջեռուցիչի ջերմաստիճանը, եթե սառնարանի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 0^\circ\text{C}$:

□3.6. Գազը կատարում է Կառնոյի ցիկլ: Ջեռուցիչի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 177^\circ\text{C}$, սառնարանի ջերմաստիճանը՝ $t_2 = 27^\circ\text{C}$: Մեկ ցիկլի ընթացքում գազը կատարում է $A=150$ Ջ աշխատանք: Որոշեք գազի աշխատանքը իզոթերմ ընդարձակման և իզոթերմ սեղման ժամանակ:

□3.7. Գազը կատարում է Կառնոյի ցիկլ: Իզոթերմ ընդարձակման դեպքում այն ունեցել է $U_2=40\text{Ջ}$ ներքին էներգիա և կատարել է $A_{12}=60\text{Ջ}$ աշխատանք: Ադիաբատ ընդարձակման դեպքում գազը կատարել է $A_{23}=24$ Ջ աշխատանք: Որոշեք ցիկլի ՕԳԳ-ն, մեկ ցիկլի ընթացքում կատարած աշխատանքը, ջեռուցիչից ստացած և սառնարանին տված ջերմաքանակները:

●3.8. Գազի նկատմամբ կատարված Կառնոյի ցիկլում ադիաբատ սեղման պրոցեսի վերջում ծավալը՝ $V_1=10\text{լ}$, իզոթերմ սեղման պրոցեսի վերջում՝ $V_4=12\text{լ}$, իսկ ադիաբատ ընդարձակման վերջում՝ $V_3=18\text{լ}$: Որոշեք գազի ծավալը իզոթերմ ընդարձակման վերջում:

○3.9. Կառնոյի ցիկլով աշխատող մեքենայում մի դեպքում ջեռուցիչի ջերմաստիճանը բարցրացրին ΔT -ով, իսկ մյուս դեպքում սառնարանի ջերմաստիճանը փոքրացրին նույն ΔT -ով: Ո՞ր դեպքում ցիկլի ՕԳԳ-ն կմեծանա մեծ չափով:

○3.10. Ինչպե՞ս կփոխվի Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն, եթե դրա ջեռուցիչի և սառնարանի ջերմաստիճանները մեծացվի նույն ΔT -ով:

■3.11. Երկատոմ գազը կատարում է Կառնոյի ցիկլ: Որոշեք ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե ադիաբատ ընդարձակման դեպքում՝ ա) գազի ծավալը մեծանում է $n=2$ անգամ, բ) ճնշումը փոքրանում է $n=2$ անգամ:

●3.12. Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն՝ $\eta=0,25$:

Ինչքան կլինի այդ մեքենայի սառեցման գործակիցը, եթե կատարի նույն ցիկլը հակառակ ուղղությամբ:

●**3.13.** Կառնոյի դարձելի ցիկլով աշխատող սառեցնող մեքենան, սառեցվող մարմնի ջերմաստիճանը պահում է $t_1 = -10^\circ\text{C}$ -ում, երբ տաք կաթսա հանդիսացող շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանը՝ $t_2 = 20^\circ\text{C}$: Այդ մեքենայի բանող մարմնի նկատմամբ ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել, որպեսզի սառեցվող մարմնից հեռացվի $Q_2 = 100\text{Ջ}$ ջերմաքանակ: Ինչքան ջերմաքանակ կստանա շրջապատող միջավայրն այդ ընթացքում:

■**3.14.** Կառնոյի դարձված ցիկլով աշխատող սառեցնող մեքենան ունի $t_2 = 0^\circ\text{C}$ -ի ջրով սառը կաթսա և $t_1 = 100^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ջրով տաք կաթսա: Սառը կաթսայում ի՞նչ զանգվածով սառույց կառաջանա, եթե տաք կաթսայում $m_1 = 1\text{կգ}$ ջուրը փոխակերպվի գոլորշու: Դրա համար ինչքան աշխատանք պետք է կատարել այդ մեքենայի բանող մարմնի նկատմամբ:

■**3.15.** Ապացուցեք, որ Կառնոյի դարձված ցիկլով աշխատող սառեցնող մեքենայի սառեցման գործակիցը տրվում է $\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ առնչությամբ, որտեղ որտեղ T_1 -ը տաք ռեզերվուարի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ սառեցվող մարմնի ջերմաստիճանը:

Էնտրոպիա

●**3.16.** $v=1$ մոլ թթվածնի ջերմաստիճանը $n=2$ անգամ բարձրացրին: Որոշեք դրա էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե տաքացման պրոցեսը՝ **ա)** իզոխոր է, **բ)** իզոբար է:

●**3.17.** $m=22\text{գ}$ զանգվածով ազոտի ջերմաստիճանը տաքացնելու արդյունքում բարձրացավ $n=1,2$ անգամ, իսկ էնտրոպիան մեծացավ $\Delta S = 4,19\text{Ջ/}^\circ\text{C}$ -ով: Իզոխոր, թե՞ իզոբար պրոցեսով է ազոտի տաքացումն իրականացվել:

●**3.18.** $V_1 = 10\text{լ}$ ծավալով օդը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Որոշեք դրա էնտրոպիայի փոփոխությունն այն բանից հետո, երբ ծավալը մեծացրին $a = 2$ անգամ՝ **ա)** իզոթերմ պրոցեսով, **բ)** ադիաբատ պրոցեսով:

●**3.19.** $v=4$ մոլ գազի ծավալն իզոթերմ կերպով քանի՞ անգամ պետք է մեծացնել, որպեսզի էնտրոպիան մեծանա $\Delta S = 23\text{Ջ/}^\circ\text{C}$ -ով:

■**3.20.** Գազը կատարում է Կառնոյի ցիկլ: Իզոթերմ ընդարձակվելուց էնտրոպիան մեծացավ $\Delta S = 500\text{Ջ/}^\circ\text{C}$ -ով, իսկ ադիաբատ ընդարձակվելուց

ջերմաստիճանը նվազեց $\Delta T = 200$ Կ-ով: Որոշեք գազի աշխատանքը մեկ ցիկլի ընթացքում: Այդ ցիկլը պատկերեք (T,S) կոորդինատական հարթությունում:

■3.21. $v=1$ մոլ ազոտը $V_1 = 1$ ծավալով և $p_1 = 300$ կՊա ճնշումով վիճակից անցավ $V_2 = 5$ ծավալով և $p_2 = 100$ կՊա ճնշումով վիճակի: Որոշեք էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե այդ անցումը կատարվել է երկու պրոցեսով՝ ա) սկզբում իզոխոր, իսկ հետո իզոբար, բ) սկզբում իզոբար, իսկ հետո իզոխոր:

■3.22. Որոշեք $v=2$ մոլ երկատոմ գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ինչ-որ պրոցեսի արդյունքում դրա ծավալը մեծացել է $a = 2$ անգամ, իսկ ջերմաստիճանը՝ $b = 3$ անգամ:

■3.23. Որոշեք $v=2$ մոլ երկատոմ գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ինչ-որ պրոցեսի արդյունքում դրա ճնշումը մեծացել է $a = 2$ անգամ, իսկ ջերմաստիճանը՝ $b = 3$ անգամ:

■3.24. Որոշեք $m=1$ կգ զանգված և $t_1 = -20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան ունեցող սառույցի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե այն փոխակերպվում է $t_2 = 120^\circ$ ջերմաստիճանի գոլորշու:

■3.25. $m_1=5$ կգ զանգված և $t_1=7^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան ունեցող ջուրը խառնում են $m_2 = 8$ կգ զանգված և $t_2=77^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան ունեցող ջրին: Որոշեք այդ համակարգի յուրաքանչյուր մասի և ամբողջ համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո:

■3.26. C_1 և C_2 ջերմունակություն ունեցող երկու մարմին, որոնք համապատասխանաբար ունեն T_{10} և T_{20} ջերմաստիճան, իրար հետ դրվել են ջերմային կոնտակտի մեջ: Որոշեք համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելու պահին: Արտաքին միջավայրի հետ ջերմափոխանակությունն անտեսեք:

Առանձին քննարկեք հետևյալ դեպքերը՝ ա) $C_1=C_2 = C$, $T_{10} \neq T_{20}$; բ) $C_2 \neq C_1$, $T_{10} = T_{20} = T_0$:

■3.27. Ջերմամեկուսացված նույնանման երկու անոթներից յուրաքանչյուրում գտնվում է v քանակությամբ հեղիում: Գազի ջերմաստիճանն անոթներից մեկում T_1 է, իսկ մյուսում՝ T_2 : Որոշեք համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը այն բանից հետո, երբ անոթները նեղ խողովակով միացվում են իրար: Ապացուցեք, որ ցանկացած պարամետրի դեպքում $\Delta S \geq 0$:

■3.28. Ջերմամեկուսացված նույն ծավալն ունեցող երկու անոթներից

մեկում գտնվում v_1 քանակությամբ ջրածին, մյուսում v_2 քանակությամբ թթվածին: Գազերը համարվում են իդեալական, իսկ դրանց ճնշումներն ու ջերմաստիճանները նույնն է: Անոթները միացրին իրար և սկսվեց դիֆուզիա: Որոշեք այդ համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը: Հաշվարկը կատարել երկու եղանակով՝ **1)** Օգտվելով իդեալական գազի էնտրոպիայի $S = Nk \ln \frac{V}{N} + C_V \ln kT + NkS_0$ բանաձևից; **2)** $S = C_V \ln T + \nu R \ln V + S_0$ բանաձևից: Որի՞ց օգտվելն է ավելի հարմար:

■**3.29.** Ջերմամեկուսացված անոթը միջնորմով բաժանված է երկու մասի: V_1 ծավալով ունեցող մասում գտնվում է ν քանակությամբ գազ, իսկ V_2 ծավալով մասը դատարկ է: Միջնորմի վրա անցք է արվում և գազը զբաղեցնում է ամբողջ անոթը: Որոշեք էնտրոպիայի փոփոխությունը:

■**3.30.** V ծավալ ունեցող A և B իրարից և շրջակա միջավայրից ջերմամեկուսացված անոթները փական ունեցող նեղ խողովակով միացած են իրար: Փականի փակ դիրքում A անոթում կա T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող ν մոլ իդեալական գազ, իսկ մյուսը դատարկ է: Փականը բացում են այնքան, որ գազը դանդաղ հոսի B անոթի մեջ և երբ գազի ճնշումը երկու անոթներում դառնում է հավասար p -ի՝ փականը փակում են: Որոշեք գազի քանակը և ջերմաստիճանը յուրաքանչյուր անոթում փականը փակելուց հետո: Ինչքա՞ն է p ճնշումն ու էնտրոպիայի փոփոխությունն այդ պրոցեսում: Համարեք, որ երկու անոթներում էլ ընթացել է քվադրատատիկ պրոցես:

Ջերմադինամիկական ֆունկցիաներ (պոտենցիալներ)

●**3.31.** Որոշեք 1 մոլ իդեալական գազի F ազատ էներգիան, G Գիբսի պոտենցիալը (էներգիան) և H էնտալպիան:

■**3.32.** Ջերմադինամիկական համակարգը 1 վիճակից անցնում է 2 վիճակի: Ապացուցեք, որ առավելագույն աշխատանք կկատարվի, եթե այդ անցումը տեղի ունենա շրջելի (քվադրատատիկ) պրոցեսով:

■**3.33.** Ապացուցեք, որ շրջելի իզոթերմ պրոցեսում ջերմադինամիկական համակարգի աշխատանքը հավասար է $F=U-TS$ ազատ էներգիայի փոփոխությանը:

●**3.34.** Օգտվելով շրջելի պրոցեսների համար ջերմադինամիկայի $TdS = dU + pdV$ հիմնական հավասարումից, ցույց տվեք, որ համակարգի ճնշ-

շումը՝ $p = -\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$, իսկ ջերմաստիճանը՝ $T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$:

■3.35. Օգտվելով շրջելի պրոցեսների համար ջերմադինամիկայի $TdS = dU + pdV$ հիմնական հավասարումից և ազատ էներգիայի $F = U - TS$ բանաձևից, ցույց տվեք, որ համակարգի ճնշումը՝ $p = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$, իսկ էնտրոպիան՝ $S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$:

■3.36. Ապացուցեք, որ հաստատուն ծավալ և ջերմաստիճան ունեցող ջերմադինամիկական համակարգի համար հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $F = U - TS$ ազատ էներգիան ունի նվազագույն արժեք:

■3.37. Ապացուցեք, որ հաստատուն ճնշում և ջերմաստիճան ունեցող ջերմադինամիկական համակարգի համար հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $G = U - TS + pV$ ջերմադինամիկական պոտենցիալն (Գիբսի պոտենցիալն) ունի նվազագույն արժեք:

■3.38. Ապացուցեք, որ հաստատուն ճնշում և էնտրոպիա ունեցող ջերմադինամիկական համակարգի համար հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան ունի նվազագույն արժեք:

■3.39. Ապացուցեք, որ եթե հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան, ապա համակարգի ջերմաստիճանը և ծավալը կարելի է որոշել $T = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p$ և $V = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$ առնչություններով:

■3.40. Ապացուցեք, որ եթե հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի $F = U - TS$ ազատ էներգիան, ապա դրա ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում կլինի՝ $C_V = -T\left(\frac{\partial^2 F}{\partial T^2}\right)_V$:

■3.41. Ապացուցեք, որ եթե հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի $G = U - TS + pV$ Գիբսի պոտենցիալը, ապա դրա ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կլինի՝ $C_p = -T\left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2}\right)_p$:

■3.42. Ապացուցեք, որ եթե հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան (ջերմային ֆունկցիան), ապա դրա ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կլինի՝ $C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$:

■3.43. Օգտվելով շրջելի պրոցեսների համար ջերմադինամիկայի $TdS = dU + pdV$ հիմնական հավասարումից և ազատ էներգիայի $F = U - TS$ բա-

նաձևից, ցույց տվեք, որ $U = F - T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V$:

■3.44. Օգտվելով շրջելի պրոցեսների համար ջերմադինամիկայի $TdS = dU + pdV$ հիմնական հավասարումից և Գիբսի էներգիայի $G = U - TS + pV$ բանաձևից, ցույց տվեք, որ համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան կորոշվի $H = G - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p$ առնչությամբ:

Ոչ փակ ցիկլում կատարվող առավելագույն աշխատանքը

■3.45. Դիցուք T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում կա մարմին, որն այդ միջավայրի հետ չի գտնվում հավասարակշռության մեջ և օժտված է T ջերմաստիճանով ու p ճնշումով: Այդ մարմնի վիճակը փոփոխելու համար ի՞նչ նվազագույն աշխատանք պետք է կատարի միջավայրից և այդ մարմնից ջերմամեկուսացված արտաքին մարմինը: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կկատարի այդ ընթացքում միջավայրում գտնվող մարմինը:

■3.46. Դիցուք T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում կա մարմին, որն այդ միջավայրի հետ չի գտնվում հավասարակշռության մեջ և օժտված է T ջերմաստիճանով ու p ճնշումով: Այդ մարմնի վիճակը անվերջ փոքր չափով փոփոխելու համար ի՞նչ նվազագույն աշխատանք պետք է կատարի այն մարմինը, որը պրոցեսի յուրաքանչյուր պահին դրա հետ գտնվում է հավասարակշռության մեջ:

■3.47. Դիցուք T ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում կա նույն ջերմաստիճանի մարմին, որն այդ միջավայրի հետ չի գտնվում հավասարակշռության մեջ և ունի ուրիշ p ճնշում: Այդ մարմնի վիճակն իզոխոր կերպով փոփոխելու համար ի՞նչ նվազագույն աշխատանք պետք է կատարի այն մարմինը, որը ջերմամեկուսացված է և միջավայրից և այդ մարմնից: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կկատարի այդ ընթացքում միջավայրում գտնվող մարմինը:

■3.48. Դիցուք T ջերմաստիճան և p ճնշում ունեցող միջավայրում կա մարմին, որն ունի նույն ջերմաստիճանը և p ճնշումը: Այդ մարմնի միայն ծավալը փոփոխելու համար ի՞նչ նվազագույն աշխատանք պետք է կատարի այն մարմինը, որը ջերմամեկուսացված է և միջավայրից և այդ մարմնից: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կկատարի այդ ընթացքում միջավայրում գտնվող մարմինը:

■3.49. Ջերմային մեքենայի համար T_0 ջերմաստիճան ունեցող անսահման միջավայրը հանդիսանում է սառնարան: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարելի է ստանալ, եթե դրա բանոդ մարմինը T ջերմաստիճանում ($T > T_0$) ստանում է δQ ջերմաքանակ:

■3.50. Յիկլիկ մեքենան գտնվում է T_0 ջերմաստիճան ունեցող անսահման միջավայրում: Որոշեք այդ մեքենայի կողմից կատարվող առավելագույն աշխատանքը, եթե դրա համար ջեռուցիչ հանդիսանա T ջերմաստիճան ($T > T_0$) և C ջերմունակություն ունեցող մարմինը:

■3.51. Դիցուք C_1 և C_2 հաստատուն ջերմունակություն ունեցող երկու մարմին, որոնք ունեն T_{10} և T_{20} ($T_{10} > T_{20}$), օգտագործվում են որպես ջերմային մեքենայի ջեռուցիչ և սառնարան: Ի՞նչ աշխատանք կկատարի այդ մեքենան և ինչքա՞ն կլինի համակարգի վերջնական ջերմաստիճանը:

■3.52. V_1 և V_2 տարբեր ծավալներով անոթներից յուրաքանչյուրը պարունակում է նույն իդեալական գազի N մասնիկ: Անոթներում ջերմաստիճանը T_0 է: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարելի է ստանալ այդ անոթներն իրար միացնելուց:

■3.53. T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում գտնվող իդեալական գազի ջերմաստիճանը հավասար է միջավայրի ջերմաստիճանին՝ $T = T_0$: Այդ գազն իզոթերմ կերպով սեղմել են այնպես, որ նրա ճնշումը p_1 արժեքից դարձել է p_2 : Որոշեք այդ պրոցեսի իրականացման համար անհրաժեշտ նվազագույն աշխատանքը:

■3.54. T ջերմաստիճան ունեցող իդեալական գազը գտնվում է T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում ($T > T_0$): Այդ գազի ջերմաստիճանը իզոխոր կերպով նվազում է մինչև T_0 արժեքը: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարող է կատարել գազն այդ պրոցեսում:

■3.55. Տարբեր ծավալներով անոթներից յուրաքանչյուրը պարունակում է նույն իդեալական գազի N մասնիկ: Անոթներից մեկում ջերմաստիճանը T_1 է, մյուսում՝ T_2 : Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարելի է ստանալ այդ անոթներն իրար միացնելուց:

■3.56. T ջերմաստիճան և p ճնշում ունեցող իդեալական գազը գտնվում է T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում ($T > T_0$, $p > p_0$): Այդ գազը ընդարձակվում է այնպես, որ նրա ջերմաստիճանը և ճնշումը հավասարվում են միջավայրի ճնշմանը և ջերմաստիճանին: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարող է կատարել գազն այդ պրոցեսում:

Հարցեր

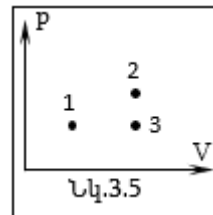
- 1. Ո՞ր սարքավորումներն են կոչվում ջերմային մեքենաներ(ջերմային շարժիչներ): Բերեք այդ սարքավորման օրինակներ:
- 2. Ի՞նչ հիմնական մասերից է կազմված ջերմային մեքենան: Ի՞նչ դեր ունի դրանցից յուրաքանչյուրը:
- 3. Ջերմային մեքենաների համար սովորաբար որպես բանող մարմին վերցնում են գազային վիճակում գտնվող նյութը: Ինչու՞:
- 4. Ուղիղ, թե՞ դարձված ցիկլ են օգտագործում՝ ա) ջերմային մեքենաներում, բ) սառեցնող մեքենաներում:
- 5. Շրջապատող միջավայրի համար ի՞նչ բացասական հետևանքների կարող է հանգեցնել ջերմային մեքենաների լայնամասշտաբ օգտագործումը:
- 6. Ինչի՞ հավասար ջերմային մեքենայի (շարժիչի) ՕԳԳ-ն: Ի՞նչ արժեքներ այն կարող է ընդունել:
- 7. Ո՞ր սարքավորումն է կոչվում առաջին սեռի հավերժական շարժիչ: Ի՞նչ օրենքի է հակասում այդպիսի շարժիչի գոյությունը:
- 8. Ո՞ր սարքավորումն է կոչվում երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ: Ի՞նչ օրենքի է հակասում այդպիսի շարժիչի գոյությունը:
- 9. Հասարակ հաշվարկները ցույց են տալիս, որ մեր մոլորակի բոլոր օվկիանոսները $1^{\circ}C$ -ով սառեցնելուց կանջատվի $6 \cdot 10^{24}$ Ջ էներգիա, ինչը մոտ 5 կարգով գերազանցում է ամբողջ տարվա ընթացքում աշխարհի բոլոր էլեկտրակայանների արտադրած էլեկտրաէներգիային: Ինչու՞ մարդկությունը չի օգտագործում նշված էներգիան:
- 10. Ի՞նչ պրոցեսներից է կազմված Կառնոյի ցիկլը: Այդ ցիկլի գրաֆիկը պատկերեք (p, V) կոորդինատական հարթությունում: Այդ ցիկլի ո՞ր տեղամասում է գազը ստանում ջերմաքանակ, որո՞ւմ տալիս:
- 11. Կառնոյի ցիկլում (Նկ.3.1) ինչպե՞ս են իրար հետ կապված 1, 2, 3 և 4 վիճակների ծավալները: Այդ ցիկլի ո՞ր պրոցեսում է ջերմաքանակն ամբողջությամբ փոխակերպվում աշխատանքի:
- 12. Գրեք Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ի բանաձևը:
- 13. Ձևակերպեք Կառնոյի առաջին թեորեմը իդեալական ջերմային մեքենայի համար:
- 13. Ձևակերպեք Կառնոյի երկրորդ թեորեմը իդեալական ջերմային

մեքենայի համար:

- 14. Կառնոյի թեորեմի համաձայն, որքա՞ն է ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ի առավելագույն արժեքը:
- 15. Ինչպե՞ս պետք է փոխել ջերմային մեքենայի ջեռուցիչի ջերմաստիճանը, որպեսզի դրա ՕԳԳ-ն մեծանա:
- 16. Ինչպե՞ս պետք է փոխել ջերմային մեքենայի սառնարանի ջերմաստիճանը, որպեսզի դրա ՕԳԳ-ն մեծանա:
- 17. Հնարավո՞ր է արդյոք այնպիսի պրոցես, որի դեպքում ջեռուցիչից ստացած ջերմաքանակն ամբողջությամբ փոխակերպվի աշխատանքի:
- 18. Ի՞նչ հիմնական մասերից է կազմած սառեցնող մեքենան: Ի՞նչ դեր ունի դրանցից յուրաքանչյուրը:
- 19. Ո՞րն է կոչվում սառեցման գործակից: Ինչպե՞ս է դա որոշվում այն սառեցնող մեքենայի համար, որն աշխատում է Կառնոյի դարձված ցիկլով:
- 20. Նկարագրեք դինամիկ տաքացման կամ ջերմային պոմպի աշխատանքի սկզբունքը: Դա ի՞նչ առավելություն ունի սովորական եղանակներով տաքացման նկատմամբ:
- 21. Ո՞ր մեծությունն է կոչվում էնտրոպիա: Ի՞նչ միավորով է դա չափվում ՄՀ-ում:
- 22. Ջերմադինամիկական ո՞ր պրոցեսն է ընթանում առանց էնտրոպիայի փոփոխության:
- 23. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում՝ **ա)** դարձելի (շրջելի), **բ)** ոչ շրջելի: Ջերմադինամիկական ռեալ պրոցեսները շրջելի են, թե՞ ոչ: Բերեք օրինակներ:
- 24. Ինչպե՞ս կփոխվի ջերմամեկուսացված համակարգի էնտրոպիան՝ **ա)** շրջելի, **բ)** ոչ շրջելի պրոցեսում:
- 25. Ձմռանը բնակարանը տաքացնելուց պարզվում է, որ բնակարանի օդի էնտրոպիան չի մեծանում: Ինչո՞վ է դա պայմանավորված:
- 26. Օգտագործելով էնտրոպիայի հասկացությունը, ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի համար գրեք մաթեմատիկական արտահայտություն:
- 27. Ո՞րն է ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի ձևակերպումը ըստ Կելվինի:
- 28. Ո՞րն է ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի ձևակերպումը ըստ Կլաուզիուսի:

■29. Ապացուցեք, որ ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի ձևակերպումները ըստ Կելվինի և Կլաուզիուսի համարժեք ձևակերպումներ են:

■30. Իզոթերմիկ պրոցեսում մարմնին հաղորդած ջերմաքանակն ամբողջությամբ փոխակերպվում է աշխատանքի: Չի՞ հակասում, արդյոք, դա ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի Կելվինի ձևակերպմանը, որն արգելում է ամբողջությամբ ջերմության փոխակերպումը աշխատանքի:



■31. Նկ.3.5-ում ($p < V$) կոորդինատական հարթության վրա կետերով նշված են միևնույն քանակությամբ գազերի երեք վիճակներ:

Ո՞ր կետին է համապատասխանում գազի առավելագույն, որի՞նը նվազագույն էնտրոպիա:

■32. Կառնոյի ցիկլը պատկերեք (T, S) կոորդինատական հարթության վրա: Ապացուցեք, որ գազի կատարած աշխատանքը ցիկլի ընթացքում հավասար է այդ գրաֆիկով պարփակված մակերեսին:

33. Մաքսիմալ, թե՞ մինիմալ արժեք ունի կայուն հավասարակշռության վիճակում գտնվող համակարգի էնտրոպիան:

34. Ձևակերպեք ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը:

35. Ի՞նչ արժեք է ընդունում կամայական ջերմադինամիկական համակարգի $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ ծավալային ընդարձակման գործակիցը, երբ բացարձակ ջերմաստիճանը ձգտում է զրոյի՝ $T \rightarrow 0$;

36. Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ ծավալային ընդարձակման գործակիցը, շատ ցածր ջերմաստիճաններում, ինչպե՞ս պետք է կախված լինի բացարձակ ջերմաստիճանից:

37. Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի էնտրոպիան, շատ ցածր ջերմաստիճաններում, ինչպե՞ս է կախված բացարձակ ջերմաստիճանից:

38. Ո՞րն է կոչվում ջերմադինամիկական համակարգի ազատ էներգիա, ո՞րը կապված:

39. Ի՞նչ պայմանի դեպքում է ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը հավասար՝ **ա)** ներքին էներգիայի, **բ)** ազատ էներգիայի փոփոխությանը հակառակ նշանով:

40. Մաքսիմալ, թե՞ մինիմալ արժեք ունի կայուն հավասարակշռության վիճակում գտնվող համակարգի ազատ էներգիան:
41. Կաճի, թե՞ կնվազի ջերմադինամիկական համակարգի ազատ էներգիան, եթե նրա հետ տեղի ունեցող պրոցեսում ծավալն ու ջերմաստիճանը մնան հաստատուն:
42. Ջերմադինամիկական համակարգը նկարագրող մակրոկոպական n ընկալի պարամետրերից պետք է կախված լինի $F=U-TS$ ազատ էներգիան, որպեսզի այն հանդիսանա ջերմադինամիկական պոտենցիալ:
43. Ի՞նչ տեսք ունի ջերմադինամիկական համակարգը նկարագրող Գիբսի պոտենցիալը կամ էներգիան, եթե տրված է համակարգի ազատ էներգիան, ճնշումը և ծավալը:
44. Ջերմադինամիկական համակարգը նկարագրող մակրոկոպական n ընկալի պարամետրերից պետք է կախված լինի $G=U-TS+pV$ Գիբսի էներգիան, որպեսզի այն հադիսանա ջերմադինամիկական պոտենցիալ:
45. Մաքսիմալ, թե՞ մինիմալ արժեք ունի կայուն հավասարակշռության վիճակում գտնվող համակարգի Գիբսի էներգիան:
46. Կաճի, թե՞ կնվազի ջերմադինամիկական համակարգի Գիբսի էներգիան, եթե նրա հետ տեղի ունեցող պրոցեսում ճնշումն ու ջերմաստիճանը մնան հաստատուն:
47. Օգտվելով ջերմադինամիկական համակարգի ազատ էներգիայի փոփոխության $dF=-SdT-pdV$ արտահայտությունից, գրեք էնտրոպիայի և ճնշման կապը ազատ էներգիայի հետ:
48. Օգտվելով ջերմադինամիկական համակարգի Գիբսի էներգիայի փոփոխության $dG=-SdT+Vdp$ արտահայտությունից, գրեք էնտրոպիայի և ծավալի կապը Գիբսի էներգիայի հետ:
49. Ի՞նչ պայմանի դեպքում է ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը հավասար այդ համակարգի Գիբսի էներգիայի փոփոխությանը հակառակ նշանով:
50. Ինչպե՞ս են սահմանվում ջերմադինամիկական համակարգի էնտալպիան:
51. Ջերմադինամիկական համակարգը նկարագրող մակրոկոպական n ընկալի պարամետրերից պետք է կախված լինի էնտալպիան, որպեսզի այն հադիսանա ջերմադինամիկական պոտենցիալ:
52. Օգտվելով ջերմադինամիկական համակարգի էնտալպիայի փոփո-

խության $dH = TdS + Vdp$ արտահայտությունից, գրեք ջերմաստիճանի և ծավալի կապը էնտալպիայի հետ:

53. Մաքսիմալ, թե՞ մինիմալ արժեք ունի կայուն հավասարակշռության վիճակում գտնվող համակարգի էնտալպիան:
54. Կա՞ծի, թե՞ կնվազի ջերմադինամիկական համակարգի էնտալպիան, եթե նրա հետ տեղի ունեցող պրոցեսում ճնշումն ու էնտրոպիան մնան հաստատուն:
55. Կա՞ծի, թե՞ կնվազի ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան, եթե նրա հետ տեղի ունեցող պրոցեսում ծավալն ու էնտրոպիան մնան հաստատուն:
56. Ի՞նչ պայմանի դեպքում է ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը հավասար այդ համակարգի Գիբսի էնտալպիայի փոփոխությանը հակառակ նշանով:
57. Ցույց տվեք, որ իզոբար պրոցեսում համակարգի էնտալպիայի փոփոխությունը հավասար է ստացած ջերմաքանակին:
58. Ցույց տվեք, որ իզոխոր պրոցեսում համակարգի ազատ էներգիայի փոփոխությունը հավասար է համակարգից անջատված ջերմաքանակին:
59. Եթե հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի միկրովիճակների Ω թիվը, որոնց դեպքում էներգիան ունի նույն արժեքը, ապա ինչքա՞ն կլինի համակարգի էնտրոպիան:
60. Ինչպե՞ս կարելի է որոշել համակարգի U էներգիայով միկրովիճակների Ω թիվը, եթե հայտնի է դրա S էնտրոպիան:

Հիմնավորեք պնդումների ճիշտ և սխալ լինելը

3.1. ա) Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը պնդում է, որ բացարձակ զրո ջերմաստիճանում բոլոր ջերմադինամիկական համակարգերի էնտրոպիան կախված չէ համակարգի վիճակը նկարագրող պարամետրերից; **բ)** Եթե T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում կա անհավասարակշռության վիճակում գտնվող մարմին, որն ունի միջավայրի ջերմաստիճանը՝ $T = T_0$, իսկ ծավալը չի փոխվում, ապա այդ մարմնի հետ տեղի ունեցող ինքնակամ պրոցեսի ընթացքում մարմնի $F = U - TS$ ազատ էներգիան նվազելով հավասարակշռության վիճակում կընդունի նվազագույն արժեք; **գ)** Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը հետևանք է համակարգի քվանտային հատկությունների և պնդում է, որ

բացարձակ զրո ջերմաստիճանում բոլոր ջերմադինամիկական համակարգերի էնտրոպիան հավասար է զրոյի; **դ)** $dU=TdS-pdV$ ջերմադինամիկայի հիմնական հավասարումից հետևում է, որ $T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_p$:

3.2. ա) Եթե իդեալական գազ պարունակող անոթը միացվի դատարկ անոթին, ապա գազի աղիաբատ ընդարձակման հետևանքով էնտրոպիան կնվազի; **բ)** Համակարգի կատարած աշխատանքը, իզոթերմ շրջելի պրոցեսում, հավասար է $F=U-TS$ ազատ էներգիայի նվազմանը՝ $A=F_2 - F_1$; **գ)** Իդեալական գազի իզոխոր պրոցեսը p, S (ճնշում, էնտրոպիա) հարթության վրա սկզբնականտով անցնող ուղիղ գիծ է; **դ)** Եթե հայտնի է համակարգի U ներքին էներգիան, ապա $U = F - T \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$ հավասարման օգնությամբ կարելի է որոշել F ազատ էներգիան:

3.3. ա) Որպեսզի ջերմային շարժիչը մեկ ցիկլի ընթացքում կատարի օգտակար աշխատանք, պետք է նրա բանոդ մարմնի ընդարձակման աշխատանքը մեծ լինի սեղման աշխատանքից; **բ)** Քանի որ ոչ դարձելի պրոցեսի համար $\delta Q > TdS$, ուստի այդ պրոցեսի համար ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքից կհետևի $TdS < dU + pdV$ անհավասարումը; **գ)** 100% ՕԳԳ ունեցող ջերմային մեքենաները (շարժիչները) կոչվում են երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչներ; **դ)** $dU=TdS-pdV$ թերմոդինամիկայի հիմնական հավասարումից հետևում է, որ $p = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$:

3.4. ա) Ջերմամեկուսացված փակ համակարգում ընթացող կամայական պրոցեսի դեպքում համակարգի էնտրոպիան չի նվազի՝ $\Delta S \geq 0$: Սա համարվում է ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի առավել ընդհանուր ձևակերպումը; **բ)** Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենան մեկ ցիկլի ընթացքում կատարի A աշխատանք և T_2 ջերմաստիճան ունեցող սառնարանին փոխանցի $|Q_2|$ ջերմաքանակ, ապա այդ ջերմային մեքենայի ջեռուցչի ջերմաստիճանը կլինի՝ $T_1 = T_2 \left(1 - \frac{A}{|Q_2|}\right)$; **գ)** Սառնարանի $\varepsilon = \frac{Q_2}{A'}$ սառեցման գործակիցը, որտեղ A' -ը մեկ ցիկլի ընթացքում գազի նկատմամբ կատարված աշխատանքն է, իսկ Q_2 -ը՝ մեկ ցիկլի ընթացքում բանոդ մարմնի կողմից սառեցվող մարմնից վերցված ջերմաքանակը, չի կարող մեկից մեծ արժեք ընդունել; **դ)** Հաստատուն ծավալի և ջերմաստիճանի դեպքում հավասարակշռված վիճակի հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $F=U-TS$ ազատ էներգիան ունի նվազագույն արժեք:

3.5. ա) Եթե Կառնոյի ցիկլ կատարող գազն իզոթերմ ընդարձակվելիս կատարի A_{12} աշխատանք և այդ պրոցեսի վերջում ունենա U_2 ներքին էներգիա, այնուհետև ադիաբատ ընդարձակվելուց կատարի A_{23} աշխատանք, ապա մեկ ցիկլի ընթացքում կկատարի $A = \frac{U_2}{A_{12} + A_{23}} A_{23}$ աշխատանք; **բ)** Քանի որ ջերմային շարժիչի կատարած A_0 օգտակար աշխատանքը որոշվում է $A_0 \leq Q_1 - Q_2$ առնչությամբ, ուստի ջերմային շարժիչի ՕԳԳ-ն կլինի՝ $\eta \leq \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, որտեղ Q_1 -ը բանոդ մարմնի կողմից ջեռուցչից ստացած ջերմաքանակն է, իսկ Q_2 -ը՝ սառնարանին տրված ջերմաքանակի մոդուլը; **գ)** Էնտրոպիան (ներքին էներգիայի նման) հանդիսանում է վիճակի ֆունկցիա, սակայն ի տարբերություն ներքին էներգիայի, եթե փակ համակարգում տեղի են ունենում ոչ դարձելի պրոցեսներ, ապա համակարգի էնտրոպիան միայն աճում է; **դ)** Համակարգի $F(V, T)$ ազատ էներգիայի փոփոխության $dF = -pdV - SdT$ և $dF = \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T dV + \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V dT$ արտահայտություններից հետևում է, որ $S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$ և $p = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$:

3.6. ա) Ցանկացած ջերմային շարժիչ բաղկացած է երեք հիմնական մասերից՝ բանոդ մարմնից, ջեռուցչից և սառնարանից; **բ)** Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենան մեկ ցիկլի ընթացքում T_2 ջերմաստիճան ունեցող սառնարանին փոխանցում է ջեռուցչից ստացած ջերմաքանակի k մասը, ապա այդ ջերմային մեքենայի ջեռուցչի T_1 ջերմաստիճանը կլինի՝ $T_1 = kT_2$; **գ)** Կառնոյի ցիկլով աշխատող իդեալական ջերմային մեքենաների ՕԳԳ-ն կախված չէ բանոդ նյութի տեսակից (Կառնոյի առաջին թեորեմը); **դ)** Ջերմադինամիկայի $dU = TdS - pdV$ հիմնական հավասարումից հետևում է, որ համակարգի $G = U + pdV - TS$ Գիբսի թերմոդինամիկական պոտենցիալի փոփոխությունը կլինի՝ $dG = Vdp - SdT$: Այսինքն, Գիբսի թերմոդինամիկական պոտենցիալը ֆունկցիա է ճնշումից և ջերմաստիճանից՝ $G = G(p, T)$:

3.7. ա) Հավասարակշիռ վիճակում չգտնվող և ինքնիրեն թողնված ջերմադինամիկական համակարգը գալիս է ջերմային հավասարակշռության վիճակի և այդ վիճակից <<ինքնակամ>> դուրս գալ չի կարող, **բ)** S էնտրոպիայի անվերջ փոքր փոփոխությունը ինքնակամ կերպով ընթացող կամայական պրոցեսի համար հանդիսանում է հետևյալը՝ $dS > \frac{\delta Q}{T}$, որտեղ δQ -ն T ջերմաստիճանում համակարգի ստացած կամ տված

ջերմաքանակն է; **գ)** Կառնոյի դարձված ցիկլով աշխատող մեքենայի սառեցման գործակիցը որոշվում է $\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ առնչությամբ, որտեղ T_1 -ը տաք ռեզերվուարի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ սառեցվող մարմնի ջերմաստիճանը; **դ)** Ոչ դարձելի պրոցեսների համար տեղի ունի $dU < TdS - pdV$ անհավասարումը, որտեղ S -ը համակարգի էնտրոպիան է, իսկ U -ն՝ ներքին էներգիան: Այս անհավասարումից հետևում է, որ հաստատուն ծավալով և էնտրոպիայով համակարգի համար $dU < 0$, ինչը նշանակում է, որ այդ համակարգը կայուն է ներքին էներգիայի նվազագույն արժեքի դեպքում:

3.8. ա) Բոլոր ջերմային շարժիչներն աշխատում են ցիկլիկ պրոցեսով, ցիկլի ընթացքում գազի ընդարձակման պրոցեսին պետք է հաջորդի սեղմում, մինչև ելման վիճակը; **բ)** Ջերմային շարժիչի կատարած A_0 օգտակար աշխատանքի հարաբերությունը ջեռուցից ստացած Q_1 ջերմաքանակին՝ A_0/Q_1 , կոչվում է ջերմային շարժիչի ՕԳԳ՝ $\eta = A_0/Q_1$; **գ)** Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքի ձևակերպումներից մեկը համարվում է այն, որ բացարձակ զրո ջերմաստիճանը անհասանելի է; **դ)** Քանի որ ջերմադինամիկայի հիմնական առնչությունը ոչ շրջելի պրոցեսում ունի $dU + pdV - TdS < 0$ տեսքը, ուստի հաստատուն ծավալի և ջերմաստիճանի դեպքում $d(U - TS) < 0$, ինչը նշանակում է, որ այս դեպքում համակարգում կարող են ընթանալ միայն այնպիսի պրոցեսներ, որի հետևանքում համակարգի $F = U - TS$ ազատ էներգիան նվազում է:

3.9. ա) Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենան մեկ ցիկլի ընթացքում կատարի A աշխատանք և սառնարանին փոխանցի $|Q_2|$ ջերմաքանակ, ապա այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն կլինի $\eta = \frac{|Q_2|}{A + |Q_2|}$; **բ)** Քանի որ ադիաբատ պրոցեսում $\delta Q = 0$, ուստի դարձելի ադիաբատ պրոցեսի համար $dS = \frac{\delta Q}{T} = 0$, ինչը նշանակում է, որ դարձելի ադիաբատ պրոցեսների ընթացքում էնտրոպիան մնում է հաստատուն; **գ)** Եթե Կառնոյի ցիկլ կատարող գազն իզոթերմ ընդարձակման պրոցեսի վերջում ունի U_2 ներքին էներգիա, այնուհետև ադիաբատ ընդարձակվելուց կատարի A_{23} աշխատանք, ապա այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն կլինի $\eta = \frac{U_2 - A_{23}}{A_{23}}$; **դ)** Համակարգի $G = G(p, T)$ Գիբսի թերմոդինամիկական պոտենցիալի փոփոխության $dG = Vdp - SdT$ և $dG = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T dp + \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p dT$ արտահայտություններից հետևում է, որ $V = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$, $S = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$:

3.10. ա) Որպեսզի ջերմային շարժիչը մեկ ցիկլի ընթացքում կատարի օգտակար աշխատանք, պետք է բանոդ մարմնի ընդարձակման պոցեսը տեղի ունենա ավելի ցածր ջերմաստիճանում, քան սեղման պոցեսը; **բ)** Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը պնդում է, որ բոլոր ջերմադինամիկական համակարգերի էնտրոպիան ձգտում է զրոյի, երբ բացարձակ ջերմաստիճանը ձգտում է զրոյի՝ $S \rightarrow 0$, երբ $T \rightarrow 0$; **գ)** Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ջեռուցչի ջերմաստիճանը T_1 է, իսկ սառնարանինը՝ T_2 և մեկ ցիկլի ընթացքում կատարվել է A աշխատանք, ապա իզոթերմ ընդարձակման պոցեսում կատարվել է $A_1 = \frac{AT_1}{T_1 - T_2}$ աշխատանք; **դ)** Քանի որ ջերմադինամիկայի հիմնական առնչությունը ոչ շրջելի պոցեսում ունի $dU + pdV - TdS < 0$ տեսքը, ուստի հաստատուն ճնշման և էնտրոպիայի դեպքում $d(U + pV) < 0$, ինչը նշանակում է, որ այս դեպքում համակարգում կարող են ընթանալ միայն այնպիսի պոցեսներ, որի հետևանքում համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան նվազում է:

3.11. ա) Մինչև ջերմադինամիկական հավասարակշռության հաստատվելը փակ համակարգի էնտրոպիան աճում է: Սա կարելի է համարել ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի ձևակերպում; **բ)** Եթե ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքով պայմանավորված արգելքը չլիներ, ապա մթնոլորտի, ծովերի և օվկեանոսների ներքին էներգիան անսպառ կերպով կարելի էր փոխակերպել մեխանիկական աշխատանքի; **գ)** Կառնոյի ցիկլով աշխատող իդեալական ջերմային մեքենաների ՕԳԳ-ն կախված է բանոդ մարմնի (գազի) մասնիկների ազատության աստիճանից; **դ)** Հաստատուն ճնշման և էնտրոպիայի դեպքում հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան ունի նվազագույն արժեք:

3.12. ա) Եթե փակ համակարգը 1 հավասարակշռված վիճակից 2 հավասարակշռի վիճակին անցել է մի դեպքում շրջելի, իսկ երկրորդ դեպքում՝ ոչ շրջելի կերպով, ապա երկու դեպքում էլ էնտրոպիայի փոփոխությունը կլինի նույնը, քանի որ էնտրոպիան վիճակի ֆունկցիա է; **բ)** Անհանարին է ստեղծել ցիկլիկ պոցես, որի գործողության միակ արդյունքը լինի ջերմության աղբյուրի ջերմաստիճանի իջեցման հաշվին մեխանիկական աշխատանքի կատարումը; **գ)** Եթե T, S (ջերմաստիճան, էնտրոպիա) կոորդինատական հարթության վրա Կառնոյի հակադարձ ցիկլը պատկերվի քառակուսու տեսքով, ապա դրա մակերեսը կլինի

սառեցվող մարմնից վերցված ջերմաքանակը; **դ)** Հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի դեպքում համակարգի հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $G=U-TS+pV$ ջերմադինամիկական պոտենցիալն ունի նվազագույն արժեք:

3.13. ա) Կառնոյի ցիկլում (Նկ.3.2) 1; 2; 3 և 4 վիճակների ծավալներն իրար հետ կապված են $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ առնչությամբ; **բ)** Անհնարին է ստեղծել պարբերաբար պրոցեսով գործող մեքենա, որի բոլոր գործողությունները հանգեն ջերմության աղբյուրի ջերմաստիճանի իջեցման հաշվին ծանրություն բարձրացնելուն; **գ)** Ջերմամեկուսացված համակարգի կայուն հավասարակշռությունը հաստատվում է առավելագույն էնտրոպիայի դեպքում; **դ)** Ջերմադինամիկայի հիմնական հավասարումը՝ $TdS = dU + pdV$ իր մեջ ներառում է ջերմադինամիկայի առաջին և երկրորդ սկզբունքներն դարձելի պրոցեսների համար: Այստեղ S -ը համակարգի էնտրոպիան է, իսկ U -ն՝ ներքին էներգիան:

3.14. ա) Այն մեքենան, որն արտաքին աշխատանքի շնորհիվ ջերմությունը սառը մարմնից փոխանցում է տաք մարմնին, կոչվում է սառնարան; **բ)** V, S (ծավալ, էնտրոպիա) կոորդինատական հարթության վրա դարձելի ադիաբատ պրոցեսի գրաֆիկը սկզբնակետով անցնող ուղիղ գիծ է; **գ)** Ինքնակամ ջերմային պրոցեսների ուղղվածությունը և անշրջելությունը պայմանավորված են ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքով (օրենքով); **դ)** Ոչ դարձելի պրոցեսների համար $dF < -SdT - pdV$, հետևաբար հաստատուն ծավալով և ջերմաստիճանով համակարգի համար $dF < 0$, ինչը նշանակում է, որ այդ համակարգը կայուն է F ազատ էներգիայի նվազագույն արժեքի դեպքում: Այստեղ S -ը էնտրոպիան է:

3.15. ա) Համաձայն ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի՝ ջերմաքանակն ինքնակամ կերպով չի կարող սառը մարմնից անցնել տաք մարմնին; **բ)** Այն սաքքավորումները, որոնք ջերմային էներգիան (ներքին էներգիան) փոխակերպում են մեխանիկական աշխատանքի կոչվում են ջերմային շարժիչներ; **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգի հետ կատարվի դարձելի փակ պրոցես, ապա համակարգի էնտրոպիան կաճի; **դ)** Քանի որ ջերմադինամիկայի հիմնական առնչությունը ոչ շրջելի պրոցեսում ունի $dU + pdV - TdS < 0$ տեսքը, ուստի հաստատուն ճնշման և էնտրոպիայի դեպքում $d(U + pV) < 0$, ինչը նշանակում է, որ այս դեպքում համակարգում կարող են ընթանալ միայն այնպիսի պրոցեսներ, որի հետևանքում համակարգի $H = U + pV$ էնտալպիան նվազում է:

3.16. ա) Համաձայն ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքի՝ հնարավոր չէ կառուցել երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչներ; **բ)** Իզոթերմ ընդարձակման պրոցեսում ջեռուցիչից ստացած ջերմաքանակն ամբողջությամբ փոխակերպվում է աշխատանքի; **գ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (էներգիայի պահպանման օրենքը) չի արգելում առանց սառնարանի ջերմային մեքենայի հնարավորությունը, որի ՕԳԳ-ն կլինի 100% , քանի որ այս դեպքում սառնարանին տրված ջերմաքանակը հավասար կլինի զրոյի; **դ)** Հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի դեպքում հավասարակշռված վիճակ հանդիսանում է այնպիսի վիճակը, որի դեպքում համակարգի $G=U-TS+pV$ ջերմադինամիկական պոտենցիալը ունի նվազագույն արժեք:

3.17. ա) Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի ծավալային ընդարձակման գործակիցը ձգտում է զրոյի՝ $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \rightarrow 0$, երբ բացարձակ ջերմաստիճանը ձգտում է զրոյի՝ $T \rightarrow 0$; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (էներգիայի պահպանման օրենքը) չի արգելում երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչների ստեղծման հնարավորությունը; **գ)** Եթե Կառնոյի ցիկլը պատկերվի T, S (ջերմաստիճան, էնտրոպիա) կոորդինատական հարթության վրա, ապա կստացվի ուղղանկյուն, որի մակերեսը կլինի ցիկլի ընթացքում կատարված աշխատանքը; **դ)** Եթե T_0 ջերմաստիճան և p_0 ճնշում ունեցող միջավայրում կա մարմին, որն այդ միջավայրի հետ չի գտնվում հավասարակշռության մեջ և օժտված է T ջերմաստիճանով ու p ճնշումով, ապա այդ մարմնի հետ ընթացող ինքնակամ պրոցեսի ընթացքում $U - T_0 S + p_0 V$ մեծությունը նվազելով հավասարակշռության վիճակում ընդունում է նվազագույն արժեք: Այստեղ S -ը էնտրոպիան է, իսկ V -ն՝ ծավալը:

3.18. ա) Եթե մարմնի բացարձակ ջերմաստիճանը ձգտի զրոյի, ապա համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի և հաստատուն ճնշման դեպքում կձգտի զրոյի՝ $C_V \rightarrow 0$, $C_p \rightarrow 0$; **բ)** Ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքը պնդում է, որ գոյություն չունի ջերմադինամիկական պրոցես, որի ընթացքում ջերմաքանակը ամբողջությամբ փոխակերպվի աշխատանքի; **գ)** Եթե ջերմադինամիկական համակարգում ընթանում է ոչ դարձելի պրոցես, ապա համակարգի էնտրոպիան նվազում է; **դ)** Ոչ դարձելի պրոցեսների համար $dF < -SdT - pdV$, հետևաբար հաստատուն ծավալով և ջերմաստիճանով համակարգի համար $F < 0$, ինչը նշանակում է, որ այդ համակարգը կայուն է F ազատ էներգիայի նվա-

զագույն արժեքի դեպքում: Այստեղ S -ը էնտրոպիան է:

3.19. ա) $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$ առնչությունը հանդիսանում է Կլազիուսի անհավասարությունը Կառնոյի ցիկլի համար, որտեղ անհավասարման նշանը տեղի ունի դարձելի ցիկլի համար: Այստեղ T_1 -ը ջեռուցչի ջերմաստիճանն է, T_2 -ը՝ սառնարանինը, Q_1 -ը՝ ջեռուցչից վերցված ջերմաքանակը, Q_2 -ը՝ սառնարանին տրվածը; **բ)** Կառնոյի ցիկլով աշխատող ոչ դարձելի (ոչ շրջելի) մեքենայի ՕԳԳ-ն փոքր է նույն ցիկլով աշխատող դարձելի մեքենայի ՕԳԳ-ից, եթե նրանց ջեռուցիչը և սառնարանը նույնն են (Կառնոյի երկրորդ թեորեմը); **գ)** Սառնարանի սառեցման գործակիցը կլինի մեծ, եթե մեծ լինի ռեզերվուարի և սառեցվող մարմինների ջերմաստիճանների տարբերությունը; **դ)** Համակարգի $H=U+pV$ էնտալպիան վիճակի ֆունկցիա է, որի աճը քվազիհավասարակշիռ իզոբար պրոցեսներում հավասար է համակարգի ստացած ջերմաքանակին՝ $\Delta H=Q$:

3.20. ա) Եթե ցածր ջերմաստիճաններում համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում ուղիղ համեմատական լինի բացարձակ ջերմաստիճանի դրական աստիճանին՝ $C_V \sim T^n$ ($n>0$), ապա դա կնշանակի, որ խախտված է ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը; **բ)** Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքն (էներգիայի պահպանման օրենքը) արգելում առանց սառնարանի ջերմային մեքենայի հնարավորությունը; **գ)** Եթե հայտնի է համակարգի E_n էներգիայով միկրովիճակների $\Omega(E_n)$ թիվը, ապա էնտրոպիա կլինի $S=k \ln \Omega$, որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է; **դ)** Համակարգի $F=U-TS$ ազատ էներգիան վիճակի ֆունկցիա է, որի փոփոխությունը հակառակ նշանով քվազիհավասարակշիռ իզոթերմ պրոցեսներում հավասար է համակարգի կատարած աշխատանքին՝ $A=-\Delta F$:

3.21. ա) Եթե փակ համակարգում տեղի են ունենում միայն դարձելի պրոցեսներ, ապա համակարգի էնտրոպիան կմնա անփոփոխ, **բ)** Եթե ջեռուցչի հետ միշտ կոնտակտի մեջ գտնվող բանոդ մարմնի նկատմամբ իրագործվի շրջելի իզոթերմ փակ պրոցես, ապա այդ ցիկլի աշխատանքը միշտ հավասար կլինի զրոյի՝ $A = \oint (TdS - dU)dl = 0$; **գ)** Եթե ջերմամեկուսացված համակարգը ոչ շրջելի կերպով հնարավոր լինի վերա-

դարձնել սկզբնական V_0 ծավալով վիճակին, ապա էնտրոպիայի աճման օրենքից կհետևի, որ ցիկլի վերջում համակարգը կունենա ավելի մեծ ներքին էներգիա; **դ)** Ջերմադինամիկայի $dU = TdS - pdV$ հիմնական հավասարումից հետևում է, որ համակարգի $G = U + pV - TS = H - TS$ Գիբսի ջերմադինամիկական պոտենցիալի փոփոխությունը կլինի՝ $dG = Vdp - SdT$: Այսինքն, Գիբսի թերմոդինամիկական պոտենցիալը ֆունկցիա է ճնշումից և ջերմաստիճանից՝ $G = G(p, T)$:

3.22. ա) Անհնար է համասեռ ջերմաստիճան ունեցող մարմնից վերցրած ջերմությունը լրիվ վերածել աշխատանքի, առանց սիստեմի վիճակի այլ փոփոխությունների; **բ)** Եթե համակարգի էնտրոպիան չլիներ վիճակի միարժեք ֆունկցիա, ապա տարբեր աղիաբատ պրոցեսների էնտրոպիաները կարող են իրար հավասար լինել և հնարավոր կլիներ իրականացնել երկու աղիաբատից և մեկ իզոթերմից կազմված փակ պրոցես; **գ)** Քանի որ Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ն ամենամեծն է, ուստի p, V կոորդինատական հարթության վրա Կառնոյի ցիկլի պատկերի մակերեսը մեծ է այդ հարթության վրայի քառակուսու մակերեսից, որի պարագիծը հավասար է Կառնոյի ցիկլի պատկերի պարագծին; **դ)** Եթե հայտնի է համակարգի U ներքին էներգիան, ապա F ազատ էներգիան կարելի է որոշել $U = F - T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_T$ հավասարումից, որը կոչվում է Գիբսի-Հելմհոլցի հավասարում:

3.23. ա) T, S (ջերմաստիճան, էնտրոպիա) կոորդինատական հարթության վրա դարձելի աղիաբատ պրոցեսի գրաֆիկը T առանցքին ուղղահայաց ուղիղ գիծ է; **բ)** Ջերմադինամիկայի երրորդ օրենքից հետևում է, որ բացարձակ զրո ջերմաստիճանում համակարգի անցումը մեկ հավասարակշռված վիճակից մյուսին տեղի է ունենում առանց էնտրոպիայի փոփոխության; **գ)** Գազի աղիաբատ ընդարձակման դեպքում ծավալի մեծանալու հետևանքով էնտրոպիան աճում է, իսկ ջերմաստիճանի նվազման հետևանքով՝ նվազում և արդյունքում էնտրոպիան աղիաբատ պրոցեսում մնում է հաստատուն, **դ)** Եթե ջերմային մեքենայի սառնարանի և ջեռուցչի ջերմաստիճանը մեծացվի նույն չափով, ապա ՕԳԳ-ն կմեծանա:

3.24. ա) Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն կախված չլիներ մեքենայի կառուցվածքից և բանող մարմնի նյութի տեսակից, ապա կխախտվեր ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, **բ)** Այն պրոցեսները, որի ընթացքում համակարգի վիճակը միշտ կարելի է համարել հավասարակշռված կամ այն անցնում է հաջորդական հավասարակշռված վիճակներով, կոչվում է քվադիստատիկ կամ շրջելի պրոցես: Քվադիստատիկ պրոցեսների համար համակարգի ստացած կամ տված ջերմաքանակը կլինի $\delta Q = T dS$; **գ)** Եթե համակարգի էնտրոպիան չլիներ վիճակի միարժեք ֆունկցիա, ապա հնարավոր կլիներ երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչների գոյությունը; **դ)** T ջերմաստիճան և p ճնշում ունեցող v քանակությամբ իդեալական գազի էնտրոպիան տրվում է $S = C_p \ln kT - Nk \ln p + NkS_0$ արտահայտությամբ, որտեղ C_p -ն ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում, R -ը՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը, իսկ S_0 -ն՝ անորոշ հաստատուն:

3.25. ա) V, S (ծավալ, էնտրոպիա) կոորդինատական հարթության վրա դարձելի ադիաբատ պրոցեսի գրաֆիկը V առանցքին ուղղահայաց ուղիղ գիծ է; **բ)** Եթե Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի բանող կոշտ երկատոմ գազը փոխարինվի կոշտ եռատոմ գազով, ապա p , V կոորդինատական հարթության վրա այդ ցիկլի պատկերի մակերեսը մեծ կլինի երկատոմ գազի ցիկլի պատկերի մակերեսից; **գ)** Եթե հնարավոր լինի իրականացնել փակ պրոցես, որը կազմված լինի նույն էնտրոպիա ունեցող երկու ադիաբատ և մեկ իզոթերմ պրոցեսներից, ապա այդ ցիկլի իզոթերմ պրոցեսում ստացված ջերմաքանակը ամբողջությամբ կփոխակերպվի աշխատանքի, ինչը նշանակում է, որ ունենք երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ; **դ)** Իդեալական գազի էնտրոպիայի շրջելի իզոթերմ պրոցեսում չի փոփոխվում:

§4. Փոխանցման երևույթներ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Գազի մոլեկուլների բախումները

- Գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը.

$$\langle l \rangle = \bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \quad (4.1)$$

որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է:

- Միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի բախումների միջին թիվը.

$$\langle z \rangle = \bar{z} = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle}: \quad (4.2)$$

Այստեղ $\langle v \rangle = \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ մոլեկուլի միջին թվաբանական արագությունն է:

- Առանց բախվելու s ճանապարհի անցնելու հավանականությունը,

$$P = \frac{N}{N_0} = \exp\left(-\frac{s}{\langle l \rangle}\right), \quad (4.3)$$

որտեղ N_0 -ն մոլեկուլների ընդհանուր թիվն է, իսկ N -ը՝ մոլեկուլների թիվը, որոնք ժամանակի կամայական պահից հաշված առանց բախման անցել են s ճանապարհի:

- Միավոր ժամանակում տեղամասի միավոր մակերեսի վրա ընկնող մոլեկուլների թիվը.

Եթե անոթում գազի կոնցենտրացիան n է, իսկ բոլոր մոլեկուլներն ունեն անկանոն շարժման մոդուլով նույն v արագությունը, ապա X, Y, Z առանցքներին ուղղահայաց S մակերեսին t ժամանակում հարվածող մոլեկուլների թիվը կլինի՝ $\Delta N = \frac{1}{6}nvSt$: Բայց, քանի որ մոլեկուլների արագություններն զազում տարբեր է, ուստի հաշվարկները ցույց են տալիս, որ

$$\frac{\Delta N}{St} = \frac{n\langle v \rangle}{4}, \quad (4.4),$$

որտեղ $\langle v \rangle = \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ մոլեկուլների միջին թվաբանական արագությունն է:

2. Տեղափոխման երևույթներ

2.1. Դիֆուզիա

Երբ երկու մարմին (գազ-գազ, հեղուկ-հեղուկ, պինդ-պինդ, գազ-հեղուկ, գազ-պինդ մարմին, հեղուկ-պինդ մարմին) իրար հետ գտնվում են

կոնտակտի մեջ, ապա դրանց մոլեկուլների ջերմային շարժման հետե-
վանքով, մի մարմնի մոլեկուլներն ինքնակամ կերպով ներթափանցում
են մյուս մարմնի միջմոլեկուլային տարածությունը: Այս երևույթին ան-
վանում են դիֆուզիա: Դիֆուզիայի ընթացքում, մի մարմնից մյուսին
տեղի է ունենում զանգվածի տեղափոխություն:

Դիֆուզիան գազերում ավելի արագ է ընթանում, քան հեղուկներում,
իսկ հեղուկներում՝ շատ-շատ անգամ ավելի արագ, քան պինդ մարմին-
ներում: Դիֆուզիայի հետևանքում համակարգի էնտրոպիան աճում է:

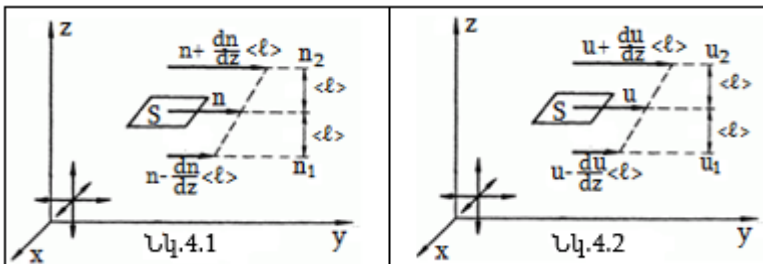
• **Դիֆուզիայի հավասարումը.**

$$J_N = -D \frac{\partial n}{\partial z}, \quad (4.5)$$

որտեղ J_N -ը դիֆուզիայի հետևանքով OZ առանցքի ուղղահայաց ուղղու-
թյամբ միավոր ժամանակում, միավոր մակերեսով անցնող մոլեկուլնե-
րի թիվն է (դիֆուզիոն հոսքը, Նկ.4.1), $\frac{\partial n}{\partial z}$ -ը՝ կոնցենտրացիայի գրադի-
ենտն է այդ առանցքի ուղղությամբ, իսկ D -ն՝ դիֆուզիայի գործակիցը:
(4.5) հավասարմանն անվանում են Ֆիկի օրենք: Այս դեպքում OZ ա-
ռանցքի ուղղությամբ, դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր
ժամանակում տեղափոխվող զանգվածը (դիֆուզիոն հոսքը) կլինի՝ $J_m =$
 $= -D \frac{\partial \rho}{\partial z}$: Եթե կոնցենտրացիան փոփոխվում է նաև OX և OY առանցք-
ների ուղղությամբ, ապա դիֆուզիոն հոսքը կլինի՝

$$\vec{J}_N = -D \text{grad} n:$$

Եթե անոթում ունենք նույն մոլեկուլներից կազմված գազ, որի կոն-
ցենտրացիան անոթի տարբեր մասերում՝ տարբեր է, ապա դիֆուզիայի
հետևանքով անոթի բոլոր մասերում կոնցենտրացիաները հավասար-
վում են, այս դիֆուզիային անվանում են ինքնադիֆուզիա և դիֆուզիայի
 D գործակիցը կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝



$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda: \quad (4.5a)$$

2.2. Մածուցիկություն կամ ներքին շփում

Եթե գազում կամ հեղուկում կոնտակտի մեջ գտնվող տարբեր շերտեր ունեն տարբեր արագություն, ապա մեծ արագությամբ օժտված շերտի արագությունը կնվազի, իսկ փոքր արագությամբ օժտվածինը՝ կաճի, այսինքն նրանց միջև կառաջանան ներքին շփման ուժեր և մի շերտից մյուսի կիռխանցվի իմպուլս: Այս երևույթին անվանում են մածուցիկություն կամ ներքին շփում:

• Մածուցիկության հավասարումը.

$$J_p = -\eta \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (4.6)$$

որտեղ J_p -ն իմպուլսի հոսքն է՝ միավոր ժամանակում ուղղորդված շարժման իմպուլսի տեղափոխությունը OZ առանցքի ուղղությամբ, դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով (իմպուլսի հոսքը, Նկ.4.2): η -ն կոչվում է դինամիկ մածուցիկության գործակից (կամ պարզապես մածուցիկություն), իսկ $\frac{\partial u}{\partial z}$ -ը՝ արագության գրադիենտն է OZ առանցքի ուղղությամբ: Իմպուլսի հոսքը հավասար է այդ շերտերի միավոր մակերեսների ներքին շփման (մածուցիկության) ուժին՝ $|J_p| = f = \eta \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|$, որն ուղղված է դրանց մակերևույթի շոշափողով: (4.6) հավասարման անվանում են Նյուտոնի օրենք:

Եթե գազը նույն մոլեկուլներից է կազմված, ապա դինամիկ մածուցիկության գործակիցը կլինի՝

$$\eta = \frac{1}{3} nm \bar{l} \bar{v}: \quad (4.6a)$$

2.3. Ջերմհաղորդականություն

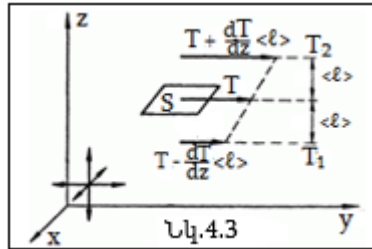
Դիցուկ գազը գտնվում է OZ առանցքին ուղղահայաց, անվերջ մեծ ջերմհաղորդականությամբ և $T_2 > T_1$ տարբեր ջերմաստիճաններով օժտված երկու հարթությունների միջև: Եթե այդ հարթությունների ջերմաստիճանները պահենք հաստատուն, ապա գազի բարձր ջերմաստիճանով տիրույթից դեպի ցածր ջերմաստիճանով տիրույթը, տեղի կունենա ջերմային էներգիայի հոսք: Այս երևույթին անվանում են ջերմհաղորդականություն:

• Ջերմհաղորդականության հավասարումը

$$J_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (4.7)$$

որտեղ J_Q -ն ջերմության հոսքն է՝ միավոր ժամանակում OZ առանցքի ուղղությանն ուղղահայաց միավոր մակերեսով անցնող էներգիա (էներ-

գիայի հոսքը, Նկ.4.3): λ -ն կոչվում է ջերմհաղորդականության գործակից, իսկ $\frac{\partial T}{\partial z}$ -ը՝ ջերմաստիճանային գրադիենտն է OZ առանցքի ուղղությամբ: (4.7) հավասարմանն անվանում են Ֆուրիեի օրենք:



3. Տեղափոխման գործակիցներն իդեալական գազի համար

• Դիֆուզիայի գործակիցը.

$$D = \frac{1}{3} \bar{l} \bar{v}: \quad (4.8)$$

(4.8) բանաձևը ճիշտ է նույն գազերի համար և դրան անվանում են ինքնադիֆուզիայի գործակից:

• Փոխադարձ դիֆուզիայի գործակիցը.

$$D_{12} = \frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \bar{l}_1 \cdot \bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \bar{l}_2 \cdot \bar{v}_2 \right), \quad (4.9)$$

որտեղ $\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{n_1}{n}$, $\frac{\rho_2}{\rho} = \frac{n_2}{n}$ բաղադրիչ գազերի հարաբերական կոնցենտրացիան է (n -ը երկու գազերի խառնուրդի կոնցենտրացիան):

• Դինամիկ մածուցիկության գործակիցը.

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \cdot \bar{l}, \quad (4.10)$$

որտեղ ρ -ն գազի խտությունն է:

• Ջերմահաղորդականության գործակիցը.

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \bar{v} \cdot \bar{l}, \quad (4.11)$$

որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում: Փոխանցման գործակիցների բերված բոլոր արտահայտությունները մոտավոր են:

4. Բեռնուլիի հավասարումը իդեալական գազի համար

$$C_{p1} T_1 + \frac{M v_1^2}{2} = C_{p2} T_2 + \frac{M v_2^2}{2}, \quad (4.12)$$

որտեղ C_p -ն գազի մոլային ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում: (4.12) հավասարման աջ և ձախ մասերը վերաբերվում են գա-

զի նույն հոսանքի զծի երկու տարբեր կետերին: Այդ հավասարումը ճիշտ է այն դեպքի համար, երբ անցքի տրամագիծը, որից դուրս է գալիս գազի շիթը, զգալիորեն մեծ է գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունից:

Խնդիրներ

Մոլեկուլների բախումները

- 4.1.** Մթնոլորտի օդի կազմում թթվածնի մեկ մոլեկուլին միջին հաշվով բաժին է ընկնում ազոտի չորս մոլեկուլ, մնացած գազերն անտեսենք: Ինչի՞ է հավասար այն բանի հավանականությունը, որ երկու մոլեկուլների բախմանը մասնակցում են՝ **ա)** ազոտի երկու մոլեկուլ: **բ)** թթվածնի երկու մոլեկուլ: **գ)** ազոտի և թթվածնի մոլեկուլը:
- 4.2.** Որոշեք ազոտի մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը և մյուս մոլեկուլների հետ բախումների միջև ընկած միջին ժամանակը նորմալ պայմաններում:
- 4.3.** Որոշեք ջրածնի մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը $p=1$ Պա ճնշման և $t = 0^{\circ}C$ ջերմաստիճանում:
- 4.4.** $V=10$ լ ծավալ ունեցող բալոնը պարունակում է $m=1$ գ զանգված ջրածին: Որոշեք ջրածնի մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը:
- 4.5.** Միջաստղային տաքածության $V=1$ սմ³ ծավալը միջին հաշվով պարունակում է $N=1$ ատոմ: Որոշեք ատոմի ազատ վազքի միջին երկարությունն այդ պայմաններում: Ատոմի տրամագիծ՝ $d=0,3$: Այդ երկարությունը համեմատեք աստղերի միջև եղած միքսանի լուսատարի հեռավորության հետ:
- 4.6.** Նորմալ պայմաններում գտնվող ազոտի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը քանի՞ անգամ է մեծ մոլեկուլների միջև եղած միջին հեռավորությունից:
- 4.7.** Որոշեք նորմալ պայմաններում գտնվող թթվածնի մեկ մոլեկուլի բախումների միջին թիվը $\tau = 1$ վ-ում և այդ ժամանակում, մոլեկուլների հարվածների ընդհանուր թիվը $V=1$ սմ³ ծավալում:
- 4.8.** Որոշեք մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարության և միավոր ժամանակում դրա բախումների միջին թվի կախումը ջերմաստիճանից՝ **ա)** իզոխոր պրոցեսում: **բ)** իզոբար պրոցեսում: Պատկերեք այդ կախվածությունների գրաֆիկները:

●4.9. Որոշեք մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարության և միավոր ժամանակում դրա բախումների միջին թվի կախումը $\langle n \rangle$ իզոխոր պրոցեսում; **բ)** իզոթերմ պրոցեսում: Պատկերեք այդ կախվածությունների գրաֆիկները:

●4.10. Որոշակի պայմաններում մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը $\langle l \rangle = 150$ նմ, իսկ միջին թվաքանակն արագությունը $\langle v \rangle = 1,5$ կմ/վ: Որոշեք գազի մոլեկուլի բախումների միջին թիվը միավոր ժամանակում մյուս մոլեկուլների հետ: Ինչպե՞ս կփոխվի այդ մեծությունը, եթե՝ **ա)** այդ նույն ջերմաստիճանում գազի ճնշումը մեծացվի $a = 2$ անգամ; **բ)** այդ նույն ճնշման դեպքում ջերմաստիճանը մեծացվի $a = 2$ անգամ:

●4.11. Որքա՞ն է ճնշումը D տրամագծով գնդաձև անոթում, եթե դրանից փոքր ճնշման դեպքում գազի վիճակը կարելի է ընդունել վակուում: Գազի ջերմաստիճանը՝ $t = 27^\circ\text{C}$, մոլեկուլի տրամագիծը՝ $d = 0,3$ նմ: Քննարկել՝ **ա)** $D = 1$ նմ; **բ)** $D = 1$ մ դեպքերը:

●4.12. Ազոտը գտնվում է $D = 10$ սմ տրամագծով գնդաձև անոթում: Ազոտի ի՞նչ խտության դեպքում նրա մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը մեծ կլինի անոթի չափսերից:

●4.13. Որոշեք գազի մոլեկուլների այն մասը, որոնց առանց բախման անցած ճանապարհը՝ **ա)** գերազանցում է $\langle l \rangle$ ազատ վազքի միջին երկարությունը; **բ)** գտնվում է $\langle l \rangle$ -ից $2\langle l \rangle$ միջակայքում; **գ)** գերազանցում է $10\langle l \rangle$ -ը:

●4.14. Որոշեք այն բանի հավանականությունը, որ նորմալ պայմաններում գտնվող հելիումի ատոմը առանց բախվելու կանցնի $s = 1$ մ կմ ճանապարհը:

■4.15. Մոլեկուլների նեղ փունջը տարածվում է նոսրացած գազով: Որոշեք մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը, եթե $s = 7$ մմ ճանապարհի վրա մոլեկուլների թիվը փնջում փոքրանում է $a = 2$ անգամ:

Գազի արտահոսքը նեղ անցքով

■4.16. Գազ պարունակող անոթն անցք ունեցող բարակ ջերմամեկուսիչ միջնապատով բաժանված է երկու մասի: 2 մասում պահպանվում է a անգամ մեծ ջերմաստիճան, քան 1 մասում: Որոշեք անոթի այդ մասերում մոլեկուլների հաստատված կոնցենտրացիաների հարաբերությունը: Քննարկեք երկու դեպք, երբ անցքի տրամագիծը՝ **ա)** մեծ է մոլեկուլի

ազատ վազքի միջին երկարությունից; **p**) փոքր է ազատ վազքի միջին երկարությունից:

■**4.17.** Սեղմված հելիում պարունակող բալոնի նեղ անցքից գազի շիթը դուրս է գալիս դատարկություն: \bar{P} -ն արագություն ունի շիթը, եթե գազի ջերմաստիճանը՝ $T=300^\circ\text{C}$: Գազի արտահոսելու պրոցեսը համարել ադիա-աբատ:

■**4.18.** Սեղմված օդը մեծ ծավալով բալոնից խողովակով դուրս է գալիս $v=400$ մ/վ արագությամբ: Օդի ջերմաստիճանը բալոնում՝ $t=0^\circ\text{C}$: Բալոնից դուրս ճնշումը մթնոլորտային է: Որոշեք օդի շիթի ջերմաստիճանը և ճնշումը բալոնում: Գազի արտահոսելու պրոցեսը համարեք ադիա-աբատ:

Գազի դիֆուզիայի, մացուծիկության և ջերմադրդականության գործակիցներ

●**4.19.** Որոշեք դիֆուզիայի գործակիցը նորմալ պայմաններում գտնվող՝ **ա**) ազոտի համար; **բ**) հելիումի համար: Գնահատեք միջին L հեռավորությունը, որը կանցնի մոլեկուլն իր ելման կետից $\tau=1$ ժամվա ընթացքում (օգտվեք $L \approx \sqrt{D\tau}$ մոտավոր բանաձևից):

●**4.20.** Նորմալ պայմաններում գտնվող հելիումի ատոմների ազատ վազքի միջին երկարությունը՝ $\bar{l}=\langle l \rangle=200$ նմ: Որոշեք հելիումի դիֆուզիայի գործակիցը:

●**4.21.** Որոշեք դիֆուզիայի գործակցի կախումը ջերմաստիճանից իզոթար և իզոխոր պրոցեսներում:

●**4.22.** Որոշեք դիֆուզիայի գործակցի կախումը ճնշումից՝ իզոթերմ և իզոխոր պրոցեսներում:

●**4.23.** Որոշեք դիֆուզիայի գործակցի կախումը ծավալից՝ իզոթերմ և իզոթար պրոցեսներում:

●**4.24.** Որոշեք դինամիկ մածուցիկության գործակիցը նորմալ պայմաններում գտնվող՝ **ա**) ազոտի համար; **բ**) հելիումի համար:

●**4.25.** Հելիումի դինամիկ մածուցիկության գործակիցը նորմալ պայմաններում՝ $\eta=15$ մկՊա-վ: Որոշեք հելիումի ատոմի էֆեկտիվ տրամագիծը:

●**4.26.** Որոշեք դինամիկ մածուցիկության գործակցի կախումը ջերմաստիճանից իզոթար և իզոխոր պրոցեսներում: Այդ կախվածությունները պատկերեք գրաֆիկորեն:

●**4.27.** Որոշեք դինամիկ մածուցիկության գործակցի կախումը ճնշումից

իզոթերմ և իզոխոր պրոցեսներում: Այդ կախվածությունները պատկերեք գրաֆիկորեն:

●**4.28.** Որոշեք դինամիկ մածուցիկության գործակցի կախումը ծավալից իզոթերմ և իզոբար պրոցեսներում: Այդ կախվածությունները պատկերեք գրաֆիկորեն:

●**4.29.** Որոշեք ջերմհաղորդականության գործակիցը նորմալ պայմաններում գտնվող **ա)** ազոտի համար; **բ)** հելիումի համար:

●**4.30.** Հելիումի ջերմհաղորդականության λ_1 գործակիցը (նորմալ պայմաններում) 8,7 անգամ մեծ է, քան արգոնինը՝ $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 8,7$: Որոշեք արգոնի և հելիումի ատոմների էֆեկտիվ տրամագծերի հարաբերությունը:

●**4.31.** Որոշեք ջերմհաղորդականության գործակցի կախումը ջերմաստիճանից իզոբար և իզոխոր պրոցեսներում: Այդ կախվածությունները պատկերեք գրաֆիկորեն:

●**4.32.** Որոշեք ջերմհաղորդականության գործակցի կախումը ճնշումից՝ իզոթերմ և իզոխոր պրոցեսներում: Այդ կախվածությունները պատկերեք գրաֆիկորեն:

●**4.33.** Դյուարի անոթի պատերի միջև եղած հեռավորությունը $L=5$ մմ: Մինչև ճնշան p_0 արժեքը կարելի է դրա ներսի օդը հեռացնել, որպեսի հետագա հեռացման դեպքում օդի ջերմհաղորդականության գործակիցը սկսի փոքրանալ: Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 17^\circ\text{C}$, իսկ օդի մոլեկուլի տրամագիծը՝ $d=0,3$ նմ:

●**4.34.** Թթվածինն ու ջրածինը գտնվում են նույն ջերմաստիճանի և ճնշման տակ: Այդ գազերի համար որոշեք՝ **ա)** դիֆուզիայի; **բ)** մածուցիկության; **գ)** ջերմհաղորդականության գործակիցների հարաբերությունը: Դրանց մոլեկուլների տրամագծերը համարեք իրար հավասար:

●**4.35.** Որոշեք ազոտի մածուցիկության գործակիցը նորմալ պայմաններում, եթե դրա դիֆուզիայի գործակիցը՝ $D=1,3 \cdot 10^{-5}$ մ²/վ:

●**4.36.** Որոշեք ջրածնի ջերմհաղորդականության գործակիցը, եթե դրա մածուցիկության գործակիցը՝ $\eta=6,8$ մկՊա-վ:

●**4.37.** Ինչ-որ պրոցեսի արդյունքում իդեալական գազի մածուցիկության գործակիցը մեծացավ $\alpha = 2$ անգամ, իսկ դիֆուզիայի գործակիցը՝ $\beta=4$ անգամ: Ինչպե՞ս և քանի անգամ փոխվեց գազի ճնշումը:

●**4.38.** Գազը բաղկացած է երկատոմ մոլեկուլներից: Ինչպե՞ս և քանի՞ անգամ կփոխվեն դիֆուզիայի և մածուցիկության գործակիցները, եթե գազի ծավալը ադիաբատ կերպով փոքրանա $n=10$ անգամ:

Ֆուրիեյի օրենք

■4.39. Իրար զուգահեռ տեղադրված երկու մեծ թիթեղների միջև տարածությունը լցված է հեղիումով: Թիթեղների հեռավորությունը՝ $d=5$ մմ: Թիթեղներից մեկի ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 290^\circ\text{C}$, իսկ մյուսինը՝ $T_2 = 310^\circ\text{C}$: Որոշեք ջերմային հոսքի խտությունը թիթեղների միջև, եթե հեղիումի ճնշումը հավասար է՝ ա) $p = 100$ կՊա; բ) $p = 1$ մՊա:

●4.40. $d=40$ սմ հաստություն ունեցող պատի արտաքին մակերեսն ունի $t_1=-20^\circ\text{C}$, իսկ ներքինը՝ $t_2 = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան: Պատի նյութի ջերմ-հաղորդականության գործակիցը՝ $\lambda=0,8$ Վտ/(մ·Կ): Ինչքա՞ն ջերմաքանակ է անցնում պատի միավոր մակերեսով $\tau = 1$ ժամում:

●4.41. Ի՞նչ քանակությամբ ջերմություն է կորչում սենյակից $\tau = 1$ ժամում երկփեղկանի պատուհանի միջով՝ փեղքերի միջև գտնվող օդի ջերմահաղորդականության հաշվին: Յուրաքանչյուր փեղքի մակերեսը՝ $S=4$ մ², իսկ դրանց միջև հեռավորությունը՝ $l = 30$ սմ: Սենյակի օդի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, իսկ դրսինը՝ $t_2 = -20^\circ\text{C}$: Օդի մոլեկուլի տրամագիծը՝ $d=0,3$ մմ: Պատուհանի փեղքերի միջև գտնվող օդի ջերմաստիճանը վերցրեք հավասար սենյակի ներսի և դրսի օդի ջերմաստիճանների միջին թվաքանականին:

●4.42. Սենյակի հատակի չափսերն են $a \times b = 4 \times 5$ մ²: Սենյակի բարձրությունը՝ $h=3$ մ: Սենյակում ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, արտաքին ջերմաստիճանը՝ $t_2 = -15^\circ\text{C}$: Պատերի հաստությունը՝ $d=0,5$ մ, իսկ պատի նյութի ջերմահաղորդականության գործակիցը՝ $\lambda=1,28$ Վտ/(մ·Կ): Ինչքա՞ն ջերմաքանակ է անցնում սենյակի 4 պատերի միջով $\tau = 1$ ժամում:

■4.43. Պղնձե ($l_1 = 10$ մմ հաստության) և պողպատե ($l_2 = 2$ մմ հաստության) թիթեղներն իրար կիպ սեղմված են: Պղնձե թիթեղի արտաքին մակերեսը պահվում է $t_1 = 100^\circ\text{C}$, իսկ պողպատե թիթեղի արտաքին մակերեսը՝ $t_2=0^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի տակ: Որոշեք այդ թիթեղների հրապման մակերեսների ջերմաստիճանը: Ի՞նչ արդյունք կստացվի, եթե՝ ա) $\lambda_1 \gg \lambda_2$; բ) $l_1 \gg l_2$:

■4.44. Որոշեք ջերմաստիճանի բաշխվածությունը երկու համաառանցք գլանների միջև եղած տարածությունում, եթե գլանների ջերմաստիճանները հավասար են T_1 և T_2 , իսկ շառավիղները՝ R_1 և R_2 : Գլանների միջև եղած տարածությունը լցված է համասեռ նյութով: Պատկերեք $T(r)$ կախվածության մոտավոր գրաֆիկը, որտեղ r -ը դիտարկվող կետի հեռավորությունն է գլանների առանցքից:

■4.45. Որոշեք ջերմաստիճանի բաշխվածությունը երկու համակենտրոն

գնդոլորտների միջև եղած տարածությունում, եթե գնդոլորտների ջերմաստիճանները հավասար են T_1 և T_2 , իսկ շառավիղները՝ R_1 և R_2 : Գրնդոլորտների միջև եղած տարածությունը լցված է համասեռ նյութով: Պատկերեք $T(r)$ կախվածության մոտավոր գրաֆիկը, որտեղ r -ը դիտարկվող կետի հեռավորությունն է գնդոլորտի կենտրոնից:

■4.46. Լճի մակերևույթին $\tau = 1$ օրում ի՞նչ հաստությամբ սառույց կառաջանա, եթե շրջապատող օդի ջերմաստիճանը՝ է $t = -10^\circ\text{C}$: Սկզբում սառույց չկար:

Հարցեր

- 1. Ո՞րն է կոչվում մոլեկուլի ազատ վազքի երկարություն: Ի՞նչ մեծություններից է կախված մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը:
- 2. Ո՞րն է կոչվում մոլեկուլի էֆեկտիվ տրամագիծ և կախվա՞ծ է արդյոք դա ջերմաստիճանից:
- 3. Կախվա՞ծ է արդյոք գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը ջերմաստիճանից և ի՞նչ վարկ ունի այդ կախումը:
- 4. Ի՞նչ կարգի մեծություն է գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը նորմալ պայմաններում:
- 5. Գազում մեկ մոլեկուլը քանի՞ Բախում կկատարի միավոր ժամանակում, եթե հայտնի է Բախման կտրվածքը, մոլեկուլների կոնցենտրացիան և միջին թվաբանական արագությունը:
- 6. Եթե հայտնի լինի գազի մեկ մոլեկուլի Բախումների Z թիվը միավոր ժամանակում, ապա ինչքա՞ն կլինի գազի N մոլեկուլների Բախումների թիվը t ժամանակում: Յուրաքանչյուր Բախման մասնակցում են երկու մոլեկուլ:
- 7. Գազի n ՞ր վիճակին են անվանում վակուում:
- 8. Նորմալ ջերմաստիճանի և ճնշման դեպքում ե՞րբ է գազի վիճակը համարվում վակուում:
- 9. Ո՞ր երևույթին են անվանում էֆուզիա:
- 10. Գազ պարունակող անոթի երկու մասերն իրարից բաժանված են միջնապատով, որի անցքի տրամադիծը փոքր է մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունից: Մի մասի ջերմաստիճանը մյուսի ջերմաստիճանից բարձր է պահվում: Անոթի մասերից որո՞ւմ մ գազի ճնշումը մեծ կլինի:

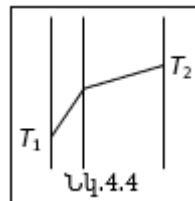
- 11. Ո՞րն է կոչվում դիֆուզիա:
- 12. Ի՞նչ պայմանների դեպքում տեղի կունենա դիֆուզիա:
- 13. Ի՞նչ ֆիզիկական մեծության տեղափոխություն է տեղի ունենում դիֆուզիայի ընթացքում:
- 14. Համեմատեք դիֆուզիայի արագությունը գազերում, հեղուկներում և պինդ մարմիններում:
- 15. Ինչու՞ հեղուկում լցված փուչիկն ավելի շուտ է թուլանում, քան թե օդով լցվածը:
- 16. Գրեք դիֆուզիայի հավասարումը:
- 17. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի դիֆուզիայի գործակիցը:
- 18. Ի՞նչ միավորով է չափվում դիֆուզիայի գործակիցը միավորների ՄՀ-ում: Այդ միավորն արտահայտեք ՄՀ հիմնական միավորներով:
- 19. Ո՞ր դիֆուզիան է կոչվում ստացիոնար և ի՞նչ պայմանի դեպքում է այն տեղի ունենում:
- 20. Ինչպե՞ս է կախված դիֆուզիայի գործակիցը ճնշումից հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում:
- 21. Ինչպե՞ս է կախված դիֆուզիայի գործակիցը ջերմաստիճանից հաստատուն ճնշման դեպքում:
- 22. Գրեք մածուցիկության հավասարումը:
- 23. Ի՞նչ պայմանների դեպքում է առաջանում ներքին շփում:
- 24. Ինչպիսի՞ն է գազերի մածուցիկության(ներքին շփման) մեխանիզմը:
- 25. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի դինամիկ մածուցիկության գործակիցը:
- 26. Ի՞նչ ֆիզիկական մեծության տեղափոխություն է տեղի ունենում ներքին շփման դեպքում:
- 27. Ի՞նչ միավորով է չափվում դինամիկ մածուցիկության գործակիցը միավորների ՄՀ-ում: Այդ միավորն արտահայտեք ՄՀ հիմնական միավորներով:
- 28. Ո՞րն է կոչվում կինեմատիկ մածուցիկության գործակից:
- 29. Ո՞րն է կոչվում ջերմհաղորդականություն:
- 30. Ո՞ր ջերմհաղորդականությունն է կոչվում ստացիոնար և ի՞նչ պայմանի դեպքում է այն տեղի ունենում:
- 31. Ո՞րն է կոչվում ոչ ստացիոնար **(ա)** դիֆուզիա: **(բ)** ջերմհաղորդականություն: Ի՞նչ պայմանի դեպքում են դրանք տեղի ունենում:

- 32. Ինչպե՞ս է կախված դինամիկ մածուցիկության գործակիցը ճնշումից հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում:
- 33. Կմեծանա՞, թե՞ կփոքրանա գազի դինամիկ մածուցիկության գործակիցը ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում:
- 34. Կմեծանա՞, թե՞ կփոքրանա հեղուկի մածուցիկության գործակիցը ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում:
- 35. Ինչո՞վ է տարբերվում ջերմհաղորդականությունը ջերմափոխանակման մյուս տեսակներից:
- 36. Համեմատեք ջերմհաղորդականության արագությունը գազերում, հեղուկներում և պինդ մարմիններում: Բացատրեք դրանց տարբերության պատճառները:
- 37. Գրեք ջերմհաղորդականության հավասարումը:
- 38. Բացատրեք գազերի ջերմհաղորդականության մեխանիզմը:
- 39. Ինչո՞վ են տարբերվում ջերմության տեղափոխման մեխանիզմները սովորական և շատ նոսր գազերում:
- 40. Բացատրեք պինդ մարմինների ջերմհաղորդականության մեխանիզմը:
- 41. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի ջերմհաղորդականության գործակիցը:
- 42. Ի՞նչ միավորով է չափվում ջերմհաղորդականության գործակիցը միավորների ՄՀ-ում: Այդ միավորն արտահայտեք ՄՀ հիմնական միավորներով:
- 43. Նորմալ պայմանների շրջակայքում ի՞նչպես են կախված ջերմաստիճանից և ճնշումից գազի՝ ա) դիֆուզիայի; բ) մածուցիկության; գ) ջերմհաղորդականության գործակիցները:
- 44. Հայտնի է, որ գազի մածուցիկության և ջերմահաղորդականության գործակիցները լայն տիրույթում ճնշումից կախված չեն: Տվեք այդ հատկության տեսական հիմնավորումը:
- 45. Ցածր ճնշումների դեպքում գազի մածուցիկության և ջերմհաղորդականության գործակիցները ճնշումից կախված են ուղիղ համեմատական կերպով: Տվեք այդ հատկության տեսական հիմնավորումը:
- 46. Ինչու՞ թեթև գազերի ջերմհաղորդականության գործակիցը զգալիորեն մեծ է ծանր գազերի ջերմհաղորդականության գործակցից:
- 47. Հայտնի է, որ թերմոսը (Դյուարի անոթը) ունի կրկնակի պատեր, որոնց միջև եղած տարածությունում գտնվում է նոսրացրած օդ: Ի՞նչ

պայմանի պետք է բավարարի այդ գազի ճնշումը, որպեսզի թերմոսն իր ֆունկցիան կատարի:

- 48. Ինչու՞ է հեղուկային սառեցումն ավելի էֆեկտիվ, քան օդայինը:

- 49. Միջանի հարյուր կիլոմետր բարձրության վրա երկրի մթնոլորտի ջերմաստիճանը հասնում է միջանի հազար աստիճանի: Ինչու՞ չեն այրվում այդ բարձրության վրա թռչող արբանյակներն:



- 50. Տան պատը կազմված է երկու շերտից: Արտաքին պատի հարթության ջերմաստիճանը T_1 է, իսկ ներքին պատինը՝ T_2 (տես Նկ.4.4): Պատի ներսի ջերմաստիճանի կախումը կոորդինատից բերված է նկարում: Պատի n -ր շերտի ջերմհաղորդականությունն է մեծ:

Հիմնավորեք պնդումների ճիշտ և սխալ լինելը

4.1. ա) Գազի մոլեկուլների շարժման հիմնական բնութագրեր են հանդիսանում միավոր ժամանակամիջոցում տեղի ունեցող մոլեկուլների բախումների $\langle z \rangle = \bar{z}$ միջին թիվը և նրանց ազատ վազքի \bar{l} միջին երկարությունը; **բ)** Իդեալական գազի ջերմհաղորդականության λ գործակիցը տրվում է $\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \bar{v} \cdot \bar{l}$ առնչությամբ, որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, ρ -ն՝ գազի խտությունը, \bar{v} -ն՝ մոլեկուլների միջին թվաբանական արագությունը; **գ)** Եթե գազի մոլեկուլները լինեն կոշտ գնդիկներ, ապա դրանց բախման կտրվածքը կախված չի լինի ջերմաստիճանից; **դ)** Եթե գազի մեջ մտնի նույն արագությամբ օծոված մոլեկուլների զուգահեռ փունջ, ապա գազի մոլեկուլների հետ բախվելու արդյունքում փնջի մոլեկուլների թիվը կփոքրանա $N = N_0 e^{-x/\bar{l}}$ օրենքով, որտեղ x -ը փնջի անցած ճանապարհն է գազում, N_0 -ն մասնիկների թիվը փնջում $x=0$ կետում:

4.2. ա) Գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը տրվում է $\langle l \rangle = \bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2} n d^2}$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան; **բ)** Իդեալական գազի $\nu = \eta / \rho$ կինեմատիկական մածուցիկության գործակիցը կախված չէ ջերմաստիճանից; **գ)** Իդեալական գազի դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում հակադարձ համեմատա-

կան է ճնշմանը՝ $D \sim 1/p$: **դ)** Եթե միջավայրում OX առանցքի ուղղությամբ կա ջերմաստիճանի գրադիենտ, ապա ջերմային էներգիայի հոսքն այդ առանցքի ուղղությամբ կլինի $J_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$, որտեղ λ -ն կոչվում է ջերմհաղորդականության գործակից:

4.3. ա) Միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի բախումների $\langle z \rangle$ միջին թիվը հավասար է նրա միջին հարաբերական արագության և ազատ վազքի միջին երկարության հարաբերությանը՝ $\langle z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle}$; **բ)** $C_{p1}T_1 + \frac{Mv_1^2}{2} =$

$= C_{p2}T_2 + \frac{Mv_2^2}{2}$ առնչությունը հանդիսանում է Բեռնուլիի հավասարումը իդեալական գազի համար, որտեղ C_p -ն մոլային ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում: Այդ հավասարման աջ և ձախ մասերը վերաբերվում են գազի միևնույն հոսանքի գծի երկու տարբեր կետերին: Այդ հավասարումը ճիշտ է, եթե գազի շիթի լայնական հատույթի չափերը էապես մեծ են մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունից; **գ)** Այն նոսր գազը, որի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը մեծ է այն անոթի չափսերից որում այն գտնվում է կոչվում է վակուում; **դ)** Եթե միջավայրում OX առանցքի ուղղությամբ կա ջերմաստիճանի գրադիենտ, ապա դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում տեղափոխվող էներգիային անվանում են ջերմության հոսքը: Այս սահմանումից հետևում է, որ ջերմության հոսքի միավորն է $1\text{Ջ}/(\text{մ}^2\cdot\text{վ})$:

4.4. ա) Միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի բախումների \bar{z} միջին թիվը որոշվում է $\bar{z} = \sqrt{2}\pi d^2 n \bar{v}$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան, իսկ \bar{v} -ն՝ միջին թվաբանական արագությունը; **բ)** Իդեալական գազի $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ կինեմատիկական մածուցիկության գործակիցն ուղիղ համեմատական է ճնշմանը՝ $\nu \sim p$; **գ)** Գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում հակադարձ համեմատական է ճնշմանը՝ $\bar{l} \sim \frac{1}{p}$; **դ)** Իդեալական գազի ջերմհաղորդականության գործակիցը տրվում է $\lambda = \frac{1}{3}c_v\rho\bar{v}\bar{l}$ բանաձևով, որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում:

4.5. ա) Իդեալական գազի դինամիկ մածուցիկության η գործակիցն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին՝ $\eta \sim \sqrt{T}$; **բ)** Հեղուկներում և գազերում շփման ուժերի իհայտ գալը

պայմանավորված է մոլեկուլների ուղղորդված շարժման իմպուլսի տեղափոխմամբ, որն իրականանում է մոլեկուլների ջերմային շարժման հետևանքով; **գ)** Իդեալական գազի դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն ճնշման դեպքում ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին՝ $D \sim \sqrt{T}$; **դ)** Իդեալական գազի D դիֆուզիայի գործակիցը λ ջերմհաղորդականության գործակցի հետ կապված է $D = \frac{\lambda}{\rho c_v}$ առնչությամբ, որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, իսկ ρ -ն՝ խտությունը:

4.6. ա) Եթե OZ առանցքի ուղղությամբ միջավայրի ջերմաստիճանային գրադիենտը հավասար է $\frac{dT}{dz}$ -ի, ապա այն Q ջերմաքանակը, որը t ժամանակում ջերմհաղորդականության շնորհիվ անցնում է այդ առանցքին ուղղահայաց S մակերեսով, կորոշվի $Q = -\lambda \frac{dT}{dz} St$ արտահայտությամբ, որտեղ λ -ն՝ ջերմհաղորդականության գործակիցն է; **բ)** Իդեալական գազի դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն ճնշման դեպքում ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի $3/2$ աստիճանին՝ $D \sim T^{3/2}$; **գ)** Երկու տարբեր գազերի խառնուրդի դիֆուզիայի գործակիցը որոշվում է $D_{12} = \frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \bar{l}_1 \cdot \bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho} \bar{l}_2 \cdot \bar{v}_2 \right)$ բանաձևով, որտեղ $\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{n_1}{n}$, $\frac{\rho_2}{\rho} = \frac{n_2}{n}$ բաղադրիչ գազերի հարաբերական կոնցենտրացիան է (n -ը երկու գազերի խառնուրդի կոնցենտրացիան); **դ)** Իդեալական գազի ջերմհաղորդականության գործակցի $\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \bar{v} \bar{l}$ բանաձևից հետևում է, որ այն հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում կախված չէ ճնշումից:

4.7. ա) Եթե OZ առանցքի ուղղությամբ մոլեկուլների n կոնցենտրացիայի գրադիենտը հավասար է $\frac{dn}{dz}$ -ի, ապա այդ առանցքին ուղղահայաց S մակերեսով t ժամանակում անցնող մոլեկուլների N թիվը կլինի՝ $N = -D \frac{dn}{dz} St$, որտեղ D -ն դիֆուզիայի գործակիցն է; **բ)** Միավորների ՄՀ-ում դիֆուզիայի գործակցի միավորը հանդիսանում է $1 \text{մ}^2/\text{վ}$; **գ)** Մոլեկուլների նույն կոնցենտրացիայի դեպքում թեթև գազերն օժտված են էապես մեծ ջերմհաղորդականության գործակցով, քան ծանրերը; **դ)** Եթե հեղուկի կամ գազի ուղղորդված շարժման դեպքում այդ շարժման ուղղության ուղղահայաց OZ առանցքի ուղղությամբ կա արագության գրադիենտ, ապա դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում տեղափոխվող իմպուլսին անվանում են իմպուլսի հոսքը: Այս սահմանումից հետևում է, որ իմպուլսի հոսքի միավորն է $1 \text{կգ}/(\text{մ}^2 \cdot \text{վ}^2)$:

4.8. ա) Եթե գազը պարունակում է N_0 մոլեկուլ, ապա այն բանի P հավանականությունը, որ դրանցից N մոլեկուլներ, ժամանակի կամայական պահից հաշված, առանց բախման կանցնեն δ ճանապարհ, կորոշվի $P = \frac{N}{N_0} = e^{-s/\bar{l}}$ արտահայտությամբ, որտեղ \bar{l} -ը՝ ազատ վազքի միջին երկարությունն է; **բ)** Միավորների ՄՀ-ում ջերմհաղորդականության գործակցի միավորը հանդիսանում է $1\Omega/(\text{մ}\cdot\text{վ}\cdot\text{Կ})$ կամ $1\text{Վ}\cdot\text{տ}/(\text{մ}\cdot\text{Կ})$; **գ)** Երկու տարբեր գազերից կազմված խառնուրդում դիֆուզիա տեղի կունենա միայն այն բաղադրիչի համար, որի կոնցենտրացիան գազի բոլոր մասերում նույնը չէ; **դ)** Եթե հեղուկում կամ գազում OZ առանցքի ուղղությամբ կա ուղղորդված շարժման u արագության գրադիենտ, ապա իմպուլսի հոսքն այդ առանցքի ուղղությամբ կլինի՝ $J_p = -\eta \frac{du}{dz} S$, որտեղ η -ն կոչվում է դինամիկ մածուցիկության գործակից:

4.9. ա) Եթե գազի կամ հեղուկի հոսանքի ուղղությանն ուղղահայաց OZ առանցքի ուղղությամբ արագության գրադիենտը հավասար է $\frac{dv}{dz}$ -ի, ապա այդ առանցքին ուղղահայաց S մակերեսով t ժամանակում անցնող P իմպուլսը կլինի $P = -\eta \frac{dv}{dz} St$, որտեղ η -ն դինամիկ մածուցիկության գործակիցն է; **բ)** Գազի մեկ մոլեկուլը միավոր ժամանակում մյուս մոլեկուլների հետ բախվում է $Z = \sqrt{2}\sigma\bar{v}n$, որտեղ σ -ն բախման կտրվածքն է, \bar{v} -ն՝ միջին թվաբանական արագությունը, իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան; **գ)** Իդեալական գազի ջերմհաղորդականության գործակցի $\lambda = \frac{1}{3}c_v\rho\bar{v}\bar{l}$ բանաձևից հետևում է, որ այն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի $\frac{1}{2}$ աստիճանին՝ $\lambda \sim \sqrt{T}$; **դ)** Իդեալական գազի դինամիկ մածուցիկության գործակցի $\eta = \frac{1}{3}\rho\bar{v}\bar{l}$ բանաձևից հետևում է, որ այն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի $\frac{1}{2}$ աստիճանին՝ $\eta \sim \sqrt{T}$:

4.10. ա) Եթե ունենք երկու տարբեր գազերի խառնուրդ, ապա դրա դիֆուզիայի գործակիցը կորոշվի $D_{12} = \frac{1}{3}\left(\frac{\rho_2}{\rho}\bar{l}_1\bar{v}_1 + \frac{\rho_1}{\rho}\bar{l}_2\bar{v}_2\right)$ բանաձևով, որտեղ $\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{n_1}{n}$, $\frac{\rho_2}{\rho} = \frac{n_2}{n}$ բաղադրիչ գազերի հարաբերական կոնցենտրացիան է (n -ը երկու գազերի խառնուրդի կոնցենտրացիան); **բ)** Քանի որ միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի \bar{z} բախումների միջին թիվը որոշվում է $\bar{z} = \sqrt{2}\pi d^2\bar{v}n$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, n -ը՝ կոնցենտրացիան, իսկ \bar{v} -ն՝ միջին թվաբանական արագությունը, ուստի հաստատուն ծավալի դեպքում \bar{z} -ը հա-

կադարձ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին՝ $\bar{z} \sim 1/\sqrt{T}$; **զ**) Եթե գազում մասնիկներ կոնցենտրացիայի կամ խտության գրադիենտ կա OX առանցքի ուղղությամբ, ապա դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում տեղափոխվող զանգվածը կլինի դիֆուզիայի հոսքը: Այս սահմանումից հետևում է, որ դիֆուզիայի հոսքի միավորը կլինի $1\text{կգ}/(\text{մ}^2\text{վ})$; **դ**) Հեղուկների ջերմահաղորդականության գործակիցը միջանի անգամ մեծ է նորմալ պայմաններում գտնվող գազերի ջերմահաղորդականության գործակիցի:

4.11. ա) Իդեալական գազի ջերմահաղորդականության λ գործակիցը տրվում է $\lambda = \frac{5}{3} c_v \rho \bar{v} \bar{l}$ առնչությամբ, որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, ρ -ն՝ գազի խտությունը, \bar{v} -ն՝ մոլեկուլների միջին թվաբանական արագությունը, իսկ \bar{l} -ը՝ ազատ վազքի միջին երկարությունը; **բ**) Միավորների ՄՀ-ում կինեմատիկ մածուցիկության գործակցի միավորը հանդիսանում է $1\text{մ}^2/\text{վ}$; **գ**) Իդեալական գազի դիֆուզիայի $D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{l}$ բանաձևին անվանում են ինքնադիֆուզիայի հավասարում, քանի որ այն ճիշտ է միևնույն գազի համար; **դ**) Քանի որ իդեալական գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը տրվում է $\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան, ուստի այն հաստատուն ծավալի դեպքում կախված չէ ջերմաստիճանից:

4.12. ա) Քանի որ իդեալական գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը տրվում է $\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, իսկ n -ը՝ կոնցենտրացիան, ուստի այն հաստատուն ճնշման դեպքում ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին՝ $\bar{l} \sim T$; **բ**) Եթե գազի մոլեկուլների թիվը հավասար է N -ի, ապա միավոր ժամանակում բոլոր մոլեկուլների բախումների Z թիվը կլինի $Z = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma \bar{v} n N$, որտեղ σ -ն բախման կտրվածքն է, \bar{v} -ն՝ միջին թվաբանական արագությունը, իսկ n -ը՝ կոնցենտրացիան: Յուրաքանչյուր բախման մասնակցում են երկու մոլեկուլ; **գ**) Իդեալական գազի $\nu = \eta/\rho$ կինեմատիկական մածուցիկության գործակիցը հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում ուղիղ համեմատական է ճնշմանը՝ $\nu \sim p$; **դ**) Միավորների ՄՀ-ում դինամիկ մածուցիկության գործակցի միավորը հանդիսանում է $1\text{կգ}/(\text{մ}^2\text{վ})$:

4.13. ա) Միջավայրի η դինամիկ մածուցիկության հարաբերությունը

այդ միջավայրի խտությանը, կոչվում է կինեմատիկական մածուցիկության գործակից՝ $\nu = \eta/\rho$; **բ**) Գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը հավասար է \bar{v} միջին թվաբանական արագության հարաբերությանը միավոր ժամանակում կատարած բախումների $Z = \sqrt{2}\sigma\bar{v}n$ թվին; **գ**) Իդեալական գազի դինամիկ մածուցիկության η գործակիցն ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին՝ $\eta \sim \sqrt{T}$; **դ**) Դինամիկ մածուցիկության գործակցի չափայնությունը միավորների ՄՀ-ում հանդիսանում է $\text{կգ}^2/(\text{մ}\cdot\text{վ}^2)$:

4.14. ա) Իդեալական գազի $\nu = \eta/\rho$ կինեմատիկական մածուցիկության գործակիցը կախված չէ ջերմաստիճանից; **բ**) Գազի ջերմաստիճանի մեծացման հետևանքով σ բախման կտրվածքը փոքրանում է, դրա արդյունքում մեծանում է մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը; **գ**) Պինդ մարմնի ջերմհաղորդականության գործակիցը միջանի հարյուր անգամ մեծ է հեղուկների ջերմհաղորդականության գործակցից; **դ**) Ի տարբերություն գազերի, հեղուկների մածուցիկության գործակիցը ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում՝ փոքրանում է:

4.15. ա) Քանի որ միավոր ժամանակում միավոր մակերեսի վրա ընկնող J_0 մոլեկուլների թիվն իդեալական գազի համար տրվում է $J_0 = \frac{\Delta N}{St} = \frac{n\bar{v}}{4}$ արտահայտությամբ, որտեղ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան, իսկ \bar{v} -ն՝ միջին թվաբանական արագությունը, ուստի J_0 -ն հաստատուն ճնշման դեպքում հակադարձ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին՝ $J_0 \sim 1/\sqrt{T}$; **բ**) Որքան փոքր է անոթի չափերը, այնքան մեծ ճնշումների դեպքում այդտեղ կլինի վակուում: Եթե մարմնում կան 10^{-5} սմ չափերի ծակոտիներ, ապա նույնիսկ մթնոլորտային ճնշման դեպքում դրանցում կլինի վակուում; **գ**) Եթե գազում կամ հեղուկում ρ խտության գրադիենտ կա OX առանցքի ուղղությամբ, ապա J_m դիֆուզիայի հոսքն այդ առանցքի ուղղությամբ կլինի հավասար $-D \frac{d\rho}{dx}$, որտեղ D -ն կոչվում է դիֆուզիայի գործակից; **դ**) Քանի որ իդեալական գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը տրվում է $\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2}nd^2n}$ արտահայտությամբ, որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է, իսկ n -ը՝ կոնցենտրացիան, ուստի այն հաստատուն ճնշման դեպքում ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին՝ $\bar{l} \sim T$:

§5. Նյութի ագրեգատային վիճակները: Մակերևութային երեվոյթներ: Ջերմային ընդարձակում

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Հարաբերական խոնավություն

- **Գոլորշու ճնշումով.**

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%, \quad (5.1)$$

որտեղ p -ն ջրային գոլորշու մասնակի ճնշումն է տվյալ ջերմաստիճանում: Դրան անվանում են բացարձակ խոնավություն: p_0 -ն՝ հագեցած ջրային գոլորշու ճնշումն է նույն ջերմաստիճանում: φ -ն՝ հարաբերական խոնավությունն է:

- **Գոլորշու խտությամբ.**

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%, \quad (5.2)$$

որտեղ ρ -ն ջրային գոլորշու խտությունն է տվյալ ջերմաստիճանում: Դրան ևս անվանում են բացարձակ խոնավություն: ρ_0 -ն՝ հագեցած ջրային գոլորշու խտությունն է նույն ջերմաստիճանում:

- **Ցողի կետ.**

Այն ջերաստիճանը, որի դեպքում օդում եղած ջրային գոլորշին դառնում է հագեցած, կոչվում է ցողի կետ: Դրանից ցածր ջերմաստիճանում կառաջանա ցող:

2. Վան դեր Վաալսի հավասարումը

- **Մեկ մոլ գազի համար.**

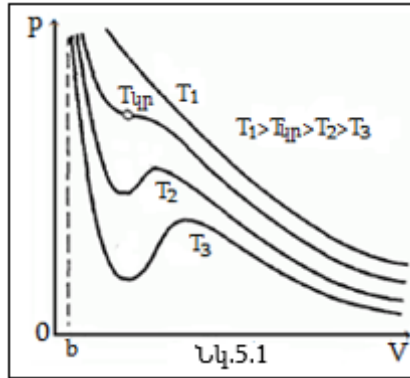
$$\left(p + \frac{a}{V_M^2}\right)(V_M - b) = RT, \quad (5.3)$$

որտեղ $V_M = V/\nu$ -մոլային ծավալն է, a -ն և b -ն՝ Վան դեր Վաալսի հաստատունները: $p_0 = \frac{a}{V_M^2}$ գումարելիին անվանում են ներքին ճնշում:

- **ν մոլ գազի համար.**

$$\left(p + \frac{a\nu^2}{V^2}\right)(V - b\nu) = \nu RT, \quad (5.4)$$

Նկ.5.1-ում բերված են Վան դեր Վաալսի ազդեցության իզոթերմերը:



- Կրիտիկական պարամետրերի կապը Վան դեր Վաալսի հաստատունների հետ.

$$p_{կր} = \frac{a}{27b^2}; \quad V_{կր} = 3b \nu; \quad T_{կր} = \frac{8a}{27Rb}; \quad (5.5)$$

- Կրիտիկական պարամետրերի միջև եղած կապը.

$$p_{կր} V_{կր} = \frac{3}{8} \nu R T_{կր}; \quad (5.6)$$

- Վան դեր Վաալսի բերված հավասարումը.

$$\left(p^* + \frac{3}{V^{*2}}\right)(3V^* - 1) = 8T^*, \quad (5.7)$$

որտեղ $p^* = \frac{p}{p_{կր}}$; $T^* = \frac{T}{T_{կր}}$; $V^* = \frac{V}{V_{կր}}$: Այս մեծություններին անվանում են բերված ճնշում, ջերմաստիճան և ծավալ: (5.7) հավասարումը չի պարու-

նակում գազի տեսակից կախված a և b հաստատուններ, հետևաբար այն կախված չէ գազի տեսակից:

- Բոյլի ջերմաստիճանը.

$$T_F = \frac{a}{Rb}; \quad (5.8)$$

Այս ջերմաստիճանում իրականացված իզոթերմ պրոցեսում վան-դեր-վալսյան գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալն ընդունում է մինիմալ արժեք, որը համընկնում է այդ ջերմաստիճանում իդեալական գազի pV արտադրյալի հետ:

- Վանդերվալսյան գազի ներքին էներգիան.

$$U = \nu \left(C_V T - \frac{a}{V_M} \right), \quad (5.9)$$

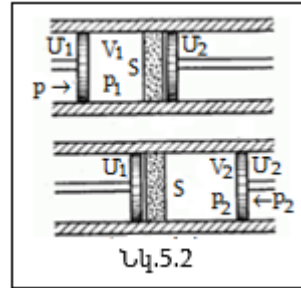
որտեղ $C_V = \frac{1}{2} iR$ -ն իդեալական գազի մոլային ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում:

• **Վանդերվալսյան գազի մեկ մոլի էնտրոպիան.**

$$S = C_V \ln T + R \ln(V - b) + S_0: \quad (5.10)$$

3. Ջոուլ -Թոմսոնի երևույթը

Երբ p_1 ճնշում և V_1 ծավալ ունեցող իրական գազը քվադրատացիոնար կերպով անցնում է ծակոտիներ ունեցող պատի միջով (օրինակ, բամբակե խցանի) և ունենում է $p_2 < p_1$ ճնշում և V_2 ծավալ, ապա տեղի է ունենում ջերմաստիճանի փոփոխություն (Նկ.5.2).



$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V}{c_p} \Delta p: \quad (5.11)$$

Երբ գազը սառում է երևույթը կոչվում է դրական, իսկ տաքանալու դեպքում՝ բացասական: Հեշտ է նկատել, որ իդեալական գազի դեպքում $\Delta T = 0$:

• **Վանդերվալսյան գազի դեպքում.**

$$\Delta T = \frac{\frac{bRT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}}{c_p \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T} \Delta p: \quad (5.12)$$

• **Վանդերվալսյան նոսր գազի դեպքում.**

Նոսր գազերի համար կարելի է $(V - b)$ -ն փոխարինել V -ով, իսկ $\left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T$ -ն որոշել Գլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումից: Արդյունքում կստացվի՝

$$\Delta T = T_2 - T_1 \approx \frac{1}{c_p} \left(\frac{2a}{RT_1} - b \right) \Delta p: \quad (5.13)$$

Քանի որ $\Delta p < 0$, ուստի $a = 0$, $b \neq 0$ դեպքում գազը միշտ տաքանում է, իսկ $a \neq 0$, $b = 0$ դեպքում գազը միշտ սառում է:

• **Ինվերսիայի ջերմաստիճանը նոսր գազերի համար.**

$$T_h = \frac{2a}{Rb} = \frac{27}{4} T_{lp} = 2T_F: \quad (5.14)$$

Այս ջերմաստիճանի նոսր գազերի համար Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում

$\Delta T = 0$: $T > T_h$ դեպքում գազը տաքանում է, $T < T_h$ դեպքում գազը սառում է:

- **Բնվերսիայի ջերմաստիճանը խիտ գազերի համար.**

Քանի որ $C_p > 0$, իսկ $\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T < 0$, ուստի (5.12) -ից հետևում է, որ

$$T_h = \frac{2a}{Rb} \left(\frac{V-b}{V}\right)^2: \quad (5.15)$$

Նկ.5.3-ում պատկերված է (5.15) կախված ծուրյան տեսքը բերված ջերմաստիճանով և ծավալով՝

$$T^* = \frac{27}{4} \left(\frac{V^* - 1/3}{V^*}\right)^2$$

- **Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում գազի էնթալպիան մնում է հաստատուն.**

$$U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2: \quad (5.16)$$

4. Փուլային անցումներ

Միևնույն նյութը կարող է գտնվել տարբեր ագրեգատային վիճակներում (պինդ, հեղուկ, գազ, գերհաղորդիչ, պլազմա և այլն), որոնց անվանում են փուլեր: Մեկ ագրեգատային վիճակից մյուսին անցնելուն անվանում են փուլային անցում: Ջերմաստիճանի, ճնշման կամ որևէ այլ ֆիզիկական մեծության այն արժեքը, որի դեպքում տեղի է ունենում փուլային անցումը, կոչվում է անցման կետ:

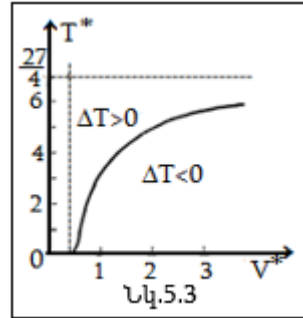
- **Հավասարակշռության պայմանը երկու փուլերի միջև.**

Նյութի երկու փուլեր կգտնվեն հավասարակշռության վիճակում, եթե այդ փուլերի միավոր զանգվածին համապատասխանող ջերմադինամիկական պոտենցիալներն (տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալներն) իրար հավասար են՝

$$G_1(p, T) = G_2(p, T), \quad (5.17)$$

որտեղ $G(p, T) = U + pV - TS = H - TS$:

Բոլոր փուլային անցումներում տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալը փոփոխվում է անընդհատ կերպով, իսկ նրա տարբեր



կարգի ածանցյալները կարող են փոխվել թոփչքաձև: Ըստ տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալի փոփոխության՝ տարբերում են երկու սեռի փուլային անցում:

• Առաջին սեռի փուլային անցում.

Այն փուլային անցումները, որոնց բնորոշ է տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալի առաջին կարգի ածանցյալի թոփչքաձև փոփոխությունը, կոչվում են առաջին սեռի փուլային անցումներ: Առաջին սեռի փուլային անցման ժամանակ կարող են թոփչքաձև փոխվել տեսակարար էնտրոպիան և խտությունը: Առաջին սեռի փուլային անցման օրինակներ են հեղուկի գոլորշացումը և գոլորշու խտացումը: Բյուրեղային մարմնի հալումը և հեղուկի բյուրեղացումը:

• Երկրորդ սեռի փուլային անցում.

Այն փուլային անցումները, որոնց բնորոշ է տեսակարար թերմոդինամիկական պոտենցիալի առաջին կարգի ածանցյալի անընդհատ փոփոխություն, սակայն թոփչքաձև փոխվում է երկրորդ կարգի ածանցյալը, կոչվում են երկրորդ սեռի փուլային անցումներ: Երկրորդ սեռի փուլային անցման օրինակներ են նյութի հաղորդիչ վիճակից գերհաղորդիչ վիճակին անցնելը և հակառակը: Ֆեռոմագնիսական վիճակից պարամագնիսական վիճակի անցնելը և այլն:

• Կլապեյրոն-Գլաուզիուսի հավասարումը.

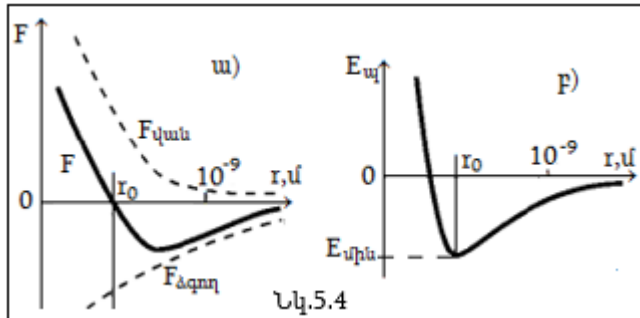
Կլապեյրոն-Գլաուզիուսի հավասարումը նկարագրում է հավասարակշռության մեջ գտնվող փուլերի ջերմաստիճանի և ճնշման կապը: Առաջին սեռի փուլային անցումների համար հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(v_2 - v_1)}, \quad (5.18)$$

որտեղ $\frac{dp}{dT}$ -ն հավասարակշիռ ճնշման ածանցյալն է ըստ ջերմաստիճանի, q_{12} -ը՝ T ջերմաստիճանում փուլային անցման ժամանակ կլանած տեսակարար ջերմությունը, իսկ v_1 -ը և v_2 -ը՝ սկզբնական և վերջնական փուլերի տեսակարար ծավալները:

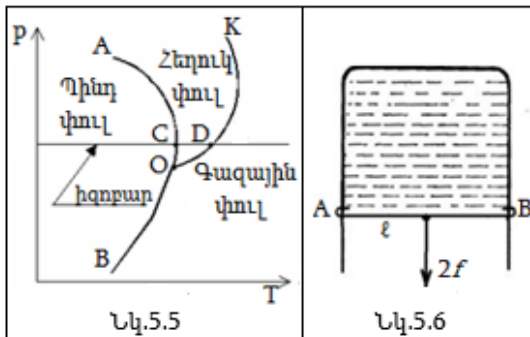
5. Երկու մոլեկուլի փոխազդեցության ուժը և փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան.

Նկ.5.4-ում բերված է նյութի երկու մոլեկուլի փոխազդեցության ուժի և էներգիայի կախումը նրանց կենտրոնների միջև եղած r հեռավորությունից: Գազային վիճակում նրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի միմիմալ արժեքի մոդուլը շատ փոքր է նրանց ջերմային շարժման kT էներգիայից՝ $|E_{սիմ}| \ll kT$, հեղուկների դեպքում $|E_{սիմ}| \approx kT$, պինդ նյութում՝ $|E_{սիմ}| \gg kT$:



6. Եռակի կետ.

Նույն նյութի երեք ագրեգատային վիճակները ինչ որ ջեմաստիճանում կարող են գտնվել հավասարակշռության վիճակում: Այդ ջերմաստիճանը կոչվում է եռակի կետ (O կետը Նկ.5.5-ում):



7. Մակերևութային լարվածություն

- Մակերևութային լարվածության ուժը.

$$f = \sigma l, \quad (5.19)$$

որտեղ σ -ն հեղուկի մակերևութային լարվածության գործակիցն է, իսկ l -ը՝ հեղուկի մակերևութի սահմանագծի երկարությունը (Նկ.5.6):

• **Հեղուկի մակերևութի ազատ էներգիա**

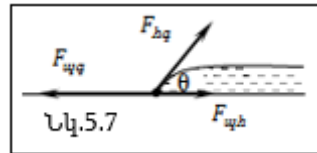
$$F = \sigma S, \quad (5.20)$$

որտեղ S -ը հեղուկի ազատ մակերևութի մակերեսն է:

• **Ցունգի բանաձևը.**

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{yq} - \sigma_{yh}}{\sigma_{hq}}, \quad (5.21)$$

որտեղ θ -ն եզրային կամ թրջման անկյունն է, σ_{yq} -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը պինդ մարմնի և գազի միջև, σ_{yh} -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը պինդ մարմնի և հեղուկի միջև, σ_{hq} -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը հեղուկի և գազի միջև: Մակերևութային լարվածության համապատասխան ուժերը բերված են Նկ.5.7-ում:

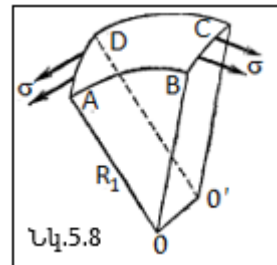


8. Մագական երևույթներ

• Հեղուկի կոր մակերևութների տակի լրացուցիչ ճնշումը (Լապլասի բանաձևը).

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (5.22)$$

որտեղ R_1 -ը AB աղեղի կորության շառավիղն է (Նկ.5.8), իսկ R_2 -ը AD աղեղի կորության շառավիղը: Դրանք երկու փոխուղղահայաց հատույթներից առաջացած մակերևութների կորության շառավիղներն են:

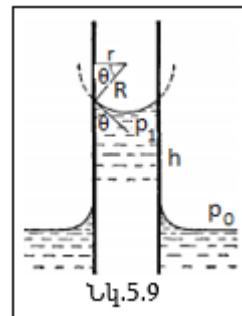


Գնդի դեպքում $R_1 = R_2 = R$ և $\Delta p = 2\sigma/R$:

• **Մագանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը.**

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (5.23)$$

որտեղ r -ը խողովակի ներսի շառավիղն է, ρ -ն՝ հեղուկի խտությունը, θ -ն՝ եզրային կամ թրջման անկյունը (Նկ.5.9): Թրջող հեղուկի դեպքում $0 < \theta < 90^\circ$ և հեղուկը մագանոթով բարձրանում է ($h > 0$): Չթրջող



հեղուկի դեպքում $\theta > 90^\circ$ և հեղուկը մագնսաթուղ իջնում է ($h < 0$):

$\theta = 0^\circ$ դեպքում հեղուկը լրիվ թրջող է, իսկ $\theta = 180^\circ$ դեպքում՝ չթրջող:

9. Դյուվոնգի և Պտիի օրենքը

$$U = 3\nu RT, \quad (5.24)$$

որտեղ U -ն միանման ատոմներից կազմված բյուրեղային պինդ մարմնի ներքին էներգիան է: Դրանից հետևում է, որ պինդ մարմնի մոլային ջերմունակությունը կորոշվի $C = 3R$ արտահայտությամբ: Եթե նյութի քիմիական բանաձևը պարունակում է n մասնիկ, ապա $U = 3n\nu RT$ և $C = 3nR$: Այս երկու բանաձևերն էլ ճիշտ են բարձր ջերմաստիճաններում:

10. Պինդ մարմնի ջերմային ընդարձակումը

• Գծային ընդարձակում.

$$l = l_0(1 + \alpha_0 t), \quad (5.25)$$

որտեղ l_0 -ն ձողի երկարությունն է $t = 0^\circ C$ -ում, l -ը՝ t աստիճանում, իսկ α_0 -ն՝ գծային երկարացման ջերմաստիճանային գործակիցը:

• Ծավալային ընդարձակում.

$$V = V_0(1 + \alpha t), \quad (5.26)$$

որտեղ V_0 -ն մարմնի ծավալն է $t = 0^\circ C$ -ում, V -ն՝ t աստիճանում, իսկ α -ն՝ ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցը: Իզոտրոպ պինդ մարմինների համար $\alpha = 3\alpha_0$: (5.26) բանաձևը կիրառելի է նաև հեղուկների համար:

11. Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի ջերմաստիճանային գործակիցները

• Իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը.

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T, \quad (5.27)$$

որտեղ V -ն ելակետային ծավալն է:

• Ծավալային ընդարձակման գործակիցը.

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p: \quad (5.28)$$

• Ճնշման թերմիկական գործակիցը.

$$\gamma = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V, \quad (5.29)$$

որտեղ p -ն ելակետային ճնշումն է:

Խնիրներ

Խոնավություն

○5.1. Որոշեք ջրային գոլորշու զանգվածը $V=200\text{մ}^3$ ծավալով սենյակում, որն ունի $t = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան և $\varphi = 0,4(40\%)$ հարաբերական խոնավություն:

□5.2. Ինչքա՞ն կլինի սենյակի հարաբերական խոնավությունը (տես նախորդ խնդրի պայմանը), եթե այնտեղ լրացուցիչ գոլորշացվի $m=1\text{կգ}$ զանգածով ջուր:

○5.3. Որոշեք հազեցած ջրային գոլորշու խտությունը հետևյալ ջերմաստիճանների դեպքում՝ ա) $t = 20^\circ\text{C}$; բ) $t = 100^\circ\text{C}$; գ) $t = 200^\circ\text{C}$:

○5.4. Քանի՞ անգամ է հազեցած ջրային գոլորշու խտությունը $t = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի դեպքում մեծ, քան $t = 0^\circ\text{C}$ -ում:

○5.5. Փակ անոթում գտնվող $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան ունեցող օդի հարաբերական խոնավությունը՝ $\varphi_1 = 70\%$: Ինչքա՞ն կլինի հարաբերական խոնավությունը, եթե ջերմաստիճանը բարձրանա մինչև $t_2 = 50^\circ\text{C}$:

□5.6. $V=10\text{լ}$ ծավալով փակ անոթում գտնում է նորմալ պայմանների չոր օդ: Անոթի մեջ ավելացրին $m=30\text{գ}$ ջուր և տաքացրին մինչև $t = 150^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանը: Որոշեք ճնշումը և գոլորշու զանգվածն անոթում այդ ջերմաստիճանում:

□5.7. $V_1 = 2\text{լ}$ և $V_2 = 1\text{լ}$ ծավալ ունեցող անոթները պարունակում են նույն ջերմաստիճանի օդ: Առաջին անոթի օդն ունի $\varphi_1 = 40\%$ հարաբերական խոնավություն, իսկ երկրորդինը՝ $\varphi_2 = 70\%$: Որոշեք օդի հարաբերական խոնավություն այն բանից հետո, երբ անոթները նեղ խողովակով միացնում են իրար:

○5.8. Որքա՞ն է օդի հարաբերական խոնավությունը $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում, եթե ցողի կետը՝ $t_2 = 12^\circ\text{C}$:

○5.9. Երեկոյան $t_1=18^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը $\varphi = 60\%$: Կառաջանա՞ր այդ ցող, եթե գիշերը ջերմաստիճանն իջնի մինչև $t_2 = 8^\circ\text{C}$:

□5.10. Խոհանոցում օդի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, իսկ հարաբերական խոնավությունը՝ $\varphi = 40\%$: Մետաղական թեյնիկի մեջ լցրին սառը ջուր: Ինչքա՞ն պետք է լինի այդ ջրի ջերմաստիճանը, որպեսզի թեյնիկի վրա ցող առաջանա:

□5.11. $V=50\text{լ}$ ծավալ ունեցող փակ անոթում գտնվում է $t = 30^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի $m=1\text{գ}$ զանգվածով ջրային գոլորշի: Որոշեք հարաբերա-

կան խոնավությունն անոթում: Ի՞նչ զանգվածով ջուր կխտանա, եթե անոթի ծավալն իզոթերմ կերպով $a = 2$ անգամ փոքրացվի:

□5.12. $V=50$ լ ծավալ ունեցող փակ անոթում գտնվում է $t=10^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանի $m=1$ գ զանգվածով ջուր և հազեցած գոլորշի: Ինչքա՞ն կլինի հարաբերական խոնավությունը, եթե անոթի ծավալն իզոթերմ կերպով $a = 4$ անգամ մեծացվի:

□5.13. Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 50^{\circ}\text{C}$, իսկ ճնշումը՝ $p=100$ կՊա: Որոշեք օդի խտությունն այդ պայմաններում, եթե օդը՝ **ա)** չոր է; **բ)** ունի $\varphi=0,8$ (80%) խոնավություն:

■5.14. Ի՞նչ բարձրության վրա կսկսի եռալ $t_1=70^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանի ջուրը: Օդի ջերմաստիճանը՝ $\varphi=0^{\circ}\text{C}$ և հաստատուն է, իսկ բարձրությունը հաշվել այն մակարդակից, որտեղ ճնշումը մթնոլորտային է:

Վան-դեր-վաալսյան գազ

●5.15. Ազոտը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Անոթի ծավալի n ր մասն են կազմում մոլեկուլների սեփական ծավալները: Վան-դեր-Վաալսի b հաստատունը համարվում է հայտնի:

●5.16. Համարելով հայտնի Վան-դեր-Վաալսի b հաստատունը, որոշեք ազոտի մոլեկուլի ծավալը:

●5.17. Համարելով հայտնի Վան-դեր-Վաալսի a հաստատունը, որոշեք նորմալ պայմաններում գտնվող ազոտի մոլեկուլների փոխադարձ ձգողությամբ պայմանավորված ներքին ճնշումը: Գտած մեծությունը համեմատեք անոթի պատին գործադրած ճնշման հետ:

●5.18. Ածխաթթու գազն ունի $T=300^{\circ}\text{K}$ ջերմաստիճան և $\rho=500$ կգ/մ³ խտություն: Որոշեք դրա ճնշումը, դիտարկելով գազը որպես՝ **ա)** իդեալական; **բ)** վան-դեր-վաալսյան:

●5.19. $V=1$ լ ծավալով անոթում $p=15$ ՄՊա ճնշան տակ գտնվում է $v=6$ մոլ ածխաթթու գազ: Որոշեք դրա ջերմաստիճանը, դիտարկելով գազը որպես՝ **ա)** իդեալական; **բ)** վան-դեր-վաալսյան:

■5.20. $V=2$ լ ծավալով անոթում գտնվում է $\varphi = 27^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանի $v=10$ մոլ ածխաթթու գազ: Որոշեք դրա ճնշումը, դիտարկելով գազը որպես՝ **ա)** իդեալական; **բ)** վան-դեր-վաալսյան:

●5.21. Ինչ-որ գազի մեկ մոլը գտնվում $V=0,2$ լ ծավալով անոթում: $T_1=260$ Կ ջերմաստիճանում գազի ճնշումը՝ $p_1 = 100$ մթն, իսկ $T_2 = 300^{\circ}\text{K}$ -ում՝ $p_2 = 120$ մթն: Որոշեք այդ գազի Վան-դեր-Վաալսի հաստատունները:

●5.22. Ի՞նչ առավելագույն ծավալ կարող է գրավել $m=1կգ$ զանգվածով ջուրը հեղուկ վիճակում:

●5.23. Որոշեք ջրի խտությունը կրիտիկական վիճակում, օգտագործելով՝ **ա)** Վան-դեր-Վաալսի հաստատունները; **բ)** կրիտիկական ճնշումը և ջերմաստիճանը:

●5.24. Վան-դեր-Վաալսի հաստատունները համարելով հայտնի, որոշեք հազեցած ջրային գոլորշու առավելագույն ճնշումն ու ջերմաստիճանը:

■5.25. Բալոնի մեջ լցրին որոշակի քանակության սենյակային ջերմաստիճանի ջուր: Բալոնը փակելուց հետո այն տաքացրին մինչև կրիտիկական ջերմաստիճան: Ինչքա՞ն պետք է լինի ջրի սկզբնական ծավալի հարաբերությունը բալոնի ծավալին, որպեսզի ջուրը հայտնվի կրիտիկական վիճակում:

■5.26. Բալոնի $x=0,1$ մասը լցրին սենյակային ջերմաստիճանի ջրով և փակին: Այնուհետև բալոնը տաքացրին մինչև $t=380^{\circ}C$ ջերմաստիճան: Որոշեք այդ ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու ճնշումը բալոնում:

●5.27. Ածխաթթու գազի կրիտիկական ջերմաստիճանը և կրիտիկական ճնշումը համարելով հայտնի, որոշեք այդ գազի Վան-դեր-Վաալսի հաստատունները:

●5.28. Ածխաթթու գազի կրիտիկական ջերմաստիճանը և կրիտիկական ճնշումը համարելով հայտնի, որոշեք, թե դրա կրիտիկական ծավալը քանի՞ անգամ է փոքր նորմալ պայմաններում ունեցած ծավալից:

●5.29. Գազը գտնվում է կրիտիկական վիճակում: Քանի՞ անգամ կմեծանա գազի ճնշումը, եթե դրա ջերմաստիճանն իզոխոր կերպով բարձրացվի երկու անգամ:

●5.30. Քանի՞ անգամ է գազի ճնշումը մեծ կրիտիկական ճնշումից, եթե այդ գազի ծավալն ու ջերմաստիճանը երկու անգամ մեծ են կրիտիկական արժեքներից:

■5.31. Որոշեք $v=1$ մոլ ազոտի ներքին էներգիան և կրիտիկական ջերմաստիճանը, եթե գազի ծավալը՝ **ա)** $V = V_{կր}$; **բ)** $V = 9V_{կր}$:

■5.32. $v=1$ մոլ թթվածնի ծավալը $T_2 = 280^{\circ}C$ հաստատուն ջերմաստիճանում $V_1 = 1$ լ-ից ընդարձակվեց մինչև $V_2 = 5$ լ: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքը, ստացած ջերմաքանակը և ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

■5.33. Նախորդ խնդրի տվյալներով, որոշեք մոլեկուլների ձգողական ու-ժերի կատարած աշխատանքը գազի ընդարձակման դեպքում:

■5.34. $v=10$ մոլ ազոտը դատարկությունում աղիաբատ կերպով $V_1 = 2$ լ-ից ընդարձակվեց մինչև $V_2 = 5$ լ: Որոշեք գազի ներքին էներգիայի և ջերմաստիճանի փոփոխությունները:

■5.35. Որոշեք v քանակությամբ գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ դրա ծավալն իզոթերմ կերպով V_1 -ից փոխվում է մինչև V_2 -ը: Տրված է այդ գազի Վան-դեր-Վաալսի b հաստատունը:

Փուլային անցումներ

□5.36. Փակ անոթում գտնվում է՝ $t = 10^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ջուր: Ջրի n ՝ մասը կվերացվի սառույցի, եթե անոթում գտնվող օդը հեռացվի: Արտաքին միջավայրի հետ ջերմափոխանակությունն անտեսեք:

■5.37. Հագեցած ջրային գոլորշու ճնշումները՝ $t_1 = 10^\circ\text{C}$ և $t_2 = 1^\circ\text{C}$ ջերմաստիճաններում հավասար են՝ $p_1 = 610$ Պա և $p_2 = 657$ Պա: Այդ տրվյալներով, որոշեք ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ում: Համարեք, որ ջրային գոլորշին ենթարկվում է իդեալական գազի վիճակի հավասարմանը:

●5.38. Երկաթի հալման ջերմաստիճանը մեծանում է $\Delta T=0,012$ Կ-ով, երբ ճնշումը մեծացնում են $\Delta p=100$ կՊա-ով: Ինչքա՞ն կլինի $m=1$ կգ զանգվածով երկաթի ծավալի փոփոխությունը հալման ընթացքում:

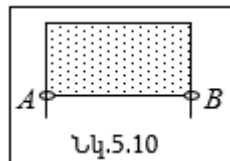
●5.39. Ինչքո՞ւ կփոխվի սառույցի հալման ջերմաստիճանը, եթե արտաքին ճնշումը մեծացվի $\Delta p = 10$ ՄՊա-ով: Հայտնի է սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունը:

Մակերևութային լարվածություն

●5.40. $l = 4$ սմ երկարությամբ AB շարժական կապով մետաղալարե շրջանակը պատված է օճառաջրի թաղանթով (Նկ. 5.10): Ի՞նչ ուժով է օճառաջրի թաղանթն ազդում AB կապի վրա: Ինչքա՞ն աշխատանք պետք է կատարել կապը $\Delta x = 1$ սմ-ով ներքև տեղափոխելու համար:

■5.41. $a = 3$ սմ կողի երկարություն և $\rho=700$ կգ/մ³ խտություն ունեցող խորանարդը լողում է ջրի մակերևույթին: Ջրի մակերևույթից ի՞նչ խորության վրա է գտնվում խորանարդի ներքևի նիստը: Համարեք, որ խորանարդը **ա**) լրիվ թրջելի է: **բ**) չթրջելի է:

■5.42. Ջրի մակերևույթի վրա զգուշորեն տեղադրեցին յուղի բարակ թաղանթով պատված պղո-



պատե ասեղ: Որքա՞ն է ասեղի ամենամեծ տրամագիծը, որի դեպքում նա դեռ կարող է պահվել ջրի երեսին: Չթրջելությունը համարեք լրիվ:

■5.43. Թելից կախված ալյումինե լարից պատրաստված քառակուսի շրջանակը շոշափում է ջրի մակերևույթին: Քառակուսու կողմի երկարությունը՝ $a = 5$ սմ, իսկ լարի տրամագիծը՝ $d=5$ մմ: Ինչքա՞ն է թելի ձգման ուժն այն պահին, երբ շրջանակը պոկվում է ջրի մակերևույթից: Թրջումը համարեք լրիվ:

■5.44. $d=1$ սմ տրամագծով արեումետրն ուղղաձիգ դիրքով ընկղմված է ջրի մեջ: Ինչքանո՞վ կփոխվի դրա ընկղմվածության խորությունը, եթե ջրի մակերևույթին փոքր չափով կերոսին ավելացվի: Թրջումը համարեք լրիվ:

■5.45. Ջուրը կաթիլներով արտահոսում է $d=1$ մմ ներքին տրամագիծ ունեցող ուղղաձիգ խողովակից: Համարելով կաթիլը գնդաձև, որոշեք դրա տրամագիծը: Ինչքա՞ն ժամանակ անց կարտահոսի $m=10$ գ զանգվածով ջուր, եթե մի կաթիլի պոկվելուց հետո՝ հաջորդը պոկվում է $\tau = 1$ վ անց: Թրջումը համարեք լրիվ, իսկ կաթիլի պոկվելու պահին, դրա վզիկի տրամագիծը վերցրեք հավասար խողովակի ներքին տրամագծին:

●5.46. Ջրի մակերևութային լարվածության գործակիցը որոշելու համար օգտագործեցին $d=2$ մմ տրամագիծ ունեցող կաթոցիկ: $N=40$ կաթիլի զանգվածը՝ $m=1,8$ գ: Ի՞նչ արժեք ստացան մակերևութային լարվածության գործակցի համար:

□5.47. Գնահատեք ջրի կաթիլի առավելագույն չափսը, որը կարող է առաստաղից կախված լինել: Համարեք, որ կաթիլն ունի կիսագնդի տեսք:

■5.48. $d=1$ սմ տրամագծով օձառաջրե պղպջակի ներսի ճնշումը որքա՞ն է մեծ դրսի մթնոլորտային ճնշումից:

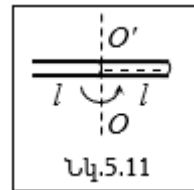
■5.49. Որոշեք $d=0,01$ մմ տրամագծով օդային պղպջակի ներսի ճնշումը, եթե այն գտնվում է ջրում՝ $h=1$ մ խորության վրա: Մթնոլորտային ճնշումը՝ $p_0 = 100$ կՊա:

■5.50. $r=0,1$ մմ ներքին շառավիղ ունեցող ապակե երկար խողովակն ուղղաձիգ դիրքով $h=10$ սմ խորությամբ ընկղմեցին ջրի մեջ: Ի՞նչ լրացուցիչ ճնշում պետք է ստեղծել խողովակում, որպեսզի նրա ներսի օդը սկսի դուրս գալ:

■5.51. Ջուր պարունակող անոթը, որի հատակի մակերեսը՝ $S=300$ սմ², ունի $d=0,5$ մմ տրամագծով կլոր անցք: Անցքի եզրերը ջրի հետ թրջելի չեն: Ի՞նչ զանգվածով ջուր կարող է պահել այդ անոթը: Ինչպե՞ս կփոխվի այդ արդյունքը, եթե հատակին լինի երեք հատ նման անցք:

■5.52. $a \times b = 10 \times 15 \text{ սմ}^2$ չափսերով երկու թիթեղների միջև ջրի շերտի հաստությունը՝ $d=0,02 \text{ մմ}$: Թիթեղներին ուղղահայաց ի՞նչ ուժ պետք է կիրառել, որպեսզի դրանք իրարից անջատվեն: Թրջումը համարեք լրիվ:

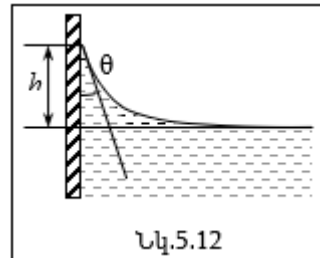
■5.53. Ծայրերը բաց խողովակը կիսով չափ լցած է ջրով և հորիզոնական դիրքով պտտվում է իր կենտրոնով անցնող OO' ուղղաձիգ առանցքի շուրջը (Նկ. 5.11): Խողովակի երկարությունը՝ $2l = 20 \text{ սմ}$, իսկ ներքին շառավիղը՝ $r=1 \text{ մմ}$: Ի՞նչ պտտման հաճախության դեպքում ջուրը կսկսի խողովակից թափվել: Թրջումը համարեք լրիվ:



Նկ.5.11

■5.54. Պարաֆինով պատված հորիզոնական հարթության վրա լցված ջրի շերտի հաստությունն ինչքա՞ն կլինի, եթե ջրի փովածքի տրամագիծն էապես մեծ լինի շերտի հաստությունից: Չթրջելիությունը համարեք լրիվ:

■5.55. Ուղղաձիգ պատի մոտ ինչքա՞ն է բարձրանում հեղուկը, եթե եզրային անկյունը θ է, մակերևութային լարվածության գործակիցը σ է, իսկ հեղուկի խտությունը՝ ρ (Նկ.5.12): Հաշվարկը կատարեք ջրի համար, թրջումը համարեք լրիվ:



Նկ.5.12

Մագականություն

●5.56. Մագական խողովակը, որի ներքին տրամագիծը $d=1 \text{ մմ}$, ուղղաձիգ դիրքով իջեցված է ջրով անոթի մեջ: Որոշեք խողովակով բարձրացող ջրի սյան բարձրությունը և գանգվածը: Թրջումը համարեք լրիվ:

●5.57. $r=0,05 \text{ մմ}$ ներքին շառավղով խողովակն ուղղաձիգ կերպով իջեցված է $\rho=800 \text{ կգ/մ}^3$ խտությամբ հեղուկի մեջ: Որոշեք հեղուկի մակերևութային լարվածության գործակիցը, եթե այն խողովակի մեջ բարձրացել է $h=10 \text{ սմ}$ -ով: Թրջումը համարեք լրիվ:

●5.58. Որոշեք մագական խողովակի ներքին տրամագիծը, եթե դրանով ջուրը բարձրանում է $h=3 \text{ մ}$ բարձրության վրա: Թրջումը համարեք լրիվ:

■5.59. Ուղղաձիգ խողովակը, որը վերևից փակված է, ունի $r=0,01 \text{ մմ}$ ներքին շառավիղ և $l = 10 \text{ սմ}$ երկարություն: Խողովակը ընկղմեցին ջրի մեջ այնքան, որ ջրի մակարդակները խողովակի ներսում և դրսում եղան

նույնը: Ի՞նչ երկարությամբ են խողովակը ընկղմել ջրի մեջ: Մթնոլորտային ճնշումը՝ $p_0 = 100 \text{ կՊա}$: Թրջումը համարեք լրիվ:

●**5.60.** Իրարից $d=0,5$ մ հեռավորության վրա գտնվող երկու ուղղաձիգ հարթ-գուգահեռ թիթեղներ իջեցրին ջրի մեջ: Ինչքա՞ն կբարձրանա ջուրը թիթեղների ներսում: Թրջումը համարեք լրիվ:

■**5.61.** Տարբեր տրամագծերով երկու խողովակներ համաառանցք կերպով տեղադրված են մեկը մյուսի մեջ: Նեղ խողովակի ներքին տրամագիծը՝ $d_1 = 0,5$ մ, արտաքին տրամագիծը՝ $d_2 = 2$ մ, իսկ լայն խողովակի ներքին տրամագիծը՝ $d_3 = 3$ մ: Երբ դրանք ուղղաձիգ դիրքով իջեցրին ջրի մեջ, նեղ խողովակում ջրի մակարդակը դրանց արանքում գտնվող ջրի մակարդակից բարձր կանգնեց $\Delta h=3$ սմ-ով: Այս տվյալներով որոշեք ջրի մակերևութային լարվածության գործակիցը:

■**5.62.** Մնդիկով լցված անոթի մեջ ուղղաձիգ դիրքով իջեցրինք $r=1$ մ ներքին շառավղով մագական խողովակ: Մնդիկի մակարդակը խողովակում եղավ $h=6$ մ-ով ցածր, քան անոթում: Ինչի՞նչ է հավասար մենիսկի կորության շառավիղը և եզրային անկյունը:

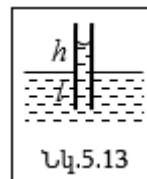
■**5.63.** Ջրով լցված անոթի մեջ ուղղաձիգ դիրքով իջեցրին $r=0,5$ մ ներքին շառավղով մագական խողովակ: Խողովակի վերին ծայրը $h=2$ սմ-ով բարձր է անոթի ջրի ալարդակից: Ինչի՞նչ է հավասար մենիսկի կորության շառավիղը և եզրային անկյունը:

●**5.64.** Ի՞նչ առավելագույն երկարությամբ ջրի սյուն կարող է իր ներսում պահել ուղղաձիգ դիրքում գտնվող $r=1$ մ ներքին շառավղով մագական խողովակը: Թրջումը համարեք լրիվ:

■**5.65.** Երկու ծայրերը բաց, $r=0,5$ մ ներքին շառավղով ուղղաձիգ մագական խողովակում, հավասարակշռության վիճակում գտնվում է ջրի սյուն, որի բարձրությունը հավասար է՝ **ա)** $h=2$ սմ; **բ)** $h=4$ սմ: Ինչի՞նչ է հավասար մենիսկի կորության շառավիղը և ներքին ու վերին եզրային անկյունները:

■**5.66.** Մագական խողովակում, որն ուղղաձիգ կերպով l խորությամբ իջեցված է ջրի մեջ, ջուրը բարձրացել է h բարձրության վրա (Նկ.5.13): Խողովակի ներքին ծայրը փակելուց հետո, այն ուղղաձիգ դիրքով ջրից դուրս են հանում: Այնուհետև այդ ծայրը բացում են: Դրանից հետո ի՞նչ երկարության ջրի սյուն կմնա խողովակում: Թրջումը համարեք լրիվ:

■**5.67.** Բաժակավոր սնդիկային բարոմետրի խողովակի տրամագիծը հավասար է՝ **ա)** $d=1$ մ; **բ)** $d=1$ սմ: Յուրա-



քանյուր դեպքի համար որոշեք սնդիկի սյան բարձրությունը, եթե մթնոլորտային ճնշումը՝ $p=0,76$ մ.սնդ.ս: Սնդիկն ապակուն չի թրջում:

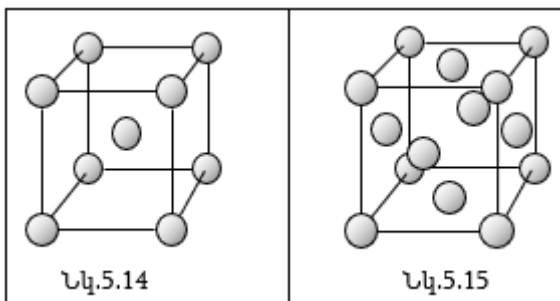
■5.68. Մագական խողովակի ծայրը ուղղաձիգ դիրքով մտցրին ջրի մեջ: Խողովակով ջրի բարձրանալու արդյունքում ինչքա՞ն ջերմություն կանջատվի: Թրջումը համարեք լրիվ:

■5.69. Որոշեք մագական խողովակում գտնվող հեղուկի ուղղաձիգ փոքր տատանումներ պարբերությունը: Հայտնի է խողովակի r ներքին շառավիղը, հեղուկի ρ խտությունն ու մակերևութային լարվածության σ գործակիցը:

Բյուրեղային կառուցվածքներ

●5.70. Սենյակային ջերմաստիճանի երկաթն ունի ծավալակենտրոնացված բյուրեղային ցանց: Այդ ցանցի տարրական բջիջը կարելի է պատկերել խորանարդի տեսքով, որի գագաթներում և կենտրոնում գտնվում են Fe-ի իոնները (Նկ.5.14): Քանի՞ իոն է բաժին ընկնում այդպիսի յուրաքանչյուր բջիջի: Իմանալով երկաթի ատոմական զանգվածը և խտությունը, որոշեք այդ բջիջի կողի երկարությունը:

●5.71. Ալյումինումն ունի նիստակենտրոնացած բյուրեղային ցանց: Այդ ցանցի տարրական բջիջը կարելի է պատկերել խորանարդի տեսքով, որի գագաթներում և նիստերի կենտրոններում գտնվում են Al-ի իոնները (տես Նկ.5.15): Քանի՞ իոն է բաժին ընկնում այդպիսի յուրաքանչյուր բջիջին: Իմանալով ալյումինումի ատոմական զանգվածը և խտությունը, որոշեք այդ բջիջի կողի երկարությունը:



●5.72. Կերակրի աղն (NaCl) ունի նիստակենտրոնացած բյուրեղային ցանց: Այդ ցանցի տարրական բջիջը կարելի է պատկերել խորանարդի տեսքով, որի գագաթներում և նիստերի կենտրոններում գտնվում են Na-ի իոնները: Cl-ի իոնները գտնվում են խորանարդի կենտրոնում և

կողերի կենտրոններում: Խորանարդի կողի երկարությունը՝ $a = 0,56$ նմ:
Քա-նի՝ Na-ի և Cl-ի իոն է բաժին ընկնում այդպիսի յուրաքանչյուր բըջի-
ջի: Իմանալով Na-ի և Cl-ի ատոմական զանգվածները, որոշեք կերակրի
աղի խտությունը:

Բյուրեղների ջերմունակությունը: Ջերմային ընդարձակում

●5.73. Որոշեք հետևյալ բյուրեղների տեսակարար ջերմունակությունը՝
ա) Al; բ) NaCl:

□5.74. Երկու պատի արանքում, պատերին ուղղահայաց, տեղադրված է
երկաթե գերան, որն իր ծայրերով սեղմում է պատերին: $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ջեր-
մաստիճանում գերանը դրանց վրա չի ճնշում: Ինչքա՞ն կլինի ճնշումը,
եթե ջերմաստիճանը դառնա $t_2 = 20^\circ\text{C}$:

□5.75. Ի՞նչ զանգվածով բեռ պետք է կախել $S=1\text{մ}^2$ լայնական հատույթի
մակերես ունեցող պղնձալարից, որպեսզի դրա երկարությունը լինի
այնքան, ինչքան որ կլինի $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ -ով տաքացնելուց հետո:

□5.76. $V = 10^3\text{սմ}^3$ ծավալով պղնձե չորսուն տաքացրին $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ից մին-
չև $t_2 = 200^\circ\text{C}$: Ինչքանո՞վ մեծացավ դրա ծավալը: Ինչքանո՞վ փոքրա-
ցավ դրա խտությունը:

■5.77. $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ապակե անոթը տեղավորում է $m_1=1$
կգ զանգվածով էթիլային սպիրտ: Ի՞նչ զանգվածով սպիրտ այն կտեղա-
վորի $t_2 = 30^\circ\text{C}$ -ում: Հեղուկի և անոթի ջերմաստիճաններն իրար հավա-
սար են:

■5.78. Ապակե անոթը մինչև եզրը լցրին $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ի գլիցերինով: Մինչև
 $t_2 = 40^\circ\text{C}$ -ը տաքացնելուց հեղուկի $k=0,02(2\%)$ մասը թափվեց: Իմանա-
լով ապակու գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցը,
որոշեք գլիցերին ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գոր-
ծակիցը: Հեղուկի և անոթի ջերմաստիճաններն իրար հավասար են:

Տարբեր խնդիրներ

■5.79. Ջոուլ-Թոմսոնի երևույթում գազը համարեք վան-դեր-վաալսյան
նոսր գազ և որոշեք ջերմաստիճանի ΔT փոփոխությունն այդ պրոցե-
սում: Համոզվեք, որ իդեալական գազի դեպքում $\Delta T = 0$:

■5.80. Ապացուցեք, որ Ջոուլ-Թոմսոնի երևույթում գազի էնտալպիան
մնում է հաստատուն:

■5.81. Ջոուլ-Թոմսոնի երևույթում գազի էնտալպիան մնում է հաստա-

տուն: Օգտվելով դրանից, ցույց տվեք, որ այդ պրոցեսի ընթացքում էնտալպիան աճում է:

■5.82. Որոշեք վան-դեր-վաալսյան գազի իզոթերմ սեղմելության $\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$ գործակիցը:

■5.83. Որոշեք վան-դեր-վաալսյան գազի ծավալային ընդարձակման $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ գործակիցը հաստատուն ճնշման դեպքում:

■5.84. $V_1 = 1$ ծավալ զբաղեցնող $v=1$ մոլ ազոտը ընդարձակվում է դատարկությունում: Որոշեք այդ պրոցեսի ընթացքում ջերմաստիճանի նըվազումը, եթե գազի վերջնական ծավալը $V_2 = 10$: Ազոտի համար Վան-դեր-Վաալսի հաստատունը վերցրեք $a=1,35 \cdot 10^6$ մթն.սմ⁶/մոլ², իսկ ջերմունակությունը համարեք հաստատուն: Ինչքա՞ն ջերմաքանակ պետք է հաղորդել գազին, որպեսզի նրա ջերմաստիճանը մնա հաստատուն:

5.85. Ինչքա՞ն ջերմաքանակ պետք է հաղորդել $v=1$ մոլ վան-դեր-վաալսյան գազին, որպեսզի դատարկությունում ընդարձակվելով V_1 ծավալից մինչև V_2 -ը, նրա ճնշումը մնա հաստատուն:

■5.86. Վան-դեր-վաալսյան գազի ջերմունակությունը համարելով հաստատուն, որոշեք նրա ներքին էներգիան:

■5.87. Վան-դեր-վաալսյան գազի ջերմունակությունը համարելով հաստատուն, որոշեք նրա էնտրոպիան:

■5.88. Օգտվելով $C_p - C_V = \left[\left(\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right) \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ բանաձևից, որոշեք վան-դեր-վաալսյան գազի $C_p - C_V$ -ն:

■5.89. Վան-դեր-վաալսյան գազի համար ստացեք ադիաբատ պրոցեսի հավասարումը՝ ա) T և V փոփոխականներով; բ) p և V փոփոխականներով:

■5.90. Վան-դեր-վաալսյան գազի համար ստացեք պոլիտրոպ պրոցեսի հավասարումը T և V փոփոխականներով:

■5.91. Ցույց տվեք, որ կամայական ջերմադինամիկական համակարգի համար, որը գտնվում է $p=p(V,T)$ ճնշման տակ, ճիշտ է $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T = -1$ առնչությունը: Որպես մասնավոր դեպք, դիտարկեք իդեալական գազը:

■5.92. Ցույց տվեք, որ կամայական ջերմադինամիկական համակարգի համար ճիշտ է $T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p$ առնչությունը, որտեղ U -ն ներքին էներգիան է: Որպես մասնավոր դեպք, դիտարկեք իդեալական գազը:

Ցուցում. Օգտվեք $\frac{\partial^2 S}{\partial v \partial T} = \frac{\partial^2 S}{\partial T \partial v}$ առնչությունից, որտեղ S -ը էնտրոպիան է:

■5.92. Ցույց տվեք, որ կամայական ջերմադինամիկական համակարգի համար ճիշտ է $C_p - C_v = T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v$ առնչությունը: Որպես մասնավոր դեպք, դիտարկեք իդեալական գազը:

Ցուցում. Օգտվեք $\frac{\partial^2 S}{\partial v \partial T} = \frac{\partial^2 S}{\partial T \partial v}$ և $C_p - C_v = \left[\left(\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_T + p \right) \right] \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$ առնչություններից, որտեղ S -ը էնտրոպիան է:

■5.93. Ցույց տվեք, որ կամայական ջերմադինամիկական համակարգի համար ճիշտ է $C_p - C_v = V \alpha^2 / \beta$ առնչությունը, որտեղ α -ն ծավալային ընդարձակման գործակիցն է, իսկ β -ն՝ իզոթերմ սեղման գործակիցը: Որպես մասնավոր դեպք, դիտարկեք իդեալական գազը:

Ցուցում. Օգտվեք $C_p - C_v = T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v$ և $\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_v \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T = -1$ առնչություններից, որտեղ S -ը էնտրոպիան է:

Հարցեր

- 1. Ո՞րն է կոչվում հազեցած գոլորշի: Ո՞րը՝ ոչ հազեցած:
- 2. Ինչու՞ է հազեցած գոլորշու ճնշումը ջերմաստիճանից կախված պելլի արագ է աճում, քան իդեալական գազինը:
- 3. Անոթում, մխոցի տակ, հեղուկն ու իր գոլորշին գտնվում են հավասարակշռության վիճակում: Ի՞նչ տեղի կունենա դրանց հետ, եթե մխոցը դանդաղ՝ **ա)** իջեցվի; **բ)** բարձրացվի:
- 4. Ջրով մասամբ լցված երկու անոթներ Նկ.5.16-ի ձևով միացած են իրար: Ժամանակի ընթացքում ի՞նչ տեղի կունենա անոթներում:
- 5. Ո՞րն է կոչվում հարաբերական խոնավություն:
- 6. Ի՞նչ սարքավորումներով են չափում հարաբերական խոնավությունը:
- 7. Ինչքա՞ն է օդի հարաբերական խոնավությունը, եթե չոր և թաց շոքով պայտված ջերմաչափերի ցուցմունքները նույնն են:
- 8. Ո՞րն է կոչվում ցողի կետ:
- 9. Մենյակներից մեկի ջերմաստիճանը բարձր է մյուսինից, բայց հարաբերական խոնավությունները նույնն են: Համեմատեք այդ սենակների օդի ցողի կետերը:
- 10. Ի՞նչ պայմանի դեպքում է նստում՝ **ա)** ցող; **բ)** եղյամ:
- 11. Ինչու՞ են քրտնում ակնոցները, երբ մարդը սառնամանիքից

մտնում է սենյակ:

- 12. Դրսում ցուրտ է և մաղում է անձրև:

Տաք սենյակում կախել են սպիտակեղենի լվածքը: Արդյո՞ք արագ այն կչորանա, եթե բացվի պատուհանի օդանցքը:

- 13. Ինչու՞ ձմռանը բնակարանի օդի

հարաբերական խոնավությունը

փոքր է, քան ամռանը: Ինչու՞ նույն հարմարավետությունը զգալու համար ձմռանը բնակարանի ջերմաստիճանը պետք է լինի ավելի բարձր, քան ամռանը:

- 14. Ինչու՞ սառնարանում գտնվող սննդամթերքը բաց վիճակում ավելի արագ է չորանում, քան սովորական պայմաններում:

- 15. Եթե սենյակի օդը տաք է և խոնավ, իսկ դրսում ցուրտ, ապա պատուհանի օդանցքը բացելուց առաջանում է ամպի հոսք, ընդ որում, սենյակում դա իջնում է, իսկ դրսում՝ բարձրանում: Բացատրեք այս երևույթը:

- 16. Ո՞ր օդն ունի մեծ խտություն, չորը թե՞ խոնավ:

- 17. Ի՞նչ տեսակի շոգեգոյացումներ կան:

- 18. Ո՞րն է կոչվում եռում: Ի՞նչ պայմանի դեպքում է այն տեղի ունենում:

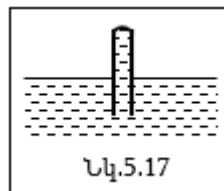
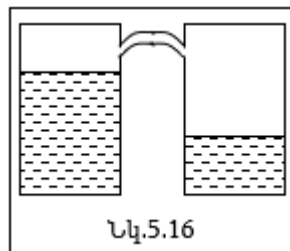
- 19. Ինչպե՞ս կարելի է ստիպել, որ ջուրը՝ եռա՝ ա) 0°C -ում; բ) 100°C - ից բարձր ջերմաստիճանում:

- 20. Վերևի ծայրով փակ խողովակը լցված է ջրով և բաց ծայրով ընկղմված ջրի է մեջ (Նկ.5.17): Ի՞նչ տեղի կունենա խողովակում, եթե անոթի և խողովակի ջուրը տաքացվի մինչև եռման ջերմաստիճան:

- 21. Ինչպե՞ս են հարաբերակցում մոլեկուլի միջին կինետիկ և միջին պոտենցիալ էներգիաները՝ ա) գազում; բ) հեղուկում; գ) պինդ մարմնում:

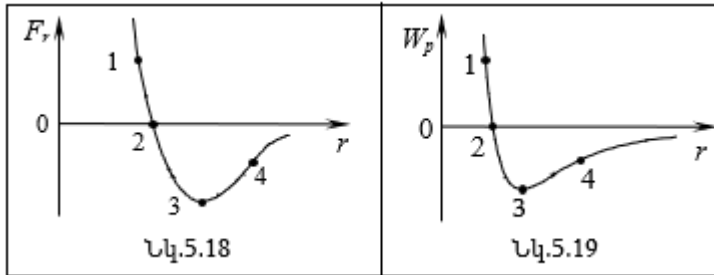
- 22. Նկ.5.18-ում բերված է երկու մոլեկուլների փոխազդեցության ուժի կախումը նրանց կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունից: Այդ գրաֆիկի ո՞ր կետին է համապատասխանում մոլեկուլի հավասարակշռված վիճակը:

- 23. Նկ.5.19 -ում բերված է երկու մոլեկուլների փոխազդեցության $W_{\text{պ}}(r)$



պոտենցիալ էներգիայի կախումը նրանց կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունից: Այդ գրաֆիկի n ը կետին է համապատասխանում մոլեկուլի հավասարակշռված վիճակը:

- 24. Օգտվելով երկու մոլեկուլների փոխազդեցության $W_{\text{պ}}(r)$ պոտենցիալ էներգիայի գրաֆիկից և ենթադրելով, որ մոլեկուլներից մեկն անշարժ է, նկարագրեք երկրորդ մոլեկուլի շարժման բնույթը, եթե դրա լրիվ էներգիան (կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների գու-



մարը)՝ **ա)** դրական է; **բ)** բացասական է: Ո՞ր դեպքում է այդ համակարգի վիճակը համարվում կապված:

- 25. Գրեք Վան-դեր-Վաալսի հավասարումը մեկ մոլ նյութի համար:
- 26. Գրեք Վան-դեր-Վաալսի հավասարումը կամայական քանակի նյութի համար:
- 27. Ո՞րն է գազի ներքին ճնշումը: Ինչի՞ $^\circ$ է այն հավասար Վան-դեր-Վաալսի տեսությունում:
- 28. Ինչպե՞ս է Վան-դեր-Վաալսի b հաստատունը կապված մոլեկուլի սեփական ծավալի հետ:
- 29. Ի՞նչ չափողականություն ունեն Վան-դեր-Վաալսի a և b հաստատունները միավորների ՄՀ-ում:
- 30. Պատկերեք Վան-դեր-Վաալսի իզոթերմերը, երբ ջերմաստիճանը՝ **ա)** կրիտիկականից բարձր է; **բ)** կրիտիկական է; **գ)** կրիտիկականից ցածր է:
- 31. Ի՞նչ առանձնահատկություն ունի կրիտիկական կետով անցնող իզոթերմը՝ այդ կետում:
- 32. Վան-դեր-Վաալսի իզոթերմի n ՞ր տեղամասն է, որ փորձում երբեք չի նկատվել և ինչու՞:
- 33. Վան-դեր-Վաալսի իզոթերմի n ՞ր տեղամասերն են նկարագրում մետաստաբիլ վիճակներ և ինչպիսի՞ վիճակներ են դրանք:

- 34. Պատկերեք փորձից ստացվող իզոթերմի տեսքը, երբ նյութի ջերմաստիճանը ցածր է կրիտիկական ջերմաստիճանից: Ինչո՞վ է դա տարբերվում Վան-դեր-Վաալսի իզոթերմից:
- 35. Նյութի կրիտիկական պարամետրերն արտահայտեք Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններով:
- 36. Գրեք կրիտիկական ճնշման, ծավալի և ջերմաստիճանի կապը:
- 37. Հելիումի կրիտիկական ջերմաստիճան 5Կ է, իսկ ջրինը՝ 647Կ: Ի՞նչ առանձնահատկություններով է պայմանավորված այդ ջերմաստիճանների մեծ տարբերությունը:
- 38. Գրեք վան-դեր-վաալսյան գազի ներքին էներգիայի բանաձևը:
- 39. Ինչպե՞ս կփոխվի վան-դեր-վաալսյան գազի ներքին էներգիան իզոթերմ ընդարձակման դեպքում:
- 40. p,V կոորդինատական հարթության վրա պատկերեք նյութի առավել տարածում ունեցող փուլային դիագրամը:
- 41. p,T կոորդինատական հարթության վրա պատկերեք նյութի առավել տարածում ունեցող փուլային դիագրամը:
- 42. Ո՞րն է կոչվում ջերմադինամիկական համակարգի փուլ: Բերեք օրինակներ:
- 43. Ձևակերպեք փուլերի կանոնը ջերմադինամիկական համակարգերի համար:
- 44. Ձևակերպեք լծակի կանոնը ջերմադինամիկական համակարգերի վիճակի դիագրամաների համար:
- 45. Ո՞րն է կոչվում՝ **ա)** հալում; **բ)** բյուրեղացում; **գ)** շոգեգոյացում; **դ)** խտացում; **ե)** սուբլիմում (ցնդում):
- 46. Ո՞րն է կոչվում՝ **ա)** հալման կոր; **բ)** շոգեգոյացման կոր; **գ)** սուբլիմումի (ցնդման) կոր:
- 47. Ինչո՞ւ մ է կայանում ջրի հալման կորի անոմալությունը:
- 48. Ի՞նչ է իրենից ներկայացնում եռակի կետը:
- 49. Ինչո՞վ է բացատրվում այն փաստը, որ չոր ածխաթթուն (այսպես կոչված «չոր սառույց»), ի տարբերություն պինդ ջրի, նորմալ պայմաններում չի հալվում, այլ միանգամից անցնում է գազային վիճակի (ցնդում է):
- 50. Նյութի ո՞ր վիճակին են անվանում կրիտիկական:
- 51. Ինչպե՞ս է փոխվում հեղուկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը ջերմաստիճանը բարձրացնելուց: Այն ի՞նչ արժեք ունի կրիտիկական ջերմաստիճանում:

- 52. Ջերմաստիճանը բարձրացնելուց ինչպե՞ս է փոխվում՝ **ա)** հեղուկի խտությունը; **բ)** հազեցած գոլորշու խտությունը:
- 53. Փակ անոթում հեղուկն ու իր գոլորշին գտնվում են հավասարակշռության վիճակում: Ի՞նչ տեղի կունենա դրանց հետ, եթե անոթը դանդաղ տաքացնենք մինչև կրիտիկականից բարձր ջերմաստիճանը: Օգտագործեք նյութի փուլային դիագրամը **p, V** կոորդինատական հարթությունում և քննարկեք այն դեպքերը, երբ՝
ա) ծավալը փոքր է կրիտիկականից; **բ)** ծավալը հավասար է կրիտիկականին; **գ)** ծավալը մեծ է կրիտիկականից:
- 54. Ինչպե՞ս կարող է գոլորշին միանգամից անցնել նույն ջերմաստիճանի հեղուկի, շրջանցելով դրանց հավասարակշիռ երկփուլ վիճակը (հեղուկ-գոլորշի հավասարակշիռ վիճակը բացակայում է):
- 55. Ի՞նչ տարբերություն կա գոլորշու և գազի միջև:
- 56. Ո՞ր վիճակներին են անվանում մետաստաբիլ: Բերեք օրինակներ:
- 57. Որի՞ն են անվանում՝ **ա)** գերսառեցված հեղուկ; **բ)** գերհազեցած գոլորշի; **գ)** գերտաքացված հեղուկ: Ինչպե՞ս են ստեղծում այդպիսի վիճակներ:
- 58. Ո՞րն է կոչվում՝ **ա)** բյուրեղացման կենտրոն; **բ)** խտացման կենտրոն; **գ)** շոգեգոյացման կենտրոն: Ի՞նչը կարող է հանդես գալ թվարկած պրոցեսների համար որպես կենտրոն:
- 59. Ինչքան փոքր է ջրի ծավալը, այնքան հեշտ է դրան գերսառեցնել (առանց պնդացման): Օրինակ, ամպի ջրային կաթիլները սովորաբար -15°C -ում են սկսում սառուցի վերածվել: Ավելի փոքր կաթիլները կարելի է գերսառեցնել մինչև -40°C -ը: Բացատրեք այս պրոցեսներն:
- 60. Ինչու՞ գերհազեցած գոլորշի ստանալու համար այն պետք մաքրել փոշեհատիկներից:
- 61. Ինչու՞ գերտաքացված հեղուկ ստանալու համար այն պետք է մաքրել նրանում լուծված գազերից:
- 62. Ինչի՞ վրա է հիմնված Վիլսոնի խցիկի գործողության սկզբունքը:
- 63. Ինչի՞ վրա է հիմնված բժտիկային խցիկի գործողության սկզբունքը:
- 64. Գրեք Կլապերոն-Կլաուզիուսի հավասարումը:
- 65. T, Q(ջերմաստիճան, ջերմաքանակ) կոորդինատական հարթության վրա պատկերեք բյուրեղային պինդ մարմնի տաքացման և հալման պրոցեսի գրաֆիկը:
- 66. T, Q(ջերմաստիճան, ջերմաքանակ) կոորդինատական հարթության

վրա պատկերեք հեղուկի սառեցման և բյուրեղացման պրոցեսի գրաֆիկը:

- 67. Գոլորշացման ժամանակ հեղուկը վերածվում է նույն ջերմաստիճանի գոլորշու: Նույնն են արդյոք գոլորշու և հեղուկի ներքին էներգիաները, երբ դրանց ջերմաստիճաններն իրար հավասար են: Ինչպե՞ս են իրար հարաբերակցում նույն ջերմաստիճանն ունեցող հեղուկի և իր գոլորշու մոլեկուլների՝ ա) միջին կինետիկ էներգիաները; բ) միջին պոտենցիալ էներգիաները:
- 68. Գոլորշացման պրոցեսում հեղուկից գոլորշու են անցնում ավելի արագ մոլեկուլները: Հետևաբար գոլորշու մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան պետք է մեծ լինի, քան հեղուկինը: Սա հակասում է այն փաստին, որ հեղուկն ու իր գոլորշին ունեն նույն ջերմաստիճանը: Ինչու՞մ է կայանում դատողությունների սխալը:
- 69. Ինչու՞ գոլորշացման դեպքում հեղուկի ջերմաստիճանը ընկնում է:
- 70. Ինչու՞ հեղուկն ավելի արագ է սառչում, երբ նրա վրա փչում են:
- 71. Ինչու՞ քամու առկայության դեպքում մարդը շոգը հեշտ է տանում:
- 72. Ինչու՞ բարձր խոնավության դեպքում մարդը շոգը վատ է տանում:
- 73. Ի՞նչ հարաբերական խոնավությունն է մարդու առողջության համար ամենաբարենպաստը:
- 74. Բացատրեք, թե ինչի՞ շնորհիվ է մարդը կարողանում որոշակի ժամանակ գտնվել սառունայում, որտեղ օդի ջերմաստիճանը 140°C է:
- 75. Ինչու՞ ջուրը փակ անոթում ավելի շուտ է եռում, քան՝ բաց անոթում:
- 76. Կրակը ո՞ր ջրով է հնարավոր արագ հանգցնել, տա՞ք, թե՞ սառը:
- 77. Ինչու՞ գոլորշին մարդու մարմինն ավելի խորն է վառում, քան նույն ջերմաստիճանի ջուրը:
- 78. Գրեք մակերևութային լարվածության ուժի բանաձևը: Ինչպե՞ս է ուղղված այդ ուժն:
- 79. Գրեք հեղուկի մակերևութային էներգիայի բանաձևը:
- 80. Մակերևութային լարվածության գործակիցն արտահայտե՞ք՝ ա) մակերևութային լարվածության ուժով; բ) մակերևութային էներգիայով: Դա ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի:
- 81. Ի՞նչ միավորով է չափվում մակերևութային լարվածության գործակիցը միավորների ՄՀ-ում:
- 82. Ինչպե՞ս է փոխվում մակերևութային լարվածության գործակիցը ջերմաստիճանի բարձրացման դեպքում: Ինչի՞ է այն հավասար

կրիտիկական ջերմաստիճանի դեպքում:

- 83. Ոչ հերմետիկ փակված ծորակից n ՝ դեպքում ջրի ավելի ծանր կաթիլներ կընկնեն՝ երբ կաթում է տա՞ք, թե՞ սառը ջուր:
- 84. Ջրով մասամբ լցված փակ անոթը գտնվում է անկշռելիության վիճակում: Ի՞նչ կնկատվի, եթե անոթը լրիվ՝ ա) թրջելի է; բ) չթրջելի է:
- 85. Ինչու՞ փոքր կաթիլներն իրար կպնեցնուց միանում և ստեղծում են մեծ կաթիլ, սակայն մեծ կաթիլն ինքնուրույն չի տրոհվում փոքրերի:
- 86. Բերեք մակերևութային լարվածությամբ պայմանավորված բնական և տեխնիկական կիրառության միջանի օրինակներ:
- 87. Ո՞ր նյութերին են անվանում ակտիվ մակերևույթով նյութեր: Բերեք օրինակներ:
- 88. Ո՞րն է կոչվում թրջման կամ եզրային անկյուն: Ի՞նչ արժեքներ է այն ընդունում, երբ հեղուկը՝ ա) թրջում է; բ) չի թրջում պինդ մակերևույթը:
- 89. Որքան փոքր է չթրջվող մակերևույթի վրա գտնվող կաթիլը (օրինակ, պարաֆինի վրա գտնվող ջրի կաթիլը), այնքան նրա ձևը մոտ է գնդին: Ինչու՞ :
- 90. Գրեք Յունգի բանաձևը, որը թրջման անկյունը կապում է պինդ մարմին-հեղուկ ($\sigma_{\text{պՀ}}$), պինդ մարմին-գազ ($\sigma_{\text{պԳ}}$) և հեղուկ-գազ ($\sigma_{\text{ՀԳ}}$) մակերևութային լարվածության գործակիցների հետ:
- 91. Ինչպե՞ս են իրար հարաբերակցում պինդ մարմին-հեղուկ ($\sigma_{\text{պՀ}}$) և պինդ մարմին-գազ ($\sigma_{\text{պԳ}}$) մակերևութային լարվածության գործակիցները, եթե հեղուկը՝ ա) թրջում է; բ) չի թրջում պինդ մակերևույթը:
- 92. Ինչի՞նչ է հավասար հեղուկի կորացված մակերևույթի ճնշումը: Ինչի՞նչ է այն կախված:
- 93. Ինչո՞վ են իրարից տարբերվում հեղուկի ուռուցիկ և գոգավոր մակերևույթների ճնշումները:
- 94. Հեղուկի մակերևույթի կորության նույն շառավղի դեպքում գնդային՝ մակերևույթն է մեծ ճնշում ստեղծում, թե՞ գլանայինը և քանի՞ անգամ:
- 95. Մեծ և փոքր երկու օճառաջրի պղպջակներ իրար են միացրել նեղ խողովակով: Դեպի ո՞ր պղպջակը կսկսի տեղաշարժվել օդը:
- 96. Հայտնի է, որ ճնշումը գնդակում կամ անվաղողում փչելու ընթացքում ավելանում է: Արդյո՞ք նույնը կարելի է ասել օճառաջրի

պղպջակի դեպքում:

- 97. Ինչու՞ են թրջվում խոնավ հողի վրա ոտքի կամ անիվի հեթեթերը:
- 98. Ինչու՞ փխրեցված հողն ավելի լավ է խոնավություն պահում:
- 99. Ինչու՞ նեղ բերան ունեցող անոթը շրջելուց նրա ներսի հեղուկը չի թափվում:
- 100. Ինչի՞ շնորհիվ է սրբիչը կամ թղթե անձեռնոցիկը ներծծում հեղուկին:
- 101. Ինչու՞ են թաց մազերն իրար կաշում:
- 102. Ինչու՞ իրարից դժվար են անջատվում իրար կպած հարթ ապակու թաց կտորներն: Ինչպե՞ս կարելի է դրանք իրարից հեշտ անջատել:
- 103. Ի՞նչ անենք, որ պողպատե ասեղը լողա ջրի մակերևույթին:
- 104. Բրեզենտը հերմետիկ չէ, սակայն դրանից պատրաստված վրանն անձրևից լավ պաշտպանում է: Եթե ներսից ձեռքով կանենք այդ վրանի թաց առաստաղին, ապա այդտեղից կսկսի ջուր կաթալ: Բացատրեք այս երկու երևույթները:
- 105. Ուղղաձիգ մագալկան խողովակը մի ծայրով ընկղմված է հեղուկի մեջ: Գրեք խողովակի ներսում հեղուկի սյան բարձրության բանաձևը:
- 106. Ուղղաձիգ մագալկան խողովակը մի ծայրով ընկղմված է հեղուկի մեջ: Համեմատեք մենիսկների տեսքը և թրջման անկյունները, երբ հեղուկը՝ ա) թրջող է; բ) թրջող չէ:
- 107. Հորիզոնական դիրքում գտնվող մագալկան խողովակում կա հեղուկի սյուն: Ի՞նչ տեղի կունենա դրա հետ, եթե խողովակի մի ծայրը տաքացվի:
- 108. Ուղղաձիգ մագալկան խողովակը մի ծայրով ընկղմված է հեղուկի մեջ: Ինչպե՞ս կփոխվի դրանում հեղուկի սյան բարձրությունը, եթե ջերմաստիճանը բարձրացվի:
- 109. Ուղղաձիգ մագալկան խողովակը մի ծայրով ընկղմված է հեղուկի մեջ: Ինչպե՞ս կփոխվի դրանում հեղուկի սյան բարձրությունը, եթե այն ուղղաձիգի նկատմամբ ինչ-որ անկյունով շեղվի:
- 110. Ի՞նչ էներգիայի հաշվին է մագալկան խողովակում հեղուկը բարձրանում:
- 111. Ուղղաձիգ մագալկան խողովակը մի ծայրով ընկղմված է հեղուկի մեջ: Ինչպե՞ս կփոխվի դրանում հեղուկի սյան բարձրությունը, եթե համակարգը հայտնվի անկշռելիության վիճակում:
- 112. Թաց գերանն Արևի տակ չորացնելուց, նրա այն ծայրից, որը

գտնվում է ստվերում (այսինքն, ունի ցածր ջերմաստիճան), ջրի կաթիլներ են դուրս գալիս:

- 113. Երբ չոր կավիճը դնում են թաց սպունգի (գուրկայի) վրա, ապա այն խոնավանում է, իսկ երբ չոր սպունգն են դնում թաց կավիճի վրա՝ այն չոր է մնում: Ինչու՞ է այդպես տեղի ունենում:
- 114. Հեղուկի մակերևույթի մոտ գտնվող հազեցած գոլորշու ճնշումն ինչպե՞ս է կախված դրա կորությունից: Գրեք այդ կախվածությունն արտահայտող բանաձևը և պարզաբանեք նրանում եղած նշանակումները:
- 115. Ինչու՞ փոշիացված օդը նպաստում է խիտ մառախուղի առաջացմանը:
- 116. Մառախուղը կազմված տարբեր չափսերի ջրային կաթիլներից: Ո՞ր կաթիլների (մեծ, թե՞ փոքր) մոտ է հազեցած գոլորշու ճնշումը փոքր: Ո՞ր կաթիլների մոտ է գոլորշու խտացումն արագ տեղի ունենում:
- 117. Ցող նստելուց որոշ ժամանակ անց փոքր կաթիլներն վերանում են, մինչդեռ խոշորների չափսերը մեծանում է: Բացատրեք այս երևույթը:
- 118. Ինչու՞ գոլորշու խտացումը հեշտ է տեղի ունենում այնպիսի պինդ մասնիկների վրա, որոնք տվյալ հեղուկում թրջելի են:
- 119. Թվարկեք բյուրեղային պինդ մարմնի հիմնական հատկությունները:
- 120. Բյուրեղային պինդ մարմնում մասնիկների դասավորության համար ո՞րն է հեռակա կարգը:
- 121. Ո՞րն է կոչվում միաբյուրեղ, ո՞րը՝ բազմաբյուրեղ:
- 122. Ո՞րն է կոչվում անիզոտրոպություն: Ի՞նչ ֆիզիկական երևույթներում է այն հանդես գալիս: Ո՞ր բյուրեղներն են անիզոտրոպ:
- 123. Ո՞րն է կոչվում բյուրեղային ցանց: Թվարկեք բյուրեղային ցանցի հիմնական տեսակները (Բրավեյի ցանց):
- 124. Նկարագրեք նիստակենտրոնացած, ծավալակենտրոնացած և խորանարդային բյուրեղները:
- 125. Ո՞րն է կոչվում բյուրեղային ցանցի՝ ա) հանգույց; բ) տարրական բջիջ; գ) պարբերություն կամ հաստատուն:
- 126. Ինչո՞վ են տարբերվում բյուրեղային և ամորֆ պինդ մարմինները:
- 127. Բյուրեղներն ի՞նչ խմբերի են բաժանում, ըստ դրանց մասնիկների միջև եղած կապի տեսակի:

- 128. Ո՞ր բյուրեղներն են կոչվում իոնային: Բերեք օրինակներ:
- 129. Ո՞ր բյուրեղներն են կոչվում ատոմական: Բերեք օրինակներ:
- 130. Ո՞ր բյուրեղներն են կոչվում մետաղական: Բերեք օրինակներ:.
- 131. Ո՞ր բյուրեղներն են կոչվում մոլեկուլային: Բերեք օրինակներ:
- 132. Ի՞նչ արժեքի է ձգտում կամայական բյուրեղի մոլային ջերմունակությունը բարձր ջերմաստիճանում:
- 133. Հեղուկի ո՞ր հատկություններն են մոտ պինդ մարմնի հատկություններին: Ի՞նչ պայմանների դեպքում դրանց նմանությունները կշատանան:
- 134. Հեղուկի ո՞ր հատկություններն են մոտ գազերի հատկություններին: Ի՞նչ պայմանների դեպքում դրանց նմանությունները կշատանան:
- 135. Բյուրեղային պինդ մարմնում մասնիկների դասավորության համար ո՞րն է մոտակա կարգը:
- 136. Որո՞նք են հեղուկ բյուրեղի հիմնական հատկությունները:
- 134. Հեղուկ բյուրեղների ի՞նչ տարատեսակներ կան:
- 138. Օգտվելով երկու մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի Նկ.4.19-ում բերված կախվածությունից, բացատրեք պինդ մարմինների ընդարձակման պրոցեսը:
- 139. Ո՞ր մեծությանն են անվանում գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից:
- 140. Ի՞նչ կապ կա գծային և ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցների միջև:
- 141. Ինչու՞մ է կայանում ջրի ընդարձակման անոմալությունը:
- 142. Ինչի՞ է հավասար իդեալական գազի ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցը:
- 143. Ինչի՞ վրա է հիմնված հեղուկային (օրինակ, սպիրտային կամ սնդիկային) ջերմաչափի գործողության սկզբունքը:
- 144. Ինչու՞ ջերմաչափում հնարավոր չէ օգտագործել այնպիսի հեղուկ, որի ջերմային ընդարձակման գործակիցը մոտ է ապակունը:
- 145. Սկավառակի հարթ մակերևույթին տարված է կենտրոնով չանցնող ուղիղ գիծ: Ինչպե՞ս կփոխվի այդ գծի տեսքը, եթե սկավառակը տաքացվի:
- 146. Ինչպե՞ս է փոխվում անոթի ներքին ծավալը (տարողությունը) նրա տաքացնելուց:
- 147. Վերցնենք նույն մետաղից պատրաստված օղակ և գնդիկ, որի

տրամագծի՝ h հավասար է օղակի ներքին տրամագծին: Կանցնի՝
արդյոք գնդիկն օաղակի միջով, եթե տաքացվի՝ **ա)** գնդիկը; **բ)**
օղակը; **գ)** գնդիկն ու օղակը մինչև նույն ջերմաստիճանը:

- 148. Բնչու՞ ձուն հեշտ մաքրելու համար, եռացող ջրից հանելուց հետո
անմիջապես ընկղմում են սառը ջրի մեջ:
□149. Բնչու՞ ապակե հաստ պատերով բաժակները տաք թեյից ավելի
հաճախ են ճաքվում, քան՝ բարակ պատովները:

Հիմնավորեք պնդումների ճիշտ և սխալ լինելը

5.1. ա) Նյութի անցումը հեղուկ վիճակից գազային վիճակի կոչվում է շոգեգոյացում, իսկ անցումը պինդ վիճակից գազայինի կոչվում է ցնդում կամ սուբլիմում; **բ)** Բացառությամբ սառույցի, մնացած բոլոր նյութերի հալման ջերմաստիճանը բարձր է նույն նյութի բյուրեղացման ջերմաստիճանից; **գ)** Նյութի անցումը պինդ վիճակից հեղուկ վիճակի անվանում են հալում, իսկ հեղուկ վիճակից պինդ վիճակի անցմանը՝ պնդացում կամ բյուրեղացում; **դ)** Շոգեգոյացումն ընթանում է երկու ձևով՝ գոլորշացումով և եռումով: Այն շոգեգոյացումը, որը տեղի է ունենում միայն հեղուկի ազատ մակերևույթից կոչվում է գոլորշացում;

5.2. ա) Ջերմային շարժման շնորհիվ հեղուկի մակերևութային շերտի մոլեկուլների այն մասը, որոնք ունեն մեծ էներգիա կարողանում են հաղթահարել մյուս մոլեկուլների ձգողական ուժը և դուրս թռչելով հեղուկից՝ ստեղծել գոլորշի; **բ)** Եթե ռեալ գազը Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում մեծ p_1 ճնշման տիրույթից ադիաբատորեն տեղափոխվի p_2 փոքր ճնշման տիրույթ, ապա այդ ընդարձակման պրոցեսում կպահպանվի գազի ներքին էներգիան; **գ)** Հալման պրոցեսում մարմնին հաղորդած ջերմաքանակը ծախսվում է բյուրեղի տարածական ցանցի քայքայման վրա; **դ)** $T_{կր}$ կրիտիկական ջերմաստիճանից բարձր ջերմաստիճաններում գտնվող հեղուկը չի կարող փոխակերպվել գազի:

5.3. ա) Հեղուկի բյուրեղացումը հեշտանում է, եթե նրանում հենց սկզբից կան որևէ կողմնակի մասնիկներ, որոնք դառնում են բյուրեղացման կենտրոններ; **բ)** Օդի բացարձակ խոնավությունը հավասար է տվյալ պայմաններում օդում ջրային գոլորշու պարզիալ ճնշմանը; **գ)** Եթե պընդացման ջերմաստիճանում գտնվող m զանգվածով հեղուկը դառնա նույն ջերմաստիճանի բյուրեղային պինդ մարմին, ապա նրա ներքին էներգիան կփոքրանա $m\lambda$ չափով՝ $\Delta U = -m\lambda$, որտեղ λ -ն հալման տեսա-

կարար ջերմությունն է; **դ)** p, V (ճնշում, ծավալ) կոորդինատական հարթության վրա իրական գազի տարբեր ջերմաստիճաններում իրականացվաց իզոթերմերի մինիմումի կետերն իրար միացնող գծին անվանում են փուլային դիագրամ:

5.4. ա) Գոլորշացումը տեղի ունի ցանկացած ջերմաստիճանում և այդ պրոցեսում հեղուկից հեռանում են մեծ ջերմային էներգիայով օժտված մոլեկուլները; **բ)** Միայն ջրի β ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցն է, որ ջերմաստիճանից կախված կարող է իր նշանը փոխել՝ $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ից մինչև $t_2 = 4^\circ\text{C}$ -ը $\beta < 0$, իսկ $t \geq 4^\circ\text{C}$ դեպքում $\beta > 0$; **գ)** Եթե հալման ջերմաստիճանում գտնվող m զանգվածով բյուրեղային պինդ մարմինը փոխակերպվի նույն ջերմաստիճանի հեղուկի, ապա նրա ներքին էներգիան կմեծանա $m\lambda$ չափով՝ $\Delta U = m\lambda$, որտեղ λ -ն հալման տեսակարար ջերմությունն է; **դ)** Վան-դեր-վաալսյան գազի $\left(p + \frac{a}{V_M^2}\right)(V_M - b) = RT$ վիճակի հավասարման b հաստատունը հավասար է մեկ մոլում պարունակվող մոլեկուլների սեփական ծավալին:

5.5. ա) Գոլորշացումը տեղի ունի $t = 0^\circ\text{C}$ -ից բարձր ջերմաստիճանում և այդ պրոցեսում հեղուկից հեռանում են մեծ պոտենցիալ էներգիայով օժտված մոլեկուլները; **բ)** $\rho = \frac{pM}{RT}$ արտահայտությունից հետևում է, որ եթե օդի ջերմաստիճանը ցածր է, ապա օդում գոլորշու ρ խտությունը կարող է մոտ լինել հազեցած գոլորշու խտությանը, և օդը կլինի խոնավ; **գ)** Հեղուկ և պինդ վիճակում մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան մոդուլով մեծ է նրանց միջին կինետիկ էներգիայից; **դ)** Քանի որ գազերի մոլեկուլների փոխազդեցության ուժը փոքր է պինդ նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության ուժից, ուստի իրական գազի մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիան փոքր է պինդ նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիայից;

5.6. ա) Գոլորշացման ինտենսիվությունը՝ միավոր ժամանակում հեղուկի միավոր մակերեսից հեռացող մոլեկուլների թիվը, ջերմաստիճանի բարձրացման գույքընթաց արագ մեծանում է; **բ)** Հեղուկի բյուրեղացումը հեշտանում է, եթե նրանում չկան որևէ կոդմնակի մասնիկներ, որոնք խանգարեն բյուրեղացման կենտրոնների առաջացմանը; **գ)** Նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան ամենամեծ արժեք ունի գոլորշի վիճակում; **դ)** Եթե Վան-դեր-վաալսյան գազի քանակը հավասար է v -ի, ապա դրա վիճակի հավասարումը կլինի՝

$\left(p + \frac{av^2}{v}\right)(V - bv) = \nu RT$, որտեղ a և b Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններն են:

5.7. ա) Գոլորշացման ինտենսիվությունն ուղիղ համեմատական է հեղուկի ազատ մակերևույթի մակերեսին; **բ)** Նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան ամենափոքր արժեք ունի բյուրեղային վիճակում; **գ)** Նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան հեղուկ վիճակում ավելի մեծ է, քան պինդ վիճակում, հետևաբար բյուրեղային մարմնի հալման պրոցեսում ներքին էներգիան աճում է, ինչը ուղեկցում է ջերմաքանակի կլանմամբ; **դ)** Եթե $t=0^\circ\text{C}$ -ում մարմնի ծավալը V_0 է, ապա t աստիճանում նրա V ծավալը կորոշվի $V = V_0(1 + \beta t)$ բանաձևով, որտեղ β հաստատունը կախված է նյութի տեսակից և կոչվում է ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից:

5.8. ա) Եթե հեղուկը գտնվում է փակ անոթում, ապա հեղուկից դուրս թռած մոլեկուլները կմնան հեղուկի մակերևույթի մոտ և գոլորշու խրտուրդումը կսկսի աճել այնքան ժամանակ, մինչև որ հավասարվի հեղուկի խտությանը; **բ)** Նյութի անցումը մեկ ագրեգատային վիճակից՝ մյուսին կոչվում է փուլային անցում: Բյուրեղացման, հալման, գոլորշացման և սուբլիմացման պրոցեսները առաջին կարգի փուլային անցումներ են; **գ)** Նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան հեղուկ վիճակում ավելի մեծ է, քան պինդ վիճակում, հետևաբար հեղուկի պնդացման պրոցեսում ներքին էներգիան նվազում է, ինչը ուղեկցում է ջերմաքանակի անջատմամբ; **դ)** Եթե օդի ջերմաստիճանը ընկնում է, ապա ընկնում է հագեցած գոլորշու ճնշման p_0 արժեքը և որոշակի ջերմաստիճանի դեպքում այն հավասարվում է այդ նույն ջերմաստիճանում օդում առկա ջրային գոլորշու p ճնշմանը, այդ ջերմաստիճանին անվանում են ցողի կետի ջերմաստիճան:

5.9. ա) Բյուրեղային նյութի հալման և հալույթի բյուրեղացման պրոցեսներն այնպիսի իզոթերմ պրոցեսներ են, որի դեպքում մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության հետևանքով փոփոխվում է նյութի ներքին էներգիան; **բ)** Օդի φ հարաբերական խոնավությունը տվյալ ջերմաստիճանում օդի ρ բացարձակ խոնավության հարաբերությունն է նույն ջերմաստիճանում ρ_0 հագեցած գոլորշու խրտուրդանը, արտահայտված տոկոսներով՝ $\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%$; **գ)** Հեղուկի իզոթերմ գոլորշացման պրոցեսում հաղորդաց ջերմաքանակի հաշվին մե-

ծանում է մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան, իսկ միջին կինետիկ էներգիաները մնում է անփոփոխ; **դ)** Եթե իրական գազի ջերմաստիճանը բավարարում է $T_p = \frac{a}{Rb}$ (Բոյլի ջերմաստիճան) պայմանին, որտեղ a և b Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններն են, իսկ R -ը գազային ունիվերսալ հաստատունը, ապա գազն իր հատկություններով կհամապատասխանի հազեցած գոլորշուն:

5.10. ա) Եթե հեղուկ պարունակող անոթը փակ չէ, ապա դուրս թռած մոլեկուլները կհեռանան հեղուկի մակերևույթից, սակայն դրանց փոխարեն օդի մոլեկուլներ են կմտնեն հեղուկի մեջ և դրա հետևանքում հեղուկի մակարդակն անոթում կմնա անփոփոխ; **բ)** Օդի φ հարաբերական խոնավությունը տվյալ ջերմաստիճանում օդում առկա ջրային գոլորշու p պարզիալ ճնշման հարաբերությունն է նույն ջերմաստիճանում հազեցած գոլորշու p_0 ճնշմանն, արտահայտված տոկոսներով՝ $\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%$; **գ)** Նյութի մոլեկուլների ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան ամենամեծ արժեք ունի գոլորշի վիճակում; **դ)** Հեղուկի թրջելության հետևանքով է, որ որոշ միջատներ ազատորեն կարող են քայլել ջրի մակերևույթով:

5.11. ա) Ամորֆ մարմինները(ապակի, պլաստմասս և այլն) միայն իրենց ձևը պահպանելու հատկությամբ են համարվում պինդ մարմին, մնացած բոլոր հատկություններով նման են հեղուկների; **բ)** Այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում գոլորշին դառնում է հազեցած, կոչվում է ցոդի կետի ջերմաստիճան; **գ)** Իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսում, քանի դեռ հեղուկի կաթիլների առաջացումը չի սկսվել, գազի ճնշումն աճում է; **դ)** Եթե իրական գազն ադիաբատորեն ընդարձակվի վակուումում, ապա այն իր ներքին էներգիայի հաշվին արտաքին ուժերի դեմ աշխատանք չի կատարի, սակայն կկատարի աշխատանք մոլեկուլների փոխազդեցության ուժերի հանդեպ, որը կբերի գազի ջերմաստիճանի բարձրացմանը:

5.12. ա) Եթե գոլորշացումն ընթանում է ադիաբատորեն, ապա այդ պրոցեսում հեղուկի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ; **բ)** Ցոդի կետի ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը հավասար է 100 %-ի; **գ)** Իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսում, երբ սկսում է առաջանալ հեղուկ վիճակ, ճնշումը մնում է հաստատուն այնքան ժամանակ, քանի դեռ ամբողջ գազը սեղման հետևանքով չի վերածվել հեղուկի; **դ)** $T_{կր}$ կրիտիկական ջերմաստիճանում հեղուկը և գազը ունեն նույն ֆիզի-

կական հատկությունները և այս վիճակը կոչվում է կրիտիկական վիճակ:

5.13. ա) Քանի որ գոլորշացման ժամանակ հեղուկից հեռանում են մեծ կինետիկ էներգիայով մոլեկուլները, ուստի փակ անոթում գտնվող հեղուկի գոլորշին հավաքվելով հեղուկից ազատ ծավալում կունենա հեղուկից բարձր ջերմաստիճան; **բ)** Հեղուկի ջերմաստիճանը բարձրացնելուց շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը նվազում է, և ամենափոքր արժեքն ընդունում է եռման ջերմաստիճանում; **գ)** Եթե իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսում ճնշումը մնում է հաստատուն, ապա անոթում առկա են միմյանցից բաժանման մակերևույթով զատված հեղուկ և գազ; **դ)** Գազի ստացիոնար հոսքը խցանով, որի ծակոտիների չափերը փոքր են մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունից, կոչվում է Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցես:

5.14. ա) Եռման պրոցեսում հեղուկին հաղորդած $Q_c = rm$ ջերմաքանակն ամբողջությամբ գնում է շոգեգոյացման վրա, որտեղ r -ը շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է եռման ջերմաստիճանում, իսկ m -ը՝ գոլորշու փոխակերպված հեղուկի զանգվածը; **բ)** Այն շոգեգոյացումը, որը տեղի է ունենում հեղուկի ամբողջ ծավալից և մակերևույթից, կոչվում է եռում: Եռման պրոցեսում հեղուկի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ; **գ)** Եթե իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսի ջերմաստիճանը բարձրացվի, ապա p, V (ճնշում, ծավալ) հարթության վրա իզոթերմի այն տիրույթը, որը համապատասխանում է հեղուկ-գազ երկփուլ համակարգին, կնվազի և որոշակի ջերմաստիճանում կվերացվի կետի: Այդ ջերմաստիճանը կոչվում է կրիտիկական ջերմաստիճան՝ $T_{կր}$; **դ)** Եթե ռեալ գազը Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում p_1 մեծ ճնշման տիրույթից ադիաբատորեն տեղափոխվի p_2 փոքր ճնշման տիրույթը, ապա տեղի է կունենա էնտալպիայի փոփոխություն:

5.15. ա) Քանի որ հեղուկի մոլեկուլների փոխադրեցության ուժը փոքր է պինդ նյութի մոլեկուլների փոխադրեցության ուժից, ուստի հեղուկի մոլեկուլների փոխադրեցության էներգիան փոքր է պինդ նյութի մոլեկուլների փոխադրեցության էներգիայից; **բ)** Հեղուկի եռման ջերմաստիճանը կախված է հեղուկի տեսակից և նրա վրա գործադրված արտաքին ճնշումից: Որքան մեծ է ճնշումը, այնքան բարձր է եռման ջերմաստիճա-

նը; **զ)** Եթե p, T (ճնշում, ջերմաստիճան) կոորդինատական հարթության վրա պատկերվի նույն նյութի փուլային անցման ջերմաստիճանի կախումը ճնշումից, ապա կստացվի մեկ ընդհանուր կետ ունեցող երեք կոր զծեր: Այդ ընդհանուր կետը համապատասխանում է նյութի երեք փուլերի (պինդ-հեղուկ-գազ) հավասարակշռության վիճակին: Այդ կետին անվանում են եռակի կետ: **դ)** Տրված պայմաններում կամայական հեղուկում առկա է օդի մոլեկուլների հաստատված կոնցենտրացիա, որի արժեքը կախված է հեղուկի վրա օդի կողմից գործադրված ճնշումից և ջերմաստիճանից:

5.16. ա) Եթե բյուրեղի ձևը ճշտորեն կրկնում է տարրական բջջի ձևը, ապա ունենք միաբյուրեղ: Միաբյուրեղներն անիզոտրոպ են; **բ)** Որքան բարձր է օդի ճնշումը հեղուկի մակերևույթի վրա և ցածր է ջերմաստիճանը, այնքան մեծ է հեղուկում լուծված օդի կոնցենտրացիան; **գ)** Եթե p, V (ճնշում, ծավալ) կոորդինատական հարթության վրա իրական գազի տարբեր ջերմաստիճաններում իրականացվաց իզոթերմ սեղման պրոցեսների գազ-հեղուկ փուլային անցման կետերը սահուն կերպով միացվեն իրար, ապա կստացվի մի կոր, որին անվանում են փուլային դիագրամ; **դ)** Եթե Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում գազը սառչում է, ապա երևույթը կոչվում է Ջոուլ-Թոմսոնի բացասական էֆեկտ:

5.17. ա) Եթե ռեալ գազը Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում p_1 մեծ ճնշման տիրույթից ադիաբատորեն տեղափոխվի p_2 փոքր ճնշման տիրույթ, ապա այդ ընդարձակման պրոցեսում կպահպանվի հազի էնտալպիան՝ $U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2$; **բ)** Երբ անոթում ջուրը տաքացվում է, նրանում օդի մոլեկուլների հավասարակշռված կոնցենտրացիան նվազում է, և ավելորդ օդը պղպջակների տեսքով անջատվում է անոթի պատերին; **գ)** $T_{կր}$ կրիտիկական ջերմաստիճանում հեղուկի և իր գոլորշու միջև բաժանման սահման չկա և դրանց խտություններն իրար հավասար են; **դ)** Եթե հեղուկի մակերևույթի աճն իրականանում է իզոթերմ կերպով, ապա մակերևույթի ազատ էներգիայի փոփոխությունը՝ հակառակ նշանով, հավասար կլինի մակերևույթի մեծացման աշխատանքին՝ $dF = dA$:

5.18. ա) Եթե հեղուկի մակերևույթին տեղադրվել է ավելի փոքր խտությամբ մեկ ուրիշ հեղուկի կաթիլ, որը տվյալ հեղուկի հետ թրջելի է, ապա այդ կաթիլը հեղուկի մակերևույթին տարածվելով կստեղծի բարակ շերտ; **բ)** Մինչև եռալը հեղուկում առկա խշշոցը պայմանավորված նրա ներսի, հագեցած գոլորշի պարունակող, օդային բշտիների չափերի փոփոխությամբ; **գ)** Տրված ծավալում, հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում, հագեցած գոլորշու զանգվածից մեծ զանգված ունեցող գոլորշի հնարավոր չէ տեղավորել; **դ)** Վան-դեր-վաալսյան գազի $\gamma_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_V$ իզոթերմ սեղման գործակիցը կրիտիկական ջերմաստիճանում հավասար է զրոյի:

5.19. ա) Ամորֆ պինդ մարմիններին կարելի է համարել անվերջ մեծ մածուծիկություն ունեցող հեղուկ, ինչի շնորհիվ սովորական կամ ցածր ջերմաստիճաններում հոսելի չեն; **բ)** Երբ բարձր ճնշման տակ գտնվող ծորակից ջուրը լցվում է բաժակի մեջ, ապա ճնշման նվազման արդյունքում ջրում օդի մոլեկուլների հավասարակշռված կոնցենտրացիան նվազում է, և ավելորդ օդը պղպջակների տեսքով անջատվում է բաժակի պատերին; **գ)** Եռման ջերմաստիճանում հեղուկում գտնվող օդային պղպջակների ներսի հագեցած գոլորշու ճնշումը հավասար է հեղուկի մակերևույթին գործադրած ճնշմանը; **դ)** Քանի որ միանման ատոմներից կազմված բյուրեղային պինդ մարմինների U ներքին էներգիան որոշվում է $U=3\nu RT$ բանաձևով, ուստի բյուրեղային պինդ մարմինների ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում կլինի $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V = 3 \nu R$: Այս երկու բանաձևերն էլ ճիշտ են բարձր ջերմաստիճաններում:

5.20. ա) Եթե տվյալ ծավալով հեղուկի մակերևույթը մեծանում է, ապա մակերևութային շերտը բարակում է և այդ ընթացքում հեղուկի մակերևութի բարակ շերտում գտնվող մոլեկուլների մի մասը տեղափոխվում են մակերևութի երկայնքով, ինչը ուղեկցվում է որոշակի դրական աշխատանքի կատարումով, քանի որ մոլեկուլների տեղաշարժի ուղղությունը համընկնում է մակերևութային լարվածության ուժի ուղղության հետ; **բ)** Այն մինիմալ աշխատանքը, որը պահանջվում է միջմո-

լեկուլային ձգողական ուժերը հաղթահարելու և մոլեկուլը հեղուկի մակերևույթից այնքան հեռացնելու, որ միջմոլեկուլային ուժերն այլևս չգործեն, կոչվում է u_0 գոլորշացման էներգիա; **գ)** Եթե վան-դեր-վաալսյան գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում կախված չէ ջերմաստիճանից, ապա այդ գազի ներքին էներգիան կլինի՝ $U = C_V T - \frac{\nu^2 a}{V}$, որտեղ C_V -ն գազի ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, իսկ a -ն՝ Վան-դեր-Վաալսի հաստատունը, ν -ն՝ գազի մոլերի թիվը; **դ)** Եթե հեղուկի մակերևույթի աճն իրականանում է իզոթերմ կերպով, ապա մակերևույթի ներքին էներգիայի փոփոխությունը հակառակ նշանով հավասար կլինի մակերևույթի մեծացման աշխատանքին՝ $-dU = dA$:

5.21. ա) Հազեցած գոլորշու ճնշումը ջերմաստիճանից կախված ավելի արագ է աճում, քան՝ իդեալական գազինը; **բ)** Եռման պրոցեսում առաջացած գոլորշու ներքին էներգիան r -ով չափով փոքր է նույն զանգվածով եռացող հեղուկի ներքին էներգիայից, որտեղ r -ը շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է եռման ջերմաստիճանում, իսկ m -ը՝ գոլորշու փոխակերպված հեղուկի զանգվածը; **գ)** Հեղուկի մակերևույթի բարակ շերտում գտնվող մոլեկուլների վրա հեղուկի մյուս մոլեկուլների կողմից ազդում են ուժեր, որոնց համագործ մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ ուղղված է դեպի հեղուկի ներքը; **դ)** Բարակ պատով ապակե բաժակներն եռացող ջուր լցնելուց ավելի հաճախակի են ճակվում, քան հաստ պատովները:

5.22. ա) Եթե հազեցած գոլորշու նկատմամբ կիրառվի $p = n_0 kT$ մոլեկուլային կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը, ապա ճնշումը հաստատուն ծավալի դեպքում ուղիղ համեմատական չի լինի բացարձակ ջերմաստիճանին, քանի որ n_0 -ն ևս կախված է ջերմաստիճանից; **բ)** Հեղուկը հաստատուն ջերմաստիճանում ամբողջությամբ գոլորշու փոխակերպելու համար անհրաժեշտ ջերմաքանակը կոչվում է շոգեգոյացման ջերմություն; **գ)** 1 մոլ գազի մասնիկների միայն սեփական ծավալներն հաշվի առնող $p = \frac{RT}{V_M - b}$ վիճակի հավասարումից հետևում է, որ երբ $p \rightarrow \infty$, ապա $V_M = b$, ինչը նշանակում է, որ b -ն հանդիսանում է գազի մոլեկուլների սեփական ծավալների գումարը; **դ)** Հեղուկի մակե-

րևության բարակ շերտում գտնվող մոլեկուլների վրա հեղուկի մյուս մոլեկուլների կողմից ազդում են ուժեր, որոնց համագործ ուղղված է հեղուկի մակերևույթի շոշափողով:

5.23. ա) Հազեցած գոլորշու վիճակը նկարագրվում է Մենդելեն-Կլապեյրոնի $pV = \frac{m}{M}RT$ հավասարումով; **բ)** Եթե օդի հարաբերական խոնավությունը մեծ լինի, ապա մարդու կողմից շոգ տանելն ավելի հեշտ կլինի; **գ)** Եթե հաշվի առնենք գազի մոլեկուլների միջև առկա ձգողության ուժը, ապա որևէ ծավալում պարփակված գազի արտաքին շերտի մոլեկուլները՝ որոնց թիվն ուղիղ համեմատական է գազի մոլեկուլների n կոնցենտրացիային, ձգվում են խորքում գտնվող մոլեկուլների կողմից, որոնց թիվը ևս ուղիղ համեմատական է գազի մոլեկուլների n կոնցենտրացիային և առաջացած p' լրացուցիչ ճնշումն ուղիղ համեմատական կլինի n^2 -ուն, կամ հակադարձ համեմատական ծավալի քառակուսուն՝ $p' = \frac{a}{V^2}$; **դ)** Եթե ռեալ գազը Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում մեծ p_1 ճնշման տիրույթից աղիաբատորեն տեղափոխվի p_2 փոքր ճնշման տիրույթը, ապա գազի ջերմաստիճանը կբարձրանա, եթե մոլեկուլների ձգողական ուժերն ավելի էական դեր կատարեն, քան դրանց վանողական ուժերը, կամ չափերը:

5.24. ա) Գոլորշացումը և խտացումը այնպիսի իզոթերմ պրոցեսներ են, որի դեպքում համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխվում է; **բ)** Հեղուկի բյուրեղացման կամ գոլորշու խտացման (կոնդենսացման) պրոցեսները հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում կարող են ընթանալ միայն դրանցիժ ջերմաքանակ վերցնելու միջոցով; **գ)** Քանի որ գազի մոլեկուլների ձգողական ուժերի հետևանքով առաջանում է $p' = \frac{a}{V_M^2}$ լրացուցիչ

ճնշում, իսկ վանողական ուժերի հետևանքով գազի մասնիկներին հասնելի ծավալը հավասար է $V_M - b$, ուստի 1 մոլ իրական գազի վիճակի հավասարումը կլինի՝ $\left(p + \frac{a}{V_M^2}\right)(V_M - b) = RT$: Այս հավասարումը կոչվում է Վան-դեր-Վաալսի հավասարում, իսկ a և b հաստատունները՝ Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններ, որոնք տարբեր գազերի համար ունեն տարբեր արժեք; **դ)** Եթե Վան-դեր-Վաալսյան գազի սկզբնական T_1 ջերմաստիճանը մեծ է $T_h = \frac{2a}{Rb}$ ինվերսիայի ջերմաստիճանից, ապա Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում գազը սառչում է $\Delta T = T_2 - T_1 < 0$:

5.25. ա) Եթե m զանգվածով գոլորշին փոխակերպվում է նույն ջերմաս-

տիճանի հեղուկի, ապա նրա ներքին էներգիան նվազում է rm չափով՝ $\Delta U = -rm$; **բ)** Եթե գոլորշացումն ընթանում է ադիաբատորեն, այսինքն հեղուկը ջերմաքանակ չի ստանում, ապա գոլորշացման հետևանքով հեղուկի ջերմաստիճանը ընկնում է, և այն հաստատուն պահելու համար պետք է հաղորդել ջերմաքանակ; **գ)** Եթե երկու մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան նրանց միջև եղած հեռավորությունից, ունի Նկ.5.19-ում բերված տեսքը, ապա 2 դիրքում մոլեկուլները կգտնվեն հավասարակշռության վիճակում; **դ)** Եթե երկու մոլեկուլների փոխազդեցության F_r ուժի պրոյեկցիան մոլեկուլների միջև եղած r հեռավորությունից ունի Նկ.5.18-ում բերված տեսքը, ապա 3 դիրքում մոլեկուլները կգտնվեն հավասարակշռության վիճակում:

5.26. ա) Քանի որ Վան-դեր-Վաալսի գազի մոլեկուլների ձգողությամբ պայմանավորված p' ճնշումը հավասար է $\frac{a}{V^2}$ -ի, ուստի դրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան կլինի՝ $U_{\text{պ}} = \int p' dV = \int_{\infty}^V \frac{a}{V^2} dV = -\frac{a}{V}$, որտեղ ինտեգրման ներքին սահմանն ընտրված է այնպես, որ պոտենցիալ էներգիան այդտեղ լինի զրո; **բ)** Եթե մարմինը լողում է չորջող հեղուկի մակերևույթին, ապա մակերևույթային լարվածության ուժն ունի Արքիմեդի ուժի հակառակ ուղղությունը և ձգտում է մեծացնել մարմնի ընկղման չափը հեղուկի մեջ; **գ)** Երբ Վան-դեր-Վաալսյան գազի սկզբնական T_1 ջերմաստիճանը մեծ է $T_h = \frac{2a}{Rb}$ ինվերսիայի ջերմաստիճանից, ապա Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսի արդյունքում գազը տաքանում է՝ $\Delta T = T_2 - T_1 > 0$; **դ)** Եթե հեղուկի մակերևույթը հարթ չէ, ապա մակերևույթային լարվածության առկայությունը հանգեցնում է մակերևույթային շերտերի կողմից խորը տեղակայված շերտերի վրա լրացուցիչ ճնշման առաջացմամբ:

5.27. ա) Եթե գոլորշուց դեպի հեղուկ ուղղված մոլեկուլների հոսքը հավասար է հեղուկից դեպի գոլորշի ուղղված հոսքին, ապա հեղուկի և գոլորշու միջև հաստատված է շարժուն (դինամիկ) հավասարակշռություն; **բ)** Շոգեգոյացման և հալման տեսակարար ջերմությունները միավորների ՄՇ-ում ունեն նույն՝ Ջ/կգ միավորը; **գ)** Այն մինիմալ գանգ-

վածով գոլորշին, որը հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում հնարավոր է տեղավորել տվյալ ծավալում, կոչվում է հազեցած գոլորշի; **դ)** Եթե մարմինը լողում է չթրջող հեղուկի մակերևույթին, ապա մակերևույթին լարվածության ուժն ունի Արքիմեդի ուժի ուղղությունը և ձգտում է էլ ավելի դուրս մղել մարմին հեղուկից:

5.28. ա) Այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում տեղի է ունենում Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտի նշանի փոփոխություն, կոչվում է ինվերսիայի ջերմաստիճան; **բ)** Իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսում ճնշումը կսկսի ավելի արագ աճել, եթե սկսում է հեղուկի կաթիլների առաջացման պրոցեսը; **գ)** Եթե իրական գազի ջերմաստիճանը բավարարում է $T_F = \frac{a}{Rb}$ պայմանին, որտեղ a և b Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններն են, իսկ R -ը՝ գազային ունիվերսալ հաստատունը, ապա գազն իր հատկություններով կահամապատասխանի իդեալականին; **դ)** Քանի որ ջերմադինամիկական համակարգը, հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում, կայուն հավասարակշռության վիճակում կգտնվի, եթե նրա ազատ էներգիան ունենա նվազագույն արժեք, ուստի հեղուկի մակերևույթը ձգտում է կրճատման և այդ պատճառով հեղուկի մակերևույթի երկայնքով ուժեր են առաջանում, որոնց անվանում են մակերևույթային լարվածության ուժեր:

5.29. ա) Հազեցած գոլորշու n_0 կոնցենտրացիան հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում կախված չէ ծավալից; **բ)** Եթե իրական գազի իզոթերմ սեղման պրոցեսում ճնշումը աճում է, ապա անոթում առկա են միմյանցից բաժանման մակերևույթով զատված հեղուկ և գազ; **գ)** Եթե Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում Վան-դեր-Վաալսյան գազի ջերմաստիճանը հավասար է $T_F = \frac{2a}{Rb}$ ինվերսիայի ջերմաստիճանին, ապա պրոցեսը կընթանա իզոթերմ կերպով և գազի ճնշման ու ծավալի արտադրյալը կմնա հաստատուն՝ $p_1 V_1 = p_2 V_2$; **դ)** Եթե հեղուկի կաթիլը գտնվում է պինդ մարմնի հարթ սահմանին (Նկ.5.7), ապա հավասարակշռության դեպքում $F_{\eta\phi} = F_{\eta\zeta} + F_{\zeta\phi} \cos\theta$, որտեղ $F_{\zeta\phi}$ -ը մակերևույթային լարվածության ուժն է հեղուկի և գազի միջև, $F_{\eta\zeta}$ -ը՝ պինդ մարմնի և հեղուկի միջև, $F_{\eta\phi}$ -ն՝ պինդ մարմնի և գազի միջև, իսկ θ -ն՝ $\vec{F}_{\zeta\phi}$ -ի և $\vec{F}_{\eta\zeta}$ վեկտորների կազ-

մած անկյունը:

5.30. ա) Քանի որ հազեցած գոլորշու n_0 կոնցենտրացիան հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում կախված չէ ծավալից, ուստի հազեցած գոլորշին չի ենթարկվում Բոյլ-Մարիոտի օրենքին; **բ)** Այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում օդի ջրային գոլորշու պարգիալ ճնշումը հավասարվում է մթնոլորտային ճնշմանը, կոչվում է ցողի կետի ջերմաստիճան; **գ)** Այն հանգամանքը, որ Վան-դեր-Վաալսի հավասարումը բերված տեսքով՝ $\left(p^* + \frac{3}{v^{*2}}\right)(3V^* - 1) = 8T^*$, չի պարունակում նյութի ոչ մի անհատական հաստատուն, թույլ է տալիս ենթադրել, որ բոլոր նյութերի վարքը պետք է լինի նույնը: Հեղուկ-գազ բոլոր համակարգերի վարքի նույնության մա-սին պնդումը կոչվում է համապատասխան վիճակների օրենք; **դ)** Եթե հեղուկի կաթիլը գտնվում է պինդ մարմնի հարթ սահմանին (Նկ.5.7), ապա հավասարակշռության դեպքում $\cos \theta = \frac{\sigma_{yq} - \sigma_{yh}}{\sigma_{hq}}$, որտեղ σ_{hq} -ը մա-կերևութային լարվածության գործակիցն է հեղուկի և գազի միջև, σ_{yh} -ը՝ պինդ մարմնի և հեղուկի միջև, σ_{yq} -ն՝ պինդ մարմնի և գազի միջև, և θ եզրային անկյունը հավասար է գրոյի, եթե $\sigma_{yq} - \sigma_{yh} = \sigma_{hq}$: Այս դեպքում հեղուկը կլինի թրջող և բարակ շերտով կտարածվի պինդ մարմնի մակերևույթին:

Խնդիրների պատասխանները

1.1. ա) $m_0 = M/N_U = 6,7 \cdot 10^{-27}$ կգ; բ) $4,7 \cdot 10^{-26}$ կգ; գ) $3 \cdot 10^{-26}$ կգ:

1.2. $N = mN_U/M = 1,7 \cdot 10^{23}$:

1.3. $N_1 = mN_U t_1 / (Mt) = 2,8 \cdot 10^{18}$:

1.4. $M = \frac{1}{\omega_1/M_1 + \omega_2/M_2} = 28,8$ գ/մոլ:

1.5. $M = \frac{2M_1M_2}{M_1+M_2} = 16$ գ/մոլ:

1.6. ա) $n = \rho N_U / M = 8,4 \cdot 10^{28}$ մ⁻³; բ) $3,3 \cdot 10^{28}$ մ⁻³; գ) $2,7 \cdot 10^{25}$ մ⁻³:

1.7. ա) $V = \frac{\nu M}{\rho} = 7,2$ սմ³; բ) 18 սմ³; գ) $22,4$ լ:

1.8. ա) $\frac{N_1}{N_2} = \frac{\rho_1 M_2}{\rho_2 M_1} = 0,84$; բ) $\frac{N_1}{N_2} = \frac{M_2}{M_1} = 7$:

1.9. $N = 4\pi R_E^2 p N_U / Mg = 1,06 \cdot 10^{44}$:

1.10. $V_0 = \frac{M}{\rho N_U} = 3 \cdot 10^{-29}$ մ³; $d = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_U}} = 0,3$ նմ:

1.11. $d = V / S = 0,33$ նմ:

1.12. $l = \frac{m}{\rho S} = 0,26$ մկմ; $n = \frac{m}{S} \sqrt[3]{\frac{N_U}{M \rho^2}} = 10^3$:

1.13. $l = mN_U d / M = 7,5 \cdot 10^{12}$ մ (սա համարյա հավասար է Նեպտունի ուղեծրի տրամագծին, որն Արեգակից ամենահեռու մոլարակն է):

1.17. $T_2 = \sqrt{T_1 T_3} = 600$ Կ:

1.18. $p_1 = \sqrt{\frac{p_2 \nu RT_1}{V_3}} = 10$ կՊա; $V_1 = \sqrt{\frac{V_3 \nu RT_1}{p_2}} = 0,5$ մ³;

$T_2 = \sqrt{\frac{p_2 V_3 T_1}{\nu R}} = 1200$ Կ:

1.19. $m = \frac{p_1 V_1}{MRT_1} = 7,5$ կգ; $V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1} = 5,5$ մ³:

1.20. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{\rho RT}{pM} = 660$:

1.21. $\rho = \frac{pM}{RT} = 1,3$ կգ/մ³; $V = \frac{\nu RT}{p} = 22,4$ լ:

1.22. Ձմռանը մեծ է՝ $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} = 1,3$ անգամ:

1.23. $l = \sqrt[3]{\frac{kT}{p}} = 3,3$ նմ:

1.24. $m = \frac{pVM \ln \frac{T_2}{T_1}}{R(T_2 - T_1)}$:

1.25. $M = \frac{mRT}{pV} = 2,4$ գ/մոլ; $p_1 = \frac{pM_2 - mRT/V}{M_2 - M_1} = 2$ մթն;

$p_2 = \frac{pM_1 - mRT/V}{M_1 - M_2} = 0,5$ մթն:

$$1.26. \rho = \frac{\rho(m_1+m_1)}{RT(m_1/M_1+m_2/M_2)} = 1,5 \text{ կգ/մ}^3:$$

$$1.27. a = \frac{pVM}{mRT} - 1 = \frac{1}{3} \text{ (այստեղ } M \text{ -ը երկատոմ ազոտի մոլային զանգվածն է):}$$

$$1.28. m = \frac{pVM}{RT} = 174 \text{ կգ}; N = \frac{pV}{kT} = 3,6 \cdot 10^{27}; \bar{v}_p = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 508 \text{ մ/վ};$$

$$W_{\text{կ}} = \frac{3pV}{2} = 22,5 \text{ Ջ:}$$

$$1.29. \bar{v}_p = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = 600 \text{ մ/վ}; \overline{W}_{\text{կ}} = \frac{3pV}{2} = 540 \text{ Ջ:}$$

$$1.30. \overline{w}_{\text{կ}} = \frac{3p}{2n} = 7,5 \cdot 10^{-21} \text{ Ջ:}$$

$$1.31. p = \frac{\rho \bar{v}_p^2}{3} = 100 \text{ կՊա}; T = \frac{M \bar{v}_p^2}{3R} = 281 \text{ Կ}; n = \rho N_A / M = 2,6 \cdot 10^{25} \text{ մ}^{-3}:$$

$$1.32. \bar{v}_p = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 3,5 \text{ մմ/վ:}$$

$$1.33. T = \frac{(\Delta v)^2 M_1 M_2}{3R(\sqrt{M_2} - \sqrt{M_1})^2} = 670 \text{ Կ:}$$

$$1.34. \rho = nM / N_A; \bar{v}_p = \sqrt{\frac{3pN_A}{nM}}:$$

$$1.35. T = \frac{2 \overline{w}_{\text{կ}}}{3k}; p = \frac{2N \overline{w}_{\text{կ}}}{3V}:$$

$$1.36. \text{ա) } W_h = 3mRT / (2M) = 1,87 \text{ կՋ}; \text{բ) } W_{\text{պոմ}} = mRT / M = 1,25 \text{ կՋ};$$

$$\text{գ) } W = 5mRT / 2M = 3,12 \text{ կՋ:}$$

$$1.37. T_2 = \frac{\Delta T(a+1)}{a} = 420 \text{ Կ:}$$

$$1.38. T_1 = \frac{T}{a} = 400 \text{ Կ (127 } ^\circ\text{C):}$$

$$1.39. m = \frac{p_1 S \Delta T}{g T_1} = 4 \text{ կգ:}$$

$$1.40. T_1 = T_0 \left(\frac{F}{p_0 S} + 1 \right) = 390 \text{ Կ:}$$

$$1.41. V_1 = \frac{mRT}{Mp} = 6 \text{ լ}; T_2 = \frac{pV_2 M}{mR} = 481 \text{ Կ:}$$

$$1.42. T_1 = \frac{\Delta T}{a} = 300 \text{ Կ:}$$

$$1.43. T_2 = \frac{mT_1}{\rho V_1} = 1172 \text{ Կ (} t_2 = 899 \text{ } ^\circ\text{C):}$$

$$1.44. \Delta V = V \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = 0,1 \text{ լ:}$$

$$1.45. F = p_0 S \left(\frac{l}{x} - 1 \right) = 200 \text{ Ն:}$$

$$1.46. h = \frac{2p l \Delta l}{\rho g (l^2 - (\Delta l)^2)} = 20 \text{ սմ:}$$

$$1.47. p_0 = \rho g h \frac{l_1 + l_2}{l_1 - l_2} = 100 \text{ կՊա (750 մմ սնդ.ս.); } l = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2} = 8 \text{ սմ:}$$

$$1.48. p_2 = \left(1 + \frac{V_1}{V_2}\right)(p_0 + \rho gh) = 2,5 \text{ ՄՊա (25 մթն):}$$

$$1.49. m = \frac{p_0 S(b-1)}{g(n-b+1)} = 10 \text{ կգ:}$$

$$1.50. x = \frac{h(p_0 + \rho g l)}{p_0} = 5 \text{ սմ:}$$

$$1.51. h = \frac{1}{2} \left(l + \frac{p_0}{\rho g} - \sqrt{l^2 + \left(\frac{p_0}{\rho g}\right)^2} \right) = 25 \text{ սմ:}$$

$$1.52. H = \frac{m_2 RT}{(m_1 + m_2) Mg} - \frac{p_0}{\rho g} = 2 \text{ մ; հավասարակշռությունն անկայուն է:}$$

$$1.53. \frac{\Delta m}{m} = \frac{3p_0 + 2\rho g L}{15p_0};$$

$$1.54. T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{2\rho S}} = 0,031 \text{ վ:}$$

$$1.55. l = \frac{vRT}{p_0 S + \frac{m_2 F_1 + m_1 F_2}{m_1 + m_2}};$$

$$1.56. \frac{V_2}{V_1} = \frac{1+a}{1+b} = 1,4 \text{ (մեծացավ 40 %-ով):}$$

$$1.57. \frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} = \frac{1-a}{1-b} = 0,75 \text{ (փոքրացավ } \frac{1}{4} \text{ -ով կամ 25\%-ով):}$$

$$1.58. m = \frac{pVM_{H_2O}}{RT} - \frac{m_1 M_{H_2O}}{M_{H_2}} = 500 \text{ գ:}$$

$$1.59. p_n = p_0 \left(1 + \frac{V_0}{V}\right)^{-n} = 39 \text{ կՊա;}$$

$$1.60. n = \frac{\ln \frac{p_0}{p}}{\ln \left(1 + \frac{V_0}{V}\right)}; \quad \text{ա) } n = 48; \text{ բ) } n = 96:$$

$$1.61. N = \frac{(p_2 - p_1)V}{p_0 V_0} = 80:$$

$$1.62. \text{Զանգվածը փոքրացավ } \Delta m = \frac{pVM}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = 1,6 \text{ կգ-ով:}$$

$$1.63. T_2 = \frac{pVM}{pVM - mRT_1} T_1 = 386 \text{ Կ(113}^\circ\text{C):}$$

$$1.64. t = \frac{pV\tau}{NkT} = 2,65 \cdot 10^{10} \text{ վ} = 840 \text{ տարի:}$$

$$1.65. \frac{m}{\tau} = \frac{pVM}{\tau R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = 0,1 \text{ գ/րոպ:}$$

$$1.66. \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = 2:$$

$$1.67. T_{սիլի} = \frac{p_1 V_1}{\nu R} = 481 \text{ Կ; } T_{սիլի} = \frac{9p_2 V_2}{4\nu R} = 542 \text{ Կ (Առավելագույն ջերմաստիճան ընդունում է երբ } V = 1,5 V_1):$$

$$1.68. p = \frac{p_1 p_2 (m_1 + m_2)}{p_1 m_2 + p_2 m_1} = 600 \text{ կՊա:}$$

$$1.69. p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = 700 \text{ կՊա:}$$

$$1.70. \frac{p_2}{p_1} = \frac{2T_2}{T_1 + T_2} = 1,5:$$

$$1.71. p_{\text{ш}} = \frac{mg}{S(a-1)} = 50 \text{ кН/м}, \quad p_{\text{ш}} = \frac{mga}{S(a-1)} = 60 \text{ кН/м};$$

$$1.72. \frac{V_1'}{V_2'} = \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} = 4/5;$$

$$1.73. x = \frac{V \Delta t}{ST} = 5,5 \text{ м};$$

$$1.74. \nu = \frac{b+1}{2\pi b} \sqrt{\frac{pS(b-1)}{2mL}} = 2 \text{ кл};$$

$$1.76. \text{ш)} \frac{\Delta N}{N} = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{Mv^2}{2RT} \right) \Delta v = 0,010 (1,0\%);$$

$$\text{р)} \frac{\Delta N}{N} = 0,036 (3,6\%); \quad \text{к)} \frac{\Delta N}{N} = 0,032 (3,2\%); \quad \text{н)} \frac{\Delta N}{N} = 0,019 (1,9\%);$$

$$1.77. \text{ш)} \frac{\Delta N}{N} = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{Mv^2}{2RT} \right) \Delta v = 0,0059 (0,59\%);$$

$$\text{р)} \frac{\Delta N}{N} = 0,0104 (1,0\%); \quad \text{к)} \frac{\Delta N}{N} = 0,0064 (0,64\%);$$

$$1.78. \Delta N = \frac{4\pi m N_{\text{ш}}}{M} \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{Mv^2}{2RT} \right) \Delta v = 2,3 \cdot 10^{20};$$

$$1.79. \frac{\Delta N}{N} = 12 \sqrt{\frac{3}{2\pi e^3}} = 0,0185 (1,85\%);$$

$$1.80. \text{ш)} \frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2} \Delta u = 0,0044 (0,44\%), \quad \text{нрктн} \quad u = v/v_{\text{ш}} = 0,5;$$

$$\text{р)} \frac{\Delta N}{N} = \frac{0,08}{e\sqrt{\pi}} = 0,0166 (1,66\%); \quad \text{к)} \frac{\Delta N}{N} = 0,0033 (0,33\%);$$

$$1.81. \frac{\Delta N}{N} = \frac{4u^3}{3\sqrt{\pi}} = 7,5 \cdot 10^{-4}, \quad \text{нрктн} \quad u = v/v_{\text{ш}} = 0,1;$$

$$1.82. \frac{\Delta N}{N} = \frac{4v_1^3}{3\sqrt{\pi}} \left(\frac{M}{2RT} \right)^{3/2} \frac{pV}{kT} = 5,8 \cdot 10^9;$$

$$1.83. v = v_{2\text{ш}} \sqrt{1,5 \ln 2} = 1,02 v_{2\text{ш}};$$

$$1.84. f = \frac{4}{e\sqrt{\pi} v_{\text{ш}}} = 0,002 \text{ кл};$$

$$1.90. \text{ш)} p = p_0 \exp \left(-\frac{Mgh}{RT} \right) = 89 \text{ кН/м}; \quad \text{р)} p = p_0 \exp \left(+\frac{Mgh}{RT} \right) = 112 \text{ кН/м};$$

$$1.91. \frac{p_1}{p_2} = e^{\frac{Mgh}{RT}} = 3,1;$$

$$1.92. h = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{p_0}{p} = 820 \text{ м};$$

$$1.93. h = \frac{RT}{Mg} \ln 2 = 5,4 \text{ кл};$$

$$1.94. \text{ш)} \rho_0 = \frac{p_0 M}{RT} = 1,28 \text{ кг/м}^3; \quad \text{р)} \rho = \rho_0 \exp \left(-\frac{Mgh}{RT} \right) = 0,46 \text{ кг/м}^3;$$

$$1.95. h \approx \frac{aRT}{Mg} = 80 \text{ м};$$

$$1.96. \frac{n_1}{n_2} = \exp \left(+\frac{mgh}{kT} \right) = 1400;$$

$$1.97. m = \frac{kT}{gh} \ln \frac{n_1}{n_2} = 2,6 \cdot 10^{-24} \text{ кг}, \quad a = \sqrt[3]{m/\rho} = 1,2 \text{ м};$$

$$1.98. \alpha_1 = \alpha \exp \frac{(M_2 - M_1)gh}{RT} = 150:$$

$$1.99. m = \frac{p_0 S}{g} \left(1 - e^{-\frac{Mgh}{RT}} \right):$$

$$1.100. n(h) = n(0) e^{-\frac{\tau(\rho - \rho_0)gh}{kT}}:$$

$$1.101. n(h) = n(0) e^{-\frac{mgR}{kT}} e^{\frac{mgR^2}{kT(R+h)^2}}, \text{ որտեղ } g\text{-ն ազատ անկման արագացումն է Երկրի մակերևույթի մոտ:}$$

$$1.102. T = \frac{Mv_{wh}^2}{2R} = 280^\circ\text{C:}$$

$$1.103. \bar{v} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \bar{v}_{\text{pwm}} = 920 \text{ մ/վ}; v_{wh} = \sqrt{2/3} \bar{v}_{\text{pwm}} = 816 \text{ մ/վ};$$

$$\bar{v}_h = \sqrt{2} \bar{v} = 1300 \text{ մ/վ:}$$

$$1.104. v_{wh} = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = 447 \text{ մ/վ}; \bar{v} = \sqrt{\frac{8p}{\pi\rho}} = 505 \text{ մ/վ}; \bar{v}_{\text{pwm}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = 548 \text{ մ/վ};$$

$$\bar{v}_h = \sqrt{2} \bar{v} = 714 \text{ մ/վ:}$$

$$1.105. T = \frac{M(\Delta v)^2}{R(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = 380^\circ\text{C:}$$

$$1.106. v_{wh} = \frac{\Delta v \sqrt{2}}{\sqrt{3} - \sqrt{2}} = 445 \text{ մ/վ}; \bar{v}_{\text{pwm}} = \frac{\Delta v \sqrt{3}}{\sqrt{3} - \sqrt{2}} = 545 \text{ մ/վ:}$$

$$1.107. T = \frac{M_2 M_1 (\Delta v)^2}{2R(\sqrt{M_2} - \sqrt{M_1})^2} = 364^\circ\text{C:}$$

$$1.108. T_2 = T_1 \frac{M_2}{M_1} = 2800^\circ\text{C:}.$$

$$1.109. T = \frac{mv^2}{2k} = 3,6 \cdot 10^{18}^\circ\text{C: Ակնհայտ է, այդպիսի նյութ գոյություն չունի, որից կազված լինեն այդ գնդիկները:}$$

$$1.110. \frac{\Delta N}{St} = \frac{p_0 N U}{\sqrt{2\pi MRT}} = 8,5 \cdot 10^{25} \text{ մ}^{-2} \text{վ}^{-1}: \text{ Հավասարակշռության դեպքում նույնքան մոլեկուլ էլ հազեցած գոլորշուց վերադառնում է ջրի մեջ: Քանի որ } 1 \text{ մ}^2 \text{ մակերեսի վրա կա մոտ } 10^{19} \text{ մոլեկուլ, ուստի յուրաքանչյուր մոլեկուլ մակերևույթին կգտնվի մոտավորապես } 10^{-7} \text{վ ժամանակ:}$$

$$1.111. \text{ա) } \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 2; \quad \text{բ) } \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 3; \quad \text{գ) } \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 8/\pi:$$

$$1.112. \text{ա) } \alpha = \frac{1}{T_0} \approx \frac{1}{273^\circ\text{C}}; \quad \text{բ) } \gamma = \frac{1}{T_0} \approx \frac{1}{273^\circ\text{C}}:$$

$$1.113. \text{ա) } \gamma = 1/p; \quad \text{բ) } K_T = p:$$

$$2.1. \text{ ա) } U = \frac{i}{2} \nu RT = 3,4 \text{ կՋ; } \text{ բ) } U = \frac{i}{2} pV = 150 \text{ Ջ:}$$

$$2.2. U = \frac{imv_p^2}{6} = 2,5 \text{ կՋ:}$$

$$2.3. U = \frac{i}{2} \frac{mp}{\rho}, \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{b}{a} = 1,5, \text{ մեծացավ } 1,5 \text{ անգամ:}$$

$$2.4. Q = \frac{i}{2} V(p_2 - p_1) = -15 \text{ կՋ:}$$

$$2.5. T_2 = \frac{pVM}{mR} = 1200 \text{ }^\circ\text{C; } Q = \frac{i}{2} (pV - \frac{m}{M} RT_1) = 1,9 \text{ կՋ:}$$

$$2.6. T_2 = T_1 \left(\frac{2Q}{ip_1 V} + 1 \right) = 452 \text{ }^\circ\text{C; } p_2 = p_1 \left(\frac{2Q}{ip_1 V_1} + 1 \right) = 0,14 \text{ ՄՊա:}$$

$$2.7. \text{ Ջերմունակությունը } C = \frac{Q}{\nu \Delta t} = 12,5 \text{ Ջ/մոլ } ^\circ\text{C} = 1,5R, \text{ այստեղից հետև-}$$

վում է, որ տաքացումը կատարվել է հաստատուն ծավալի դեպքում:

$$2.8. T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = 359 \text{ }^\circ\text{C; } Q = \frac{iRm_1 m_2 (T_2 - T_1)}{2M(m_1 + m_2)} = 3,2 \text{ կՋ:}$$

$$2.9. A = \frac{mR\Delta T}{M} = 830 \text{ Ջ; } \Delta U = \frac{imR\Delta T}{2M} = 2,1 \text{ կՋ; } Q = \frac{(i+2)mR\Delta T}{2M} = 2,9 \text{ կՋ:}$$

$$2.10. A = pV_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 410 \text{ Ջ; } \Delta U = \frac{ipV_1}{2} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 1,0 \text{ կՋ;}$$

$$Q = \frac{(i+2)pV_1}{2} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 1,4 \text{ կՋ:}$$

$$2.11. A = \nu R\Delta T = 600 \text{ Ջ; } \Delta U = Q - \nu R\Delta T = 1 \text{ կՋ:}$$

$$2.12. A = \frac{2Q}{i+2} = 2 \text{ կՋ; } \Delta U = \frac{iQ}{i+2} = 3 \text{ կՋ:}$$

$$2.13. M = mR\Delta T / \Delta Q = 28 \text{ գ/մոլ:}$$

$$2.14. Q = \frac{(i+2)h(p_0 S + mg)}{2} = 5,5 \text{ Ջ; } \Delta U = \frac{ih(p_0 S + mg)}{2} = 3,3 \text{ Ջ:}$$

$$2.15. \text{ ա) } A = 2Q / (i+2) = 100 \text{ Ջ; } \text{ բ) } A = Q = 250 \text{ Ջ; } \text{ Ե) } A = 0:$$

$$2.16. Q = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 70 \text{ Ջ:}$$

$$2.17. A = \frac{mRT}{M} \ln \frac{p_1}{p_2} = 2,87 \text{ կՋ:}$$

$$2.18. \frac{V_2}{V_1} = e^{\frac{Q}{\nu RT}} = 2,2.$$

$$2.19. \bar{v}_p = \sqrt{\frac{3A}{m \ln a}} = 500 \text{ մ/վ:}$$

$$2.20. \text{ ա) } A' = \nu RT(a - 1 - \ln a) = 700 \text{ Ջ; } \text{ բ) } A' = \nu RT \left(\ln a - 1 + \frac{1}{a} \right) =$$

$= 440 \text{ Ջ}$ Ջ, որտեղ A' -ը արտաքին ուժի աշխատանքն է:

$$2.21. \frac{A'_{\text{աղ}}}{A'_T} = \frac{a^{Y-1} - 1}{(Y-1) \ln a} = 1,26, \text{ որտեղ } A' \text{ -ը արտաքին ուժի աշխատանքն է:}$$

$$2.22. T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 520 \text{ }^\circ\text{C; } p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma} = 0,95 \text{ ՄՊա;}$$

$$\Delta U = \frac{ip_1 V_1}{2} \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right) = 1,13 \text{ կՋ:}$$

2.23. $\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{i/2} = 20$; $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{(i+2)/2} = 67$; $A' = \frac{ip_1V_1(T_2-T_1)}{2T_1} = 580 \text{ Ջ}$,
 որտեղ A' -ը արտաքին ուժի աշխատանքն է:

2.24. $T_2 = T_1 k^{\frac{2}{i+2}} = 560 \text{ Կ}$; $A' = \frac{i\nu RT_1(k^{i+2}-1)}{2} = 5,6 \text{ կՋ}$, որտեղ A' -ը
 արտաքին ուժերի աշխատանքն է:

2.25. $T_2 = T_1 \left(1 - \frac{2A}{ip_1V_1}\right) = 241 \text{ Կ}$; $V_2 = V_1 \left(1 - \frac{2A}{ip_1V_1}\right)^{-i/2} = 2,4$;
 $p_2 = p_1 \left(1 - \frac{2A}{ip_1V_1}\right)^{(i+2)/2} = 73 \text{ կՊա}$:

2.26. $p_2 = p_1 \cdot 2^{-\gamma} = 3,8 \text{ ՄՊա}$; $T_2 = T_1 \cdot 2^{1-\gamma} = 277 \text{ Կ}$:

2.27. $\frac{V_2}{V_1} = a^i = 32$:

2.28. $i = \frac{2 \ln a}{\ln b} = 5$:

2.29. $c_V = \frac{ip_0}{2\rho T_0} = 390 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$; $c_p = \frac{(i+2)p_0}{2\rho T_0} = 650 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$:

2.30. $c_V = \frac{R}{(\gamma-1)M} = 693 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$; $c_p = \frac{\gamma R}{(\gamma-1)M} = 970 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$:

2.31. $M = \frac{(i+2)R}{2c_p} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ կգ/մոլ}$:

2.32. ա) $C_V = \frac{i_1 R}{2} = 12,5 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$; բ) $C_V = \frac{i_2 R}{2} = 20,8 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$;

գ) $C_V = \frac{R}{2} \frac{i_1 m_1 M_2 + i_2 m_2 M_1}{m_1 M_2 + m_2 M_1} = 15,2 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$:

2.33. ա) $c_V = \frac{i_1 R}{2M_1} = 312 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$; բ) $c_V = \frac{i_2 R}{2M_2} = 742 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$;

գ) $c_V = \frac{R}{2(m_1 + m_2)} \left(\frac{i_1 m_1}{M_1} + \frac{i_2 m_2}{M_2} \right) = 420 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ}$:

2.34. ա) $\gamma = \frac{i_1 + 2}{i_1} = \frac{3+2}{3} = 1,67$; բ) $\gamma = \frac{i_2 + 2}{i_2} = \frac{5+2}{5} = 1,4$;

գ) $\gamma = \frac{(i_1 + 2)v_1 + (i_2 + 2)v_2}{i_1 v_1 + i_2 v_2} = 1,55$:

2.35. $n=2$; $C = \frac{(i-2)R}{2} = 4,2 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$; գազը սովել է ջերմաքանակ:

2.36. $\Delta U = \frac{ia(v_2^2 - v_1^2)}{2}$; $A = \frac{a(v_2^2 - v_1^2)}{2}$; $Q = \frac{(i+1)a(v_2^2 - v_1^2)}{2}$;

$n=-1$; $C = \frac{(i+1)R}{2} = 16,6 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$:

2.37. $C = \frac{(n-\gamma)R}{(\gamma-1)(n-1)}$:

2.38. $\frac{V_2}{V_1} = a^2 = 4$; $\frac{p_1}{p_2} = a^3 = 8$ անգամ; $C = \frac{(i-4)R}{2} = -4,2 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$;

$\Delta U < 0$; $A > 0$; $Q > 0$:

2.39. $\frac{T_1}{T_2} = \frac{b}{a} = 1,6$; $n = \frac{\ln b}{\ln a} = 1,5$; $C = \left(\frac{i}{2} - 2\right)R = -4,2 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$: Գազը

2.40. $n = \frac{i+1}{i} = 1,33$; $C = -\frac{iR}{2} = -12,5 \text{ Ջ/մոլ}\cdot\text{Կ}$:

$$2.42. C = \frac{(n-\gamma)R}{(\gamma-1)(n-1)}; C < 0 \text{ երբ } 1 < n < \gamma:$$

$$2.43. Q_{23} = -\frac{iA_{12}}{2} = -30 \text{ Ջ:}$$

$$2.44. Q = \nu RT_1 \left(1 - \frac{1}{n}\right) = 5 \text{ կՋ; } Q = \nu RT_1 \ln n = 6,9 \text{ կՋ:}$$

$$2.45. \frac{V_1}{V_2} = \frac{2a(i+1)-i}{a(i+2)} = 1,3:$$

$$2.46. A = \frac{(p_1+p_2)(V_2-V_1)}{2}; \quad \Delta U = \frac{ip_1(V_2-V_1)}{2}; \quad Q = \left(\frac{p_2}{2} + (i+1)\frac{p_1}{2}\right)(V_2-V_1):$$

$$2.47. p_3 = p_1 a^{1/\gamma} = 164 \text{ կՊա:}$$

$$2.48. T_2 = \frac{T_1}{a^{2/i}} = 378 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_3 = \frac{T_2}{a} = 189 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$A_{12} = \frac{i\nu R}{2}(T_1 - T_2) = 27,8 \text{ կՋ; } A_{23} = \nu R(T_3 - T_2) = -15,7 \text{ կՋ:}$$

$$2.49. A_{12} = \frac{imRT_1}{2M} \left(1 - a^{-\frac{2}{i}}\right) = 5,9 \text{ կՋ; } A_{23} = -\frac{mRT_1 \ln a}{Ma^{2/i}} = -4,2 \text{ կՋ:}$$

$$2.50. V_1 = \frac{2aA}{i(a-1)p_1} = 4 \text{ լ; } V_3 = \frac{V_1}{a} = 2 \text{ լ; } V_2 = V_1 a^{i/2} = 11,3 \text{ լ:}$$

$$2.51. T = \frac{T_1 T_2 (a+1)}{aT_2 + T_1} = 360 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$2.52. p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}, \quad T = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2}}:$$

$$2.53. t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3}{m_1 + m_2 + m_3} = 45 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$2.54. V_1 = V \frac{t-t_2}{t_1-t_2} = 135 \text{ լ; } V_1 = V \frac{t_1-t}{t_1-t_2} = 165 \text{ լ:}$$

$$2.55. Q = c_u m(t_h - t_1) + \lambda m + c_g m(t_{kn} - t_h) + rm + c_q m(t_2 - t_{kn}) = \\ = 0,04 + 0,33 + 0,42 + 2,26 + 0,04 = 3,09 \text{ ՄՋ, ամենաշատ ջերմաքանակ}$$

ծախսվել է շոգեգոյացման վրա:

$$2.56. \frac{x}{h} = \frac{c\rho(t_2-t_1)}{\lambda\rho_0} = 0,8, \text{ որտեղ } \rho - \text{ն պղնձի խտությունն է, իսկ } \rho_0 - \text{ն՝}$$

սառույցինը:

$$2.57. m_g = \frac{m_2(\lambda + ct_2) - cm_1(t_1 - t_2)}{\lambda} = 100 \text{ գ:}$$

$$2.58. t = \frac{rm_3 - \lambda m_2 + c[(m_3 t_3 + t_1(m_1 + m_2))]}{c(m_1 + m_2 + m_3)} = 40 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$2.59. \tau_2 = \frac{\lambda \tau_1}{c(t_{kn} - t)} = 60 \text{ րոպ:}$$

$$2.60. m = \frac{N\tau - cm\Delta T}{r} = 13,3 \text{ գ; } h = \frac{(N\tau - cm\Delta T)RT_{kn}}{p_0 SMr} = 2,3 \text{ սմ:}$$

$$2.61. v = \sqrt{2c(t_h - t_0) + 2\lambda} = 340 \text{ մ/վ:}$$

$$2.62. \Delta t = \frac{(v_1 + v_2)^2}{8c} = 22 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$2.63. \Delta t = \frac{kgL \cos \alpha}{c} = 0,1 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$2.64. \Delta t = \frac{kN\tau}{cm} = 3,6 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$2.65. \Delta t = \frac{Mv^2}{iR} = 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$2.66. T = T_0 \left(1 + \frac{Mu^2}{ip_0V_0}\right), \quad V = V_0 \left(\frac{ip_0V_0}{ip_0V_0 + Mu^2}\right)^{i/2};$$

$$2.69. Q_{12} = A_{12} = -30 \text{ կՋ}; \quad Q_{23} = \frac{i(A_{12}-Q)}{2} = -15 \text{ կՋ}; \\ Q_{31} = \frac{i+2}{2}(Q - A_{12}) = 25 \text{ կՋ};$$

$$2.70. Q_{12} = A_{12} = -30 \text{ կՋ}; \quad Q_{23} = \frac{(i+2)(Q-A_{12})}{2} = -125 \text{ կՋ};$$

$$Q_{31} = \frac{i(A_{12}-Q)}{2} = -75 \text{ կՋ}; \quad \eta = \frac{Q}{Q_{23}} = 0,16 \text{ (16 \%)};$$

$$2.71. \eta = \frac{k \ln k - (k-1)}{k \ln k + \frac{i(k-1)}{2}} = 0,099 \text{ (9,9 \%)}; \quad \eta_T = 1 - \frac{1}{k} = 0,5 \text{ (50 \%)};$$

$$2.72. \text{ա) } \eta = \frac{(a-1)(b-1)}{i(a-1) + (i+2)a(b-1)} = 0,077 \text{ (7,7 \%)};$$

$$\text{բ) } \eta = \frac{(a-1)(b-1)}{(a-1)(b-1) + i(a-1)b + (i+2)(b-1)} = 0,083 \text{ (8,3 \%)};$$

$$\text{գ) } \eta_T = 1 - \frac{1}{ab} = 0,75 \text{ (75 \%)};$$

$$2.73. Q_{12} = \frac{i}{2}(a-1)p_1V_1 = 90 \text{ Ջ}; \quad Q_{23} = \frac{i+2}{2}a(b-1)p_1V_1 = 300 \text{ Ջ};$$

$$Q_{34} = \frac{i}{2}b(a-1)p_1V_1 = -180 \text{ Ջ}; \quad Q_{41} = -\frac{i+2}{2}(b-1)p_1V_1 = -150 \text{ Ջ}; \\ \eta = \frac{2(a-1)(b-1)}{i(ab-1) + 2a(b-1)} = 0,154 \text{ (15,4 \%)};$$

$$2.74. A = \nu R (\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2;$$

$$2.75. \eta = 1 - k^{1-\gamma} = 0,242; \quad k\text{-ն մեծացնելուց ՕԳԳ-ն մեծանում է};$$

$$2.76. \eta = 1 - k^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 0,18; \quad k\text{-ն մեծացնելուց ՕԳԳ-ն մեծանում է};$$

$$2.77. \eta = \frac{(T_1-T_2)R \ln(V_1/V_2)}{T_1 R \ln(V_1/V_2) + C_V(T_1-T_2)}, \text{ որտեղ } C_V\text{-ն մոլային ջերմունակու-} \\ \text{թյունն է հաստատուն ծավալի դեպքում};$$

$$2.78. \text{ա) } \eta = 1 - \frac{\gamma(n-1)}{n^{\gamma}-1} = 0,234 \text{ (23,4 \%)};$$

$$\text{բ) } \eta = 1 - \frac{n^{\gamma}-1}{\gamma(n-1)n^{\gamma-1}} = 0,159 \text{ (15,9 \%)};$$

$$3.1. \eta = \frac{Nl}{mqv} = 0,22 \text{ (22 \%)};$$

$$3.2. N = \frac{\eta mq(v_2-v_1)}{l} = 350 \text{ կՎտ}; \quad F = \frac{N}{v_2} = 57 \text{ կՆ}; \quad Q = mq(1-\eta) = 32 \text{ ԳՋ};$$

$$3.3. W = N\tau = 3,4 \text{ ՄՋ}; \quad |Q_1| = N\tau(\varepsilon + 1) = 13,8 \text{ ՄՋ}; \quad Q_2 = N\tau\varepsilon = 10,4 \text{ ՄՋ};$$

$$3.4. \eta = \frac{A}{A+|Q_2|} = 0,4 \text{ (40 \%)}; \quad T_1 = T_2 \left(1 + \frac{A}{|Q_2|}\right) = 455 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (182 }^{\circ}\text{C)};$$

3.5. $\eta = 1 - k = 0,6$ (60 %); $T_1 = T_2/k = 683$ Կ ($t = 410$ °C).

3.6. $A_1 = \frac{AT_1}{T_1 - T_2} = 250$ Ջ; $A_2 = \frac{AT_2}{T_1 - T_2} = 100$ Ջ:

3.7. $\eta = \frac{A_{23}}{U_2} = 0,6$ (60%); $A = \frac{A_{23}A_{12}}{U_1} = 36$ Ջ;

$Q_1 = A_{12} = 60$ Ջ; $Q_2 = A_{12} \left(\frac{A_{23}}{U_2} - 1 \right) = -24$ Ջ:

3.8. $V_2 = \frac{V_1 V_3}{V_4} = 15$ Լ:

3.9. Երկրորդ դեպքում ՕԳԳ-ն կմեծանա ավելի շատ չափով:

3.10. ՕԳԳ-ն կփոքրանա:

3.11. ա) $\eta = 1 - n^{1-\gamma} = 0,24$ (24 %); բ) $\eta = 1 - n^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 0,18$ (18 %):

3.12. $\varepsilon = \frac{1}{\eta} - 1 = 3$ (300 %):

3.13. $A' = Q_2 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = 11$ Ջ; $|Q_1| = Q_2 \frac{T_2}{T_1} = 111$ Ջ:

3.14. $m_2 = \frac{rm_1 T_2}{\lambda T_1} = 5$ կգ; $A = rm_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = 610$ կՋ:

3.16. ա) $\Delta S = \frac{i \nu R \ln n}{2} = 14,4$ Ջ/Կ; բ) $\Delta S = \frac{(i+2) \nu R \ln n}{2} = 20,2$ Ջ/Կ:

3.17. Ջերմունակությունը՝ $C = \frac{M \Delta S}{m \ln n} \approx 29,2 \approx 3,5R$, այստեղից հետևում է, որ տաքացումը կատարվել է հաստատուն ճնշման դեպքում:

3.18. ա) $\Delta S = \frac{p_1 V_1 \ln a}{T_1} = 2,54$ Ջ/Կ; բ) $\Delta S = 0$:

3.19. $n = \frac{V_2}{V_1} = e^{\Delta S / \nu R} = 2$:

3.20. $A = \Delta S \cdot \Delta T = 10$ կՋ:

3.21. Երկու դեպքում էլ $\Delta S = \nu R \left(\frac{i+2}{2} \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{i}{2} \ln \frac{p_2}{p_1} \right) = 24$ Ջ/Կ:

3.22. $\Delta S = \nu R \ln \left(ab^{\frac{i}{2}} \right) = 57$ Ջ/Կ:

3.23. $\Delta S = \nu R \ln \left(\frac{b^{\frac{i+2}{2}}}{a} \right) = 52$ Ջ/Կ:

3.24. $\Delta S = c_a m \ln \frac{T_h}{T_1} + \frac{\lambda m}{T_h} + c_{\varrho} m \ln \frac{T_{bn}}{T_h} + \frac{rm}{T_{bn}} + c_q m \ln \frac{T_2}{T_{bn}} = + 0,16 + 1,21 + 1,31 + 6,06 + 0,11 = 8,85$ կՋ/Կ:

3.25. $\Delta S_1 = cm_1 \ln \frac{T}{T_1} = 3$ կՋ/Կ; $\Delta S_2 = cm_2 \ln \frac{T}{T_2} = -2,7$ կՋ/Կ, որտեղ

$T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = 323$ Կ; $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 300$ Ջ/Կ:

3.26. Յուզում. Հաստատված T ջերմաստիճանը որոշել էներգիայի պահպանման օրենքից, որը տվյալ դեպքում տալիս է՝

$C_1 T_{10} + C_2 T_{20} = (C_1 + C_2) T$: $\Delta S = \ln \left[T_{10}^{-C_1} T_{20}^{-C_2} \left(\frac{C_1 T_{10} + C_2 T_{20}}{C_1 + C_2} \right)^{C_1 + C_2} \right]$: ա)

$C_1 = C_2 = C, T_{10} \neq T_{20}$ դեպքում կունենանք՝

$\Delta S = C \ln \frac{(T_{10}+T_{20})^2}{4T_{10}T_{20}}$, որն ակնհայտորեն դրական է; **p)** $C_1 \neq C_2, T_{10} = T_{20} = T_0$ դեպքում կունենանք $\Delta S = 0$, որը նորից ակնհայտ արդյունք է, քանի որ այս դեպքում պրոցես չի ընթանում:

3.27. $\Delta S = \frac{i\nu R}{2} \ln \frac{(T_1+T_2)^2}{4T_1T_2}$: Քանի որ $\frac{(T_1+T_2)^2}{4T_1T_2} \geq 1$, ուստի $\Delta S \geq 0$:

3.28. 1) $\Delta S = (\nu_1 + \nu_2)R \ln 2 = 2\nu R \ln 2 \neq 0$: Սակայն այդ բանաձևը նույն գազերի դեպքում էլ տալիս է այդ արդյունքը, ինչը հակասություն է, քանի որ այս դեպքում ոչ մի պրոցես չի ընթանում և էնտրոպիայի փոփոխություն չի լինելու (Գիբսի պարադոքս): **2)** Տարբեր գազերի համար տալիս է $\Delta S = (\nu_1 + \nu_2)R \ln 2 = 2\nu R \ln 2 \neq 0$, իսկ նույն գազերի համար $\Delta S = 0$, ինչը վերացնում է Գիբսի պարադոքսը, եթե օգտվենք Ուրեմն, առավելապես ճիշտ կլինի օգտվել $S = C_V \ln T + \nu R \ln V + S_0$ բանաձևից:

3.29. Ցուցում. Քանի որ. $Q = 0, A = 0$, ուստի $\Delta U = 0$, հետևաբար գազի վերջնական վիճակը կարելի է համարել իզոթերմ արդյունք, թեկուզ ընդարձակման պրոցեսը այդպիսին չէ: $\Delta S = \nu R \ln \frac{V_1+V_2}{V_1}$:

3.30. Ցուցում. Անոթներում ընթացող պրոցեսները տեղի են ունեցել նյութի քանակության փոփոխությամբ: A անոթում գազի վերջնական վիճակն է՝ $\nu_A = \nu - \nu_B, V, p, T_A$: Այս պայմաններում ν մոլ գազի ծավալը կլինի՝ $V' = W/\nu_A$: Քանի որ պրոցեսն ադիաբատ է, ուստի $T_A \left(\frac{\nu V}{\nu_A}\right)^{\gamma-1} =$

$T_0 V^{\gamma-1}$, որտեղից $T_A = T_0 \left(\frac{\nu_A}{\nu}\right)^{\gamma-1}$: Օգտվելով $pV = \nu_A R T_A, pV = \nu_B R T_B, \nu_A = \nu - \nu_B$ հավասարումներից և համակարգի ներքին էներգիայի պահպանվելուց՝ $\nu C_V T_0 = \nu_A C_V T_A + \nu_B C_V T_B$, կունենանք՝ $\nu_A = \nu 2^{-1/\gamma}, \nu_B = \nu(1 - 2^{-1/\gamma}); T_A = \frac{1}{2} T_0 \cdot 2^{1/\gamma}, T_B = \frac{1}{2} T_0 \cdot \frac{2^{1/\gamma}}{2^{1/\gamma}-1}$, որտեղ $\gamma = C_p/C_V$:
 $p = p_0/2, \Delta S_A = \nu_A C_p \ln \frac{T_A}{T_0} - \nu_A R \ln \frac{p}{p_0},$

$\Delta S_B = \nu_A C_p \ln \frac{B}{T_0} - \nu_B R \ln \frac{p}{p_0}$:

3.31. Ցուցում. Օգտագործել էնտրոպիայի $S = C_V \ln T + \nu R \ln V + S_0$ և $S = C_p \ln T - \nu R \ln p + S_0$ բանաձևերը: Պահանջվող ջերմադինամիկական պոտենցիալների համար կունենանք՝

$$F(T, V) = C_V T(1 - \ln T) - RT \ln V - TS_0 + U_0;$$

$$G(T, p) = C_p T(1 - \ln T) + RT \ln p - TS_0 + U_0;$$

$H = C_V T + RT + U_0 = C_p T + U_0$: Քանի որ էնտալպիան ֆուկցիա է էնտրոպիայից և ճնշումից, ջերմաստիճանը արտահայտենք ճնշումով և

էնտրոպիայով՝ $T = p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot e^{\frac{S-S_0}{C_p}}$ և $H(S, p) = C_p p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot e^{\frac{S-S_0}{C_p}} + U_0$:

3.45. Ցուցում. Նկատի ունենալ, որ միջավայրում գտնվող մարմնի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը հավասար է միջավայրի կողմից այդ մարմնի նկատմամբ կատարած $p_0 \Delta V_0$ աշխատանքի, տրված $-T_0 \Delta S_0$ ջերմաքանակի և արտաքին մարմնի կողմից կատարված A աշխատանքի գումարին՝ $\Delta U = p_0 \Delta V_0 - T_0 \Delta S_0 + A$: Այնուհետև նկատի ունենալ, որ $\Delta V = -\Delta V_0$ և $\Delta S + \Delta S_0 \geq 0$: Զրո ինդեքսը վերաբերվում է միջավայրին, իսկ առանց ինդեքսովները՝ մարմնին: Արտաքին մարմնի էնտրոպիայի փոփոխությունը հավասար է զրոյի: $\Delta S_0 \geq -\Delta S$ պայմանը հանգեցնում է $A \geq \Delta U - T_0 \Delta S + p_0 \Delta V$ առնչությանը, որտեղից էլ հետևվում է խնդրի պատասխանը $A_{min} = \Delta U - T_0 \Delta S + p_0 \Delta V$ առնչությանը: $|A_{max}| = -A_{min} = -\Delta U + T_0 \Delta S - p_0 \Delta V$

3.46. Ցուցում. Օգտվել նախորդ խնդրի արդյունքներից:

$dA_{min} = (T - T_0)dS - (p - p_0)dV$, որտեղ S -ը մարմնի էնտրոպիան է, իսկ V -ն՝ ծավալը:

3.47. Ցուցում. Օգտվել 45 խնդրի արդյունքներից: $A_{min} = \Delta U - T \Delta S = \Delta F$, որտեղ $F = U - TS$ -ը մարմնի ազատ էներգիան է:

$$|A_{max}| = -A_{min} = -\Delta U + T \Delta S$$

3.48. Ցուցում. Օգտվել 45 խնդրի արդյունքներից:

$A_{min} = \Delta(U - TS + pV) = \Delta G$, որտեղ $G = U - TS + pV$ -ը մարմնի Գիբսի պոտենցիալն է: $|A_{max}| = -A_{min} = -\Delta G$:

3.49. Ցուցում. Առավելագույն աշխատանք կատացվի, եթե ջերմային մեքենան աշխատի հաջորդաբար կրկնվող Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլերով: Յուրաքանչյուր այդպիսի ցիկլի առավելագույն աշխատանքը կլինի $\delta A_{max} = \frac{T-T_0}{T} \delta Q$, իսկ վերջավոր ամբողջ աշխատանքը՝ $A_{max} = \int \frac{T-T_0}{T} \delta Q$:

3.50. Օգտվեք նախորդ խնդրից:

$A_{max} = \int_{T_0}^T \frac{T-T_0}{T} C dT = C \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right)$ Փաստորեն, առավելագույն աշխատանքը փոքր է ջեռուցիչ հանդիսացող մարմնի ներքին էներգիայի նվազման $C(T - T_0)$ արժեքից:

3.51. Ցուցում. Առավելագույն աշխատանք կատացվի, եթե ջերմային մեքենան աշխատի հաջորդաբար կրկնվող Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլերով: Այն պահին, երբ սառնարանը կունենա T_2 , իսկ ջեռուցիչը՝ T_1 ջերմաստիճան, անվերջ փոքր ցիկլի առավելագույն աշխատանքը կլինի

$\delta A_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \delta Q_1$ որտեղ $\delta Q_1 - C_1 dT_1$ ջեռուցիչի տված ջերմա-քանակն է: Նկատի ունենալով այդ ցիկլի համար $\frac{C_1 dT_1}{T_1} + \frac{C_2 dT_2}{T_2} = 0$, կունենանք

$A_{max} = (C_1 T_{10} + C_2 T_{20}) - (C_1 + C_2)$, որտեղ $T = T_{10}^{\frac{C_1}{C_1+C_2}} T_{20}^{\frac{C_2}{C_1+C_2}}$ վերջնական ջերմաստիճանն է: Փաստորեն, առավելագույն աշխատանքն այս դեպքում հավասար է համակարգի ներքին էներգիայի նվազմանը:

3.52. Ցուցում. Առավելագույն աշխատանք կստացվի, եթե գազերի խառնվելը տեղի ունենա շրջելի կերպով, որի դեպքում էնտրոպիան կմնա հաստատուն: Օգտվելով էնտրոպիայի $S = Nk \ln \frac{V}{N} + C_V \ln kT + NkS_0$, բանաձևից, կստանանք, որ համակարգում կհաստատվի $T = T_0 \left[\frac{4V_1 V_2}{(V_1 + V_2)^2} \right]^{\frac{\gamma-1}{2}}$ ջերմաստիճան: Առավելագույն աշխատանքը կլինի հավասար համակարգի ներքին էներգիայի նվազմանը՝

$$A_{max} = 2C_V(T_0 - T), \text{ որտեղ } C_V = \frac{i}{2}Nk, \text{ իսկ } \gamma = C_p/C_V:$$

3.53. Ցուցում. Օգտվել նվազագույն աշխատանքի

$A_{min} = \Delta U - T_0 \Delta S + p_0 \Delta V$ բանաձևից(տես խնդիր45): Տվյալ խնդրում $\Delta U = 0$: $A_{min} = NkT_0 \left[\ln \frac{p_2}{p_1} + p_0 \left(\frac{1}{p_2} - \frac{1}{p_1} \right) \right]$, որտեղ N -ը գազի մասնիկների թիվն է:

3.54. Ցուցում. Օգտվել առավելագույն աշխատանքի

$$|A_{max}| = -A_{min} = -\Delta U + T_0 \Delta S - p_0 \Delta V$$

բանաձևից(տես խնդիր14): Տվյալ խնդրում $\Delta V = 0$:

$A_{max} = C_V \left(T + T_0 \ln \frac{T_0}{eT} \right)$, որտեղ C_V -ն գազի ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում:

3.55. Ցուցում. Առավելագույն աշխատանք կստացվի, եթե գազերի խառնվելը տեղի ունենա շրջելի կերպով, որի դեպքում էնտրոպիան կմնա հաստատուն: Օգտվելով էնտրոպիայի

$S = Nk \ln \frac{V}{N} + C_V \ln kT + NkS_0$ բանաձևից, կստանանք, որ համակարգում կհաստատվի $T = 2^{\gamma-1} \sqrt{T_1 T_2} \left[\frac{T_1 T_2}{(T_1 + T_2)^2} \right]^{\frac{\gamma-1}{2}}$ ջերմաստիճան, որտեղ $\gamma = C_p/C_V$: Առավելագույն աշխատանքը կլինի հավասար համակարգի ներքին էներգիայի նվազմանը՝ $A_{max} = 2C_V(T_1 + T_2 - 2T)$, որտեղ $C_V = \frac{i}{2}Nk$:

3.56. Ցուցում. Օգտվել առավելագույն աշխատանքի

$A_{max} = -\Delta U + T_0 \Delta S - p_0 \Delta V$ բանաձևից, իսկ էնտրոպիայի փոփո-

խությունը հաշվել $S = C_p \ln kT - Nk \ln p + NkS_0$ բանաձևով:

$A_{max} = C_V(T - T_0) + C_p T_0 \ln \frac{T_0}{T} + NkT_0 \ln \frac{p}{p_0} Nk \left(T \frac{p_0}{p} - T_0 \right)$, որտեղ N -ը գազի մասնիկների թիվն է, իսկ C_p -ն և C_V -ն գազի ջերմունակությունները:

4.1. \mathbf{u}) $(0,8)^2 = 0,64$; \mathbf{p}) $(0,2)^2 = 0,04$; \mathbf{q}) $2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 = 0,32$:

4.2. $\bar{l} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 p}} = 83$ նմ, $\bar{\tau} = \frac{\bar{l}}{\bar{v}} = 0,18$ նվ:

4.3. $\bar{l} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 p}} = 1,4$ սմ:

4.4. $\bar{z} \sim \sqrt{T} \frac{MV}{\sqrt{2\pi d^2 m N_U}} = 120$ նմ:

4.5. $\bar{l} = \frac{V}{\sqrt{2\pi d^2 N}} = 2,5 \cdot 10^{12}$ մ, ինչը նշանակում է, որ էապես փոքր է աստղերի միջև եղած միջին հեռավորությունից (1լս.տարին = $9,5 \cdot 10^{15}$ մ):

4.6. $\frac{\bar{l}}{a_{\text{միջ}}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2}} \left(\frac{kT}{p} \right)^{2/3} = 25$ անգամ:

4.7. \mathbf{u}) $\bar{z} = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle} = \frac{4pd^2}{k} \sqrt{\frac{\pi R}{MT}} = 4,5 \cdot 10^9 \text{վ}^{-1}$; \mathbf{p}) $z_{\text{լր}} = \frac{2p^2 d^2 V}{k^2 T} \sqrt{\frac{\pi R}{MT}} = 6 \cdot 10^{28} \text{վ}^{-1}$:

4.8. \mathbf{u}) Կախված չէ; $\bar{z} \sim \sqrt{T}$; \mathbf{p}) $\bar{l} = \sim T$; $\bar{z} \sim \frac{1}{\sqrt{T}}$:

4.9. \mathbf{u}) Կախված չէ; $\bar{z} \sim \sqrt{p}$; \mathbf{p}) $\bar{l} \sim \frac{1}{p}$, $\bar{z} \sim p$:

4.10. $\bar{z} = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle} = 10^{10} \text{c}^{-1}$; \mathbf{u}) մեծանում է $a = 2$ անգամ; \mathbf{p}) փոքրանում է $\sqrt{a} = \sqrt{2}$ անգամ:

4.11. \mathbf{u}) $p < \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 D}} = 1 \text{Պա}$; \mathbf{p}) $p < 0,01 \text{Պա}$:

4.12. $\rho < \frac{M}{\sqrt{2\pi d^2 D N_U}} = 10^{-6} \text{կգ/մ}^3$:

4.13. \mathbf{u}) $\frac{N}{N_0} = e^{-1} = 0,37$; \mathbf{p}) $\frac{\Delta N}{N_0} = e^{-1} - e^{-2} = 0,23$; \mathbf{q}) $\frac{N}{N_0} = e^{-10} = 4,5 \cdot 10^{-5}$:

4.14. $P = \frac{N}{N_0} = \exp \left(-\frac{s}{\langle l \rangle} \right) = 0,0089$ (0,89%):

4.15. $\bar{l} = \frac{s}{\ln a} = 10$ սմ:

4.16. \mathbf{u}) Հաստատված կոնցենտրացիաների գազի ճնշումներն երկու մասում կհավասարվեն, որտեղից կունենանք $\frac{n_1}{n_2} = \frac{T_2}{T_1} = a$; \mathbf{p}) Այս դեպքում 1վ-ում s մակեսի վրա ընկնող մասնիկների թիվը կորոշվի (4.4)

$$\text{բանաձևից՝ } N = \frac{1}{4} n v s = n s \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \quad , \quad N_1 = n_1 s \sqrt{\frac{kT_1}{2\pi m}} = N_2 = n_2 s \sqrt{\frac{kT_2}{2\pi m}},$$

որտեղից $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{a}$: Գազի հոսքի այդ ռեժիմին անվանում են էֆուզիոն:

4.17. $v = \sqrt{2 \frac{C_p T}{M}} = 1,8 \text{ կմ/վ}$: **Ցուցում.** դրսի ճնշումը կարելի է համարել զրոյին մոտ: Քանի որ պրոցեսն ադիաբատ է, ուստի դրսի ջերմաստիճանն էլ կարելի է համարել զրոյին մոտ:

$$\textbf{4.18. } T_2 = T_1 - \frac{M v^2}{(i+2)R} = 193 \text{ }^\circ\text{C}, \quad p_1 = p_2 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{i+2}{2}} = 0,34 \text{ ՄՊա:}$$

4.19. ա) $D = \frac{2kT}{3\pi d^2 p} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ մ}^2/\text{վ}$; **բ)** $8,5 \cdot 10^{-5} \text{ մ}^2/\text{վ}$; **ա)** $L \approx 21 \text{ սմ}$; **բ)** 55 սմ : Համեմատության համար կարելի է գտնել այդ ժամանակում անցած միջին ճանապարհը՝ **ա)** 1630 կմ ; **բ)** 4300 կմ :

$$\textbf{4.20. } D = \frac{1}{3} \bar{l} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ մ}^2/\text{վ}:$$

$$\textbf{4.21. } D \sim \sqrt{T^3}; \quad D \sim \sqrt{T} :$$

$$\textbf{4.22. } D \sim 1/p; \quad D \sim \sqrt{p} :$$

$$\textbf{4.23. } D \sim V; \quad D \sim \sqrt{V^3} :$$

$$\textbf{4.24. ա)} \quad \eta = \frac{2}{3\pi d^2 N_{\text{Ա}}} \sqrt{\frac{MRT}{\pi}} = 16 \text{ մկՊա}\cdot\text{վ}; \quad \textbf{բ)} \quad 15 \text{ մկՊա}\cdot\text{վ}:$$

$$\textbf{4.25. } d = \sqrt{\frac{2k}{3\pi\eta}} \sqrt{\frac{MT}{\pi R}} = 0,2 \text{ նմ}:$$

$$\textbf{4.26. } \eta \sim \sqrt{T}; \quad \eta \sim \sqrt{T};$$

$$\textbf{4.27. } \text{Կախված չէ}; \quad \eta \sim \sqrt{p} :$$

$$\textbf{4.28. } \text{Կախված չէ}; \quad \eta \sim \sqrt{V} :$$

$$\textbf{4.29. ա)} \quad \lambda = \frac{ik}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} = 12 \text{ մՎտ}/(\text{մ}\cdot\text{Կ}); \quad \textbf{բ)} \quad 47 \text{ մՎտ}/(\text{մ}\cdot\text{Կ}):$$

$$\textbf{4.30. } \frac{d_2}{d_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 1,7:$$

$$\textbf{4.31. } \text{Երկու դեպքում էլ } \lambda \sim \sqrt{T}:$$

$$\textbf{4.32. } \text{Կախված չէ}; \quad \lambda \sim \sqrt{p}:$$

$$\textbf{4.33. } p < \frac{kT}{\pi d^2 L \sqrt{2}} = 2 \text{ Պա:}$$

$$4.34. \text{ ա) } \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 5,8; \quad \text{բ) } \frac{\eta_2}{\eta_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = 0,36;$$

$$\text{գ) } \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{i_2}{i_1} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} = 5,8;$$

$$4.35. \eta = \frac{pMD}{RT} = 16 \text{ մկՊա}\cdot\text{վ}:$$

$$4.36. \lambda = \frac{iR\eta}{2M} = 70 \text{ մՎտ}/(\text{մ}\cdot\text{Կ}):$$

$$4.37. \frac{p_2}{p_1} = \frac{\alpha^3}{\beta} \text{ անգամ}:$$

$$4.38. \text{ D-ն փոքրանում է } n^{4/5} \approx 6,3 \text{ անգամ, } \eta\text{-ն մեծանում է } n^{1/5} \approx 1,6 \text{ անգամ}:$$

$$4.39. \text{ ա) } \frac{Q}{St} = \frac{ik}{6\pi d^2} \sqrt{\frac{4RT}{\pi M} \frac{(T_2 - T_1)}{d}} = 200 \text{ Վտ}/\text{մ}^2;$$

$$\text{բ) } \frac{Q}{St} = \frac{ip(T_2 - T_1)}{3T} \sqrt{\frac{2RT}{\pi M}} = 40 \text{ մՎտ}/\text{մ}^2:$$

$$4.40. q = \frac{\lambda(t_2 - t_1)\tau}{d} = 290 \text{ կՋ}/\text{մ}^2:$$

$$4.41. Q = \frac{\lambda(t_2 - t_1)S\tau}{d} = 25 \text{ կՋ, որտեղ } \lambda = \frac{ik}{3\pi d^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ Վտ}/(\text{մ}\cdot\text{Կ}):$$

$$4.42. Q = \frac{2\lambda(t_2 - t_1)(a+b)h\tau}{d} \approx 11,6 \text{ ՍՋ}:$$

$$4.43. t = \frac{\lambda_1 t_1 l_2 + \lambda_2 t_2 l_1}{\lambda_1 l_2 + \lambda_2 l_1} = 63 \text{ }^\circ\text{C}; \text{ ա) } t \approx t_2; \quad \text{բ) } t \approx t_1:$$

$$4.44. T = \frac{T_1 + (T_2 - T_1) \ln \frac{r}{R_1}}{\ln \frac{R_2}{R_1}};$$

$$4.45. T = \frac{T_1 + (T_2 - T_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{r}\right)}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}:;$$

$$4.46. l = \sqrt{\frac{2\lambda\Delta T \cdot t}{q\rho}} = 11 \text{ սմ}:$$

$$5.1. m = \frac{\varphi p_0 VM}{RT} = 1,38 \text{ կգ}:$$

$$5.2. \varphi' = \frac{mRT}{p_0 VM} + \varphi = 0,69 \text{ (69 \%)}:$$

$$5.3. \text{ ա) } \rho = \frac{p_0 M}{RT} = 0,017 \text{ կգ}/\text{մ}^3; \text{ բ) } \rho = 0,59 \text{ կգ}/\text{մ}^3; \text{ գ) } \rho = 7,1 \text{ կգ}/\text{մ}^3:$$

$$5.4. \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{p_{02} T_1}{p_{01} T_2} = 2,9;$$

$$5.5. \varphi_2 = \frac{\varphi_1 p_{01} T_2}{p_{02} T_1} = 15 \%:$$

$$5.6. p = p_0 + \frac{p_1 T}{T_1} = 640 \text{ կՊա}; \quad m_0 = \frac{p_0 VM}{RT} = 25 \text{ գ}:$$

$$5.7. \varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = 50 \%:$$

$$5.8. \varphi = \frac{p_{02}}{p_{01}} = 0,60 \text{ (60 \%)}:$$

5.9. Կնստի, քանի որ $\varphi p_{01} > p_{02}$:

5.10. $\varphi p_{01} > p_{02}$, որտեղից հետևում է $t_2 < 60^\circ\text{C}$:

5.11. $\varphi = \frac{mRT}{p_0 VM} = 66\%$; $m_1 = m - \frac{p_0 VM}{aRT} = 0,24$ գ:

5.12. $\varphi = \frac{mRT}{ap_0 VM} + \frac{1}{a} = 0,52$ (52 %):

5.13. ա) $\rho = \frac{pM_1}{RT} = 1,08$ կգ/մ³; բ) $\rho = \frac{pM_1 - \varphi p_0(M_1 - M_2)}{RT} = 1,04$ կգ/մ³:

5.14. $h = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{p_0}{p_{01}} = 9,1$ կմ, որտեղ p_0 -ն հազեցած գոլորշու ճնշումն է 100 °C-ում, p_{01} -ը՝ 70 °C-ում:

5.15. Քանի որ b հաստատունը հավասար է մեկ մոլում պարունակված մոլեկուլների սեփական ծավալի քառապատիկին, ուստի

$$\frac{V_0}{V} = \frac{pb}{4RT} = 4,3 \cdot 10^{-4}:$$

5.16. Քանի որ b հաստատունը հավասար է մեկ մոլում պարունակված մոլեկուլների սեփական ծավալի քառապատիկին, ուստի

$$d = \sqrt[3]{\frac{3b}{2\pi N_U}} = 0,31 \text{ նմ}:$$

5.17. $p_{\text{ի}} = \frac{p^2 a}{R^2 T^2} = 270$ Պա, որը կազմում է p -ի 0,27% -ը:

5.18. ա) $p = \frac{\rho RT}{M} = 28,3$ ՄՊա; բ) $p = \frac{\rho RT}{M - \rho b} - \frac{\rho^2 a}{M^2} = 8,1$ ՄՊա:

5.19. ա) $T = \frac{pV}{\nu R} = 300$ Կ; բ) $T = \frac{(p + \frac{\nu^2 a}{V^2})(V - \nu b)}{\nu R} = 417$ Կ:

5.20. ա) $p = \frac{\nu RT}{V} = 12,5$ ՄՊա; բ) $p = \frac{\nu RT}{V - \nu b} - \frac{\nu^2 a}{V^2} = 6,9$ ՄՊա:

5.21. $a = \frac{V^2(p_2 T_1 - p_1 T_2)}{T_2 - T_1} = 0,12$ Պա·մ⁶/մոլ²;

$$b = V - \frac{R(T_2 - T_1)}{p_2 - p_1} = 34 \text{ սմ}^3/\text{մոլ}:$$

5.22. $V_{\text{սառ}} = \frac{3bm}{M} = 5$ լ:

5.23. ա) $\rho_{\text{կր}} = \frac{M}{3b} = 200$ կգ/մ³; բ) $\rho_{\text{կր}} = \frac{8p_{\text{կր}} M}{3RT_{\text{կր}}} = 200$ կգ/մ³:

5.24. $p_{\text{սառ}} = \frac{a}{27b^2} = 230$ մթն; $T_{\text{կր}} = \frac{8a}{27Rb} = 650$ Կ:

5.25. $x = \frac{M}{3\rho b} = 0,2$:

5.26. $p = \frac{\rho RTx}{M - \rho bx} - \frac{a\rho^2 x^2}{M^2} = 19$ ՄՊա:

5.27. $a = \frac{27R^2 T_{\text{կր}}^2}{64p_{\text{կր}}} = 0,36$ Պա·մ⁶/մոլ², $b = \frac{RT_{\text{կր}}}{8p_{\text{կր}}} = 43$ սմ³/մոլ:

5.28. $\frac{V}{V_{\text{կր}}} = \frac{8p_{\text{կր}}}{3p} \frac{T}{T_{\text{կր}}} = 177$:

5.29. $\frac{p}{p_{\text{կր}}} = 5$:

$$5.30. \frac{p}{p_{\text{կր}}} = \frac{49}{20} = 2,45:$$

$$5.31. \text{ա) } U = \frac{(4i-9)a}{27b} = 1,46 \text{ կՋ; բ) } U = \frac{(4i-1)a}{27b} = 2,53 \text{ կՋ:}$$

$$5.32. A = \nu RT \ln \frac{V_2 - \nu b}{V_1 - \nu b} + \nu^2 a \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = 3,7 \text{ կՋ;}$$

$$Q = \nu RT \ln \frac{V_2 - \nu b}{V_1 - \nu b} = 3,8 \text{ կՋ; } \Delta U = -\nu^2 a \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = 0,11 \text{ կՋ:}$$

$$5.33. A_i = \nu^2 a \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = -0,11 \text{ կՋ:}$$

$$5.34. \Delta U = 0; \quad \Delta T = \frac{\nu a}{c_V} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = -20^\circ \text{C:}$$

$$5.35. \Delta S = \nu R \ln \frac{V_2 - \nu b}{V_1 - \nu b}:$$

$$5.36. \frac{m_1}{m} = \frac{r}{r+\lambda} = 0,88 \text{ (88 \%):}$$

$$5.37. r = \frac{\Delta p}{\Delta T} T \left(\frac{RT}{p_0 M} - \frac{1}{\rho_h} \right) = 2,6 \text{ ՄՋ/կգ:}$$

$$5.38. \Delta V = \frac{mq\Delta T}{T\Delta p} = 18 \text{ սմ}^3 \text{ (մեծանում է):}$$

$$5.39. \quad \Delta T = \frac{\Delta p}{\lambda} T \left(\frac{1}{\rho_h} - \frac{1}{\rho_{\text{պ}}} \right) = -0,7^\circ \text{C} \quad (\text{հալման } \text{ջերմաստիճանը փոքրանում է):}$$

$$5.40. F = 2\sigma l = 3,2 \text{ մՆ; } A = 2\sigma \Delta x = 32 \text{ մկՋ:}$$

$$5.41. \text{ա) } x = \frac{a^2 \rho g + 4\sigma}{a \rho h g} = 2,2 \text{ սմ; բ) } x = \frac{a^2 \rho g - 4\sigma}{a \rho h g} = 2,0 \text{ սմ:}$$

5.42. Յուզում. Մոտավոր կերպով կարելի է համարել, որ ասեղի գործադրած առավելագույն ճնշումը ֆավասարակշռվում է դրա տակի հեղուկի կորացած մակերևույթի ճնշմանը: Արքիմեդի ուժը կարելի է անտեսել:

$$d = \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi \rho g}} = 1,6 \text{ մմ:}$$

$$5.43. F = 8\sigma a + \pi d^2 \rho g a = 46 \text{ մՆ:}$$

$$5.44. \Delta h = \frac{4(\sigma_2 - \sigma_1)}{\rho g d} = -2 \text{ մմ:}$$

$$5.45. D = \sqrt[3]{\frac{6d\sigma}{\rho g}} = 3,5 \text{ մմ; } t = \frac{mg\tau}{\sigma\pi d} = 44 \text{ վ:}$$

$$5.46. \sigma = \frac{mg}{\pi dN} = 72 \text{ մՆ/մ:}$$

$$5.47. r = \sqrt{\frac{3\sigma}{\rho g}} = 4,7 \text{ մմ:}$$

$$5.48. \Delta p = \frac{8\sigma}{d} = 32 \text{ Պա:}$$

$$5.49. p = p_0 + \rho gh + \frac{4\sigma}{d} = 139 \text{ կՊա:}$$

$$5.50. \Delta p = \frac{2\sigma}{r} + \rho gh = 2,5 \text{ կՊա:}$$

5.51. $m = \frac{4\sigma S}{gd} = 1,75$ կգ; չի փոխվի:

5.52. $F = \frac{2\sigma ab}{d} = 110$ Ն: 5.53. $\nu = \frac{1}{\pi l} \sqrt{\frac{\sigma}{\pi r}} = 0,86$ վ⁻¹:

5.54. $h = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} = 5,4$ մմ:

5.55. **Ցուցում.** x, y կոորդինատական համակարգում հեղուկի մակերևույթի վրա վիճցնենք x, y կոորդինատներով միավոր երկարությամբ և dl լայնությամբ շերտ: Դրա վրա ազդող հիդրոստատիկ ճնշման ուժի մոդուլը կլինի՝ $dF = \rho g y \cdot dl$, իսկ այդ ուժի պրոյեկցիան $dF_x = \rho g y \cdot dy$: Գրելով հավասարակշռության պայմանը OX առանցքի երկայնքով և այն ինտեգրելով (հաշվի առնելով մակերևութային լարվածության ուժերի արժեքներն այդ մակերևույթի եզրերում), կունենանք. $h =$

$$\sqrt{\frac{2\sigma(1-\cos\theta)}{\rho g}} = 4 \text{ մմ:}$$

5.56. $h = \frac{4\sigma}{\rho dg} = 2,9$ սմ; $m = \frac{\pi\sigma d}{g} = 23$ մգ:

5.57. $\sigma = \frac{h\rho rg}{2} = 0,02$ Ն/մ: 5.58. $d = \frac{4\sigma}{\rho gh} = 0,01$ մմ:

5.59. $x = \frac{2\sigma l}{2\sigma + p_0 r} = 1,5$ սմ: 5.60. $h = \frac{2\sigma}{\rho dg} = 2,9$ սմ:

5.61. $\sigma = \frac{\rho g \Delta h d_1 (d_3 - d_2)}{4(d_3 - d_2 - d_1)} = 75$ մՆ/մ:

5.62. $R = \frac{2\sigma}{\rho hg} = 1,2$ մմ; $\theta = 180^\circ - \arccos \frac{r}{R} = 146^\circ$:

5.63. $R = \frac{2\sigma}{\rho hg} = 0,73$ մմ; $\theta = \arccos \frac{r}{R} = 47^\circ$:

5.64. $h = \frac{4\sigma}{\rho gr} = 2,9$ սմ; $m = \frac{4\pi\sigma r}{g} = 0,09$ գ:

5.65. ա) $R_1 = r = 0,5$ մմ; $R_2 = \frac{1}{\frac{1}{r} - \frac{\rho gh}{2\sigma}} = 1,6$ մմ (երկուսն էլ զոգավոր են);

$\theta_1 = \arccos \frac{r}{R_1} = 0^\circ$; $\theta_2 = 70^\circ$; բ) $R_1 = 0,5$ մմ; $R_2 = 1,4$ մմ (վերևի մենիսկը զոգավոր է, ներքևինը՝ ուռուցիկ; $\theta_1 = 0^\circ$; $\theta_2 = 110^\circ$:

5.66. $x = 2h$, եթե $l > h$; $x = l + h$, եթե $l < h$:

5.67. ա) $h = \frac{p - 4\sigma/d}{\rho g} = 746$ մմ; բ) $h = 759$ մմ: Հետևաբար, նեղ խողովակով մթնոլորտի ճնշումը չափելուց պետք է հաշվի առնել մագական երևույթով պայմանավորված ուղղումն:

5.68. $Q = \frac{2\pi\sigma^2}{\rho g} = 3,35$ մկՋ:

5.69. $T = \frac{2\pi}{g} \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho r}} =$

5.70. Մեկ տարրական բջիջին բաժին է ընկնում երկու երկաթի իոն;

$$a = \sqrt[3]{\frac{2M}{N_{\text{Ա}}\rho}} = 0,287 \text{ նմ:}$$

5.71. Մեկ տարրական բջիջին բաժին է ընկնում ալյումինումի 4 իոն;

$$a = \sqrt[3]{\frac{4M}{N_{\text{Ա}}\rho}} = 0,405 \text{ նմ:}$$

5.72. Մեկ տարրական բջիջին բաժին է ընկնում 4 նատրիումի և 4 քլորի իոն; $\rho = \frac{4(M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}})}{N_{\text{Ա}}a^3} = 2200 \text{ կգ/մ}^3$:

5.73. ա) $c = \frac{3R}{M} = 920 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ};$ բ) $c = \frac{6R}{M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}}} = 850 \text{ Ջ/կգ}\cdot\text{Կ:}$

5.74. $p = \alpha E \Delta t = 44 \text{ ՄՊա:}$

5.75. $m = \frac{\alpha E \Delta t}{g} = 5,6 \text{ կգ:}$

5.76. $\Delta V = V_1((1 + \alpha \Delta t)^3 - 1) \approx 3V_1 \alpha \Delta t = 30 \text{ սմ}^3;$

$\Delta \rho \approx -3\rho_1 \alpha \Delta t = -90 \text{ կգ/մ}^3:$

5.77. $m_2 = \frac{m_1(1 + 3\alpha \Delta t)}{1 + \beta \Delta t} = 970 \text{ գ:}$

5.78. $\beta = 3\alpha + \frac{k}{\Delta t} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ Կ}^{-1}:$

5.79. $\Delta T = T_2 - T_1 \approx \frac{1}{C_p} \left(\frac{2a}{RT_1} - b \right) \Delta p$: Վան-դեր-վաալսյան նոսր գազ համար $C_p \approx C_V + R$:

5.82. $\gamma_T = \frac{v^2(V-b)^2}{RTV^3 + 2a(V-b)^2};$

5.83. $\alpha = \frac{v-b}{TV_0 \left[1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^3} \right]}:$

5.84. $\Delta T = \frac{av}{C_V} \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = 0,25 \text{ Կ};$ $Q = av \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = 121,5 \text{ Ջ:}$

5.85. $Q = \frac{C_V}{R} \left\{ \left(p + \frac{v^2 a}{V_2^2} \right) (V_2 - vb) - \left(p + \frac{v^2 a}{V_1^2} \right) (V_1 - vb) \right\} + av \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right):$

5.86. $U = v \left(C_V T - \frac{va}{V} \right):$

5.87. $S = \nu C_V \ln T + \nu R \ln \frac{V-vb}{v} + \nu S_0:$

5.88. $C_p - C_V = \frac{\nu R}{1 - \frac{2a(V-vb)^2}{RTV^3}}$: Իդեալական գազի համար $a = 0$ և կունենանք

$C_p - C_V = \nu R:$

5.89. ա) $T(V - vb)^{R/C_V} = \text{const};$ բ) $\left(p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) (V - vb)^{\frac{C_V + R}{C_V}}$: Այս գազի համար $C_V + R \neq C_p$:

5.90. $T(V - vb)^{n-1} = \text{const}$, որտեղ $n = 1 + \frac{R}{C_V - C}$:

Օգտագործված գրականություն

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики.Т.1. Механика. М. Наука, 1974. 520с.
- 2.Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 309с.
3. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы.М. БИНОМ. Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 208с.
- 4.Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М. Наука. 1982. 432с.
5. Яворский Б.М, Пинский А.А. Основы физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика.М. Физматлит. 2003. 576с.
6. Դ.Հ.Բաղդասարյան. Մեխանիկա, մոլեկուլային ֆիզիկա և ջերմադինամիկա (Խնդիրներ, առաջադրանքներ և հարցեր): <<Նահապետ>>հրատարակչություն. Երևան 2003:
7. Դ.Հ.Բաղդասարյան: Ֆիզիկայի ընդհանուր դասընթացի տեղեկագիրը: ԷԴԻՏ-ՊՐԻՆՏ հրատարակչություն 2019:
8. Д.А. Багдасарян, А.А. Сабирзянов. Сборник задач и вопросов по механике и молекулярной физике. Екатеринбург -2013г.
9. Задачи по физике/ И.И. Воробьев, П.И. Зубков и др. Под редакцией О.Я. Савченко.М. Наука, 1988. 416с.
- 10.Кашина С.И. Сезонов Ю.И. Сборник задач по физике. М. Высшая школа. 1983. 207с.
- 11.Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М. Наука. 1990.400с.
12. Ռ.Հովհաննիսյան և ուրիշներ: Ֆիզիկայի խնդիրների և հարցերի ժողովածու. 9-10. Երևան. Լույս. 2006: 230էջ:
- 13.Пинский А.А. Задачи по физике. М. Наука, 1977. 288с.
- 14.Чертов А.Г., Ворпбьев А.А. Задачи по физике. М. Физматлит, 2005. 640с.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ

I. Որոշ մաթեմատիկական առնչություններ և ինտեգրալներ

1. $ax^2 + bx + c = 0$ քառակուսի հավասարման արմատները՝

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a};$$

2. Եռանկյունաչափական բանաձևեր

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$ $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$ $\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$
$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$	$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$ $\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$
$\sin(\pm \alpha) = \pm \sin \alpha$ $\sin(\pi/2 \pm \alpha) = \cos \alpha$ $\sin(\pi \pm \alpha) = \mp \sin \alpha$ $\sin(3\pi/2 \pm \alpha) = -\cos \alpha$ $\cos(\pm \alpha) = \cos \alpha$ $\cos(\pi/2 \pm \alpha) = \mp \sin \alpha$ $\cos(\pi \pm \alpha) = -\cos \alpha$ $\cos(3\pi/2 \pm \alpha) = \pm \sin \alpha$	$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$ $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$

3. Մի քանի մոտավոր բանաձևեր ($x \ll 1$)

$$(1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx; \quad \frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \mp x; \quad \sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2}; \quad \frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} \approx 1 \mp \frac{x}{2};$$

$$e^{\pm x} \approx 1 \pm x; \quad \ln(1 \pm x) \approx \pm x; \quad \sin x \approx x; \quad \cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}; \quad \operatorname{tg} x \approx x:$$

4. Որոշ ինտեգրալներ.

$$\begin{aligned}
 1. \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx &= \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}; & \int_0^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}: \\
 2. \int_0^{\infty} x^2 e^{-\alpha x^2} dx &= \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha^3}}; & \int_0^{\infty} x^3 e^{-\alpha x^2} dx &= \frac{1}{2\alpha^2}: \\
 3. \int_0^{\infty} x^{2n} e^{-\alpha x^2} dx &= \frac{(2n-1)!}{2^{n+1}} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha^{2n+1}}}; & \int_0^{\infty} x^{2n+1} e^{-\alpha x^2} dx &= \frac{n!}{2 \cdot \alpha^{n+1}}: \\
 4. \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \cos \omega \tau d\omega &= \delta(\tau); & \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos \omega \tau}{1 + \omega^2 T^2} d\omega &= \frac{\pi}{T} e^{-|\tau|/T}: \\
 5. \int_0^{\infty} \cos \omega t e^{-\alpha^2 t^2} dt &= \frac{\sqrt{\pi}}{2\alpha} e^{-\frac{\omega^2}{\alpha^2}}; & \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin^2 y}{y^2} dy &= \pi:
 \end{aligned}$$

I I. Մի շարք նյութերի ֆիզիկական հատկությունները

1. Մի քանի պինդ նյութերի խտությունը (գ/սմ³)

Ալմաստ	3,5	Կադմիում	8,65	Պլատին	21,5
Այրումին	2,7	Կապար	11,3	Պղինձ	8,9
Անագ	7,4	Կոբալտ	8,9	Սառույց	0,9
Արծաթ	10,5	Մոլիբդեն	10,2	Վոլֆրամ	19,1
Երկաթ	7,8	Նիկել	8,9	Տիտան	4,5
Ցինկ	7,0	Ոսկի	19,3	Ուրան	19,0

2. Մի քանի հեղուկների խտությունը (10³ կգ/մ³)

Բենզին	0,7	Մեթիլ	13,6	Բենզոլ	0,9
Կերոսին	0,8	Սպիրտ	0,79	Գլիցերին	1,2

3. Մի քանի գազերի խտությունը ($P=1$ մթն, $T=273$ Կ, կգ/մ³)

Ազոտ	1,25	Թթվածին	1,43	Հելիում	0,18
Ամոնիակ	0,77	Մեթան	0,72	Նեոն	0,9
Ջրածին	0,09	Ածխաթթու գազ	1,98	Կրիպտոն	3,74
Օդ	1,29	Քլոր	3,21	Քսենոն	5,85

4. Մածուցիկության գործակից ($t = 20^{\circ}C$)

Նյութ	η , մՊա·վ	Նյութ	η , մՊա·վ
Ազոտ	0,017	Գլիցերին	1490
Ջուր	1,0	Կաստորական յուղ	990
Օդ	0,018	Էթիլային սպիրտ	1,2

5. Գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից

$(t = 20^{\circ}C)$			
Նյութ	α , $10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	Նյութ	$10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$
Ալյումին	24	Պողպատ	11
Պղինձ	17	Ապակի	10

6. Ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից

$(t = 20^{\circ}C)$			
Նյութ	β , $10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$	Նյութ	β , $10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$
Ջուր	2,1	Սնդիկ	1,8
Գլիցերին	5,0	Էթիլային սպիրտ	11

9. Տեսակարար ջերմունակություն

Նյութը	c , Ջ/կգ·Կ	Նյութը	Ջ/կգ·Կ
Ջուր	4200	Պղինձ	380
Ջրային գոլ.	2100	Անագ	200
Էրկաթ	460	Սնդիկ	140
Սառույց	2100	Կապար	130

10. Հալման ջերմաստիճան

Նյութը	$t, ^\circ C$	Նյութը	$t, ^\circ C$
Ազոտ	-196	Պղինձ	1083
Ալյումինում	660	Անագ	232
Ջուր	0	Սնդիկ	-39
Վոլֆրամ	3380	Կապար	327
Երկաթ	1535	Սպիրտ էթիլ.	-114

11. Հալման տեսակարար ջերմություն

Նյութը	λ , կՋ/կգ	Նյութը	λ , կՋ/կգ
Ալյումինում	400	Պղինձ	210
Երկաթ	280	Անագ	60
Սառույց	330	Կապար	25

12. Ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը

$t, ^\circ C$	r , ՄՋ/կգ	$t, ^\circ C$	r , ՄՋ/կգ
0	2,50	200	1,94
20	2,45	300	1,40
100	2,26	374	0

13. Արման տեսակարար ջերմություն

Նյութը	c , ՄՋ/կգ	Նյութը	c , ՄՋ/կգ
Բենզին	45	Կերոսին	45
Փայտածուխ	31	Մեթան	35

14. Ջերմհաղորդականության գործակից ($t = 20^{\circ}C$)

Նյութը	λ , Վտ/(մ·Կ)	Նյութը	λ , Վտ/(մ·Կ)
Ազոտ	0,024	Սառույց	2,2
Ալյումին.	210	Պղինձ	390
Զուր	0,6	Արծաթ	420
Երկաթ	75	Պողպատ	45

15. Մոլեկուլներ էֆեկտիվ տրամագիծը

Նյութը	d , նմ	Նյութը	d , նմ
Ազոտ	0,32	Հելիում	0,20
Արգոն	0,35	Թթվածին	0,30
Զուր	0,30	Ածխաթթու գազ	0,33
Զրածին	0,25		

16. Հագեցած ջրային գոլորշու ճնշումը

t , $^{\circ}C$	p , կՊա	t , $^{\circ}C$	<u>p, կՊա</u>	t , $^{\circ}C$	<u>p, կՊա</u>
-10	0,26	12	1,40	50	12,3
-5	0,40	14	1,60	60	19,8
0	0,61	16	1,81	70	31,1
2	0,71	18	2,07	80	47,2
4	0,81	20	2,34	90	70,0
6	0,93	25	3,17	100	101
8	1,07	30	4,24	150	486
10	1,23	40	7,33	200	1550

17. Վան-դեր-Վաալսի հաստատուններն ու կրիտիկական պարամետրերը

Նյութը	$T_{\text{кр}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$p_{\text{кр}}, \text{ ՄՊա}$	$a,$ $\text{Պա}\cdot\text{մ}^6/\text{մոլ}^2$	$b,$ $\text{մ}^3/\text{մոլ}$
Ազոտ	126	3,4	0,14	39
Արգոն	151	4,9	0,13	32
Ջուր	647	22	0,55	30
Ջրածին	33	1,3	0,024	27
Հելիում	5,2	0,23	0,0034	23
Թթվածին	154	5,0	0,14	32
Ածխաթթու գազ	304	7,4	0,36	43

18. Մակերևութային լարվածության գործակից ($t = 20^\circ\text{C}$)

Նյութը	$\sigma, \text{ մՆ/մ}$	Նյութը	$\sigma, \text{ մՆ/մ}$
Ջուր	73	Օճառաջուր	40
100°C -ի ջուր	59	Սնդիկ	480
Կերոսին	24	Սպիրտ էթիլ.	22

19. Ֆիզիկական հիմնարար հաստատուններ

Լույսի արագությունը վակուումում	$c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ
Գրավիտացիոն հաստատունը	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Ն·մ ² /կգ ²
Ավոգադրոյի թիվը	$N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ մոլ ⁻¹
Գազային ունիվերսալ հաստատունը	$R = 8,314$ Ջ/(Կ·մոլ)
Բոլցմանի հաստատունը	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ
Տարրական լիցքը	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ
Զանգվածի ատոմական միավորը	$m = 1,66 \cdot 10^{-27}$ կգ

20. Տասնորդական բազմապատիկ նախաձանցներ

Էքսա	Է	10^{18}	Կիլո	կ	10^3	Միլի	մ	10^{-3}
Պետա	Պ	10^{15}	Հեկտո	հ	10^2	Միկրո	մկ	10^{-6}
Տերա	Տ	10^{12}	Դեկա	դա	10^1	Նանո	ն	10^{-9}
Գիգա	Գ	10^9	Դեցի	դ	10^{-1}	Պիկո	պ	10^{-12}
Մեգա	Մ	10^6	Սանտի	ս	10^{-2}	Ֆեմտո	ֆ	10^{-15}

Բաղդասարյան Դավիթ Հակոբի
(ԵՊՀ ֆիզիկայի ինստիտուտի դոցենտ)

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԴԱՍԸՆԹԱՑ
(Խնդիրներ, հարցեր և պնդումներ)

Մաս II

ՍՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ ԵՎ
ԶԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ
(Ուսումնական ձեռնարկ)

Baghdasaryan Davit
(Associate Professor at the YSU Institute of Physics)

GENERAL COURSE OF PHYSICS
(Problems, Questions, and Statements)

Part II
MOLECULAR PHYSICS AND
THERMODYNAMICS
(Textbook)

