

Ի. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ե.Բ. ԴԱՆՅԱՆ,
Վ. Ի. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Վ.Ա. ԹՈՒՄՅԱՆ

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ
ՆԱՄԱՆԱՐԱՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ի. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ե. Բ. ԴԱԼՅԱՆ,
Վ. Ի. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Վ. Ա. ԹՈՒՄՅԱՆ

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ

Երկրորդ լրամշակված հրատարակություն

ԵՐԵՎԱՆ
ԵՊՀ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
2020

ՀՏԴ 539.1(07)

ԳՄԴ 22.36g7

Մ 860

Հրատարակության է երաշխավորել ԵՊՀ ֆիզիկայի
ֆակուլտետի գիտական խորհուրդը:

Գրախոսներ՝ ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, պրոֆ. **Ռ. Մ. Ավագյան**
ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ. **Խ. Վ. Ներկարարյան**

Մ 860 Մոլեկուլային ֆիզիկայի խնդիրների ժողովածու:
Ուսումնական ձեռնարկ / Ի. Վ. Վարդանյան, Ե. Բ. Դալյան,
Վ. Ի. Վարդանյան, Վ. Ա. Թումյան: Երկրորդ լրամշակված
հրատարակություն: –Եր.: ԵՊՀ հրատ., 2020, 196 էջ:

Խնդրագիրքը կազմված է «Մոլեկուլային ֆիզիկա» դասընթացի ծրագրին համապատասխան: Այն պարունակում է տարբեր բարդության շուրջ 800 խնդիր, որոնցից առավել բարդերն ուղեկցվում են ցուցումներով և լուծումներով:

Խնդրագիրքը նախատեսված է ԵՊՀ բնագիտական ֆակուլտետների ուսանողների համար: Այն կարող է օգտակար լինել նաև այլ բուհերի՝ բնագիտական ուղղվածություն ունեցող ֆակուլտետների ուսանողների համար:

ՀՏԴ 539.1(07)

ԳՄԴ 22.36g7

ISBN 978-5-8084-2454-8

© ԵՊՀ հրատարակչություն, 2020

© Հեղինակների կոլեկտիվ, 2020

I. ԻՌԵԱԼԱԿԱՆ ԳԱԶ

1. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը՝

$$P = nkT,$$

որտեղ P -ն ճնշումն է, n -ը՝ մոլեկուլների թիվը միավոր ծավալում, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, $k = R / N_A$ -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, N_A -ն՝ Ավոգադրոյի թիվը:

$$PV = \nu RT,$$

որտեղ V -ն ծավալն է, $\nu = m / \mu$ -ն՝ գազի մոլերի թիվը, m -ը՝ գազի զանգվածը, μ -ն՝ մեկ մոլ գազի զանգվածը, R -ը՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը:

2. Բոյլ-Մարիոտի օրենքը՝

$$PV = \text{const}; m, T = \text{const}:$$

3. Շառլի օրենքը՝

$$P / T = \text{const}; m, V = \text{const}:$$

4. Գեյ-Լյուսակի օրենքը՝

$$V / T = \text{const}; m, P = \text{const}:$$

5. Գազերի խառնուրդի համար Մենդելեև-Կլապերոնի հավասարումը՝

$$PV = (m_1 / \mu_1 + m_2 / \mu_2 + \dots + m_n / \mu_n) RT:$$

6. Գազերի խառնուրդի մեկ մոլի պայմանական զանգվածը՝

$$\mu = \frac{1}{\frac{m_1}{m} \frac{1}{\mu_1} + \frac{m_2}{m} \frac{1}{\mu_2} + \dots + \frac{m_n}{m} \frac{1}{\mu_n}},$$

որտեղ m_i -ն i -րդ բաղադրիչի զանգվածն է, m -ը՝ ամբողջ խառնուրդի զանգվածը, μ_i -ն՝ i -րդ բաղադրիչի մեկ մոլի զանգվածը:

7. Դալտոնի օրենքը գազերի խառնուրդի ճնշման համար՝

$$P = \sum_{i=1}^n P_i:$$

1.1. Ո՞րն է նյութի հատկությունների մոդելային ուսումնասիրության էությունը:

1.2. Ի՞նչ է արտահայտում վիճակի հավասարումը:

1.3. Ի՞նչ ենթադրությունների դեպքում և ո՞ր պայմաններում գազը կարելի է դիտարկել որպես իդեալական:

1.4. Ո՞րն է Դալտոնի օրենքի իմաստը: Ի՞նչ պայմաններում է այն

իրականանում:

1.5. Γ^0 նշ կապ կա ճնշման և կոնցենտրացիայի միջև:

1.6. Ո՞ր պարամետրերն են կապում Մենդելև-Կլապեյրոնի հավասարումը:

1.7. μ մոլյար զանգվածով իդեալական գազի զանգվածը m է: Գրել գազի վիճակի հավասարումը՝ որպես պարամետրեր օգտագործելով P -ն, V -ն, T -ն և՝ 1) մոլերի μ քանակը, 2) մասնիկների N թիվը, 3) n կոնցենտրացիան, 4) գազի ρ խտությունը, 5) մոլեկուլների համընթաց շարժման E միջին էներգիան, 6) մոլեկուլների համընթաց շարժման միջին էներգիայի ρ_E խտությունը:

1.8. Կարելի՞ է արդյոք օգտագործել Դալտոնի օրենքը գազային խառնուրդի մեծ խտության դեպքում:

1.9. Կարելի՞ է արդյոք օգտագործել Դալտոնի օրենքը թթվածնի և ջրածնի խառնուրդի համար:

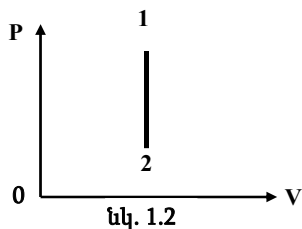
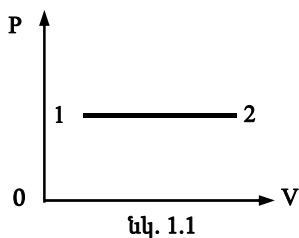
1.10. Հաստատուն ջերմաստիճանում գազի կոնցենտրացիան 2 անգամ նվազում է: Գազի n ՞-ը պարամետրերն են փոփոխության ենթարկվում:

1.11. Ինչպե՞ս է փոխվում գազի կոնցենտրացիան իզոթերմ, իզոբար և իզոխոր պրոցեսներում:

1.12. Համեմատել 6 գ ջրածնում (H_2) և 32 գ (O_2) թթվածնում եղած մոլեկուլների քանակը:

1.13. (P, V) դիագրամում գծել T ջերմաստիճանում m զանգվածով իդեալական գազի իզոթերմ պրոցեսի գրաֆիկը: Ինչպե՞ս կփոխվի գրաֆիկի տեսքը, եթե նույն զանգվածով գազի իզոթերմ ընդարձակումը կատարվի ավելի բարձր T ջերմաստիճանում: Ի՞նչ տեսք կունենա գրաֆիկը, եթե՝ ա) պրոցեսին մասնակցի m զանգվածից ավելի մեծ m_1 զանգվածով նույն T ջերմաստիճանի գազ, բ) նույն T ջերմաստիճանում պրոցեսին մասնակցի նույն m զանգվածով ավելի մեծ μ_1 մոլային զանգվածով գազ:

1.14. Նկ. 1.1-ում պատկերված է իդեալական գազի իզոբար անցումը 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակի: Վիճակներից որի՞ն է համապատասխանում ավելի բարձր ջերմաստիճան: Ինչպե՞ս կփոխվի գրաֆիկի տեսքը, եթե նույն սկզբնական ծավալի և ջերմաստիճանի դեպքում ավելի մեծ զանգվածով գազի հետ կատարվի իզոբար պրոցես:



1.15. Նկ. 1.2-ում պատկերված է իդեալական գազի իզոխոր անցումը 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակի: Վիճակներից որի^օն է համապատասխանում ավելի բարձր ջերմաստիճան: Ինչպե՞ս կփոխվի գրաֆիկի տեսքը, եթե նույն սկզբնական ճնշման և ջերմաստիճանի դեպքում ավելի մեծ զանգվածով գազի հետ կատարվի իզոխոր պրոցես:

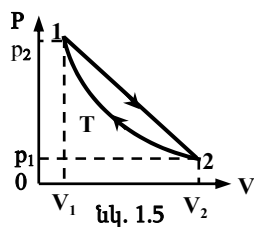
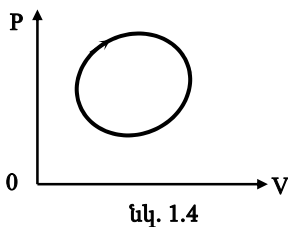
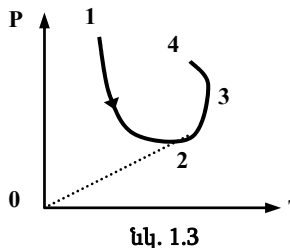
1.16. Պատկերել իդեալական գազի ρ խտության կախումը T ջերմաստիճանից իզոբար, իզոխոր և իզոթերմ պրոցեսների համար:

1.17. Ինչպե՞ս է փոխվում հաստատուն զանգվածով իդեալական գազի ծավալը նկ. 1.3-ում պատկերված պրոցեսում:

1.18. Հավասար ծավալներով երկու օդապարիկներ լցված են նույն ճնշումն ունեցող գազերով. մեկը՝ ջրածնով, իսկ մյուսը՝ հելիումով: Ո՞ր օդապարիկի վերամբարձ ուժն է մեծ և քանի՞ անգամ:

1.19. Որոշել, թե սնդիկի քանի մոլեկուլ է պարունակվում $V = 1$ սմ³ օդում $t = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում, եթե սնդիկի գոլորշու ճնշումն այդ ջերմաստիճանում՝ $P = 0.645$ Պա:

1.20. (P, V) դիագրամում պատկերված է իդեալական գազի հետ կատարվող շրջանային պրոցես (նկ. 1.4): Կառուցումով որոշել այն A վիճակը, որում գազի ջերմաստիճանը նվազագույնն է, և B վիճակը, որում գազի ջերմաստիճանն առավելագույնն է: Որոշել այն հատվածները, որտեղ ջերմաստիճանն աճում և նվազում է:



1.21. Նկ. 1.5-ում պատկերված են իդեալական գազի հետ կատարվող երկու պրոցեսներ: Պրոցեսներից մեկը T ջերմաստիճանի իզոթերմ է: Գրաֆիկորեն որոշել ջերմաստիճանի փոփոխությունը երկրորդ պրոցեսի ընթացքում:

1.22. Բարոմետրական խողովակն ընկղմված է սնդիկով լի անոթի մեջ, ըստ որում՝ սնդիկի մակարդակները խողովակում և անոթում համընկնում են, իսկ օդի սյան բարձրությունը հավասար է L -ի: Խողովակը սնդիկից հանում են L -ով: Որքա՞ն կբարձրանա սնդիկը խողովակում, եթե արտաքին ճնշումը H մմ ս. ս. է:

1.23. Ցույց տալ, որ եթե x, y, z մեծությունները կապված են

$$f(x, y, z) = 0 \text{ ֆունկցիոնալ հավասարումով, ապա նրանց } \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z,$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x, \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y \text{ մասնակի ածանցյալները բավարարում են}$$

$$\text{հետևյալ առնչությանը՝ } \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y = -1:$$

1.24. Իդեալական գազի համար հաշվել $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ ծավա-

լային ընդարձակման գործակիցը, $\lambda = \frac{1}{P_0} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$ ճնշման ջերմաս-

տիճանային գործակիցը, $\gamma = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$ իզոթերմ սեղմելիությունը և

$$k_T = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \text{ ծավալային առաձգականության իզոթերմ մոդուլը:}$$

1.25. Ապացուցել, որ համասեռ և իզոտրոպ մարմնի համար α ծավալային ընդարձակման, λ ճնշման ջերմաստիճանային և γ իզոթերմ սեղմելիության գործակիցները կապված են $V_0 \alpha = \lambda P_0 \gamma$ առնչությամբ, որտեղ V_0 -ն և P_0 -ն համապատասխանաբար մարմնի ծավալն ու ճնշումն են 0°C -ում:

1.26. Հորիզոնական գլանը բաժանված է երկու հավասար մասերի առանց շփման շարժվող մխոցով: Որոշել մխոցի դիրքը, եթե գլանի մի մասը լցված է թթվածնով, իսկ մյուսը՝ նույն գանգվածով ջրածնով: Գլանի երկարությունը՝ $L = 85$ սմ, $T = \text{const}$:

1.27. Մի ծայրը փակ բարակ ապակե խողովակում կա օդ, որը մթնոլորտից բաժանված է $h = 2$ սմ երկարությամբ սնդիկի սյունով: Երբ խողովակը բաց ծայրով ուղղված է դեպի ներքև, օդի սյան երկարությունը՝ $L_1 = 0.39$ մ, իսկ երբ խողովակը բաց ծայրով ուղղված է դեպի վեր, օդի սյան երկարությունը՝ $L_2 = 0.37$ մ: Հաշվի առնելով, որ օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 5^\circ\text{C}$, որոշել մթնոլորտային ճնշումը:

1.28. Լ երկարությամբ գլանաձև խողովակը կիսով չափ ընկղմված է սնդիկի մեջ: Բաց ծայրը մատով փակելով՝ այն հանում են սնդիկից: Սնդիկի մի մասը թափվում է խողովակից: Որոշել խողովակում մնացած սնդիկի սյան բարձրությունը: Մթնոլորտային ճնշումը H մմ ս. ս. է:

1.29. H_0 մմ ս. ս. բարոմետրական ճնշման և T_0 բացարձակ ջերմաստիճանի դեպքում մանոմետրի փակ ծնկում գտնվող L երկարությամբ օդի սյան ճնշումը հավասարակշռում է սնդիկի h բարձրությունը: Սնդիկի ինչ բարձրություն կհավասարակշռի օդի այդ ճնշումը H_1 մմ ս. ս. բարոմետրական ճնշման և T_1 ջերմաստիճանի դեպքում:

1.30. Լ երկարությամբ բարոմետրական խողովակի մեջ թափանցում է օդի պղպջակ, որի պատճառով սնդիկի սյան երկարությունը կարճանում է: H մմ ս. ս. նորմալ մթնոլորտային ճնշման դեպքում, t_1 ջերմաստիճանում այն ցույց էր տալիս h_1 ճնշում: Որոշել սխալի P_1 արտահայտությունը, որը գումարելով բարոմետրի ցուցմունքին՝ կարելի է ցանկացած t ջերմաստիճանում ստանալ ճիշտ ցուցմունքներ՝ սնդիկի սյան ցանկացած h բարձրության համար:

1.31. Էլեկտրական լամպը, որի ծավալը՝ $V = 500$ սմ³, լցված է $P = 600$ մմ ս. ս. ճնշում ունեցող ազոտով: Որքա՞ն ջուր կանցնի լամպի մեջ, եթե ջրում լամպի ներքևի մասում մի փոքր անցք բացենք: Մթնոլորտային ճնշումը համարել նորմալ:

1.32. Որոշել $m_1, m_2, \dots, m_n$ զանգվածներով և $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ մոլային զանգվածներով գազերի խառնուրդի μ մոլային զազվածը:

1.33. Փակ անոթում լցված է $m_1 = 100$ գ ածխաթթու գազի և $m_2 = 150$ գ ազոտի խառնուրդ: Որոշել խառնուրդի խտությունը, եթե նրա ջերմաստիճանը՝ $t = 27^\circ\text{C}$, իսկ ճնշումը՝ $P = 760$ մմ ս. ս.: Որքա՞ն կլինի նրա խտությունը 77°C -ում:

1.34. Որոշել $t = 27^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում, $P = 50 \cdot 10^5$ Պա ճնշման տակ գտնվող երկատոմ թթվածնի խտությունը:

1.35. Որոշել մեկ մոլ իդեալական գազի ծավալը, եթե $T = 400$ Կ ջերմաստիճանում նրա ճնշումը՝ $P = 3 \cdot 10^5$ Պա:

1.36. $L = 50$ մ բարձրությամբ ծխնելույզից ծուխը դուրս է գալիս $t_1 = 60^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում: Որոշել ստատիկ ճնշումը ծխնելույզում, եթե արտաքին օդի ջերմաստիճանը՝ $t_2 = -10^\circ \text{C}$: Օդի խտությունը՝ $\rho_0 = 1.29 \cdot 10^{-3}$ գ/սմ³:

1.37. Գազի խտությունը որոշելու համար այն լցնում են V ծավալով անոթի մեջ մինչև H մմ ս. ս. ճնշումը և կշռում: Անոթի զանգվածը լինում է M : Գազի մի մասը բաց են թողնում անոթից, ինչի հետևանքով գազի ճնշումը նվազում է մինչև h մմ ս. ս., իսկ անոթի զանգվածը դառնում է m : Որոշել գազի խտությունը մթնոլորտային ճնշման դեպքում: Ջերմաստիճանը համարել հաստատուն:

1.38. V ծավալով օդապարիկը լցնում են ջրածնով $t_1 = 15^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում: Անփոփոխ մթնոլորտային ճնշման դեպքում արևի ճառագայթման պատճառով ջերմաստիճանը բարձրանում է մինչև $t_2 = 37^\circ \text{C}$, և գազի մի մասը դուրս է գալիս օդապարիկից: Դրա հետևանքով գազի զանգվածը փոքրանում է $\Delta m = 6.05$ կգ-ով: Որոշել օդապարիկի V ծավալը, եթե նորմալ պայմաններում ջրածնի խտությունը՝ $\rho_0 = 8.9 \cdot 10^{-5}$ գ/սմ³:

1.39. V ծավալով անոթում կա օդ, որի ճնշումը P է: Օդային պոմպի օգնությամբ անոթի մեջ օդ են մղում, ինչի հետևանքով ճնշումը դառնում է P_1 : Այնուհետև նույն պոմպի միջոցով օդը դուրս են մղում անոթից մինչև սկզբնական P ճնշումը: Պոմպի ծավալը ΔV է, մթնոլորտային ճնշումը՝ P_0 : Որոշել պոմպի կատարած քայլերի թիվը: Պրոցեսը համարել իզոթերմ:

1.40. Ամեն քայլի ընթացքում պոմպը վերցնում է P_0 մթնոլորտային ճնշում ունեցող $V = 4$ լ օդ, որի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = -3^\circ \text{C}$, և մղում է այն $V_1 = 1.5$ մ³ ծավալով անոթի մեջ, որտեղ ջերմաստիճանը՝ $t_2 = 45^\circ \text{C}$ և պահվում է հաստատուն: Քանի՞ քայլ պետք է կատարի պոմպը, որպեսզի ճնշումն անոթում $\Delta P = 2 \cdot 10^5$ Պա-ով աճի:

1.41. V ծավալով անոթում կա օդ, որի սկզբնական ճնշումը հավասար է P_0 մթնոլորտային ճնշմանը: Մխոցային պոմպի օգնությամբ նախ դուրս են մղում որոշակի քանակությամբ օդ, այնուհետև նորից նրա մեջ օդ են մղում՝ երկու դեպքում էլ կատարելով նույն n

թվով քայլերը: Ամեն մի քայլի ժամանակ պոմպը դուրս կամ ներս է մղում V_0 ծավալով օդ: Որոշել օդի ճնշումն անոթում $2n$ քայլերից հետո:

1.42. Վակուումային պոմպի արագություն ասելով հասկանում են միավոր ժամանակում դուրս մղված գազի ծավալը՝ $K = dV/dt$: Ժամանակի ցանկացած պահի այն կախված է պոմպում եղած ճնշումից: K -ն համարելով հաստատուն՝ որոշել V_0 ծավալով անոթում եղած գազի ճնշման կախումը ժամանակից, եթե գազի սկզբնական ճնշումը P_0 է, իսկ ջերմաստիճանը՝ T :

1.43. Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի, որպեսզի $V = 5$ լ ծավալով անոթից պոմպի օգնությամբ օդի մի մասը հանելուց հետո ճնշումը փոքրանա նորմալից՝ $P_0 = 760$ մմ ս. ս., մինչև $P = 10^{-2}$ մմ ս. ս., եթե այդ պոմպով օդի դուրսամղման արագությունը՝ $K = dV/dt = 150$ սմ³/վրկ:

1.44. $V = 30$ լ ծավալով անոթը պարունակում է $t_2 = 0^\circ C$ ջերմաստիճանի իդեալական գազ: Ջերմաստիճանն անփոփոխ պահելով՝ գազի մի մասը դուրս են մղում անոթից, ինչի հետևանքով ճնշումը նվազում է $\Delta P = 0.78$ մթ.-ով: Որոշել դուրս մղված գազի զանգվածը: Նորմալ պայմաններում գազի խտությունը՝ $\rho = 1.3$ գ/լ:

1.45. Երկու հավասար ծավալներով անոթներ, որոնցից մեկը դատարկ է, իսկ մյուսը պարունակում է $P_1 = 1$ մթ. ճնշմամբ և $t_1 = 27^\circ C$ ջերմաստիճանի իդեալական գազ, միացված են իրար փական ունեցող խողովակով: Փականը բացվում է $\Delta P \geq 1.1$ մթ. ճնշումների տարբերության դեպքում: Անոթները տաքացնում են մինչև $t_2 = 107^\circ C$: Որոշել գազի ճնշումն այն անոթում, որը դատարկ էր:

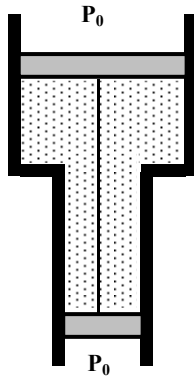
1.46. Երկու միանման հորիզոնական թիթեղների միջև կա μ մոլային զանգվածով և P ճնշումով իդեալական գազ: Գազի ջերմաստիճանը գծայնորեն աճում է ստորին թիթեղի T_1 ջերմաստիճանից մինչև վերին թիթեղի T_2 ջերմաստիճանը: Թիթեղների միջև եղած գազի ծավալը V է: Որոշել գազի զանգվածը:

1.47. $V = 20$ լ ծավալով անոթում $t = 20^\circ C$ ջերմաստիճանում և $P = 2$ մթ. ճնշման տակ կա ջրածնի և հելիումի խառնուրդ: Խառնուրդի զանգվածը՝ $m = 5$ գ: Որոշել խառնուրդում ջրածնի և հելիումի զանգվածների հարաբերությունը:

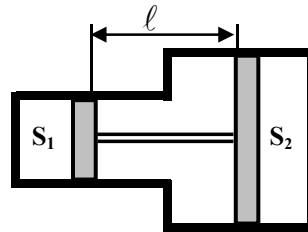
1.48. Ուղղաձիգ, երկու ծայրերը փակ խողովակը առանց շփման

շարժվող ծանր մխոցով բաժանված է երկու մասի, որոնցում կա մեկական մոլ օդ: $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում խողովակի վերին և ստորին մասերում գտնվող գազերի ծավալների հարաբերությունը՝ $\eta = 4$: Ո՞ր ջերմաստիճանում այդ հարաբերությունը կլինի՝ $\eta' = 3$:

1.49. Երկու կողմից բաց խողովակում գտնվում են մխոցներ (նկ. 1.6), որոնք միացված են չձգվող թելով: Մխոցների միջև կա մեկ մոլ իդեալական գազ: Վերին մխոցի կտրվածքի մակերեսը $\Delta S = 10$ սմ²-ով մեծ է ստորինից: Մխոցների ընդհանուր զանգվածը՝ $m = 5$ կգ: Արտաքին օդի ճնշումը՝ $P_0 = 1$ մթ.: Քանի՞ աստիճանով պետք է տաքացնել գազը, որպեսզի մխոցները տեղաշարժվեն $L = 5$ սմ-ով: Շփումն անտեսել:



նկ. 1.6



նկ. 1.7

1.50. Նկ. 1.7-ում պատկերված անոթի մխոցների միջև կա իդեալական գազ: Մխոցների մակերեսները համապատասխանաբար S_1 և S_2 են, զանգվածները՝ m_1 և m_2 : Մխոցները միացված են l երկարությամբ կոշտ ձողով և գտնվում են գլանների միացման գծից հավասար հեռավորությունների վրա: Համակարգի ջերմաստիճանը բարձրացվում է ΔT -ով, ինչի հետևանքով մխոցները տեղաշարժվում են Δl -ով: Մթնոլորտային ճնշումը նորմալ է: Քանի՞ մոլ գազ կա մխոցների միջև:

1.51. Գազը $t = 20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում և $980 \cdot 10^9$ Պա ճնշման տակ զբաղեցնում է $V = 164$ մ³ ծավալ: Որոշել գազի զբաղեցրած ծավալը նորմալ պայմաններում:

1.52. Որոշել իդեալական գազի առավելագույն ջերմաստիճանը հե-

տևյալ պրոցեսներում՝ ա) $P = P_0 - \alpha V^2$, բ) $P = P_0 e^{-\beta V}$, որտեղ P_0 -ն, α -ն և β -ն դրական հաստատուններ են, իսկ V -ն՝ մոլային ծավալը:

1.53. Որոշել իդեալական գազի նվազագույն ճնշումը, եթե գազի ջերմաստիճանը փոխվում է $T = T_0 + \alpha V^2$ օրենքով, որտեղ T_0 -ն և α -ն դրական հաստատուններ են, V -ն՝ մոլային ծավալը:

1.54. Անոթը կշիռ չունեցող A և B մխոցներով բաժանված է 3 մասի, որոնց ճնշումները և ծավալները տրված են նկ. 1.8-ում: Մխոցների հաշվարկային տալուց հետո նրանք սկսում են շարժվել և կանգ են առնում: Որոշել յուրաքանչյուր մասի ճնշումը և ծավալը մխոցների կանգ առնելուց հետո: Ջերմաստիճանը համարել հաստատուն:

P_1, V_1	A B
P_2, V_2	
P_3, V_3	

նկ. 1.8

1.55. μ մոլային զանգվածով իդեալական գազը գտնվում է ծանրության ուժի համասեռ դաշտում, որտեղ ազատ անկման արագացումը g է: Որոշել ճնշման կախումը h -ից, եթե $h = 0$ բարձրության վրա $P = P_0$, իսկ ջերմաստիճանը, կախված բարձրությունից, փոխվում է $T = T_0 (1 - \alpha h)$ օրենքով, որտեղ $\alpha > 0$:

1.56. Որոշել մթնոլորտային ճնշման կախումը բարձրությունից, եթե ջերմաստիճանը փոխվում է $T = T_0 (1 + \alpha h)$ օրենքով, որտեղ $\alpha > 0$: $h = 0$ բարձրության վրա համարել, որ $P = P_0$:

1.57. Ազոտ պարունակող բարձր գլանաձև անոթը գտնվում է ծանրության ուժի համասեռ դաշտում, որտեղ ազատ անկման արագացումը g է: Բարձրությունից կախված՝ ազոտի ջերմաստիճանը փոխվում է այնպես, որ գազի խտությունն ամենուր մնում է նույնը: Որոշել ջերմաստիճանի փոփոխությունը՝ կախված բարձրությունից:

1.58. Հիմքի S մակերեսով և h բարձրությամբ ուղղաձիգ բարձր գլանաձև անոթը պարունակում է μ մոլային զանգվածով իդեալական գազ: Գազի ջերմաստիճանը T է, իսկ ճնշումը անոթի հատակին՝ P_0 : Որոշել գազի զանգվածը անոթում: Համարել, որ գազի ջերմաստիճանը և ազատ անկման արագացումը կախված չեն բարձրությունից:

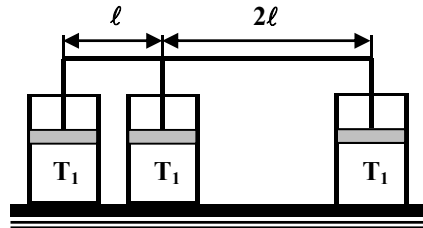
1.59. g ազատ անկման արագացումով ծանրության ուժի համասեռ դաշտում գտնվում է շատ բարձր ուղղաձիգ գլանաձև անոթ: Այն

պարունակում է μ մոլային զանգվածով իդեալական գազ, որի T ջերմաստիճանը նույնն է անոթի բոլոր կետերում: Որոշել գազի ծանրության կենտրոնի բարձրությունը:

1.60. $V_1 = 250$ սմ³ և $V_2 = 400$ սմ³ ծավալներով օդ պարունակող երկու անոթներ միացված են փական ունեցող մագանթով: Անոթները տեղադրված են $t_1 = 100^\circ\text{C}$ և $t_2 = -20^\circ\text{C}$ ջերմաստիճաններով թերմոստատներում: Մինչև փականի բացելը ճնշումները անոթներում՝ համապատասխանաբար $P_1 = 400$ մմ ս. ս. և $P_2 = 150$ մմ ս. ս.: Որոշել ճնշումներն անոթներում փականը բացելուց հետո, եթե անոթների ջերմաստիճանները չեն փոխվում:

1.61. V_1 և V_2 ծավալներով երկու ջերմամեկուսացված անոթներ միացված են փական ունեցող կարճ խողովակով: Դրանք պարունակում են ν_1 և ν_2 մոլ տարբեր գազեր, որոնց ազատության աստիճանների թվերը համապատասխանաբար i_1 և i_2 են, իսկ ջերմաստիճանները՝ T_1 և T_2 : Փականը բացելուց հետո գազերը խառնվում են: Որոշել խառնուրդի T ջերմաստիճանը և P ճնշումը:

1.62. Երեք միանման գլանների միացները միմյանց միացած են կոշտ ձողով (նկ. 1.9): Օղի ծավալները և ջերմաստիճանները գլաններում նույնն են: Մեջտեղի գլանում օղի ճնշումը P է: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի գլաններում, եթե ծայրերի գլաններում ջերմաստիճանն անփոփոխ պահելով՝ մեջտեղինը տաքացնենք մինչև T_2 ջերմաստիճան: Քանի՞ անգամ կփոխվի օղի ծավալը գլաններում: Ձողի բազուկները l և $2l$ են, մթնոլորտային ճնշումը P_0 է: Միացների զանգվածներն անտեսել:



նկ. 1.9

1.63. Որոշել, թե քանի ատոմ ունի թթվածնի մոլեկուլը, եթե $V = 4000$ սմ³ ծավալում $t = 150^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի և $P = 1.373 \cdot 10^5$ Պա ճնշման դեպքում կա $m = 5$ գ թթվածին: Ի՞նչ ճնշում կունենար թթվածինը նույն պայմաններում, եթե նրա մոլեկուլները կազմված լինեին երեք ատոմներից (O_3 – օզոն):

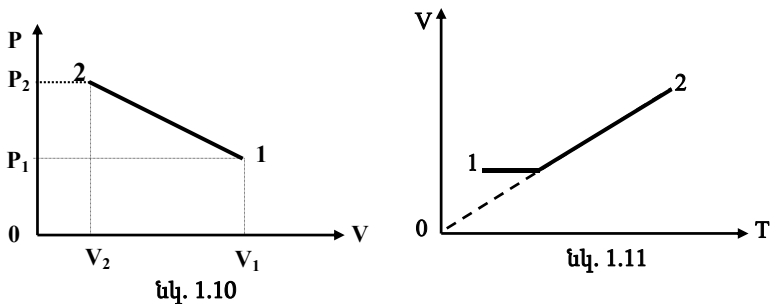
1.64. Ստանալ ամոնիակի մոլեկուլային բանաձևը, եթե $t = 20^\circ\text{C}$

ջերմաստիճանի և $P = 780$ մմ ս. ս. ճնշման դեպքում նրա խտությունը՝ $\rho = 0.736$ կգ/մ³:

1.65. Ի՞նչ ճնշում կունենա $V = 0.5$ լ ծավալով գազային խառնուրդը, եթե այն պարունակում է $N_1 = 10^{15}$ թթվածնի, $N_2 = 4 \cdot 10^{15}$ ազոտի մոլեկուլ և $m_3 = 3.3 \cdot 10^{-7}$ գ արգոն: Խառնուրդի ջերմաստիճանը՝ $t = 127^\circ \text{C}$:

1.66. Փականի անսարքության հետևանքով սեղմված ջրածին պարունակող անոթից գազ է դուրս հոսում: $t_1 = 7^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում մանոմետրը ցույց է տալիս $P_1 = 5 \cdot 10^6$ Պա ճնշում: Որոշ ժամանակ անց, երբ ջերմաստիճանը դառնում է՝ $t_2 = 17^\circ \text{C}$, մանոմետրը ցույց է տալիս նույն ճնշումը: Որոշել դուրս եկած գազի զանգվածը, եթե անոթի ծավալը՝ $V = 10^{-2}$ մ³:

1.67. Ջերմամեկուսացված գլանում՝ միացի տակ, գտնվում է $m = 20$ գ հելիում: Միացի անվերջ դանդաղ տեղափոխությամբ գազը 1-ին վիճակից ($P_1 = 4 \cdot 10^5$ Պա և $V_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ մ³) անցնում է 2-րդ վիճակին ($P_2 = 15.5 \cdot 10^5$ Պա և $V_2 = 9 \cdot 10^{-3}$ մ³): Որոշել գազի ջերմաստիճանի առավելագույն արժեքն այդ պրոցեսում, եթե գազի ճնշումը գծային ֆունկցիա է ծավալից (նկ. 1.10):



1.68. Որոշակի զանգվածով մոլեկուլային ջրածինը $T_1 = 250$ Կ ջերմաստիճանում և $P_1 = 2$ մթ. ճնշման տակ զբաղեցնում է $V_1 = 1$ մ³ ծավալ: Ի՞նչ P_2 ճնշում կունենա նույն զանգվածով ջրածինը $V_2 = 10$ մ³ ծավալի և $T_2 = 500$ Կ ջերմաստիճանի դեպքում, եթե այդ ջերմաստիճանում ջրածնի մոլեկուլները դիսոցվում են ատոմների:

1.69. $V = 5$ լ ծավալով անոթում կա $m = 1.4$ գ ազոտ, որի ջերմաստիճանը՝ $T = 1800$ Կ: Որոշել գազի ճնշումը՝ համարելով, որ նշված

ջերմաստիճանում մոլեկուլների $\eta = 30\%$ -ը դիտարկված է ատոմների:

1.70. Որոշակի զանգվածով թթվածինը շատ դանդաղ մի վիճակից անցնում է մեկ այլ վիճակի, որտեղ նրա խտությունը երկու անգամ փոքր է սկզբնական վիճակում ունեցած խտությունից: Անցումը կատարվում է նկ. 1.11-ում պատկերված պրոցեսների միջոցով: Այդ անցման ընթացքում առավելագույն ճնշումը՝ $P_m = 5P_0$, որտեղ P_0 -ն սկզբնական ճնշումն է: Որոշել՝ ա) ի՞նչ պրոցեսներ են օգտագործվել անցման ընթացքում, բ) առավելագույն ջերմաստիճանը:

1.71. Անոթում կա որոշակի զանգվածով գազ: Գազի մի մասը դուրս են մղում անոթից, ինչի պատճառով նրա ջերմաստիճանը նվազում է n_1 անգամ, իսկ ճնշումը՝ n_2 անգամ: Գազի զանգվածի n_2 մասն է դուրս մղվել անոթից:

1.72. $V = 1$ լ ծավալով անոթը լցված է $t = 27^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ջրով: Ի՞նչ P ճնշում կհաստատվի անոթում, եթե ջրի մոլեկուլների միջև եղած փոխազդեցության ուժերը վերանան:

1.73. $m = 8$ գ թթվածինը զբաղեցնում է $V = 560$ լ ծավալ: Որոշել նույն ծավալում թթվածնի ճնշումը՝ 1) $T_1 = 820$ Կ ջերմաստիճանում, 2) $T_2 = 10$ կԷՎ ջերմաստիճանում, երբ թթվածնի ատոմները լրիվ իոնիզացված են:

1.74. Իդեալական գազ պարունակող V_0 , V_1 և V_2 ծավալներով երեք անոթներ միացված են կարճ բարակ խողովակներով: Սկզբում երեք անոթներն էլ գտնվում էին նույն T_0 ջերմաստիճանում և ունեին P_0 ճնշում: Թողնելով V_0 ծավալով անոթի ջերմաստիճանը անփոփոխ՝ V_1 և V_2 ծավալներով անոթները տաքացնում են մինչև T_1 և T_2 ջերմաստիճանները: Որոշել վերջնական ճնշումը:

1.75. Վերևից և ներքևից փակված ուղղաձիգ գլանի ներսում տեղադրված է շարժական մխոց: Մխոցի վերևում և ներքևում $T_1 = 300$ Կ ջերմաստիճանում հավասար քանակությամբ նույն գազերն են: Մխոցի ներքևի մասի ծավալը $n = 3$ անգամ փոքր է վերևի մասի ծավալից: Ինչպիսի՞ն կլինի այդ ծավալների հարաբերությունը $T = 400$ Կ ջերմաստիճանում: Շփումն անտեսել:

1.76. Անոթում կա $m = 10$ գ թթվածին: Ինչ-որ անվերջ դանդաղ պրոցեսում գազի ջերմաստիճանի և ծավալի կախումը ենթարկվում է հետևյալ օրենքին՝ $T = (4.8V - 1.2 \cdot 10^2 V^2) \cdot 10^4$: Որոշել՝ ա) առա-

վելագույն ջերմաստիճանին համապատասխանող P_m ճնշումը և V_m ծավալը, բ) ճնշումը և ջերմաստիճանը $V_1 = V_m / 2$ ծավալի դեպքում:

1.77. Օդապարիկը պատրաստված է $\delta = 1 \text{ կգ/մ}^2$ մակերևութային խտությամբ նյութից, լցված է նորմալ մթնոլորտային ճնշում ունեցող հեղիումով: Հեղիումի և օդի ջերմաստիճանները նույնն են՝ $T = 273 \text{ Կ}$: Ի՞նչ նվազագույն շառավղի դեպքում օդապարիկը կբարձրանա:

1.78. Ապացուցել, որ ուղղաձիգ փակ գլանաձև անոթի պատերի վրա նրանում պարունակվող իդեալական գազի կոդմից ազդող բոլոր ճնշման ուժերի համագործը գլանի ցանկացած երկարության համար հավասար է գազի կշռին միայն այն դեպքում, երբ գազի խտությունը ենթարկվում է բարոմետրական բանաձևին՝ $\rho = \rho_0 \exp(-\mu g x / RT)$: Գազի ջերմաստիճանը համարել հաստատուն:

1.79. $L = 22 \text{ սմ}$ երկարությամբ հորիզոնական խողովակը պտտվում է իր մեջտեղով անցնող ուղղաձիգ առանցքի շուրջը $\omega = 30 \text{ վ}^{-1}$ հաճախությամբ: Օդի ջերմաստիճանը՝ $t = 16^\circ \text{C}$: Որոշել ճնշումը խողովակի մեջտեղում, եթե խողովակի բաց ծայրերում ճնշումը մթնոլորտային է:

1.80. Մի ծայրը փակ հորիզոնական գլանը պտտվում է ուղղաձիգ առանցքի շուրջը ω հաճախությամբ: Առանցքն անցնում է բաց ծայրով: Արտաքին ճնշումը P_0 է, ջերմաստիճանը՝ T , մոլային զանգվածը՝ μ : Որոշել ճնշման կախումը պտտման առանցքից ունեցած r հեռավորությունից, եթե մոլային զանգվածը կախված չէ r -ից:

1.81. $L = 100 \text{ սմ}$ երկարությամբ երկու կոդմից փակ հորիզոնական խողովակը հաստատուն ω անկյունային արագությամբ պտտվում է ծայրերից մեկով անցնող ուղղաձիգ առանցքի շուրջը: Խողովակում կա $T = 300 \text{ Կ}$ ջերմաստիճանի ածխաթթու գազ: Որոշել ω -ի այն արժեքը, որի դեպքում մոլեկուլների կոնցենտրացիաների հարաբերությունը խողովակի տարբեր ծայրերում՝ $\eta = 2$:

II. ԳԱԶԵՐԻ ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ-ԿԻՆԵՏԻԿ ՏԵՄՈՒԹՅՈՒՆԸ: ՄԱՔՍՎԵԼԻ ԵՎ ԲՈԼՑՄԱՆԻ ԲԱՇԽՈՒՄՆԵՐԸ

1. Գազերի կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$P = \frac{2}{3} n \overline{W} = \frac{2}{3} n \frac{m_o \overline{v^2}}{2} = nkT ,$$

որտեղ n -ը մոլեկուլների կոնցենտրացիան է, $\overline{W}$ -ը՝ m_o զանգվածով մեկ մոլեկուլի համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան, $\sqrt{\overline{v^2}}$ -ը՝ մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը: Միավոր ծավալում մոլեկուլների թիվը (կոնցենտրացիան)՝

$$n = \frac{P}{kT} :$$

Մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան՝

$$\overline{W} = \frac{i}{2} kT ,$$

որտեղ i -ն ազատության աստիճանների թիվն է:

Մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը՝

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} :$$

Անոթի պատի միավոր մակերեսին միավոր ժամանակում զազի մոլեկուլների հարվածների թիվը՝

$$Z = \frac{1}{4} n \langle v \rangle ,$$

որտեղ $\langle v \rangle$ -ն մոլեկուլների միջին արագությունն է:

Մոլեկուլների միջին էներգիան՝

$$\langle \mathcal{E} \rangle = \frac{i}{2} kT ,$$

որտեղ i -ն համընթաց, պտտական ազատության աստիճանների և տատանողական ազատության աստիճանների կրկնապատիկի գումարն է:

2. Մաքսվելի բաշխումը՝

$$dN(v_x) = NF(v_x)dv_x = N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x,$$

$$dN(v) = NF(v)dv = N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 dv:$$

3. Մաքսվելի բաշխումը բերված տեսքով՝

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

որտեղ $u = \frac{v}{v_h}$, v_h -ը ամենահավանական արագությունն է:

$$v_h = \sqrt{2 \frac{kT}{m}}, \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot \frac{kT}{m}}, \quad \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{3 \frac{kT}{m}}:$$

4. Բոլցմանի բաշխումը՝

$$n = n_o \cdot e^{-\frac{(U-U_o)}{kT}},$$

որտեղ U -ն և U_o -ն մոլեկուլի պոտենցիալ էներգիաներն են կամայական և զրոյական մակարդակներում:

5. Բարոմետրական բանաձև՝

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

որտեղ P -ն ճնշումն է h բարձրության վրա, P_o -ն՝ ճնշումը $h=0$ բարձրության վրա:

6. Արագությունից կախված ցանկացած ֆունկցիայի՝ $\phi(v)$ -ի միջին արժեքը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\langle \phi(v) \rangle = \int_0^{+\infty} \phi(v) F(v) dv,$$

որտեղ $F(v)$ -ն Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան է՝ ըստ արագության մոդուլի: Իսկ արագության բաղադրիչի դեպքում $\phi(v_x)$ -ի միջին արժեքը կորոշվի հետևյալ կերպ՝

$$\langle \phi(v_x) \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(v_x) F(v_x) dv_x ,$$

որտեղ $F(v_x)$ -ը Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան է՝ ըստ արագության բաղադրիչի:

7. Պուասոնի ինտեգրալները՝

$$I_{2n}(\alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^{2n} e^{-\alpha x^2} dx = \left| \frac{d^n}{d\alpha^n} \left(\sqrt{\pi} \alpha^{-\frac{1}{2}} \right) \right| ,$$

$$I_{2n+1}(\alpha) = \int_0^{+\infty} x^{2n+1} e^{-\alpha x^2} dx = \left| \frac{d^n}{d\alpha^n} \left(\frac{1}{2} \alpha^{-1} \right) \right| :$$

2.1. Ի՞նչ փորձարարական տվյալներ են անհրաժեշտ, որպեսզի կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումից հնարավոր լինի որոշել գազի մոլեկուլների $\overline{v^2}$ միջին քառակուսային արագությունը:

2.2. Ելնելով անոթի պատերին մոլեկուլների բախումների մոլեկուլային-կինետիկ պատկերից՝ ցույց տալ, որ ադիաբատ սեղմման ժամանակ գազը տաքանում է:

2.3. Ո՞ր համակարգն է կոչվում մոլեկուլային: Ինչպե՞ս են կապված միմյանց հետ նրա միկրո- և մակրոպարամետրերը: Ինչո՞ւ համասեռ համակարգի համար կարելի է կիրառել $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ պայմանը:

2.4. Գազի մոլեկուլների՝ ըստ արագությունների բաշխումներից ո՞րն է կայուն:

2.5. Մաքսվելի բաշխումից հետևում է, որ մոլեկուլները կարող են ունենալ ցանկացած, այդ թվում՝ նաև շատ մեծ արագություններ: Ինչպե՞ս կարելի է դա համատեղել գազի մոլեկուլների լրիվ էներգիայի վերջավոր լինելու հետ:

2.6. Բացատրել, թե Մաքսվելի բաշխման որ առանձնահատկություններից է հետևում, որ արագության մոդուլի միջինը մեծ է ամենահավանական արագությունից, բայց փոքր է միջին քառակուսային արագությունից՝ $v_h < \overline{v} < \sqrt{\overline{v^2}}$:

2.7. Ինչպե՞ս բացատրել, որ գազի մոլեկուլների՝ ըստ արագությունների բաշխման ֆունկցիայի գրաֆիկով սահմանափակված մակերեսը կախված չէ ջերմաստիճանից:

2.8. Բոլցմանի բաշխումը կիրառելի է պոտենցիալային դաշտերի

համար: Ի՞նչ կարելի է ասել մասնիկների բաշխման մասին ոչ պոտենցիալային դաշտերում:

2.9. Ո՞րն է միկրոկանոնական բաշխման ֆիզիկական իմաստը:

2.10. Նկարագրել որևէ փորձ, որի միջոցով կարելի է փորձնականորեն ստուգել Մաքսվելի բաշխումը:

2.11. Գազ պարունակող փակ անոթը տեղադրված է համասեռ գրավիտացիոն դաշտում: Ջերմաստիճանի փոփոխման հետևանքով ինչպե՞ս կփոխվեն գազի մոլեկուլների բաշխումն ըստ բարձրության և գազի ծանրության կենտրոնի դիրքը:

2.12. Մակրոսկոպական պրոցեսներն իրականանում են մոլեկուլների շարժման միջոցով: Ի՞նչն է պատճառը, որ չնայած առանձին մոլեկուլների շարժումները դարձելի են, մակրոսկոպական պրոցեսներն անդարձելի են:

2.13. Ինչպե՞ս է փոխվում Մաքսվելի բաշխման կորի ձևը ջերմաստիճանի փոփոխման հետևանքով:

2.14. Գտնել գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագության և գազի խտության միջև կապը:

2.15. Ինչո՞վ են տարբերվում գազի մոլեկուլների բաշխումներն արտաքին ուժային ազդեցության առկայության և բացակայության դեպքում:

2.16. Մթնոլորտի վերին շերտերում գազի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը համապատասխանում է $T = 1000$ Կ ջերմաստիճանին, չնայած որ ջերմաչափները ցույց են տալիս շատ ցածր ջերմաստիճան: Բացատրել թվացյալ հակասությունը:

2.17. Որևէ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ գազով անոթի շարժումը կհանգեցնի այդ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ գազի մոլեկուլների միջին արագության աճին: Չի՞ հանգեցնի դա արդյոք գազի ջերմաստիճանի բարձրացմանը:

2.18. Անոթը լցված է գազով, որի պատերի ջերմաստիճանը տարբերվում է գազի ջերմաստիճանից: Ո՞ր դեպքում գազի ճնշումը պատերի վրա մեծ կլինի՝ երբ պատի ջերմաստիճանը գազի ջերմաստիճանից բա՞րձր է, թե՞ ցածր:

2.19. Նյութի մասնիկները (ատոմները, մոլեկուլները և այլն) միջինում հավասարաչափ են բաշխված ծավալով: Գնահատել մասնիկների միջև եղած միջին $\langle r \rangle$ հեռավորությունը, եթե հայտնի է մասնիկների n կոնցենտրացիան:

2.20. Գնահատել միջին $\langle r \rangle$ հեռավորությունը՝ ա) նորմալ պայման-

ներում գտնվող ազոտի մոլեկուլների միջև, ք) ջրի մոլեկուլների միջև: Գնահատել $\alpha = \frac{< r >}{d}$ հարաբերությունը, որտեղ d -ն համապատասխան մոլեկուլի տրամագիծն է: $d(N_2) \approx 3.7 \cdot 10^{-9}$ սմ, $d(H_2O) \approx 3.0 \cdot 10^{-9}$ սմ:

2.21. Մի շարք դեպքերում գազի մոլեկուլը պատկերացվում է d տրամագծով գնդիկի տեսքով: Որոշել միավոր ժամանակում մոլեկուլի հարվածների z թիվը, եթե $< v_{\text{հար}} >$ -ը նրանց միջին հարաբերական արագությունն է, իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան: Որոշել մոլեկուլների միջին հարաբերական արագության կապը անոթի պատերի նկատմամբ նրանց ունեցած $< v >$ միջին արագության հետ:

2.22. Ո՞ր պատահարն է կոչվում հավաստի: Ինչի՞նչ է հավասար նրա հավանականությունը: Ինչպե՞ս գրել իրարից անկախ և միմյանց բացառող պատահարների հավանականությունների արտահայտությունները:

2.23. Ի՞նչն է անվանվում հավանականության նորմավորման պայման: Ինչո՞ւ է կատարվում այդ պայմանը:

2.24. Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ՝ ա) նետած մետաղադրամը կընկնի զինանշանը դեպի վեր դիրքով, ք) գառը նետելիս դուրս կգա 4 թիվը, գ) գառը նետելիս դուրս կգան 3 կամ 4 թվերը:

2.25. Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ երկու գառերը միաժամանակ նետելիս դուրս կգա միայն 4 թիվը:

2.26. Երկու հրաձիգ միաժամանակ, բայց իրարից անկախ կրակում են նույն թիրախին: Որոշել թիրախին դիպչելու հավանականությունը, եթե հրաձիգներից մեկի դիպչելու հավանականությունը 0.8 է, իսկ մյուսինը՝ 0.7:

2.27. 36 խաղաթղթերից պատահականորեն հանում են 3-ը: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ դրանց մեջ կլինի մեկ և միայն մեկ ցանկացած գույնի տուգ:

2.28. 36 խաղաթղթերից պատահականորեն հանում են 3-ը: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ դրանց մեջ կլինի ոչ պակաս, քան մեկ ցանկացած գույնի տուգ:

2.29. Բոլոր նիստերը ներկած խորանարդը կտրտված է 1000 հավասար փոքրիկ խորանարդների: Դրանք լցված են պարկի մեջ և խառնված են: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ պատահականորեն հանված փոքրիկ խորանարդը կունենա $k = 0, 1, 2, \dots, 6$

ներկաձ նիստեր:

2.30. Ժամանակի t պահին ունենք N ռադիոակտիվ միջուկ: Մեկ միջուկի տրոհման հավանականությունը կախված չէ միջուկի «տարիքից» և հավասար է $\lambda \cdot dt$, որտեղ $\lambda = \text{const}$: Քանի՞ միջուկ կտրոհվի $t, t + dt$ ժամանակահատվածում: Որպես սկզբնական պայման ընդունել, որ $N(0) = N_0$: Պատկերել $N(t)$ -ի կախման գրաֆիկը ժամանակից:

2.31. x մեծությունը կարող է ընդունել միայն x_1 և x_2 արժեքներ, ընդ որում, x_1 -ի հավանականությունը p է: Գտնել $\langle x^3 \rangle$ -ը:

2.32. Ինչ-որ պատահական X փոփոխական կարող է ընդունել $x_1, x_2, \dots, x_i$ արժեքներ, որոնց $\omega(x_i)$ հավանականությունները հայտնի են: Որոշել հետևյալ միջին արժեքները՝ $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$, $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$ և $\langle f(x) \rangle$:

2.33. $a \leq x \leq b$ արժեքներ ընդունող X պատահական փոփոխականի համար հայտնի է հավանականությունների բաշխման ֆունկցիան՝ $d\omega(x) = \rho(x)dx$: Որոշել հետևյալ միջին արժեքները՝ $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$, $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$ և $\langle f(x) \rangle$, որտեղ $f(x)$ -ը ինչ-որ ինտեգրվող ֆունկցիա է:

2.34. Որոշել մեկ պարբերության ընթացքում $y = \cos \omega t$ ֆունկցիայի միջին արժեքը: ω -ն անկյունային արագությունն է:

2.35. Որոշել մեկ պարբերության ընթացքում $y = \cos^2 \omega t$ ֆունկցիայի միջին արժեքը: ω -ն անկյունային արագությունն է:

2.36. f -ը և g -ն կամայական ֆիզիկական մեծություններ են, որոնց արժեքները ֆլուկտուացիայի են ենթարկվում $\bar{f}$ և $\bar{g}$ միջին արժեքների շուրջ, այնպես որ $f = \bar{f} + \Delta f$, $g = \bar{g} + \Delta g$: Որոշել $f \cdot g$ արտադրյալի միջին արժեքը:

2.37. Կամայական f մեծության ֆլուկտուացիայի քառակուսու միջինը՝ $\overline{\Delta f^2} = \overline{(f - \bar{f})^2}$, արտահայտել $\overline{f^2}$ -ի և $\bar{f}^2$ -ի միջոցով:

2.38. f և g մեծությունները կոչվում են վիճակագրականորեն անկախ, եթե $\overline{\Delta f \cdot \Delta g} = 0$: Ցույց տալ, որ այդպիսի մեծությունների համար $\overline{f \cdot g} = \bar{f} \cdot \bar{g}$:

2.39. Անոթում կա N մոլեկուլ: Որոշել այն բանի W հավանականությունը, որ քառասային շարժման ընթացքում գազի բոլոր մոլեկուլները կհավաքվեն անոթի կեսում: Հաշվել W -ն $N = 2, 10, 6 \cdot 10^{23}$ դեպքերի համար:

2.40. V ծավալով փակ անոթում կա իդեալական գազի N մոլեկուլ: Արտաքին ուժային դաշտերը բացակայում են: Որոշել V ծավալի մաս կազմող փոքր V ծավալում եղած մոլեկուլների միջին թիվը:

2.41. $V = 1$ խորանարդաձև անոթում սենյակային ջերմաստիճանում կա N թվով ջրածնի մոլեկուլ: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ բոլոր մոլեկուլները կհավաքվեն անոթի մի կեսում: Որոշել մոլեկուլների այն թիվը, որի դեպքում այդպիսի պատահար կարելի է սպասել մեկ անգամ $\tau = 10^{10}$ տարվա ընթացքում:

2.42. Իդեալական գազի N մոլեկուլ պարունակող անոթը միջնորմով բաժանված է V_1 և V_2 ծավալներով մասերի: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ առաջին մասում կլինի N_1 , երկրորդում՝ N_2 մոլեկուլ:

2.43. Երկու միևնույն անոթներ, որոնք լցված են մեկական մոլ նույն իդեալական գազով, հաղորդակցվում են միմյանց: Քանի՞ մոլեկուլ պետք է անցնի մեկից մյուսին, որպեսզի ստացված վիճակը լինի $\alpha = e$ անգամ քիչ հավանական, քան նախորդը:

2.44. Կլոր ափսեի հարթ հատակին մեկ շերտով հավասարաչափ լցված են շատ փոքր հատիկներ: Հատակի շառավիղը R է: Որոշել $r, r + dr$ շառավիղներով օղակում հատիկ հայտնաբերելու հավանականությունը: Գտնել ափսեի հատակի կենտրոնից մինչև հատիկը եղած միջին $\langle r \rangle$ և միջին քառակուսային $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$ հեռավորությունները:

2.45. R շառավղով գնդոլորտի ներսում պատահականորեն, ըստ ծավալի, միջինում հավասարաչափ բաշխված են մեծ քանակությամբ փոշեհատիկներ: Որոշել գնդոլորտի կենտրոնից r և $r + dr$ հեռավորությունների վրա փոշեհատիկ հայտնաբերելու հավանականությունը: Բնչի՞ են հավասար փոշեհատիկի միջին $\langle r \rangle$ և միջին քառակուսային $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$ հեռավորությունները գնդոլորտի կենտրոնից: Բնչ $R_{1/2}$ շառավղով գնդոլորտում կգտնվի փոշեհատիկների կեսը:

2.46. x առանցքի երկայնքով մասնիկը կատարում է ներդաշնակ

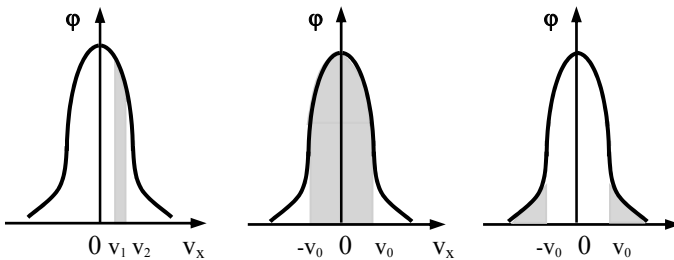
տատանումներ $x = a \cos \omega t$ օրենքով: Որոշել պատահական դիտման ընթացքում մասնիկի հայտնաբերման հավանականությունը $[x, x + dx]$ հատվածում: Հաշվել հետևյալ արժեքները՝ $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$ և $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$:

2.47. Ինչ-որ պատահական X փոփոխական մեծության հավանականությունների բաշխումն ունի հետևյալ տեսքը՝ $dw(x) \sim \exp(-\lambda x) dx$, $\lambda > 0$ ($0 \leq x < \infty$): Նորմավորել բաշխման ֆունկցիան: Գտնել միջին $\langle x \rangle$, ամենահավանական x_h և միջին քառակուսային $\langle x^2 \rangle$ մեծությունները:

2.48. Որոշել այն բանի $\Delta\omega$ հավանականությունը, որ հավասարակշռված գազի մոլեկուլի արագության վեկտորը գտնվում է $\Delta\Omega$ մարմնային անկյունում:

2.49. Որոշել այն բանի $d\omega$ հավանականությունը, որ հավասարակշռված գազի մոլեկուլի արագության մոդուլը գտնվում է $v, v + dv$ գնդային տիրույթում:

2.50. Նկ. 2.1-ում պատկերված է $\varphi(v_x)$ ֆունկցիայի՝ արագության պրոյեկցիայից կախման գրաֆիկը: Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն նրբագծված մակերեսները: $\varphi(v_x)$ -ը Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիան է՝ ըստ մոլեկուլների արագության X պրոյեկցիայի:



նկ. 2.1

2.51. Նույն m զանգվածով մասնիկները հավասար հավանականությամբ կարող են ունենալ ցանկացած արագություն ($-v_0, +v_0$) միջակայքում: Գրել բաշխման օրենքները՝ ըստ արագությունների ($dw_1(v_x)$), ըստ էներգիաների ($dw_2(E)$): Որոշել հետևյալ արժեքները՝ $\langle v_x \rangle$, $\langle |v_x| \rangle$, $\langle v_x^2 \rangle$:

2.52. Հաշվել ջերմային շարժման բնութագրիչ արագությունների

հետևյալ հարաբերությունները՝ $\alpha = \frac{\sqrt{\langle v^2 \rangle}}{\langle v \rangle}$, $\beta = \frac{\langle v \rangle}{v_h}$,

$$\gamma = \frac{\sqrt{\langle v^2 \rangle}}{v_h} :$$

2.53. Ի՞նչ է տեղի ունենում $f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումի հետ՝ ա) գազի ջերմաստիճանի աճի դեպքում, բ) գազի մոլեկուլների զանգվածի աճի դեպքում: Ինչպե՞ս են փոխվում այդ դեպքերում «արագ» ($v \geq v_h$) և «դանդաղ» ($v \leq v_h$) մոլեկուլների հարաբերական թիվը: $f(v)$ -ն Մաքսվելի իզոտրոպ ֆունկցիան է, v_h -ը՝ ամենահավանական արագությունը:

2.54. Քանի մոլեկուլ ազոտ կա 1լ ծավալով անոթում, եթե ազոտի ջերմաստիճանը՝ $T = 300$ Կ, իսկ ճնշումը՝ $P = 10^{-6}$ մմ ս. ս.: Որոշել ազոտի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը:

2.55. Քանի մոլեկուլ կա 1գ ջրային գոլորշում: Որոշել այդ մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը, եթե ջերմաստիճանը 400 Կ է:

2.56. Նորմալ պայմաններում քանի մոլեկուլ կա մեկ խորանարդ սանտիմետր օդում: Որոշել դրանց միջին արագությունը:

2.57. Որոշել H_2 մոլեկուլի միջին քառակուսային իմպուլսը $27^\circ C$ ջերմաստիճանում:

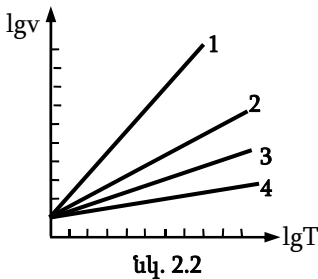
2.58. Օրգանական նյութի խոշոր մոլեկուլի զանգվածը՝ $m = 10^{-18}$ գ: Հաշվել այդպիսի մոլեկուլի ջերմային շարժման միջին լրիվ կինետիկ էներգիան, եթե այն գտնվում է օդում կախված վիճակում: Որոշել այդպիսի մոլեկուլի միջին քառակուսային արագությունը: Օդի ջերմաստիճանը՝ $T = 300$ Կ:

2.59. Ֆոտոնի իմպուլսը էներգիայի հետ կապված է հետևյալ առնչությամբ՝ $E = pc$: Ստանալ ֆոտոնային գազի ճնշման բանաձևը:

2.60. Կինետիկ տեսության օգնությամբ ցույց տալ, որ միատոմ իդեալական գազով լցված գլանում միացի քվադրատատիկ տեղաշարժման դեպքում գազի ճնշումը և ծավալը կապված են հետևյալ առնչությամբ՝ $PV^{5/3} = const$: Հաշվի առնել, որ միացի շարժման արագությունը շատ փոքր է նրան հարվածող մոլեկուլների արագություններից:

2.61. Կինետիկ տեսության օգնությամբ ցույց տալ, որ երկատոմ իդեալական գազով լցված գլանում միոնցի քվադրատատիկ տեղաշարժման դեպքում գազի ճնշումը և ծավալը կապված են հետևյալ առնչությամբ՝ $PV^{7/5} = const$: Օգտվել ըստ ազատության աստիճանների կինետիկ էներգիայի հավասարաչափ բաշխման օրենքից:

2.62. Նկ. 2.2-ում պատկերված ուղիղներից ո՞րն է լոգարիթմական մասշտաբում ճիշտ նկարագրում միջին քառակուսային արագության կախումը բացարձակ ջերմաստիճանից:



նկ. 2.2



նկ. 2.3

2.63. Մոլեկուլների արագության չափման Շտեռնի փորձում արժաթի մոլեկուլների հետքը անշարժ գլանների դեպքում հստակ ընդգծված է, իսկ պտտվող գլանների դեպքում լողոված է (նկ. 2.3): Բացատրել երևույթը:

2.64. Նկ. 2.4-ում օրդինատների առանցքի վրա տեղադրված են՝ ա-ում՝ $F(v) = dN/dv$, բ-ում՝ $f(v) = \frac{1}{N_0} \frac{dN}{dv}$ ֆունկցիաները, որտեղ

N -ը v արագություն ունեցող մոլեկուլների թիվն է, N_0 -ն՝ տվյալ ծավալում եղած մոլեկուլների թիվը: Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն գրաֆիկների վրա նրբագծված տիրույթները:

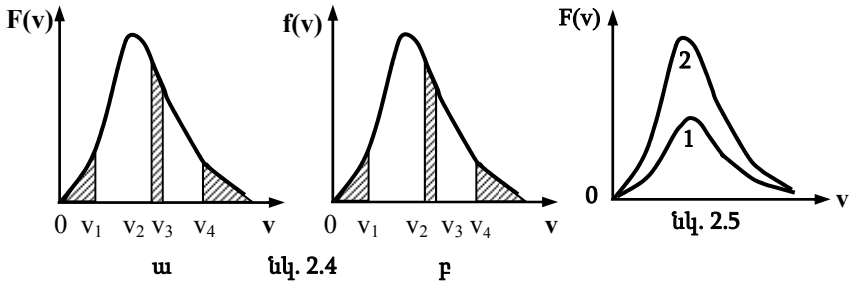
2.65. Ժամանակակից վակուումային պոմպերը թույլ են տալիս ստանալ ճնշումներ մինչև $P = 3 \cdot 10^{-12}$ մմ ս. ս. (սենյակային ջերմաստիճաններում): Որոշել 1սմ³ ծավալում եղած ազոտի մոլեկուլների թիվը և միջին միջմոլեկուլային հեռավորությունը այդ ճնշման դեպքում:

2.66. Նկ. 2.5-ում 2-րդ կորի բոլոր օրդինատները երկու անգամ մեծ են, քան 1-ին կորի համապատասխան օրդինատները: Ինչո՞վ են տարբերվում պատկերված բաշխման կորերը:

2.67. Քանի՞ անգամ է անհրաժեշտ աղիաբատորեն ընդարձակել

երկատոմ կոշտ մոլեկուլներից կազմված գազը, որպեսզի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը նվազի $\eta = 1.5$ անգամ:

2.68. Նորմալ պայմաններում գտնվող՝ երկատոմ կոշտ մոլեկուլներից կազմված գազն ադիաբատորեն սեղմվեց $\eta = 5$ անգամ: Հաշվել մոլեկուլի պտտական շարժման միջին կինետիկ էներգիան վերջնական վիճակում:



2.69. Գազը կազմված է երկատոմ կոշտ մոլեկուլներից: Քանի՞ անգամ կփոխվի պատի մակերևույթին մոլեկուլների հարվածների թիվը միավոր ժամանակում, եթե գազն ադիաբատորեն ընդարձակվել է η անգամ:

2.70. Երկատոմ կոշտ մոլեկուլներից կազմված գազի ծավալը $\eta = 2$ անգամ մեծացրին $C = R$ մոլային ջերմունակություն ունեցող պոլիտրոպով: Քանի՞ անգամ կփոխվի հարվածների թիվը անոթի պատին:

2.71. Որոշել գազի այն մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունը տարբերվում է ոչ ավելի, քան $\delta = 1\%$ -ով՝ ա) ամենահավանական արագությունից, բ) միջին քառակուսային արագությունից:

2.72. Որոշել գազի այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում՝ ա) ջրածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը մեծ է ամենահավանական արագությունից $\Delta v = 400$ մ/վ-ով, բ) թթվածնի մոլեկուլների բաշխման $F(v)$ ֆունկցիան, ըստ արագությունների, ունի մաքսիմում $v = 420$ մ/վ արագության դեպքում:

2.73. Ազոտի համար որոշել այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում $v_1 = 300$ մ/վ և $v_2 = 600$ մ/վ արագություններին համապատասխանում է Մաքսվելի $F(v)$ բաշխման ֆունկցիայի նույն արժեքը:

2.74. Մաքսվելի բաշխման միջոցով որոշել ճնշումը անոթի պատի վրա, եթե գազի ջերմաստիճանը T է, իսկ կոնցենտրացիան՝ n :

2.75. V_0 ծավալով ջերմամեկուսացված անոթում կա N երկատոմանի մոլեկուլ: Գազի ճնշումը P_0 է: Որոշ ժամանակ անց բոլոր մոլեկուլները տրոհվում են ատոմների: Որոշել գազի ջերմաստիճանը և ճնշումը մոլեկուլների տրոհումից հետո: Մեկ ատոմի տրոհման հետևանքով անջատվում է q ջերմաքանակ:

2.76. Անոթի պատի վրա բացված անցքից դուրս է գալիս մոլեկուլային փունջ, որում մոլեկուլների բաշխումը, ըստ արագությունների,

նկարագրվում է հետևյալ բանաձևով՝ $F(v) = Av^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$: Գտնել՝ ա) մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը փնջում և համեմատել այն անոթում գտնվող մոլեկուլների ամենահավանական արագության հետ, բ) փնջում մոլեկուլների ամենահավանական կինետիկ էներգիան:

2.77. m զանգվածով մոլեկուլներից կազմված իդեալական գազը, որի կոնցենտրացիան n է, ունի T ջերմաստիճան: Մաքսվելի բաշխման օգնությամբ որոշել միավոր ժամանակում պատի միավոր մակերեսին հարվածող այն մոլեկուլների թիվը, որոնց արագության ուղղությունը պատի նորմալի նկատմամբ ընկած է $\theta, \theta + d\theta$ անկյունների միջակայքում:

2.78. m զանգվածով մոլեկուլներից կազմված իդեալական գազը, որի կոնցենտրացիան n է, ունի T ջերմաստիճան: Մաքսվելի բաշխման օգնությամբ որոշել միավոր ժամանակում պատի միավոր մակերեսին հարվածող այն մոլեկուլների թիվը, որոնց արագություններն ընկած են $v, v + dv$ միջակայքում:

2.79. Որոշել ջրածնի՝ 3000-3010 մ/վ արագություն ունեցող մոլեկուլների թվի հարաբերությունը 1500-1510 մ/վ արագություն ունեցող մոլեկուլների թվին, եթե ջրածնի ջերմաստիճանը $300^\circ C$ է:

2.80. Ելնելով Մաքսվելի բաշխումից՝ գտնել գազի մոլեկուլների արագության X բաղադրիչի քառակուսու միջին արժեքը: Այդտեղից գտնել մեկ ազատության աստիճանին ընկնող համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան:

2.81. Որոշել $227^\circ C$ ջերմաստիճանում քլորի մոլեկուլների ամենահավանական v_h , միջին $\langle v \rangle$ և միջին քառակուսային $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ արագությունները:

2.82. Ո՞ր ջերմաստիճանում թթվածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը հավասար կլինի $100^\circ C$ ջերմաստիճանում

ագոտի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությանը:

2.83. Ցույց տալ, որ եթե գազի մոլեկուլի արագության միավոր ընդունվի ամենահավանական արագությունը, ապա մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունների մոդուլն ընկած է $v, v + dv$ միջակայքում, ջերմաստիճանից կախված չի լինի:

2.84. Ինչպե՞ս է կախված ճնշումից միատոմ իդեալական գազի միջին արագությունը ադիաբատ սեղմման կամ ընդարձակման դեպքում:

2.85. Իդեալական գազի համար որոշել մոլեկուլների dN միջին թիվը, որոնց կինետիկ էներգիաները գտնվում են $\varepsilon, \varepsilon + d\varepsilon$ միջակայքում:

2.86. Գտնել գազի մոլեկուլների համընթաց շարժման կինետիկ էներգիայի ամենահավանական արժեքը, այսինքն՝ էներգիայի այնպիսի ε_m արժեք, որի ֆիքսված $d\varepsilon$ միջակայքում գտնվում են առավելագույն թվով մոլեկուլներ:

2.87. Որոշել գազի մոլեկուլների ջերմային շարժման $v_{1/2}$ արագությունը, եթե մոլեկուլների կեսը շարժվում է $v_{1/2}$ -ից փոքր, իսկ մյուս կեսը՝ $v_{1/2}$ -ից մեծ արագություններով:

2.88. Ի՞նչ ջերմաստիճան պետք է ունենա գազը, որպեսզի $v, v + dv$ միջակայքում ընկած արագություններ ունեցող մոլեկուլների թիվը լինի առավելագույնը:

2.89. Քանի՞ անգամ է ջրածնի մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը մեծ նույն ջերմաստիճանի ջրային գոլորշու մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունից:

2.90. Գտնել գազի մոլեկուլների արագության հակադարձ մեծության միջին արժեքը:

2.91. Որոշել այն մոլեկուլների միջին թիվը, որոնց արագության՝ որևէ առանցքին զուգահեռ բաղադրիչը գտնվում է $v_{//}, v_{//} + dv_{//}$ միջակայքում, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ արագության բաղադրիչի մոդուլը գտնվում է $v_{\perp}, v_{\perp} + dv_{\perp}$ միջակայքում:

2.92. Կիսահաղորդչի բարակ մակերևութային շերտում շարժվող էլեկտրոնները կարող են դիտվել որպես «երկչափանի» իդեալական գազ: Այդ գազի համար հաշվել ամենահավանական և միջին քառակուսային արագությունների հարաբերությունը:

2.93. Դիտում շիկացած կատոդից դուրս թռած էլեկտրոններն արգելակվում են անոդի դաշտում: Մինչև անոդ հասնում են միայն

«արագ» էլեկտրոնները: Համարելով, որ $T = 1150$ Կ ջերմաստիճանում էլեկտրոնները, ըստ արագությունների, ենթարկվում են Մաքսվելի բաշխմանը, որոշել էլեկտրոնների α մասը, որը, հաղթահարելով արգելակող դաշտը, կհասնի անոդ: Կատողը բարակ, երկար, ուղիղ լար է, որն անցնում է գլանաձև անոդի առանցքով: Հաշվել α -ն $U_1 = 0.2$ Վ և $U_2 = 0.4$ Վ արգելակող լարումների դեպքում:

2.94. Վակուումում գտնվող ստացիոնար կետային աղբյուրն անընդհատ և իզոտրոպ կերպով արձակում է m զանգվածով մասնիկներ, որոնց արագություններն ունեն մաքսվելյան բաշխում՝ աղբյուրի T ջերմաստիճանին համապատասխան: Համարելով, որ մասնիկները չեն բախվում, որոշել նրանց կոնցենտրացիան աղբյուրից r հեռավորության վրա: Աղբյուրը մեկ վայրկյանում արձակում է V մասնիկ:

2.95. Որոշել իդեալական գազում մասնիկների կինետիկ էներգիայի դիսպերսիան:

2.96. Արտահայտել միավոր ժամանակում անոթի պատի միավոր մակերեսին հարվածող մոլեկուլների թիվը նրանց միջին արագությամբ, եթե բաշխման ֆունկցիան, ըստ արագությունների, իզոտրոպ է (կախված է միայն մոլեկուլի արագության մոդուլից, այլ ոչ թե նրա ուղղությունից): Դիտարկել մաքսվելյան բաշխման մասնավոր դեպքը:

2.97. Ստանալ անոթի պատի վրա իդեալական գազի այն մոլեկուլների առաջացրած dP ճնշումը, որոնց արագությունների մոդուլներն ընկած են $v, v + dv$ միջակայքում: Գտնել այն v_0 արագության արժեքը, որի դեպքում dP ճնշումն առավելագույնն է, եթե արագության dv միջակայքը հաստատուն է: Մոլեկուլների կոնցենտրացիան n է, գազի ջերմաստիճանը՝ T :

2.98. Ստանալ միավոր ժամանակում անոթի պատի միավոր մակերեսին հարվածող այն dN մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունների մոդուլներն ընկած են $v, v + dv$ միջակայքում: Գտնել նույն dv -ի դեպքում արագության v_0 արժեքը, որի համար dN -ն առավելագույնն է: Մոլեկուլների կոնցենտրացիան n է, գազի ջերմաստիճանը՝ T :

2.99. Հաշվել միավոր ժամանակում անոթի պատի միավոր մակերեսին հարվածող մոլեկուլների լրիվ կինետիկ էներգիան: Խնդիրը լուծել ընդհանուր տեսքով իզոտրոպ բաշխման ֆունկցիայի համար, ստացված արդյունքը կիրառել մաքսվելյան բաշխման համար:

2.100. T ջերմաստիճանի իդեալական գազ պարունակող անոթի պատի վրա կա շատ փոքր անցք, որից մոլեկուլները դուրս են թռչում վակուում: Ենթադրելով, որ փորձի ընթացքում մոլեկուլների կոնցենտրացիայի և գազի ջերմաստիճանի փոփոխություններն այնքան փոքր են, որ կարելի է անտեսել, որոշել դուրս թռչող մոլեկուլի կինետիկ էներգիայի միջին արժեքը:

2.101. Իդեալական գազով լցված V ծավալով, բարակ պատերով անոթը տեղադրված է վակուումում: Ժամանակի ընթացքում ինչպե՞ս կփոխվի մոլեկուլների կոնցենտրացիան անոթում, եթե պատի մեջ բացվի S մակերեսով շատ փոքր անցք: Համարել, որ գազի արտահոսքը կատարվում է այնքան դանդաղ, որ գազի հավասարակշռված վիճակն անոթում գործնականորեն չի խախտվում, բացառությամբ անցքի մոտակա շատ փոքր տիրույթի: Գազի T ջերմաստիճանը համարել հաստատուն:

2.102. Բարակ պատերով, $V = 1$ լ ծավալով անոթում օդի ճնշումը՝ $P_1 = 10^{-4}$ մմ ս. ս.: Անոթի պատի մեջ բացվում է շատ փոքր՝ $S = 10^{-6}$ սմ² մակերեսով անցք: Որքա՞ն ժամանակ անց օդի ճնշումը անոթում կդառնա $P_2 = 10^{-2}$ մմ ս. ս.: Արտաքին օդի ջերմաստիճանը՝ $T = 20^\circ \text{C}$, ճնշումը՝ $P_0 = 760$ մմ ս. ս.:

2.103. Անոթը միջնորմով բաժանված է V ծավալով երկու հավասար մասերի: Մի մասում լցված է ազոտ, մյուսում՝ թթվածին, որոնց ճնշումները և ջերմաստիճանները նույնն են՝ համապատասխանաբար P և T : Գազերն անոթում շատ նոսր են (ազատ վազքի միջին երկարությունը շատ ավելի մեծ է, քան անոթի չափսերը): $t = 0$ պահին միջնորմում բացվում է S մակերեսով շատ փոքր անցք: Որոշել ճնշման կախումը ժամանակից անոթի երկու մասերում: Գազի ջերմաստիճանը պրոցեսի ընթացքում համարել հաստատուն: Ստացված արդյունքն արտահայտել ազոտի և թթվածնի $\langle v_N \rangle$ և $\langle v_O \rangle$ միջին արագություններով:

2.104. V ծավալով, բարակ պատերով անոթը լցված է T ջերմաստիճանի իդեալական գազով: Անոթի պատի մեջ S մակերեսով փոքր անցք է բացված, որով գազը դուրս է գալիս անօդ տարածություն: Յուրաքանչյուր վայրկյանում ի՞նչ $Q(t)$ ջերմություն է պետք հաղորդել գազին, որպեսզի նրա ջերմաստիճանը մնա հաստատուն:

2.105. Գազ պարունակող ուղղաձիգ գլանը գտնվում է ծանրության համասեռ դաշտում դադարի վիճակում: Որոշել ճնշումների տարբե-

րությունը գլանի ստորին (P_2) և վերին (P_1) հիմքերի վրա, եթե գազի մոլեկուլի զանգվածը m է, մոլեկուլների թիվը՝ N , գլանի հիմքի մակերեսը՝ S :

2.106. T ջերմաստիճան ունեցող հավասարակշռված իդեալական գազը գտնվում է արտաքին դաշտում, որտեղ նրա մոլեկուլի պոտենցիալ էներգիան $u(r)$ է: Գազի մոլեկուլների կոնցենտրացիան r_0 շառավիղ-վեկտորով կետում n_0 է: Որոշել r շառավիղ-վեկտորով կետում գազի մոլեկուլների կոնցենտրացիան:

2.107. Բոլցմանի բաշխումը հաճախ գրվում է $n = n_0 \cdot \exp(-u/kT)$ տեսքով, որտեղ n -ը գազի մոլեկուլների կոնցենտրացիան է, u -ն՝ արտաքին դաշտում մոլեկուլի պոտենցիալ էներգիան, T -ն՝ ջերմաստիճանը: Ի՞նչ է n_0 -ն:

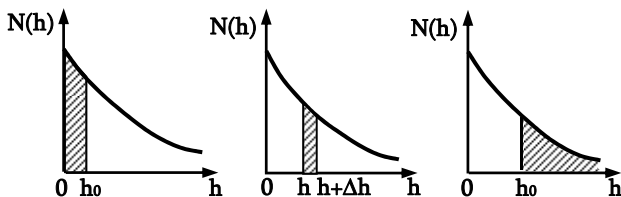
2.108. Հայտնի է գազի մոլեկուլների $n(r)$ կոնցենտրացիայի կախումը կոորդինատներից: Որոշել գազի մոլեկուլների կոորդինատների հավանականությունների բաշխումը: Գազի ծավալը V է: Դիտարկել Բոլցմանի բաշխման մասնավոր դեպքը:

2.109. Հավասարակշռված իդեալական գազը գտնվում է արտաքին դաշտում, որտեղ նրա մոլեկուլի պոտենցիալ էներգիան $u(r)$ է: Գազի ջերմաստիճանը T է, անոթի ծավալը՝ V : Անոթում 1 և 2 կետերի շրջակայքում անջատված են ΔV_1 և ΔV_2 ենթածավալներ: Որոշել որևէ մոլեկուլի՝ ΔV_1 և ΔV_2 ենթածավալներում հայտնաբերման հավանականությունների α հարաբերությունը:

2.110. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն $N(h) = n(h)S$ գրաֆիկում ջերտագծված մակերեսները (նկ. 2.6), որտեղ $n(h)$ -ը օդի մոլեկուլների կոնցենտրացիան է h բարձրության վրա, S -ը՝ իզոթերմ մթնոլորտում օդի սյան կտրվածքի մակերեսը:

2.111. Եթե P_0 ճնշումը հաստատուն է, ապա ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան $h = 0$ «գրոյական մակարդակում» կնվազի: Ինչո՞ւ: Ո՞ւր են «կորչում» օդի մոլեկուլները:

2.112. P_1 -ը և P_2 -ը համապատասխանաբար թթվածնի և ազոտի մասնակի (պարցիալ) ճնշումներն են: Մթնոլորտը համարելով իզոթերմ՝ գրել և պատկերել $\alpha = P_1/P_2$ հարաբերության կախումը մթնոլորտի h բարձրությունից: Ընդունել, որ երկրի մակերևույթին $\alpha = 0.25$:



նկ. 2.6

2.113. Երկրի մակերևույթի մոտ ջրածնի մոլեկուլների կոնցենտրացիայի հարաբերությունն ազոտի մոլեկուլների կոնցենտրացիային η_0 է, իսկ η -ն համապատասխան հարաբերությունն է $h = 3000$ մ բարձրության վրա: Որոշել η/η_0 հարաբերությունը $T = 280$ Կ ջերմաստիճանում՝ համարելով, որ ջերմաստիճանը և ազատ անկման արագացումը կախված չեն բարձրությունից:

2.114. Ուղղաձիգ, շատ երկար անոթը լցված է գազով, որը կազմված է երկու տեսակի մոլեկուլներից, որոնց զանգվածները համապատասխանաբար m_1 և m_2 են ($m_1 > m_2$), իսկ կոնցենտրացիաները անոթի հատակի մոտ՝ համապատասխանաբար n_1 և n_2 ($n_2 > n_1$): Համարելով, որ անոթում ամենուր նույն T ջերմաստիճանն է, որոշել այն բարձրությունը, որում այդ մոլեկուլների կոնցենտրացիաները կլինեն հավասար:

2.115. Շատ բարձր ուղղաձիգ գլանաձև անոթը լցված է T ջերմաստիճանի ածխածնով: Ծանրության դաշտը համարելով համասեռ՝ որոշել, թե ինչպես կփոխվի անոթի հատակին գազի ճնշումը, եթե գազի ջերմաստիճանն աճի α անգամ:

2.116. Շատ բարձր ուղղաձիգ գլանաձև անոթը լցված է T ջերմաստիճանի գազով: Ծանրության դաշտը համարելով համասեռ՝ հաշվել գազի մոլեկուլների միջին պոտենցիալ էներգիան:

2.117. Օգտվելով Բուլցմանի բաշխումից՝ որոշել, թե ինչպես կփոխվի օդի կոնցենտրացիան երկրի մակերևույթից 25 կմ բարձրության վրա: Ընդունել, որ ջերմաստիճանը 273 Կ է և, բարձրությունից կախված, չի փոխվում:

2.118. Ծովի մակարդակից h բարձրության վրա օդի ճնշումը կփոքրանա 10 անգամ: Ջերմաստիճանը 273 Կ է, և համարել, որ կախված չէ բարձրությունից:

2.119. Գազի մոլեկուլների պոտենցիալ էներգիան ուժային դաշտի կենտրոնից r հեռավորության վրա որոշվում է $U(r) = ar^2$ բանա-

ձևով, որտեղ a -ն դրական հաստատուն է: Գազի ջերմաստիճանը T է, դաշտի կենտրոնում մոլեկուլների կոնցենտրացիան՝ n_0 : Որոշել՝ ա) դաշտի կենտրոնից $r, r + dr$ հեռավորությունների վրա գտնվող մոլեկուլների թիվը, բ) մոլեկուլների ամենահավանական հեռավորությունը դաշտի կենտրոնից, գ) $r, r + dr$ շերտում գտնվող մոլեկուլների հարաբերական թիվը, դ) քանի անգամ կփոխվի մոլեկուլների կոնցենտրացիան դաշտի կենտրոնում ջերմաստիճանը η անգամ փոքրացնելիս, ե) $U, U + dU$ միջակայքում պոտենցիալ էներգիա ունեցող մոլեկուլների թիվը, զ) գազի մոլեկուլների պոտենցիալ էներգիայի ամենահավանական արժեքը:

2.120. Որոշել երկրագնդի մթնոլորտի զանգվածը:

2.121. Հաշվել երկրագնդի մթնոլորտի զանգվածի հարաբերությունը երկրագնդի զանգվածին:

2.122. Իդեալական գազ պարունակող ջերմամեկուսացված անոթը կախված է թելից ծանրության դաշտում: Ծանրության ուժի ազդեցության հետևանքով գազի խտությունն անոթի հատակում ավելի մեծ է, քան վերին հատվածում: Թելն այրում են, և անոթն ազատ անկում է կատարում: Ենթադրելով, որ ազատ անկման ընթացքում անոթում հաստատվում է ջերմադինամիկական հավասարակշռություն, որոշել անոթում գազի հավասարակշռված ջերմաստիճանը:

2.123. Օգտվելով Բոլցմանի բանաձևից՝ հաշվել երկրի մթնոլորտի մոլեկուլների միջին պոտենցիալ էներգիան: Մթնոլորտը համարել իզոթերմ, ծանրության դաշտը՝ համասեռ: Հաշվել նաև գազի C ջերմունակությունը:

2.124. H բարձրությամբ հերմետիկ գլանաձև անոթը լցված է գազով և կախված է ծանրության համասեռ դաշտում: Գազի T ջերմաստիճանը անոթի բոլոր կետերում նույնն է: Հաշվել գազի մոլեկուլի միջին պոտենցիալ էներգիան:

2.125. H բարձրությամբ հերմետիկ գլանաձև անոթը պարունակում է μ մոլային զանգվածով մեկ մոլ իդեալական գազ և կախված է ծանրության համասեռ դաշտում: Հաշվել այդ գազի ջերմունակությունը: Հաշվի առնել ծանրության ուժի ազդեցությունը՝ ընդունելով, որ $\mu gh \ll RT$:

2.126. H բարձրությամբ հերմետիկ գլանաձև անոթը կախված է ծանրության համասեռ դաշտում: Անոթում լցված է երկու իդեալական գազերի խառնուրդ, որը կազմված է N_1 և N_2 թվով մոլեկուլներից, որոնց զանգվածները համապատասխանաբար m_1 և m_2 են:

Որոշել խառնուրդի զանգվածների կենտրոնի դիրքը: Խառնուրդի ջերմաստիճանը T է:

2.127. Օգտվելով Բոլցմանի Բաշխումից՝ հաշվել իդեալական գազի մոլեկուլների միջին պոտենցիալ էներգիան $U(x) = ax^2$ ուժային դաշտում ($a > 0$):

III. ՋԵՐՄԱՔԱՆԱԿ ԵՎ ԱՇԽԱՏԱՆՔ: ՋԵՐՄԱՄԴՆԱՄԻԿԱՅԻ 1-ԻՆ ՄԿՋԲՈՒՆՔԸ

1. Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը՝

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

որտեղ δQ -ն համակարգին հաղորդված ջերմության քանակն է, dU -ն՝ ներքին էներգիայի փոփոխությունը, δA -ն՝ համակարգի կատարած աշխատանքը:

2. Ջերմաստիճանից կախված իդեալական գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը՝

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT :$$

3. Գազի ծավալի V_1 -ից մինչև V_2 փոփոխման ընթացքում նրա կատարած լրիվ աշխատանքը՝

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV :$$

4. Գազի ծավալի իզոթերմ փոփոխության ընթացքում կատարված աշխատանքը որոշվում է $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ արտահայտությամբ:

5. Ադիաբատ պրոցեսի ընթացքում գազի ճնշման և ծավալի կապն արտահայտվում է Պուասոնի հավասարումով.

$$PV^\gamma = const, \text{ այսինքն՝ } \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \text{ կամ } TV^{\gamma-1} = const, \text{ այսինքն՝}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \text{ կամ } TP^{\frac{(1-\gamma)}{\gamma}} = const, \text{ այսինքն՝ } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right)} :$$

6. Պոլիտրոպ պրոցեսի հավասարումը՝

$$PV^n = const \text{ կամ } TV^{n-1} = const, \text{ որտեղ } n = \frac{C_P - C}{C_V - C} \text{ և կոչվում է}$$

պոլիտրոպի ցուցիչ:

3.1. Ի՞նչ ջերմադինամիկական իմաստ ունեն P, T, V պարամետրերը:

3.2. Ո՞րն է կոչվում ջերմադինամիկական հավասարակշռության

վիճակ:

3.3. Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում քվադրատատիկ: Ինչո՞ւ միայն քվադրատատիկ պրոցեսը կարելի է ներկայացնել գրաֆիկորեն:

3.4. Ո՞ր պրոցեսներն են կոչվում դարձելի և ոչ դարձելի: Ինչպիսի՞ն են բնական պրոցեսները: Ի՞նչ պայմաններում ոչ դարձելի պրոցեսները մոտավորապես կարելի է համարել դարձելի:

3.5. Ի՞նչ կապ կա քվադրատատիկության և դարձելիության միջև:

3.6. Սահմանել իդեալական գազի ներքին էներգիան: Ի՞նչ մասերից է այն բաղկացած: Վիճակի ո՞ր պարամետրերի ֆունկցիա է:

3.7. Ի՞նչ է ռելաքսացիան: Ի՞նչ է ցույց տալիս ռելաքսացիայի ժամանակը:

3.8. Ի՞նչ է նշանակում համակարգի վիճակի ֆունկցիա: Ի՞նչ պայմաններում աշխատանքը կարող է հանդիսանալ վիճակի ֆունկցիա:

3.9. Ի՞նչ է նշանակում, որ δQ -ն լրիվ դիֆերենցիալ չէ:

3.10. Ինչպե՞ս է սահմանվում տարրական աշխատանքը ջերմադինամիկայում: Ո՞ր պարամետրերից է այն կախված: Ի՞նչ են հասկանում՝ ասելով, որ գազի աշխատանքը լրիվ դիֆերենցիալ չէ:

3.11. Ինչպե՞ս (P, V) կոորդինատային համակարգում պատկերված գրաֆիկից որոշել գազի կատարած աշխատանքը:

3.12. Իդեալական գազի համար (U, T) , (T, P) , (T, V) , (V, U) կոորդինատային համակարգերում պատկերել իզոխոր, իզոբար, իզոթերմ և ադիաբատ պրոցեսների գրաֆիկները:

3.13. Տալ ջերմունակության, տեսակարար ջերմունակության և մոլային ջերմունակության սահմանումները: Ի՞նչ կապ կա տվյալ գազի մոլային և տեսակարար ջերմունակությունների միջև:

3.14. Ցույց տալ, որ իդեալական գազի ջերմունակությունը կախված է նրա վիճակի փոփոխության պրոցեսից:

3.15. Ո՞ր պրոցեսներն են կոչվում պոլիտրոպ:

3.16. Գրել n ցուցիչով պոլիտրոպի ջերմունակության ընդհանուր արտահայտությունը: Ի՞նչ սահմաններում կարող է փոխվել իդեալական գազի ջերմունակությունը պոլիտրոպ պրոցեսներում:

3.17. Ի՞նչ հարաբերակցություն կա C_p և C_v ջերմունակությունների միջև: Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն այդ ջերմունակությունները:

3.18. Ի՞նչ է ազատության աստիճանների թիվը: Ինչի՞ց է այն կախված: Ինչի՞ց է այն հավասար միատոմ, կոշտ կապով միացած երկատոմ և բազմատոմ մոլեկուլների համար:

3.19. Նշել ազատության աստիճանների «սառչելու» պայմանները:

Նորմալ պայմաններում օդի, ազոտի և թթվածնի մոլեկուլների ո՞ր ազատության աստիճաններն են գրգռված: Տատանողական ազատության աստիճանին ի՞նչ մեծության էներգիա է համապատասխանում:

3.20. Գազի ճնշման մեծության վրա որևէ ազդեցություն ունե՞ն արդյոք մոլեկուլների և ատոմների ներքին ազատության աստիճանները:

3.21. Պատկերել մոլեկուլային ջրածնի ջերմունակության կախումը ջերմաստիճանից և բացատրել այն:

3.22. Ջերմունակության դասական տեսության մեջ ինչպե՞ս են որոշվում իդեալական գազի C_p և C_v ջերմունակությունները: Նշել այդ բանաձևերի կիրառման սահմանները:

3.23. Ձևակերպել և գրել ջերմադինամիկայի 1-ին օրենքը: Ի՞նչ տեսք ունի այն իզոթերմ, իզոբար, իզոխոր և ադիաբատ պրոցեսների դեպքում:

3.24. Ո՞ր ընդհանուր օրենքի արտահայտությունն է ջերմադինամիկայի 1-ին օրենքը:

3.25. Կփռվի՞ր արդյոք տվյալ գազի $\gamma = C_p / C_v$ հարաբերությունը, եթե մոլեկուլների մի մասը դիատոմի ատոմների:

3.26. Ո՞ր գազերի համար է, որ $C_v = iR/2$ և $C_p = (i+2)R/2$ բանաձևերով որոշվող մոլային ջերմունակությունները վատ են համընկնում փորձական տվյալների հետ: Ինչո՞ւ է դա բացատրվում:

3.27. Կարելի՞ է արդյոք ընդհանուր դեպքում պնդել, որ C_p և C_v ջերմունակությունները կախված չեն ջերմաստիճանից: Հակառակ դեպքում բացատրել այդ կախվածության պատճառները, և թե երբ է այն արտահայտվում:

3.28. Ի՞նչ սկզբունքների վրա է հիմնված պինդ մարմնի ջերմունակության էյնշտեյնի տեսությունը:

3.29. Ներկայացնել իդեալական գազի հետ կատարվող ցանկացած պոլիտրոպ պրոցեսի C ջերմունակության հաշվարկի ընդհանուր եղանակը, եթե հայտնի է պրոցեսի հավասարումը:

3.30. Ինչպե՞ս է որոշվում իդեալական գազի պրոցեսի հավասարումն ընդհանուր դեպքում, եթե տրված է գազի ջերմունակության արժեքը:

3.31. Ո՞ր պայմանում է (P, V) դիագրամում իզոթերմի և ադիաբատի հատման կետով անցնող և նրանց միջև ընկած մոնոտոն կորը

պոլիտրոպ:

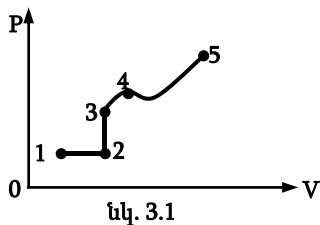
3.32. Ի՞նչ սահմաններում են գտնվում իդեալական գազի ջերմունակության արժեքները:

3.33. Գազի վիճակի փոփոխության n -րդ պրոցեսներն են բնութագրվում ջերմունակության բացասական արժեքներով:

3.34. Կարելի՞ է արդյոք հաշվել իդեալական գազի ընդարձակման (կամ սեղմման) աշխատանքը ադիաբատ պրոցեսում, եթե հայտնի են ազատության աստիճանների թիվը, սկզբնական և վերջնական ջերմաստիճանները: Ի՞նչ տեսք կունենա այդ պարամետրերով արտահայտված աշխատանքը:

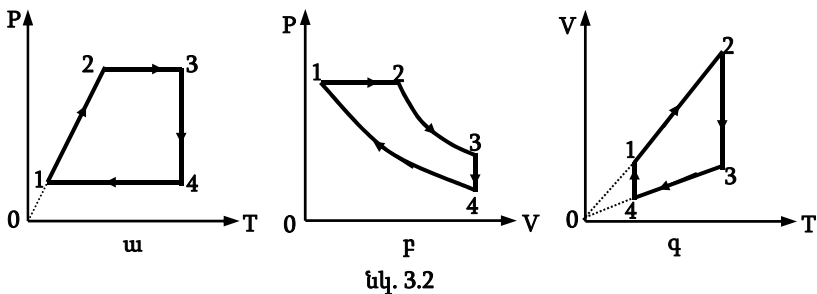
3.35. Ի՞նչ է էնթալպիան: Ինչո՞վ է այն տարբերվում ներքին էներգիայից:

3.36. Երկատոմ իդեալական գազի վիճակը փոխվում է 1-2-3-4-5 կորով (նկ.



3.1): Հայտնի են սկզբնական T_1 և վերջնական T_5 ջերմաստիճանները: Բավական է և արդյոք այդ տվյալները հաշվելու համար՝ ա) գազի ընդարձակման աշխատանքը, բ) ներքին էներգիայի փոփոխությունը, գ) գազին հաղորդված ջերմության քանակը:

3.37. Նկ. 3.2-ում պատկերված են երեք շրջանային պրոցեսների գրաֆիկները՝ (P, T) , (P, V) և (V, T) փոփոխականներով: (P, V) գրաֆիկի կորագիծ հատվածները իզոթերմեր են: Պատկերել այդ պրոցեսների գրաֆիկները այն փոփոխականներով, որով դրանք տրված չեն:



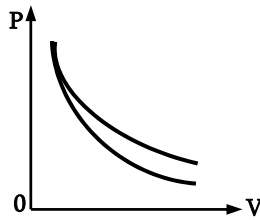
3.38. Միացով փակ գլանը լցված է գազով: Միացը վերնից սեղմված է Հուկի օրենքին ենթարկվող զսպանակով: (P, V) առանցքներում

պատկերել տաքացնելիս գազի վիճակի փոփոխությունը և հաշվել կատարած աշխատանքը, եթե գազի ծավալը փոխվում է V_1 -ից մինչև V_2 , իսկ ճնշումը՝ P_1 -ից մինչև P_2 :

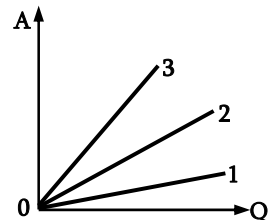
3.39. Նկ. 3.3-ում պատկերված են հելիումի և ածխաթթվի ադիաբատները: Ո՞ր կորն է համապատասխանում հելիումին:

3.40. P_1, V_1 պարամետրերով սկզբնական վիճակից գազն ընդարձակվում է մինչև V_2 վերջնական ծավալը, մի անգամ՝ իզոթերմորեն, երկրորդ անգամ՝ ադիաբատորեն: Ո՞ր պրոցեսում է վերջնական ճնշումը մեծ և ինչո՞ւ: Ո՞ր պրոցեսի ընթացքում է կատարվում ավելի մեծ աշխատանք:

3.41. Նկ. 3.4-ում արեցիսների առանցքի վրա տրված է իդեալական գազին հաղորդված ջերմաքանակը, իսկ օրդինատների առանցքի վրա՝ գազի կատարած աշխատանքը: Ուղիղներից մեկը իզոթերմ է, մյուս երկուսը՝ տարբեր գազերի իզոբարեր: Ո՞ր ուղիղն ի՞նչ պրոցեսի է համապատասխանում: Քանի՞ ազատության աստիճան ունի յուրաքանչյուր գազը (տատանողական ազատության աստիճաններն անտեսել): Գազերի սկզբնական պարամետրերը (ջերմաստիճան, ծավալ և ճնշում) նույնն են: Երկու առանցքներով մասշտաբները նույնն են: Ո՞ր պրոցեսների գրաֆիկներն են համընկնում առանցքների հետ:



նկ. 3.3

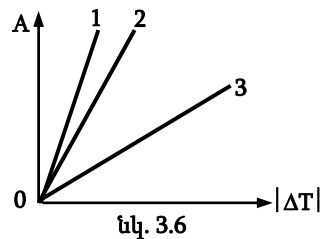
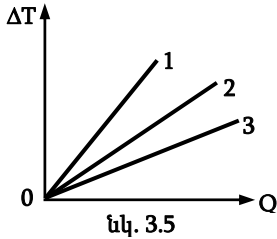


նկ. 3.4

3.42. Նկ. 3.5-ում պատկերված է միատոմ և երկատոմ գազերի համար տարբեր պրոցեսներում գազի ջերմաստիճանի փոփոխության կախումը նրան հաղորդված ջերմաքանակից: Ի՞նչ պրոցեսների են համապատասխանում այդ ուղիղները: Ո՞ր պրոցեսների գրաֆիկներն են համընկնում առանցքների հետ: Գազերի սկզբնական պարամետրերը (ջերմաստիճան, ծավալ և ճնշում) նույնն են:

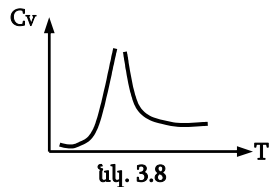
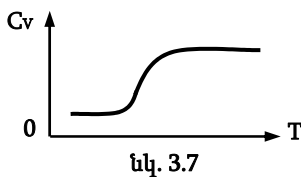
3.43. Նկ. 3.6-ում պատկերված ուղիղներից մեկը ցույց է տալիս աշխատանքի կախումը գազի ջերմաստիճանի փոփոխությունից իզոբար պրոցեսում: Մյուս երկուսը ազոտի և արգոնի ադիաբատներն

են: Ո՞ր ուղիղն ի՞նչ պրոցեսի է համապատասխանում: Ինչպե՞ս այդ գրաֆիկի վրա պատկերել իզոթերմը և իզոխորը: Ընդունել, որ արքսիսների առանցքով տրված է առավելագույն և նվազագույն ջերմաստիճանների տարբերությունը:



3.44. Ջրածնի մոլային ջերմունակությունը 20^0C ջերմաստիճանի շրջակայքում մեծ ճշտությամբ ենթարկվում է իդեալական գազի ջերմունակության դասական տեսությանը, որում ընդունվում է, որ երկատոմ գազերն ունեն երեք համընթաց և երկու պտտական ազատության աստիճան: Սակայն ցածր ջերմաստիճանների դեպքում ջրածնի ջերմունակությունը նվազում է և 40^0C ջերմաստիճանի շրջակայքում հավասարվում միատոմ գազերի ջերմունակությանը (նկ. 3.7): Ինչո՞վ է բացատրվում այդպիսի կախումը: Ինչո՞ւ այդպիսի վարք չի նկատվում մյուս երկատոմ գազերի մոտ:

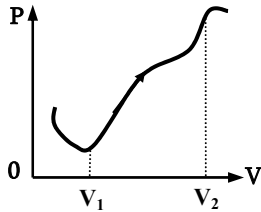
3.45. Երկատոմ գազերը տաքացնելիս բարձր ջերմաստիճաններում նկատվում է ջերմունակության կտրուկ աճ՝ հետագա նվազմամբ (նկ. 3.8): Նման կախում նկատվում է նաև բազմատոմ գազերի դեպքում: Ինչպե՞ս է բացատրվում այդպիսի կախումը:



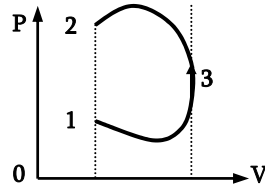
3.46. Հայտնի է $P = P(V)$ ճնշման կախումը ծավալից որոշակի պրոցեսի համար (նկ. 3.9): Ինչպե՞ս կարելի է հաշվել այդ պրոցեսում կատարված աշխատանքը, եթե ծավալը փոխվում է V_1 -ից V_2 : Ցույց տալ աշխատանքը նկարի վրա:

3.47. (P, V) դիագրամում (նկ. 3.10) պատկերված է համակարգի

հետ կատարվող որոշակի պրոցես: Գրաֆիկի n° ռ հատվածներում է համակարգի կատարած աշխատանքը՝ ա) դրական, բ) բացասական: Նկարի վրա ցույց տալ 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակին անցնելիս համակարգի կատարած լրիվ աշխատանքը:



նկ. 3.9



նկ. 3.10

3.48. Ինչ-որ համակարգի վրա կատարում են $\delta A'$ աշխատանք և նրան հաղորդում $\delta Q'$ ջերմաքանակ: Հաշվել համակարգի կատարած δA աշխատանքը և նրա dU ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

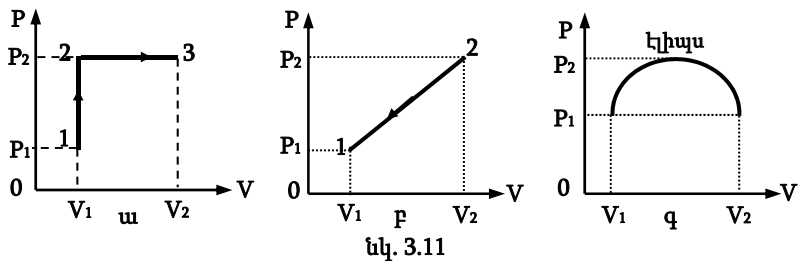
3.49. Կարելի՞ է արդյոք սահմանել այնպիսի վիճակի ֆունկցիաներ, որոնք ունեն համակարգի աշխատանքի կամ ջերմաքանակի իմաստ: Պատասխանը հիմնավորել:

3.50. Հայտնի է համակարգի $U(V, T)$ ներքին էներգիայի կախումը V ծավալից և T ջերմաստիճանից: Հաշվել համակարգի C_V իզոխոր ջերմունակությունը:

3.51. Համակարգի համար հայտնի են՝ ա) $U = U(V, T)$ ներքին էներգիայի կախումը ծավալից և ջերմաստիճանից և բ) $V = V(P, T)$ ծավալի կախումը ճնշումից և ջերմաստիճանից: Որոշել համակարգի C_P իզոբար ջերմունակությունը:

3.52. Հաշվել այն պրոցեսի C_ϕ ջերմունակությունը, որի հավասարումն է $\phi(V, T) = \text{const}$: Համակարգի համար հայտնի են C_V -ն, $P(V, T)$ -ն և $U(V, T)$ -ն:

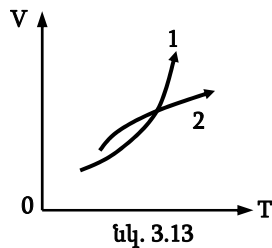
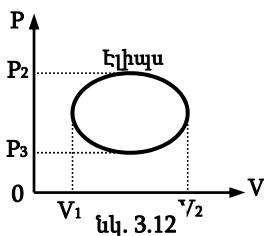
3.53. Որոշել նկ. 3.11-ում պատկերված պրոցեսներում համակարգի կատարած աշխատանքը:



3.54. Որոշել γ ադիաբատի ցուցիչով իդեալական գազի ΔU ներքին էներգիայի փոփոխությունը և ստացած Q ջերմաքանակը նկ. 3.11-ում պատկերված պրոցեսների համար:

3.55. Որոշել նկ. 3.12-ում պատկերված պրոցեսում համակարգին հաղորդված ջերմաքանակը:

3.56. Նկ. 3.12-ում իդեալական գազի հետ կատարված պրոցեսի համար կառուցումով որոշել այն վիճակներին համապատասխանող A և B կետերը, որոնցում գազի ներքին էներգիան ունի համապատասխանաբար նվազագույն և առավելագույն արժեքներ: Նշել նաև ներքին էներգիայի աճման և նվազման տիրույթները:



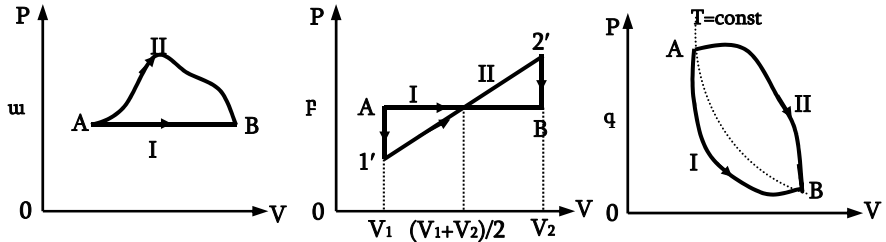
3.57. Ֆիզիկայի տեսանկյունից բացատրել այն փաստը, որ $C_p > C_v$:

3.58. Իդեալական գազը, որի ադիաբատի ցուցիչը γ է, (P_1, V_1) վիճակից անցնում է (P_2, V_2) վիճակին: Որոշել գազի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը:

3.59. Իդեալական գազի հետ կատարվում են նկ. 3.13-ում պատկերված պրոցեսները: Համեմատել այդ պրոցեսների $C_1(V_0, T_0)$ և $C_2(V_0, T_0)$ ջերմունակությունները կորերի հատման կետում:

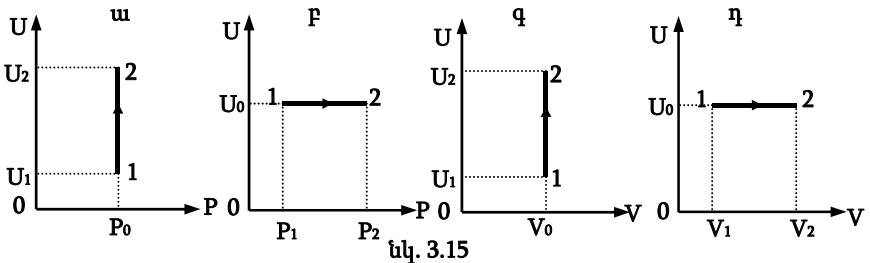
3.60. Համեմատել Q_I և Q_{II} ջերմաքանակները, որոնք ստանում է

իդեալական գազը I և II ուղիներով A -ից B վիճակին անցնելիս (նկ. 3.14):



նկ. 3.14

3.61. Նկ. 3.15-ում γ աղիաբատի ցուցիչով իդեալական գազի համար պատկերված պրոցեսների դեպքում հաշվել ΔU ներքին էներգիայի աճը, գազի կատարած A աշխատանքը և գազին հաղորդված Q ջերմաքանակը:



նկ. 3.15

3.62. Օդի ճնշումն աճել է P_1 -ից մինչև P_2 : Հաշվել V ծավալով սենյակում գտնվող օդի ներքին էներգիայի աճը, եթե հայտնի է օդի γ աղիաբատի ցուցիչը:

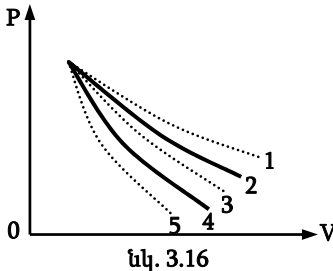
3.63. ν մոլ իդեալական գազին հաղորդում են Q ջերմաքանակ, ինչի հետևանքով նրա ջերմաստիճանը T_1 -ից բարձրանում է մինչև T_2 : Որոշել գազի γ աղիաբատ ցուցիչի արժեքը:

3.64. Գրել իդեալական գազի վիճակի հավասարումը՝ արտահայտված P , V և T պարամետրերով, եթե հայտնի են գազի C_V և C_P ջերմունակությունները:

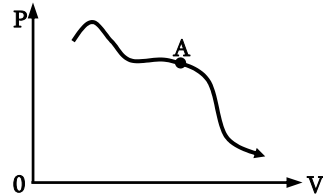
3.65. Նկ. 3.16-ում պատկերված են մի շարք պրոցեսների գրաֆիկներ: 2-րդ կորը իզոթերմ է, իսկ 4-րդը՝ աղիաբատ: Որոշել C ջերմունակության նշանը 1-ին, 3-րդ և 5-րդ պրոցեսներում: Ինչի՞ են հա-

վասար 2-րդ և 4-րդ պրոցեսների C ջերմունակությունները:

3.66. Նկ. 3.17-ում պատկերված գրաֆիկի վրա ինչպե՞ս կարելի է կառուցումով որոշել ջերմունակության նշանը որևէ A վիճակում:



նկ. 3.16



նկ. 3.17

3.67. Պարզել, թե պոլիտրոպ են արդյոք հետևյալ պրոցեսները՝
ա) $P = a \exp(-\alpha V)$, բ) $V = \text{const} \cdot P^{2/3}$, գ) $V|\sin P| = \text{const}$:
Պոլիտրոպ պրոցեսների համար որոշել պոլիտրոպի n ցուցիչը և մոլային ջերմունակությունները:

3.68. Նույն սկզբնական վիճակով (P, V) դիագրամում կառուցել իզոթերմեր և ադիաբատներ հելիումի և ջրածնի համար:

3.69. Որոշել ջերմաստիճանի և ճնշման կապը իդեալական գազի համար ադիաբատ պրոցեսի դեպքում: Պատկերել այդ կախումը (P, T) դիագրամում:

3.70. Ի՞նչ արագություն պետք է ունենա կապարե գնդակը, որպեսզի հալվի պողպատյա սալիկին հարվածելու դեպքում: Գնդակի ջերմաստիճանը՝ $t_0 = 27^\circ \text{C}$, հալման ջերմաստիճանը՝ $t = 327^\circ \text{C}$, կապարի հալման տեսակարար ջերմաքանակը՝ $\lambda = 21 \text{ Ջ/գ}$, իսկ տեսակարար ջերմունակությունը՝ $c = 0.14 \text{ Ջ/(գ}^\circ\text{C)}$:

3.71. Երկու անոթներում տեղադրված են հավասար հզորություն ունեցող ջեռուցիչներ: Անոթներում m_1 և m_2 զանգվածներով տարբեր հեղուկներ են, որոնք ունեն t_0 սկզբնական ջերմաստիճան: Որոշ ժամանակ անց առաջին հեղուկի ջերմաստիճանը դառնում է t_1 , իսկ երկրորդինը՝ t_2 : Որոշել երկրորդ հեղուկի c_2 տեսակարար ջերմունակությունը, եթե անոթների ջերմունակությունները համապատասխանաբար C_1 և C_2 են, առաջին հեղուկի տեսակարար ջերմունակությունը c_1 է:

3.72. Սենյակում գտնվող գազը համարելով իդեալական՝ ցույց տալ, որ եթե արտաքին ճնշումը մնում է անփոփոխ, ապա սենյակում գտնվող օդը տաքացնելիս նրա ներքին էներգիան չի փոխվում:

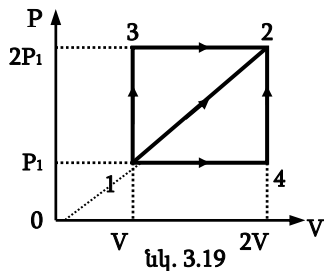
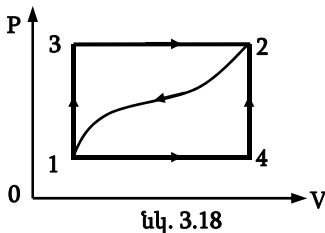
3.73. (P, V) դիագրամում պատկերված են որևէ ջերմադինամիկական համակարգի տարբեր դարձելի պրոցեսներ (նկ. 3.18): Հայտնի է, որ երբ համակարգը 1-ին վիճակից անցնում է 2-րդ վիճակին 1-3-2 ուղիով, ստանում է $Q_{132} = 80 \text{ Ջ}$ ջերմաքանակ և կատարում է $A_{132} = 30 \text{ Ջ}$ աշխատանք: 1) Որքա՞ն Q_{142} ջերմաքանակ կստանա համակարգը 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակին 1-4-2 ուղիով անցնելիս, եթե այդ դեպքում այն կատարում է $A_{142} = 10 \text{ Ջ}$ աշխատանք: 2) Համակարգը վերադառնում է 2-րդ վիճակից 1-ին վիճակին 2-1 ուղիով: Արտաքին ուժերը կատարում են $A'_{21} = 20 \text{ Ջ}$ աշխատանք: Որքա՞ն Q'_{21} ջերմաքանակ կտա համակարգն այդ պրոցեսի ընթացքում: 3) Որոշել 1-4 և 4-2 պրոցեսների ընթացքում համակարգի ստացած ջերմաքանակները, եթե ներքին էներգիաների տարբերությունը՝ $U_4 - U_1 = 40 \text{ Ջ}$:

3.74. Որքա՞ն ջերմաքանակ է անհրաժեշտ հաղորդել մեկ մոլ միատոմ իդեալական գազին, որպեսզի իզոբար դարձելի տաքացման ընթացքում այն կատարի $A = 10 \text{ Ջ}$ աշխատանք:

3.75. Մեկ մոլ իդեալական գազը, որի մոլային ջերմունակությունը՝ $C_V = 5R/2$, դարձելի կերպով կարող է անցնել 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակին 1-3-2, 1-4-2 և 1-2 ուղիներով (նկ. 3.19): Որոշել այն Q_{132} , Q_{142} և Q_{12} ջերմաքանակները, որոնք գազը ստանում է յուրաքանչյուր անցման ընթացքում: Որոշել 1-2 պրոցեսում գազի C_{12} մոլային ջերմունակությունը: Բոլոր արդյունքներն արտահայտել R գազային հաստատունով և գազի 1-ին վիճակում T_1 ջերմաստիճանով:

3.76. Ցույց տալ, որ համասեռ և իզոտրոպ համակարգի համար նյութի ջերմունակությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

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



3.77. Ապացուցել Մայերի $R = C_p - C_v$ առնչությունը իդեալական գազի համար:

3.78. Ցույց տալ, որ $\chi_{\omega\eta} = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_{\omega\eta}$ ադիաբատ սեղմելիության և

$\chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$ իզոթերմ սեղմելիության միջև գոյություն ունի

հետևյալ կապը՝ $\chi_{\omega\eta} = \frac{C_v}{C_p} \chi_T$:

3.79. Հաշվել մեկ մոլ իդեալական գազի աշխատանքը իզոխոր, իզոբար և իզոթերմ պրոցեսներում:

3.80. Իդեալական գազի համար ստանալ ադիաբատ պրոցեսի հավասարումը:

3.81. Գազերի խառնուրդը կազմված է $m_1 = 7$ գ զանգվածով ազոտից և $m_2 = 20$ գ զանգվածով արգոնից: Գազերը համարելով իդեալական՝ գտնել խառնուրդի տեսակարար c_p և c_v ջերմունակությունները:

3.82. Երկատոմ իդեալական գազի տեսակարար ջերմունակությունների $c_p - c_v$ տարբերությունը հավասար է $260 \text{ Ջ/(կգ}\cdot\text{Կ)}$: Որոշել մեկ կիլոմոլ գազի զանգվածը և նրա c_p ու c_v ջերմունակությունները:

3.83. Որոշել ըստ կշռի 50 % ջրածին և հելիում պարունակող գազային խառնուրդի C_v ջերմունակությունը, եթե $V = 1 \text{ Լ}$, $T = 300 \text{ Կ}$, $P = 800 \text{ մմ ս. ս.}$: Ջրածնի մոլային ջերմունակությունը՝ $C_{v_1} = 20.9 \text{ Ջ/(մոլ}\cdot\text{Կ)}$, իսկ հելիումինը՝ $C_{v_2} = 12.5 \text{ Ջ/(մոլ}\cdot\text{Կ)}$:

3.84. Հատուկ պայմաններում ջուրը կարող է գերսառեցվել մինչև $t = -10^0 \text{ Ը}$: Ինչ զանգվածով սառույց կառաջանա $M = 1 \text{ կգ}$ այդ ջերմաստիճանի ջրից, եթե նրա մեջ գցվի սառույցի փոքրիկ կտոր, ինչի հետևանքով ջուրը գրեթե ակնթարթորեն կսառցակալվի: Ընդունել, որ գերսառեցված ջրի ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից և հավասար է սովորական ջրի ջերմունակությանը:

3.85. 100^0 Ը ջերմաստիճանում ջրածնից մեկ մոլ ջրային գոլորշու առաջանալու դեպքում անջատվում է $Q_1 = 243600 \text{ Ջ}$ ջերմություն:

100^0 Ը ջերմաստիճանում մեկ մոլ ջրային գոլորշու՝ նույն ջերմաս-

տիճանի ջրի վերածվելու դեպքում անջատվում է $Q_2 = 40740\text{Ջ}$ ջերմություն: Որքա՞ն ջերմություն կանջատվի 100^0C ջերմաստիճանում գտնվող ջրածնից և թթվածնից նույն ջերմաստիճանի 1մոլ ջուր ստանալու դեպքում:

3.86. Համաձայն Ջոուլի օրենքի՝ իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված է միայն նրա ջերմաստիճանից: Ապացուցել, որ իդեալական գազի $H = U + PV$ էնթալպիան կախված չէ ճնշումից, այլ ֆունկցիա է միայն գազի ջերմաստիճանից:

3.87. Որոշակի զանգվածով երկատոմ գազը ($\gamma = 1.4$) սեղմում են, մի անգամ՝ իզոթերմորեն, երկրորդ անգամ՝ ադիաբատորեն: Սկզբնական ջերմաստիճանները և ճնշումները երկու դեպքում էլ նույնն են: Վերջնական ճնշումը n անգամ մեծ է սկզբնական ճնշումից: Որոշել սեղմման աշխատանքների հարաբերությունը ադիաբատ և իզոթերմ պրոցեսներում: Հետագոտել՝ ա) $n = 2$ և բ) $n = 100$ դեպքերը:

3.88. Հաստատուն ջերմունակությամբ կատարվող պրոցեսները կոչվում են պոլիտրոպ պրոցեսներ: Ստանալ պոլիտրոպ պրոցեսի հավասարումն այնպիսի իդեալական գազի համար, որի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից: Հետագոտել՝ 1) $C = C_V$, 2) $C = C_P$, 3) $C = \infty$, 4) $C = 0$ մասնավոր դեպքերը:

3.89. Մեկ մոլ իդեալական գազը իզոթերմորեն V_1 ծավալից ընդարձակվում է մինչև V_2 ծավալ: Հաշվել գազի կատարած A աշխատանքը և նրան հաղորդված Q ջերմաքանակը:

3.90. Պոլիտրոպի n ցուցիչի n ր արժեքների դեպքում է իդեալական գազը սեղմվելիս տաքանում և n ր արժեքների դեպքում է սեղմվելիս սառչում:

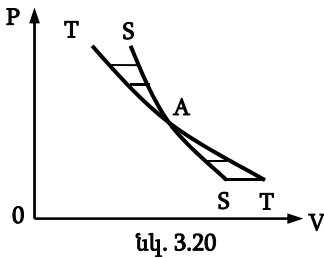
3.91. Տաքանո՞ւմ, թե՞ սառչում է իդեալական գազը, եթե ընդարձակվում է $PV^2 = const$ օրենքով: Հաշվել նրա ջերմունակությունն այդ պրոցեսում:

3.92. Ինչ-որ պոլիտրոպ պրոցեսի ընթացքում հեղիումը $V_1 = 4\text{լ}$ ծավալից սեղմվում է մինչև $V_2 = 1\text{լ}$ ծավալ, ինչի հետևանքով ճնշումը $P_1 = 1\text{մթ.ից}$ աճում է մինչև $P_2 = 8\text{մթ.}$: Գտնել հեղիումի ջերմունակությունը այս պրոցեսում, եթե նրա սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 300\text{Կ}$:

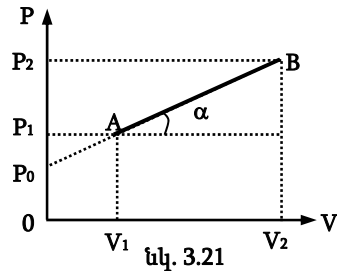
3.93. Գտնել այն պրոցեսի մոլային ջերմունակությունը, որի ժամա-

նակ իդեալական գազի ճնշումը համեմատական է նրա ծավալին: Գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից:

3.94. (P, V) դիագրամում (նկ. 3.20-ում) պատկերված են TT իզոթերմ և SS ադիաբատ պրոցեսների գրաֆիկները այնպիսի իդեալական գազի համար, որի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից: Ցույց տալ, որ հատման A կետով անցնող պոլիտրոպ պրոցեսին, որի գրաֆիկն անցնում է նրբագծված տիրույթով, համապատասխանում է բացասական ջերմունակություն, իսկ չնրբագծված հատվածով անցնող պոլիտրոպին՝ դրական ջերմունակություն:



նկ. 3.20



նկ. 3.21

3.95. Իդեալական գազի վիճակը փոխվում է $P = kV$ պոլիտրոպով: Հաշվել այն աշխատանքը, որը կատարում է մեկ մոլ գազը T_1 ջերմաստիճանից մինչև T_2 ջերմաստիճան տաքանալիս:

3.96. Մեկ մոլ իդեալական գազը (P_1, V_1) վիճակից անցնում է (P_2, V_2) վիճակին նկ. 3.21-ում պատկերված AB ուղիով: Գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից: 1) Գրել այդ պրոցեսի հավասարման անալիտիկ տեսքը: 2) Հաշվել գազի մոլային ջերմունակությունը:

3.97. Իդեալական գազի համար պոլիտրոպ պրոցեսի աշխատանքի արտահայտությունից ստանալ իզոթերմ պրոցեսի աշխատանքի արտահայտությունը՝ կատարելով $n \rightarrow 1$ սահմանային անցում:

3.98. Ցույց տալ, որ եթե պրոցեսի ընթացքում իդեալական գազի կատարած աշխատանքը համեմատական է նրա վերջնական և սկզբնական ջերմաստիճանների տարբերությանը, ապա այդ պրոցեսն ընթանում է $PV^n = \text{const}$ օրենքով, որտեղ n -ը հաստատուն է:

3.99. Իդեալական գազի վիճակի փոփոխությունը կատարվում է $PV^n = \text{const}$ պոլիտրոպով: Տրված է գազի տեսակարար C_p ջերմու-

նակությունը: Արտահայտել այդ պրոցեսում գազի տեսակարար ջերմունակությունը պոլիտրոպի n և ադիաբատի γ ցուցիչներով:

3.100. Հաշվել մեկ մոլ իդեալական գազի կատարած աշխատանքը պոլիտրոպ պրոցեսի ընթացքում, եթե գազի ծավալը սկզբնական V_1 -ից դառնում է V_2 : Դիտարկել իզոթերմ և ադիաբատ պրոցեսների մասնավոր դեպքերը:

3.101. Միացն այնքան դանդաղ են իջեցնում գազ պարունակող գլանի մեջ, որ գլանի պատերից ջերմության կորստի պատճառով ջերմաստիճանն աճում է երկու անգամ ավելի դանդաղ, քան միացի արագ շարժման դեպքում (ադիաբատ պրոցես): 1) Գրել այդ պրոցեսի հավասարումը, պարզել՝ պրոցեսը պոլիտրոպ է, թե՞ ոչ: 2) Հաշվել գազի մոլային ջերմունակությունը տվյալ պրոցեսում:

3.102. Մեկ մոլ իդեալական գազը, որի մոլային ջերմունակությունը՝ $C_V = 12.35 \text{ Ջ/(մոլ}\cdot^\circ\text{C)}$, դարձելի իզոբար պրոցեսով ընդարձակում են սկզբնական $V_1 = 5 \text{ Լ}$ ծավալից մինչև վերջնական $V_2 = 10 \text{ Լ}$ ծավալը: Ճնշումը՝ $P_1 = 2026 \cdot 10^6 \text{ Պա}$: Որոշել գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունն այդ պրոցեսում:

3.103. Ինչ-որ պոլիտրոպ պրոցեսի ընթացքում որոշակի զանգվածով թթվածնի ճնշումը և ծավալը փոխվում են սկզբնական P_1 , V_1 արժեքներից մինչև վերջնական $P_2 = 0.25P_1$, $V_2 = 2V_1$ արժեքները: Գազի սկզբնական ջերմաստիճանը T_1 է և պրոցեսի ընթացքում այնպես է փոխվում, որ կիրառելի է ջերմունակության դասական տեսությունը: Գազը համարելով իդեալական՝ որոշել թթվածնի կոմից շրջապատին հաղորդված ջերմաքանակը և գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

3.104. Իդեալական գազի համար ստանալ այն պրոցեսի հավասարումը, որի ընթացքում գազի ջերմունակությունը փոխվում է $C = \alpha T$ օրենքով (α -ն հաստատուն է):

3.105. Իդեալական գազի մոլային ջերմունակությունն ինչ-որ պրոցեսում փոխվում է $C = \alpha / T$ օրենքով (α -ն հաստատուն է): Ստանալ այդ պրոցեսի հավասարումը:

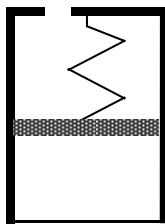
3.106. Մեկ մոլ իդեալական գազը կատարում է պրոցես, որի ընթացքում գազի մոլային ջերմունակությունը փոխվում է հետևյալ օրենքով՝ ա) $C = C_V + \alpha T$, բ) $C = C_V + \beta V$, գ) $C = C_V + \gamma P$, որտեղ C_V -ն, α -ն, β -ն և γ -ն հաստատուններ են: Ստանալ պրոցեսների հավասարումները՝ V և T փոփոխականներով:

3.107. Դիզելի քառատակտ շարժիչում $V_1 = 5$ Լ ծավալով մթնոլորտային օդն ադիաբատորեն սեղմվում է $n=12$ անգամ: Օդի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 10^\circ \text{C}$, ճնշումը մթնոլորտային է: Որոշել վերջնական ճնշումը, ջերմաստիճանը և սեղմման աշխատանքը:

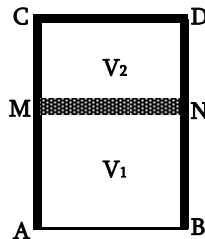
3.108. Օդի (իդեալական գազ, որի համար $\gamma = 1.4$) մի մասն անհրաժեշտ է սեղմել $P_1 = 10^9$ Պա ճնշումից մինչև $P_2 = 10^{10}$ Պա ճնշումը: Որոշել, թե ինչպես է ավելի ձեռնտու սեղմել գազը՝ ադիաբատորեն, թե՞ իզոթերմորեն, այսինքն՝ ո՞ր դեպքում կկատարվի ավելի քիչ աշխատանք:

3.109. $V = 10$ Լ ծավալով անոթը լցված է թթվածնով, որը գտնվում է $P = 10^5$ Պա ճնշման տակ: Անոթի պատերը կարող են դիմանալ $P_0 = 10^6$ Պա ճնշմանը: Գազը համարելով իդեալական՝ որոշել, թե ինչ առավելագույն ջերմաքանակ կարելի է հաղորդել գազին:

3.110. Գլանում՝ միացի տակ, կա մեկ մոլ իդեալական գազ: Միացը պահվում է հավասարակշռության դիրքում Հուկի օրենքին ենթարկվող զսպանակով (նկ. 3.22): Գլանի պատերը և միացը ջերմություն չեն հաղորդում, իսկ գլանի հատակը ջերմահաղորդիչ է: Գազի սկզբնական V_0 ծավալը, որի դեպքում զսպանակը դեֆորմացված չէ, այնպես է ընտրված, որ $P_0 S^2 = k V_0$, որտեղ P_0 -ն արտաքին մթնոլորտային ճնշումն է, S -ը՝ միացի մակերեսը, k -ն՝ զսպանակի կոշտությունը: Գազը տաքացվում է: Հաշվել գազի ջերմունակությունը նշված պրոցեսում:



նկ. 3.22



նկ. 3.23

3.111. Գլանի AC և BD պատերը (նկ. 3.23), CD կափարիչը և MN միացը պատրաստված են ջերմամեկուսիչ նյութից: AB հատակը ջերմահաղորդիչ է: MN միացի շփումը գլանի պատերի հետ կարելի է անտեսել: Միացի վերևում և ներքևում կա նույն իդեալական գազի մեկական մոլ, որի C_V մոլային ջերմունակությունը և ադիաբատի γ

ցուցիչը հայտնի են: V_1 ծավալում գտնվող գազը քվադրատատիկ կերպով տաքացնում են, ինչի հետևանքով MN միացը տեղաշարժվում է: Արտահայտել այդ գազի մոլային C_1 ջերմունակությունը նշված պրոցեսում գազերի V_1 և V_2 ծավալներով: Հաշվել երկրորդ գազի C_2 ջերմունակությունը:

3.112. Օդով լցված երկու կողմից փակ գլանում տեղադրված է այն երկու հավասար մասերի բաժանող միաց: Միացի տարբեր կողմերում գտնվող գազի ճնշումները հավասար են՝ $P_0 = 10^5$ Պա: Հավասարակշռության դիրքից միացը շեղում են փոքր հեռավորության վրա և բաց թողնում, ինչի հետևանքով այն սկսում է կատարել փոքր տատանումներ: Միացի շփումը պատերի հետ անտեսել: Միացի զանգվածը՝ $M = 1.5$ կգ, մակերեսը՝ $S = 100$ սմ², գլանի երկարությունը՝ $L = 40$ սմ: Որոշել տատանումների պարբերությունը՝ պրոցեսը համարելով՝ 1) ադիաբատ, 2) իզոթերմ:

3.113. Ջերմունակության դասական տեսությամբ որոշել թթվածնի տեսակարար ջերմունակությունը բարձր ջերմաստիճաններում:

3.114. Իդեալական գազն այնպես է սեղմվում, որ նրա ներքին էներգիան մնում է անփոփոխ: Որոշել գազի մոլային ջերմունակությունը:

3.115. Իզոբար ընդարձակման պրոցեսում իդեալական գազին հաղորդված ջերմաքանակի n -ր մասն է կազմում գազի կատարած աշխատանքը:

3.116. Օգտվելով ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքից՝ գտնել ջերմունակությունների $C_p - C_v$ տարբերությունը ցանկացած համասեռ և իզոտրոպ նյութի համար:

3.117. Ցույց տալ, որ իդեալական գազերում ձայնի ν արագությունը կախված է միայն ջերմաստիճանից:

3.118. Իդեալական գազի համար գտնել ձայնի արագության ածանցյալը՝ ըստ ջերմաստիճանի:

3.119. Որոշել ձայնի արագության աճը օդում, եթե ջերմաստիճանը բարձրանում է 0°C -ից մինչև 1°C :

3.120. Ձայնի արագությունն օդում $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ $\nu_0 = 332$ մ/վ: Որոշել նույն ջերմաստիճանում ձայնի արագությունը ջրածնում:

3.121. Նորմալ պայմաններում ձայնի արագությունն օդում՝ $c \approx 340$ մ/վ: Գնահատել օդի մոլեկուլների համընթաց շարժման էներգիայի կարգը՝ ընդունելով, որ ազոտի և թթվածնի մոլեկուլների զանգ-

վածները՝ $m \approx 5 \cdot 10^{-23}$ գ:

3.122. Հաշվել $\gamma = C_p / C_v$ հարաբերությունը, եթե $t_0 = 0^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում և $P_0 = 760$ մմ ս. ս. ճնշման տակ օդում ձայնի արագությունը՝ $v = 332$ մ/վ: Օդի խտությունը՝ $\rho = 1.29 \cdot 10^{-3}$ գ/սմ³:

3.123. Գտնել v_1 , v_2 , v_3 մոլերով իդեալական գազերի խառնուրդում ձայնի արագության արտահայտությունը T ջերմաստիճանում:

3.124. Որոշել ձայնի արագությունը թթվածնում $T = 1$ կէՎ ջերմաստիճանում:

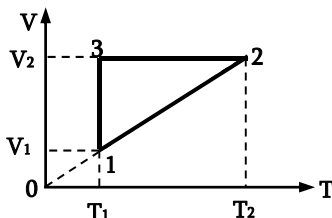
3.125. Գտնել որոշակի զանգվածով ազոտի ներքին էներգիայի փոփոխությունը, եթե ազոտը քվադիստատիկ կերպով ադիաբատորեն ընդարձակվում է $V_1 = 10$ լ ծավալից մինչև $V_2 = 320$ լ ծավալ: Գազի սկզբնական ճնշումը՝ $P_1 = 10^5$ Պա:

3.126. $U = 300$ Վ լարումով լիցքավորված $C = 100$ մկՖ ունակությամբ կոնդենսատորների մարտկոցը լիցքաթափվում է $V = 10$ սմ³ ծավալով անոթում: Անոթը լցված է նորմալ պայմաններում գտնվող արգոնով: Գնահատել արգոնում ճնշման ΔP փոփոխությունը:

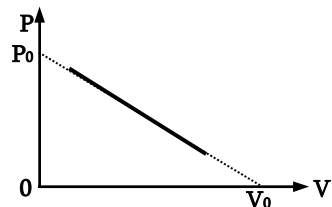
3.127. Դրակա՞ն, թե՞ բացասական աշխատանք է կատարում իդեալական գազը նկ. 3.24-ում պատկերված 1-2-3-1 շրջանային պրոցեսում: Հաշվել այդ աշխատանքը m գրամ ազոտի համար: Հայտնի է, որ $V_2 / V_1 = T_2 / T_1$:

3.128. Որոշակի պրոցեսում ազոտի մոլային ջերմունակությունը հաստատուն է, և $C = 23.556$ Ջ/(մոլ·Կ): Ինչպե՞ս է կախված ճնշումը ջերմաստիճանից այդ պրոցեսում:

3.129. Նկ. 3.25-ում պատկերված պրոցեսի համար հաշվել $C(V)$ մոլային ջերմունակությունը, եթե գազն իդեալական է: Նրա $\gamma = C_p / C_v$ -ն, P_0 -ն և V_0 -ն համարել հայտնի: Որոշել այդ պրոցեսում գազի ջերմաստիճանի առավելագույն արժեքը: Գծել $C(V)$ կախման գրաֆիկը:



նկ. 3.24



նկ. 3.25

3.130. γ աղիաբատի գործակից ունեցող գազի հետ կատարվում է $P = AT^a$ օրենքին ենթարկվող պրոցես, որտեղ A -ն և a -ն հաստատուններ են: Հաշվել՝ ա) գազի կատարած աշխատանքը ջերմաստիճանը ΔT -ով աճելու դեպքում, բ) այդ պրոցեսի մոլային ջերմունակությունը: a -ի ինչ արժեքի դեպքում ջերմունակությունը կլինի բացասական:

3.131. Ստանալ V, T պարամետրերով իդեալական գազի այն պրոցեսի հավասարումը, որի մոլային ջերմունակությունը ջերմաստիճանի հետ փոխվում է $C = C_0 + aT$ օրենքով, որտեղ a -ն հաստատուն է: Դիտարկել $C_0 = 0$ մասնավոր դեպքը:

3.132. Ստանալ V, T պարամետրերով իդեալական գազի աղիաբատի հավասարումը ջերմաստիճանների այն տիրույթում, որտեղ $C_V = C_0 + aT^2$: a -ն հաստատուն մեծություն է:

3.133. γ աղիաբատի ցուցիչով գազի հետ կատարվում է պրոցես, որի ընթացքում գազի մոլային ջերմունակությունը փոխվում է $C = aT^2$ օրենքով: Ստանալ պրոցեսի հավասարումը:

3.134. Իդեալական գազի C_V ջերմունակությունը հայտնի է: Որոշել այդ գազի մոլային ջերմունակության կախումը V ծավալից, եթե գազի հետ կատարվում է $T = T_0 e^{aV}$ օրենքին ենթարկվող պրոցես:

3.135. Իդեալական գազի C_V ջերմունակությունը հայտնի է: Որոշել այդ գազի մոլային ջերմունակության կախումը V ծավալից, եթե գազի հետ կատարվում է $P = P_0 e^{aV}$ օրենքին ենթարկվող պրոցես:

3.136. Որոշակի պոլիտրոպ պրոցեսում արգոնի ծավալն աճում է $\alpha = 4$ անգամ, իսկ ճնշումը նվազում է $\beta = 8$ անգամ: Գազը համարելով իդեալական՝ հաշվել նշված պրոցեսում նրա մոլային ջերմունակությունը:

3.137. Գլանում՝ միացի տակ գտնվող իդեալական գազն այնպես է սեղմվում, որ շրջապատին հաղորդվող ջերմությունը հավասար է գազի ներքին էներգիայի փոփոխությանը: Հաշվել՝ 1) մեկ մոլ գազի ծավալը երկու անգամ փոքրացնելու համար կատարվող աշխատանքը, 2) պրոցեսի ջերմունակությունը, եթե գազի սկզբնական ջերմաստիճանը T_0 է:

3.138. $2V_0$ ծավալով ջերմամեկուսացված գլանը S մակերես ունեցող անկշռելի և ջերմամեկուսացված միացով բաժանված է երկու

հավասար մասերի, որոնցից յուրաքանչյուրում կա մեկական մոլ իդեալական գազ: Մասերից մեկը տաքացնում են, ինչի հետևանքով մխոցը տեղաշարժվում է h -ով: Երկու կեսերում գազի սկզբնական ջերմաստիճանը նույնն է՝ T_0 : Որոշել ծախսված ջերմության քանակը:

3.139. CO_2 ածխաթթու գազը, որի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 360$ Կ, ադիաբատորեն սեղմվում է մինչև սկզբնական ծավալի $1/20$ մասը: Որոշել ներքին էներգիայի փոփոխությունը և կատարված աշխատանքը, եթե գազի զանգվածը՝ $m = 20$ գ:

3.140. Փակ անոթում լցված են $m_1 = 12$ գ ջրածին և $m_2 = 2$ գ ազոտ: Որոշել ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը, եթե խառնուրդի ջերմաստիճանը փոխվել է $\Delta T = 56$ Կ-ով:

3.141. Ողղաձիգ գլանում՝ S մակերեսով թեթև մխոցի տակ, կա մեկ մոլ իդեալական գազ: Սկզբնական վիճակում գազի ճնշումը մխոցի վրա հավասարակշռվում էր մթնոլորտային P_0 ճնշումով: Արտաքինից ազդելով մխոցի վրա՝ այն այնպես դանդաղ են բարձրացնում, որ գազի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ և հավասար է T_0 -ի: Ի՞նչ աշխատանք է պետք կատարել մխոցը h -ով բարձրացնելու համար:

3.142. Բացարձակ զրոյին մոտ ջերմաստիճաններում պինդ մարմինների տեսակարար ջերմունակությունը որոշում են $c = kT^3$ Դեբայի օրենքով: Որոշել այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է m զանգվածով պինդ մարմնի ջերմաստիճանը T_1 -ից մինչև T_2 բարձրացնելու համար:

3.143. Ապացուցել, որ ծանրության համասեռ դաշտում գտնվող, վերևից անսահմանափակ օդի սյան ջերմունակությունը հավասար է C_p ջերմունակությանը հաստատուն ճնշման դեպքում: Գազի խտության համար օգտվել բարոմետրական բանաձևից՝ $\rho = \rho_0 \exp(-\mu gh / kT)$:

3.144. Օգտվելով $\chi_{\text{ադ}} = \frac{C_V}{C_P} \chi_T$ բանաձևից՝ ցույց տալ, որ $P-V$

հարթության ցանկացած կետում ադիաբատի թեքությունը միշտ մեծ է իզոթերմի թեքությունից:

3.145. Ապացուցել $dP = k(-dV / V + \alpha_V dT)$ առնչությունը, որը կապ է հաստատում P ճնշման, V ծավալի և T ջերմաստիճանի փոքր փոփոխությունների միջև քվադրատային պրոցեսներում:

IV. ՋԵՐՄԱՆԻՒՆԱՄԻԿԱՅԻ 2-ԴՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔԸ: ԷՆՏՐՈՊԻԱ: ՇՐՋԱՆԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐ

1. Ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} = \frac{A}{Q_0},$$

որտեղ Q_0 -ն բանոդ մարմնին հաղորդված ջերմության քանակն է, Q -ն՝ սառնարանին հաղորդված ջերմության քանակը, A -ն՝ մեքենայի կատարած աշխատանքը:

2. Կառնոյի մեքենայի ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{T_0 - T}{T},$$

որտեղ T_0 -ն ջեռուցիչի ջերմաստիճանն է, T -ն՝ սառնարանի:

3. Կլաուզիուսի անհավասարությունը՝

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0,$$

որտեղ δQ -ն համակարգին հաղորդված ջերմության քանակն է:

4. Համակարգի էնտրոպիայի աճը՝

$$\Delta S \geq \int \frac{\delta Q}{T}:$$

5. Ջերմադինամիկայի հիմնական առնչությունը՝

$$TdS \geq dU + p dV:$$

6. Էնտրոպիայի կապը ջերմադինամիկական հավանականության հետ՝ $S = k \ln z$, որտեղ z -ը ջերմադինամիկական հավանականությունն (միկրովիճակների թիվն) է:

7. Էնտրոպիայի որոշումն իդեալական գազի համար դարձելի պրոցեսի դեպքում՝

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dU + PdV}{T} = \int_1^2 \nu C_V \frac{dT}{T} + \int_1^2 \nu R \frac{dV}{V} = \nu C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}:$$

4.1. Ինչո՞ւ է ջերմային մեքենայում անհրաժեշտ ինչ-որ մի պահի բանոդ մարմնին անջատել ջեռուցիչից:

4.2. Ի՞նչ է ջերմության բերված քանակը: Ի՞նչ պայմանների պետք է բավարարեն բերված ջերմությունները Կառնոյի ցիկլի համար և ի՞նչ պայմանների՝ ցանկացած շրջանային պրոցեսի համար:

4.3. Ի՞նչ տարբերություն կա ջերմությունն աշխատանքի և աշխատանքը ջերմության վերափոխելու պրոցեսների միջև:

4.4. Ինչո՞ւ է բացարձակ զրո ջերմաստիճանն անհասանելի:

4.5. Ինչպե՞ս և ի՞նչ փոփոխականներով կարելի է գրել էնտրոպիայի ֆունկցիայի dS լրիվ դիֆերենցիալը: Ինչպե՞ս կարելի է էնտրոպիայի օգնությամբ գրել ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքը:

4.6. Ինչպե՞ս է փոխվում էնտրոպիան դարձելի և ոչ դարձելի պրոցեսներում: Ի՞նչ արժեք ունի $\int \frac{\delta Q}{T}$ ինտեգրալը դարձելի և ոչ դարձելի

շրջանային պրոցեսների համար: Ո՞ր մարմինների ջերմաստիճաններն են այդ դեպքերում գրվում ինտեգրալի հայտարարում:

4.7. Կարելի՞ է արդյոք որևէ համակարգում իրականացնել շրջանային ոչ դարձելի ադիաբատ պրոցես:

4.8. Մեծանո՞ւմ, թե՞ փոքրանում է համակարգի էնտրոպիան, երբ համակարգը մոտենում է ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակին:

4.9. Ի՞նչ ջերմադինամիկական առնչություններ են հետևում dS -ի՝ լրիվ դիֆերենցիալ հանդիսանալու պայմանից:

4.10. Ինչպե՞ս կարելի է հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ համակարգը մի վիճակից անցնում է մյուս վիճակին:

4.11. Ինչպե՞ս կարելի է ցիկլի դիագրամներից ջերմային մեքենան տարբերել սառեցնողից:

4.12. Ի՞նչ պարամետրեր են անհրաժեշտ ցիկլի ադիաբատ տեղամասում կատարված աշխատանքը հաշվելու համար:

4.13. Ի՞նչ պարամետրեր են անհրաժեշտ ցիկլի իզոթերմ տեղամասում կատարված աշխատանքը հաշվելու համար:

4.14. Ի՞նչ պարամետրեր են անհրաժեշտ բանող մարմնին հաղորդված ջերմությունը ցիկլի իզոթերմ և իզոբար տեղամասերում հաշվելու համար:

4.15. Ի՞նչ է ջերմադինամիկական հավանականությունը, և ինչպե՞ս է այն կապված մաթեմատիկական հավանականության հետ:

4.16. Ո՞ր մեծություններով կարելի է որոշել ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն:

4.17. Սահմանել սառեցնող մեքենայի ՕԳԳ-ն:

4.18. Ապացուցել, որ իդեալական ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն կախված չէ բանող մարմնի տեսակից և մեքենայի կառուցվածքից:

4.19. Ի՞նչ կկատարվի, եթե իդեալական ջերմային մեքենայում բանող մարմինը՝ միատոմ իդեալական գազը, փոխարինվի նույն

զանգվածով երկատոմ գազով:

4.20. Ինչի՞ է հավասար էնտրոպիայի փոփոխությունը ադիաբատ պրոցեսում: Ստացված արդյունքը մեկնաբանել վիճակագրական տեսանկյունից:

4.21. Ցույց տալ ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքի Կելվինի և Կլաուզիուսի ձևակերպումների և $dS \geq 0$ պնդման համարժեքությունը: S -ը մեկուսացված համակարգի էնտրոպիան է:

4.22. Կառնոյի ոչ դարձելի ցիկլով աշխատող մեքենայի ՕԳԳ-ն կարո՞ղ է արդյոք մեծ լինել նույն, բայց դարձելի ցիկլով աշխատող մեքենայի ՕԳԳ-ից: Ապացուցել պնդումը:

4.23. Ապացուցել, որ ցանկացած ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն չի կարող մեծ լինել Կառնոյի դարձելի ցիկլով աշխատող մեքենայի ՕԳԳ-ից:

4.24. Կարո՞ղ է արդյոք Կառնոյի ցիկլն օգտագործող ջերմային մեքենան լինել ոչ դարձելի: Սահմանել այդպիսի մեքենայի դարձելիության պայմանները:

4.25. Պարզաբանել (P, V) և (T, S) դիագրամներում ցիկլի կորով սահմանափակված մակերեսի ֆիզիկական իմաստը:

4.26. Ի՞նչ պայմանների են բավարարում լրիվ դիֆերենցիալների արտահայտության գործակիցները:

4.27. Ջեռուցիչից վերցրած ջերմության քանակը կախվա՞ծ է արդյոք բանոդ մարմնի զանգվածից:

4.28. Կարելի՞ է արդյոք պնդել, որ բալոնում սեղմված գազը սեղմված զսպանակի նման ունի պոտենցիալ էներգիայի պաշար:

4.29. Մի ցիկլի ընթացքում կատարված աշխատանքը կախվա՞ծ է արդյոք բանոդ մարմնի զանգվածից և նրա ջերմունակությունից:

4.30. Ինչպե՞ս հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը դարձելի և ոչ դարձելի պրոցեսների համար:

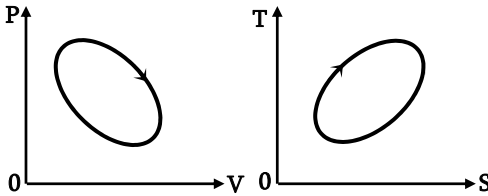
4.31. Ինչպե՞ս է փոխվում իդեալական գազի էնտրոպիան դատարկության մեջ ադիաբատորեն ընդարձակվելու դեպքում:

4.32. Ինչո՞ւ է աճում փակ համակարգի էնտրոպիան ոչ դարձելի պրոցեսների համար, և ինչո՞ւ է այն հաշվելու համար անհրաժեշտ օգտագործել դարձելի պրոցեսներ:

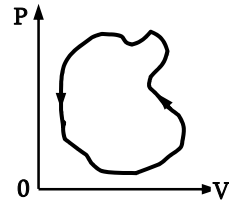
4.33. Ինչպե՞ս մեկնաբանել գազերի խառնվելու ընթացքում էնտրոպիայի աճը վիճակագրական տեսանկյունից:

4.34. Դատարկության մեջ գազի ադիաբատ ընդարձակման փորձի տվյալներով որոշել $(\partial U / \partial V)_T$ -ն:

4.35. (P, V) և (T, S) դիագրամներում որակապես պատկերված է նույն շրջանային պրոցեսը (նկ. 4.1), որը կատարվում է ինչ-որ բանոդ մարմնի հետ: Համեմատել ցիկլերի մակերեսները: Կորերի վրա ցույց տալ հատվածները, որտեղ բանոդ մարմնի ջերմաստիճանն աճում է (նվազում է), և այն հատվածները, որտեղ բանոդ մարմինը ստանում է (տալիս է) ջերմություն:



նկ. 4.1



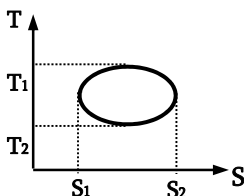
նկ. 4.2

4.36. Նկ. 4.2-ում պատկերված է բանոդ մարմնի կողմից կատարվող շրջանային պրոցես: Ի՞նչ սարքում է կատարվում այդ պրոցեսը՝ ջերմային մեքենայո՞ւմ, թե՞ սառնարանում:

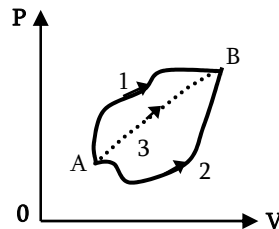
4.37. Որոշել նկ. 4.3-ում պատկերված էլիպսաձև ցիկլի ՕԳԳ-ն:

4.38. Բացի Կառնոյի ցիկլից՝ գոյություն ունե՞ն արդյոք այլ ցիկլեր, որոնց ՕԳԳ-ն ֆունկցիա է միայն առավելագույն T_1 և նվազագույն T_2 ջերմաստիճաններից: Բերել այդպիսի ցիկլի օրինակ: Հաշվել նրա ՕԳԳ-ն:

4.39. Նկ. 4.4-ում պատկերված են երեք պրոցեսներ, որոնց միջոցով համակարգը տեղափոխում են A հավասարակշռված վիճակից B հավասարակշռված վիճակի: 1-ին և 2-րդ պրոցեսները քվադրատիկ են, իսկ 3-րդը՝ ոչ: Համեմատել էնտրոպիայի ΔS_1 , ΔS_2 , ΔS_3 աճերը: Էնտրոպիայի n ը հատկությունն ունի որոշիչ դեր այդ համեմատությունը կատարելիս:



նկ. 4.3



նկ. 4.4

4.40. Ի՞նչ առնչություն կա մակրովիճակի ω հավանականության և նրա Ω վիճակագրական կշռի միջև: Ինչպե՞ս է երկու մակրովիճակների հավանականությունների ω_2 / ω_1 հարաբերությունը կապված այդ վիճակներում էնտրոպիաների $\Delta S = S_2 - S_1$ տարբերության հետ:

4.41. Օգտվելով (T, S) դիագրամից՝ ապացուցել, որ ցանկացած համակարգի համար իզոթերմը և ադիաբատը կարող են հատվել ոչ ավել, քան մեկ կետում:

4.42. Ինչ-որ համակարգի համար հայտնի են էնտրոպիայի $S = S(V, T)$ կախումը ծավալից ու ջերմաստիճանից և վիճակի $V = f(P, T)$ հավասարումը: Հաշվել համակարգի C_V և C_P ջերմունակությունները:

4.43. Համակարգի $C_V(T)$ ջերմունակության անալիտիկ տեսքը հայտնի է: Որոշել համակարգի $S(V, T)$ էնտրոպիան V և T տվյալներով վիճակի համար:

4.44. Համակարգը հաստատուն T ջերմաստիճանում արտաքին մարմիններից քվադիստատիկ կերպով ստանում է ΔQ ջերմություն: Որոշել համակարգի վիճակագրական կշռի փոփոխությունը:

4.45. Ժամանակի սկզբնական պահին փակ համակարգը գտնվում է անհավասարակշռված վիճակում: Ինչպե՞ս կփոխվեն ժամանակի ընթացքում համակարգի մակրովիճակի ω հավանականությունը և նրա S էնտրոպիան: Գրաֆիկի վրա որակապես պատկերել $S(t)$ կախումը և նշել նկարում համակարգի ռելաքսացիայի τ ժամանակը:

4.46. Փակ համակարգը կազմված է երկու մարմիններից, որոնց միջև հնարավոր է ջերմափոխանակում: Սկզբնական պահին մարմինների ջերմաստիճանները համապատասխանաբար T_{10} և T_{20} են, և $T_{20} > T_{10}$: Գրաֆիկների վրա որակապես պատկերել ΔT ջերմաստիճանների և S էնտրոպիայի կախումը ժամանակից: Նկարում նշել համակարգի ռելաքսացիայի ժամանակը:

4.47. Մակրոսկոպական հավասարակշռված համակարգը կազմված է միանման մասնիկներից: Այդ համակարգի մակրոսկոպական վիճակը բնութագրելու համար քանի՞ պարամետր է անհրաժեշտ: Նշել այդպիսի պարամետրերի մի քանի խմբեր: Ի՞նչ լրացուցիչ պարամետրեր են անհրաժեշտ, եթե համակարգը կազմված է

տարբեր տեսակի մասնիկներից:

4.48. Մասնիկների N թիվը, V ծավալը, U ներքին էներգիան և S էնտրոպիան ադիտիվ մեծություններ են, p ճնշումն ու T ջերմաստիճանը հավասարակշռված վիճակում հաստատուն են համակարգի երկայնքով, այսինքն՝ նույնն են բոլոր ենթահամակարգերի համար: Հաշվի առնելով այս բոլորը՝ որոշել, թե կամայական հավասարակշռված համակարգի S էնտրոպիան ինչպես կարող է կախված լինել պարամետրերի հետևյալ խմբերից՝ (N, p, T) , (N, V, T) , (N, V, U) :

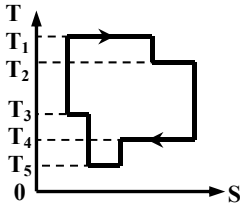
4.49. Որոշել հավասարակշռված համակարգի վիճակագրական կշռի փոփոխությունը, եթե ջերմաստիճանը և ճնշումը հաստատուն պահելով՝ փոխվի մասնիկների N թիվը η անգամ:

4.50. Ի՞նչ ջերմաստիճաններով և քանի՞ ջերուցիչ ու սառնարան են անհրաժեշտ նկ. 4.5-ում պատկերված ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի աշխատանքի համար:

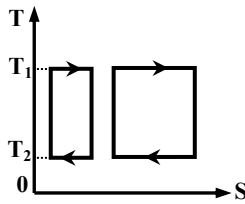
4.51. Կարելի՞ է արդյոք ստեղծել դարձելի ջերմային մեքենա, որն աշխատում է Կառնոյի ցիկլից տարբերվող ցիկլով: Ի՞նչ է դրա համար անհրաժեշտ:

4.52. Ո՞ր համակարգն է կատարում սառնարանի դերը մարդկության կողմից օգտագործվող ջերմային մեքենաներում:

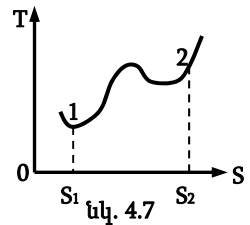
4.53. Համեմատել նկ. 4.6-ում պատկերված ցիկլերի ՕԳԳ-ները:



նկ. 4.5



նկ. 4.6



նկ. 4.7

4.54. (T, S) դիագրամում պատկերված է որոշակի քվադրատիկ պրոցես (նկ. 4.7): Ինչի՞նչ է հավասար կորով, S_1 և S_2 ուղիղներով ու աբսցիսների առանցքով սահմանափակված պատկերի մակերեսը:

4.55. 1 մոլ իդեալական գազի համար գրել էնտրոպիայի արտահայտությունը որպես (V, T) , (P, T) և (P, V) փոփոխականների ֆունկցիա: Այն արտահայտել գազային R հաստատունով, C_p և C_v մոլային ջերմունակություններով:

4.56. (P, V) դիագրամում պատկերել իդեալական գազի իզո-
էնտրոպների ընտանիքը էնտրոպիայի տարբեր արժեքների համար
($S_1 < S_2 < S_3 \dots$): Գազի γ ադիաբատի ցուցիչի արժեքը հայտնի է:

4.57. Ինչպե՞ս կարելի է ավելի արդյունավետորեն բարձրացնել
Կառնոյի մեքենայի ՕԳԳ-ն՝ ΔT -ով մեծացնելով ջեռուցիչի T_1
ջերմաստիճանը, միաժամանակ անփոփոխ պահելով սառնարանի
 T_2 ջերմաստիճանը, թե՞ անփոփոխ T_1 ջերմաստիճանում նույն ΔT
մեծությամբ փոքրացնելով սառնարանի T_2 ջերմաստիճանը:

4.58. $\eta = 40\%$ ՕԳԳ ունեցող Կառնոյի մեքենան օգտագործվում է
որպես սառցարան նույն ջերմային ռեզերվուարների միջև: Որքա՞ն
 Q_2 ջերմություն կարող է հաղորդել մեքենան սառնարանից ջեռու-
ցիչին մեկ ցիկլի ընթացքում, եթե այն մի ցիկլի ընթացքում կատա-
րում է $A = 10$ կՋ աշխատանք:

4.59. Մեկ մոլ միատոմ իդեալական գազը կատարում է Կառնոյի
ցիկլ $t_1 = 127^\circ\text{C}$ և $t_2 = 27^\circ\text{C}$ ջերմաստիճաններ ունեցող ջերմային
ռեզերվուարների միջև: Ցիկլի ընթացքում գազի նվազագույն ծավա-
լը՝ $V_1 = 5$ լ, առավելագույնը՝ $V_3 = 20$ լ: Որքա՞ն A աշխատանք է
կատարում մեքենան մեկ ցիկլի ընթացքում: Որքա՞ն Q_1 ջերմություն
է վերցնում այն ջեռուցիչից մեկ ցիկլի ընթացքում: Որքա՞ն Q_2
ջերմություն է հաղորդվում սառնարանին մեկ ցիկլի ընթացքում:

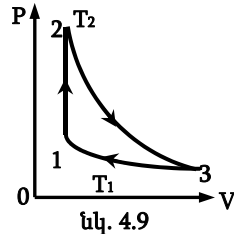
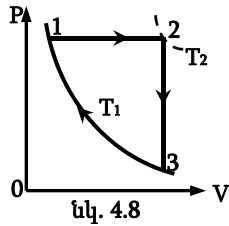
4.60. Որոշակի ծավալում $t_2 = -3^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան պահպանելու
համար որպես սառցարան օգտագործվում է Կառնոյի մեքենան:
Շրջապատի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 27^\circ\text{C}$: Որքա՞ն աշխատանք է
պահանջվում մեկ ցիկլի ընթացքում $Q_2 = 215$ Ջ ջերմություն հեռաց-
նելու համար:

4.61. Գտնել երկու իզոթերմներից և երկու իզոբարներից կազմված
ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ ենթադրելով, որ բանոդ մարմինն իդեալական գազ է:
Ընդունել, որ $T_2 > T_1$ և $P_1 > P_3$:

4.62. Որոշել իդեալական գազի հետ կատարվող ցիկլի ՕԳԳ-ն:
Ցիկլը կազմված է T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով երկու իզոթերմներից,
 V_1 և V_2 ծավալներով երկու իզոխորներից ($T_1 > T_2$, $V_1 > V_2$):

4.63. Մեկ մոլ իդեալական գազը ջերմային մեքենայում կատարում է
նկ. 4.8-ում պատկերված ցիկլը: 3-1 պրոցեսն իզոթերմ է: Գտնել ցիկլի

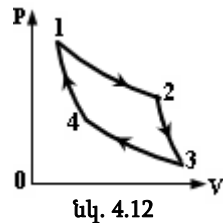
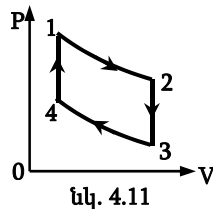
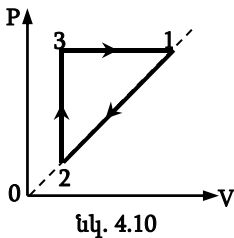
յուրաքանչյուր տեղամասում կատարված A_{ik} աշխատանքը և գազի ստացած ջերմությունը: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտելով այն T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով:



4.64. Իդեալական գազով աշխատող ջերմային մեքենան կատարում է դարձելի ցիկլ, որը կազմված է 1-2 իզոխոր, 2-3 ադիաբատ և 3-1 իզոթերմ պրոցեսներից (նկ. 4.9): Հաշվել ցիկլի յուրաքանչյուր փուլում գազին հաղորդված Q_{ik} ջերմությունը: Որոշել ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն որպես ֆունկցիա առավելագույն T_2 և նվազագույն T_1 ջերմաստիճաններից:

4.65. Որոշել նկ. 4.10-ում պատկերված ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտելով այն առավելագույն T_1 և նվազագույն T_2 ջերմաստիճաններով: Ջերմային մեքենայի բանող մարմինն իդեալական գազ է: Գտնել ցիկլի յուրաքանչյուր փուլում գազի ստացած ջերմությունը:

4.66. Որոշել Օտտոյի դարձելի ջերմային ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը կազմված է 1-2, 3-4 ադիաբատ և 2-3, 4-1 իզոխոր պրոցեսներից (նկ. 4.11), եթե բանող մարմինն իդեալական գազ է: Արտահայտել ցիկլի ՕԳԳ-ն գազի 1-ին և 2-րդ վիճակների T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով:



4.67. Իդեալական գազը կատարում է դարձելի ցիկլ, որը կազմված է 1-2, 3-4 իզոթերմ և 2-3, 4-1 պոլիտրոպ պրոցեսներից (նկ. 4.12):

Որոշել ցիկլի յուրաքանչյուր պրոցեսում գազի կատարած A_{ik} աշխատանքը և ստացած Q_{ik} ջերմությունը: Գտնել ցիկլի ՕԳԳ-ն: Պոլիտրոպ պրոցեսների ջերմունակությունները C_0 են:

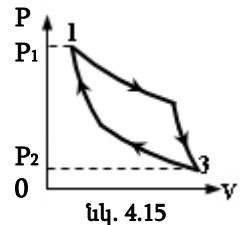
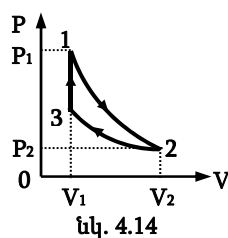
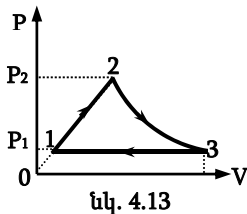
4.68. Որոշել պոլիտրոպ պրոցեսներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը հաջորդաբար անցնում է հետևյալ վիճակներով՝ 1) $(2P, V)$, 2) $(2P, 8V)$, 3) $(P, 4V)$, 4) $(P, 2V)$: Բանոդ մարմինը միատոմ իդեալական գազ է:

4.69. Որոշել պոլիտրոպ պրոցեսներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը հաջորդաբար անցնում է հետևյալ վիճակներով՝ 1) $(8P, V)$, 2) $(4P, 2V)$, 3) $(2P, 2V)$, 4) (P, V) : Բանոդ մարմինը միատոմ իդեալական գազ է:

4.70. P_1 ճնշում և V_1 ծավալ ունեցող մեկ մոլ միատոմ իդեալական գազն իզոբար կերպով սեղմվում է մինչև $V_2 = V_1/4$ ծավալը, որից հետո պոլիտրոպով անցնում է $P_3 = 8P_1$, $V_3 = V_1/8$ վիճակին և իզոբար կերպով ընդարձակվում մինչև $V_4 = V_1/4$ ծավալը: Այդ վիճակից գազը պոլիտրոպով վերադառնում է սկզբնական վիճակին: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն:

4.71. Որոշել 1-2 պոլիտրոպ, 2-3 ադիաբատ և 3-1 իզոբար պրոցեսներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե բանոդ մարմինը միատոմ իդեալական գազ է (նկ. 4.13): Ցիկլում առավելագույն ճնշման հարաբերությունը նվազագույնին՝ $P_2/P_1 = 2$:

4.72. Որոշել նկ. 4.14-ում պատկերված միատոմ իդեալական գազի կատարած ցիկլի ՕԳԳ-ն: 1-2 պրոցեսը պոլիտրոպ է, 2-3-ը՝ իզոթերմ, 3-1-ը՝ իզոխոր: $P_1/P_2 = 8$, $V_2/V_1 = 2$:



4.73. $m_1 = 1$ կգ զանգվածով պղնձե կալորիմետրը պարունակում է $t_1 = 7^\circ C$ ջերմաստիճանի $m_2 = 3$ կգ ջուր: Կալորիմետրի մեջ իջեցնում են $m_3 = 3$ կգ զանգվածով ալյումինե մարմին, որի ջերմաս-

տիճանը՝ $t_2 = 77^0 C$: Հաստատվում է ջերմային հավասարակշռություն: Որոշել համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը:

4.74. $m = 7.25$ կգ զանգվածով օդը կատարում է Կառնոյի ցիկլ (նկ. 4.15): I վիճակը բնութագրվում է $P_1 = 21 \cdot 10^5$ Պա և $T_1 = 505.4$ Կ, իսկ III վիճակը՝ $P_2 = 2.67 \cdot 10^4$ Պա և $T_2 = 252.7$ Կ պարամետրերով: Որոշել՝ ա) 1-ին ցիկլում կատարած օգտակար աշխատանքը, բ) ջեռուցիչի և սառնարանի էնտրոպիաների փոփոխությունները, գ) ցիկլի ՕԳԳ-ն:

4.75. $m = 10$ կգ զանգվածով մարմինն ընկնում է գետնին $H = 10$ մ բարձրությունից: Մարմնի և շրջապատի ջերմաստիճանը $20^0 C$ է: Որոշել մարմին-Երկիր համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը:

4.76. Թթվածնի տեսակարար ջերմունակությունը պոլիտրոպ պրոցեսում՝ $c = -0.3$ կՋ/(կգ·Կ): Թթվածնի զանգվածը՝ $m = 4$ կգ: Որոշել կատարած աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները, եթե գազին հաղորդվել է $Q = 100$ կՋ ջերմություն: Սկզբնական վիճակի պարամետրերն են՝ $P_1 = 5 \cdot 10^5$ Պա, $T_1 = 350$ Կ:

4.77. 500 լ ծավալով անոթը լցված է օդով, որը գտնվում է $50 \cdot 10^5$ Պա ճնշման տակ, և որի ջերմաստիճանը հավասար է շրջապատի $20^0 C$ ջերմաստիճանին: Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարող է կատարել օդն իզոթերմ ընդարձակման ընթացքում: Մթնոլորտային ճնշումը 10^5 Պա է:

4.78. V_0 ծավալով անոթը միջնորմով բաժանված է $V_1 = 2V_0/3$ և $V_2 = V_0/3$ ծավալներով մասերի: Մեծ ծավալով մասում լցված է 0.1 մոլ իդեալական գազ, իսկ փոքրում վակուում է: Որոշել էնտրոպիայի փոփոխությունը միջնորմը հեռացնելուց հետո:

4.79. Համեմատել Կառնոյի երկու ցիկլերի թերմիկ գործակիցները: Առաջին ցիկլում ջերմությունը հաղորդվում է 500 Կ և հեռացվում է 300 Կ ջերմաստիճանում: Երկրորդ ցիկլի համար ջերմաստիճանները համապատասխանաբար 400 Կ և 200 Կ են:

4.80. Կառնոյի ցիկլը կատարվում է $T_1 = 600$ Կ և $T_2 = 200$ Կ ջերմաստիճանների միջակայքում: Ճնշումներն իզոթերմ ընդարձակման վերջում և ադիաբատ սեղմման սկզբում նույնն են՝ $P = 2 \cdot 10^5$ Պա: Բանող մարմինն օդ է: Որոշել ցիկլի կետերի պարամետրերը և ցիկլի ընթացքում 1 կգ օդի կատարած օգտակար աշխատանքը:

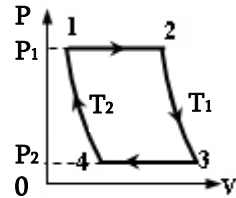
4.81. Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ $\eta = 0.3$: Իզոթերմ ընդարձակման ըն-

թացքում գազը ջեռուցիչից ստանում է $W = 200$ Ջ էներգիա: Որոշել իզոթերմ սեղմման ընթացքում կատարված աշխատանքը:

4.82. Ջեռուցիչի ջերմաստիճանը 3 անգամ բարձր է սառնարանի ջերմաստիճանից: Կառնոյի ցիկլում ջեռուցիչից ստացած էներգիայի n ր մասն է գազը հաղորդում սառնարանին:

4.83. Կառնոյի ցիկլի ընթացքում գազը ջեռուցիչից ստանում է 16.77 կՋ էներգիա և կատարում 5.59 կՋ աշխատանք: Քանի՞ անգամ է ջեռուցիչի ջերմաստիճանը մեծ սառնարանի ջերմաստիճանից:

4.84. Որոշակի քանակությամբ իդեալական գազի հետ կատարվում է ցիկլ, որը կազմված է 1-2, 3-4 իզոբար և 2-3, 4-1 իզոթերմ պրոցեսներից (նկ. 4.16): Իզոբարները կատարվում են P_1 և P_2 ճնշումների տակ, իսկ իզոթերմները՝ T_1 և T_2 ջերմաստիճաններում: Ապացուցել, որ տվյալ ցիկլի ՕԳԳ-ն փոքր է նույն ջերմաստիճաններում կատարվող Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ի համեմատությամբ:



նկ. 4.16

4.85. Ապացուցել, որ V_1 ու V_2 ծավալներով երկու իզոխորներից և T_1 , T_2 ջերմաստիճաններով երկու իզոթերմներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն ավելի փոքր է նույն ջերմաստիճաններում կատարվող Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ից:

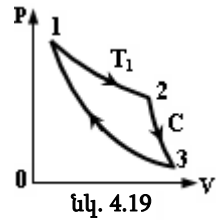
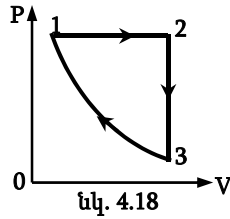
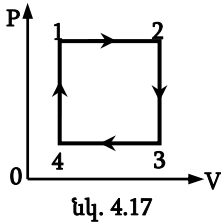
4.86. Կառնոյի ցիկլով աշխատող սառեցնող մեքենան խցիկում պահպանում է $T_1 = 260$ Կ ջերմաստիճան: Մի ցիկլի ընթացքում սառեցման խցիկից $Q_1 = 40$ կՋ էներգիա է դուրս մղվում շրջապատ, որի ջերմաստիճանը՝ $T_2 = 300$ Կ: Որոշել սառեցնող մեքենայի սպառած հզորությունը, եթե ցիկլի տևողությունը՝ $t = 1.5$ վ:

4.87. Սառցարանն էլեկտրական ցանցից օգտագործում է 200 Վտ հզորություն: Շրջապատի ջերմաստիճանը՝ $T_0 = 293$ Կ: Որոշել ջերմաստիճանը սառեցնող խցիկում, եթե դուրս մղված ջերմության քանակը 5 անգամ մեծ է ծախսած էներգիայի քանակից: Սառցարանն աշխատում է Կառնոյի ցիկլով:

4.88. Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարելի է ստանալ ջերմային մեքենայից, որի ջեռուցիչը $m_1 = 1$ կգ զանգվածով $T_1 = 373$ Կ ջերմաստիճանի ջուր է, իսկ սառնարանը՝ $m_2 = 1$ կգ զանգվածով $T_2 = 273$ Կ ջերմաստիճանի սառույց, մինչև այն պահը, երբ սառույցը լրիվ կհալվի: Որքա՞ն կլինի ջրի ջերմաստիճանն այդ պահին: Սառույցի

հալման տեսակարար ջերմությունը՝ $q = 333 \text{ Ջ/գ}$:

4.89. Ցիկլը կազմված է երկու իզոխոր և երկու իզոբար պրոցեսներից (նկ. 4.17): Ցույց տալ, որ հաստատուն C_V և C_P ջերմունակություններով ցանկացած նյութի համար 1-ին, 2-րդ, 3-րդ, 4-րդ վիճակների ջերմաստիճանները կապված են $T_1 T_3 = T_2 T_4$ առնչությամբ:

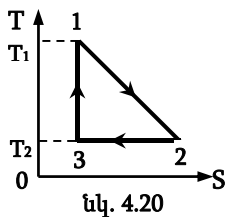


4.90. Ցիկլը կազմված է 1-2 իզոբար, 2-3 իզոխոր և 3-1 ադիաբատ պրոցեսներից (նկ. 4.18): Ցույց տալ, որ հաստատուն C_V և C_P ջերմունակություններով ցանկացած նյութի համար 1-ին, 2-րդ, 3-րդ վիճակների ջերմաստիճանները կապված են $T_2 / T_3 = (T_2 / T_1)^\gamma$ առնչությամբ, որտեղ $\gamma = C_P / C_V$:

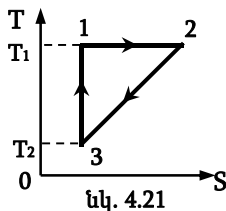
4.91. Որոշել կամայական նյութի՝ մեկ ցիկլի ընթացքում կատարած աշխատանքը, եթե ցիկլը կազմված է 1-2 իզոթերմ, 2-3 պոլիտրոպ և 3-1 ադիաբատ պրոցեսներից (նկ. 4.19): Պոլիտրոպի ջերմունակությունը C է, ջերմաստիճաններն իզոթերմի վրա և 3-րդ վիճակում համապատասխանաբար T_1 և T_3 են:

4.92. Ջերմային մեքենան, որի բանոց մարմինը կամայական նյութ է, կատարում է նկ. 4.20-ում պատկերված ցիկլը: Արտահայտել այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն առավելագույն T_1 և նվազագույն T_2 ջերմաստիճաններով:

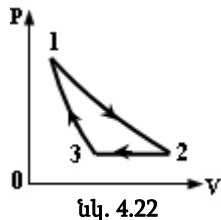
4.93. Ջերմային մեքենան, որի բանոց մարմինը կամայական նյութ է, կատարում է նկ. 4.21-ում պատկերված ցիկլը: Արտահայտել այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն առավելագույն T_1 և նվազագույն T_2 ջերմաստիճաններով:



նկ. 4.20



նկ. 4.21



նկ. 4.22

4.94. Յիկլը կազմված է T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով 1-2, 3-4 իզոթերմ և 2-3, 4-1 իզոխոր պրոցեսներից: T_1 իզոթերմում ստացվել է Q_1 ջերմություն: Որոշել մեկ ցիկլի աշխատանքը, եթե բանոդ մարմնի C_V ջերմունակությունը կախված է միայն նրա ջերմաստիճանից:

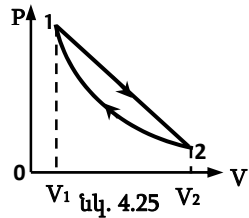
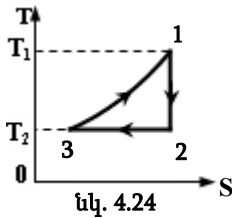
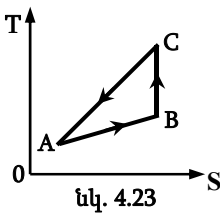
4.95. Դարձելի ցիկլում գազն իզոթերմ կերպով ընդարձակվում է, իզոբար կերպով սեղմվում և իզոխոր կերպով տաքացվում: Որոշել ՕԳԳ-ն, եթե ցիկլում առավելագույն և նվազագույն ջերմաստիճանների հարաբերությունը՝ $a = 1.1$: Բանոդ գազի վիճակի հավասարումը հայտնի չէ, սակայն հայտնի է, որ C_P -ն և C_V -ն հաստատուն են, և դրանց հարաբերությունը՝ $\gamma = C_P / C_V = 4/3$:

4.96. Դարձելի ցիկլը կազմված է իզոթերմ, իզոբար և ադիաբատ պրոցեսներից (նկ. 4.22): Բանոդ մարմնի վիճակի հավասարումը հայտնի չէ, սակայն հայտնի է, որ նրա ներքին էներգիան կախված է միայն ջերմաստիճանից: C_P և C_V ջերմունակությունները հաստատուն են: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն, եթե առավելագույն և նվազագույն ջերմաստիճանների հարաբերությունը՝ $T_1/T_3 = \alpha$:

4.97. Դարձելի ցիկլը կազմված է 2-3 ադիաբատից, 3-1 իզոթերմից և 1-2 պրոցեսից, որում ջերմունակությունը գծայնորեն կախված է ջերմաստիճանից և փոխվում է $C_1 = 20$ Ջ/(մոլ·Կ)-ից մինչև $C_2 = 50$ Ջ/(մոլ·Կ): Որոշել այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն: Բանոդ մարմնի վիճակի հավասարումը հայտնի չէ:

4.98. (T, S) դիագրամում ցիկլը պատկերված է եռանկյունով, որի BC կողմն ադիաբատ է (նկ. 4.23): Եռանկյան գագաթների ջերմաստիճաններն են՝ $T_A = 300$ Կ, $T_B = 399$ Կ, $T_C = 400$ Կ: Բանոդ մարմնի վրա կատարված է արտաքին $A = 1$ Ջ աշխատանք: Հաշվել սառնարանին հաղորդված (CA տեղամասում) ջերմության քանակը:

4.99. Որոշել նկ. 4.24-ում պատկերված ցիկլի ՕԳԳ-ն: Բոլոր պրոցեսները պոլիտրոպ են, $2T_2 = T_1$: Բանող մարմնի վիճակի հավասարումը հայտնի չէ:



4.100. Ապացուցել, որ եթե իզոթերմի բոլոր կետերում ընդարձակման գործակիցը հավասար է զրոյի, ապա այդպիսի իզոթերմը համընկնում է ադիաբատի հետ:

4.101. Ցույց տալ, որ ցանկացած նյութի համար պոլիտրոպները կարող են հատվել միայն մեկ կետում:

4.102. Որոշել նկ. 4.25-ում պատկերված մեկ մոլ իդեալական գազի հետ կատարվող ցիկլի ՕԳԳ-ն: 2-1 պրոցեսն ադիաբատ է: Հայտնի են V_1 -ը, V_2 -ը և T_1 -ը, $C_V = \text{const}$:

4.103. Որոշել այն առավելագույն աշխատանքը, որը կարող է մեկ ցիկլի ընթացքում կատարել իդեալական ջերմային մեքենան, որի համար որպես ջեռուցիչ հանդես է գալիս T ջերմաստիճան ունեցող միջավայրը, իսկ որպես սառնարան՝ ν մոլ $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -ի սառույցը:

4.104. Գնահատել կենցաղային սառնարանում 1կգ սառույց ստանալու ծախսերը, եթե շրջապատի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 40^\circ\text{C}$, իսկ ֆրեոնինը՝ $t_2 = -12^\circ\text{C}$: 1 կՎտ-ժ էլեկտրաէներգիայի արժեքը հայտնի է:

4.105. Ի՞նչ առավելագույն աշխատանք կարելի է ստանալ համապատասխանաբար T_{10} և T_{20} ($T_{10} > T_{20}$) ջերմաստիճաններ ունեցող երկու մարմիններից կազմված համակարգից, եթե դրանք ջերմային մեքենայում օգտագործվում են որպես ջեռուցիչ և սառնարան: C_1 և C_2 ջերմունակությունները կախված չեն ջերմաստիճանից: Որոշել ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո վերջնական ջերմաստիճանը:

4.106. Որոշակի պոլիտրոպ պրոցեսի ընթացքում թթվածնի ճնշումը $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Պա-ից փոխվում է մինչև $P_2 = 10^5$ Պա, իսկ ծավալը՝

$V_1 = 1$ լ-ից $V_2 = 2$ լ: Պրոցեսի սկզբում գազի ջերմաստիճանը՝ $T_1 = 500$ Կ: Շրջապատից որքա՞ն ջերմություն ստացավ թթվածինը: Որքանո՞վ փոխվեցին գազի ներքին էներգիան և էնտրոպիան:

4.107. M զանգվածով իդեալական գազը վակուումում ընդարձակվում է V_1 ծավալից մինչև V_2 ծավալը: Գտնել էնտրոպիայի ΔS փոփոխությունը:

4.108. $M = 3$ կգ ալյումինի կտորը տաքացնում են $T_1 = 300$ Կ-ից մինչև $T_2 = 600$ Կ ջերմաստիճանը: Որոշել էնտրոպիայի աճը, եթե ջերմաստիճանների նշված միջակայքում ալյումինի տեսակարար ջերմունակությունը փոխվում է $c = a + bT$ օրենքով, որտեղ $a = 0.77$ Ջ/(գ·Կ), $b = 0.46$ մՋ/(գ·Կ²):

4.109. Գտնել C ջերմունակությամբ պոլիտրոպ պրոցեսի ջերմաստիճանի կախումը S էնտրոպիայից: T_0 ջերմաստիճանում էնտրոպիան S_0 է:

4.110. C_V ջերմունակությամբ մեկ մոլ իդեալական գազը կատարում է պրոցես, որի ընթացքում էնտրոպիան ջերմաստիճանից կախված է հետևյալ օրենքով՝ $S = a/T$, որտեղ $a = const$: Գազի ջերմաստիճանը T_1 -ից փոխվում է մինչև T_2 : Որոշել՝ ա) գազի մոլային ջերմունակության կախումը ջերմաստիճանից, բ) գազին հաղորդված ջերմության քանակը, գ) գազի կատարած աշխատանքը:

4.111. Ջերմամեկուսացված գլանն անկշիռ միացով բաժանված է երկու հավասար մասերի: Մեկում լցված է γ ադիաբատի ցուցիչով 1 մոլ իդեալական գազ, մյուսում վակուում է: Գազի սկզբնական ջերմաստիճանը T_0 է: Մխոցն ազատ են արձակում, և գազը զբաղեցնում է գլանի ամբողջ ծավալը: Հետո մխոցը շատ դանդաղ վերադարձնում են սկզբնական դիրքին: Որոշել երկու պրոցեսների հետևանքով գազի ներքին էներգիայի և էնտրոպիայի աճը:

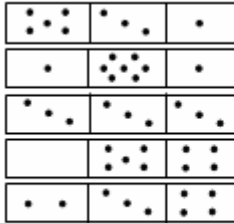
4.112. Որոշել մեկ մոլ ազոտի էնտրոպիան $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում, եթե $\eta = 5$ անգամ դարձելի ադիաբատ սեղմման դեպքում նրա ազատ էներգիայի աճը՝ $\Delta F = -48.5$ կՋ: Գազը համարել իդեալական:

4.113. Իմանալով ազատ էներգիայի կախումը ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $F = F(T, V)$ ՝ ցույց տալ, որ $p = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$, $S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$:

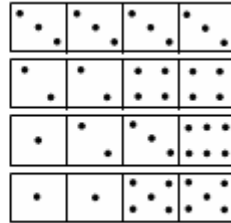
4.114. Որոշել երեք հավասար ծավալներում 9 մասնիկների բաշ-

խումների թիվը (ջերմադինամիկական հավանականությունը): Բաշխումների դեպքերը ներկայացված են նկ. 4.26-ում:

4.115. Որոշել նկ. 4.27-ում ներկայացված դեպքերի համար ջերմադինամիկական հավանականությունները:



նկ. 4.26



նկ. 4.27

4.116. Հելիումի N ատոմներ սենյակային ջերմաստիճանում գտնվում են $V = 1$ սմ³ ծավալով խորանարդաձև անոթում: Որոշել անոթի մի կեսում ատոմների հավաքվելու հավանականությունը:

4.117. Գտնել անոթի հավասար կեսերում $N = 10$ ատոմների ամենահավանական բաշխման վիճակագրական գումարը: Որոշել նաև բաշխման հավանականությունը:

4.118. V_0 ծավալով անոթում կա իդեալական գազի N մոլեկուլ: Որոշել հավանականությունն այն բանի, որ անոթի մտովի անջատված V ծավալում կլինի n մոլեկուլ: Մասնավորապես դիտարկել $V = V_0 / 2$ դեպքը:

4.119. Անոթում կա $T = 300$ Կ ջերմաստիճանի մեկ մոլ միատոմ իդեալական գազ: Ինչպե՞ս և քանի՞ անգամ կփոխվի գազի վիճակագրական կշիռը, եթե գազն իզոխոր կերպով տաքացնենք $\Delta T = 1$ Կ-ով:

4.120. Ապացուցել, որ նույն քանակությամբ տաք և սառը ջրեր խառնելիս համակարգի էնտրոպիան աճում է:

4.121. $3 \cdot 10^3$ ն/մ կոշտությամբ ռետինե քուղը բեռի ազդեցության տակ երկարում է $\Delta L = 20$ սմ-ով: Որոշել էնտրոպիայի փոփոխությունը՝ համարելով, որ քուղի երկարացումը տեղի է ունենում $t = 27^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում:

4.122. Երկու անոթներ, որոնց ծավալներն են՝ $V_1 = 1.6$ լ և $V_2 = 3.4$ լ, պարունակում են համապատասխանաբար նույն ջերմաստիճանի $m_1 = 14$ գ CO և $m_2 = 16$ գ թթվածին (O_2): Որոշել անոթները միացնելուց հետո գազերի խառնվելու հետևանքով էնտրոպիայի

փոփոխությունը:

4.123. V_1 և V_2 ծավալներով անոթները պարունակում են մեկական մոլ իդեալական գազ: Ճնշումներն անոթներում նույնն են, ջերմաստիճանները՝ համապատասխանաբար T_1 և T_2 : Անոթները միացնում են, և հաստատվում է ջերմադինամիկական հավասարակշռություն: Որոշել համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը:

4.124. Պոլիտրոպ պրոցեսում 1կգ ազոտի էնտրոպիան աճում է՝ $\Delta S = 140$ Ջ/Կ: Գազի ջերմաստիճանը փոխվում է $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -ից մինչև $t_2 = 120^\circ\text{C}$: Որոշել պոլիտրոպի ցուցիչը:

4.125. Պոլիտրոպ ընդարձակման պրոցեսում օդին հաղորդվել է $Q = 90$ կՋ ջերմություն: Այդ ընթացքում օդի ջերմաստիճանը $t_1 = 25^\circ\text{C}$ -ից իջնում է մինչև $t_2 = -37^\circ\text{C}$: Օդի զանգվածը՝ $m = 4$ կգ, սկզբնական ճնշումը՝ $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Պա: Որոշել էնտրոպիայի փոփոխությունն այդ պրոցեսում:

4.126. Որոշել $m = 30$ գ զանգվածով սառույցի՝ գոլորշու վերածվելու հետևանքով էնտրոպիայի փոփոխությունը: Սառույցի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $t_1 = -40^\circ\text{C}$, գոլորշու ջերմաստիճանը՝ $t_2 = 100^\circ\text{C}$: Սառույցի և ջրի ջերմունակությունները համարել հաստատուն, բոլոր պրոցեսներն ընթանում են մթնոլորտային ճնշման տակ: Սառույցի ջերմունակությունը՝ $c = 2.09$ Ջ/(գ·Կ):

4.127. $m_1 = 300$ գ զանգվածով և $t_1 = 97^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի պղնձի կտորը իջեցնում են կալորիմետրի մեջ, որում լցված է $m_2 = 100$ գ $t_2 = 7^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանի ջուր: Ջերմային հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո որոշել համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը: Կալորիմետրի ջերմունակությունն անտեսել:

4.128. γ ադիաբատի ցուցիչով իդեալական գազի հետ կատարվում է $P = P_0 - \alpha V$ օրենքով ներկայացվող պրոցես (α -ն և P_0 -ն դրական հաստատուններ են): Ծավալի n -ր արժեքի դեպքում գազի էնտրոպիան կլինի առավելագույնը:

4.129. Մեկ մոլ իդեալական գազը կատարում է պրոցես, որի ընթացքում գազի էնտրոպիան փոխվում է $S = \alpha T + C_V \ln T$ օրենքով (α -ն դրական հաստատուն է, C_V -ն՝ մոլային ջերմունակությունը): Որոշել, թե ինչպես է կախված գազի ջերմաստիճանը ծավալից այդ պրոցեսում, եթե $V = V_0$ -ի դեպքում $T = T_0$:

4.130. Շատ ցածր ջերմաստիճաններում բյուրեղների ջերմունակությունը նկարագրվում է $C = \alpha T^3$ բանաձևով, որտեղ α -ն հաստատուն է: Որոշել ջերմաստիճանների այդ տիրույթում բյուրեղի էնտրոպիայի կախումը ջերմաստիճանից:

4.131. Ինչ-որ պրոցեսում նյութի ջերմաստիճանը կախված է էնտրոպիայից $T = \alpha S^n$ օրենքով, որտեղ α -ն և n -ը հաստատուններ են: Որոշել նյութի ջերմունակության կախումը էնտրոպիայից:

4.132. Իդեալական գազն ինչ-որ վիճակից երկու անգամ ընդարձակում են՝ առանց շրջապատի հետ ջերմափոխանակության: Նույնը կլինի՝ արդյոք վերջնական վիճակում գազի հաստատված ճնշումը, եթե ընդարձակման պրոցեսը լինի՝ ա) դարձելի, բ) ոչ դարձելի:

4.133. Երկու անոթներում նույն ճնշման տակ գտնվում են մեկական մոլ քանակությամբ տարբեր միատոմ իդեալական գազեր: Առաջին անոթում գազի ջերմաստիճանը T_1 է, երկրորդում՝ T_2 : Որոշել համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունն անոթները միացնելուց հետո: Ինչպե՞ս կփոխվի պատասխանը, եթե գազերը նույնը լինեն:

4.134. Երկու անոթներում լցված են մեկական մոլ քանակությամբ տարբեր իդեալական գազեր: Ջերմաստիճանը երկուսում էլ նույնն է: Առաջին անոթում գազի ճնշումը P_1 է, իսկ երկրորդում՝ P_2 : Որոշել համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունն անոթները միացնելուց հետո: Ինչպե՞ս կփոխվի պատասխանը, եթե գազերը նույնը լինեն:

4.135. Ջերմամեկուսացված գլանում՝ մխոցի տակ, կա միատոմ գազ: Գազի ճնշումը որոշող մխոցի կշիռն ակնթաթյոքրեն մեծանում է երկու անգամ: Որքանո՞վ կավելանա մեկ մոլեկուլին բաժին ընկնող էնտրոպիան հավասարակշռության նոր վիճակ հաստատվելու հետևանքով:

4.136. Որոշել տաքացման ընթացքում նյութի էնտրոպիայի ΔS փոփոխությունը, եթե նրա C ջերմունակությունը հաստատուն է, իսկ ծավալային ընդարձակման գործակիցը՝ հավասար զրոյի:

4.137. Միատոմ իդեալական գազի ծավալը պոլիտրոպով փոքրացնում են երկու անգամ այնպես, որ ներքին էներգիայի աճը հավասար է լինում գազի սեղմման վրա արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքի կեսին: Որոշել գազի մոլյար էնտրոպիայի փոփոխությունը:

4.138. Երկատոմ իդեալական գազի ծավալը պոլիտրոպով մեծացնում են երկու անգամ այնպես, որ գազի ներքին էներգիայի աճը հավասար է լինում գազի ընդարձակման աշխատանքին: Որոշել գազի մոլյար էնտրոպիայի փոփոխությունը:

4.139. Մակրոսկոպական համակարգը կլանում է $\Delta E = 10^{-20}$ Ջ էներգիա: Այդ ընթացքում համակարգի հասանելի վիճակների թիվը մեծանում է 10 %-ով: Բնչալիսի՞ն էր այդ համակարգի ջերմաստիճանը:

4.140. Ցիկլերի եղանակով (Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլ) որոշել հազեցած գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից: Ցիկլը կատարում է հեղուկից և նրա հազեցած գոլորշուց կազմված համակարգը T և $T - dT$ ջերմաստիճանների միջև:

4.141. Ցիկլերի եղանակով ապացուցել, որ երկու քվադիստատիկ ադիաբատների հատումն արգելված է ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքով:

4.142. Դիտարկելով իզոխոր, իզոբար և իզոթերմ պրոցեսներից կազմված անվերջ փոքր ցիկլ՝ որոշել երկու ազատության աստիճան ունեցող պարզ համակարգի ջերմունակությունների $C_P - C_V$ տարբերությունը:

4.143. Դիտարկելով Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլ և օգտվելով Կառնոյի թեորեմից՝ ապացուցել, որ համասեռ և իզոտրոպ նյութի էնթալպիան ու C_P ջերմունակությունը բավարարում են հետևյալ առնչություններին՝
$$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_P :$$

4.144. Դիտարկելով Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլ և օգտվելով Կառնոյի թեորեմից՝ ապացուցել, որ համասեռ և իզոտրոպ նյութի ներքին էներգիան բավարարում է
$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P$$
 առնչությանը:

4.145. T ջերմաստիճանի ν մոլ իդեալական գազը զբաղեցնում է νV ծավալ (V -ն մեկ մոլ գազի ծավալն է): Գազի էնտրոպիան՝ $S_\nu = \nu \cdot C_V \ln T + \nu R \ln \nu V + b_\nu$: Բնչալե՞ս պետք է կախված լինի b_ν հաստատունը ν -ից, այսինքն՝ $N = kN_0$ մասնիկների թվից, որպեսզի բավարարվի էնտրոպիայի մեծության ադիտիվ լինելու հատկությունը:

4.146. Երկու հավասար ծավալներով անոթներում լցված են տարբեր իդեալական գազեր, որոնց ճնշումները և ջերմաստիճանները նույնն են: Գազի զանգվածն առաջին անոթում m_1 է, մոլային զանգվածը՝ μ_1 : Անոթները միացնում են, և սկսվում է դիֆուզիայի պրոցեսը: Որոշել համակարգի էնտրոպիայի ΔS փոփոխությունը:

4.147. Ջերմամեկուսացված, երկու կողմից փակ գլանն անկշիռ մխոցով բաժանված է երկու անհավասար մասերի: Գլանի մի մասում լցված է m_1 զանգվածով, μ_1 մոլային զանգվածով և C_V մոլային ջերմունակությամբ իդեալական գազ, մյուս մասում բարձր վակուում է: Գազի սկզբնական ջերմաստիճանը T_0 է: Մխոցն ազատում են, և գազը զբաղեցնում է անոթի ամբողջ ծավալը: Դրանից հետո, դանդաղ մեծացնելով ճնշումը, գազի ծավալը հասցնում են սկզբնական արժեքին, որը կազմում է գլանի ծավալի k -րդ մասը: Համարելով, որ C_V -ն կախված չէ ջերմաստիճանից, որոշել գազի ներքին էներգիայի և էնտրոպիայի փոփոխություններն այդ պրոցեսում:

4.148. Որոշել այն մարմնի էնտրոպիան, որի համար բավարարվում են հետևյալ պայմանները՝ $V = V_0[1 + \alpha(T - T_0)]$, $\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = 0$, $C_p = \text{const}$

(V_0 -ն, α -ն և T_0 -ն հաստատուններ են):

4.149. Ստանալ այն գազի ադիաբատի հավասարումը, որի վիճակի հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝ $p = p_0(1 + \alpha T - \beta V)$, $C_p = \text{const}$ (p_0 -ն, α -ն և β -ն հաստատուններ են):

4.150. Գազի էներգիայի u խտությունը ֆունկցիա է միայն T ջերմաստիճանից, իսկ գազի վիճակի հավասարումն ունի $p = \frac{1}{3}u(T)$ տեսքը: Որոշել $u = u(T)$ ֆունկցիոնալ կախումը:

4.151. Որոշակի գազի համար փորձնական եղանակով պարզվել է, որ ճնշման և տեսակարար ծավալի արտադրյալը կախված է միայն ջերմաստիճանից, ներքին էներգիան նույնպես կախված է միայն ջերմաստիճանից: Ստանալ այդ գազի վիճակի հավասարումը:

4.152. Յույց տալ, որ նյութի ներքին էներգիան կախված չէ ծավալից, եթե նրա թերմիկ հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝ $P = Tf(V)$, որտեղ $f(V)$ -ն ֆունկցիա է միայն ծավալից:

4.153. Որոշել հաստատուն ջերմաստիճանում գազի ներքին էներգիայի կախումը ծավալից, եթե գազը նկարագրվում է Բերտոլտի վիճակի հավասարումով՝ $\left(p + \frac{a}{TV^2}\right)(V - b) = RT$:

4.154. Որոշել հաստատուն ջերմաստիճանում գազի ներքին էներգիայի կախումը ծավալից, եթե գազը նկարագրվում է Կլաուզիուսի

$$\text{հավասարումով} \left(p + \frac{a}{T(V+c)^2} \right) (V-b) = RT :$$

4.155. Պատկերել T, S դիագրամի վրա: Օգտվելով այդ դիագրամից՝ Կառնոյի դարձելի ցիկլի համար որոշել ՕԳԳ-ն:

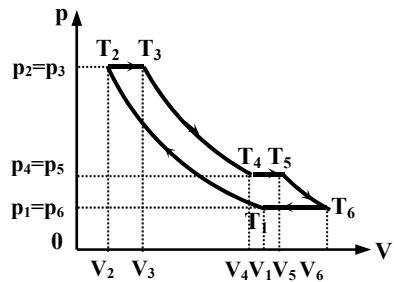
4.156. Ցույց տալ, որ համասեռ իզոտրոպ համակարգի համար բավարարվում են հետևյալ առնչությունները՝ $\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_p = \frac{C_p}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p$,

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_V = \frac{C_V}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V :$$

4.157. Ցույց տալ, որ այն նյութերի համար, որոնց թերմիկ հավասարումներն այնպիսին են, որ ճնշումը գծային ֆունկցիա է ջերմաստիճանից, C_V ջերմունակությունը կախված չէ ծավալից:

4.158. Արտաքին օդի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 35^\circ \text{C}$: Ի՞նչ հզորության առավելագույն արդյունավետությամբ աշխատող սառեցնող մեքենա է անհրաժեշտ միացնել սենյակում, որպեսզի այնտեղ պահպանվի $t_2 = 18^\circ \text{C}$ ջերմաստիճան: Ընդունել, որ սենյակում անջատվում է $P_2 = 418$ Վտ հզորություն:

4.159. Նկ. 4.28-ում պատկերված ցիկլը կազմված է երեք ադիաբատ (1-2, 3-4, 5-6) և երեք իզոբար (2-3, 4-5, 6-1) պրոցեսներից: Տրված են T_1 , $T_2 = \alpha T_1$, $T_3 = T_5 = \beta T_1$, $T_4 = \delta T_1$, $T_6 = \varepsilon T_1$ ջերմաստիճանները, որոնցում α , β , δ , ε պարամետրերը որոշվում են մեքենայի աշխատանքի պայմաններով և կառուցվածքով: Որոշել պարամետրերի միջև հարաբերակցությունն այն դեպքի համար, երբ աշխատանքներ 3-4 և 5-6 տեղամասերում հավասար են: Որոշել նաև ցիկլի աշխատանքը որպես ֆունկցիա T_1 ջերմաստիճանից և պարամետրերից: Բանող գազի մոլերի թիվը ν է, մոլային ջերմունակությունը հայտնի է՝ $C_p = \text{const}$: Որոշել, թե ինչ պայմանի դեպքում ցիկլի աշխատանքն առավելա-



նկ. 4.28

գույնը կլինի տրված T_1 ու T_3 ջերմաստիճաններում և հաշվել սեղմման աստիճանը՝ P_2 / P_1 -ը: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն:

4.160. Ելնելով ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքից՝ ցույց տալ, որ տվյալ զանգվածով իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված չէ նրա ծավալից, այլ ֆունկցիա է միայն ջերմաստիճանից:

4.161. Ելնելով ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքից՝ ցույց տալ, որ տվյալ զանգվածով իդեալական գազի էնթալպիան կախված չէ նրա ճնշումից, այլ միայն ջերմաստիճանից:

4.162. Որոշել այն նյութի վիճակի հավասարման ընդհանուր տեսքը, որի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ծավալից, այլ միայն ջերմաստիճանից:

4.163. Որոշել այն նյութի վիճակի հավասարման ընդհանուր տեսքը, որի C_P ջերմունակությունը կախված չէ ճնշումից, այլ միայն ջերմաստիճանից:

4.164. Ապացուցել, որ եթե համասեռ մարմնի ներքին էներգիան կախված չէ նրա ծավալից, այլ միայն ջերմաստիճանից, ապա այն կախված չէ նաև ճնշումից:

4.165. Ինչպես ապացուցվում է ջերմադինամիկայում, համասեռ և իզոտրոպ նյութի կայունության պայմաններն են՝ $\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T < 0$, $C_V > 0$:

Օգտվելով այդ պայմաններից՝ ցույց տալ, որ ցանկացած նյութի համար $C_P > 0$, ընդ որում՝ $C_P > C_V$:

4.166. Օգտվելով ջերմադինամիկական պոտենցիալների եղանակից՝ գտնել հետևյալ ածանցյալները՝ $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$, $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$, $\left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T$:

4.167. Ապացուցել հետևյալ առնչությունը՝ $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\frac{T}{C_V} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$:

4.168. Համասեռ և իզոտրոպ նյութի վիճակի հավասարումը հայտնի է: Որոշել այդ նյութի ջերմունակությունների $C_P - C_V$ տարբերությունը:

4.169. Մեկ մոլ նյութի ազատ էներգիան տրվում է $F = -\frac{RT}{2} \ln(AT^3V^2)$ արտահայտությամբ, որտեղ A -ն հաստատուն է:

Որոշել նյութի C_P ջերմունակությունը:

4.170. Մեկ մոլ որոշակի նյութի ջերմադինամիկական պոտենցիալը

(Գիբսի պոտենցիալը) տրվում է $\Phi = -\frac{RT}{2} \ln \frac{AT^3}{p^2}$ արտահայտու-

թյամբ, որտեղ A -ն հաստատուն է: Որոշել նյութի C_V ջերմունակու-
թյունը:

4.171. Ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի հավասարումն
ունի $P = A(V)T^3$ տեսքը: Հաշվել $\left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)_T$ ածանցյալը $P = 1$ մթ. և

$T = 300$ Կ կետում:

4.172. Ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի հավասարումն
ունի $P = A(V)T^3$ տեսքը: Հաշվել $\left(\frac{\partial C_V}{\partial V}\right)_T$ ածանցյալը $P = 1$ մթ. և

$T = 300$ Կ կետում:

4.173. Նյութի հետ ջերմային հավասարակշռության մեջ գտնվող
էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ճնշումը տրվում է $P = \alpha T^4$
բանաձևով: Որոշել V ծավալում ճառագայթման էներգիան:

4.174. Համաձայն Դեբայի ջերմունակությունների տեսության՝ պինդ
մարմնի ազատ էներգիան ցածր ջերմաստիճաններում արտահայտ-
վում է $F = U_0 - AT^4$ բանաձևով, որտեղ U_0 -ն մարմնի ներքին
էներգիան է բացարձակ զրոյում, A -ն՝ միայն ծավալից կախված
դրական գործակիցը: Ելնելով նշված բանաձևից՝ ցույց տալ, որ
մարմնի ծավալային ընդարձակման գործակցի հարաբերությունը
 C_V ջերմունակությանը ցածր ջերմաստիճաններում կախված չէ
ջերմաստիճանից (Գրյունեյզենի օրենքը):

V. ԻՐԱԿԱՆ ԳԱԶԵՐ

1. Վան դեր Վալսի հավասարումը մեկ մոլ գազի համար ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\left(P + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT,$$

որտեղ V_0 -ն գազի մոլային ծավալն է, P -ն՝ ճնշումը, T -ն՝ ջերմաստիճանը, a -ն և b -ն հաստատուններ են՝ պայմանավորված գազի մոլեկուլների միջև առկա ձգողական և վանողական ուժերի առկայությամբ:

2. Վան դեր Վալսի հավասարումը m զանգվածով գազի համար ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\left(P + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}\right)\left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT,$$

որտեղ V -ն ամբողջ գազի ծավալն է, μ -ն՝ գազի մոլային

զանգվածը, $\frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} = P_i$ -ն՝ մոլեկուլների փոխազդեցությամբ պայ-

մանավորված ճնշման ուղղումը, $\frac{m}{\mu} b = V_i$ -ն՝ մոլեկուլների սեփական ծավալով պայմանավորված ուղղումը:

3. Վան դեր Վալսի հավասարման պարամետրերի և կրիտիկական մեծությունների միջև եղած կապը՝

$$R = \frac{8P_{\text{կր}} \cdot V_{\text{կր}}}{3T_{\text{կր}}}, \quad a = 3P_{\text{կր}} \cdot V_{\text{կր}}^2, \quad b = \frac{V_{\text{կր}}}{3}:$$

Տվյալ գազի a և b հաստատունները կապված են նրա $T_{\text{կր}}$, $P_{\text{կր}}$ և $V_{\text{կր}}$ կրիտիկական պարամետրերի հետ հետևյալ առնչություններով՝

$$V_{\text{կր}} = 3b, \quad P_{\text{կր}} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{\text{կր}} = \frac{8a}{27bR}:$$

a և b հաստատունների համար կստացվեն հետևյալ առնչությունները՝

$$a = \frac{27T_{\text{կր}}^2 R^2}{64P_{\text{կր}}}, \quad b = \frac{T_{\text{կր}} R}{8P_{\text{կր}}}:$$

4. Եթե ներմուծենք $\tau = T / T_{\text{կր}}$, $\pi = P / P_{\text{կր}}$, $\omega = V_0 / V_{\text{կր}}$ բերված

մեծությունները, ապա Վան դեր Վալսի հավասարումը մեկ մոլ գազի համար կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau :$$

5. Վան դեր Վալսի գազի ներքին էներգիան՝

$$dU = \nu C_V dT + \frac{\nu^2 a}{V^2} dV, \quad U = \nu C_V T - \frac{\nu^2 a}{V_0} :$$

6. Վան դեր Վալսի գազի ներքին էնտրոպիան 1-2 դարձելի պրոցեսի դեպքում՝

$$dS = \nu C_V \frac{dT}{T} + \nu R \frac{dV}{V - \nu b}, \quad \Delta S = \nu C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \nu R \ln \frac{V_2 - \nu b}{V_1 - \nu b} :$$

5.1. Ո՞րն է իրական գազի և իդեալական գազի տարբերությունը: Ի՞նչ պայմաններում է գազը սկսում չենթարկվել Վլապեյրոն-Մենդելևեի օրենքին:

5.2. Իդեալական գազի տեսության հիմքում ընկած ենթադրություններից որո՞նք չեն բավարարվում իրական գազերի դեպքում:

5.3. Կարո՞ղ է արդյոք նորմալ պայմաններում սենյակի օդը դիտարկվել որպես իդեալական:

5.4. Ինչպե՞ս բացատրել փորձնական տվյալների և Վլապեյրոն-Մենդելևեի հավասարման անհամապատասխանությունը գազերի բարձր ճնշումների և համընկնումը ցածր ճնշումների դեպքում:

5.5. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն Վան դեր Վալսի a և b ուղղումները: Ինչպե՞ս են դրանք հաշվարկվում՝ ա) մոլեկուլային-կինետիկ տեսությամբ, բ) կրիտիկական պարամետրերով:

5.6. Ինչպիսի՞ չափողականություններ ունեն Վան դեր Վալսի հավասարման a և b գործակիցները:

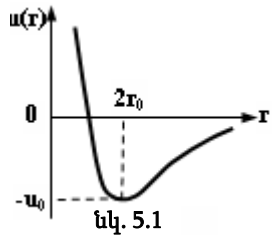
5.7. Ինչո՞վ բացատրել, որ Վլապեյրոն-Մենդելևեի հավասարման մեջ չեն մտնում տվյալ գազը բնութագրող պարամետրեր, իսկ Վան դեր Վալսի հավասարման մեջ մտնում են գազը բնութագրող a և b պարամետրերը:

5.8. Նշել այն պայմանները, որոնց բավարարվելու դեպքում իրական գազը մեծ ճշտությամբ կարելի է համարել իդեալական: Ո՞րն է այդ պայմանների ֆիզիկական իմաստը: Օգտվել Վան դեր Վալսի հավասարումից:

5.9. Վան դեր Վալսի հավասարման համար $b = 4NV_0$, որտեղ V_0 -ն մոլեկուլի ծավալն է: Ի՞նչ ենթադրություններից է հետևում այդ

կապը:

5.10. Նկ. 5.1-ում պատկերված է երկու մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիայի՝ նրանց միջև եղած հեռավորությունից կախման տիպային կորը: Ի՞նչ ուժեր են գործում մոլեկուլների միջև, երբ $r < 2r_0$ և $r > 2r_0$ ($2r_0$ -ն հավասարակշիռ հեռավորությունն է):



նկ. 5.1

5.11. Նշել գոյություն ունեցող միջմոլեկուլային փոխազդեցությունների տեսակները:

5.12. Որո՞նք են փոխազդող մոլեկուլների հավասարակշռության պայմանները:

5.13. Միջմոլեկուլային փոխազդեցության ո՞ր ուժերն են կոչվում դիսպերսիոն, և ինչպե՞ս են դրանք առաջանում:

5.14. Միջմոլեկուլային փոխազդեցության ո՞ր ուժերն են կոչվում օրիենտացիոն, և ինչպե՞ս են դրանք առաջանում:

5.15. Ինչպե՞ս է կախված նյութի ագրեգատային վիճակը մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի նվազագույն արժեքի և մոլեկուլների քառասային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի հարաբերակցությունից:

5.16. Ադիտիվ է արդյոք իրական գազի ներքին էներգիան: Հաշվի առնել, որ իրական գազի մոլեկուլները փոխազդում են միմյանց հետ:

5.17. Նյութի մասնիկները (ատոմները, մոլեկուլները) միջինում հավասարաչափ են բաշխված ծավալով: Գնահատել մասնիկների միջև եղած $\langle r \rangle$ միջին հեռավորությունը, եթե հայտնի է մասնիկների n կոնցենտրացիան:

5.18. Գնահատել միջին $\langle r \rangle$ հեռավորությունը՝ ա) նորմալ պայմաններում գտնվող ազոտի մոլեկուլների միջև, բ) ջրի մոլեկուլների

միջև: Գնահատել $\alpha = \frac{\langle r \rangle}{d}$ հարաբերությունը, որտեղ d -ն համա-

պատասխան մոլեկուլի տրամագիծն է: $d(N_2) \approx 3.7 \cdot 10^{-8}$ սմ,

$d(H_2O) \approx 3 \cdot 10^{-8}$ սմ:

5.19. Եթե միջմոլեկուլային հեռավորությունները զգալիորեն մեծ են մոլեկուլների չափսերից, ապա նրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան՝ $U = -\frac{C_6}{r^6}$ (C_6 -ը Վան դեր Վալսի հաստատուն-

ներից մեկն է): Հաշվել U -ն ազոտի մոլեկուլների համար՝ ընդունե-

լով, որ $r = \langle r \rangle$, որտեղ $\langle r \rangle$ -ը նորմալ պայմաններում ազոտի միջմոլեկուլային հեռավորությունն է: $C_6(N_2) = 43.5 \cdot 10^{-48}$ էՎ.սմ⁶:

5.20. Ինչպե՞ս են տեղաբաշխվում տարբեր ջերմաստիճաններում Վան դեր Վալսի իզոթերմերը (P, V) գրաֆիկում: Ի՞նչ տեսք ունի Վան դեր Վալսի իզոթերմը՝ ա) կրիտիկականից ցածր ջերմաստիճանում, բ) կրիտիկականից բարձր ջերմաստիճանում:

5.21. Վան դեր Վալսի հավասարումն իրական գազերը նկարագրող մոտավոր հավասարումներից մեկն է: Ինչո՞վ բացատրել, որ գոյություն չունի իրական գազերը նկարագրող ունիվերսալ հավասարում:

5.22. Կարո՞ղ է արդյոք Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումը նկարագրել գազի կոնդենսացիան: Ո՞ր հավասարումն է նկարագրում այդ երևույթը: Պատկերել $P = f(T)$ ֆունկցիայի գրաֆիկը մի քանի ջերմաստիճանների համար:

5.23. Ի՞նչն է կոչվում հազեցած գոլորշի: Ինչո՞վ է որոշվում հազեցած գոլորշու ճնշումը:

5.24. Ո՞ր ջերմաստիճանն է կոչվում կրիտիկական: Ինչի՞նչ է այն հավասար ջրի համար: Ո՞ր նյութի կրիտիկական ջերմաստիճանն է ամենացածրը: Ինչի՞նչ է այն հավասար:

5.25. Ի՞նչ է կրիտիկական վիճակը: Որակապես պատկերել հեղուկ ազոտի և նրա հազեցած գոլորշու ρ խտության կախումը ջերմաստիճանից: Նշել կրիտիկական վիճակը: Ինչի՞նչ է հավասար իրական գազի սեղմելիությունը կրիտիկական վիճակում:

5.26. Հավասար քանակությամբ և նույն պայմաններում գտնվող երկու տարբեր գազերի համար Վան դեր Վալսի հավասարման օգնությամբ հաշվեցին ճնշումները: Համեմատեցին դրանք նույն պարամետրերով իդեալական գազի ճնշման հետ: Պարզվեց, որ մեկի ճնշումը մեծ է իդեալական գազի ճնշումից, մյուսինը՝ փոքր: Ինչո՞վ բացատրել ստացված արդյունքը:

5.27. Նույն գազի համար պատկերել ու համեմատել Վան դեր Վալսի և իրական գազի իզոթերմերը: Բացատրել տարբերությունը:

5.28. Հավասար V ծավալի և T ջերմաստիճանի դեպքում համեմատել իրական և իդեալական գազերի ներքին էներգիաները:

5.29. Գրել Վան դեր Վալսի հավասարումը՝ ա) մեկ մոլ գազի համար, բ) կամայական զանգվածով գազի համար:

5.30. Հնարավո՞ր է արդյոք առանց երկփուլ վիճակի անցնելու գազն անընդհատ կերպով վերափոխել հեղուկի:

5.31. Ի՞նչ երևույթ է տեղի ունենում կրիտիկական կետում երկփուլ

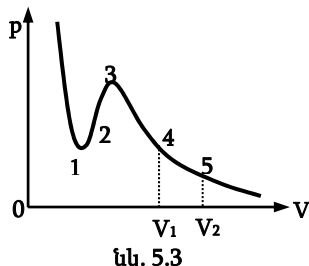
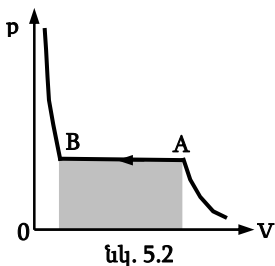
վիճակը վերանալիս: Ինչպե՞ս է այդ երևույթը բացատրվում:

5.32. Ի՞նչն է կոչվում գերհագեցած գոլորշի: Ի՞նչ պայմաններում այն կարող է գոյություն ունենալ: Ինչպե՞ս է դա երևում Վան դեր Վալսի իզոթերմներում:

5.33. Վան դեր Վալսի կորի n° հատվածներն են համապատասխանում կայուն և ոչ կայուն վիճակներին: Բացատրել այդ վիճակների իմաստը և գոյության հնարավորությունները:

5.34. Ի՞նչ է գերտաքացված հեղուկը: Նշել նրա գոյության հատվածը Վան դեր Վալսի իզոթերմներում:

5.35. Նյութը A վիճակից անցնում է B վիճակին (նկ. 5.2): Ինչի՞ հավասար սովերագծված մակերեսը: Ինչպե՞ս է փոխվում համակարգի ներքին էներգիան այս պրոցեսում:



5.36. Համեմատել իրական (Վան դեր Վալսի) և համապատասխան իդեալական գազերի C_V իզոխոր ջերմունակությունները:

5.37. Վան դեր Վալսի գազի համար նշված պրոցեսներից n° ըն է հանդիսանում պոլիտրոպ պրոցես՝ ա) իզոխոր, բ) իզոբար, գ) իզոթերմ, դ) ադիաբատ:

5.38. Ստանալ էնտրոպիայի արտահայտությունը V մոլ Վան դեր Վալսի գազի համար:

5.39. Ստանալ Վան դեր Վալսի գազի պոլիտրոպի հավասարումը՝ համարելով, որ նրա C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.40. Ապացուցել, որ Վան դեր Վալսի հավասարմանը ենթարկվող գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ծավալից, այլ ֆունկցիա է միայն ջերմաստիճանից: Որոշել գազի ներքին էներգիայի արտահայտությունը՝ ենթադրելով, որ C_V -ն կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.41. Կառուցել Վան դեր Վալսի գազի ներքին էներգիայի կախման գրաֆիկը՝ ա) ջերմաստիճանից հաստատուն ծավալի դեպքում,

բ) ծավալից հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում: Համեմատել իդեալական գազի ներքին էներգիայի հետ:

5.42. Որոշել Վան դեր Վալսի գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը V_1 ծավալից մինչև V_2 -ը իզոթերմորեն ընդարձակվելիս: Մոլեկուլների N թիվը և Վան դեր Վալսի a հաստատունը հայտնի են: Բացատրել ներքին էներգիայի աճի պատճառը:

5.43. Ներքին էներգիայի կախումը ծավալից՝ $U(V)$ -ն, հայտնի է: Օգտվելով ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքից՝ որոշել ճնշումը:

5.44. Մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազի համար (P, T) դիագրամում կառուցել իզոխոր, իսկ (V, T) դիագրամում՝ իզոբար պրոցեսի գրաֆիկները: Համեմատել իդեալական գազի համապատասխան կորերի հետ:

5.45. Վան դեր Վալսի իզոթերմը $T < T_{\text{կր}}$ ջերմաստիճանում պատկերված է նկ. 5.3-ում: Գոյություն ունի՞ արդյոք նյութ, որի $P(V, T)$ կախումը համապատասխանում է 1-2-3 տեղամասին (1-ը և 3-ը կորի մինիմումի և մաքսիմումի կետերն են):

5.46. Մեկ մոլ գազի հետ կատարվում է նկ. 5.3-ում պատկերված պրոցեսը: Հաշվել ներքին էներգիայի ΔU աճը, A աշխատանքը և Q ջերմությունը 4-5 տեղամասում:

5.47. Անոթում, որի ծավալը՝ $V = 8$ լ, կա $t = 27^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանի $m = 0.3$ կգ զանգվածով թթվածին: Գազի ճնշման n -ը մասն է կազմում ձգողության ուժերով բնորոշվող ճնշումը: Անոթի ծավալի n -ը մասն է կազմում մոլեկուլների սեփական ծավալը:

5.48. $V = 20$ լ ծավալով երկու անոթներում լցված են $\nu = 50$ մոլ քանակությամբ գազեր. մի անոթում՝ ածխաթթու գազ, մյուսում՝ ջրածին: Ջերմաստիճանը՝ $t = 27^\circ \text{C}$: Որոշել ճնշումները յուրաքանչյուր անոթում՝ գազերը համարելով՝ ա) իրական, բ) իդեալական:

5.49. Որոշել $t = 4^\circ \text{C}$ -ում գտնվող 1 մոլ ջրի ներքին ճնշումը և խտությունը կրիտիկական կետում:

5.50. Վան դեր Վալսի հավասարմանը ենթարկվող, կրիտիկական կետում գտնվող 1 մոլ նյութի համար գրել կապը ծավալի, ճնշման և ջերմաստիճանի միջև:

5.51. 1 կմոլ ազոտը $T = 310$ Կ ջերմաստիճանում զբաղեցնում է $V = 2.5$ մ³ ծավալ: Օգտվելով ազոտի կրիտիկական պարամետրերից՝ որոշել ճնշումը և ազոտի մոլեկուլի էֆեկտիվ տրամագիծը:

5.52. $t = 27^0 C$ ջերմաստիճանում գտնվող 1 կմոլ թթվածինն իզոթերմորեն ընդարձակվում է $V_1 = 1 \text{ մ}^3$ ծավալից մինչև $V_2 = 5 \text{ մ}^3$ ծավալը: Որոշել գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը, գազի կատարած աշխատանքը և կլանված ջերմության քանակը՝ գազը համարելով՝ ա) իդեալական, բ) Վան դեր Վալսի հավասարմանը ենթարկվող իրական գազ:

5.53. $m = 10 \text{ գ}$ թթվածնի իզոթերմ ընդարձակման ընթացքում նրա ծավալը մեծանում է՝ $V_1 = 1 \text{ լ}$ -ից դառնալով $V_2 = 5 \text{ լ}$: Համարելով, որ գազը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը, հաշվել՝ ա) ընդարձակման ընթացքում ներքին ուժերի կատարած աշխատանքը, բ) էնտրոպիայի փոփոխությունը:

5.54. Որոշել, թե քանի անգամ է գազի ճնշումը տվյալ վիճակում մեծ նրա կրիտիկական ճնշումից, եթե հայտնի է, որ նրա ծավալը և ջերմաստիճանը երկու անգամ մեծ են այդ մեծությունների կրիտիկական արժեքներից:

5.55. Վան դեր Վալսի գազի համար որոշել ծավալային ընդարձակման իզոթար գործակիցը:

5.56. Վան դեր Վալսի գազի համար որոշել իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը:

5.57. Մեկ մոլ գազը գտնվում է $V = 0.25 \text{ լ}$ ծավալով անոթում: $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ և ջերմաստիճանում գազի ճնշումը՝ $P_1 = 90 \text{ մթ.}$, իսկ $T_2 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում $P_2 = 110 \text{ մթ.}$: Գտնել Վան դեր Վալսի հաստատունները տվյալ գազի համար:

5.58. Ի՞նչ ճնշման պետք է ենթարկել ածխաթթու գազը $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում, որպեսզի նրա խտությունը (ρ) լինի 500 գ/լ : Համարել, որ գազը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը:

5.59. Կրիտիկական ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճանների համար պատկերել Վան դեր Վալսի իզոթերմերը: Գրել այն պայմանները, որոնցից որոշվում են ճնշումը, ծավալը և ջերմաստիճանը կրիտիկական վիճակում: Գտնել Վան դեր Վալսի հավասարման a և b գործակիցները, եթե տրված են կրիտիկական ջերմաստիճանը՝ $T_{կր} = -146^0 C$, և ճնշումը՝ $P_{կր} = 33 \text{ մթ.}$:

5.60. Որոշել Վան դեր Վալսի գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը, եթե նրա ջերմաստիճանը փոխվում է T_1 -ից մինչև T_2 -ը, իսկ ծավալը՝ V_1 -ից մինչև V_2 -ը: Ընդունել, որ գազի C_V ջերմունակու-

թյունը հաստատուն է: Որոշել ցանկացած պրոցեսում իրական գազի ջերմունակության ընդհանուր արտահայտությունը:

5.61. Վան դեր Վալսի գազի համար որոշել մոլային ջերմունակությունների $C_p - C_v$ տարբերությունը:

5.62. Ստանալ ադիաբատի հավասարումը Վան դեր Վալսի գազի համար՝ ընդունելով, որ C_v -ն ջերմաստիճանից կախված չէ:

5.63. $m = 7$ գ ազոտն ընդարձակվում է դատարկության մեջ $V_1 = 5$ լ ծավալից մինչև $V_2 = 50$ լ ծավալը: Պրոցեսի ընթացքում գազը շրջապատից ջերմություն չի ստանում: Օգտվելով Վան դեր Վալսի հավասարումից՝ որոշել գազի ջերմաստիճանի նվազումը: Ազոտի կրիտիկական պարամետրերն են՝ $V_{կր} = 0.12$ լ/մոլ, $T_{կր} = -147^\circ\text{C}$, $C_v = 5R/2$:

5.64. Ստանալ Վան դեր Վալսի հավասարումը բերված պարամետրերով՝ $\tau = T/T_{կր}$, $\pi = P/P_{կր}$, $\varphi = V/V_{կր}$:

5.65. Ձևակերպել համապատասխան վիճակների օրենքը և պարզաբանել դրա իմաստը:

5.66. Եթե գազի ջերմաստիճանը ցածր է որոշակի ջերմաստիճանից, որը կոչվում է Բոյլի ջերմաստիճան, ապա իզոթերմ սեղմման ընթացքում PV արտադրյալը սկզբում նվազում է, այնուհետև նվազագույն արժեքին հասնելուց հետո սկսում է աճել: Եթե գազի ջերմաստիճանը բարձր է Բոյլի ջերմաստիճանից, ապա իզոթերմ սեղմման ընթացքում PV արտադրյալը մոնոտոն աճում է: Վան դեր Վալսի գազի համար Բոյլի ջերմաստիճանն արտահայտել կրիտիկական ջերմաստիճանով:

5.67. Ջրածնի կրիտիկական պարամետրերն են՝ $T_{կր} = 33.24$ Կ, $P_{կր} = 12.8$ մթ., $\rho_{կր} = 0.031$ գ/սմ³: Օգտվելով այդ տվյալներից և ենթադրելով, որ ջրածինը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը՝ որոշել գազի մոլային զանգվածը:

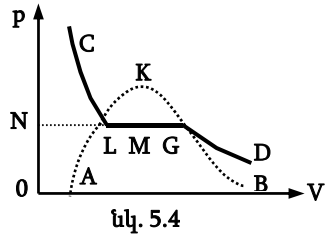
5.68. Վեներայի մթնոլորտը գրեթե ամբողջությամբ կազմված է $T = 750$ Կ ջերմաստիճանի և $\rho = 0.07$ գ/սմ³ խտությամբ ածխաթթու գազից (CO_2): Որոշել ճնշումը մոլորակի մակերևույթի վրա, եթե գազի կրիտիկական պարամետրերն են՝ $P_{կր} = 73.9$ մթ., $V_{կր} = 94$ սմ³/մոլ, $T_{կր} = 304$ Կ:

5.69. Նկ. 5.4-ում $CLMGD$ անընդհատ կորը ներկայացնում է գազի

իրական իզոթերմը, իսկ $ALKGB$ կետագիծ կորն անջատում է նյութի միափուլ վիճակի տիրույթը երկփուլ վիճակի տիրույթից: Ցույց տալ, որ M կետով բնութագրվող վիճակում հեղուկ և գազանման փուլերի գանգվածները հարաբերվում են, ինչպես $m_h / m_q = MG / LM$:

5.70. Ինչի՞ է հավասար նյութի C_p ջերմունակությունը նկ. 5.4-ում պատկերված իզոթերմի երկփուլ տիրույթի M կետում:

5.71. Վան դեր Վալսի հավասարմանը ենթարկվող համասեռ նյութը գտնվում է ծանրության ուժի համասեռ դաշտում: Որոշել խտության բաշխումը կրիտիկական կետի շրջակայքում:



5.72. Ենթադրելով, որ հեղուկի գոլորշացման տեսակարար r ջերմությունը հավասար է P_i ներքին ճնշման հաղթահարման աշխատանքին, որոշել կապը r -ի, P_i -ի և հեղուկի ρ խտության միջև: Հեղուկը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը:

5.73. Երկու մոլ Վան դեր Վալսի գազը T ջերմաստիճանում զբաղեցնում է V ծավալ: Հաշվել աշխատանքը, որ կկատարի գազը մինչև $2V$ ծավալը քվադիստատիկ իզոթերմ ընդարձակման ընթացքում: Գազի a և b հաստատունները հայտնի են:

5.74. Մեկ մոլ ազոտն ընդարձակվում է վակուումում $V_1 = 1$ լ ծավալից մինչև $V_2 = 10$ լ ծավալ: Գտնել այդ պրոցեսում գազի ջերմաստիճանի ΔT նվազումը, եթե Վան դեր Վալսի հավասարման a հաստատունն ազոտի համար հավասար է 0.135 Պա մ⁶/մոլ²:

5.75. V_1 և V_2 ծավալներով անոթները միացված են իրար փական ունեցող խողովակով: Այդ անոթներում փակված փականի դեպքում գտնվում են մեկական մոլ միատեսակ գազեր, որոնք ենթարկվում են Վան դեր Վալսի հավասարմանը: Գազերի ջերմաստիճանները նույնն են և հավասար են T -ի: Ինչպե՞ս և որքանո՞վ կփոխվի ջերմաստիճանը փականը բացելուց հետո: Որոշել նաև գազի վերջնական ճնշումը: Անոթների և խողովակի պատերը ջերմամեկուսացված են, իսկ գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.76. Երկու հավասար ծավալներով ($V_1 = V_2 = V = 1$ լ) անոթները միացած են իրար փական ունեցող խողովակով: V_1 ծավալում օդ է մթնոլորտային ճնշման տակ, իսկ V_2 ծավալում վակուում է: Են-

թաղրելով, որ գազը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը, և անոթների պատերը ջերմամեկուսացված են, որոշել գազի ջերմաստիճանի փոփոխությունը փականը բացելուց հետո: Համարել, որ օդի համար հայտնի են Վան դեր Վալսի հավասարման a հաստատունը և մոլերի ν քանակը:

5.77. Ենթադրելով, որ թթվածինը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը, որոշել $m = 16$ գ թթվածնի ջերմաստիճանի փոփոխությունը, եթե գազն ընդարձակվում է անօդ տարածության մեջ $V_1 = 10$ լ ծավալից մինչև $V_2 = 50$ լ ծավալը: Թթվածնի կրիտիկական ջերմաստիճանը և ծավալը հայտնի են՝ $T_{կր} = 155$ Կ, $V_{կր} = 74.4$ սմ³/մոլ:

5.78. Որքա՞ն ջերմություն է պետք հաղորդել մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազին, որպեսզի նրա ընդարձակումն անօդ տարածության մեջ V_1 ծավալից մինչև V_2 ծավալը կատարվի հաստատուն ջերմաստիճանում:

5.79. Որքա՞ն ջերմություն է պետք հաղորդել մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազին, որպեսզի նրա ընդարձակումն անօդ տարածության մեջ V_1 ծավալից մինչև V_2 ծավալը կատարվի P հաստատուն ճնշման տակ:

5.80. Ցույց տալ, որ կրիտիկական կետում ցանկացած նյութի համար $C_p - C_v$ տարբերությունը և C_p -ն ձգտում են անվերջության:

5.81. T_1 ջերմաստիճանի և V_1 ծավալ զբաղեցնող երկու մոլ Վան դեր Վալսի գազն ադիաբատ և քվադրատատիկ կերպով ընդարձակվում է մինչև V_2 ծավալը: Գտնել գազի կատարած աշխատանքը: C_v ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից, a և b հաստատունները հայտնի են:

5.82. Մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազի համար ստանալ այն պրոցեսի հավասարումը, որի ընթացքում ջերմունակությունը փոխվում է $C = \beta T^2$ օրենքով, որտեղ β -ն հաստատուն է: Համարել, որ C_v -ն կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.83. Ցանկացած նյութի համար ստանալ այն պրոցեսի հավասարումը, որի ընթացքում ջերմունակությունը, կախված ջերմաստիճանից, փոխվում է $C = \alpha \sqrt{T}$ օրենքով, որտեղ α -ն հաստատուն է: Որպես մասնավոր դեպք դիտարկել մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազը՝ համարելով, որ նրա a և b հաստատունները հայտնի են, և

$C_V = \text{const}$:

5.84. Մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազի համար ստանալ այն պրոցեսի հավասարումը, որի ընթացքում ներքին էներգիան հաստատուն է: $C_V = \text{const}$ դեպքում պրոցեսի C ջերմունակությունն ինչպե՞ս է կախված T ջերմաստիճանից:

5.85. Վան դեր Վալսի գազի մեկ մոլն ընդարձակվում է $(V - b)T = \text{const}$ պոլիտրոպով: Որոշել գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե նրա ջերմաստիճանը փոխվել է T_1 -ից մինչև T_2 : Համարել, որ $C_V = \text{const}$:

5.86. Որոշել մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը իզոթերմ պրոցեսում, որի ընթացքում գազի ներքին էներգիան աճել է ΔU -ով: Գազի սկզբնական ծավալը V_0 է: Վան դեր Վալսի a և b հաստատունները հայտնի են:

5.87. Որոշել մեկ մոլ երկատոմ Վան դեր Վալսի գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b)^3 = \text{const}$ պոլիտրոպով ընդար-

ձակվելիս: Պրոցեսի ընթացքում գազի ջերմաստիճանը $T_1 = 680$ Կ-ից փոխվում է մինչև $T_2 = 250$ Կ: Համարել, որ C_V -ն կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.88. Վան դեր Վալսի գազը սկզբում T_0 ջերմաստիճանում իզոթերմորեն սեղմում են սկզբնական V_0 ծավալից մինչև վերջնական $V_0 / 2$ ծավալը, որից հետո ընդարձակում են դատարկության մեջ մինչև $2V_0$ ծավալը: Որոշել մեկ մոլ գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը՝ a և b հաստատունները համարելով հայտնի, իսկ C_V -ն կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.89. Մեկ մոլ գազն ադիաբատ և քվադրատատիկ կերպով ընդարձակվում է V_0 սկզբնական ծավալից մինչև V ծավալը: Ո՞ր դեպքում գազի վերջնական ջերմաստիճանն ավելի փոքր կլինի՝ երբ այն իդեալական է, թե՞ երբ ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը: Համարել, որ երկու դեպքում էլ գազն ունի նույն հաստատուն C_V ջերմունակությունը:

5.90. Հաշվել 1 մոլ Վան դեր Վալսի գազի ջերմունակությունը այն պրոցեսում, որի ընթացքում գազին հաղորդված ջերմությունը հա-

վասար է նրա ներքին էներգիայի նվազմանը: C_V ջերմունակությունը և Վան դեր Վալսի a , b հաստատունները համարել հայտնի:

5.91. Հաստատուն T ջերմաստիճանի մեկ մոլ հեղուկը գտնվում է հազեցած գոլորշու ճնշման տակ: Ստանալ հեղուկի λ գոլորշացման ջերմության արտահայտությունը՝ ենթադրելով, որ հեղուկը և գոլորշին ենթարկվում են Վան դեր Վալսի հավասարմանը: Հեղուկի V_h և հազեցած գոլորշու V_g մոլային ծավալները հայտնի են:

5.92. Մեկ մոլ Վան դեր Վալսի բազմատոմ գազի պոլիտրոպ ընդարձակման ընթացքում էնտրոպիան մեծանում է $\Delta S = R$ -ով (պրոցեսի ջերմունակությունը՝ $C = 4R$): Քանի՞ անգամ է մեծանում գազի ծավալը, եթե սկզբնական ծավալը հավասար է կրիտիկական ծավալի եռապատիկին՝ $V = 3V_{կր}$:

5.93. Մեկ մոլ Վան դեր Վալսի միատոմ գազը պոլիտրոպով ընդարձակվում է սկզբնական $V_1 = V_{կր}$ ծավալից մինչև վերջնական $V_2 = 3V_{կր}$ ծավալը: Այդ ընթացքում նրա էնտրոպիան մեծանում է $\Delta S = 2R$ -ով: Հաշվել պոլիտրոպ պրոցեսի ջերմունակությունը:

5.94. Հաշվել երկու իզոխոր և երկու իզոթերմ պրոցեսներից կազմված ցիկլի աշխատանքը: Որպես բանոդ մարմին օգտագործվում է մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազը: Սկզբնական ծավալը՝ $V_1 = 5b$, վերջնականը՝ $V_2 = 6b$, որտեղ b -ն Վան դեր Վալսի հաստատունն է: Իզոթերմ պրոցեսներում ջերմաստիճաններն են՝ $t_1 = 10^\circ C$ և $t_2 = 20^\circ C$:

5.95. Որոշել ադիաբատ, իզոթերմ և իզոխոր պրոցեսներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն: Բանոդ մարմինը մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազ է, որի a և b հաստատունները հայտնի են, և գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից: Իզոթերմում ջերմաստիճանը T_1 է, ծավալը փոքրանում է V_2 -ից մինչև V_1 : Իզոխորում ծավալը V_1 է, ջերմաստիճանը բարձրանում է T_1 -ից մինչև T_2 :

5.96. Որոշել այն ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն, որն աշխատում է երկու իզոխոր (V և $2V$ ծավալներով) և երկու իզոբար (P և $2P$ ճնշումներով) պրոցեսներով: Բանոդ մարմինը մեկ մոլ Վան դեր Վալսի գազ է, որի a և b հաստատունները հայտնի են, և գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.97. Յիկլը կազմված է V_1 և V_2 ծավալներով իզոխոր և երկու աղիաբատ պրոցեսներից: Բանոդ մարմինը 1 մոլ Վան դեր Վալսի գազ է, որի a և b հաստատունները հայտնի են: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ համարելով, որ գազի C_V ջերմունակությունը կախված չէ ջերմաստիճանից:

5.98. Ի՞նչ մեծությամբ է քանակապես բնութագրվում Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտը:

5.99. Ջոուլ-Թոմսոնի n° էֆեկտն է կոչվում դրական, n° ըր՝ բացասական: Գրաֆիկորեն պատկերել ինվերսիայի ջերմաստիճանի կախումը ծավալից՝ $T_i = f(V)$, և նշել Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտի դրական ու բացասական տիրույթները:

5.100. Բերել այնպիսի գազերի օրինակներ, որոնց համար Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտը նորմալ պայմաններում ունի տարբեր նշաններ:

5.101. Ի՞նչ է գազերի դրոսելացումը:

5.102. Ինչպե՞ս է արտահայտվում Ջոուլ-Թոմսոնի գործակիցը գազի ընդարձակման գործակցի միջոցով:

5.103. Ո՞ր ջերմաստիճանն է կոչվում ինվերսիայի ջերմաստիճան: Ո՞ր հավասարումով է այն որոշվում:

5.104. Ինչպիսի՞ն է տվյալ գազի համար ինվերսիայի T_i և կրիտիկական $T_{կր}$ ջերմաստիճանների միջև հարաբերակցությունը:

5.105. Ստանալ Ջոուլ-Թոմսոնի դիֆերենցիալ էֆեկտում ջերմաստիճանի փոփոխության բանաձևը՝ ենթադրելով, որ գազը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը:

5.106. Ստանալ ինվերսիայի ջերմաստիճանի արտահայտությունը Վան դեր Վալսի գազի համար:

5.107. Ո՞ր պարամետրերից է կախված T_i ինվերսիայի ջերմաստիճանը: Ինչպե՞ս արտահայտել այդ կախումը: Ո՞րն է ինվերսիայի ջերմաստիճանի ֆիզիկական իմաստը:

5.108. Ինչպե՞ս է կատարվում գազերի հեղուկացումը Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտի միջոցով:

5.109. Յույց տալ, որ $a = 0$ գործակցով Վան դեր Վալսի հավասարմանը ենթարկվող գազը Ջոուլ-Թոմսոնի փորձում միշտ տաքանում է: Որոշել ջերմաստիճանի աճը ընդարձակման ժամանակ:

5.110. Յույց տալ, որ $b = 0$ գործակցով Վան դեր Վալսի գազը Ջոուլ-Թոմսոնի փորձում միշտ սառչում է: Որոշել ջերմաստիճանի փոփոխությունը ընդարձակման ժամանակ:

5.111. Ի՞նչ T ջերմաստիճանի դեպքում հելիումը Ջոուլ-Թոմսոնի փորձում կսկսի սառչել, եթե հայտնի է, որ հելիումի կրիտիկական ջերմաստիճանը՝ $T_{կր} = 5.2$ Կ: Համարել, որ հելիումը ենթարկվում է Վան դեր Վալսի հավասարմանը:

5.112. Ստանալ ինվերսիայի կորի $V = V(T)$ հավասարումը, այսինքն՝ (V, T) հարթության մեջ ընկած այն կորի հավասարումը, որի մի կողմից մյուս կողմն անցնելիս Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտը փոխում է իր նշանը:

5.113. Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում գազի էնթալպիան չի փոխվում: Օգտվելով դրանից՝ ստանալ այդ պրոցեսում ջերմաստիճանի փոփոխության ընդհանուր ջերմադինամիկական արտահայտությունը (Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտը):

5.114. Ցույց տալ, որ իդեալական գազերի համար Ջոուլ-Թոմսոնի էֆեկտը տեղի չի ունենում ($\Delta T = 0$):

5.115. Ցույց տալ, որ Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում գազի էնտրոպիան աճում է:

VI. ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

1. Առանց բախումների S ճանապարհ անցնող գազի մոլեկուլների թիվը՝

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{S}{\lambda}},$$

որտեղ λ -ն մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունն է:

2. Մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը՝

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi d^2 n},$$

որտեղ d -ն մոլեկուլի էֆեկտիվ տրամագիծն է:

3. Միավոր ժամանակում գազի մոլեկուլների բախումների միջին թիվը՝

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle,$$

որտեղ n -ը մոլեկուլների կոնցենտրացիան է, $\langle v \rangle$ -ն՝ մոլեկուլների միջին արագությունը:

4. Գազի D դիֆուզիայի, η մածուցիկության և χ ջերմահաղորդականության գործակիցները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle, \quad \eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \cdot \rho, \quad \chi = \frac{1}{3} m n \langle v \rangle \lambda c_v :$$

6.1. Ի՞նչ է մոլեկուլների էֆեկտիվ կտրվածքը:

6.2. Ի՞նչ ենք պատկերացնում՝ ասելով, որ մոլեկուլները բախվեցին: Ի՞նչ պարամետրերից է կախված գազի միավոր ծավալում միավոր ժամանակում մոլեկուլների բախումների $\langle Z \rangle$ միջին թիվը: Ինչպե՞ս է անալիտիկ ձևով արտահայտվում այդ կախումը (բանաձևը):

6.3. Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի ամենահավանական, միջին, միջին քառակուսային արագություններից n ըն է մտնում $\langle Z \rangle$ -ի բանաձևի մեջ:

6.4. Սահմանել մոլեկուլի ազատ վազքի $\langle \lambda \rangle$ միջին երկարությունը: Գազի վիճակի n ը պարամետրերից է այն կախված: Գրել $\langle \lambda \rangle$ -ի բանաձևը:

6.5. Գազում կատարվող n ը պրոցեսներն են ներառված «փոխանցման երևույթներ» բառակապակցության մեջ: Ի՞նչն է ընդհանուր այդ պրոցեսներում: Դարձելի՞ են արդյոք դրանք:

6.6. Գրել փոխանցման երևույթների ընդհանուր հավասարումը: Ի՞նչ պայմաններ են ներկայացվում գազին այդ հավասարումը դուրս բերելիս:

6.7. Փոխանցման ընդհանուր հավասարումից ինչպե՞ս ստանալ դիֆուզիայի, ջերմահաղորդականության և ներքին շփման օրենքները:

6.8. Ո՞րն է դիֆուզիայի երևույթի էությունը: Գրել դիֆուզիայի հավասարումը: Ո՞րն է դիֆուզիայի և փոխադարձ դիֆուզիայի տարբերությունը:

6.9. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի դիֆուզիայի D գործակիցը: Ի՞նչ երկու բանաձևերով է այն արտահայտվում:

6.10. Ո՞րն է ներքին շփման երևույթի էությունը: Գրել ներքին շփման հավասարումը:

6.11. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի ներքին շփման η գործակիցը: Ի՞նչ երկու բանաձևերով է այն որոշվում: Ի՞նչ կապ կա կինեմատիկ և դինամիկ մածուցիկության գործակիցների միջև:

6.12. Ի՞նչ է ջերմահաղորդականության երևույթը: Գրել ջերմահաղորդականության (Ֆուրյեի) հավասարումը:

6.13. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի ջերմահաղորդականության λ գործակիցը: Ի՞նչ երկու բանաձևերով կարելի է այն արտահայտել:

6.14. Գազի վիճակի n ը պարամետրերից են կախված փոխանցման երևույթների D , η և χ գործակիցները: Գրել այդ կախումները:

6.15. Ո՞ր փոխանցման երևույթներն են կոչվում ստացիոնար, և որոնք՝ ոչ ստացիոնար: Ի՞նչ պայմանների դեպքում ոչ ստացիոնար պրոցեսները կարելի է համարել ստացիոնար:

6.16. Ինչպե՞ս բացատրել մոլեկուլների ջերմային շարժման մեծ արագությունների պայմաններում համակարգի՝ հավասարակշռված վիճակին հասնելու դանդաղ ընթացքը: Ի վերջո n ը վիճակին են բերում փոխանցման երևույթները:

6.17. Ո՞ր պարամետրերով են բնութագրվում գազային մոլեկուլների բախումների պրոցեսները: Ի՞նչ կարգի են այդ մեծությունները:

6.18. Ազատ վազքի միջին երկարության բանաձևը դուրս բերելիս պե՞տք է արդյոք հաշվի առնել մոլեկուլների բախումները պատերին:

6.19. Ինչպե՞ս է փոխվում մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծը ջերմաստիճանից կախված: Գրել բանաձևը:

6.20. Ինչպե՞ս է $\langle \lambda \rangle$ ազատ վազքի միջին երկարությունը կախված ճնշումից: Նո՞ւյնն է արդյոք կախումը ցանկացած ճնշման դեպքում:

6.21. Ի՞նչ է վակուումը ազատ վազքի երկարության տեսանկյունից:

Ինչո՞ւ է վակուումը հարաբերական հասկացություն:

6.22. Ներքին շփման η և ջերմահաղորդականության χ գործակիցները որոշող բանաձևերից հետևում է η -ի և χ -ի անկախությունը ճնշումից: Ինչպե՞ս բացատրել դա: Ի՞նչ սահմաններում է դա ճշմարիտ:

6.23. Ինչպե՞ս ցույց տալ, որ դիֆուզիայի D գործակիցը կախված է ջերմաստիճանից: Ինչպիսի՞ն է այդ կախումը:

6.24. Ի՞նչ չափողականություն ունեն D , η և χ գործակիցները: Ի՞նչ միավորներով են չափվում ՄՄՀ համակարգում:

6.25. Գտնել կապը D և η , η և χ , D և χ գործակիցների միջև:

6.26. Ո՞ր ջերմունակությունն է մտնում ջերմափոխանակման χ գործակցի արտահայտության մեջ:

6.27. Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունեն արագության գրադիենտը, ջերմաստիճանի գրադիենտը և խտության գրադիենտը:

6.28. Տեղի կունենա՞ն արդյոք փոխանցման երևույթները վակուումում: Ինչպե՞ս կախված կլինեն փոխանցման երևույթների գործակիցները ճնշումից շատ փոքր ճնշումների տիրույթում:

6.29. Ինչո՞ւ են թերմոսների բալոնները պատրաստում կրկնակի պատերով:

6.30. Գազի մոլեկուլների n -ր մասն է առանց բախումների անցնում ազատ վազքի միջին երկարությունը գերազանցող հեռավորություններ, և n -ր մասի ազատ վազքի երկարությունն է ընկած $<\lambda> \div 2 <\lambda>$ միջակայքում:

6.31. Պատկերել $<\lambda> \cdot P$ արտադրյալի կախումը ճնշումից:

6.32. Ջերմամեկուսացված անոթում նույն ջերմաստիճանի երկու գազերը միջնորմով առանձնացված են միմյանցից: Ինչպե՞ս և կփոխվեն էներգիան և էնտրոպիան միջնորմը հեռացնելուց հետո:

6.33. Գազի ճնշումը մեծացնում են 2 անգամ: Ինչպե՞ս կփոխվի ազատ վազքի $<\lambda>$ երկարությունը, եթե՝ ա) ջերմաստիճանը հաստատուն է, բ) ջերմաստիճանն աճել է 2 անգամ:

6.34. Մոլեկուլի բախման հավանականությունը $d\tau$ ժամանակում հավասար է $-\alpha d\tau$, որտեղ α -ն հաստատուն է: Որոշել՝ ա) հավանականությունն այն բանի, որ մոլեկուլը t ժամանակահատվածում բախում չի ունենա, բ) միջին ժամանակը երկու բախումների միջև:

6.35. Որոշել գազանման ազոտի մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը և բախումների միջև միջին ժամանակահատվածը հետևյալ դեպքերում՝ ա) նորմալ պայմաններում, բ) $t = 0^\circ \text{C}$ ջեր-

մաստիճանում և $P = 10^{-9}$ Պա ճնշման համար:

6.36. Քանի՞ անգամ է նորմալ պայմաններում գտնվող ազոտի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը մեծ նրանց միջև եղած միջին հեռավորությունից:

6.37. Ազոտը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Որոշել՝ ա) ցանկացած մոլեկուլի բախումների միջին թիվը մեկ վայրկյանում, բ) 1 վայրկյանում 1սմ³ ծավալում պարունակվող մոլեկուլների միջև բոլոր բախումների թիվը:

6.38. Ազատ վազքի $\langle \lambda \rangle$ միջին երկարությունը և յուրաքանչյուր մոլեկուլի բախումների $\langle z \rangle$ միջին թիվը ինչպե՞ս են կախված ջերմաստիճանից, եթե իդեալական գազի հետ կատարվում է՝ ա) իզոխոր պրոցես, բ) իզոբար պրոցես:

6.39. Կոշտ երկատոմ գազի հետ կատարվում է ադիաբատ պրոցես: Ինչպե՞ս են $\langle \lambda \rangle$ -ն և $\langle z \rangle$ -ը կախված՝ ա) ծավալից, բ) ճնշումից, գ) ջերմաստիճանից:

6.40. Իդեալական գազի հետ կատարվել է պրոցես, որի հետևանքով գազի ճնշումն աճել է n անգամ: Ինչպե՞ս և քանի՞ անգամ են փոխվել $\langle \lambda \rangle$ -ն և $\langle z \rangle$ -ը, եթե պրոցեսը՝ ա) իզոխոր է, բ) իզոթերմ է:

6.41. Իդեալական գազի հետ կատարվում է n ցուցիչով պոլիտրոպ պրոցես: Որոշել $\langle \lambda \rangle$ -ի և $\langle z \rangle$ -ի կախումը՝ ա) ծավալից, բ) ճնշումից, գ) ջերմաստիճանից:

6.42. Կոշտ երկատոմ մոլեկուլներից կազմված իդեալական գազի հետ կատարվում է պոլիտրոպ պրոցես, որի ընթացքում գազի միավոր ծավալում մոլեկուլների բախումների թիվը մնում է հաստատուն: Որոշել այդ պրոցեսում գազի մոլային ջերմունակությունը:

6.43. Որոշել նորմալ պայմաններում գազի մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը: Գազի համար Վան դեր Վալսի b հաստատունը 40 սմ³/մոլ է:

6.44. Ազոտը գտնվում է նորմալ պայմաններում: Տատանումների ինչպիսի՞ հաճախության դեպքում ձայնային ալիքների երկարությունը հավասար կլինի ազոտի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությանը:

6.45. Չողի մի ծայրը գտնվում է T_1 , մյուսը՝ T_2 ջերմաստիճանով թերմոստատում: Չողը կազմված է l_1 և l_2 երկարություններով, χ_1 և χ_2 ջերմահաղորդականություններով երկու մասերից: Որոշել ձողի մասերի հպման մակերևույթի ջերմաստիճանը:

6.46. Չողը կազմված է l_1 և l_2 երկարություններով, χ_1 և χ_2

ջերմահաղորդականություններով երկու մասերից: Որոշել $l_1 + l_2$ երկարությամբ համասեռ ձողի ջերմահաղորդականությունը, որը հաղորդում է ջերմություն վերոհիշյալ ձողի պես:

6.47. Հավանականությունը, որ մոլեկուլը, առանց բախումների անցնելով x ճանապարհի, $x + dx$ հատվածում կբախվի, հավասար է

$dw(x) = Ae^{-\frac{x}{\lambda}} dx$, որտեղ A -ն նորմավորման գործակիցն է, λ -ն՝ ազատ վազքի միջին երկարությունը: Որոշել այն մոլեկուլների հարաբերական թիվը, որոնց ազատ վազքի միջին երկարությունը՝ ա) փոքր է 0.5λ -ից, բ) մեծ է 2λ -ից:

6.48. Կրկնակի պատերով գլանաձև անոթը լցված է $m = 100$ գ սառույցով: Արտաքին պատի շառավիղը՝ $r_2 = 5$ սմ, ներքին պատինը՝ $r_1 = 4$ սմ, անոթի բարձրությունը՝ $H = 20$ սմ: Մինչև սառույց լցնելը պատերի միջև եղած օդի ճնշումը՝ $P = 1.3 \cdot 10^{-2}$ Պա: Շրջապատի ջերմաստիճանը՝ $T = 293$ Կ: Որոշել սառույցի հալման ժամանակը:

6.49. Նորմալ ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում մեկ վայրկյանում միջինում քանի՞ Z բախում կունենա CO_2 -ը: Մոլեկուլի գազոկինետիկ տրամագիծը՝ $d = 10^{-7}$ սմ:

6.50. Նորմալ պայմաններում մեկ վայրկյանում 1 սմ³ ծավալում պարունակվող թթվածնի մոլեկուլների միջև քանի՞ Z բախում տեղի կունենա: Թթվածնի մոլեկուլի գազոկինետիկ տրամագիծը՝ $d = 3.1 \cdot 10^{-9}$ սմ:

6.51. Իդեալական գազը տաքացնում են հաստատուն ճնշման տակ: Ինչպե՞ս են փոխվում մոլեկուլի ազատ վազքի միջին երկարությունը և բախումների Z թիվը ջերմաստիճանի փոփոխության հետևանքով:

6.52. Իդեալական գազը սեղմում են հաստատուն ջերմաստիճանում: Որոշել λ -ի և Z -ի կախումը ճնշումից:

6.53. Իդեալական գազն ադիաբատորեն սեղմում են: Որոշել λ -ի և Z -ի կախումը ճնշումից:

6.54. Որոշել իդեալական գազի այն պրոցեսի մոլային ջերմունակությունը, որի ընթացքում մեկ վայրկյանում միավոր ծավալում բախումների թիվը մնում է անփոփոխ:

6.55. Որոշել իդեալական գազի այն պրոցեսի մոլային ջերմունակությունը, որի ընթացքում մեկ վայրկյանում ամբողջ ծավալում բախումների թիվը մնում է անփոփոխ:

6.56. Պրոցեսում, որի մոլային ջերմունակությունը՝ $C = C_p / 2$, իդեալական գազի ծավալն աճում է երկու անգամ: Քանի՞ անգամ կփոխվեն միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի բախումների Z թիվը և ազատ վազքի λ միջին երկարությունը:

6.57. Գտնել $V = 1$ լ ծավալում ջրածնի ճնշման վերին P սահմանը, որի դեպքում ազատ վազքի երկարությունը դառնում է մեծ անոթի չափսերից: Ջրածնի մոլեկուլի գազոկինետիկ տրամագիծը՝ $d = 2.2 \cdot 10^{-9}$ սմ, ջերմաստիճանը՝ $T = 300$ Կ:

6.58. $l = 20$ սմ երկարությամբ և $S = 3$ սմ² կտրվածքի մակերեսով պողպատյա ձողի մի ծայրը տաքացնում են մինչև $t_1 = 300^\circ \text{C}$, իսկ մյուս ծայրը հպում են սառույցին: Ենթադրելով, որ ջերմահաղորդումը կատարվում է բացառապես ձողի երկարությամբ, որոշել $\tau = 10$ ր-ի ընթացքում հալված սառույցի զանգվածը: Պողպատի ջերմահաղորդականության գործակիցը՝ $\chi = 0.67$ Ջ/(վ·սմ·°C):

6.59. R_1 և R_2 շառավիղներով երկու համառանցք գլանների միջև տարածությունը լցված է ջերմահաղորդիչ համասեռ նյութով: Որոշել ջերմաստիճանի բաշխումն այդ տարածությունում, եթե ներքին գլանի ջերմաստիճանը T_1 է, արտաքինինը՝ T_2 :

6.60. Որոշել ջերմաստիճանի բաշխումը R_1 և R_2 շառավիղներով համակենտրոն գնդերի միջև եղած տարածությունում, եթե այն լցված է ջերմահաղորդիչ համասեռ նյութով: Գնդերի ջերմաստիճանները հաստատուն են և T_1 ու T_2 են:

6.61. Ջրի մեջ տեղադրված $R = 10$ սմ շառավղով ուրանի գունդը ճառագայթվում է նեյտրոնների հավասարաչափ հոսքով: Ուրանի միջուկների տրոհման հետևանքով գնդում անջատվող էներգիայի ծավալային հզորությունը՝ $q = 100$ Վտ/սմ³: Ջրի ջերմաստիճանը՝ $T_0 = 373$ Կ, ուրանի ջերմահաղորդականությունը՝ $\chi = 400$ Վտ/(մ·Կ): Որոշել ջերմաստիճանի ստացիոնար բաշխումը գնդում և ջերմաստիճանը գնդի կենտրոնում:

6.62. Համասեռ գլանաձև լարով (լարն առանց մեկուսիչի է) հոսում է հաստատուն հոսանք: Որոշել ջերմաստիճանի ստացիոնար բաշխումը լարում, եթե նրա մակերևույթը պահպանվում է T_0 հաստատուն ջերմաստիճանում: Հոսանքի ուժը, լարի տեսակարար դիմադրությունը և շառավիղը հայտնի են:

6.63. Որոշել տրված τ ժամանակում լճի մակերևույթի վրա առա-

ջացած սառույցի շերտի հաստությունը: Համարել, որ առաջացող սառույցի արտաքին մակերևույթի ջերմաստիճանը հաստատուն է և հավասար է շրջապատող օդի ջերմաստիճանին՝ $T = -10^{\circ}C$: Սառույցի $\chi = 2.22 \cdot 10^5$ էրգ/(վ·սմ· $^{\circ}C$), $q = 3.34 \cdot 10^9$ էրգ/գ, $\rho = 0.9$ գ/սմ 3 :

6.64. Որոշել նորմալ ճնշման պայմաններում թթվածնի մոլեկուլի ազատ վազքի λ միջին երկարությունը, եթե նույն ճնշման և $0^{\circ}C$ ջերմաստիճանի դեպքում թթվածնի դիֆուզիայի գործակիցը՝ $D = 0.19$ սմ 2 /վ:

6.65. Իդեալական գազի պոլիտրոպ ընդարձակման ընթացքում նրա մոլեկուլների դիֆուզիայի գործակիցը մնում է անփոփոխ: Որոշել պոլիտրոպի n ցուցիչը:

6.66. Որոշել 64 գ գազանման թթվածնի էնտրոպիայի փոփոխությունը մի պրոցեսում, որի ընթացքում նրա ջերմահաղորդականության χ գործակիցն աճում է 2 անգամ, իսկ դիֆուզիայի գործակիցը՝ մնում անփոփոխ:

6.67. Միատոմ իդեալական գազն ադիաբատորեն ընդարձակում են 8 անգամ: Ինչպե՞ս է փոխվում նրա դիֆուզիայի գործակիցը:

6.68. Պոլիտրոպ պրոցեսում իդեալական գազի դիֆուզիայի գործակիցը մնում է անփոփոխ: Որոշել այդ պրոցեսի ջերմունակությունը:

6.69. Օծանելիքի շիշը բացում են սենյակի հեռավոր անկյունում: Սենյակի մյուս ծայրում մարդն օծանելիքի բույրը զգում է 1 րոպե անց: Օդի ջերմաստիճանը սենյակում՝ $t_1 = 30^{\circ}C$: Գնահատել, թե որքան ժամանակ կպահանջվի բույրը զգալու համար, եթե օդի ջերմաստիճանը՝ $t_2 = -30^{\circ}C$:

6.70. Որոշել, թե իր նախնական դիրքից ինչ L միջին հեռավորության վրա կտեղաշարժվի նորմալ պայմաններում գտնվող օդի մոլեկուլը $t = 10$ վ-ում:

6.71. $t = 0^{\circ}C$ ջերմաստիճանում ազոտի մածուցիկությունը՝ $\eta = 16.8 \cdot 10^{-5}$ դին վ/սմ 2 : Որոշել ազոտի մոլեկուլի ազատ վազքի λ երկարությունն այդ պայմաններում:

6.72. Համաձայն փորձարարական տվյալների՝ ազոտի և ջրածնի մածուցիկության գործակիցների հարաբերությունը՝ $\eta_N / \eta_H = 1.94$: Որոշել այդ գազերի ջերմահաղորդականության գործակիցների հարաբերությունը:

6.73. Որոշել $t = 20^{\circ}C$ ջերմաստիճանի ջրում $\tau = 1$ րոպեում գու-

միգուտի սերմերի միջին քառակուսային հորիզոնական տեղաշարժը, եթե սերմերի շառավիղը՝ $a = 0.5$ մկմ, իսկ ջրի մածուցիկությունը՝ $\eta = 0.01$ դին վ/սմ²:

6.74. Որոշել $m = 88$ գ ածխաթթու գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե տվյալ պրոցեսի ընթացքում նրա մածուցիկությունը մեծացել է $\sqrt{2}$, իսկ դիֆուզիայի գործակիցը՝ 2 անգամ:

VII. ՀԵՂՈՒԿՆԵՐ: ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐ

1. Մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ճնշումն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

որտեղ R_1 -ը և R_2 -ը մակերևույթի տվյալ էլեմենտի կորության գլխավոր շառավիղներն են, իսկ σ -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը:

2. Հեղուկի մակերևույթի մակերեսը ΔS -ով իզոթերմորեն մեծացնելու համար կատարված աշխատանքը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝ $A = \sigma \cdot \Delta S$:

3. Ներքին r շառավղով մագալկան խողովակում հեղուկի սյան բարձրությունը որոշվում է

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

բանաձևով, որտեղ θ -ն եզրային անկյունն է, r -ը՝ մագալկան խողովակի շառավիղը, ρ -ն՝ հեղուկի խտությունը:

7.1. Հեղուկի մոլեկուլները պինդ մարմնի մոլեկուլների նման կատարում են տատանումներ հավասարակշռության որոշակի դիրքերի շուրջ: Ո՞րն է հեղուկի մոլեկուլների և գազի ու պինդ մարմնի մոլեկուլների շարժումների տարբերությունը: Ի՞նչ է մոտակա կարգը:

7.2. Վան դեր Վալսի հավասարումը գազային և հեղուկ փուլերի վիճակի հավասարում է: Հաշվի առնելով գոլորշու ճնշման և ներքին ճնշման միջև եղած հարաբերակցությունը՝ գրել կրիտիկականից շատ ավելի ցածր ջերմաստիճաններում ($T \ll T_{կր}$) սեփական գոլորշու ճնշման տակ գտնվող հեղուկի հավասարումը: Ինչպե՞ս բացատրել հեղուկների ջերմային ընդարձակումը՝ օգտվելով այդ հավասարումից:

7.3. Պլատոյի փորձում ձեթը կաթեցնում են ջրի և սպիրտի խառնուրդի մեջ: Խառնուրդի որոշակի խտության դեպքում ձեթի կաթիլը գտնվում է կախված վիճակում: Ի՞նչ տեսք կունենա ձեթի կաթիլը:

7.4. Հեղուկների զգալի մասի համար մածուցիկությունը կարելի է որոշել $\eta = \frac{C_2}{v - C_1}$ բանաձևից, որտեղ C_1 -ը և C_2 -ը հեղուկի հատ-

կություններից կախված հաստատուններ են, իսկ ν -ն՝ հեղուկի տեսակարար ծավալը: Օգտվելով այս հավասարումից՝ բացատրել մածուցիկության կախումը ջերմաստիճանից:

7.5. Ի՞նչն է պատճառը, որ կարելի է փչել օձառաջրի պղպջակ, բայց հնարավոր չէ նույնն անել մաքուր ջրի միջոցով:

7.6. Ի՞նչն է հեղուկի փոքր սեղմելիության և մակերևութային շերտի հատկությունների պատճառը:

7.7. Եթե S -աձև ստվարաթղթի թիթեղի ծայրերը շփենք օձառով և դնենք ջրի մեջ, թիթեղը կսկսի պտտվել: Ի՞նչո՞ւ:

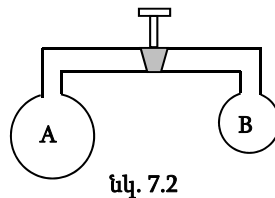
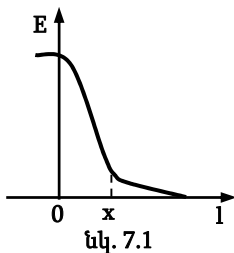
7.8. Ինչո՞ւ է ծորակից հոսող ջրի շիթն աստիճանաբար բարակում և ի վերջո բաժանվում առանձին կաթիլների:

7.9. Երկու նման, մի ծայրը լայնացող բարակ ապակե խողովակների մեջ լցնում են տարբեր հեղուկներ: Ի՞նչ պայմանի դեպքում հեղուկների կաթիլները կտեղափոխվեն հակառակ ուղղություններով:

7.10. Ուղղաձիգ ապակե մազանոթը կախված է կշեռքի նժարից և հավասարակշռված է կշռաքարերով: Ի՞նչ կկատարվի, եթե մազանոթի տակից զգուշորեն մոտեցնեն հեղուկով լցված անոթն այնպես, որ մազանոթի ծայրը հպվի հեղուկին:

7.11. Նկ. 7.1-ում պատկերված է հեղուկի մոլեկուլների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի կախումը հեղուկի մակերևութից ունեցած հեռավորությունից: Ի՞նչ կարգի է անցումային (մակերևութային) շերտի x հաստությունը: Նյութի ի՞նչ վիճակների են համապատասխանում x անցումային շերտից աջ և ձախ ընկած գրաֆիկի տեղամասերը: Օգտվելով այս գրաֆիկից՝ գծել մոլեկուլի վրա ազդող ուժի փոփոխության գրաֆիկը՝ կախված մակերևութից ունեցած հեռավորությունից:

7.12. Ապակե խողովակի A և B ծայրերին կան երկու տարբեր շառավիղներով օձառե փուչիկներ (նկ. 7.2): Ի՞նչ կկատարվի, եթե փուչիկները միացնող փականը բացվի:



7.13. Ինչպե՞ս կփոխվի բաժակում եղած ջրի էնտրոպիան, եթե ջուրը թափենք հատակին:

7.14. Օճառե թաղանթն աղիաբատորեն ընդարձակում են (մեծացնում են մակերևույթի մակերեսը): Ինչպե՞ս է փոխվում նրա ջերմաստիճանը:

7.15. Հեղուկի երկու մոլեկուլների փոխազդեցության միջին էներգիայի մոդուլը U_0 է, փոխազդեցության շառավիղը՝ r_0 , մոլեկուլների կոնցենտրացիան հեղուկում՝ n : Որոշել հեղուկի σ մակերևութային լարվածության գործակիցը:

7.16. Համեմատել ջրի և հեղուկ ազոտի մակերևութային լարվածության գործակիցները: Ջրի և հեղուկ ազոտի խտությունները մոտավորապես հավասար են: Ջրի մոլեկուլները դիպոլային են, ազոտինը՝ ոչ:

7.17. $T = 18^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում ազոտի մթնոլորտում սնդիկի մակերևութային լարվածության գործակիցը՝ $\sigma_{\text{սս}} = 0.495 \text{ Ն/մ}$, իսկ ջրածնի մթնոլորտում $\sigma_{\text{սջ}} = 0.554 \text{ Ն/մ}$: Ի՞նչ կարելի է ասել ջրածնի և ազոտի մոլեկուլների հետ սնդիկի ատոմների փոխազդեցության մասին:

7.18. Հորիզոնական մակերևույթի վրա կաթեցնում են հեղուկ: Պատկերել (որակապես) ուղղաձիգ հարթությամբ կաթիլի հատույթը՝ ա) մասնակի թրջման դեպքում, բ) մասնակի չթրջման դեպքում: Նկարի վրա ցույց տալ այն ուժերը, որոնք ազդում են պինդ մարմին - հեղուկ, պինդ մարմին - գազ, հեղուկ - գազ սահմաններում:

7.19. Ի՞նչ հարաբերության մեջ են պինդ մարմին - հեղուկ և պինդ մարմին - գազ մակերևութային լարվածության $\sigma_{\text{պհ}}$ և $\sigma_{\text{պգ}}$ գործակիցները. ա) հեղուկը թրջում է պինդ մարմինը, բ) հեղուկը չի թրջում պինդ մարմինը:

7.20. Ի՞նչ երևույթներ են տեղի ունենում հեղուկ - պինդ մարմին հպման տիրույթում, եթե պինդ մարմին - հեղուկ, պինդ մարմին - գազ և հեղուկ - գազ մակերևութային լարվածության $\sigma_{\text{հպ}}$, $\sigma_{\text{պգ}}$ և $\sigma_{\text{հգ}}$ գործակիցները բավարարում են հետևյալ առնչություններին՝
ա) $\sigma_{\text{պգ}} > \sigma_{\text{հպ}} + \sigma_{\text{հգ}}$, բ) $\sigma_{\text{հպ}} > \sigma_{\text{պգ}} + \sigma_{\text{հգ}}$:

7.21. Հաշվել լրացուցիչ (մակերևութային լարվածության հետևանքով առաջացած) ΔP_1 ճնշումը հեղուկի գնդաձև կաթիլում և ΔP_2 ճնշումը նույն հեղուկի գնդաձև պղպջակում: Կաթիլի և պղպջակի շառավիղները R են, մակերևութային լարվածության գործակիցը՝ σ :

7.22. Գնահատել ճնշումը $r = 1$ մկմ շառավղով սնդիկի կաթիլում: Մակերևութային լարվածության գործակիցը սենյակային ջերմաստիճանում՝ $\sigma = 0.5$ Ն/մ:

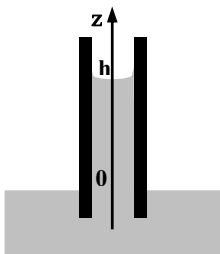
7.23. Մագական խողովակում լրիվ թրջելի հեղուկը հասել է որոշակի բարձրության: Որոշել հեղուկի սյան կշիռը, եթե մագական խողովակի շառավիղը r է, հեղուկի խտությունը՝ ρ , մակերևութային լարվածության գործակիցը՝ σ :

7.24. r շառավղով մագանոթն ուղղաձիգ դիրքով իջեցված է σ մակերևութային լարվածություն ունեցող հեղուկի մեջ: Որոշել հեղուկի բարձրությունը մագանոթում, եթե տեղի ունի՝ ա) լրիվ թրջում, բ) ոչ լրիվ թրջում, ընդ որում, սահմանային անկյունը θ է:

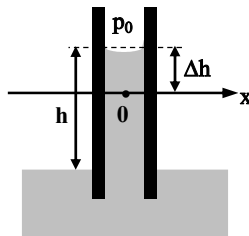
7.25. Մագանոթի մի ծայրն իջեցրել են այն թրջող հեղուկի մեջ, ինչի հետևանքով հեղուկը մագանոթում բարձրանում է, և հեղուկի սյան բարձրությունը դառնում է h (նկ. 7.3): Ի՞նչ տեղի կունենա մագանոթում հեղուկի մակարդակի և կորության շառավղի հետ այն աստիճանաբար սուղելու ժամանակ: Առանձին դիտարկել $z > h$ և $0 < z < h$ դեպքերը, որտեղ z -ը վերին ծայրի բարձրությունն է:

7.26. ρ խտությամբ հեղուկը մագանոթում բարձրանում է, և հեղուկի սյան բարձրությունը դառնում է h (նկ. 7.3): Մթնոլորտային ճնշումը P_0 է: Պատկերել ճնշման $P(z)$ կախումը z կոորդինատից: Ինչի՞նչ է հավասար մակերևութային լարվածության գործակիցը, եթե մագանոթի շառավիղը r է, և հեղուկը լրիվ թրջում է մագանոթը:

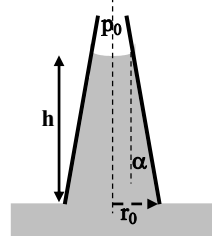
7.27. ρ խտությամբ հեղուկը մագանոթում բարձրանում է, և հեղուկի սյան բարձրությունը դառնում է h (նկ. 7.4): Մթնոլորտային ճնշումը P_0 է: Պատկերել ճնշման $P(x)$ կախումը x առանցքի կետերում:



նկ. 7.3



նկ. 7.4



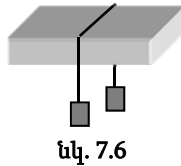
նկ. 7.5

7.28. Որոշել թաղանթի միավոր մակերեսի առաջացման ջերմությունը:

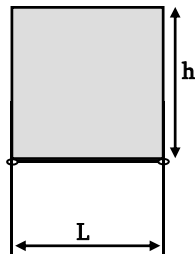
7.29. Դեպի վեր նեղացող ծայրով կոնաձև մագանոթի ստորին մասի շառավիղը r_0 է, իսկ գագաթի անկյունը՝ 2α (նկ. 7.5): Մագանոթն աննշան խորությամբ ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են թրջող հեղուկի մեջ: Որոշել՝ ա) հեղուկի սյան h բարձրությունը կայուն հավասարակշռության վիճակում, բ) հեղուկի խտությունը, որի դեպքում գոյություն ունի միայն մեկ հավասարակշռության վիճակ:

7.30. Դեպի վեր նեղացող ծայրով կոնաձև մագանոթի ստորին մասի շառավիղը r_0 է, իսկ գագաթի անկյունը՝ 2α (նկ. 7.5): Մագանոթն աննշան խորությամբ ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են թրջող հեղուկի մեջ: Որոշել հեղուկի սյան բարձրությունը մագանոթում:

7.31. Եթե սառույցի կտորի վրա գցեն լար, որի ծայրերին ամրացված լինեն մի քանի կիլոգրամանոց ծանրոցներ (նկ. 7.6), ապա որոշ ժամանակ անց լարը կանցնի սառույցի միջով, իսկ սառցե կտորը կմնա իր տեղում: Բացատրել այդ երևույթը:



նկ. 7.6



նկ. 7.7

7.32. Ուղղաձիգ հարթության մեջ տեղադրված U -աձև շրջանակի վրայով կարող է ազատ շարժվել $L = 5$ սմ երկարությամբ բարակ ձող (նկ. 7.7): Շրջանակը պատված է $\sigma = 70$ մՆ/մ մակերևութային լարվածությամբ օձառաջրի թաղանթով (նկարում նրբագծված տիրույթ): Ի՞նչ զանգված պետք է ունենա ձողը, որպեսզի գտնվի հավասարակշռության մեջ: Ինչի՞նչ է հավասար թաղանթի մակերևութային ազատ էներգիան, եթե $h = 5$ սմ:

7.33. $m = 1.36$ գ զանգվածով սնդիկի կաթիլը գտնվում է երկու հարթ հորիզոնական ապակե թիթեղների միջև: Ի՞նչ ուժ է պետք կիրառել թիթեղների վրա, որպեսզի դրանց միջև հեռավորությունը հասցվի $d = 0.1$ մմ-ի: Համարել, որ սնդիկն ապակույն բացարձակ չի թրջում:

7.34. Ի՞նչ աշխատանք է պետք կատարել իզոթերմորեն $r = 5$ սմ շառավղով օձառե փուչիկ փչելու համար: Օձառի մակերևութային

լարվածության գործակիցը՝ $\sigma = 0.04$ Ն/մ:

7.35. Անոթի հատակին $d = 70$ մկմ տրամագծով կլոր անցք է բացվել: Որոշել սնդիկի սյան առավելագույն բարձրությունը, որի դեպքում անցքից սնդիկ դեռ չի հոսի:

7.36. Օդում P_0 ճնշման տակ գտնվում է d տրամագծով օճառե պղպջակ: Ճնշումն իզոթերմորեն փոքրացնում են n անգամ, ինչի հետևանքով պղպջակի տրամագիծը մեծանում է η անգամ: Որոշել օճառաջրի մակերևութային լարվածության գործակիցը:

7.37. R_1 շառավղով օճառի պղպջակին կպած է R_2 շառավղով պղպջակ: Ընդունելով, որ $R_2 < R_1$, որոշել հալման տիրույթի կորույթյան շառավիղը:

7.38. Որոշել ճնշումը $d = 4$ մկմ տրամագծով պղպջակում, որը գտնվում է ջրում՝ $h = 5$ մ խորության վրա: Մթնոլորտային ճնշումը՝ $P_0 = 10^5$ Պա:

7.39. Որոշել սնդիկի մակարդակների տարբերությունը երկու ուղղաձիգ հաղորդակից մագանոթներում, որոնց տրամագծերն են՝ $d_1 = 0.5$ մմ և $d_2 = 1$ մմ: Համարել, որ սահմանային անկյունը՝ $\theta = 138^\circ$:

7.40. Ապակե մագանոթը, որի տրամագիծը՝ $d = 0.5$ մմ, ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են ջրի մեջ այնպես, որ ջրից դուրս մնա $h = 25$ մմ երկարությամբ հատված: Որոշել մենիսկի կորության շառավիղը:

7.41. $L = 110$ մմ երկարությամբ և $d = 20$ մկմ տրամագծով ապակե մագանոթն ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են ջրի մեջ: Մագանոթի վերին ծայրը զոդված է: Մթնոլորտային ճնշումը՝ $P_0 = 10^5$ Պա: Որքանով է մագանոթն ընկղմված ջրի մեջ, եթե ջրի մակարդակները մագանոթում և անոթում համընկնում են:

7.42. $d_1 = 1.5$ մմ տրամագծով ապակե ձողը տեղադրում են ապակե խողովակի մեջ, որի տրամագիծը՝ $d_2 = 2$ մմ: Համակարգն ուղղաձիգ դիրքով աննշան խորությամբ ընկղմում են ջրի մեջ: Որքան կբարձրանա ջուրն այդպիսի մագանոթում: Խողովակի և ձողի առանցքները համընկնում են:

7.43. Օդում ջրի կաթիլն ընկնում է հավասարաչափ: Գտնել այդ կաթիլի վերին և ստորին կետերի կորության շառավիղների տարբերությունը, եթե այդ կետերի միջև եղած հեռավորությունը՝ $h = 2.3$ մմ:

7.44. Միմյանցից $h = 0.1$ մմ հեռավորության վրա գտնվող զուգահեռ

ապակե թիթեղների միջև գտնվում է $m = 70$ մգ զանգվածով ջրի կաթիլ: Թրջումը համարելով լրիվ՝ որոշել թիթեղների միջև ձգման ուժը:

7.45. Ջրով թրջած $R = 5$ սմ շառավղով երկու ապակե թիթեղներ դրված են իրար վրա այնպես, որ դրանց մեջ եղած ջրի շերտի հաստությունը՝ $h = 1.9$ մկմ: Որոշել այն ուժի մեծությունը, որն անհրաժեշտ է գործադրել թիթեղներին ուղղահայաց դիրքով՝ դրանք իրարից պոկելու համար:

7.46. Ուղղաձիգ մազանոթի մի ծայրն ընկղմում են ջրի մեջ: Որքա՞ն ջերմություն կանջատվի մազանոթում ջրի Բարձրացման ընթացքում:

7.47. Որոշել մակերևութային շերտի ազատ էներգիան՝ ա) $d = 1.4$ մմ տրամագծով սնդիկի կաթիլի, եթե մակերևութային լարվածությունը՝ $\sigma = 490$ մՆ/մ, բ) $d = 6$ մմ տրամագծով օճառե պղպջակի, եթե մակերևութային լարվածությունը՝ $\sigma = 45$ մՆ/մ:

7.48. r շառավղով օճառե պղպջակը լցված է օդով (իդեալական գազ): Արտաքին ճնշումը P_0 է, մակերևութային լարվածությունը՝ σ : Որոշել պղպջակում գազի տաքացման մոլային ջերմունակությունը և համեմատել այն գազի C_V -ի հետ:

VIII. ՓՈԻԼԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՌԹՅՈՒՆ ԵՎ ԱՆՑՈՒՄՆԵՐ

1. Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը՝

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - V_2)},$$

որտեղ V_1 -ը և V_2 -ը տարբեր փուլերի տեսակարար ծավալներն են, L -ը՝ մի փուլից մյուսին անցնելու համար ծախսված էներգիայի քանակը:

2. Հավասարակշռության պայմանը՝

$$\varphi_1(P, T) = \varphi_2(P, T),$$

որտեղ φ_1 -ը և φ_2 -ը նյութի տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալներն են առաջին և երկրորդ փուլերում:

3. Գիբսի փուլերի կանոնը՝

$$n \leq k + 2,$$

որտեղ n -ը հավասարակշռության մեջ գտնվող փուլերի թիվն է, k -ն՝ համակարգում բաղադրիչների թիվը:

8.1. Ի՞նչ է նյութի ջերմադինամիկական փուլը: Համընկնո՞ւմ է արդյոք նյութի ջերմադինամիկական փուլի հասկացությունը նրա ագրեգատային վիճակի հետ:

8.2. Միաբաղադրիչ երկփուլային համակարգի ո՞ր մեծություններն է կապում միմյանց Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը: Ի՞նչ դատողություններից է այն դուրս բերվում:

8.3. Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը դուրս բերել ջերմադինամիկական պոտենցիալի օգնությամբ:

8.4. Ի՞նչ է կրիտիկական կետը: Ի՞նչ է եռակի կետը:

8.5. Ի՞նչ տեսք ունեն փուլային հավասարակշռության կորերը տարբեր փոփոխականներով:

8.6. Նյութի (P, T) դիագրամում որո՞նք են հալման կորերի երկու ուղիները:

8.7. Հնարավո՞ր է արդյոք հեղուկ փուլի անընդհատ անցումը բյուրեղային և գազանման փուլերի առանց երկփուլային վիճակի անցման:

8.8. Սահմանել I և II կարգի փուլային անցումները: Բերել օրինակներ:

8.9. Հեղուկը վերածվում է նույն ջերմաստիճանի գոլորշու: Ինչպե՞ս են փոխվում տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալը, էնտրոպիան և ներքին էներգիան:

8.10. Ի՞նչն է կոչվում համակարգի փուլ: Ձևակերպել փուլային հավասարակշռության պայմանները:

8.11. Ի՞նչ դատողություններից է հետևում, որ փուլային հավասարակշռության դեպքում անհրաժեշտ է տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալների հավասարությունը՝ $\varphi_1(P, T) = \varphi_2(P, T)$:

8.12. Գծել և բացատրել եռափուլ և քառափուլ քիմիապես համասեռ համակարգերի վիճակի դիագրամների մոտավոր տեսքերը:

8.13. Ինչի՞ է հավասար հավասարակշռության մեջ գտնվող փուլերի առավելագույն թիվը: Ինչո՞ւ:

8.14. Բացատրել, թե ինչ է մետաստաբիլ վիճակը: Բերել մետաստաբիլ վիճակների օրինակներ:

8.15. Բաց անոթը մասամբ լցված է հեղուկով: Անոթը հերմետիկորեն փակում են: Համեմատել համակարգի ջերմադինամիկական պոտենցիալները բաց անոթի դեպքում և անոթը փակելուց հետո՝ բավականաչափ ժամանակ անց:

8.16. Կրիտիկական ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճանում իրական գազի իզոթերմի վրա ցույց տալ հավասար տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալներով վիճակներին համապատասխանող կետերը:

8.17. Փակ տարածությունում մեկը մյուսից բարձր տեղադրված են նույն հեղուկով լցված երկու բաց անոթներ: Ժամանակի սկզբնական պահին հեղուկների ջերմաստիճանները նույնն էին: Որոշ ժամանակ անց ստորին անոթում գտնվող հեղուկի ջերմաստիճանն աճում է, իսկ վերինինը՝ նվազում: Ինչո՞ւ:

8.18. Բոլցմանի՝ ըստ էներգիաների բաշխման օրենքի համաձայն՝ գազային փուլում եղած մոլեկուլների թվի հարաբերությունը հեղուկ փուլում եղած մոլեկուլների թվին մոտավորապես հավասար է $e^{-\varepsilon/kT}$ (ε -ը հեղուկի մոլեկուլի միջին պոտենցիալ էներգիան է): Ի՞նչ կարելի է ասել գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային կախման մասին: Ինչո՞ւ ε -ը կարելի է մոտավորապես համարել մեկ մոլեկուլի շոգեգոյացման ջերմությունը:

8.19. Վակուումային պոմպի զանգի տակ դրված են ջրով լցված ժամացույցի ապակի և ծծմբաթթվով լցված անոթ: Ծծմբաթթուն անհրաժեշտ է ջրային գոլորշիների կլանման համար: Օդը զանգի տակից դուրս մղելիս ջուրը սկզբում եռում է, իսկ հետո՝ սառչում: Բացատրել երևույթը:

8.20. Բարձր էներգիաներով տարրական մասնիկների հետազոտությունների համար օգտագործում են Վիլսոնի խցիկը և պղպջա-

կային խցիկը: Ի՞նչ երևույթների վրա են հիմնված այդ սարքերը: Ո՞րն է պղպջակային խցիկի առավելությունը:

8.21. (P, T) հարթության մեջ պատկերել գոլորշացման, հալման և սուբլիմացման կորերը: Ո՞ր տիրույթներում է նյութը գտնվում գազանման, հեղուկ և պինդ վիճակներում: Ո՞ր կետում են երեք փուլերը գտնվում հավասարակշռության մեջ: Ցույց տալ տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալի հավասար արժեքներին համապատասխանող կետերը:

8.22. Կարելի է նկատել, որ հեղուկի՝ միմյանց մոտ գտնվող փոքր և մեծ կաթիլների գոլորշացման հետևանքով փոքր կաթիլի չափսերը նվազում են, մեծինը՝ աճում: Ինչո՞ւ:

8.23. Ձևակերպել հաստատուն թվով մասնիկներ ունեցող երկու մարմիններից կազմված համակարգի ջերմադինամիկական հավասարակշռության անհրաժեշտ պայմանները: Սկզբնական ջերմաստիճանները համապատասխանաբար T_1 և T_2 են, ճնշումները՝ P_1 և P_2 :

8.24. Ձևակերպել երկու մարմիններից կազմված համակարգի ջերմադինամիկական հավասարակշռության անհրաժեշտ պայմանները, եթե նրանց միջև կատարվում է մասնիկների փոխանակում: Առաջին մարմնից երկրորդին մասնիկների անցման արագությունը $\frac{dN_{12}}{dt}$ է, իսկ երկրորդից առաջինին՝ $\frac{dN_{21}}{dt}$:

8.25. Մխոցով ծածկված գլանում լցված է հեղուկ, որի վերևում հագեցած գոլորշի է: Ցույց տալ, որ ճնշումը համակարգում կախված է միայն նրա ջերմաստիճանից:

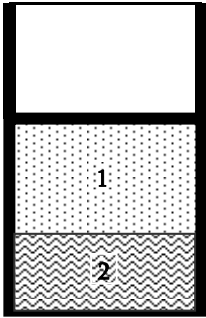
8.26. Ի՞նչ պրոցեսներ կկատարվեն նկ. 8.1-ում պատկերված՝ ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող համակարգում, որը կազմված է հեղուկից և նրա հագեցած գոլորշուց, եթե մխոցը՝ ա) բարձրացվի, բ) իջեցվի: Համակարգի T ջերմաստիճանը հաստատուն է: Ներկայացնել այդ պրոցեսները (P, V) դիագրամում՝ սկզբնական երկփուլ վիճակն ընտրելով կամայականորեն:

8.27. Հալված կապարի T_0 ջերմաստիճանը մեծ է $T_{\text{հալ}}$ հալման ջերմաստիճանից: Որակապես պատկերել կապարի ջերմաստիճանի կախումը ժամանակից՝ ենթադրելով, որ կապարը շրջապատող օդի ջերմաստիճանը և ճնշումը հաստատուն են:

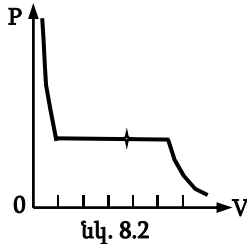
8.28. Հեղուկի և նրա հագեցած գոլորշու գումարային զանգվածը՝ $m = 12$ կգ: Մոտավորապես որոշել հեղուկի և գոլորշու զանգված-

ները, եթե համակարգը գտնվում է (P, V) դիագրամում խաչով նշված հավասարակշռված վիճակում (նկ. 8.2):

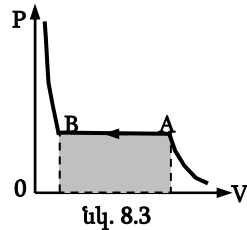
8.29. Նյութը A վիճակից անցնում է B վիճակին (նկ. 8.3): Ինչի՞նչ է հավասար նրբագծված մակերեսը: Ինչպե՞ս է փոխվում համակարգի ներքին էներգիան այս պրոցեսում:



նկ. 8.1



նկ. 8.2



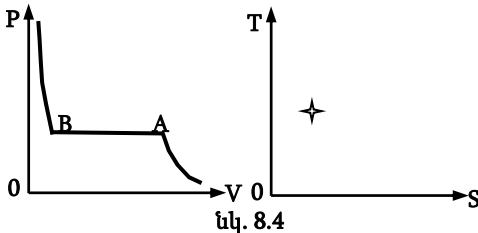
նկ. 8.3

8.30. B կետին (P, V) դիագրամում համապատասխանում է B' կետը (T, S) դիագրամում (նկ. 8.4): (T, S) դիագրամում պատկերել AB տեղամասը: Տվյալ զանգվածով նյութի շոգեգոյացման ջերմությունը Q է:

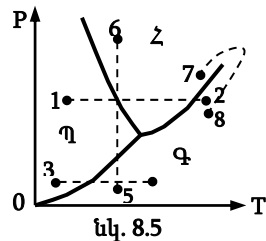
8.31. (P, V) դիագրամում պատկերել $T_1 < T_2 < \dots < T_{\text{կր}} < \dots$ իզոթերմների ընտանիքը: Ցույց տալ երկփուլային (հեղուկ-գազ) տիրույթը, հեղուկ և գազային վիճակներին համապատասխանող տիրույթները:

8.32. (P, V) դիագրամում պատկերել գոլորշացման, հալման և սուբլիմացման կորերը: Ցույց տալ նյութի միափուլ վիճակների տիրույթները:

8.33. Նկ. 8.5-ում պատկերված է ինչ-որ նյութի վիճակի դիագրամը: Նկարագրել, թե ինչ է կատարվում նյութի հետ 1-2, 3-4, 5-6 և 7-8 պրոցեսներում:



նկ. 8.4



նկ. 8.5

8.34. Որոշակի նյութի հեղուկ և գազային փուլերի տեսակարար ծավալները համապատասխանաբար V_h և V_g են: Շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը տվյալ P ճնշման դեպքում q է: Որոշել նյութի տեսակարար ներքին էներգիայի $\Delta u = u_g - u_h$ աճը նրա գոլորշացման դեպքում:

8.35. Նշել q շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության կախումը (աճում է, նվազում է և այլն) ջերմաստիճանից:

8.36. Գրել հազեցած գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից արտահայտող հավասարումը: Հայտնի են շոգեգոյացման մոլային q ջերմությունը, հեղուկ և գազային փուլերի V_h և V_g մոլային ծավալները: Ենթադրելով, որ $q = const$, $V_g \gg V_h$, և ընդունելով, որ գոլորշու ճնշման հաշվարկի համար բավարար ճշտությամբ կարելի է օգտվել իդեալական գազի վիճակի հավասարումից, որոշել $P(T)$ կախումը:

8.37. Գլանաձև անոթում՝ անկշիռ մխոցի տակ, կա $t = 100^\circ C$ ջերմաստիճանի հազեցած ջրային գոլորշի: Մխոցի դանդաղ իջեցման հետևանքով $\Delta m = 0.7$ գ զանգվածով գոլորշին կոնդենսացվում է: Ի՞նչ աշխատանք է կատարվում գազի նկատմամբ: Գոլորշին համարել իդեալական գազ, հեղուկի ծավալն անտեսել:

8.38. $V = 6$ լ ծավալով անոթը լցված է ջրով և նրա հազեցած գոլորշով: Ընշումը անոթում՝ $P = 40$ մթ., իսկ ջերմաստիճանը՝ $t = 250^\circ C$: Այդ պայմաններում գոլորշու տեսակարար ծավալը՝ $V'_g = 50$ լ/կգ: Համակարգի զանգվածը՝ $m = 5$ կգ: Որոշել գոլորշու զանգվածը և ծավալը:

8.39. $V_0 = 5$ լ ծավալով գլանը լցված է $t = 100^\circ C$ ջերմաստիճանի հազեցած ջրային գոլորշով: Որոշել հեղուկ փուլի զանգվածը, եթե ծավալը իզոթերմորեն փոքրացնում են մինչև $V = 1.6$ լ: Հազեցած գոլորշին համարել իդեալական գազ:

8.40. Որոշակի նյութի հազեցած գոլորշին իզոթերմորեն սեղմում են n անգամ: Վերջնական ծավալի n -րդ մասն է զբաղեցնում հեղուկ փուլը, եթե հազեցած գոլորշու և հեղուկի տեսակարար ծավալները տարբերվում են իրարից N անգամ ($N > n$):

8.41. Նորմալ մթնոլորտային ճնշման տակ գտնվող $m = 1$ կգ զանգվածով ջուրը լրիվ վերածվում է հազեցած գոլորշու: Հազեցած գո-

լորշին համարելով իդեալական գազ՝ որոշել համակարգի էնտրոպիայի և ներքին էներգիայի աճը:

8.42. Եթե հեղուկի գնդաձև մակերևույթի վրա հազեցած գոլորշու լրացուցիչ ΔP ճնշումը զգալիորեն փոքր է հարթ մակերևույթի վրա հազեցած գոլորշու ճնշումից, ապա ΔP ճնշումը որոշվում է

$$\Delta p = \left(\frac{\rho_g}{\rho_h} \right) \frac{2\sigma}{r} \quad \text{բանաձևով, որտեղ } \rho_g \text{-ն և } \rho_h \text{-ն գոլորշու և}$$

հեղուկի խտություններն են, σ -ն՝ մակերևութային լարվածությունը, r -ը՝ մակերևույթի կորության շառավիղը: Այդ բանաձևի օգնությամբ որոշել ջրի կաթիլների տրամագիծը, եթե հայտնի է, որ ΔP -ն կազմում է հարթ մակերևույթի վրա հազեցած գոլորշու ճնշման $\eta = 1\%$ -ը: Հազեցած գոլորշին համարել իդեալական գազ, $T = 300$ Կ:

8.43. Որքանո՞վ կաճի ջրի ճնշումը անոթի պատերի վրա, եթե վերանան միջմուկեկուլային ձգողության ուժերը:

8.44. Մնդիկի հազեցած գոլորշու ճնշումը կախված է ջերմաստիճանից $\ln P = -a/T - b \ln T + c$ օրենքով, որտեղ a -ն, b -ն և c -ն հաստատուններ են: Որոշել սնդիկի գոլորշացման մոլային ջերմությունը որպես ֆունկցիա ջերմաստիճանից՝ $q = q(T)$:

8.45. Սառույցի և ջրի տեսակարար ծավալների տարբերությունը $t = 0^\circ \text{C}$ -ում մոտավորապես հավասար է՝ $\Delta V = 9.1 \cdot 10^{-2}$ սմ³/գ: Օգտագործելով Կլաուզիուս-Կլապեյրոնի հավասարումը՝ որոշել սառույցի հալման ջերմաստիճանի փոփոխությունը $\Delta P = 10^5$ Պա ճնշման փոփոխության դեպքում:

8.46. Հաշվել սնդիկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը, եթե $P = 10^5$ Պա ճնշման դեպքում այն եռում է $T = 630$ Կ ջերմաստիճանում: Օգտագործել $dp/dT = 1.84 \cdot 10^3$ Պա/Կ արժեքը:

8.47. Որոշել հազեցած ջրային գոլորշու ճնշումը $t = 101^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում: Գոլորշին համարել իդեալական գազ:

8.48. Որոշել արագանփ կաթսայում կերակրի պատրաստման ջերմաստիճանը, եթե նախապաշտպանող փականի տրամագիծը՝ $d = 5$ մմ, իսկ փականը փակող բեռի զանգվածը՝ $m = 60$ գ: Ջրի շոգեգոյացման ջերմությունը՝ $q = 2260$ կՋ/կգ: Գոլորշին համարել իդեալական գազ:

8.49. Դուրս բերել հազեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային կախումն արտահայտող բանաձևը հետևյալ ենթադրությունների դեպքում՝ 1) գոլորշին ենթարկվում է Կլապեյրոնի հավասարմանը,

2) գոլորշացման տեսակարար q ջերմությունը ջերմաստիճանի գծային ֆունկցիա է՝ $q = q_0 - \alpha T$, 3) հեղուկի տեսակարար ծավալը շատ փոքր է գոլորշու տեսակարար ծավալից:

8.50. Որոշել ջրի եռման ջերմաստիճանը երկրի մակերևույթից H բարձրության վրա: Ընդունել, որ մթնոլորտի ջերմաստիճանը կախված չէ բարձրությունից և հավասար է T_0 : Օդի ճնշումը երկրի մակերևույթի մոտ հավասար է P_0 : Գոլորշացման տեսակարար q ջերմությունը հաստատուն է:

8.51. Որոշել ջրի եռման ջերմաստիճանը $H = 7150$ մ բարձրությամբ սարի գագաթին: Օդի ջերմաստիճանը համարել 0°C :

8.52. $T = 300$ Կ ջերմաստիճանի ջրային հազեցած գոլորշին մեկ անգամ աղիաբատորեն սեղմվում է, մյուս անգամ՝ ընդարձակվում: Պրոցեսներից որո՞ւմ է գոլորշին դառնում չհազեցած և որում՝ գերհազեցած:

8.53. $t_0 = 0^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում հազեցած գոլորշու ճնշումը սառույցի վրա՝ $P_1 = 4.58$ մմ ս. ս.: Այդ ջերմաստիճանում սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունը՝ $\lambda = 334$ Ջ/գ: Ջրի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը՝ $q = 2491$ Ջ/գ: Որոշել հազեցած գոլորշու ճնշումը սառույցի վրա $t = -1^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում:

8.54. Սառույցի կտորը գտնվում է աղիաբատ թաղանթում մթնոլորտային ճնշման տակ և $t_0 = 0^\circ \text{C}$ ջերմաստիճանում: Ինչպե՞ս կփոխվի սառույցի ջերմաստիճանը, եթե այն աղիաբատորեն սեղմեն մինչև $P = 100$ մթ. ճնշումը: Սառույցի ռ՝ $\Delta m/m$ մասը կհալվի: Ջրի տեսակարար ծավալը՝ $V_g = 1$ սմ³/գ, սառույցինը՝ $V_u = 1.09$ սմ³/գ: Ջրի և սառույցի ջերմունակությունները կապված են $C_u = 0.6C_g$ առնչությամբ:

8.55. Որոշել հազեցած գոլորշու տեսակարար ջերմունակությունն այնպիսի պրոցեսի համար, երբ գոլորշու ընդարձակումը կամ սեղմումը կատարվում է այնպես, որ գոլորշին մնում է հազեցած: Ջրի V_g տեսակարար ծավալն անտեսել գոլորշու V_g տեսակարար ծավալի համեմատությամբ: Ընդունել, որ հազեցած գոլորշին ենթարկվում է Կլապեյրոնի հավասարմանը: Կատարել հաշվարկ $T = 373$ Կ ջերմաստիճանում գտնվող ջրի համար՝ ընդունելով, որ ջերմունակության դասական տեսությունը կիրառելի է հազեցած գոլորշու

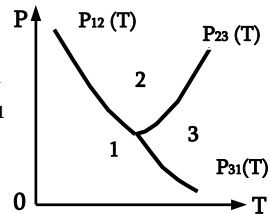
համար: $T = 373$ Կ ջերմաստիճանում ջրի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը՝ $q = 2253$ Ջ/գ:

8.56. 1-ին, 2-րդ և 3-րդ փուլերը գտնվում են իրար հետ հավասարակշռության մեջ եռակի կետում (նկ. 8.6): Նրանց տեսակարար ծավալներն այդ կետում համապատասխանաբար հավասար են V_1 , V_2 , V_3 : 1-ին և 2-րդ, 2-րդ և 3-րդ, 3-րդ և 1-ին փուլերի հավասարակշռության կորերի հավասարումներն են՝ $P_{12} = P_{12}(T)$, $P_{23} = P_{23}(T)$, $P_{31} = P_{31}(T)$: Ցույց տալ, որ եռակի կետում տեղի ունի հետևյալ հավասարությունը՝

$$(v_1 - v_2) \frac{dp_{12}}{dT} + (v_2 - v_3) \frac{dp_{23}}{dT} + (v_3 - v_1) \frac{dp_{31}}{dT} = 0 :$$

8.57. Որոշել ջրից և նրա հազեցած գոլորշուց կազմված համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ջուրը լրիվ վերածվի հազեցած գոլորշու: Համակարգի սկզբնական ջերմաստիճանը T_1 է, իսկ վերջնականը՝ T_2 :

Գոլորշու սկզբնական զանգվածը m_1 է, վերջնականը՝ m_2 : Ջրի գոլորշացման տեսակարար



նկ. 8.6

րար ջերմության կախումը ջերմաստիճանից անտեսել: Գոլորշին համարել իդեալական գազ:

8.58. Որոշել հեղուկի գոլորշացման տեսակարար ջերմության փոփոխման dq/dT արագության կախումը ջերմաստիճանից՝ հազեցած գոլորշին համարելով իդեալական գազ: Հեղուկի տեսակարար ջերմությունը C է, ծավալային ընդարձակման գործակիցը՝ α :

ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐ ԵՎ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐ

I. Իդեալական գազ

1.7. $PV = \frac{m}{\mu}RT = \nu RT = NkT$, $P = nkT = \rho kT / m_0$, որտեղ

$m_0 = \mu / N_A$ -ն մեկ մոլեկուլի զանգվածն է,

$$P = \frac{2}{3}n <\varepsilon_{\text{հաճ}}> = \frac{2}{3}\rho \varepsilon_{\text{հաճ}}:$$

1.12. $N_{H_2} / N_{O_2} = 3$:

1.14. Երկրորդ վիճակին համապատասխանում է ավելի բարձր ջերմաստիճան: Իզոբարը կտեղաշարժվի դեպի վեր:

1.15. Առաջին վիճակին համապատասխանում է ավելի բարձր ջերմաստիճան: Իզոխորը կտեղաշարժվի աջ:

1.18. Վերամբարձ ուժը որոշվում է օդապարիկի ծավալով օդի և այդ օդապարիկում լցված գազի կշիռների տարբերությամբ: Օգտվելով Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից՝ կշռի համար կստանանք՝

$$P = \frac{p\mu V}{RT} g, \text{ որտեղ } p \text{ -ն ճնշումն է, } \mu \text{ -ն՝ մոլային զանգվածը, } V \text{ -ն՝}$$

ծավալը: Վերամբարձ ուժը՝

$$F = \frac{pVg}{RT} (\mu_{\text{օդ}} - \mu_{\text{գ}}): \quad \frac{F_{H_2}}{F_{He}} = \frac{\mu_{\text{օդ}} - \mu_{H_2}}{\mu_{\text{օդ}} - \mu_{He}} = 1.08:$$

1.19. $N = \frac{pV}{kT} = 1.6 \cdot 10^{14}$:

1.20. Տե՛ս նկ. 1: ADB տեղամասում T -ն աճում է, BCA -ում՝ նվազում:

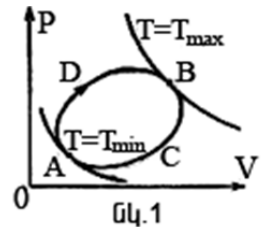
1.22. $\Delta \ell = \frac{1}{2} \left[H + L + L_1 - \sqrt{(H + L + L_1)^2 - 4L_1 H} \right]:$

1.24. $\alpha = \frac{1}{T_0}$, $\lambda = \frac{1}{T_0}$, $\gamma_T = \frac{1}{p}$, $K_T = p$:

1.25. $\alpha V_0 = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$, $\lambda P_0 = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$, $\gamma V = - \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$: Այդ արտահայ-

տությունները բազմապատկելով և հաշվի առնելով եռյակի առնչությունը՝ կստանանք՝ $\alpha V_0 = \lambda P_0 \gamma V$:

1.26. $\ell_{O_2} = 5$ սմ, $\ell_{H_2} = 80$ սմ:



$$\underline{1.27.} \quad P_0 = \frac{\rho g h (L_1 + L_2)}{(L_1 - L_2)} = 1.01 \text{ Պա:}$$

$$\underline{1.28.} \quad \frac{H + \ell - \sqrt{H^2 + \ell^2}}{2}:$$

1.29.

$$h_1 = -\frac{1}{2}(2\ell + H_1 - h) + \sqrt{\frac{1}{4}(2\ell + H_1 - h)^2 + \frac{2T_1}{T_0}(H_0 + h)\ell - H_1(2\ell - h)}:$$

$$\underline{1.30.} \quad p_1 = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1} \frac{L - h_1}{L - h} (H - h_1):$$

$$\underline{1.31.} \quad m = \frac{V(P_0 - P)\rho_{H_2O}}{P_0} \approx 105 \text{ գ:}$$

$$\underline{1.32.} \quad \frac{1}{\mu} = \frac{1}{m} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \dots \right):$$

$$\underline{1.33.} \quad \text{Խառնուրդի մոլային զանգվածը՝ } \mu = \frac{M\mu_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}, \text{ որտեղ}$$

$$M = m_1 + m_2 \text{ -ը խառնուրդի զանգվածն է: } \rho = \frac{P\mu}{RT} = 1.33 \text{ կգ/մ}^3,$$

$\rho_1 = \rho_2$: Ջերմաստիճանից կախված՝ խառնուրդի խտությունը չի փոխվի:

$$\underline{1.34.} \quad \rho = \frac{\mu p}{RT} = 0.065 \frac{\text{գ}}{\text{սմ}^3}:$$

1.35. 11 է:

$$\underline{1.36.} \quad P_2 = m_2 g / S \text{ -ը և } P_1 = m_1 g / S \text{ -ը տաք և սառը օդի ճնշումներն}$$

$$\text{են ծխնելույզի ստորին մասում: } P_2 - P_1 = \rho_0 g \ell \left(\frac{1}{1 + \alpha t_2} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right):$$

$$\underline{1.37.} \quad \rho = \frac{H_0(M - m)}{V(H - h)}: H_0 = 760 \text{ մմ ս. ս.:}$$

$$\underline{1.38.} \quad V = \frac{\Delta m}{\rho_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha t_1} - \frac{1}{1 + \alpha t_2} \right)} = 1000 \text{ մ}^3, \text{ որտեղ } \alpha \text{ -ն գազի ծավա-}$$

լային ընդարձակման գործակիցն է:

$$\underline{1.39.} \quad n = \frac{(P_1 - P)V}{P_0 \Delta V} + \frac{\ln(P_1 / P)}{\ln[(V + \Delta V) / V]}:$$

$$\underline{1.40.} \quad n = \frac{\Delta P V_1 T_1}{P_0 V T_2} = 637:$$

$$\underline{1.41.} \quad P = P_0 \left[\left(\frac{V}{V + V_0} \right)^n + \frac{n V_0}{V} \right]:$$

$$\underline{1.42.} \quad P = P_0 \exp(-Kt / V_0):$$

$$\underline{1.43.} \quad \tau = \frac{V}{K} \ln \frac{P_0}{P} = 375 \text{ վ}:$$

$$\underline{1.44.} \quad m = \frac{\rho V \Delta P}{P_0} = 30 \text{ գ, որտեղ } P_0 \text{-ն նորմալ մթնոլորտային}$$

ճնշումն է:

1.45. Մինչև տաքացնելը գազով լցված անոթի համար կարող ենք գրել՝ $P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1$: Տաքացնելուց հետո, երբ անոթներում հաստատվում է հավասարակշռություն, դրանց մեջ եղած գազերի վիճակների հավասարումները կլինեն՝ $P_1' V = m_1 R T_2 / \mu$, $P_2 V = \frac{m - m_1}{\mu} R T_2$,

որտեղ m_1 -ը տաքացնելուց հետո գազով լցված անոթում մնացած գազի զանգվածն է, իսկ $(m - m_1)$ -ը՝ մյուս անոթ անցած գազի զանգվածը: $P_1' = P_2 + \Delta P$, $(P_2 + \Delta P)V + P_2 V = P_1 V T_2 / T_1$,

$$P_2 = (P_1 T_2 / T_1 - \Delta P) / 2 = 8.4 \text{ կՊա:}$$

1.46. Քանի որ ջերմաստիճանը փոխվում է գծայնորեն, հետևաբար $T = T_1 + kx$: Օգտվելով սկզբնական պայմաններից՝ կստանանք՝

$$T = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)S}{V} x: \quad dT = \frac{(T_2 - T_1)S}{V} dx, \quad dm = \rho S dx: \quad \rho = P \mu / RT,$$

$$\text{իսկ} \quad dx = \frac{V}{R(T_2 - T_1)} dT: \quad dm = \frac{P V \mu}{R(T_2 - T_1)} \frac{dT}{T}:$$

$$m = p \mu V \ln(T_2 / T_1) / R(T_2 - T_1):$$

$$\underline{1.47.} \quad m_1 / m_2 = (1 - \mu / \mu_2) / (\mu / \mu_1 - 1) = 0.5, \text{ որտեղ } \mu = m R T / p V:$$

1.48. Դժվար չէ նկատել, որ մխոցի երկու մասերում ճնշումների տարբերությունը մինչև տաքացնելը և տաքացնելուց հետո նույնն է՝ $P_2 - P_1 = P_2' - P_1'$: Պարզ է, որ $P_2 = \eta P_1$ և $P_2' = \eta' P_1'$: Հետևաբար

$$P_1(\eta - 1) = P_1'(\eta' - 1): \quad \frac{P_2}{P_2'} = \frac{\eta}{\eta'} \frac{P_1}{P_1'}: \quad V_1 + V_2 = V_1' + V_2', \text{ որտեղից հե-}$$

$$\text{տևում է, որ } \frac{V_2}{V_2'} = \frac{(\eta' + 1)}{(\eta + 1)}: \quad T' = \frac{P_2' V_2'}{P_2 V_2} T: \quad T' = T \frac{(\eta - 1/\eta)}{(\eta' - 1/\eta')} = 421.9 \text{ Կ:}$$

1.49. Քանի որ մխոցները գտնվում են հավասարակշռության վիճակում, դրանցից յուրաքանչյուրի համար կարող ենք գրել՝ $m_1 g + F + P_0 S_1 = P_1 S_1$ և $m_2 g + P_1 S_2 = F + P_0 S_2$, որտեղ F -ը թելի լարման ուժն է: $(m_1 + m_2)g + P_0 \Delta S = P_1 \Delta S$: $P_1 V_1 = RT_1$, $P_1 V_2 = RT_2$: $\Delta T = (mg + p_0 \Delta S) \cdot l / R = 0.9 \text{ Կ:}$

1.50. Մինչև տաքացնելը և տաքացնելուց հետո մխոցների հավասարակշռության պայմանից՝ $P_0 S_1 + F - P_1 S_1 = 0$ և $P_1 S_2 - F - P_0 S_2 = 0$, հետևում է, որ պրոցեսն իզոբար է՝ $P_1 = P_2 = P_0$: $P_0 V_0 = \nu RT_1$, $P_0 V_1 = \nu RT_1$: $V_0 = l(S_1 + S_2)/2$, $V_1 = l(S_1 + S_2)/2 + \Delta l(S_2 - S_1)$: $V_1 - V_0 = \Delta l(S_2 - S_1)$: $\nu = P_0 \Delta l(S_2 - S_1) / R \Delta T$:

1.51. $V_0 = p_1 T_0 V_1 / p_0 T_1 = 1.5 \cdot 10^9 \text{ մ}^3$:

1.52. ա) $T_m = 2 p_0 \sqrt{p_0 / 3 \alpha} / 3 R$, բ) $T_m = p_0 / e \beta R$:

1.53. $p_{\min} = 2 R \sqrt{\alpha T_0}$:

1.54. $p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2 + p_3 V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$, $V_1^1 = \frac{P_1 V_1}{P}$, $V_2^1 = \frac{P_2 V_2}{P}$, $V_3^1 = \frac{P_3 V_3}{P}$:

1.55. $dP = -\rho g dh$, $\rho = \frac{P \mu}{RT_0(1 - \alpha h)}$: $p = p_0(1 - \alpha h)^n$, որտեղ

$$n = \mu g / a R T_0 \quad h < l / a:$$

1.56. $p = p_0 / (1 + \alpha h)^n$, որտեղ $n = \mu g / a R T_0$:

1.57. $\frac{dT}{dh} = -\frac{\mu g}{R}$:

1.58. $dm = \frac{P S \mu}{RT} dh$: $P = P_0 e^{-\mu g h / RT}$: $m = [1 - \exp(-\mu g h / RT)] p_0 S / g$:

1.59. $h_c = \int_0^{\infty} h \rho dh \bigg/ \int_0^{\infty} \rho dh = RT / \mu g :$

1.60. $p = \frac{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}{V_1 T_2 + V_2 T_1} = 224 \text{ մմ. ս. ս.:}$

1.61. $U_1 = \frac{i_1}{2} \nu_1 N_A k T_1, \quad U_2 = \frac{i_2}{2} \nu_2 N_A k T_2 :$ Խառնվելուց հետո

ներքին էներգիաները կլինեն՝ $U'_1 = \frac{i_1}{2} (\nu_1 - \Delta \nu) N_A k T$ և

$U'_2 = \frac{i_2}{2} (\nu_2 + \Delta \nu) N_A k T :$ $U_1 + U_2 = U'_1 + U'_2 :$ $P_1 V_1 = \nu_1 R T_1,$

$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2 :$ Խառնվելուց հետո կունենանք՝ $P V_1 = (\nu_1 - \Delta \nu) R T$ և $P V_2 = (\nu_2 + \Delta \nu) R T :$ Վերջապես կստանանք՝

$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V_1 + V_2}, \quad T = \frac{i_1 \nu_1 T_1 + i_2 \nu_2 T_2}{i_1 \nu_1 + i_2 \nu_2} :$

1.62. Մինչև տաքացնելը ճնշումներն աջ և ձախ գլաններում թող լինեն P'_1 և P'_3 , իսկ տաքացնելուց հետո աջում՝ P_1 , մեջտեղի գլանում՝ P_2 , իսկ ձախում՝ P_3 : Սկզբնական ծավալը՝ V_1 , վերջնականը՝ V_2 : Վիճակի հավասարումները մինչև տաքացնելը և տաքացնելուց հետո համապատասխանաբար կլինեն՝ աջ գլանի համար՝ $P'_1 V_1 = \nu_1 R T_1$ և $P_1 V_2 = \nu_1 R T_1$, մեջտեղի համար՝ $P V_1 = \nu_2 R T_1$ և $P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$, ձախի համար՝ $P'_3 V_1 = \nu_3 R T_1$ և $P_3 V_2 = \nu_3 R T_1$: Հավասարակշռության վիճակում ցանկացած պտտական առանցքի շուրջ մոմենտների գումարը պետք է լինի զրո : Նկատի ունենալով դա՝ կստանանք՝ $P'_1 = (5P_0 - 2P)/3$, $P'_3 = (4P_0 - P)/3$, $P_1 = (5P_0 - 2P_2)/3$ և $P_3 = (4P_0 - P_2)/3$: Բերված արտահայտություններից հետևում է, որ $P_2 = P$: Վերջնականապես կստանանք՝ $P_1 = (5P_0 - 2P)/3$, $P_2 = P$, $P_3 = (4P_0 - P)/3$, $V_2 / V_1 = T_2 / T_1$:

1.63. $\mu = m R T / P V \approx 32 \text{ գ/մոլ} : P_1 = m R T / \mu_{o_3} V \approx 0.92 \cdot 10^5 \text{ Պա} :$

1.64. $\mu = \rho R T / P = 17 \text{ գ/մոլ} : \mu = 14x + y :$ Այստեղից հետևում է, որ $x = 1$, $y = 3$: Ամոնիակի մոլեկուլային բանաձևը կլինի NH_3 :

1.65. $P = 11 \cdot 10^{-2} \text{ Պա} :$

1.66. $\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{P_1 V \mu}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right) \approx 12.3 \text{ գ:}$

1.67. Պրոցեսի հավասարումը կլինի $P = k - aV$: Խնդրի պայմաններից կորոշվեն հավասարման հաստատունները՝ $a = (P_2 - P_1)/(V_1 - V_2)$, $k = (P_2 V_1 - P_1 V_2)/(V_1 - V_2)$: Վիճակի հավասարումը կարելի է գրել հետևյալ կերպ՝ $(k - aV)V = mRT/\mu$: Այստեղից $dT/dV = \mu(k - 2aV)/mR = 0$: Այս պայմանից կորոշվեն առավելագույն T_3 ջերմաստիճանին համապատասխանող V_3 ծավալը և P_3 ճնշումը՝ $V_3 = k/2a$, $P_3 = k/2$:

$$T_3 = \mu P_3 V_3 / mR = \frac{\mu}{4mR} \frac{(P_2 V_1 - P_1 V_2)^2}{(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)} = 481 \text{ Կ:}$$

1.68. $P_1 V_1 = \nu RT_1$, $P_2 V_2 = 2\nu RT_2$: $P_2 = 0.8$ մթ.:

1.69. $P = (1 + \eta)mRT/\mu V = 1.9$ մթ., որտեղ μ -ն N_2 ազոտի մոլային զանգվածն է:

1.70. Առաջին պրոցեսն իզոխոր է, երկրորդը՝ իզոբար: Առավելագույն ջերմաստիճանը՝ $T = 10T_0$:

1.71. $\Delta m/m = (n_2 - n_1)/n_2$:

1.72. $P = 1.37 \cdot 10^3$ մթ.:

1.73. 1) $P = 0.03$ մթ., 2) $P \approx 8.5 \cdot 10^3$ մթ.:

1.74. Վիճակի հավասարումներն առաջին և երկրորդ դեպքերի համար կլինեն՝ 1) $P_0 V_0 = \nu_0 RT_0$, $P_0 V_1 = \nu_1 RT_0$, $P_0 V_2 = \nu_2 RT_0$, 2) $P V_0 = \nu'_0 RT_0$, $P V_1 = \nu'_1 RT_1$, $P V_2 = \nu'_2 RT_2$: Մյուս կողմից՝ համակարգում գազի քանակը չի փոխվում՝ $\nu_0 + \nu_1 + \nu_2 = \nu'_0 + \nu'_1 + \nu'_2$:

$$P = \frac{P_0}{T_0} (V_0 + V_1 + V_2) \left(\frac{V_0}{T_0} + \frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_2} \right)^{-1} :$$

1.75. 2.4: **Ցուցում:** Օգտվել Կլապեյրոնի հավասարումից և այն հանգամանքից, որ $P_2 - P_1 = P'_2 - P'_1$, $V_1 + V_2 = V'_1 + V'_2$, որտեղ P_1 -ը, P_2 -ը և V_1 -ը, V_2 -ը համապատասխանաբար երկու մասերի ճնշումներն ու ծավալներն են T_1 ջերմաստիճանի դեպքում, իսկ P'_1 -ը, P'_2 -ը և V'_1 -ը, V'_2 -ը՝ T_2 ջերմաստիճանի:

1.76. Պահանջվող մեծությունները կգտնվեն $dT/dV = 0$ պայմանից:
 ա) $V_m = 0.02 \text{ մ}^3$, $T_m = 480 \text{ Կ}$, բ) $T_1 = 360 \text{ Կ}$, $P_1 = 9.34 \cdot 10^4 \text{ Պա}$:

1.77. Օդապարիկի բարձրանալու պայմանը կլինի՝
 $F_u = (m_{\text{օդ}} + m_{\text{He}})g$: Ենթադրվում է, որ օդապարիկը գնդաձև է:
 $m_{\text{օդ}} = 4\sigma\pi r^2$: $F_u = \rho_{\text{օդ}} Vg$: $m_{\text{He}} = \mu_{\text{He}} P_0 V / RT$: $\rho_{\text{օդ}} = P_0 \mu_{\text{օդ}} / RT$:
 $V = 4\pi r^3 / 3$: $r = \frac{3\sigma RT}{P_0(\mu_{\text{օդ}} - \mu_{\text{He}})}$:

1.78. Եթե գլանի հիմքում ճնշումը P_0 է, իսկ կափարիչին՝ P , ապա
 ըստ խնդրի պայմանի՝ $P_0 - P = \int_0^x g\rho dx$: Դիֆերենցելով այն՝

կստանանք՝ $\frac{\partial P}{\partial x} = -g\rho$: Տեղադրելով այդ արտահայտության մեջ
 P -ի արժեքը՝ $P = RT\rho / \mu$ ՝ կստանանք բարոմետրական բանաձևը:

1.79. 758 մմ. ս. ս.:

1.80. Պտտման առանցքից r հեռավորության վրա գտնվող dm
 զանգվածի վրա ազդող ուժը՝ $SdP = dm\omega^2 r$: Մյուս կողմից՝
 $dm = \rho dV = \rho Sdr$, $\rho = P\mu / RT$: Բնտեղրելով P -ի նկատմամբ
 ստացված հավասարումը՝ կստանանք՝ $P = P_0 \exp(\mu\omega^2 r^2 / 2RT)$:

1.81. $SdP = \omega^2 r dm$, $dm = \rho Sdr$, $\rho = P\mu / RT$: $\ln \frac{P}{P_0} = \frac{\omega^2 l^2 \mu}{2RT}$:

$\omega = \sqrt{(2RT / l^2 \mu) \ln \eta} = 280 \text{ ռադ/վրկ}$:

II. Գազերի մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը: Մաքսվելի և Բոլցմանի բաշխումները

2.11. $h_{\text{կ}} = \frac{\int \rho h dh}{\int \rho dh} = \frac{RT}{\mu g}$:

2.19. $\langle d \rangle \sim \sqrt[3]{V / N} = \sqrt[3]{1 / n}$:

2.20. Նորմալ պայմաններում 1 մոլ գազի զբաղեցրած ծավալը՝
 $V_0 = 22.41 \text{ լ/մոլ} = 22.41 \cdot 10^{-3} \text{ մ}^3/\text{մոլ}$: Մեկ մոլում մոլեկուլների թիվը՝
 $N_u = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ մոլ}^{-1}$: $\langle r \rangle = \sqrt[3]{1/n} = \sqrt[3]{V_0/N_u} \approx 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ սմ}$:
 $\alpha_{N_2} = 0.9 \cdot 10^5$: $\alpha_{H_2O} \approx 1.1 \cdot 10^5$:

2.21. $z = n\pi d^2 \langle v_{\text{հար}} \rangle$, $\langle v_{\text{հար}} \rangle = \sqrt{2} \langle v \rangle$:

2.24. $1/2, 1/6, 1/3$:

2.25. $1/36$:

2.26. 0.94 :

2.27. $\omega = C_4^1 C_{32}^2 / C_{36}^3 \approx 0.278$, որտեղ C_m^n -ը m -ից n -ական վիճակների թիվն է:

2.28. $\omega = 1 - C_{32}^3 / C_{36}^3 \approx 0.306$:

2.29. $\omega(0) = 0.512$, $\omega(1) = 0.384$, $\omega(2) = 0.096$,
 $\omega(3) = 0.008$, $\omega(k \geq 4) = 0$:

2.30. $dN' = N(t)\lambda dt$, $dN/dt = -\lambda N$,
 $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$: Այս կախումը պատկերված է նկ. 2-ում:



2.31. $\langle x^3 \rangle = (x_1^3 - x_2^3)p + x_2^3$:

2.32. $\langle f(x) \rangle = \sum_i f(x_i) \omega(x_i)$,

$$\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}:$$

2.33. $\langle f(x) \rangle = \int_a^b f(x) \rho(x) dx = \int_a^b f(x) d\omega(x)$,

$$\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}:$$

2.34. 0 :

2.35. 0.5 :

2.36. $f\bar{g} = \overline{f\bar{g}} + \overline{f}\Delta g + \bar{g}\Delta f + \Delta f\Delta g$: Միջինացնելով այս արտահայտությունը և նկատի ունենալով, որ $\overline{\Delta f} = \overline{\Delta g} = 0$, կստանանք՝
 $f\bar{g} = \overline{f\bar{g}} + \Delta f\Delta g$:

2.37. $\overline{\Delta f^2} = \overline{(f - \bar{f})^2} = \overline{f^2} - 2\bar{f} \cdot \bar{f} + \bar{f}^2 = \overline{f^2} - \bar{f}^2$:

2.38. $f = \bar{f} + \Delta f$, $g = \bar{g} + \Delta g$, $f \cdot g = \bar{f} \cdot \bar{g} + \bar{f} \Delta g + \bar{g} \Delta f + \Delta f \Delta g$,
 $\overline{fg} = \bar{f} \cdot \bar{g}$, քանի որ $\overline{\Delta f} = \overline{\Delta g} = 0$ և $\overline{\Delta f \Delta g} = 0$:

2.39. $\omega = 1/2^N$, $1/4, 1/1024$, $10^{-1.8 \cdot 10^{23}}$:

2.40. $P = v/V$ -ն մոլեկուլի՝ V ծավալում հայտնվելու հավանականությունն է: V ծավալը բաժանենք $z = V/v$ հավասար $v_i = v$ ծավալների: Այդ դեպքում $N = \sum_i n_i$, որտեղ n_i -ն i -րդ ծավալում մո-

լեկուլների թիվն է, իսկ գումարումը կատարվում է ըստ այդ բոլոր ծավալների: Քանի որ բոլոր v_i ծավալները հավասար են, հետևաբար դրանցում մոլեկուլների միջին թիվը՝ $\bar{n}_i$ -ն նույնպես նույնն է: Այդ պատճառով $N = \bar{z}n$, $\bar{n} = N/\bar{z} = Nv/V = Np$:

2.41. $P = (1/2)^N$, $N = \log_2(\tau/t)$, որտեղ t -ն մոլեկուլի անոթի չափսերի կարգի տարածությունն անցնելու ժամանակն է: $t = 10^{-4}$ վ: $N = 70$:

2.42. Ենթադրենք՝ որևէ բաշխման ժամանակ V_1 ծավալը պարունակում է N_1 մոլեկուլ, V_2 -ը՝ N_2 : Ամրագրելով բոլոր մոլեկուլների դիրքերը՝ կատարենք դրանց բոլոր հնարավոր տեղափոխությունները: Քանի որ այդպիսի տեղափոխությունների ժամանակ V_1 և V_2 ծավալներում մոլեկուլների N_1 և N_2 թիվը չի փոխվում, կստացվեն դրանց բոլոր հնարավոր կոմբինացիաները՝ տրված N_1 և N_2 թվերով: Այդպիսի կոմբինացիաների թիվը կլինի $N!$: Այդպիսի տեղափոխությունների թվում կլինեն նաև միայն V_1 կամ V_2 ծավալների սահմաններում կատարված տեղափոխությունները: Այդ տեղափոխությունները V_1 և V_2 ծավալներում նոր բաշխման չեն հանգեցնի: V_1 ծավալում այդ տեղափոխությունների թիվը կլինի $N_1!$, իսկ V_2 -ում՝ $N_2!$: N մոլեկուլների բաշխումների թիվը V_1 և V_2 ծավալներում, նրանց N_1 և N_2 լրացվածությամբ, կլինի՝ $Z = N!/N_1!N_2!$: Իդեալական գազի դեպքում բոլոր այդ բաշխումները հավասարապես հավանական են: Գտնենք մեկ բաշխման հավանականությունը: Հավանականությունն այն բանի, որ տվյալ մոլեկուլը կգտնվի V_1 ծավալում, կլինի՝ $p = V_1/(V_1 + V_2)$, իսկ V_2 -ում՝ $q = V_2/(V_1 + V_2)$: Հավանականությունն այն բանի, որ N_1 ամրագրված մոլեկուլ կընկնի V_1 ծավալ, իսկ մնացած N_2 -ը՝ V_2 ծա-

վալ, կլինի $p^{N_1} q^{N_2}$: Այն բանի մաթեմատիկական հավանականությունը, որ V_1 և V_2 ծավալներում կլինեն N_1 և N_2 մոլեկուլներ

(տարբերություն չկա, թե որ), կլինի $P = \frac{N!}{N_1! N_2!} p^{N_1} q^{N_2}$:

2.43. Անոթներից յուրաքանչյուրում N_u մոլեկուլ հայտնաբերելու

հավանականությունը՝ $P_1 = \frac{(2N_u)!}{N_u! N_u!} \left(\frac{1}{2}\right)^{N_u} \left(\frac{1}{2}\right)^{N_u}$, իսկ անոթներից

մեկում $N_u - n$, մյուսում $N_u + n$ մոլեկուլ հայտնաբերելու հավա-

նականությունը՝ $P_1 = \frac{(2N_u)!}{(N_u - n)! (N_u + n)!} \left(\frac{1}{2}\right)^{N_u - n} \left(\frac{1}{2}\right)^{N_u + n}$:

$$\alpha = \frac{P_1}{P_2} = \frac{(N_u - n)! (N_u + n)!}{N_u! N_u!}:$$

Եթե նկատի ունենանք, որ $N_u! = (N_u - n)! (N_u - (n - 1) \cdots (N_u - 1) N_u$,

իսկ $(N_u + 1)! = N_u! (N_u + 1) \cdots (N_u + n)$, ապա α -ի համար

$$\text{կստանանք՝ } \alpha = \frac{\left(1 + \frac{1}{N_u}\right) \cdots \left(1 + \frac{n-1}{N_u}\right) \left(1 + \frac{n}{N_u}\right)}{\left(1 - \frac{n-1}{N_u}\right) \cdots \left(1 - \frac{1}{N_u}\right) \cdot 1}:$$

Քանի որ

$$n/N_u \ll 1 \text{ և } \ln\left(1 + \frac{n}{N_u}\right) \approx \frac{n}{N_u}, \text{ հետևաբար լոգարիթմելով}$$

ստացված արտահայտությունը՝ կստանանք՝

$$\ln \alpha = 2 \cdot \left(\frac{1}{N_u} + \frac{2}{N_u} + \cdots + \frac{n-1}{N_u} \right) + \frac{n}{N_u} \text{ կամ}$$

$$\ln \alpha = 2 \frac{(n-1)n}{2N_u} + \frac{n}{N_u} = \frac{n^2}{N_u}: \text{ Այստեղից}$$

$$n = \sqrt{N_u \cdot \ln \alpha} = \sqrt{N_u} = 7.8 \cdot 10^{11}:$$

2.44. $d\omega = 2rdr/R^2$, $\langle r \rangle = 2R/3$, $\sqrt{\langle r^2 \rangle} = R/\sqrt{2}$:

2.45. $d\omega = \frac{3r^2 dr}{R^3}$, $\langle r \rangle = \frac{3}{4}R$, $\sqrt{\langle r^2 \rangle} = \frac{3}{5}R$, $R_{1/2} = \frac{R}{2^{1/3}}$:

$$\underline{2.46.} \quad d\omega(x) = dx / \left(\pi \sqrt{a^2 - x^2} \right), \quad \langle x \rangle = 0, \quad \langle x^2 \rangle = a^2 / 2, \quad a / \sqrt{2} :$$

$$\underline{2.47.} \quad d\omega(x) = \lambda \exp(-\lambda \cdot x) dx, \quad \langle x \rangle = 1 / \lambda, \quad \langle x^2 \rangle = 2 / \lambda^2, \\ \sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = 1 / \lambda :$$

$$\underline{2.48.} \quad \Delta\omega = \Delta\Omega / 4\pi :$$

$$\underline{2.49.} \quad d\omega = 4\pi (m / 2\pi kT)^{3/2} v^2 \exp(-mv^2 / 2kT) dv :$$

2.50. Նրբագծված մակերեսը հավասար է այն մոլեկուլների թվին, որոնց արագության բաղադրիչը՝ 1) $v_1 \leq v_x \leq v_2$, 2) $|v_x| \leq v_0$, 3) $|v_x| \geq v_0$:

$$\underline{2.51.} \quad dW_1(v_x) = dv_x / 2v_0, \quad dW_2(E) = dE / v_0 \sqrt{2mE}, \quad \langle v_x \rangle = 0, \\ \langle |v_x| \rangle = v_0 / 2, \quad \langle v_x^2 \rangle = v_0^2 / 3 :$$

$$\underline{2.52.} \quad \alpha = \sqrt{3\pi / 8}, \quad \beta = \sqrt{4 / \pi}, \quad \gamma = \sqrt{3 / 2} :$$

2.53. ա) Տեղաշարժվում է աջ $\sim \sqrt{T}$ -ին, մաքսիմումի բարձրությունը նվազում է $\sim 1 / \sqrt{T}$ -ին, այսպես որոշված «արագ» մոլեկուլների թիվը չի փոխվում: բ) Տեղաշարժվում է ձախ $\sim 1 / \sqrt{m}$ -ին, մաքսիմումի բարձրությունն աճում է $\sim \sqrt{m}$ -ին, այսպես որոշված «արագ» մոլեկուլների թիվը չի փոխվում: «Արագ» և «դանդաղ» մոլեկուլների հարաբերական թիվը չի փոխվում:

$$\underline{2.54.} \quad N = 3.22 \cdot 10^{13}, \quad \sqrt{\langle v^2 \rangle} = 516.8 \text{ մ/վ} :$$

$$\underline{2.55.} \quad N = 3.34 \cdot 10^{22}, \quad v_h = 607.7 \text{ մ/վ} :$$

$$\underline{2.56.} \quad N = 2.7 \cdot 10^{19}, \quad \langle v \rangle = 446.4 \text{ մ/վ} :$$

$$\underline{2.57.} \quad \bar{p}_{\text{ս.բ.}} = \sqrt{3mkT} = 6.9 \cdot 10^{-19} \text{ գ սմ/վրկ} :$$

$$\underline{2.58.} \quad E_{\text{կ}} = 3kT = 1.24 \cdot 10^{-20} \text{ Ջ}, \quad \bar{v}_{\text{ս.բ.}} = 3.5 \text{ մ/վրկ} :$$

$$\underline{2.59.} \quad PV = \frac{1}{3} \langle E \rangle :$$

2.60. Միացի արագությունն անոթի պատի նկատմամբ նշանակենք u -ով, իսկ մոլեկուլներինը՝ v -ով: x -երի առանցքն ուղղենք գլանի առանցքով: Ներմուծենք միացի հետ կապված շարժական համակարգ: Դիտարկենք գլանի պատերի նկատմամբ արագության v_x բաղադրիչ ունեցող մոլեկուլի անդրադարձը միացից: Շարժական համակարգում մոլեկուլի արագությունը կլինի $v_x - u$, բախումից

հետո՝ $-(v_x - u)$: Անշարժ համակարգի նկատմամբ մոլեկուլի արագությունը կլինի՝ $-(v_x - u) + u = -v_x + 2u$: Կինետիկ էներգիա-

յի փոփոխությունը կլինի՝
$$\frac{m}{2}(v_x - 2u)^2 - \frac{mv_x^2}{2} = -2mv_x u,$$

($u \ll v_x$, u_x^2 -ն անտեսում ենք): Ենթադրենք՝ ունենք N_i մոլեկուլ, որոնց արագության x բաղադրիչը v_{ix} է: Միավոր ժամանակում

միացին բախվող մոլեկուլների թիվը կլինի $\frac{N_i v_{ix} S}{2V}$, որտեղ S -ը

միացի մակերեսն է: Այդ մոլեկուլների կինետիկ էներգիայի փոփոխությունը միավոր ժամանակում կլինի $-\frac{Sum}{V} \sum_i N_i v_{ix}^2$, իսկ ամբողջ

գազի կինետիկ էներգիայի փոփոխությունը՝

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{Sum}{V} \sum_i N_i v_{ix}^2 = -\frac{SumN}{V} \overline{v_x^2} = -\frac{1}{3} \frac{SumN}{V} \overline{v^2} = -\frac{2}{3} \frac{Su}{V} E:$$

Քանի որ $Su = \frac{dV}{dt}$, հետևաբար $\frac{dE}{dt} = -\frac{2E}{3V} \frac{dV}{dt}$: Այստեղից

կստանանք, որ $EV^{2/3} = const$: Մյուս կողմից՝ $PV = 2/3 \cdot E$: Վերջին երկու արտահայտություններից կստանանք, որ $PV^{5/3} = const$:

2.61. Դատողությունները նույնն են, ինչ 2.60-րդ խնդրում: Ի տարբերություն միատոմ գազի, որի ազատության աստիճանների թիվը 3 է, երկատոմ գազինը 5 (երեք համընթաց և երկու պտտական) է: Շարժվող միացից անդրադառնալիս մոլեկուլի պտտական էներգիան չի փոխվում: Ինչպես նախորդ խնդրում, փոփոխության է ենթարկվում միայն արագության x բաղադրիչը: Այնպես որ, ինչպես

նախորդ խնդրում, $\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{3} \frac{SuNm}{V} \overline{v^2}$: Ըստ էներգիայի հավասարա-

չափ բաշխման օրենքի՝ էներգիան հավասարաչափ է բաշխվում ըստ ազատության աստիճանների: Այդ պատճառով երկատոմ գազի լրիվ

էներգիան՝
$$E = \frac{1}{2} Nm \overline{v^2} + \frac{1}{3} Nm \overline{v^2} = \frac{5}{6} Nm \overline{v^2}:$$
 Հետևաբար

$\frac{dE}{E} = -\frac{2}{5} \frac{dV}{V}$ և $EV^{2/5} = const$: $PV = \frac{2}{3} E$: Վերջին երկու արտա-

հայտություններից կստանանք, որ $PV^{7/5} = const$:

2.62. Մոլեկուլների միջին քառակուսային արագությունը՝
 $v = \sqrt{3RT / \mu}$: Եթե այն լոգարիթմենք, ապա այն կունենա հետևյալ

տեսքը՝ $\lg v = \frac{1}{2} \lg \left(\frac{3R}{\mu} \right) + \frac{1}{2} \lg T$: $\lg v (\lg T)$ կախումն ուղիղ գիծ է,

որի՝ աբսցիսների հետ կազմած անկյան տանգենսը հավասար է 0.5:
 Այդ պայմանին համապատասխանում է 2-րդ ուղիղը:

2.63. Քանի որ մոլեկուլների արագությունները տարբեր են, այդ պատճառով նրանք ճեղքից մինչև արտաքին գլանի պատն անցնում են տարբեր ժամանակներում: Այդ ժամանակամիջոցի ընթացքում գլանները կպտտվեն որոշակի անկյունով: Որքան մեծ է մոլեկուլների արագությունը, այնքան նրանց թողած հետքը մոտ կլինի անշարժ գլանների դեպքում թողած հետքին:

2.64. Մոլեկուլների թիվը $v, v + dv$ արագությունների միջակայքում տրվում է $dN = F(v)dv$ արտահայտությամբ, որտեղ $F(v)$ -ն բաշխման ֆունկցիան է: Հետևաբար նկ. ա)-ում A տիրույթը ցույց է տալիս այն մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունը չի գերազան-

ցում v_1 -ը՝ $N_A = \int_0^{v_1} F(v)dv$, B տիրույթը՝ այն մոլեկուլների թիվը,

որոնց արագությունը փոքր չէ v_2 -ից և մեծ չէ v_3 -ից՝ $N_B = \int_{v_2}^{v_3} F(v)dv$,

և C տիրույթը՝ այն մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունը փոքր չէ v_4 -ից՝ $N_C = \int_{v_4}^{\infty} F(v)dv$: Նկ. բ)-ում յուրաքանչյուր գծապատված

տիրույթ ներկայացնում է համապատասխան մոլեկուլների թվի հարաբերությունը մոլեկուլների ընդհանուր թվին, այսինքն՝ հավանականությունն այն բանի, որ մոլեկուլների արագություններն ընկած են արագությունների տվյալ միջակայքում:

2.65. $N = PV / kT \approx 10^5$, $\langle l \rangle \approx 0.2$ մմ:

2.66. Արագությունների յուրաքանչյուր $v, v + dv$ միջակայքի համար մոլեկուլների թիվը որոշվում է $dN = F(v)dv$ արտահայտությամբ: Քանի որ $F_2(v) = 2F_1(v)$, հետևաբար 2-րդ բաշխման կորով որոշվող մոլեկուլների ընդհանուր թիվը 2 անգամ մեծ է 1-ին բաշխման կորով որոշվող մոլեկուլների ընդհանուր թվից:

2.67. Քանի որ գազը երկատոմ է, հետևաբար $i = 5$, իսկ $\gamma = 7/5$: Օգտվելով Պուասոնի հավասարումից և մոլեկուլների միջին քառակուսային արագության արտահայտությունից, այն է՝ $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ և $\sqrt{v^2} = \sqrt{3RT/\mu}$, կստանանք՝ $V_2/V_1 = \eta^5 = (1.5)^5 = 7.6$:

2.68. Պուասոնի հավասարումից հետևում է, որ $T_0 V_0^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$, որտեղ T_0 -ն և T_1 -ը սկզբնական և վերջնական վիճակների ջերմաստիճաններն են, V_0 -ն և V_1 -ը՝ ծավալները: Քանի որ գազը կոշտ կապով երկատոմ մոլեկուլներից է կազմված, հետևաբար $i = 5$, իսկ $\gamma = 7/5$, ընդ որում, 5 ազատության աստիճաններից երկուսը պտտական ազատության աստիճաններն են: Հետևաբար

$$E_{\text{պտ}} = \frac{2}{2} kT_1 = kT_0 \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 0.7 \cdot 10^{-20} \text{ Ջ}:$$

2.69. Օգտվելով Պուասոնի հավասարումից և միավոր ժամանակում պատի մակերևույթին մոլեկուլների հարվածների թվի համար ստացված արտահայտությունից, այն է՝ $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ և

$$Z = \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \text{ և հաշվի առնելով, որ } n_1 = N/V_1 \text{ և } n_2 = N/V_2, \text{ կստա-}$$

նանք, որ հարվածների թիվը կնվազի $\eta^{\frac{i+1}{i}}$ անգամ, որտեղ $i = 5$:

2.70. Տե՛ս 2.69-րդ խնդիրը: Պուասոնի հավասարման փոխարեն վերցնել պոլիտրոպի հավասարումը: Բացի այդ՝ պոլիտրոպի գործակիցը պետք է արտահայտել ազատության աստիճաններով:

$$n = \frac{C_p - C}{C_v - C} = \frac{i}{i-2}: \text{ Հարվածների թիվը կնվազի } \eta^{\frac{i-1}{i-2}} \text{ անգամ, որտեղ } i = 5:$$

2.71. ա) $\delta N / N = (8/\sqrt{\pi}) \cdot e^{-1} \delta \eta = 1.66\%$, բ)

$$\delta N / N = 12\sqrt{3/2\pi} \cdot e^{-3/2} \delta \eta = 1.85\%:$$

2.72. ա) $\sqrt{v^2} - v_h = \Delta v$, $\sqrt{3kT/m} - \sqrt{2kT/m} = \Delta v$,

$$T = \frac{m\Delta v^2}{k(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = \frac{\mu\Delta v^2}{R(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = 381.1 \text{ Կ, բ) } T = \frac{mv^2}{2k} = \frac{\mu v^2}{2R} = 340 \text{ Կ:}$$

2.73. $T = \mu(v_2^2 - v_1^2) / 4R \ln(v_2 / v_1) = 328.1 \text{ Կ:}$

2.74. $\bar{P} = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int_0^\infty 2nmv_x^2 \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x = nkT :$

2.75. $p_0 V_0 = NkT_0$: $Q = \Delta U + A$: Ըստ խնդրի պայմանի՝ $Q = 0$, $A = 0$, հետևաբար $\Delta U = 0$: Մինչև տրոհվելը և տրոհվելուց հետո գազի մոլեկուլների և ատոմների ազատության աստիճաններն են՝
 $i_1 = 5$ և $i_2 = 3$: $U_1 + Nq = U_2$, $U_1 = \frac{5}{2} NkT_0$, $U_2 = \frac{3}{2} 2NkT_1$:

$PV_0 = 2NkT_1$: $T_1 = \frac{5}{6} T_0 + \frac{q}{3k}$, $P = \frac{5}{3} P_0 + \frac{2Nq}{3V_0}$:

2.76. ա) $v_h = \sqrt{3kT/m}$, Մաքսվելի բաշխման դեպքում՝
 $v_h = \sqrt{2kT/m}$, բ) $dN(\varepsilon) = AN \frac{\varepsilon}{m} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) d\varepsilon$, $\varepsilon_h = kT$:

2.77. Ամբողջ տարածությունն ընդգրկող մարմնային անկյունը 4π է:

Ω մարմնային անկյան սահմաններում արագության ուղղություն ունեցող մոլեկուլների միջին թիվը՝ $N_\Omega = N\Omega/4\pi$, որտեղ N -ը մոլեկուլների ընդհանուր թիվն է: Անվերջ փոքր մարմնային անկյան համար $dN_\Omega = Nd\Omega/4\pi$: Դիտարկենք R շառավղով գնդոլորտ: Կառուցենք միևնույն առանցքով երկու շրջանային կոն (գագաթները՝ գնդոլորտի կենտրոնում), որոնց ծնիչներն այդ առանցքի հետ կազմում են θ և $\theta + d\theta$ անկյուններ: Այդ կոները գնդոլորտի վրա կանջատեն $dS = 2\pi R^2 \sin\theta d\theta$ մակերես, հետևաբար $d\Omega = dS/R^2 = 2\pi \sin\theta d\theta$: Այդ դեպքում $dN = N \sin\theta d\theta/2$: Եթե նկատի ունենանք, որ dS մակերեսին dt ժամանակամիջոցում կբախվեն արագության $v \cos\theta$ բաղադրիչ ունեցող մոլեկուլները, ապա կստանանք, որ $dN = (N/2) \cdot v \sin\theta \cos\theta d\theta$: Հետևաբար միավոր ժամանակում միավոր մակերեսին θ -ից մինչև $\theta + d\theta$ անկյունների տակ ընկնող մոլեկուլների թիվը՝

$$dN = \frac{1}{2} N \sin \theta \cos \theta d\theta \int_0^{\infty} \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} 4\pi v^3 e^{-mv^2/2kT} dv =$$

$$= (2kT/m)^{1/2} N \sin \theta \cos \theta d\theta :$$

2.78.

$$dN = \int_{\theta=0}^{\pi/2} dn \left(\frac{d\Omega}{4\pi} \right) v \cos \theta = N 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^3 \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right) dv \times$$

$$\times 1/2 \int_0^{\pi/2} \sin \theta \cos \theta d\theta = \pi N (m/2\pi kT)^{3/2} v^3 \exp(-mv^2/2kT) dv :$$

2.79. $n_1 / n_2 = v_1^2 / v_2^2 \exp(\mu(v_2^2 - v_1^2) / 2RT) = 16.5 :$

2.80. $\overline{v_x^2} = (m/2\pi kT)^{1/2} \int_{-\infty}^{\infty} v_x^2 \exp(-mv_x^2/2kT) dv_x = kT/m ,$

$\overline{mv_x^2} / 2 = kT / 2 :$

2.81. $v_h = \sqrt{2RT/\mu} = 342.4 \text{ մ/վրկ} , \quad \bar{v} = \sqrt{8RT/\pi\mu} = 386.4 \text{ մ/վրկ} ,$

$\sqrt{v^2} = \sqrt{3RT/\mu} = 419.3 \text{ մ/վրկ} :$

2.82. $\sqrt{v_{o_2}^2} = \sqrt{3RT_1/\mu_{o_2}} , \quad \sqrt{v_{N_2}^2} = \sqrt{3RT_2/\mu_{N_2}} , \quad \sqrt{v_{o_2}^2} = \sqrt{v_{N_2}^2} ,$

$T = 426.3 \text{ Կ} :$

2.83. $v = \sqrt{2kT/m} \cdot u , \quad dv = \sqrt{2kT/m} \cdot du ,$

$dN = 4\pi N_0 (m/2\pi kT)^{3/2} v^2 \exp(-mv^2/2kT) dv = 4N_0 / \sqrt{\pi} \cdot u^2 \exp(-u^2) du :$

2.84. Ըստ Պուլաստնի հավասարման՝ $P^{1-\gamma} T^{\gamma} = \text{const}$ կամ $T = \text{const} \cdot P^{(\gamma-1)/\gamma} :$ Մյուս կողմից՝ $\bar{v} = \sqrt{8kT/\pi m} :$ Այսինքն՝ $\bar{v} \sim T^{1/2} \sim P^{(\gamma-1)/2\gamma} = P^{1/5} :$ γ -ն միատոմ գազի համար հավասար է 5/3: $\bar{v} \sim P^{1/5} :$

2.85. Եթե նկատի ունենանք, որ $v = \sqrt{2\varepsilon/m}$ և $dv = 1/2 \cdot \sqrt{2/m\varepsilon} \cdot d\varepsilon ,$

$dN = 2\pi N_0 (1/\pi kT)^{3/2} \sqrt{\varepsilon} \cdot \exp(-\varepsilon/kT) \cdot d\varepsilon :$

2.86. $\varepsilon_m = kT / 2 :$

2.87. Փնտրվող արագությունը կորոշվի $\Phi(x) - x \cdot d\Phi/dx = 1/2$ հավասարումից, որտեղ $\Phi(x)$ -ը սխալների հավանականության ին-

տեղիքով է՝ $\Phi(x) = 2/\sqrt{\pi} \cdot \int_0^x \exp(-\xi^2) d\xi$, իսկ $x^2 = mv_{1/2}^2 / 2kT$:

Օգտվելով $\Phi(x)$ ֆունկցիայի և նրա ածանցյալի աղյուսակներից՝ կարելի է լուծել այդ հավասարումը: Այդպես կստանանք, որ $x = 1.088$, $v_{1/2} = 1.088\sqrt{2kT/m}$:

2.88. $T = mv^2 / 3k$:

2.89. 3 անգամ:

2.90. $\langle 1/v \rangle = \int_0^\infty \frac{1}{v} \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} 4\pi v^2 \exp(-mv^2 / 2kT) dv = \frac{4}{\pi \langle v \rangle}$:

2.91. Մոլեկուլների թիվը հավասար է արագությունների տարածության տարրական ծավալում ընկած արագությունների կետերի միջին թվին: Այդ ծավալը սահմանափակված է $v_\perp$ ու $v_\perp + dv_\perp$ շառավիղներ և $dv_\parallel$ բարձրություն ունեցող երկու համառանցք գլաններով: Այդ ծավալը՝ $d\omega = 2\pi v_\perp dv_\perp dv_\parallel$, իսկ նրանում արագությունների կետերի միջին թիվը՝

$$dN = f d\omega = 2\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp(-\varepsilon / kT) v_\perp dv_\perp dv_\parallel :$$

2.92. $\alpha = 1/\sqrt{2}$:

2.93. $\alpha = \exp(-eU/kT)$, որտեղ e -ն էլեկտրոնի լիցքի մոդուլն է: 1) $\alpha = 13.5\%$, 2) $\alpha = 1.8\%$:

2.94. $n(r) = \sqrt{2m/kT} v / 4\pi r^2$:

2.95. $\bar{\varepsilon} = \int_0^\infty \varepsilon T^{-3/2} \sqrt{\varepsilon} e^{-\alpha\varepsilon} d\varepsilon / \int_0^\infty T^{-3/2} \sqrt{\varepsilon} e^{-\alpha\varepsilon} d\varepsilon$, $Z = \int T^{-3/2} \sqrt{\varepsilon} e^{-\alpha\varepsilon} d\varepsilon$,

$$\alpha = 1/kT: \quad \bar{\varepsilon} = -1/Z \cdot dZ/d\alpha, \quad \overline{\varepsilon^2} = 1/Z \cdot d^2Z/d\alpha^2, \quad \bar{\varepsilon} = 3kT/2, \\ \overline{\varepsilon^2} = 15k^2T^2/4, \quad \Delta\overline{\varepsilon^2} = \overline{\varepsilon^2} - (\bar{\varepsilon})^2 = 3k^2T^2/2:$$

2.96. Նախ դիտարկենք մասնավոր դեպք, երբ բոլոր մոլեկուլների արագությունների բացարձակ արժեքները նույնն են: Այդ դեպքում 1 սմ³-ում եղած մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունների ուղղություններն ընկած են $d\Omega$ մարմնային անկյունում, կլինի՝ $dn = n \cdot d\Omega / 4\pi$, որտեղ n -ը մոլեկուլների թիվն է 1 սմ³-ում: Դիտարկենք θ և $\theta + d\theta$ անկման անկյունով պատի 1 սմ² մակերեսին

հարվածող մոլեկուլները: Դրանց համար $d\Omega = 2\pi \sin \theta \cdot d\theta$, $dn = n \sin \theta \cdot d\theta / 2$: Մեկ վայրկյանում դիտարկվող մոլեկուլների հարվածների թիվը պատի 1 սմ² մակերեսին՝ $dz = nv \sin \theta \cos \theta \cdot d\theta / 2$: Ինտեգրելով այս արտահայտությունը 0-ից մինչև $\pi/2$ ՝ կստանանք՝ $z = nv/4$: Եթե մոլեկուլների արագությունների բացարձակ արժեքները տարբեր են, ապա դրանք տրոհելով գործնականորեն մոտ արագություններով խմբերի՝ կստանանք՝ $z = nv/4$, որտեղ $\bar{v}$ -ն մոլեկուլների միջին արագությունն է: Մաքսվելյան բաշխման համար $z = n/4 \cdot \sqrt{8kT/\pi m}$:

2.97. $dP = \frac{4\pi}{3} mn \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^4 \exp(-mv^2/2kT) dv$, $v_0 = 2\sqrt{kT/m}$:

2.98. $dN = \pi n (m/2\pi kT)^{3/2} v^3 \exp(-mv^2/2kT) dv$, $v_0 = \sqrt{3kT/m}$:

2.99. Իզոտրոպ բաշխման համար $E = mn < v^2 > / 8$, մաքսվելյան բաշխման համար $E = n \sqrt{2k^3 T^3 / m\pi} = \frac{\pi mn}{16} < v >^3$, որտեղ m -ը

մոլեկուլի զանգվածն է, n -ը՝ մոլեկուլների թիվը 1 սմ³-ում:

2.100. $\varepsilon = 2kT$:

2.101. Եթե անցքը շատ փոքր է, ապա բաշխումը, ըստ արագությունների, շատ քիչ կփոխվի, այսինքն՝ կմնա իզոտրոպ և մաքսվելյան: Այդ դեպքում $d(Vn) = -S\bar{v}n dt/4$: Ինտեգրելով կստանանք՝ $n = n_0 e^{-t/\tau}$, որտեղ $\tau = 4V/\bar{S}\bar{v}$:

2.102. $d(Vn) = \frac{1}{4} \bar{S}\bar{v}(n_0 - n)dt$: $\frac{dn}{n_0 - n} = \frac{\bar{S}\bar{v}}{4V} dt$, $\ln \frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_2} = \frac{\bar{S}\bar{v}}{4V} t$:

$\ln \frac{1 - P_1/P_0}{1 - P_2/P_0} \approx \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right) - \left(1 - \frac{P_2}{P_0}\right) = \frac{P_2 - P_1}{P_0} = \frac{\bar{S}\bar{v}}{4V} t$:

$t = \frac{4V}{\bar{S}\bar{v}} \frac{P_2 - P_1}{P_0} = 1.17$ վրկ:

2.103. Հաշվեկշռի հավասարումն ազոտի մոլեկուլի համար՝ $\frac{dN_N^{(1)}}{dt} = -\frac{1}{4} \frac{\bar{S}\bar{v}_N}{V} (N_N^{(1)} - N_N^{(2)})$, $\frac{dN_N^{(2)}}{dt} = -\frac{1}{4} \frac{\bar{S}\bar{v}_N}{V} (N_N^{(2)} - N_N^{(1)})$, որտեղ $N_N^{(1)}$ -ը և $N_N^{(2)}$ -ը ազոտի մոլեկուլների թվերն է անոթի առաջին և

երկրորդ կեսերում: Քանի որ $N_N^{(1)} + N_N^{(2)} = N_N = const$, ապա առաջին արտահայտությունը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{dN_N^{(1)}}{dt} = -\frac{S\overline{v}_N}{2V} \left(N_N^{(1)} - \frac{N_N}{2} \right)$$
: Հաշվի առնելով սկզբնական պայմանները՝ $t=0$ պահին $N_N^{(1)} = N_N$, իսկ հետո $N_N^{(2)} = N_N - N_N^{(1)}$, կստանանք՝

$$N_N^{(1)} = \frac{N_N}{2} \left\{ 1 + \exp \left(-\frac{S\overline{v}_N t}{2V} \right) \right\}, \quad N_N^{(2)} = \frac{N_N}{2} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{S\overline{v}_N t}{2V} \right) \right\}:$$

Նույն ձևով թթվածնի մոլեկուլների համար կստանանք՝

$$N_{O_2}^{(1)} = \frac{N_{O_2}}{2} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{S\overline{v}_{O_2} t}{2V} \right) \right\}, \quad N_{O_2}^{(2)} = \frac{N_{O_2}}{2} \left\{ 1 + \exp \left(-\frac{S\overline{v}_{O_2} t}{2V} \right) \right\}:$$

Քանի որ սկզբնական ճնշումները նույնն են, ապա $N_N = N_{O_2} = N$:

Ճնշումն անոթի առաջին մասում՝

$$P_1(t) = \frac{1}{V} (N_N^{(1)} + N_{O_2}^{(1)}) kT = P \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\exp \left(-\frac{S\overline{v}_N t}{2V} \right) - \exp \left(-\frac{S\overline{v}_{O_2} t}{2V} \right) \right] \right\},$$

երկրորդ մասում՝

$$P_2(t) = P \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\exp \left(-\frac{S\overline{v}_{O_2} t}{2V} \right) - \exp \left(-\frac{S\overline{v}_N t}{2V} \right) \right] \right\}:$$

Վերջին երկու հավասարումներից հետևում է, որ անոթի երկու մասերում վերջնական ճնշումները ($t \rightarrow \infty$) հավասարվում են սկզբնականին՝ $P_1(\infty) = P_2(\infty) = P$:

2.104. Էներգիայի և մասնիկների թվի համար հաշվեկշռի հավասարումներն ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{8} n m S \overline{v}^3 + Q, \quad V \frac{dn}{dt} = -\frac{1}{4} n S \overline{v}:$$

Ըստ պայմանի՝ մեկ մասնիկին բաժին ընկնող էներգիան հաստատուն է՝ $\frac{E}{(Vn)} = const$: Այստեղից $dE = E \frac{dn}{n}$: Արտաքսելով dE -ն և

$dn - \bar{v}$ կատանանք՝ $\frac{E}{Vn} = \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{m\bar{v}^3}{\bar{v}} - \frac{4Q}{nS\bar{v}}$, որտեղից

$Q = \frac{m}{8} \left(\frac{\bar{v}^3}{\bar{v}} - \bar{v}^2 \right) nS\bar{v}$: Մաքսվելյան բաշխման համար

$Q = kTS\bar{v}n/8 = kTS\bar{v}n_0 e^{-t/\tau} / 8$, որտեղ $\tau = 4V/(S\bar{v})$:

2.105. $P_2 - P_1 = mgN/S$:

2.106. $n(r) = n_0 \exp\left(-\frac{U(r) - U(r_0)}{kT}\right)$:

2.107. n_0 -ն գազի մոլեկուլների կոնցենտրացիան է պոտենցիալ էներգիայի զրոյական մակարդակում: $n_0 = n(r_0)$: $U(r_0) = 0$:

2.108. $d\omega = dN/N = n(r)dx dy dz / \int_V n(r)dx dy dz$:

2.109. $\alpha = \exp\left(-\frac{U(r_2) - U(r_1)}{kT}\right) \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$:

2.110. 1) 0-ից h_0 , 2) h -ից $h + \Delta h$, h_0 -ից բարձր բարձրության վրա՝ հորիզոնական շերտերում, մոլեկուլների թիվը:

2.111. Ըստ բարձրության՝ բաշխվում են առավել հավասարաչափ:

2.112. $\alpha = \exp\left[-\frac{(m_{O_2} - m_{N_2})gh}{kT}\right]$: Կախումը պատկերված է նկ. 3-ում:

2.113. $n_1 = n_{01} \exp(-m_1 gh/kT)$, $n_2 = n_{02} \exp(-m_2 gh/kT)$:

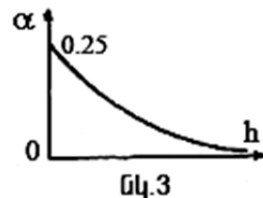
$\eta/\eta_0 = \exp((\mu_2 - \mu_1)g \cdot h/RT)$:

2.114. $h = \frac{kT \ln(n_2/n_1)}{g(m_2 - m_1)}$:

2.115. Չի փոխվի:

2.116.

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty mgh n_0 \exp(-mgh/kT) dh}{\int_0^\infty n_0 \exp(-mgh/kT) dh} = kT:$$



Նկ.3

2.117. $\frac{n_0}{n} = 23$ անգամ կփոքրանա:

2.118. $h = \frac{RT}{\mu g} \ln \frac{P_0}{P} = 1.84 \cdot 10^4$ մ:

2.119. ա) $dN = n_0 \exp(-ar^2/kT) 4\pi r^2 dr$, բ) $r_{\text{հալ}} = \sqrt{kT/a}$,
 գ) $dN/N = (a/\pi kT)^{3/2} \exp(-ar^2/kT) 4\pi r^2 dr$, դ) կաճի $\eta^{3/2}$ անգամ,
 ե) $dN = 2\pi m_0 a^{-3/2} \exp(-U/kT) \sqrt{U} dU$, զ) $U_{\text{հալ}} = kT/2$:

2.120. $M \approx 5.3 \cdot 10^{18}$ կգ:

2.121. $m/M = 4\pi \rho P_0 / g^2 \approx 0.87 \cdot 10^{-6}$:

2.122. Գազի ջերմաստիճանը չի փոխվի: Իսկապես, ազատ անկման ժամանակ գազը գտնվում է անկշռության վիճակում: Նրա սկզբնական վիճակն անհավասարակշիռ է՝ խտությունը վերևում ավելի փոքր է, քան ներքևում: Սակայն մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան ամենուր նույնն է: Հավասարակշիռ վիճակի անցնելիս խտությունները կհավասարվեն, սակայն գազի մոլեկուլների լրիվ կինետիկ էներգիան, որով պայմանավորված է գազի ջերմաստիճանը, կմնա անփոփոխ:

2.123. $\varepsilon_{\text{այ}} = kT$, $C = C_P$:

2.124. $\overline{\varepsilon_{\text{այ}}} = \frac{1 - \left(1 + \frac{mgH}{kT}\right) \exp\left(-\frac{mgH}{kT}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{mgH}{kT}\right)} kT$:

2.125. $C = C_V + \frac{R}{12} \left(\frac{\mu gH}{RT}\right)^2$:

2.126. $Z = \frac{(N_1 + N_2)kT}{g(N_1 m_1 + N_2 m_2)} - \frac{H}{N_1 m_1 + N_2 m_2} \left(\frac{N_1 m_1}{e^{\frac{m_1 gH}{kT}} - 1} + \frac{N_2 m_2}{e^{\frac{m_2 gH}{kT}} - 1} \right)$:

2.127. $\overline{U} = kT/2$:

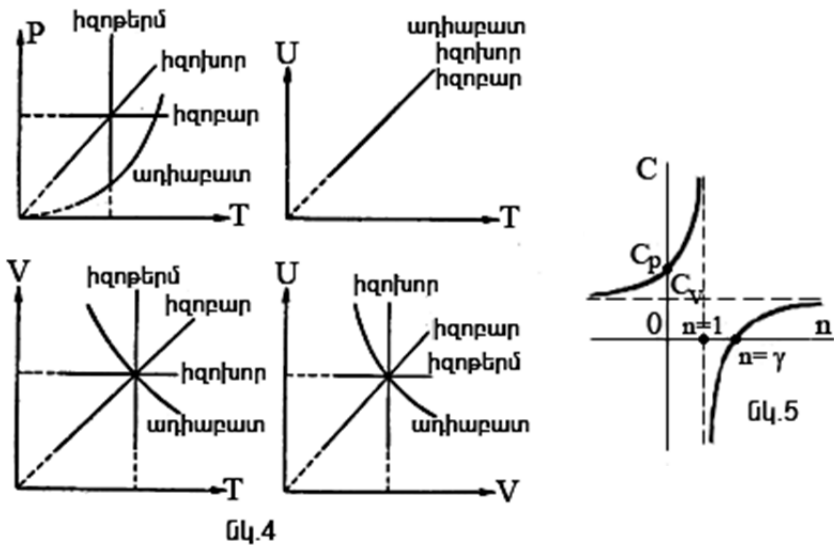
III. Ջերմաքանակ և աշխատանք: Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը

3.12. Տե՛ս նկ. 4:

3.13. $C_{տ} = C_{տլ} / \mu$, որտեղ μ -ն մեկ մոլի գանգվածն է:

3.14. Ըստ ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքի՝ $\delta Q = dU + \delta A$: Իդեալական գազի համար $U = U(T)$, հետևաբար $dU = (\partial U / \partial T)_V dT = C_V dT$: Մյուս կողմից՝ $C = \partial Q / \partial T$, հետևաբար $C = C_V + P dV / dT$: Այս արտահայտությունը ներկայացնում է իդեալական գազի մոլային ջերմունակությունը կամայական պրոցեսում: $C_V = \text{const}$ պայմանի դեպքում այդ արտահայտությունից հետևում է, որ ջերմունակության արժեքը կախված է միայն գազի վիճակի փոփոխման պրոցեսից՝ $P(dV/dT)$ անդամից:

3.16. Ըստ սահմանման՝ պոլիտրոպի գործակիցը՝ $n = (C - C_P) / (C - C_V)$: Այստեղից ջերմունակության համար կստանանք՝ $C = (nC_V - C_P) / (n - 1)$: Քանի որ ադիաբատի գործակիցը՝ $\gamma = C_P / C_V$, ապա $C = C_V (n - \gamma) / (n - 1)$: 1) $n = 0$, $C = C_P$, իզոբար պրոցես, 2) $n = \pm \infty$, $C = C_V$, իզոխոր պրոցես, 3) $n = 1$, $C = \pm \infty$, իզոթերմ պրոցես, 4) $n = \gamma$, $C = 0$, ադիաբատ պրոցես (տե՛ս նկ. 5):



3.25. Այո, քանի որ $\gamma = C_P / C_V = (i + 2) / i$: Դիսսոցիացիայի ժամանակ փոխվում է i ազատության աստիճանների թիվը:

3.27. Ոչ:

3.29. Պոլիտրոպ պրոցեսի հավասարումից՝ $TV^{n-1} = const$, կստանանք, որ $P(dV/dT) = -R/(n-1)$: 3.14-րդ խնդրում ստացված արդյունքից հետևում է, որ $C = C_V - R/(n-1)$:

3.30. Տե՛ս 3.14-րդ խնդրի լուծումը:

3.31. Քանի որ մոնոտոն կորն անցնում է իզոթերմի ու ադիաբատի հատման կետով և ընկած է նրանց միջև, հետևաբար այդ կորը նկարագրող հավասարումը պետք է ունենա հետևյալ տեսքը՝ $PV^n = const$, և n -ը պետք է բավարարի $\gamma > n > 1$ պայմանին:

3.32. $C = \pm\infty$:

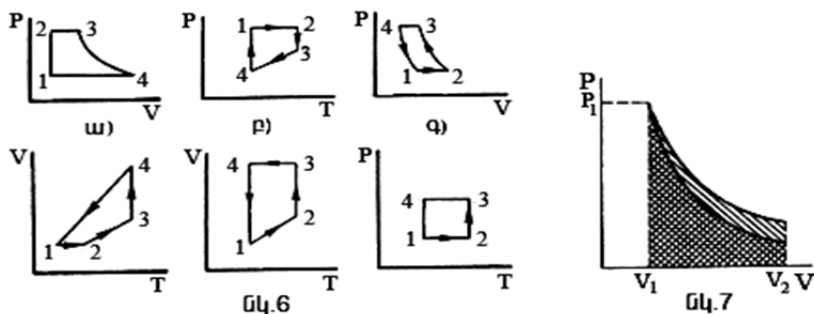
3.33. Այն պրոցեսների ժամանակ, երբ գազը սեղմվելիս կորցնում է որոշակի ջերմաքանակ, ընդ որում, այդ դեպքում գազը տաքանում է: Դա տեղի է ունենում գազի նկատմամբ արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքի հաշվին:

3.34. Կարելի է: Ադիաբատ պրոցեսի ժամանակ կատարված աշխատանքը որոշվում է $A = R(T_2 - T_1)/(\gamma - 1)$ արտահայտությամբ: Քանի որ $\gamma = (i + 2)/i$, հետևաբար $A = iR(T_2 - T_1)/2$, որտեղ i -ն ազատության աստիճանների թիվն է:

3.37. Համապատասխան կախումները ներկայացված են նկ. 6-ում:

ա) Ցիկլը բաղկացած է՝ 1-2 – իզոխոր տաքացում, 2-3 – իզոբար տաքացում, 3-4 – իզոթերմ ընդարձակում, 4-1 – իզոբար սառեցում:
բ) Ցիկլը բաղկացած է՝ 1-2 – իզոբար տաքացում, 2-3 – իզոթերմ ընդարձակում, 3-4 – իզոխոր սառեցում 4-1 – իզոթերմ սեղմում:
գ) Ցիկլը բաղկացած է՝ 1-2 – իզոբար տաքացում, 2-3 – իզոթերմ սեղմում, 3-4 – իզոբար սառեցում, 4-1 – իզոթերմ ընդարձակում:

3.38. Մխոցի՝ Δh -ով բարձրանալու ժամանակ զսպանակը կսեղմվի Δx -ով: Ենթադրենք՝ $F = -k\Delta x$ -ը զսպանակի սեղմման ժամանակ առաջացած առաձգականության ուժն է: Դրանով պայմանավորված են մխոցի վրա ազդող ուժի աճը և հետևաբար գլանում գազի ճնշման աճը՝ $\Delta P = |F|/S = k\Delta V/S^2$, որտեղ S -ը մխոցի մակերեսն է: Այսպիսով՝ տաքացման ընթացքում ծավալի աճն ուղեկցվում է ճնշման աճով: Գրաֆիկորեն այդ կախումը դրական թեքությամբ ուղիղ գիծ է: Թեքությունը կախված է մխոցի մակերեսից և զսպանակի կոշտությունից: $A = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1)$:



3.39. Քանի որ հելիումի ազատության աստիճանների թիվը 3 է, իսկ ածխաթթվինը՝ 6, հետևաբար $\gamma = (i+2)/i$ արտահայտությունից հետևում է, որ ադիաբատի գործակիցը հելիումի և ածխաթթու գազի համար համապատասխանաբար 1.6 և 1.33 է: $PV^\gamma = \text{const}$ հավասարումից հետևում է, որ ավելի բարձր դիրքից իջնող կորը համապատասխանում է ածխաթթու գազին:

3.40. Քանի որ իզոթերմ պրոցեսի ժամանակ $P \sim 1/V$, իսկ ադիաբատի ժամանակ $P \sim 1/V^\gamma$, հետևաբար, ինչպես երևում է նկ. 7-ից, իզոթերմ պրոցեսի ժամանակ կատարված աշխատանքը մեծ է:

3.41. Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքն իզոթերմ պրոցեսի համար կարտահայտվի հետևյալ կերպ՝ $Q = A$: Հետևաբար այդ պրոցեսին համապատասխանող ուղիղն առանցքների հետ պետք է կազմի 45° -ի անկյուն: Դա կլինի 3-րդ ուղիղը: Իզոթերմ պրոցեսի ժամանակ $Q = \Delta U + A$: Քանի որ իզոթերմ պրոցեսի ժամանակ մեկ մոլ գազի կատարած աշխատանքը՝ $A = R\Delta T$, իսկ կլանված ջերմաքանակը՝

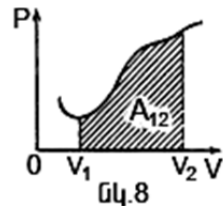
$$Q = C_p \Delta T = \frac{i+2}{2} R\Delta T, \text{ որտեղ } i\text{-ն ազատության աստիճանների}$$

թիվն է, հետևաբար $A/Q = 2/(i+2)$: $A(Q)$ ուղղի թեքության անկյան տանգենսը միատոմ գազի համար պետք է կազմի 2/5, երկատոմի համար՝ 2/7, բազմատոմի համար՝ 2/8: 1-ին ուղիղը համապատասխանում է բազմատոմ գազի, 2-րդը՝ միատոմ: Իզոխոր պրոցեսի գրաֆիկն է համընկնում արքցիսների առանցքի հետ, քանի որ աշխատանք չի կատարվում: Օրդինատների առանցքի հետ համընկնում է ադիաբատ պրոցեսի գրաֆիկը:

3.42. Աբսցիսների առանցքը համապատասխանում է իզոթերմ պրոցեսին ($\Delta T = 0$), օրդինատների առանցքը՝ ադիաբատ ($Q = 0$): Միատոմ գազի իզոխոր պրոցեսի ջերմունակությունը՝ $C_V = 3R/2$, երկատոմինը՝ $C_V = 5R/2$: Միատոմ գազի իզոբար պրոցեսի ջերմունակությունը՝ $C_P = 5R/2$, երկատոմինը՝ $C_P = 7R/2$: Երկատոմ գազի C_V ջերմունակությունը համընկնում է միատոմ գազի C_P ջերմունակության հետ: Այդ պատճառով նկարում պատկերված են ոչ թե չորս, այլ երեք ուղիղներ, ընդ որում, 2-րդ ուղիղը ներկայացնում է միատոմ գազի իզոբար և երկատոմի իզոխոր պրոցեսները: 1-ին ուղիղը համապատասխանում է երկատոմ գազի իզոբար պրոցեսին, իսկ 3-րդը՝ միատոմ գազի իզոխորին:

3.43. Պարզության համար կատարենք հետևյալ նշանակումը՝ $mR/\mu = \alpha$: Հետևաբար $PV = \alpha T$: Համապատասխանաբար իզոբար պրոցեսում երկու գազերի համար աշխատանքը՝ $A = P(V_2 - V_1) = \alpha \Delta T$: Ադիաբատ պրոցեսի ժամանակ $A = (P_1 V_1 - P_2 V_2)/(\gamma - 1) = \alpha |\Delta T|/(\gamma - 1)$: Ազոտի համար $\gamma = 7/5$, իսկ արգոնի համար $\gamma = 5/3$: Այդ դեպքում ազոտի համար $A = 2.5\alpha |\Delta T|$, արգոնի համար $A = 1.5\alpha |\Delta T|$, իսկ իզոբար պրոցեսների համար $A = \alpha \Delta T$: 1-ին ուղիղը ներկայացնում է ադիաբատ պրոցեսը ազոտի համար, 2-րդը՝ արգոնի համար, 3-րդը ներկայացնում է իզոբար պրոցես երկու գազերի համար: Օրդինատների առանցքը ներկայացնում է իզոթերմ, իսկ աբսցիսների առանցքը՝ իզոխոր պրոցեսներ:

3.46. $A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$: A_{12} -ը հավասար է նրբա-



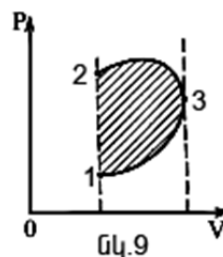
գծված պատկերի մակերեսին (նկ. 8):

3.47. $A_{13} > 0$, $A_{32} < 0$: Լրիվ աշխատանքը բացասական է և մոդուլով հավասար է նրբագծված պատկերի մակերեսին (նկ. 9):

3.48. $\delta A = -\delta A'$, $dU = \delta Q + \delta A'$:

3.49. Ոչ:

3.50. $C_V = (\partial U / \partial T)_V$:



$$\mathbf{3.51.} \quad C_P = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P :$$

$$\mathbf{3.52.} \quad C_\varphi = C_V - \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_T \right] \cdot \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial T} \right)_V / \left(\frac{\partial \varphi}{\partial V} \right)_T \right] :$$

$$\mathbf{3.53.} \quad \text{ա) } A_{123} = A_{12} + A_{23} = P_2(V_2 - V_1), \text{ բ) } A_{21} = (P_1 + P_2)(V_1 - V_2) / 2$$

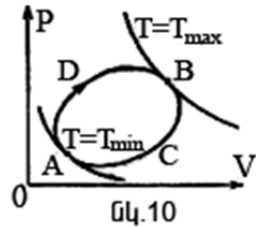
$$\text{գ) } A_{12} = (V_2 - V_1) \cdot [\pi P_2 + (4 - \pi) P_1] / 4 :$$

3.54. $Q = A + \Delta U$ (A -ի արժեքի համար տե՛ս 3.53-րդ խնդրի պատասխանը), $\Delta U = (P_{\text{վ}} V_{\text{վ}} - P_{\text{ս}} V_{\text{ս}}) / (\gamma - 1)$, որտեղ $P_{\text{ս}}$ -ն, $V_{\text{ս}}$ -ն և $P_{\text{վ}}$ -ն, $V_{\text{վ}}$ -ն P -ի ու V -ի սկզբնական և վերջնական արժեքներն են:

$$\mathbf{3.55.} \quad Q = -\pi(P_2 - P_1)(V_2 - V_1) / 4 :$$

3.56. Տե՛ս նկ.10:

3.57. Իզոխոր պրոցեսի ընթացքում համակարգին հաղորդված ամբողջ ջերմաքանակը ծախսվում է ներքին էներգիայի, հետևաբար նաև ջերմաստիճանի մեծացման վրա, իսկ իզոբար պրոցեսի ընթացքում հաղորդված ջերմաքանակի մի մասը ծախսվում է աշխատանք կատարելու վրա:



$$\mathbf{3.58.} \quad \Delta U_{12} = (P_2 V_2 - P_1 V_1) / (\gamma - 1) :$$

$$\mathbf{3.59.} \quad (\partial V / \partial T)_I > (\partial V / \partial T)_{II}, \quad C_I(V_0, T_0) > C_{II}(V_0, T_0) :$$

$$\mathbf{3.60.} \quad Q_{II} > Q_I \text{ ա և գ դեպքերում, իսկ բ-ում } Q_I = Q_{II} :$$

$$\mathbf{3.61.} \quad \text{ա) } \Delta U = U_2 - U_1, \quad A = (\gamma - 1)\Delta U, \quad Q = \gamma\Delta U, \quad \text{բ) } \Delta U = 0, \\ A = Q = -(\gamma - 1)U_0 \ln(P_2 / P_1), \quad \text{գ) } \Delta U = U_2 - U_1, \quad A = 0, \quad Q = \Delta U, \\ \text{դ) } \Delta U = 0, \quad A = Q = (\gamma - 1)U_0 \ln(V_2 / V_1) :$$

$$\mathbf{3.62.} \quad \Delta U = (P_2 - P_1)V / (\gamma - 1) :$$

$$\mathbf{3.63.} \quad \gamma = [1 - \nu R(T_2 - T_1) / Q]^{-1} :$$

$$\mathbf{3.64.} \quad PV = (C_P - C_V)T :$$

$$\mathbf{3.65.} \quad C_1 > 0, \quad C_3 < 0, \quad C_5 > 0, \quad C_2 = +\infty, \quad C_4 = 0 :$$

Ցուցում: Տե՛ս 3.16-րդ խնդրի պատասխանը՝ $C = C_V(n - \gamma) / (n - 1)$, 1-ին կոր՝ $n < 1$, 2-րդ կոր՝ $n = 1$, 3-րդ կոր՝ $1 < n < \gamma$, 4-րդ կոր՝ $n = \gamma$, 5-րդ կոր՝ $n > \gamma$:

3.66. A կետով տանել իզոթերմ և ադիաբատ, այնուհետև օգտվել 3.65-րդ խնդրի պատասխանից:

3.67. P -ն պոլիտրոպ է, ցուցիչը՝ $n = -3/2$, $C = (2C_p + 3C_v)/5$, ա-ն և q -ն՝ ոչ:

3.69. $PT^{\gamma/(1-\gamma)} = \text{const}$:

3.70. $v = \sqrt{2[c(t-t_0) + \lambda]} \approx 355$ մ/վրկ:

3.71. $c_2 = \frac{1}{m_2} \left[(c_1 m_1 + C_1) \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0} - C_2 \right]$:

3.72. Արդյունքը հետևում է $U = C_V PV / R$ արտահայտությունից:

3.73. Քանի որ ներքին էներգիան վիճակի ֆունկցիա է, հետևաբար ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքից կհետևի՝

$$1) Q_{142} = Q_{132} - A_{132} + A_{142} = 60 \text{ Ջ},$$

$$2) Q_{21} = Q_{132} - A_{132} + A_{21} = 70 \text{ Ջ},$$

$$3) Q_{14} = 50 \text{ Ջ}, Q_{42} = 10 \text{ Ջ}:$$

3.74. $Q = AC_p / R = 25 \text{ Ջ}:$

3.75. $T_3 = T_4 = 2T_1$, $T_2 = 4T_1$:

$$Q_{132} = U_2 - U_1 + A_{132} = C_V(T_2 - T_1) + 2P_1V = 19RT_1/2:$$

$$Q_{142} = U_2 - U_1 + A_{142} = C_V(T_2 - T_1) + P_1V = 17RT_1/2:$$

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + A_{12} = C_V(T_2 - T_1) + 3P_1V/2 = 9RT_1:$$

$$C_{12} = Q_{12}/(T_2 - T_1):$$

3.76. $U = U(V, T)$, հետևաբար $dU = (\partial U / \partial T)_V dT + (\partial U / \partial V)_T dV$:

Պահանջվող արտահայտությունը կստացվի ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքից և ջերմունակության սահմանումից:

3.77. Տե՛ս նախորդ խնդիրը:

3.78. $\chi_{\omega\eta} = -1/\gamma P$, $\chi_T = -1/P$: Այստեղից հետևում է, որ

$$\chi_{\omega\eta} = C_V \chi_T / C_P:$$

3.81. $c_V = 0.42 \text{ Ջ/(գ·Կ)}$, $c_P = 0.65 \text{ Ջ/(գ·Կ)}$:

3.82. Մոլային ջերմունակությունների համար $C_P - C_V = R$: Տեսա-կարար ջերմունակության և մոլային ջերմունակությունների միջև կապը՝ $C = \mu c$, որտեղ μ -ն մոլային զանգվածն է, իսկ c -ն՝ տեսա-կարար ջերմունակությունը: Հետևաբար $\mu(c_p - c_v) = R$: Այստեղից

հետևում է, որ μ -ն 0.032 կգ/մոլ է, իսկ մեկ կիլոմոլի զանգվածը՝ 32 կգ: Քանի որ գազը երկատոմ է, հետևաբար ազատության աստիճանների թիվը 5 է: $C_p = 7R/2$, $C_v = 5R/2$, հետևաբար $c_p = C_p / \mu = 909$ Ջ/(կգ·Կ), $c_v = C_v / \mu = 649$ Ջ/(կգ·Կ):

3.83. Խառնուրդի մոլային զանգվածը՝ $\mu = 2\mu_1\mu_2/(\mu_1 + \mu_2)$, ջերմունակությունը՝ $C_V = m_1C_{V_1} / \mu_1 + m_2C_{V_2} / \mu_2 =$

$$\frac{m}{2} \left(\frac{\mu_2 C_{V_1} + \mu_1 C_{V_2}}{\mu_1 \mu_2} \right) = \frac{PV}{RT} \left(\frac{\mu_2 C_{V_1} + \mu_1 C_{V_2}}{\mu_1 + \mu_2} \right) = 0.77 \text{ Ջ/Կ:}$$

3.84. $m = 0.125$ կգ:

3.85. $Q = Q_1 + Q_2 = 283$ կՋ:

3.86. $H = U(T) + RT$:

3.87. $\frac{A_2}{A_1} = \frac{n^{(\gamma-1)/\gamma} - 1}{(\gamma-1)\ln n}$, ա) 0.8, բ) 1.5:

3.88. $PV^n = \text{const}$, $n = (C - C_p)/(C - C_v)$:

1) $C = C_v$, $VP^{1/n} = VP^{(C-C_v)/(C-C_p)} = V = \text{const}$, 2) $C = C_p$, $P = \text{const}$, 3) $C = \infty$, $PV = \text{const}$, 4) $C = 0$, $PV^\gamma = \text{const}$:

3.89. $A = Q = RT \ln V_2 / V_1 = RT \ln P_1 / P_2$:

3.90. $n > 1$ դեպքում տաքանում է, $n < 1$ դեպքում սառչում է:

3.91. Պրոցեսի և վիճակի հավասարումներից հետևում է, որ $\text{const} / V = RT$ կամ $V_2 / V_1 = T_1 / T_2$, այսինքն՝ ընդարձակման ժամանակ գազը սառչում է: $CdT = C_v dT + PdV = C_v dT - RdT$, այստեղից $C = C_v - R$:

3.92. $\nu = P_1 V_1 / RT_1 = 0.163$ մոլ: Քանի որ պրոցեսը պոլիտրոպ է, հետևաբար $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$, որտեղից $n = 1.5$: Մյուս կողմից՝ $n = (C - C_p)/(C - C_v)$, հետևաբար $C = \nu(3C_v - 2C_p) = -0.667$ Ջ/Կ:

3.93. Խողովի պայմանից և վիճակի հավասարումից հետևում է, որ $PdV = RdT/2$: Հետևաբար $CdT = C_v dT + RdT/2$, $C = C_v + R/2 = (C_v + C_p)/2 = C_p - R/2$:

3.94. $PV^n = \text{const}$ պոլիտրոպի հավասարումն է: $n = 1$ դեպքում կհամապատասխանի TT իզոթերմին, $n = \gamma$ դեպքում՝ SS ադիա-

բատին: Ակնհայտ է, որ ցուցիչի $\gamma > n > 1$ արժեքներին համապատասխանող պոլիտրոպներն ընկած են իզոթերմի ու ադիաբատի միջև և այդպիսով ամբողջությամբ կգտնվեն նրբագծված տիրույթում: $\infty > n > \gamma$ և $1 > n > -\infty$ ցուցիչներով պոլիտրոպներն այդ տիրույթից դուրս են: Պոլիտրոպ պրոցեսների ջերմունակության $C = C_V(n - \gamma)/(n - 1)$ արտահայտությունից հետևում է, որ $C < 0$, երբ $\gamma > n > 1$, և $C > 0$, երբ $+\infty > n > \gamma$ և $1 > n > -\infty$: Այսինքն՝ նրբագծված տիրույթով անցնող պոլիտրոպներին համապատասխանում է ջերմունակության բացասական արժեք, իսկ նրբագծված տիրույթից դուրս՝ դրական:

3.95. $A = \int_{T_1}^{T_2} \frac{R}{2} dT = R(T_2 - T_1)/2 :$

3.96. $A = \frac{P_2 V_2}{n-1} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} - 1 \right] = \frac{R(T_2 - T_1)}{n-1} : A_T = RT \ln \frac{V_2}{V_1} :$

Աշխատանքի արտահայտությունն ադիաբատ պրոցեսի համար կստացվի պոլիտրոպ պրոցեսի համար ստացված աշխատանքի A արտահայտությունից, եթե պոլիտրոպի n ցուցիչը փոխարինենք γ ադիաբատի ցուցիչով:

3.97. Տե՛ս նախորդ խնդրի լուծումը:

3.98. $\delta A = KdT = PdV$, $PdV + VdP = RdT$, $VdP = (R - K)dT$,

$$\frac{dP}{P} = \frac{R - K}{R} \frac{dT}{T}, \quad PV^{\frac{R}{2R-K}} = const :$$

3.99. $c = (n - \gamma)c_p / \gamma(n - 1) :$

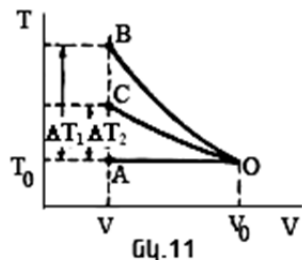
3.100. $P = Vtg\alpha + P_0$, $P_0 = \frac{P_1 V_2 - P_2 V_1}{V_2 - V_1}$,

$$tg\alpha = \frac{(P_2 - P_1)}{V_2 - V_1},$$

$$C = C_V + \frac{Vtg\alpha + P_0}{2Vtg\alpha + P_0} R = C_V + \frac{PR}{2P - P_0} :$$

Պրոցեսը կվերածվի պոլիտրոպ պրոցեսի $P_0 = 0$ դեպքում:

3.101. Ենթադրենք՝ գազի սկզբնական վիճակի պարամետրերն են՝ P_0 , V_0 , T_0 : Ունենք երկու պրոցես. առաջինը՝ ադիաբատ,



երկրորդը՝ միացի դանդաղ շարժումով պայմանավորված պրոցես, որի տեսքը պետք է որոշենք: Գազի միջանկյալ վիճակի պարամետրերն առաջին պրոցեսում նշանակենք V -ով և $T_1 = T_0 + \Delta T_1$ -ով, երկրորդ պրոցեսում՝ V -ով և $T_2 = T_0 + \Delta T_2$ -ով: Ըստ խնդրի պայմանի՝ $\Delta T_2 = \Delta T_1 / 2$: Առաջին պրոցեսի համար $T_0 V_0^{\gamma-1} = (T_0 + \Delta T_1) V^{\gamma-1}$: Նկատի ունենալով վերը կատարված նշանակումները և խնդրի պայմանը՝ այստեղից կստանանք պրոցեսի հավասարումը՝ $T = (T_0/2) \left[1 + (V_0/V)^{\gamma-1} \right]$, որից հետևում է, որ պրոցեսը պոլիտրոպ չէ: Գրաֆիկորեն այս պրոցեսը ներկայացվում է մի կորով, որն ընկած է OA իզոթերմի և OB ադիաբատի միջև այնպես, որ $AB = 2AC$ կամ $\Delta T_1 = 2\Delta T_2$ (նկ. 11): Պրոցեսի ջերմունակությունը կորոշենք $C = C_V + P(dV/dT)$ արտահայտությունից՝ նկատի ունենալով, որ $\gamma - 1 = R/C_V$: $C = -C_V / [2(T/T_0) - 1] < 0$: Այստեղից հետևում է, որ տվյալ պրոցեսի ջերմունակությունը հաստատուն մեծություն չէ և կախված է ջերմաստիճանից: Սա ևս վկայում է այն մասին, որ պրոցեսը պոլիտրոպ չէ:

3.102. $dU = C_V dT$: Քանի որ պրոցեսն իզոբար է, վիճակի հավասարումից կստանանք՝ $dT = (P/R)dV$: Հետևաբար $\Delta U = C_V \Delta T = C_V (P/R) \Delta V = 15055$ կՋ:

3.103. Ելնելով պոլիտրոպ պրոցեսի հավասարումից և խնդրի պայմանից՝ կորոշվի պոլիտրոպի գործակիցը՝ $n = 2$: Պրոցեսի հավասարումը կլինի $PV^2 = const$: Գազի զանգվածը կորոշվի Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումից՝ $m = \mu P_1 V_1 / RT_1$:

$n = 2 = \frac{C_p - C}{C_V - C}$ կամ $C = C_V - R$: Պրոցեսի վերջում ջերմաստի-

ճանք՝ $T_2 = \mu P_2 V_2 / mR = T_1 / 2$:

$$\Delta U = \frac{5}{2} R \nu \Delta T = \frac{5 P_1 V_1 (T_2 - T_1)}{2 T_1}: \Delta U = -\frac{5}{4} P_1 V_1: \Delta Q = (m/\mu) C \Delta T =$$

$$(m/\mu) (C_V - R) \Delta T = -(3/4) P_1 V_1:$$

3.104. $TV^{\gamma-1} e^{-(\gamma-1)\alpha T/R} = const$, $\gamma = C_p/C_V$:

3.105. $V^\gamma P e^{\alpha(\gamma-1)/PV} = const$:

3.106. ա) $V e^{-\alpha T/R} = const$, բ) $T e^{R/\beta V} = const$, գ) $V - \gamma T = const$:

3.107. Քանի որ պրոցեսն ադիաբատ է, հետևաբար $P_2 = P_1(V_1/V_2)^\gamma = 32.5 \cdot 10^5$ Պա, $T_2 = T_1(V_1/V_2)^{\gamma-1} = 765$ Կ,

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \frac{P_1 V_1}{(\gamma-1)} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = -2.2 \cdot 10^3 \text{ Ջ:}$$

Օդն ընդունվել է որպես երկատոմ մոլեկուլ, այսինքն՝ ադատության աստիճանների թիվը 5 է:

3.108. Աշխատանքն ադիաբատ պրոցեսում որոշվում է $(A)_Q = \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} \left[1 - (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]$ արտահայտությամբ, իսկ իզոթերմ

պրոցեսում՝ $(A)_T = P_1 V_1 \ln(P_1/P_2)$: $\frac{A_Q}{A_T} = \frac{(P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1}{(\gamma-1) \ln(P_2/P_1)} \approx 1.01$,

$(A)_Q > (A)_T$: Պետք է նշել, որ թույլ սեղմման ժամանակ, երբ սկզբնական և վերջնական ճնշումները շատ քիչ են իրարից տարբերվում, $(A)_Q < (A)_T$:

3.109. Քանի որ $dV = 0$, հետևաբար $\Delta Q = \Delta U = (m/\mu) C_V \Delta T$: Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումից հետևում է, որ $\Delta T = \Delta P V \mu / m R$: $\Delta Q = V \Delta P / (\gamma - 1)$ և $Q_{\max} = 2.3 \cdot 10^4$ Ջ:

3.110. $C = C_V + R/2$:

3.111. Առաջին գազի ստացած տարրական ջերմաքանակը՝ $\delta Q_1 = C_V dT_1 + P_1 dV_1 = C_V dT_1 + R T_1 dV_1 / V_1$, իսկ երկրորդինը՝ $\delta Q_2 = 0$: Այդ պատճառով $C_2 = 0$ և $C_V dT_2 + R T_2 dV_2 / V_2 = 0$: Ճնշումների հավասարությունից հետևում է, որ $V_1/V_2 = T_1/T_2$, այսինքն՝

$$dV_1/V_1 - dV_2/V_2 = dT_1/T_1 - dT_2/T_2:$$

Քանի որ պրոցեսի ընթացքում համակարգի $V_1 + V_2$ ծավալը մնում է անփոփոխ, ուստի $dV_1 + dV_2 = 0$: Հետևաբար

$$\left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} + \frac{R}{C_V V_2} \right) dV_1 = \frac{dT_1}{T_1}:$$

Քանի որ $C_P - C_V = R$, հետևաբար

$$\delta Q_1 = (C_V + R V_2 / (V_2 + \gamma V_1)) dT_1: \text{ Այսինքն՝ } C_1 = C_V \gamma \frac{V_1 + V_2}{V_2 + \gamma V_1}: \text{ Եթե}$$

$V_1 = V_2$, ապա $C_1 = 2\gamma C_V / (\gamma + 1)$: Եթե CD կափարիչը լինի ջերմահաղորդիչ, և վերնի գազի ջերմաստիճանը պահենք հաստատուն, ապա $C_2 = \infty$, իսկ $C_1 = C_V (V_1 + \gamma V_2) / (V_1 + V_2)$:

3.112. Հավասարակշռության դիրքից միացի փոքր շեղումը կխախտի նրա հավասարակշռությունը, քանի որ գլանի յուրաքանչյուր մասում կառաջանա ճնշման ΔP_i փոփոխություն, որոնց գումարով պայմանավորված կլինի այն քվադրատաձևական ուժը, որի ազդեցության տակ տեղի կունենան միացի հետագա տատանումները: Այդ ուժը՝ $F = (P_1 - P_2)S$, որտեղ P_1 -ը և P_2 -ը միացը x չափով տեղաշարժելուց հետո գլանի համապատասխան մասերում ճնշումներն են, իսկ S -ը՝ միացի մակերեսը: Գրենք Նյուտոնի երկրորդ օրենքը՝ $F = m\ddot{x}$, որտեղ m -ը միացի զանգվածն է: Յուրաքանչյուր մասի ծավալի փոփոխությունը կլինի՝ $\Delta V = Sx$, որտեղ x -ը վերցվում է համապատասխան նշանով: Յուրաքանչյուր մասի սկզբնական ծավալը՝ $V = Sl$, որտեղ l -ը գլանի երկարության կեսն է: ΔP_i -ի և $(P_1 - P_2)$ -ի որոշման համար օգտվենք գլանի յուրաքանչյուր մասում գազի վիճակի ադիաբատ փոփոխության պայմանից: Դիֆերենցելով ադիաբատի $PV^\gamma = \text{const}$ հավասարումը՝ կստանանք, որ $dP = -\gamma P dV / V$: Անցնելով վերջավոր փոփոխության՝ կստանանք՝ $\Delta P_1 = P_1 - P_0 = -\gamma P_0 \Delta V_1 / V_0 = -\gamma P_0 x / l$, $\Delta P_2 = P_2 - P_0 = -\gamma P_0 \Delta V_2 / V_0 = \gamma P_0 x / l$:

Այդ դեպքում $F = -2\gamma P_0 Sx / l$: Հետևաբար $m\ddot{x} = -2\gamma P_0 Sx / l$, որտեղից $T = 2\pi \sqrt{ml / 2\gamma P_0 S} = 0.05$ վրկ: Իզոթերմ պրոցեսի դեպքում $T = 2\pi \sqrt{ml / 2P_0 S} = 0.1$ վրկ:

3.113. Բարձր ջերմաստիճաններում թթվածնի մոլեկուլի ազատության աստիճանների թիվը 7 է: Թթվածնի մոլային զանգվածը՝ $\mu = 0.032$ կգ/մոլ: Այդ դեպքում տեսակարար ջերմունակությունը՝ $c_V = C_V / \mu = 7R / 2\mu = 909$ Ջ/(կգ·Կ):

3.114. $U = \text{const} \Rightarrow T = \text{const}$, $C = \infty$:

3.115. $A / Q = (Q - U) / Q = 1 - U / Q = 1 - C_V / C_P$:

3.116. $C_P - C_V = [(\partial U / \partial V)_T + P](\partial V / \partial T)_P$:

3.117. $v_\delta = \sqrt{\gamma P / \rho} = \sqrt{\gamma R T / \mu}$:

3.118. $dv/dT = v/2T$:

3.119. $\Delta v_{\delta} \approx \frac{v_{\delta}}{2T} \Delta T \approx 0.61 \text{ վրկ}:$

3.120. $v_{\delta} \approx 1260 \text{ մ/վ}:$

3.121. $\varepsilon_{\text{հաւ}} \sim mc^2 \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ Ջ}:$

3.122. $v_{\delta} = \sqrt{\gamma P / \rho}$, $\gamma = 1.4$:

3.123. $v_{\delta} = \sqrt{\gamma RT / \mu}$, որտեղ μ -ն միջին մոլային զանգվածն է, γ -ն՝

խառնուրդի ադիաբատի գործակիցը:
$$\mu = \frac{v_1 \mu_1 + v_2 \mu_2 + \dots}{v_1 + v_2 + \dots},$$

$$\gamma = \frac{v_1 C_{p1} + v_2 C_{p2} + \dots}{v_1 C_{v1} + v_2 C_{v2} + \dots}:$$

3.124. $v_{\delta} = \sqrt{1.5 RT / \mu_o} = 300 \text{ կմ/վ}$, որտեղ μ_o -ն թթվածնի ատոմային զանգվածն է:

3.125. $\Delta U = \frac{P V_1}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} - 1 \right] \approx -1900 \text{ Ջ}:$

3.126. $\Delta P = C U^2 / 3V = 3 \cdot 10^5 \text{ Պա}:$

3.127. $A > 0$, $A = \frac{m}{\mu} R T_1 \left[\left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right) - \ln \frac{V_2}{V_1} \right]:$

3.128. Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ պոլիտրոպի գործակիցը՝ $n = -2$, հետևաբար $P \sim T^{2/3}$:

3.129. $C(V) = R \frac{\gamma V_o - (1 + \gamma)V}{(\gamma - 1)(V_o - 2V)}$, $T_{\max} = \frac{P_o V_o}{4R}$: $C(V) = 0$ կետում

նկ. 3.25-ում պատկերված ուղիղը շոշափում է ադիաբատը, իսկ $C(V) = \infty$ դեպքում՝ իզոթերմը:

3.130. ա) $A = (1 - \alpha) R \Delta T$, բ) $C = C_V + R(1 - \alpha)$, $C < 0$, երբ $\alpha > \gamma / (\gamma - 1)$:

3.131. $V T^{(C_V - C_o) / R} e^{-\alpha T / R} = \text{const}:$

3.132. $V T^{C_o / R} e^{\alpha T^2 / 2R} = \text{const}:$

3.133. $V T^{1/(\gamma-1)} e^{-\alpha T^2 / 2R} = \text{const}:$

3.134. $C = C_V + R / \alpha V:$

3.135. $C = C_V + R / (1 + \alpha V):$

3.136. $C = C_V(n - \gamma)/(n - 1) = -4.2 \text{ Ջ/(մոլ} \cdot \text{Կ)}$, որտեղ $n = \ln \beta / \ln \alpha$:

3.137. $A = 2C_V(T_2 - T_0) = 2C_V T_0(2^{(\gamma-1)/2} - 1)$, $C = -C_V$:

3.138. $Q = \frac{2RT_0}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_0}{V_0 - hS} \right)^\gamma - 1 \right]$:

3.139. $\Delta U = 3 \frac{m}{\mu} RT_1(20^{\gamma-1} - 1)$, $A = -\Delta U$:

3.140. $\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{R}{(\gamma - 1)} \Delta T$, որտեղ $\mu = \frac{\nu_1 \mu_1 + \nu_2 \mu_2}{\nu_1 + \nu_2}$ -ը խառնուրդի

մոլային զանգվածն է, իսկ $\gamma = \frac{\nu_1 C_{P1} + \nu_2 C_{P2}}{\nu_1 C_{V1} + \nu_2 C_{V2}}$ -ը՝ խառնուրդի ադիա-

բատի ցուցիչը:

3.141. Քանի որ պրոցեսը կարելի է համարել իզոթերմ, հետևաբար $P_0 V_0 = P_1 V_1$, որտեղ $V_1 - V_0 = Sh$: Աշխատանքը՝

$$A = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} = RT_0 \ln \left(1 + \frac{P_0}{RT_0} Sh \right) :$$

3.142. $C = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$, $Q = mk \int_{T_1}^{T_2} T^3 dT = \frac{mk}{4} (T_2^4 - T_1^4)$:

3.143. Ընդունենք, որ $h, h + dh$ տիրույթում գտնվող գլանային ծավալը համասեռ է: Նրա ներքին և պտտենցիալ էներգիաները համապատասխանաբար կլինեն $\rho(h)Su(T)dh$ և $\rho(h)Sghdh$, որտեղ $u(T)$ -ն որպես իդեալական գազ դիտարկվող օդի միավոր զանգվածի ներքին էներգիան է, S -ը՝ գլանի հատույթի մակերեսը: $h, h + dh$ տիրույթում գտնվող շերտի լրիվ էներգիան կլինի $S[u(T) + gh]\rho(h)dh$: $h = 0$ -ից մինչև $h = \infty$ գլանային ծավալի լրիվ էներգիան կլինի՝ $E(T) = S \int_0^\infty [u(T) + gh]\rho(h)dh$: $\rho(h) = \rho_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}$:

Գլանային ծավալում օդի զանգվածը՝ $M = \int_0^\infty \rho(h)Sdh = \rho_0 S \int_0^\infty e^{-\frac{\mu gh}{RT}} dh$
 $= \frac{\rho_0 SRT}{\mu g}$: $S\rho_0 = \frac{M\mu g}{RT}$: $S\rho(h) = \frac{M\mu g}{RT} e^{-\frac{\mu gh}{RT}}$: $E(T)$ -ի արտահայտու-

թյունը մասերով ինտեգրելուց հետո կստանանք՝

$$E(T) = M \left[u(T) + \frac{RT}{\mu} \right]:$$

$$C = \frac{dE(T)}{dT} = M \left(\frac{du}{dT} + \frac{R}{\mu} \right) = M \left(c_V + \frac{R}{\mu} \right): c_p = c_V + \frac{R}{\mu}, C = Mc_p:$$

$$\textbf{3.144. } \chi_{\omega\eta} = -\frac{1}{\gamma P}, \chi_T = -\frac{1}{P}: \chi_{\omega\eta} = \frac{C_V}{C_P} \chi_T:$$

$$\textbf{3.145. } P = P(V, T), dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T dV: \text{Հաստատուն ծա-}$$

վալի դեպքում ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը՝ $\alpha_p = (\partial P / \partial T)_V / P$: Հաստատուն ճնշման դեպքում ջերմային ընդարձակման գործակիցը՝ $\alpha_V = (\partial V / \partial T)_P / V$: Իզոթերմ առաձգականության ծավալային մոդուլը՝ $k = -V(\partial P / \partial V)_T$: $dP = P\alpha_p dT - k dV / V$: $dp = 0$, որից ստացվում է՝ $(\partial V / \partial T)_P = VP\alpha_p / K$: Հետևաբար $k\alpha_V = P\alpha_p$: $dp = k \left(\alpha_V dT - \frac{dV}{V} \right)$:

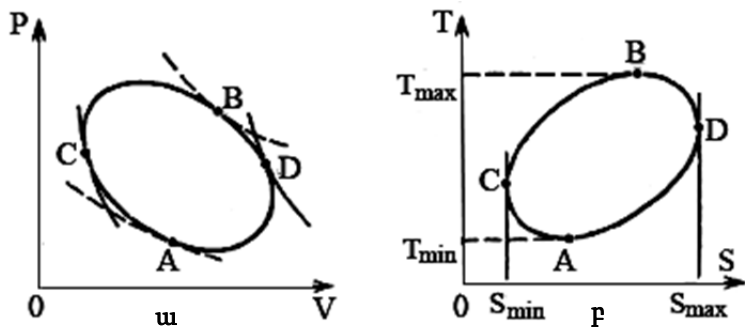
IV. Ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքը: Էնտրոպիա: Շրջանային պրոցեսներ

$$\textbf{4.31. } \text{Աճում է: } \Delta S = R \ln V_2 / V_1:$$

$$\textbf{4.34. } dU = TdS - PdV \Rightarrow \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T - P: \text{Ազատ էներգիայի}$$

համար $dF = -SdT - PdV$: Քանի որ այն լրիվ դիֆերենցիալ է, հետևաբար $\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$, $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P$:

4.35. Մակերեսները հավասար են, և $A = Q$: A -ն ցիկլի ընթացքում բանոդ մարմնի կատարած աշխատանքն է, Q -ն՝ ցիկլի ընթացքում բանոդ մարմնի ստացած ջերմաքանակների հանրահաշվական գումարը: Կետագիծ շոշափողները իզոթերմներ են, անընդհատ շոշափողները՝ իզոէնտրոպիկ (ադիաբատ): Տե՛ս նկ. 12:



Նկ. 12

4.36. Սառնարան:

4.37.
$$\eta = \frac{(T_1 - T_2)\pi / 2}{T_1 + T_2 + (T_1 - T_2)\pi / 4}$$
 կամ $\Delta S_{\text{սառնարան}}$

$$\eta = 1 - \frac{[T_2 + f(T_1; T_2)]}{[T_1 - f(T_1; T_2)]}, \text{ որտեղ } f(T_1; T_2) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) (T_1 - T_2):$$

4.38. Ոչ, իսկ որպես օրինակ կարելի է դիտարկել նախորդ խնդիրը:

4.39. $\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S_3$: Էնտրոպիան վիճակի ֆունկցիա է:

4.40. $\omega \propto \Omega$, $\frac{\omega_2}{\omega_1} = e^{\frac{\Delta S}{k}}$:

4.41. (T, S) դիագրամում ադիաբատը և իզոթերմը փոխուղղահայաց ուղիղներ են:

4.42. $C_v = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v$, $C_p = T \left[\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v + \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T \left(\frac{\partial f}{\partial T} \right)_p \right]$:

4.43. $S(V, T) = \int_0^T \frac{C_v(T') dT'}{T'} + S_0$, որտեղ S_0 -ն հաստատուն է, որը

կախված չէ վիճակի մակրոսկոպական պարամետրերից, էնտրոպիայի արժեքն է $T = 0$ դեպքում:

4.44. Այն կմեծանա $\exp(\Delta Q / kT)$ անգամ:

4.45. Համակարգը քիչ հավանական վիճակներից կանցնի ավելի հավանական վիճակների, իսկ էնտրոպիան կաճի (տե՛ս նկ. 13):

4.46. Տե՛ս նկ. 14:

4.47. Երեք: Օրինակ՝ (N, U, V) կամ (p, V, T) և այլն: Լրացուցիչ անհրաժեշտ է յուրաքանչյուր տեսակի մասնիկների հարաբերական թիվը՝ $N_1 / N, N_2 / N, \dots$:

4.48. $S = N f_1(p, T), \quad S = N f_2(V/N, T), \quad S = N f_3(V/N, U/N)$, որտեղ f_1, f_2, f_3 ֆունկցիաների կոնկրետ տեսքը որոշվում է դիտարկվող համակարգի հատկություններից:

4.49. Կոնեծանա $\Omega^{\eta-1}$ անգամ:

4.50. 2 ջերուցիչ՝ T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով, 3 սառնարան՝ T_4 , T_5 և T_3 ջերմաստիճաններով:

4.51. Այո, ընդհանրապես անհրաժեշտ են անվերջ թվով ջերուցիչներ և սառնարաններ:

4.52. Մթնոլորտը:

4.53. Դրանք իրար հավասար են:

4.54. $\int_{S_1}^{S_2} T dS = Q$, որը համակարգի ստացած ջերմաքանակն է 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակին անցնելիս:

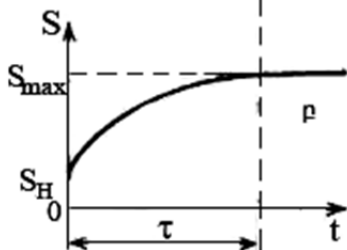
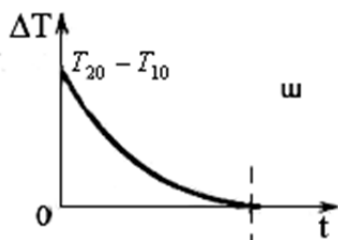
վիճակից 2-րդ վիճակին անցնելիս:

4.55. $S(V, T) = \nu R \ln \left(\frac{V}{\nu} \right) + \nu C_V \ln T + \nu S_0$,

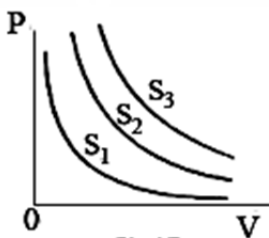
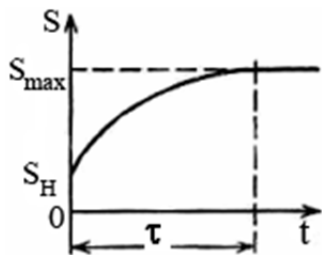
$$S(p, T) = -\nu R \ln p + \nu C_p \ln T + \nu S'_0,$$

$$S(p, V) = \nu C_p \ln V + \nu C_V \ln p + \nu S''_0 = \nu C_V \ln(PV^\gamma) + \nu S''_0:$$

4.56. Տե՛ս նկ. 15:



Աղ. 14.



Աղ. 15

4.57. Արդյունավետ է փոքրացնել սառնարանի ջերմաստիճանը:

4.58. $Q_2 = \frac{1-\eta}{\eta} A = 15 \text{ կՋ}:$

4.59. $Q_1 = \frac{RT_1}{\gamma-1} \ln \frac{T_2 V_3^{\gamma-1}}{T_1 V_1^{\gamma-1}} = 6042 \text{ Ջ}, \quad Q_2 = \frac{RT_2}{\gamma-1} \ln \frac{T_2 V_3^{\gamma-1}}{T_1 V_1^{\gamma-1}} = 4532 \text{ Ջ},$

$A = Q_1 - Q_2 = 1510 \text{ Ջ}:$

4.60. $A = Q_2 (T_1 - T_2) / T_2 = 24 \text{ Ջ}:$

4.61. $\eta = (T_2 - T_1) \left(T_2 + \frac{C_p}{R} \frac{T_2 - T_1}{\ln(P_1 / P_3)} \right)^{-1}$, որտեղ $T_2 > T_1, P_1 > P_3$:

4.62. $\eta = \frac{(\gamma-1)(T_1 - T_2) \ln(V_1 / V_2)}{(\gamma-1)T_1 \ln(V_1 / V_2) + (T_1 - T_2)}$, որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$:

4.63. $A_{12} = R(T_2 - T_1), \quad Q_{12} = C_p(T_2 - T_1),$

$A_{23} = 0, \quad Q_{23} = C_v(T_1 - T_2) < 0,$

$A_{31} = Q_{31} = RT_1 \ln(V_1 / V_2) = RT_1 \ln(T_1 / T_2) < 0,$

$\eta = \frac{R(T_2 - T_1) + RT_1 \ln(T_1 / T_2)}{C_p(T_2 - T_1)}:$

$$\underline{4.64.} \quad Q_{12} = C_v(T_2 - T_1), \quad Q_{23} = 0, \quad Q_{31} = C_v T_1 \ln(T_1 / T_2),$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2 - T_1} \ln(T_2 / T_1):$$

$$\underline{4.65.} \quad \eta = 1 - \frac{(C_p + C_v)(T_1 - T_2)}{2 \left[C_v (\sqrt{T_1 T_2} - T_2) + C_p (T_1 - \sqrt{T_1 T_2}) \right]};$$

$$Q_{12} = \frac{C_p + C_v}{2} (T_2 - T_1); \quad Q_{23} = C_v (\sqrt{T_1 T_2} - T_2);$$

$$Q_{31} = C_v (T_1 - \sqrt{T_1 T_2}):$$

$$\underline{4.66.} \quad \eta = 1 - T_2 / T_1:$$

$$\underline{4.67.} \quad A_{12} = Q_{12} = R T_1 \ln(V_2 / V_1); \quad A_{23} = (C_v - C_0)(T_1 - T_2);$$

$$Q_{23} = C_0(T_2 - T_1); \quad A_{34} = Q_{34} = -R T_2 \ln(V_3 / V_4);$$

$$A_{41} = (C_v - C_0)(T_2 - T_1); \quad Q_{41} = C_0(T_1 - T_2);$$

$$\eta = \frac{R(T_1 - T_2) \ln(V_2 / V_1)}{R T_1 \ln(V_2 / V_1) + C_0(T_1 - T_2)}:$$

$$\underline{4.68.} \quad \eta = 13\%:$$

$$\underline{4.69.} \quad \eta = 25\%:$$

$$\underline{4.70.} \quad \eta \approx 50\%:$$

$$\underline{4.71.} \quad \eta = 1 - \frac{2\gamma}{\gamma + 1} \left[(P_2 / P_1)^{(\gamma+1)/\gamma} - 1 \right] \left[(P_2 / P_1)^2 - 1 \right]^{-1} = 0.15:$$

$$\underline{4.72.} \quad \eta = (3 - 2 \ln 2) / 9 = 0.18:$$

4.73. $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$, որտեղ ΔS_1 -ը, ΔS_2 -ը և ΔS_3 -ը համապատասխանաբար պղնձի, ջրի և ալյումինի էնտրոպիայի փոփոխություններն են:

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ_1}{T} + \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ_2}{T} + \int_{T_2}^{T_3} \frac{dQ}{T}: \quad dQ_1 = c_1 m_1 dT,$$

$$dQ_2 = c_2 m_2 dT, \quad dQ_3 = c_3 m_3 dT: \quad m_1\text{-ը, } m_2\text{-ը և } m_3\text{-ը համապատասխանաբար պղնձի, ջրի և ալյումինի զանգվածներն են, } c_1\text{-ը, } c_2\text{-ը և } c_3\text{-ը՝ տեսակարար ջերմունակությունները: Ջերմային հաշվեկշռի հավասարումից հետևում է, որ}$$

$$T_3 = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_1 + m_3 c_3 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3} = 291.85 \text{ Կ:}$$

$$\Delta S = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \ln T_3 / T_1 + c_3 m_3 \ln T_3 / T_2 = 57.3 \text{ Ջ/Կ:}$$

4.74. Ջերմային մեքենայի կատարած աշխատանքը՝ $A = Q_1 - Q_2$, որտեղ Q_1 -ը ջեռուցիչից ստացված ջերմաքանակն է, իսկ Q_2 -ը՝ սառնարանին հաղորդվածը:

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad 1 \rightarrow 2 \text{ անցման ժամանակ (իզոթերմ ընդարձակում):}$$

$$Q_2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad 3 \rightarrow 4 \text{ անցման ժամանակ (իզոթերմ սեղմում):}$$

$$\text{Մեկ ցիկլի աշխատանքը՝ } A = \frac{m}{\mu} R \left(T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \right): \text{ Վիճակի}$$

հավասարումից կարող ենք որոշել 1-ին և 3-րդ վիճակների ծավալները՝ $V_1 = 0.5 \text{ մ}^3$ և $V_3 = 19.8 \text{ մ}^3$: Օգտվելով Պուասոնի հավասարումից՝ $T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$ և $T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$, կորոշենք 2-րդ և 4-րդ վիճակների ծավալները՝ $V_2 = 3.5 \text{ մ}^3$ և $V_4 = 2.83 \text{ մ}^3$: Հետևաբար աշխատանքը՝ $A = 1020.8 \text{ կՋ}$: $2 \rightarrow 3$ և $4 \rightarrow 1$ անցումներն իզոէնտրոպիկ են: Ջեռուցիչի էնտրոպիայի փոփոխությունը մոդուլով հավասար է և նշանով հակառակ $1 \rightarrow 2$ իզոթերմ անցման ժամանակ գազի էնտրոպիայի փոփոխությանը՝ $\Delta S_1 = -\frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}$: Սառնարա-

$$\text{նի էնտրոպիայի փոփոխությունը՝ } \Delta S_2 = -\frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_4}{V_3}: \text{ Մոդուլով}$$

$$\text{դրանք հավասար են՝ } \Delta S_1 = \Delta S_2 = 4043.6 \text{ Ջ/Կ: } \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.5:$$

4.75. Քարի անկումը ոչ դարձելի պրոցես է: Ըստ խնդրի պայմանի՝ ջերմաստիճանը, հետևաբար նաև ներքին էներգիան մնում են անփոփոխ՝ $\Delta U = 0$: Աշխատանքը հավասար է քար-Երկիր համակարգի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը: Ըստ ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքի՝ $\Delta Q = \Delta U + A$, $\Delta Q = T \Delta S$: $A = \Delta E = mgH$: $\Delta S = mgH / T = 3.34 \text{ Ջ/Կ:}$

4.76. $\Delta U = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T$, թթվածնի համար $\mu = 32$ գ/մոլ, $C_V = \frac{5}{2} R$:

$\Delta Q = \frac{m}{\mu} C \Delta T$, որտեղ C -ն տվյալ պրոցեսում գազի մոլային ջերմունակությունն է: $C = \mu c$, որտեղ c -ն գազի տեսակաբար ջերմունակությունն է: Հետևաբար $\Delta Q = mc \Delta T$: Այստեղից $\Delta T = -83.3$ Կ,

իսկ $\Delta U = -216.3$ կՋ: $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{CdT}{T} = C \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T}$, $\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$:

$T_2 = T_1 + \Delta T = 266.7$ Կ, $\Delta S = 326$ Ջ, $A = \Delta Q - \Delta U = 316.3$ կՋ:

4.77. $\delta Q = dU + PdV$, $TdS = \delta Q$, $TdS = dU + PdV$: Քանի որ պրոցեսն իզոթերմ է, հետևաբար $dU = 0$: PdV -ն մթնոլորտային օդի դուրսմղման վրա ծախսված աշխատանքն է, իսկ TdS -ը՝ իզոթերմ ընդարձակման ժամանակ արտաքին միջավայրից ստացված էներգիան: Լրիվ աշխատանքի համար կարող ենք գրել՝

$\delta A = TdS - PdV$ կամ $\Delta A = T\Delta S - P\Delta V$: $\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{P_1}{P_2}$:

$m = \frac{P_1 V_1 \mu}{RT_1}$: $\Delta S = \frac{P_1 V_1}{T_1} \ln \frac{P_1}{P_2}$: $V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = 25$ մ³, $\Delta V = 24.5$ մ³:

$A = T\Delta S - P\Delta V = 8245$ կՋ:

4.78. Միջնորմը հեռացնելը չի փոխում գազի էներգիան, սակայն մեծացնում է յուրաքանչյուր մոլեկուլին հասանելի ծավալը V_0/V_1 անգամ: Մոլեկուլին հասանելի վիճակների թիվը համեմատական է անոթի ծավալին, այդ պատճառով մեկ մոլեկուլին հասանելի վիճակների թիվը մեծանում է V_0/V_1 անգամ: Քանի որ անոթում կա N մոլեկուլ, հետևաբար բոլոր մոլեկուլներին հասանելի վիճակների թիվը կմեծանա $(V_0/V_1)^N$ անգամ: Վերջնական և սկզբնական հասանելի վիճակների թվերը կապված են $\Omega_0 = (V_0/V_1)^N \Omega_1$ առնչությամբ: $S = k \ln \Omega$:

$\Delta S = S_0 - S_1 = k(\ln \Omega_0 - \ln \Omega_1) = k \ln \frac{\Omega_0}{\Omega_1}$ կամ $\Delta S = kN \ln(V_0/V_1)$:

$(V_0/V_1) = 3/2$, $\Delta S = kN \ln(3/2)$, $N = \nu N_0$, որտեղ ν -ն մոլերի թիվն է, N_0 -ն՝ Ավոգադրոյի թիվը: Այսպիսով՝ միջնորմը հեռացնելը ոչ

դարձելի պրոցեսի օրինակ է: Այն հանգեցնում է հասանելի վիճակների թվի, հետևաբար նաև էնտրոպիայի մեծացմանը:

4.79. $\eta_1 = 0.4$, $\eta_2 = 0.5$, $\eta_1/\eta_2 = 0.8$:

4.80. $T_1 = 600$ Կ, $V_1 = 0.018$ մ³, $P_1 = 95.5 \cdot 10^5$ Պա: $T_2 = 600$ Կ, $V_2 = 0.86$ մ³, $P_2 = 2 \cdot 10^5$ Պա: $T_3 = 200$ Կ, $V_3 = 13.37$ մ³, $P_3 = 4.29 \cdot 10^3$ Պա: $T_4 = 200$ Կ, $V_4 = 0.287$ մ³, $P_4 = 2 \cdot 10^5$ Պա:

$$A = \frac{m}{\mu} R \left(T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \right), A = 441 \text{ կՋ:}$$

4.81. $A = 140$ Ջ:

4.82. $n = 1/3$:

4.83. $T_1/T_2 = 3/2$:

4.84. $\eta_1 = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 + \frac{C_P(T_1 - T_2)}{R \ln P_1/P_2}}$, $\eta_0 = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$: $\eta_0 > \eta_1$:

4.85. $\eta_1 = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1 + \frac{C_V(T_1 - T_2)}{R \ln V_2/V_1}}$, $\eta_0 = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$: $\eta_0 > \eta_1$:

4.86. $N = 4.1$ կՎտ:

4.87. $T = 5T_0/6 = 244.1$ Կ:

4.88. $A_{\max} = cm_1(T_1 - T) - qm_2 = 61.8$ Ջ:

$T = T_1 \exp\left(-\frac{m_2 q}{cm_1 T_2}\right) = 279$ Կ, որտեղ C -ն ջրի տեսակարար ջերմու-

նակությունն է:

4.89. $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$, $C_P \int_1^2 \frac{dT}{T} + C_V \int_2^3 \frac{dT}{T} + C_P \int_3^4 \frac{dT}{T} + C_V \int_4^1 \frac{dT}{T} = 0$:

$(C_P - C_V) \ln \frac{T_2 T_4}{T_1 T_3} = 0$: $T_2 T_4 = T_1 T_3$:

4.90. $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$, $C_P \int_1^2 \frac{dT}{T} + C_V \int_2^3 \frac{dT}{T} = 0$: $\ln[(T_2/T_1)^\gamma / (T_2/T_3)] = 0$:

$T_2/T_3 = (T_2/T_1)^\gamma$:

4.91. $A = C[T_1 \ln(T_1/T_3) - (T_1 - T_3)]:$

4.92. $\eta = (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2) :$

4.93. $\eta = (T_1 - T_2) / 2T_1 :$

4.94. $A = Q_1 (T_1 - T_2) / T_1 :$

4.95.
$$\eta = \frac{(\gamma - 1) \left[\frac{T_1}{T_3} \ln \frac{T_1}{T_3} - \left(\frac{T_1}{T_3} - 1 \right) \right]}{(\gamma - 1) \frac{T_1}{T_3} \ln \frac{T_1}{T_3} + \left(\frac{T_1}{T_3} - 1 \right)} \approx \frac{(\gamma - 1)(a - 1)}{(\gamma - 1)a + 1} \approx 0.024 :$$

4.96. $\eta = 1 - \frac{\alpha - 1}{\alpha \ln \alpha} :$

4.97. $\eta = 1 - 2C_1 / (C_1 + C_2) = 3 / 7 \approx 0.43 :$

4.98. $Q_{CA} = -A \frac{T_A + T_C}{T_B - T_C} = -700 \text{ Ջ} :$

4.99. $\eta = 1 - \ln 2 :$

4.100. Դիցուք՝ իզոթերմի բոլոր կետերում $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = 0 \Rightarrow$

$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = 0, dU = \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dV = -PdV, \delta Q = dU + PdV = 0 \Rightarrow$

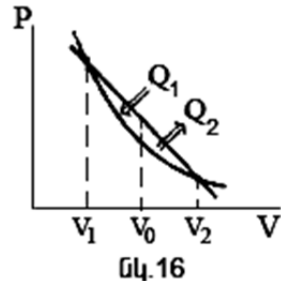
իզոթերմը բոլոր կետերում պետք է համընկնի ադիաբատի հետ:

4.102. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ցիկլը ներկայացնում է ջերմային մեքենա, որի ՕԳԳ-ն՝

$\eta = \oint \frac{PdV}{Q_1},$ որտեղ Q_1 -ը բանող մարմնի

ստացած ջերմաքանակն է ցիկլի ընթացքում: Քանի որ $2 \rightarrow 1$ -ը ադիաբատ է, հետևաբար $1 \rightarrow 2$ տեղամասում, որի համար $P(V) = a + bV$, բանող մարմինը պետք է

ինչպես ստանա, այնպես էլ տա ջերմաքանակ: Այսպիսով՝ գոյություն ունի մի V_0 ծավալ, որը գտնվում է V_1 -ից V_2 միջակայքում, այնպես որ $dQ_{12}(V_0) = C_V dT + p dV = 0$ (տե՛ս նկ. 16): Իդեալական գազի



վիճակի հավասարումից հետևում է, որ $T = T(V) = \frac{(a + bV)V}{R} \Rightarrow$

$$dT = \frac{(a + 2bV)dV}{R} : \text{Այդ դեպքում}$$

$$dQ_{12}(V) = \left[\frac{C_V}{R}(a + 2bV_0) + p \right] dV = \left[\frac{C_V}{R}(a + 2bV_0) + (a + bV_0) \right] dV :$$

Այստեղից հետևում է, որ $V_0 = -\gamma a / (\gamma + 1)b$: Ջերմաքանակի աճի

վերլուծությունից պարզ է, որ $\begin{cases} dQ > 0, & V < V_0 \\ dQ < 0, & V > V_0 \end{cases}$: Ցիկլի ընթացքում կատարված աշխատանքը կլինի՝

$$\int p dV = \int_{V_1}^{V_2} (a + bV) dV + \int_{V_2}^{V_1} p dV = a(V_2 - V_1) + \frac{b}{2}(V_2^2 - V_1^2) - C_V(T_1 - T_2) :$$

$$\text{Գլանված ջերմաքանակը՝ } Q_1 = \int_{V_1}^{V_0} dQ_{12} = \frac{V_0 - V_1}{\gamma - 1} \left[a\gamma + \frac{b}{2}(\gamma + 1)(V_0 + V_1) \right] :$$

$$\eta = \frac{a(V_2 - V_1) + \frac{b}{2}(V_2^2 - V_1^2) - C_V(T_1 - T_2)}{(V_0 - V_1) \left[a\gamma + \frac{b}{2}(\gamma + 1)(V_0 + V_1) \right]} (\gamma - 1), \text{ որտեղ } a \text{-ի և } b \text{-ի}$$

արժեքները որոշվում են տրված պարամետրերից՝

$$a = R \frac{T_1 V_2^2 - T_2 V_1^2}{V_1 V_2 (V_2 - V_1)}, \quad b = R \frac{T_2 V_1 - T_1 V_2}{V_1 V_2 (V_2 - V_1)} : T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} :$$

4.103. $A = \nu q \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) + \nu C_q \left(T \ln \frac{T}{T_0} - T + T_0 \right)$, որտեղ q -ն սառույ-

ցի հալման մոլային ջերմաքանակն է, C_q -ն՝ ջրի մոլային ջերմունա-

կությունը:
4.104. $S \approx 0.023R$, որտեղ S -ը 1 կգ սառույց ստանալու գինն է, R -ը՝ 1 կՎտ·ժ-ի ընթացիկ արժեքը:

4.105. $A = (C_1 T_{10} + C_2 T_{20}) - (C_1 + C_2)T$, $T^{C_1+C_2} = T_{10}^{C_1} T_{20}^{C_2}$: Առավելագույն աշխատանք կատարվի այն դեպքում, երբ մեքենան աշխատի հաջորդաբար կրկնվող անվերջ փոքր Կառնոյի ցիկլերով: Դիցուք՝ այդպիսի մեկ ցիկլի արդյունքում 1-ին մարմինը տվել է $\delta Q_1 = -C_1 dT_1$ ջերմաքանակ, իսկ 2-րդը՝ $\delta Q_2 = -C_2 dT_2$: Կատար-

ված աշխատանքը՝ $\delta A = \delta Q_1 + \delta Q_2$: Բնչպես հայտնի է, $\frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = 0$ կամ $\frac{C_1 dT_1}{T_1} + \frac{C_2 dT_2}{T_2} = 0$: Հաշվի առնելով սկզբնական պայմանները և ինտեգրելով վերջինս՝ կստանանք, որ $T_1^{C_1} T_2^{C_2} = T_{10}^{C_1} T_{20}^{C_2}$: Վերջնական T ջերմաստիճանը որոշվում է $T_1 = T_2 = T$ պայմանից, հետևաբար $T^{C_1+C_2} = T_{10}^{C_1} T_{20}^{C_2}$: Առավելագույն աշխատանքը, որը կարող է կատարել համակարգը, $A = \int \delta A = -C_1 \int_{T_{10}}^T dT - C_2 \int_{T_{20}}^T dT = (C_1 T_{10} + C_2 T_{20}) - (C_1 + C_2)T$: Այն հավասար է համակարգի ներքին էներգիայի նվազմանը:

4.106. $\Delta U = \frac{5}{2} P_1 V_1 (V_1 / V_2 - 1) = -500$ Ջ,

$Q = \frac{3}{2} P_1 V_1 (V_1 / V_2 - 1) = -300$ Ջ, $\Delta S = -3 P_1 V_1 \ln(V_2 / V_1) / 2 T_1 = -0.83$ Ջ/Կ:

4.107. $\Delta S = \frac{M}{\mu} R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$, որտեղ μ -ն գազի մոլային զանգվածն է:

4.108. $\Delta S = M [a \ln(T_2 / T_1) + b(T_2 - T_1)] = 2$ կՋ/Կ:

4.109. $T = T_0 \exp\{(S - S_0) / C\}$:

4.110. ա) $C = -\alpha / T$,

բ) $Q = a \ln T_1 / T_2$,

գ) $A = a \ln T_1 / T_2 + C_V (T_1 - T_2)$:

4.111. $\Delta U = \frac{(2^{\gamma-1} - 1) R T_0}{\gamma - 1}$, $\Delta S = R \ln 2$:

4.112. $S = \frac{\nu R}{\gamma - 1} - \frac{\Delta F}{T(\gamma^{\gamma-1} - 1)} = 0.2$ կՋ/Կ:

4.113. $dF = -SdT - PdV$, $dF = \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_T dV$:

4.114. $W = \frac{N!}{n_1! n_2! (N - n_1 - n_2)!}$: $W_1 = 504$, $W_2 = 72$, $W_3 = 1680$,

$W_4 = 126$, $W_5 = 1260$:

4.115. $W_1 = 369600, W_2 = 207900, W_3 = 55440, W_4 = 33264:$

4.116. $P = 1/2^N:$

4.117. $\Omega_{\text{հալ}} = N! \left[(N/2)! \right]^{-2} = 252: P_{N/2} = \Omega \cdot 2^{-N} = 24.6\%:$

4.118. $P_n = \frac{N!}{n!(N-n)!} P^n (1-P)^{N-n},$ որտեղ $P = V/V_0:$

4.119. $\Omega/\Omega_0 = \left(1 + \Delta T/T_0\right)^{\frac{iN_A}{2}}$ անգամ կմեծանա:

4.120. $m_1 = m_2 = m:$ Խառնուրդի ջերմաստիճանը՝ $T = (T_1 + T_2)/2,$

հետևաբար $\Delta S = \int_{T_1}^T \frac{cm dT}{T} + \int_{T_2}^T \frac{cm dT}{T} = cm \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2}:$

$(T_1 + T_2)^2 > 4T_1 T_2: T_1 \neq T_2$ դեպքում $\Delta S > 0:$

4.121. $\Delta S = k\Delta l^2 / 2T = 0.2 \text{ Ջ/Կ}:$

4.122. $\nu_1 = \nu_2 = \nu, \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \nu R \ln \frac{(V_1 + V_2)^2}{V_1 V_2} = 6.34 \text{ Ջ/Կ}:$

4.123. Հնարավոր է երկու դեպք. 1) Անոթների համան հետևանքով հավասարվում են ջերմաստիճանները, այսինքն՝ գազերը չեն խառնվում: $\Delta S = C_V \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2}:$ 2) Անոթները հաղորդակցվում են,

և գազերը խառնվում են: $\Delta S = C_V \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} + R \ln \frac{(V_1 + V_2)^2}{V_1 V_2}:$

4.124. $dS = \nu C \frac{dT}{T}, \Delta S = \nu C \ln \frac{T_2}{T_1}, \nu C = \Delta S \ln \frac{T_1}{T_2}:$

$$n = \frac{\nu C_p - \nu C}{\nu C_V - \nu C} = \frac{\nu C_p + \Delta S \ln \frac{T_2}{T_1}}{\nu C_V + \Delta S \ln \frac{T_2}{T_1}} = 1.38:$$

4.125. Քանի որ պրոցեսը պոլիտրոպ է, $Q = \nu C(T_2 - T_1), dS = \nu C \frac{dT}{T}$

, $\Delta S = \nu C \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1} = 338.6 \text{ Ջ/Կ}:$

Լուծման 2-րդ եղանակ:
$$dS = \frac{m}{\mu} C_p \frac{dT}{T} - \frac{m}{\mu} R \frac{dP}{P},$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \left(C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right): \quad P_2 = P_1 (T_2 / T_1)^{n/(n-1)}: \quad \text{Պոլիտրոպի}$$

ցուցիչը կորոշվի $Q = \frac{m}{\mu} C_V \frac{n-\gamma}{n-1} (T_2 - T_1)$ արտահայտությունից:

4.126. $\Delta S = 267.3 \text{ Ջ/Կ:}$

4.127. $\Delta S = m_1 c_1 \ln(T / T_1) + m_2 c_2 \ln(T / T_2) = 4.7 \text{ Ջ/Կ,}$ որտեղ

$$T = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \approx 300 \text{ Կ: } c_1 \text{-ը և } c_2 \text{-ը համապատասխանաբար}$$

պղնձի և ջրի տեսակարար ջերմունակություններն են:

4.128. $V_m = \frac{\gamma P_0}{\alpha(1+\gamma)}:$

4.129. $T = T_0 + R \ln(V / V_0) / \alpha:$

4.130. $S = aT^3 / 3:$

4.131. $C = S / n:$

4.132. Ոչ դարձելի ընդարձակումից հետո ճնշումը մեծ կլինի:

4.133. $\Delta S = \frac{5}{2} R \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} + 2R \ln 2:$

4.134. $\Delta S = R \ln \frac{(P_1 + P_2)^2}{4P_1 P_2} + 2R \ln 2:$

4.135. $\Delta S = \frac{5}{2} k \ln \frac{7}{5} - k \ln 2 \approx 0.21 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ/Կ:}$

4.136. $\Delta S = C \ln(T_2 / T_1):$

4.137. $\Delta S = -R \ln 2 / 2 \approx -2.9 \text{ Ջ/Կ:}$

4.138. $\Delta S = 2R \ln 2 \approx 11.5 \text{ Ջ/Կ:}$

4.139. $T = \frac{\Delta E}{k \ln 1.1} = 7603 \text{ Կ:}$ Ենթադրվում է, որ կլանման ընթաց-
քում $T = \text{const:}$

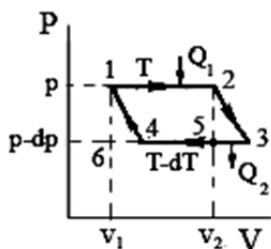
4.140. Գառնոյի ցիկլը պատկերենք (P, V) կոորդինատներով: Հա-
գեցած գոլորշու համար $P = P(T)$, այդ պատճառով իզոթերմը միա-
ժամանակ կլինի նաև իզոբար (նկ. 17): Ենթադրենք՝ $1 \rightarrow 2$ իզոթերմ

անցման ժամանակ գոլորշու է վերածվել $m=1$ կգ հեղուկ, այդ դեպքում կլանված ջերմությունը՝ $Q_1 = \lambda m$, որտեղ λ -ն գոլորշացման տեսակարար ջերմությունն է: $2 \rightarrow 3$ աղիաբատ անցման ժամանակ ճնշումն ու ջերմաստիճանը նվազում են համապատասխանաբար dp -ով և dT -ով: $3 \rightarrow 4$ իզոթերմ սեղմման ժամանակ սառնարանին հաղորդվում է Q_2 ջերմաքանակ: $4 \rightarrow 1$ աղիաբատ սեղմման ժամանակ ջերմաստիճանը և ճնշումը նորից ընդունում են T և P արժեքները: Ցիկլի ժամանակ կատարված աշխատանքը որոշվում է 1-2-3-4 պատկերի մակերեսով: Մեծ սխալ թույլ չենք տա, եթե այդ պատկերը փոխարինենք 1-2-5-6 պատկերով, որի մակերեսը կլինի $(V_2 - V_1)dp$, որտեղ $V_2 - V_1$ -ը հեղուկի և գազի տեսակարար ծավալների տարբերությունն է: Կիրառելով տվյալ ցիկլի նկատմամբ Կառնոյի թեորեմը՝ կստանանք՝ $\frac{A}{Q_1} = \frac{dT}{T}$ կամ $\frac{(V_2 - V_1)dp}{\lambda} = \frac{dT}{T}$:

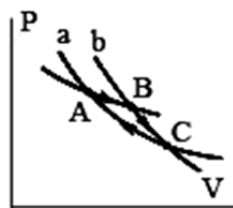
Այստեղից $\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{(V_2 - V_1)T}$: Ստացված արտահայտությունն անվա-

նում են Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարում:

4.141. Ենթադրենք՝ a և b աղիաբատները հատվել են C կետում (նկ. 18): Քանի որ իզոթերմի թեքությունը փոքր է աղիաբատի թեքությունից, հետևաբար միշտ գոյություն ունի իզոթերմ, որը կհատի այդ աղիաբատները, օրինակ՝ A և B կետերում: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ շրջանային պրոցեսը ներկայացնում է ցիկլ, որի ընթացքում համակարգը ջեռուցիչից Q ջերմաքանակ ստանում է միայն $A \rightarrow B$ պրոցեսում: Ցիկլի ընթացքում համակարգի կողմից կատարված A աշխատանքը որոշվում է ABC պատկերի մակերեսով և դրական է: Համաձայն ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքի՝ $A = Q$, այսինքն՝ ջեռուցիչից ստացված ջերմությունն ամբողջությամբ վերածվել է աշխատանքի: Այսպիսի արդյունքը հակասում է Թոմսոնի ձևակերպմամբ ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքին: Հետևաբար աղիաբատները չեն կարող հատվել:



Աղ. 17



Աղ. 18

4.142. Մեկ ցիկլի աշխատանքը՝ $\delta A = \delta Q_1' + \delta Q_1'' - \delta Q_2$, $\delta Q_1' = C_V dT$,

$$\delta Q_1'' = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] dV = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dT, \quad \delta Q_2 = C_P dT:$$

Այստեղ $b \rightarrow c$ և $a \rightarrow c$ պրոցեսների համար ծավալի փոփոխությունը համարվել է նույնը: Նկ. 19-ից երևում է, որ $ab = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dT$,

$$ac = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dT: \text{ Հետևաբար } \delta A = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P (dT)^2: \text{ Այսպիսով՝ } \frac{1}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P (dT)^2 = \left\{ C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - C_P \right\} dT:$$

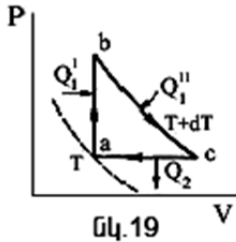
$$\text{Այստեղից } C_P - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P:$$

4.143. Ըստ ջերմադինամիկայի 1-ին օրենքի՝ $\delta Q = dU + PdV$ կամ, արտահայտված էնթալպիայով, $\delta Q = dH - VdP$: PV հարթության վրա վերցնենք 2 անվերջ մոտ 1-2 ու 3-4 իզոթերմներ և 2 անվերջ մոտ 2-3 ու 4-1 ադիաբատներ (նկ. 20): 1-2-3-4 ցիկլի համար կիրառենք Կառնոյի թեորեմը: 1-2 իզոթերմի վրա համակարգի ստացած Q_1 ջերմաքանակը՝ $Q_1 = H_2 - H_1 - V(P_2 - P_1)$: Քանի որ էնթալպիայի $H_2 - H_1$ փոփոխությունը տեղի է ունենում իզոթերմով, հետևաբար

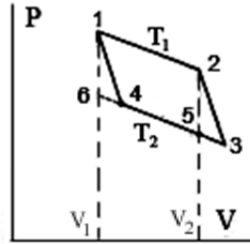
$$\text{կարող ենք գրել՝ } Q_1 = \left[\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T - V \right] (P_2 - P_1): \text{ Ցիկլի } A \text{ աշխատանքը}$$

(1-2-3-4)-ի մակերեսն է: Բարձր կարգի անվերջ փոքրերի ճշտությամբ 1-2-3-4 պատկերը կարող ենք համարել զուգահեռագիծ,

որի մակերեսը հավասար է 1-2-5-6 զուգահեռագծի մակերեսին: Վերջինս էլ հավասար է 6-1 հիմքի երկարության և $V_2 - V_1$ բարձրության արտադրյալին: Քանի որ 6 և 1 կետերին համապատասխանում է նույն ծավալը, բայց տարբեր ջերմաստիճաններ, հետևաբար 6-1 հիմքի երկարությունը կլինի $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V (T_1 - T_2)$:



Նկ. 19



Նկ. 20

Ցիկլի աշխատանքի համար կատանանք՝

$$A = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V (T_1 - T_2)(V_2 - V_1):$$

Օգտվելով $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$

նույնությունից՝ կատանանք՝ $A = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P (T_1 - T_2)(P_2 - P_1)$: Կառ-

նույի թեորեմի համաձայն՝ $\frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, որի մեջ տեղադրելով A -ն

$$\text{և } Q_1\text{-ը՝ կատանանք՝ } \frac{-\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T - V} = \frac{1}{T_1} \text{ կամ } \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P,$$

$$\text{իսկ } C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \Rightarrow \left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_P:$$

4.144. Տե՛ս նախորդ խնդիրը:

4.145. $b_v = -\nu R \ln N + BN = -\nu R \ln(\nu R) + \nu S_0$, որտեղ S_0 -ն և B -ն հաստատուններ են:

4.146. $\Delta S = 2m_1 R \ln 2 / \mu_1$:

4.147. $\Delta U = mC_V T_0 (K^{\gamma-1} - 1) / \mu$, $\Delta S = mR \ln K / \mu$:

4.148. $S = C_V \ln T + \alpha V_0 P + S_0$, $S_0 = \text{const}$:

4.149. $C_V \ln T + \alpha P_0 V = \text{const}$:

4.150. V ծավալի ներքին էներգիան՝ $U = u(T)V$:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P : \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = u(T) : u(T) = \frac{1}{3}T \frac{du(T)}{dT} - \frac{u(T)}{3} :$$

$$\frac{du(T)}{dT} = 4 \frac{dT}{T}, u(T) = \alpha T^4 \quad (\alpha = \text{const}), \text{ այսինքն՝ գազի էներգիայի}$$

խտությունը համեմատական է ջերմաստիճանի չորրորդ աստիճանին: Այդպիսի գազ է ջերմային ճառագայթման դաշտը:

4.151. Համաձայն խնդրի պայմանի՝ $PV = f(T)$ և $u = u(T)$,

$$\text{այսինքն՝ } \left(\frac{\partial u}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P = 0 : \text{ Այդ հավասարումը բազմա-}$$

$$\text{պատկելով } V\text{-ով՝ կստանանք՝ } T \frac{df(T)}{dT} - f(T) = 0 : \text{ Այստեղից}$$

$f(T) = BT$ ($B = \text{const}$), ընդ որում, B -ն կախված չէ ջերմաստիճանից և ծավալից: Հետևաբար վիճակի հավասարումը կլինի $PV = BT$:

$$\textbf{4.152.} \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P : \text{ Նյութի վիճակի թերմիկ հավասա-}$$

րումից հետևում է, որ վերը բերված հավասարման աջ մասը դառ-

$$\text{նում է զրո: Հետևաբար } \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0, \text{ այսինքն՝ ներքին էներգիան}$$

կախված չէ ծավալից:

$$\textbf{4.153.} U(V) = -2a/TV + \text{const} :$$

$$\textbf{4.154.} U(V) = -2a/T(V+C) + \text{const} :$$

4.155. Կառնոյի ցիկլը (T, S) դիագրամում ունի ուղղանկյուն կոնտուրի տեսք: $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$:

$$\textbf{4.156.} \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P, T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_P = C_P :$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V, T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_V = C_V :$$

4.157. Երկու ազատության աստիճան ունեցող համասեռ համա-
կարգերի համար $dS = \frac{\delta Q}{T} = C_V \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dV = C_V \frac{dT}{T} + \left(\frac{dP}{dT} \right)_V dV$:
Խառը ածանցյալների հավասարության պայմանից կստանանք՝
 $\frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{C_V}{T} \right)_T = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$ կամ $\left(\frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_V$: Այստեղից
երևում է, որ եթե ճնշումը ջերմաստիճանից գծայնորեն է կախված,
ապա $\left(\frac{\partial C_V}{\partial V} \right)_T = 0$, այսինքն՝ C_V -ն կախված չէ ծավալից:

4.158. Եթե մեքենան սառեցնող է, նրա արդյունավետությունը բնու-
թագրվում է $\xi_2 = |Q_2| / A = T_2 / (T_1 - T_2) = 291 / 17 = 17.1$,
որտեղից $P = P_2 / \xi_2 = 24.44$ կՎտ:

4.159. Ադիաբատ պրոցեսի ժամանակ աշխատանքը որոշվում է հե-
տևյալ կերպ՝

$$A = \int_{(1)}^{(2)} P dV = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} (V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}) = \frac{\nu R T_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] :$$

Այստեղ հաշվի է առնվում, որ $P_1 V_1^\gamma = \text{const}$ և $P_1 V_1 = \nu R T$: Ադիա-
բատ պրոցեսի համար $T V^{\gamma-1} = \text{const} \Rightarrow \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$: Աշխատան-

քի համար կստանանք՝ $A = \frac{\nu R (T_1 - T_2)}{\gamma-1}$: 3-4 և 5-6 տեղամասերում

աշխատանքների հավասարությունը, ըստ վերը ստացված բանա-
ձևի, կարելի է գրել հետևյալ կերպ՝ $\frac{\nu R (T_4 - T_3)}{\gamma-1} = \frac{\nu R (T_6 - T_5)}{\gamma-1}$:

Այստեղից $T_3 = T_5 \Rightarrow T_4 = T_6 \Rightarrow \delta = \varepsilon$:

3-4 և 5-6 ադիաբատների համար $\frac{T_3}{T_4} = \frac{\beta}{\delta} = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}$,

$\frac{T_5}{T_6} = \frac{\beta}{\varepsilon} = \left(\frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}$ (1): Եթե $\delta = \varepsilon$, ապա $P_3 / P_4 = P_5 / P_6$, քանի որ

$P_2 = P_3$, $P_4 = P_5$, $P_6 = P_1$: Հետևաբար $P_2 / P_4 = P_4 / P_1$:

$$1-2 \text{ աղիաբատի համար } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}, \text{ բայց } \frac{T_2}{T_1} = \alpha,$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{P_2}{P_4} \cdot \frac{P_4}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \cdot \frac{P_5}{P_6} \Rightarrow \alpha = \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}} \left(\frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}:$$

$$\text{Հաշվի առնելով (1)-ը՝ կստանանք՝ } \alpha = \frac{\beta}{\delta} \cdot \frac{\beta}{\varepsilon} = \frac{\beta^2}{\delta^2}:$$

$$\begin{aligned} \text{Հետևաբար } \delta = \frac{\beta}{\sqrt{\alpha}}: \text{ Ցիկլի ընթացքում } A = Q = \nu C_p (T_3 - T_2) + \\ \nu C_p (T_5 - T_4) + \nu C_p (T_1 - T_6) = \nu C_p T_1 (2\beta + 1 - \alpha - \delta - \varepsilon) \\ = \nu C_p T_1 \left(2\beta + 1 - \alpha - \frac{2\beta}{\sqrt{\alpha}} \right): \end{aligned}$$

$$\text{Սաքսիմունը որոշվում է } \frac{dA}{d\alpha} = 0 \text{ պայմանից, քանի որ այստեղ}$$

$$\beta = \frac{T_3}{T_1} = \text{const}: \quad \frac{dA}{d\alpha} = \nu C_p T_1 \left(\beta \alpha^{\frac{3}{2}} - 1 \right) = 0: \quad \alpha = \beta^{\frac{2}{3}} \text{ պայմանի}$$

$$\text{դեպքում } A = \max: \text{ Սեղմման աստիճանը՝ } P_2 / P_1 = \alpha^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}: \text{ Օգտ-ն՝} \\ \eta = A / Q^+: \quad Q^{(+)} = \nu C_p (T_3 - T_2) + \nu C_p (T_5 - T_4) = \nu C_p T_1 (2\beta - \alpha - \delta):$$

$$\eta = \frac{2\beta \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \right) + 1 - \alpha}{\beta \left(2 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \right) - \alpha}, \quad \eta = \eta^{\max}, \quad \text{երբ} \quad \alpha = \beta^{\frac{2}{3}}:$$

$$\eta = \frac{2\alpha^{\frac{3}{2}} - 3\alpha + 1}{2 \left(\alpha^{\frac{3}{2}} - \alpha \right)}:$$

4.162. $P = A(V)T + B(V)$, որտեղ $A(V)$ -ն և $B(V)$ -ն ցանկացած ֆունկցիա են V -ից:

4.163. $V = A(P)T + B(P)$, որտեղ $A(P)$ -ն և $B(P)$ -ն ցանկացած ֆունկցիա են P -ից:

$$\mathbf{4.166.} \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P,$$

$$\left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_P:$$

$$\mathbf{4.167.} T, V, S \text{ եղյակի համար } \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = -1$$

առնչությունը: Մաքսվելի առնչություններից հետևում է, որ $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$, իսկ $\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V = \frac{T}{C_V}$: Տեղադրելով այս երկու հավասարությունների աջ մասերը եղյակի առնչության մեջ՝ կստանանք պահանջվող արտահայտությունը:

4.168.

$$C_P - C_V = \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P^2 \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T =$$

$$= -T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -T \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T:$$

$$\mathbf{4.169.} C_P = 5R/2 \text{ (իդեալական գազ):}$$

$$\mathbf{4.170.} C_V = 3R/2 \text{ (իդեալական գազ):}$$

$$\mathbf{4.171.} \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)_T = 3P = 3 \cdot 10^5 \text{ Պա:}$$

$$\mathbf{4.172.} \left(\frac{\partial C_V}{\partial V}\right)_T = \frac{6P}{T} = 2 \cdot 10^3 \text{ Պա/Կ:}$$

$$\mathbf{4.173.} U = F_0(V) + 3\alpha T^4 V, \text{ որտեղ } F_0(V)\text{-ն ազատ էներգիան է } T = 0 \text{ ջերմաստիճանում:}$$

$$\mathbf{4.174.} C_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = -T \left(\frac{\partial^2 F}{\partial T^2}\right)_V = 12A(V)T^3:$$

$$P = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = -\frac{dU_0}{dV} + T^4 \frac{dA}{dV}:$$

$$\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{1}{V_0} \frac{4T^3 \frac{dA}{dV}}{\frac{d^2 U_0}{dV^2} - T^4 \frac{d^2 A}{dV^2}}:$$

Վերջինս էլ բաժանելով C_V -ի՝ կստանանք պահանջվող արդյունքը:

V. Իրական գազեր

5.8. $Nb \ll V$, $Na \ll kT$: Կամ՝ $\bar{r} \gg r_0$ և $|U_{\text{ս}}| \ll \overline{E_{\text{կ}}} \sim kT$:

5.16. Եթե խիստ նայենք, ապա ոչ: Իսկ եթե հաշվի չառնենք $N^{-1/3}$ կարգի անդամները, որտեղ N -ը մասնիկների թիվն է, ապա այո:

5.17. $\langle r \rangle \sim n^{-1/3}$:

5.18. ա) $\bar{r} = 33A^0$, $\alpha \approx 9$, բ) $\bar{r} = 3.1A^0$, $\alpha \approx 1$:

5.19. $U = -3.4 \cdot 10^{-8}$ էՎ:

5.36. $C_V = (\partial U / \partial T)_V$: $C_V^{\text{իրական}} = C_V^{\text{իդ}}$:

5.37. ա), բ), գ) – այո, դ) – ոչ, քանի որ $C_P \neq \text{const}$:

5.38. $S = \nu \left[\int \frac{C_V(T)}{T} dT + R \ln \left(\frac{V - \nu b}{\nu} \right) + \text{const} \right]$, որտեղ ադիտիվ

հաստատունը մասնիկների թվից կախված չէ: Եթե C_V -ն կախված չէ

T -ից, ապա $S = \nu \left[C_V \ln T + R \ln \left(\frac{V - \nu b}{\nu} \right) + \text{const} \right]$:

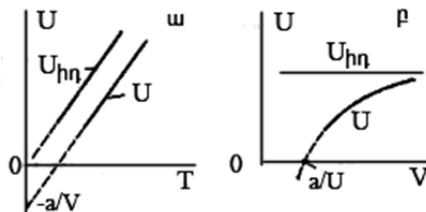
5.39. $T(V - b)^{n-1} = \text{const}$, որտեղ $n = 1 + R / (C_V - C)$:

5.40. $U = \nu (C_V T - a \nu / V)$, որտեղ ν -ն մոլերի թիվն է:

5.41. Տե՛ս նկ. 21:

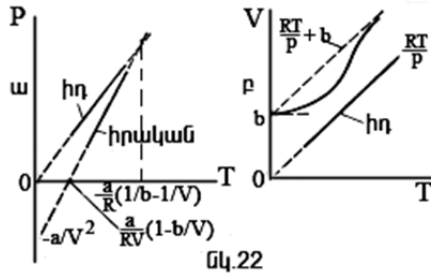
5.42. $\Delta U = N^2 a (V_2 - V_1) / V_2 V_1$:

5.43. $P = -(\partial U / \partial V)_{dQ=0}$, ածանցյալը վերցվում է ադիաբատի երկայնքով, այսինքն՝ երբ $dQ = 0$:



նկ.21

5.44. Տե՛ս նկ. 22:



5.45. Ոչ, 1-2-3 տեղամասում $(\partial P / \partial V)_T > 0$, ինչը, ինչպես կարելի է ցույց տալ, հակասում է ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքին: Ֆիզիկայի տեսանկյունից նյութի այդպիսի վարքը լրիվ անբնական է, նրա ծավալի իզոթերմիկ մեծացմանը զուգընթաց մեծանում է ճնշումը:

5.46. $A = Q - \Delta U$, $Q = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$, $\Delta U = \frac{a(V_2 - V_1)}{V_2 V_1}$:

5.47. 6.6%, 3.7%:

5.48. $P_{\text{հղ}} = 6.2 \cdot 10^6$ Պա, $P_{\text{CO}_2} = 4.7 \cdot 10^6$ Պա, $P_{\text{H}_2} = 6.5 \cdot 10^6$ Պա:

5.49. $1.68 \cdot 10^9$ Պա, 200 կգ/մ³:

5.50. $P_{\text{լր}} V_{\text{լր}} = 3RT_{\text{լր}} / 8$:

5.51. $P = 10.2 \cdot 10^5$ Պա, $d = 3.1 \cdot 10^{-10}$ մ:

5.52. ա) $\Delta U = 0$, $A = \Delta Q = 4 \cdot 10^6$ Ջ, բ) $\Delta U = 1.1 \cdot 10^5$ Ջ, $A = 4 \cdot 10^6$ Ջ, $\Delta Q = 4.1 \cdot 10^6$ Ջ:

5.53. ա) $A = \left(\frac{m}{\mu}\right)^2 a \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right) = 10.6$ Ջ,

բ) $\Delta S = \left(\frac{m}{\mu}\right) R \ln \frac{V_2 - mb / \mu}{V_1 - mb / \mu} = 4.2$ Ջ/Կ:

5.54. $P / P_{\text{լր}} \approx 2.5$: Օգտվել Վան դեր Վալսի հավասարման բերված տեսքից:

5.55. Հստ սահմանման՝ ծավալային ընդարձակման գործակիցը, երբ

$$P = const, \text{ ունի հետևյալ տեսքը՝ } \gamma_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P : \text{ Իդեալական գա-}$$

զի համար $(\gamma_P)_{\text{դր}} = 1/T$, իսկ Վան դեր Վալսի գազի համար

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{(V-b)}{T-2a(V-b)/RV^3} \quad \text{և} \quad (\gamma_P)_{\text{դր}} = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P =$$

$$\frac{V-b}{TV-2a(V-b)/RV^2} : \text{ Երբ } V \rightarrow \infty, a, b \rightarrow 0 \text{ (այսինքն՝ անցում}$$

ենք կատարում իրական գազից իդեալականին), $(\gamma_P)_{\text{դր}} \rightarrow (\gamma_P)_{\text{դր}} = 1/T$:

$$\mathbf{5.56.} \quad \gamma = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T, \quad \gamma = \frac{1}{\frac{RTV}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}} :$$

$$\mathbf{5.57.} \quad a = \frac{V^2(T_1 P_2 - T_2 P_1)}{T_2 - T_1} = 0.19 \text{ Պա}\cdot\text{մ}^6/\text{մոլ}^2,$$

$$b = V - \frac{R(T_2 - T_1)}{P_2 - P_1} = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ մ}^3/\text{մոլ} :$$

$$\mathbf{5.58.} \quad P = \frac{\rho RT}{\mu - \rho b} - \frac{a\rho^2}{\mu^2} = 8.7 \cdot 10^6 \text{ Պա} :$$

5.59. Կրիտիկական կետում պետք է բավարարվեն հետևյալ պայմանները՝ $(\partial P / \partial V)_T = 0$, $(\partial^2 P / \partial V^2)_T = 0$: Հաշվի առնելով այս երկու պայմանները և Վան դեր Վալսի հավասարումը՝ կստանանք՝ $V_{\text{կր}} = 3b$, $P_{\text{կր}} = a/27b^2$, $T_{\text{կր}} = 8a/27Rb$, կամ $b = RT_{\text{կր}}/8P_{\text{կր}}$, $a = 27R^2 T_{\text{կր}}^2 / 64 P_{\text{կր}}$: Տեղադրելով թվային արժեքները՝ կստանանք՝ $a = 1.39 \text{ լ}^2\cdot\text{մթ.}/\text{մոլ}^2$, $b = 0.039 \text{ լ}/\text{մոլ}$:

5.60. Իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված է միայն ջերմաստիճանից: Իրական գազերի ներքին էներգիան, բացի ջերմաստիճանից, կախված է նաև միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերից, այսինքն՝ ծավալից: Այդ լրացուցիչ էներգիան կարող է որոշվել հետևյալ կերպ՝ $U' = \int P' dV$, որտեղ $P' = a/V^2$ -ն Վան դեր Վալսի հավասարման մեջ մտնող լրացուցիչ մոլեկուլային ճնշումն է:

$U' = \int \frac{a}{V^2} dV = -\frac{a}{V} + const$: Երբ $V \rightarrow \infty$, $U' = 0$, և հետևաբար

$const = 0$: Այսպիսով՝ ընդհանուր դեպքում ոչ իդեալական գազի համար լրիվ ներքին էներգիան՝ $U = C_V T - a/V + const$:

$dU(V, T) = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$, հետևաբար ներքին էներգիայի

փոփոխության համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը՝

$\Delta U = C_V(T_2 - T_1) - a\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$: Ըստ սահմանման՝ $C = \frac{\delta Q}{dT}$: Հաշվի

առնելով ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը և ներքին էներգիայի համար ստացված արտահայտությունը՝ ջերմունակության համար

կստանանք՝ $C = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right] \frac{dV}{dT}$:

5.61. Ջերմունակության համար ստացված արտահայտությունից՝

$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right] \frac{dV}{dT}$, հետևում է, որ հաստատուն ծա-

վալի դեպքում $C = C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$, այսինքն՝ իդեալական և ոչ իդեա-

լական գազերի համար C_V -ն նույնն է: $P = const$ պրոցեսի համար

$C_P - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P\right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$: Վան դեր Վալսի գազի համար

$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \frac{a}{V^2}$: Վան դեր Վալսի հավասարումից որոշելով $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ -ն՝

կստանանք՝ $C_P - C_V = \frac{R}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^3}}$: Հաշվի առնելով, որ

$\frac{a}{V^2} \ll P$, $b \ll V$, և թողնելով միայն առաջին կարգի փոքր մեծու-

թյունները՝ կստանանք՝ $C_P - C_V \approx R\left(1 + \frac{2a}{PV^2}\right)$:

5.62. $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b)^{(C_V + R)/C_V} = \text{const} :$

5.63. Քանի որ գազի ընդարձակումը տեղի է ունենում դատարկության մեջ, այսինքն՝ մակրոսկոպական աշխատանք չի կատարվում, և առանց ջերմափոխանակության, հետևաբար գազի ներքին էներգիան ընդարձակվելուց առաջ և հետո պետք է նույնը լինի՝ $U_1(V_1, T_1) = U_2(V_2, T_2)$: Օգտվելով ներքին էներգիայի արտահայտությունից, որն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$U = \frac{m}{\mu} C_V T - \left(\frac{m}{\mu}\right)^2 \frac{a}{V},$$

կատանանք, որ $\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{m}{\mu} \frac{a}{C_V} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right)$: Քանի որ $V_2 > V_1$,

հետևաբար $\Delta T < 0$: Դա նշանակում է, որ դատարկության մեջ ընդարձակվելիս գազը սառչում է: Սա հետևանքն է այն բանի, որ գազը կատարում է ներքին աշխատանք՝ հաղթահարելով միջմոլեկուլային ձգողությունը: Իդեալական գազի դեպքում ջերմաստիճանը չի փոխվում, քանի որ բացակայում են միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերը: Արտահայտենք a պարամետրը կրիտիկական պարամետրերով. $V_{կր} = 3b$, $T_{կր} = 8a/27Rb \Rightarrow a = 9RT_{կր}V_{կր}/8$:

$$C_V = 5R/2: \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{9T_{կր}V_{կր}}{20} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right) = -0.3 \text{ Կ}:$$

5.64. $\left(\pi + \frac{3}{\varphi^2}\right)\left(\varphi - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\tau :$

5.66. $T_p = 27T_{կր}/8$: Խնդիրը լուծելիս նպատակահարմար է PV արտադրյալը դիտարկել որպես ֆունկցիա գազի ρ խտությունից և փնտրել պայման, որի դեպքում $\frac{d(PV)}{d\rho} = 0$, երբ $\rho = 0$:

5.67. $\mu = 2.48$ գ/մոլ: **Ցուցում:** $P_{կր} = \frac{\rho_{կր}RT_{կր}}{\mu - \rho_{կր}b} - \frac{a\rho_{կր}^2}{\mu^2}$, $a = \frac{27T_{կր}^2R^2}{64P_{կր}}$,

$b = \frac{T_{կր}R}{8P_{կր}}$: Վերջին երկու արտահայտությունները տեղադրելով

առաջինի մեջ՝ կստանանք խորանարդային հավասարում μ -ի նկատմամբ՝
$$\left(\mu - 3\rho_{\text{կր}} \frac{T_{\text{կր}} R}{8P_{\text{կր}}} \right)^3 = 0 :$$

5.68. $P \approx 71.6$ մթ.:

5.69. Պարզության համար ընդունենք, որ նյութի զանգվածը հավասար է միավորի: Այդ դեպքում հեղուկի և գազի տեսակարար ծավալները կպատկերվեն NL և NG հատվածների երկարությամբ, իսկ նյութի տեսակարար ծավալը երկփուլ վիճակում՝ NM հատվածի: Եթե հեղուկի և գազի զանգվածները համապատասխանաբար m_h և m_g են, ապա $V_M = m_h|NL| + m_g|NG|$: Փնտրվող հարաբերությունը կստացվի այստեղից, եթե հաշվի առնվի, որ $m_g + m_h = 1$:

5.70. Բավական է նկատել, որ նշված տիրույթում իզոբարերը համընկնում են իզոթերմների հետ: $C_p = \infty$:

5.71. Կրիտիկական կետում $\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} \right)_T = 0$: Այդ կետի շրջակայքում Թեյլորի վերլուծության առաջին անդամը կունենա հետևյալ տեսքը՝
$$P - P_{\text{կր}} = \frac{1}{6} \left(\frac{\partial^3 P}{\partial V^3} \right)_{\text{կր}} (V - V_{\text{կր}})^3 + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\text{կր}} (T - T_{\text{կր}}):$$
 Վան

դեր Վալսի հավասարումից հաշվելով ածանցյալները և օգտվելով a ու b պարամետրերի արտահայտություններից՝ ներկայացված կրիտիկական պարամետրերով՝ կստանանք, որ

$$P - P_{\text{կր}} = -\frac{9}{16} \frac{RT_{\text{կր}}}{V_{\text{կր}}^4} (V - V_{\text{կր}})^3 + \frac{3}{2} \frac{R}{V_{\text{կր}}} (T - T_{\text{կր}}):$$

V ծավալի փոխա-

րեն ներմուծենք $\rho = \mu/V$ խտությունը, որտեղ μ -ն մոլային զանգվածն է: Օգտագործելով նաև հիդրոստատիկայի հավասարումը՝ $P - P_{\text{կր}} = -\rho_{\text{կր}} gh$ ՝ դիտարկվող մոտավորության սահմաններում

$$\text{կստանանք, որ } \frac{\rho - \rho_{\text{կր}}}{\rho_{\text{կր}}} = -\frac{2}{3} \sqrt[3]{6 \frac{\mu gh + (3/2)R(T - T_{\text{կր}})}{RT_{\text{կր}}}}: h \text{ քարձրու-}$$

թյունը հաշվվում է այն մակարդակից, որտեղ նյութի խտությունը հավասար է կրիտիկականին, ընդ որում, դրական է համարվում դեպի վեր ուղղությունը: Մասնավորապես, երբ $T = T_{\text{կր}}$,

$$\frac{\rho - \rho_{\text{կր}}}{\rho_{\text{կր}}} = -\frac{2}{3} \sqrt[3]{6 \frac{\mu g h}{RT_{\text{կր}}}} : \text{Կրիտիկական կետից հեռու գազը կարելի է}$$

համարել իդեալական: Այդ դեպքում խտության հարաբերական փոփոխությունը կախված կլինի h -ից՝ $\frac{\delta \rho}{\rho} = -\frac{\mu g h}{RT}$:

$$\underline{5.72.} \quad r = \int_{V_h}^{V_q} \frac{a}{V^2} dV = a \left(\frac{1}{V_h} - \frac{1}{V_q} \right) \approx \frac{a}{V_h} = V_h P_i = \frac{P_i}{\rho} :$$

$$\underline{5.73.} \quad A = 2RT \ln \left(\frac{2V - 2b}{V - 2b} \right) - \frac{2a}{V} :$$

$$\underline{5.74.} \quad \Delta T = \frac{a}{C_V} \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) \approx 6 \text{ Կ} :$$

$$\underline{5.75.} \quad \text{Գազը կսառչի: } \Delta T = -\frac{a}{2C_V} \frac{(V_2 - V_1)^2}{V_1 V_2 (V_1 + V_2)},$$

$$P' = \frac{2RT'}{V_1 + V_2 - 2b} - \frac{4a}{(V_1 + V_2)^2} :$$

$$\underline{5.76.} \quad \Delta T = -a \nu / 2VC_V :$$

$$\underline{5.77.} \quad \Delta T = \frac{a \nu}{C_V} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) = \frac{9RT_{\text{կր}} V_{\text{կր}} \nu}{8C_V} \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) \approx -0.2 \text{ Կ} :$$

$$\underline{5.78.} \quad Q = a \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) :$$

$$\underline{5.79.} \quad Q = \frac{C_V}{R} \left[\left(P + \frac{a}{V_2^2} \right) (V_2 - b) - \left(P + \frac{a}{V_1^2} \right) (V_1 - b) \right] + a \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) :$$

$$\underline{5.81.} \quad A = 2C_V T_1 \left[1 - \left(\frac{V_1 - 2b}{V_2 - 2b} \right)^{\frac{R}{C_V}} \right] + 4a \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right) :$$

$$\underline{5.82.} \quad T^{C_V/R} (V - b) \exp(-\beta T^2 / 2R) = \text{const} :$$

$$\underline{5.83.} \quad S - 2\alpha \sqrt{T} = \text{const}, \quad T^{C_V/R} (V - b) \exp(-2\alpha \sqrt{T} / R) = \text{const} :$$

$$\underline{5.84.} \quad C_V T - a/V = \text{const}, \quad C = C_V \left(1 - \frac{RT}{a(V - b)} V^2 \right) :$$

5.85. $\Delta S = (C_V - R) \ln(T_2 / T_1):$

5.86. $\Delta S = R \ln \left[\frac{aV_0 - ab + bV_0 \Delta U}{(V_0 - b)(a - V_0 \Delta U)} \right]:$

5.87. $\Delta S = 2R \ln(T_2 / T_1) \approx 16.6 \text{ Ջ/(մոլ} \cdot \text{Կ)}:$

5.88. $\Delta S = C_V \ln \left(1 - \frac{3a}{2C_V V_0 T_0} \right) + R \ln \left(\frac{2V_0 - b}{V_0 - b} \right) \approx R \ln 2 - \frac{3a}{4V_0 T_0} + \frac{Rb}{2V_0}:$

5.89. $\frac{T_{\text{սղմ}}}{T_{\text{հո}}} = \left(\frac{V_0 V - bV}{V_0 V - bV_0} \right)^{R/C_V} < 1$, այսինքն՝ Վան դեր Վալսի գազը

սառչում է ավելի շատ:

5.90. $C = -C_V / (1 + 2a / PV^2):$

5.91. Համաձայն ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքի՝ 1 մոլ հեղուկի գոլորշացման ջերմությունը կլինի՝ $\lambda = U_q - U_h + A$, որտեղ U_q -ն և U_h -ն համապատասխանաբար գոլորշու և հեղուկի ներքին էներգիաներն են, իսկ $A = P(V_q - V_h)$ -ն՝ հաստատուն արտաքին ճնշման դեմ կատարված աշխատանքը: λ -ն որոշվում է հետևյալ հավասարումից՝ $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P = \frac{a}{V^2}$, որից ստացվում է, որ

$$U_q - U_h = a \left(\frac{1}{V_h} - \frac{1}{V_q} \right):$$

Այսպիսով՝ ստացվում է, որ

$$\lambda = V_q \left(P - \frac{a}{V_q^2} \right) - V_h \left(P - \frac{a}{V_h^2} \right) = V_q \left(\frac{RT}{V_q - b} - \frac{2a}{V_q^2} \right) - V_h \left(\frac{RT}{V_h - b} - \frac{2a}{V_h^2} \right):$$

5.92. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{9} \left(1 + 8 \exp \left(\frac{\Delta S(C - C_V)}{RC} \right) \right) = 1.25:$ Օգտվել Վան դեր

Վալսի գազի համար ստացված պոլիտրոպի և էնտրոպիայի արտահայտություններից:

5.93. $C = \frac{C_V}{1 - \ln 2} \approx 5R:$

5.94. $A = R(T_2 - T_1) \ln \left(\frac{V_2 - b}{V_1 - b} \right) = 18.5 \text{ Ջ}:$

$$\underline{5.95.} \quad \eta = 1 - \frac{RT_1}{C_V(T_2 - T_1)} \ln \left(\frac{V_2 - b}{V_1 - b} \right) :$$

$$\underline{5.96.} \quad \eta = PV \left[\frac{C_V}{R} P(V - b) + 2PV \left(\frac{C_V}{R} + 1 \right) - \left(\frac{C_V}{R} - 1 \right) \frac{a}{2V} + \frac{C_V}{R} \frac{3ab}{4V^2} \right]^{-1} :$$

$$\underline{5.97.} \quad \eta = 1 - \left(\frac{V_1 - b}{V_2 - b} \right)^{R/C_V} :$$

$$\underline{5.103.} \quad T_i = \frac{2a}{Rb} \left(\frac{V - b}{V} \right)^2 :$$

5.104. Զոուլ-Թոմսոնի դիֆերենցիալ էֆեկտի ինվերսիայի ջերմաստիճանը նույն գազերի համար որոշվում է $T_i = 2a/Rb$ արտահայտությամբ: $T_i = 2a/Rb = 27T_{\text{դ}}/4$:

$$\underline{5.105.} \quad \frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{\frac{bRT}{(V - b)^2} - \frac{2a}{V^2}}{C_P \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T} :$$

5.106. Վան դեր Վալսի նույն գազերի համար Զոուլ-Թոմսոնի դիֆերենցիալ էֆեկտի գործակիցը՝ $\mu = \frac{2a/RT - b}{C_P}$, $1/C_P \neq 0$: $\mu = 0$

պայմանից հետևում է, որ $T_i = 2a/Rb$ և կախված է գազի տեսակից:

5.107. Տե՛ս նախորդ խնդրի լուծումը:

5.109. Ինչպես հետևում է 5.105-րդ խնդրի լուծումից, երբ $a = 0$, $\Delta T = -b\Delta P/C_P$: Քանի որ $\Delta P < 0$, հետևաբար $\Delta T > 0$:

5.110. Երբ $b = 0$, $\Delta T = 2a\Delta P/C_P$: Քանի որ $\Delta P < 0$, հետևաբար $\Delta T < 0$:

5.111. $T < T_i = 35.1$ Կ: 30 մթ. ճնշման տակ հելիումի դրոսելացման դեպքում, երբ չի գործում $\Delta T = \frac{2a\Delta P}{C_P}$ հավասարումը, ինվերսիան դիտվում է 14 Կ-ում:

$$\underline{5.112.} \quad \frac{bRT}{(V - b)^2} - \frac{2a}{V^2} = 0 :$$

5.113. $T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V}{C_P} dP :$

5.114. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումից հետևում է, որ $T(\partial V / \partial T)_P = V$: Հետևաբար, օգտվելով 5.113-րդ խնդրի պատասխանից, կստանանք՝ $\Delta T = 0$:

5.115. Գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը հաշվելու համար փոխարինենք Ջոուլ-Թոմսոնի իրական պրոցեսը քվադրատային իզոէնթալպիկ պրոցեսով, որը համակարգը բերում է նույն վերջնական վիճակի: Այդ պրոցեսի համար $dH = TdS + VdP = 0$, հետևաբար $(\partial S / \partial P)_H = -V / T < 0$: Քանի որ Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում ճնշումը նվազում է, ստացվում է, որ էնտրոպիան աճում է:

VI. Փոխանցման երևույթներ

6.34. ա) $P = \exp(-\alpha t)$, բ) $\langle t \rangle = 1 / \alpha$:

6.35. ա) $\lambda = 0.06$ մկմ, $\tau = 0.13$ նվ, բ) $\lambda = 6$ Մմ, $\tau = 3.8$ ժ:

6.36. 18 անգամ:

6.37. ա) $\langle z \rangle = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle \nu \rangle = 0.74 \cdot 10^{10}$ վ⁻¹,

բ) $\langle z \rangle = \sqrt{2\pi d^2 n^2} \langle \nu \rangle = 10^{29}$ վ⁻¹սմ⁻³, որտեղ $n = \frac{P_0}{kT_0}$, $\langle \nu \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$:

6.38. ա) $\langle \lambda \rangle = \text{const}$, $\langle z \rangle \sim \sqrt{T}$, բ) $\langle \lambda \rangle \sim T$, $\langle z \rangle \sim 1 / \sqrt{T}$:

6.39. ա) $\langle \lambda \rangle \sim V$, $\langle z \rangle \sim V^{\frac{6}{5}}$, բ) $\langle \lambda \rangle \sim p^{\frac{5}{7}}$, $\langle z \rangle \sim p^{\frac{6}{7}}$,

գ) $\langle \lambda \rangle \sim T^{\frac{5}{2}}$, $\langle z \rangle \sim T^3$:

6.40. ա) $\langle \lambda \rangle = \text{const}$, $\langle z \rangle$ -ը կմեծանա $\sqrt{n}$ անգամ, բ) $\langle \lambda \rangle$ -ն կնվազի n անգամ, $\langle z \rangle$ -ը կաճի n անգամ:

6.41. ա) $\langle \lambda \rangle \sim V$, $\langle z \rangle \sim V^{\frac{n+1}{2}}$, բ) $\langle \lambda \rangle \sim p^{\frac{1}{n}}$, $\langle z \rangle \sim p^{\frac{n+1}{2n}}$,

գ) $\langle \lambda \rangle \sim T^{\frac{1}{1-n}}$, $\langle z \rangle \sim T^{\frac{n+1}{2(n-1)}}$:

6.42. $C = R(1 + 2i) / 4 = 23 \text{ Ջ} / (\text{մոլ} \cdot \text{Կ})$:

$$\textbf{6.43. } \langle \lambda \rangle = \left(\frac{2\pi N_A}{3b} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{kT_0}{\sqrt{2}\pi p_0} \right) = 84 \text{ նմ:}$$

$$\textbf{6.44. } \nu = \pi d^2 P_0 N_A \sqrt{\frac{2\gamma}{\mu R T_0}} = 5.5 \text{ ԳՀց:}$$

$$\textbf{6.45. } T = \left(\frac{\chi_1 T_1}{l_1} + \frac{\chi_2 T_2}{l_2} \right) / \left(\frac{\chi_1}{l_1} + \frac{\chi_2}{l_2} \right):$$

$$\textbf{6.46. } \chi = (l_1 + l_2) / \left(\frac{l_1}{\chi_1} + \frac{l_2}{\chi_2} \right):$$

6.47. $x_1 < x < x_2$ միջակայքում ազատ վազքի երկարություն ունեցող մոլեկուլների հարաբերական թիվը կորոշենք՝ գումարելով $d\omega(x)$ հավանականությունները: Եթե N -ը բոլոր մոլեկուլների թիվն է,

ապա $\frac{\Delta N}{N} = \int_{x_1}^{x_2} A e^{-\frac{x}{\lambda}} dx$: A հաստատունը կորոշենք նորմավորման

$$\text{պայմանից՝ } \int_0^{\infty} A e^{-\frac{x}{\lambda}} dx = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{\lambda}:$$

ա) Այն մոլեկուլների հարաբերական թիվը, որոնց ազատ վազքի երկարությունը փոքր է 0.5λ -ից, կարելի է որոշել հետևյալ կերպ՝

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_0^{0.5\lambda} \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}} dx = 1 - e^{-0.5} = 1 - 0.61 = 0.39, \text{ ք) } 0.135:$$

$$\textbf{6.48. } \Delta t = 6.9 \cdot 10^7 \text{ վ:}$$

$$\textbf{6.49. } z = 4 \sqrt{\frac{\pi}{mkT}} P d^2 \sim 4 \cdot 10^{10} \text{ վ}^{-1}:$$

$$\textbf{6.50. } z = \frac{\pi d^2 \bar{v} n^2}{\sqrt{2}} = 2 \sqrt{\frac{\pi}{m}} \frac{P^2 d^2}{(kT)^{\frac{3}{2}}} \sim 6 \cdot 10^{28} \text{ վ}^{-1} \text{ սմ}^{-3}:$$

$$\textbf{6.51. } z \sim T^{-\frac{1}{2}}, \lambda \sim T:$$

$$\textbf{6.52. } z \sim P, \lambda \sim P^{-1}:$$

$$\textbf{6.53. } z \sim P^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}}, \lambda \sim P^{-\frac{1}{\gamma}}, \gamma = C_p / C_v:$$

6.54. $C = C_V + R/4$ (պրոցեսը պոլիտրոպ է):

6.55. $C = C_V + R/2$ (պրոցեսը պոլիտրոպ է):

6.56. $z_2/z_1 = 1/8$, $\lambda_2/\lambda_1 = 2$:

6.57. $p < 1.1 \cdot 10^{-3}$ մմ. ս. ս.:

6.58. $m = \frac{\tau \cdot S \chi}{ql} (t_1 - t_2) = 54$ գ, որտեղ q -ն սառույցի հալման տեսա-

կարար ջերմությունն է:

6.59. $T_R = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln(R_2/R_1)} \cdot \ln(R/R_1)$:

6.60. $T_R = \frac{T_2 - T_1}{R_2 - R_1} \cdot \frac{R_1 R_2}{R} + \frac{T_1 R_1 - T_2 R_2}{R_1 - R_2}$:

6.61. q հզորության խտությամբ ջերմության աղբյուրի առկայության դեպքում ջերմահաղորդականության հավասարումը սֆերիկ սիմետրիկ խնդիրների համար ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\rho c_V \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\chi \cdot r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q: \text{ Ստացիոնար դեպքում } \partial T / \partial t = 0,$$

և, գրվածը մեկ անգամ ինտեգրելով ըստ r -ի ($q = \text{const}$), կստա-

նանք՝ $\frac{dT}{dr} = -\frac{q}{3\chi} r + \frac{C}{r^2}$: Ինտեգրման C հաստատունը պետք է

լինի 0, հակառակ դեպքում գնդի կենտրոնում կստացվեն անվերջ

արժեքներ $\frac{dT}{dr}$ -ի համար: Երկրորդ անգամ ինտեգրելով և հաշվի

առնելով եզրային պայմանները՝ $T = T_0$, երբ $r = R$, կստանանք՝

$T = T_0 + \frac{q}{6\chi} (R^2 - r^2)$: Գնդի կենտրոնում ջերմաստիճանը՝

$T = T_0 + q(R^2 - r^2)/6\chi = 790$ Կ:

6.62. $T = T_0 + \frac{I^2 \rho}{4\pi^2 R^4 \chi} (R^2 - r^2)$, որտեղ I -ն հոսանքի ուժն է,

ρ -ն՝ տեսակարար դիմադրությունը, R -ը՝ լարի շառավիղը, r -ը՝ հեռավորությունը նրա առանցքից:

6.63. x -ով նշանակենք t պահին գոյացած սառույցի շերտի հաս-
տությունը: Եթե լիճը սառչում է շատ արագ, ինչն իրականում

այդպես չէ, ապա սառույցի շերտում կհաստատվի ջերմաստիճանի գծային անկում $T_{\text{հալ}} - T$: Այդ դեպքում dt ժամանակում սառույցի միավոր մակերեսից դուրս եկող ջերմությունը հավասար է $\chi \frac{T_{\text{հալ}} - T}{x} dt$: Բայց այդ մեծությունը կարելի է ներկայացնել նաև $\rho q dx$ -ով, որտեղ ρ -ն սառույցի խտությունն է, q -ն՝ հալման տեսակարար ջերմությունը, dx -ը՝ dt ժամանակում գոյացած սառույցի հաստությունը: Ինտեգրելով $\chi \frac{T_{\text{հալ}} - T}{x} dt = q \rho dx$ հավասարումը՝ կստանանք՝ $\chi (T_{\text{հալ}} - T) t = \frac{1}{2} q \rho x^2 + A$: Որպես սկզբնական պայման ընդունում ենք, որ $x = 0$, երբ $t = 0$, հետևաբար $A = 0$:

$$x = \sqrt{\frac{2\chi(T_{\text{հալ}} - T) \cdot \tau}{q\rho}} = 0.038 \cdot \sqrt{\tau} \text{ սմ:}$$

6.64. $\lambda = 3D / \langle v \rangle = 3D \sqrt{\pi \mu / 8RT} \approx 1.3 \cdot 10^{-5} \text{ սմ:}$

6.65. $n = 3$:

6.66. $\Delta S = 8R \ln 2 \approx 46 \text{ Ջ/Կ:}$

6.67. $D_2 / D_1 = 4$:

6.68. $C = C_V - R / 2$:

6.69. $\tau \approx 80 \text{ վ:}$

6.70. $\langle L \rangle = \sqrt{2\lambda \bar{v}} \approx 3 \text{ սմ}$, որտեղ λ -ն ազատ վազքի երկարությունն է, $\bar{v}$ -ն՝ օդի մոլեկուլների միջին արագությունը:

6.71. $\lambda = 3\eta / \rho \langle v \rangle = 0.89 \cdot 10^{-5} \text{ սմ:}$

6.72. $\chi_N / \chi_H \approx 0.13$:

6.73. $\sqrt{\Delta^2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{2kT\tau / 3\pi\eta a} \approx 10 \text{ մկմ:}$

6.74. $\Delta S = 2\nu C_V \ln \frac{\eta_2}{\eta_1} + \nu R \ln \frac{D_2 \eta_1}{D_1 \eta_2} = 7R \ln 2 = 40.3 \text{ Ջ/Կ:}$

VII. Հեղուկներ: Մակերևութային երևույթներ

7.15. $\sigma \sim 2\pi r_0^4 U_0 n^2 / 3$:

7.16. Ջրի մոլեկուլների դիպոլայնության շնորհիվ $\sigma_{H_2O} > \sigma_{N_2}$, և իրոք $\sigma_{H_2O} / \sigma_{N_2} \approx 10$:

7.17. Մնդիկի աստմների ձգողական ուժերը ջրածնի մոլեկուլների հետ ավելի փոքր են, քան ազոտի մոլեկուլների:

7.18. Տե՛ս նկ. 23:



Նկ.23

7.19. ա) $\sigma_{u,q} > \sigma_{u,h}$, բ) $\sigma_{u,q} < \sigma_{u,h}$:

7.20. ա) լրիվ թրջում, բ) լրիվ չթրջում:

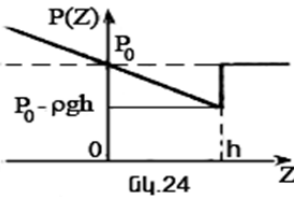
7.21. $\Delta P_2 = 2\Delta P_1 = 4\sigma / R$:

7.22. $P = 2\sigma / r \approx 10^6$ Պա:

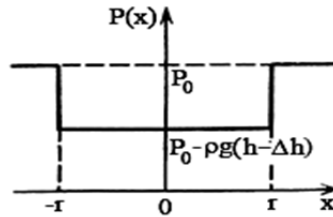
7.23. $p = 2\pi \cdot \sigma$:

7.24. ա) $h = 2\sigma / \rho g r$, բ) $h = 2\sigma \cos \theta / \rho g r$:

7.26. Տե՛ս նկ. 24: $\sigma = \rho g r h / 2$:



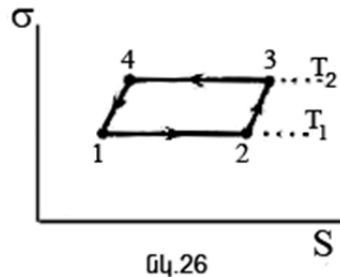
Նկ.24



Նկ.25

7.27. Տե՛ս նկ. 25: r -ը մագանոթի շառավիղն է:

7.28. Դիտարկենք հեղուկի թաղանթ, որի հետ կատարվում է Կառնոյի անվերջ փոքր ցիկլ $\sigma \cdot S$ հարթության մեջ (տե՛ս նկ. 26): S -ը թաղանթի մակերեսն է, σ -ն՝ մակերևութային լարվածությունը: $T = \text{const}$, $\sigma = \text{const}$:



Նկ.26

Սկզբնական 1-ին վիճակում թաղանթը հպման մեջ դնենք T_1 ջերմաստիճանով ջեռուցիչի հետ և ձգենք այն $\Delta S = S_2 - S_1$ -ով: Այդ դեպքում թաղանթի նկատմամբ կկատարվի աշխատանք, և այն կլինի բացասական՝ $\Delta A_{12} = -\sigma(T_1)\Delta S < 0$: Թաղանթին հաղորդված ջերմաքանակը՝ $Q = q\Delta S$, որտեղ q -ն թաղանթի միավոր մակերեսի առաջացման համար անհրաժեշտ ջերմությունն է: Այնուհետև թաղանթն աղիաբատով հպման մեջ դնենք T_2 ջերմաստիճանով սառնարանի հետ: Նրա մակերևութային լարվածությունը կմեծանա: T_2 ջերմաստիճանում փոքրացնենք թաղանթի չափսերը ΔS -ով: Այս դեպքում աշխատանքը կատարվում է թաղանթի մակերևութային լարվածության ուժերի կողմից, և այն դրական է՝ $\Delta A_{34} = \sigma(T_2)\Delta S > 0$: Ընդունելով, որ $T_1 = T_2 + dT_1$, $|\Delta A_{23}| \approx |\Delta A_{41}| \ll |\Delta A_{12}|$, $\sigma = \sigma(T)$, $\sigma(T_2) - \sigma(T_1) = (d\sigma/dT)(T_2 - T_1)$, $d\sigma/dT < 0$, կստանանք՝ $\eta = A/Q_1 = (T_1 - T_2)/T_1$: Վերջապես $q = -T(d\sigma/dT)$:

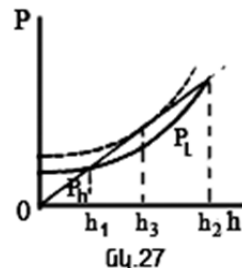
7.29. Քանի որ տեղի է ունենում լրիվ թրջում, մազանոթում հեղուկի ազատ մակերևույթը կլինի սֆերիկ մակերևույթի մի մաս, որի շառավիղը՝ $R = r/\cos\alpha$ (r -ը մազանոթի շառավիղն է այն բարձրության վրա, որին հասնում է հեղուկը): Եթե σ -ն հեղուկի մակերևութային լարվածության գործակիցն է, ապա հեղուկում գոգավոր սֆերիկ մակերևույթի վրա ճնշումը փոքր կլինի մթնոլորտայինից

$$P_l = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r_0 - h \tan\alpha} \quad \text{չափով:} \quad \text{Հավասարակշռության}$$

դեպքում այդ ճնշումը հավասարակշռվում է հիդրոստատիկ ճնշումով՝ $P_h = \rho gh$: Այդ երկու հավասարումներից կստանանք՝

$$h_{1,2} = \frac{\rho g r_0 \pm \sqrt{(\rho g r_0)^2 - 8\rho g \sigma \sin\alpha}}{2\rho g \tan\alpha}: \quad \text{Եթե } \rho g r_0^2 > 8\sigma \sin\alpha, \quad h\text{-ի համար}$$

կստացվի երկու արժեք, որոնք կհամապատասխանեն հեղուկի հավասարակշռությանը: Նկ. 27-ի օգնությամբ կարող ենք գտնել կայուն հավասարակշռությանը համապատասխանող բարձրությունը: (P, h) հարթության մեջ պատկերենք P_h հիդրոստատիկ և P_l լրացուցիչ ճնշումների կախումը մազա-



նոթում հեղուկի բարձրությունից: P_h -ի կախումը h -ից կոորդինատների սկզբնակետով անցնող ուղիղ գիծ է, իսկ P_l -ի կախումը h -ից կոր գիծ է, որը ճնշումների առանցքը հատում է $P_l = 2\sigma \cos \alpha / r_0$ կետում: Այդ երկու գրաֆիկների հատման կետերը (h_1, h_2) համապատասխանում են մագնոթում հեղուկի հավասարակշռության դիրքերին: Որոշենք, թե այդ դիրքերից որն է կայուն:

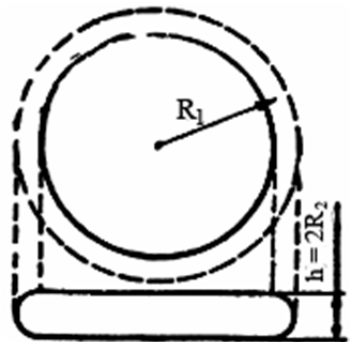
Ենթադրենք՝ h_2 -ի դեպքում հեղուկի մակարդակն ինչ-որ պատճառով բարձրացել է ($h > h_2$): Այդ դեպքում P_l -ն կմեծանա ավելի շատ, քան P_h -ն, և հեղուկի մակարդակը կշարունակի բարձրանալ մինչև մագնոթի վերին սահմանը: Եթե $h < h_2$, ապա $P_h > P_l$, և հեղուկի մակարդակը կշարունակի նվազել մինչև h_1 -ը: Նշանակում է՝ h_2 -ին համապատասխանող մակարդակը կայուն չէ: Իսկ եթե $h > h_1$, ապա P_l -ն կաճի ավելի քիչ, քան P_h -ն, և հեղուկի մակարդակը կիջնի՝ վերադառնալով h_1 -ին: Եթե $h < h_1$, ապա $P_h < P_l$, և հեղուկի մակարդակը նորից կբարձրանա մինչև h_1 : Դա նշանակում է, որ

$$h = h_1 = \frac{r_0 - \sqrt{r_0^2 - 8\sigma \sin \alpha / \rho g}}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

հավասարակշռության դիրքը կայուն է: $\rho g r_0^2 = 8\sigma \sin \alpha$ պայմանի դեպքում հավասարումը կունենա միայն մեկ արմատ: Դա $h_3 = r_0 \operatorname{ctg} \alpha / 2$ բարձրությունն է: Այդ կետում P_l և P_h գրաֆիկները հպվում են:

$$\textbf{7.30. } h = \frac{-r_0 + \sqrt{r_0^2 + \frac{8\sigma \sin \alpha}{\rho g}}}{2 \operatorname{tg} \alpha} :$$

7.31. Սեղմված սնդիկի կաթիլը կընդունի գոգավոր կողմնային մակերևույթով բարակ սկավառակի տեսք: Մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ΔP լրացուցիչ ճնշումը որոշվում է Լապլասի բանաձևով՝



ՈԼ.28

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \text{ որտեղ } \sigma \text{ -ն մակերևութային լարվածության}$$

գործակիցն է, R_1 -ը՝ սկավառակի շառավիղը, R_2 -ը՝ մակերևութի կորության շառավիղը թիթեղներին ուղղահայաց հարթության մեջ (տե՛ս նկ. 28): Կորության երկու շառավիղներն էլ դրական են, քանի որ մակերևութների կորությունների կենտրոններն ընկած են սնդիկի ներսում: Այդ լրացուցիչ ճնշումը հավասարակշռվում է արտաքին ճնշումով, որն առաջացնում է F ուժը՝ $\Delta P = F / S$, որտեղ S -ը սնդիկի հետ ապակու հպման մակերեսն է: Կարելի է համարել, որ $S = m / \rho h$, որտեղ ρ -ն սնդիկի խտությունն է: Տրված

$$\text{պայմաններից կստանանք՝ } F = \sigma \left(\sqrt{\frac{\pi \rho h}{m}} + \frac{2}{h} \right) \frac{m}{\rho h} = 10 \text{ Ն:}$$

7.32. Իզոթերմ պրոցեսի ժամանակ A աշխատանքը որոշվում է F ազատ էներգիայով և A_1 օդի սեղմման աշխատանքով, որը կատարվում է պղպջակը փչելիս՝ նրանում ճնշումը P_0 մթնոլորտայինից մինչև P հասցնելու համար: $P = P_0 + 4\sigma / r$: Կարելի է գրել, որ $A = F + A_1$: Պղպջակի մակերեսի առաջացման համար անհրաժեշտ էներգիան՝ $F = \sigma \cdot S$, որտեղ S -ը ներքին և արտաքին մակերեսների գումարն է: Քանի որ թաղանթը շատ բարակ է, ապա կարող ենք ընդունել, որ $S = 8\pi r^2$: Գազի իզոթերմ սեղմման աշխատանքը՝

$$A_1 = PV \ln \frac{P}{P_0} = \left(P_0 + \frac{4\sigma}{r} \right) \frac{4}{3} \pi r^3 \ln \left(1 + \frac{4\sigma}{rP_0} \right): \text{ Հաշվի առնելով, որ}$$

$$\frac{4\sigma}{rP_0} \ll 1, \text{ լոգարիթմը վերլուծենք շարքի՝ } \ln \left(1 + \frac{4\sigma}{rP_0} \right) \approx \frac{4\sigma}{rP_0}: \text{ Ազատ}$$

էներգիայի և սեղմման աշխատանքի համար ստացված արտահայտությունները տեղադրելով աշխատանքի արտահայտության մեջ՝ կստանանք՝ $A = 8\pi\sigma r^2(1 + 2/3) = 4.2 \cdot 10^{-3} \text{ Ջ:}$

$$\textbf{7.34. } m = 2l\sigma / g = 0.07 \text{ գ, } F = 2\sigma l h \approx 0.35 \text{ մՋ:}$$

$$\textbf{7.35. } h = 4\sigma / \rho g d = 21 \text{ սմ:}$$

$$\textbf{7.36. } \sigma = \frac{P_0 d (1 - \eta^3 / n)}{8(\eta^2 - 1)}:$$

$$\textbf{7.37. } R = r_1 r_2 / (r_1 - r_2):$$

7.38. $P = P_0 + \rho gh + 4\sigma / d = 2.2 \text{ մթ.}:$

7.39. $\Delta h = 4\sigma |\cos \theta| \frac{d_2 - d_1}{d_1 d_2 \rho g} = 11 \text{ մմ}:$

7.40. $R = 2\sigma / \rho gh = 0.6 \text{ մմ}:$

7.41. $x = \frac{L}{L + P_0 d / 4\sigma} = 1.4 \text{ սմ}:$

7.42. $h = \frac{4\sigma}{\rho g(d_2 - d_1)} = 6 \text{ սմ}:$

7.43. $R_2 - R_1 \approx \rho gh^3 / 8\sigma = 0.2 \text{ մմ}:$

7.44. $F = 2\sigma m / \rho h^2 = 1 \text{ Ն}:$

7.45. $F = 2\pi R^2 \sigma / h = 0.6 \text{ կՆ}:$

7.46. $Q = 2\pi\sigma^2 / \rho g:$

7.47. ա) $F = \pi\sigma d^2 = 3 \text{ մկՋ, բ) } F = 2\pi\sigma d^2 = 10 \text{ մկՋ}:$

7.48. $C - C_P = \frac{R}{2(1 + 3P_0 r / 8\sigma)}:$

VIII. Փուլային հավասարակշռություն և անցումներ

8.23. $T_1 = T_2, P_1 = P_2:$

8.24. $T_1 = T_2, P_1 = P_2, dN_{12} / dt = dN_{21} / dt:$ Ավելի խիստ՝ պետք է հավասար լինեն քիմ. պոտենցիալները՝ $\mu_1 = \mu_2:$

8.25. $T_1 = T_2 = T, P_1 = P_2 = P, dN_{12}(P, T) / dt = dN_{21}(P, T) / dt:$ Լուծելով այս համակարգը՝ կստանանք՝ $P = P(T):$

8.26. ա) հեղուկի գոլորշացում, բ) գոլորշու խտացում: V_h -ն համակարգի ծավալն է հեղուկ վիճակում, V_g -ն՝ գազային վիճակում (նկ. 29):

8.27. Տե՛ս նկ. 30:

8.28. $m_h = m / 6 \approx 2 \text{ կգ, } m_g = 5m / 6 \approx 10 \text{ կգ}:$

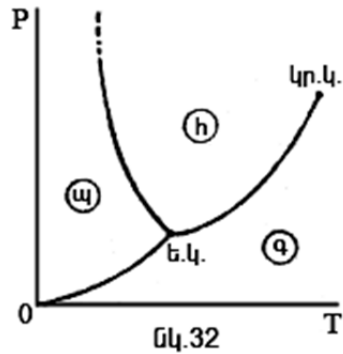
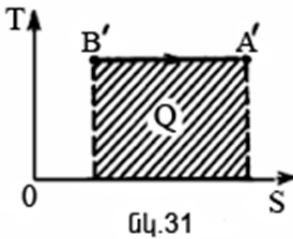
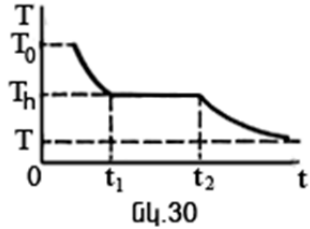
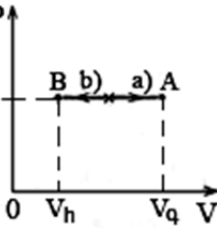
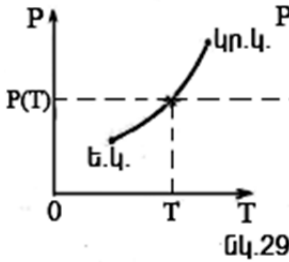
8.29. Նրբագծված մակերեսը հավասար է այն աշխատանքին, որը պետք է կատարել գոլորշու վրա, որպեսզի իզոթերմ սեղմման միջոցով կրիտիկական ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճանում այն վերածվի հեղուկի: Ներքին էներգիան նվազում է:

8.30. Տե՛ս նկ. 31:

8.32. Տե՛ս նկ. 32:

8.34. $\Delta u = q - p(V_q - V_h)$:

8.35. q -ն նվազում է T -ի աճելու ժամանակ: $q(T_{\text{կո}}) = 0$:



8.36. Կլասայեյրոն-Կլատոգիոսի հավասարումը՝ $\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T(V_q - V_h)}$,

$$\frac{dP}{P} = \frac{q}{RT^2} dT, \quad P(T) = P_0 \exp\left(-\frac{q}{RT}\right), \quad P_0 = P(T_0) \exp\left(\frac{q}{RT_0}\right):$$

8.37. $A = \Delta mRT / \mu = 1.2 \text{ Ջ}:$

8.38. $V = V_h + V_q$, $m = m_h + m_q$: $m = \frac{V - mV'_h}{V'_q - V'_h} = 20q$, որտեղ V'_h -ն

ջրի տեսակարար ծավալն է, $V_q = 1$ է:

8.39. $m_h = \frac{P_0 V_0 \mu}{RT} - \frac{P_0 V \mu}{RT} = \frac{P_0 \mu (V_0 - V)}{RT} = 2 \text{ գ}$, որտեղ P_0 -ն նորմալ

ճնշումն է:

8.40. $\eta = (n - 1) / (N - 1)$:

8.41. $\Delta S = m q / T = 6 \text{ կՋ/Կ}$, $\Delta U = m(q - RT / \mu) = 2.1 \text{ ՍՋ}$, $T = 373 \text{ Կ}$:

8.42. $d = \frac{4\sigma\mu}{\eta\rho RT} = 0.2 \text{ մկմ}$, որտեղ ρ -ն ջրի խտությունն է:

8.43. $\Delta p = a / V_\mu^2 = 1.7 \cdot 10^4 \text{ մթ.}$:

8.44. $q = R(a - bT)$:

8.45. $\Delta T = 0.0075 \text{ Կ}$:

8.46. Պայմանները, որոնցում գտնվում են սնդիկի գոլորշիները, հեռու են կրիտիկականից, հետևաբար կարելի է գրել, որ $\Delta V_{qh} = V_q - V_h \approx V_q$, իսկ սնդիկի գոլորշիները համարել $V_q = RT / P$ մոլային ծավալով իդեալական գազ: Նպատակահարմար է օգտագործել տեսակարար ծավալի արտահայտությունը՝ $v_q = RT / \mu P$: Սնդիկի մոլային զանգվածը՝ $\mu = 200.6 \text{ գ/մոլ}$: Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը՝ $\left(\frac{dP}{dT}\right)_{hq} \approx \frac{q_{hq}}{T v_q} = \frac{q_{hq} \mu P}{RT^2}$, որտեղից $q_{hq} = (dP / dT)_{hq} RT^2 / \mu P \approx 2.26 \cdot 10^5 \text{ Ջ/գ}$:

8.47. $P \approx \left(1 + \frac{q \Delta T}{\nu RT^2}\right) P_0 = 1.035 \text{ մթն}$, որտեղ q -ն գոլորշացման

տեսակարար ջերմությունն է, $\nu = 1/18$ -ը՝ 1 գ ջրում մոլերի թիվը, P_0 -ն՝ մթնոլորտային ճնշումը:

8.48. $t = 109^\circ \text{C}$:

8.49. $P = A T^{-\mu \cdot a / R} e^{-q_0 \mu / RT}$, որտեղ μ -ն մոլային զանգվածն է, A հաստատունի արժեքը կարելի է որոշել՝ իմանալով հեղուկի եռման ջերմաստիճանը որևէ ճնշման դեպքում:

8.50. $T = \frac{q \mu_1 T_{\text{եռ}} T_0}{q \mu_1 T_0 + \mu g H T_{\text{եռ}}}$, որտեղ μ -ն օդի մոլային զանգվածն է,

μ_1 -ը՝ ջրինը, $T_{\text{եռ}}$ -ը՝ երկրի մակերևույթի մոտ ջրի եռման ջերմաստիճանը:

8.51. $\Delta T = T_{100} \frac{B}{B+1} \approx 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, որտեղ $B = \frac{\mu_{\text{on}}}{\mu_{\text{գուր}}} \frac{gH}{q} \frac{T_{100}}{T_0} \approx 6.8 \cdot 10^{-2}$,

$T_{100} = 373 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_0 = 273 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $q = 2260 \text{ } \text{Ջ/գ}$:

8.52. Աղիաբատ սեղմման ժամանակ ջրային գոլորշին դառնում է չհագեցած, իսկ աղիաբատ ընդարձակման ժամանակ՝ գերհագեցած: Վերջինս օգտագործվում է Վիլսոնի խցիկում:

8.53. Սառույց-գոլորշի անցման տեսակարար ջերմությունը՝ $q_{\text{սգ}} = \lambda + q$: Այս արտահայտությունը տեղադրելով Կլապեյրոն-

Կլաուզիուսի բանաձևի մեջ՝ $\frac{dP}{dT} = \frac{q + \lambda}{T(v_g - v_u)} \approx \frac{q + \lambda}{Tv_g}$, և

$Pv_g = RT / \mu$ արտահայտությունից որոշելով ջրային գոլորշիների տեսակարար ծավալը՝ հեշտությամբ կստանանք, որ եթե $\Delta T = -1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ապա $\Delta P = -0.38 \text{ մմ. ս. ս.}$, հետևաբար $t = -1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում հագեցած գոլորշու ճնշումը սառույցի վրա՝ $P_{-1^{\circ}\text{C}} = 4.2 \text{ մմ. ս. ս.}$:

8.54. $\Delta T = PT(v_g - v_u) / \lambda \approx -0.72 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta m / m = c_u \Delta T / \lambda = 0.0054$, որտեղ λ -ն սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունն է:

8.55. Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը միավոր զանգվածով գոլորշու համար կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝ $\delta Q = dh^g - v^g dP$, որտեղ h^g -ն տեսակարար էնթալպիան է, իսկ v^g -ն՝ գազի տեսակարար ծավալը: Մենք այս հավասարումը կիրառում ենք պրոցեսի համար, երբ $P \neq \text{const}$: Բայց եթե գոլորշին համարենք իդեալական գազ, ապա նրա էնթալպիան կախված կլինի միայն ջերմաստիճանից: Այդ դեպքում ցանկացած քվազիստատիկ պրոցեսի համար $dh^g / dT = c_p^g$: Այդ պատճառով հագեցած գոլորշու տեսակարար

ջերմունակության համար կստանանք $c = c_p^g - v^g \frac{dP}{dT}$ արտահայ-

տությունը: Քանի որ ջերմուցումը կատարվում է այնպես, որ գոլորշին մնում է հագեցած, հետևաբար dP / dT -ն կորոշվի Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումից: $c = c_p^g - q / T$: Համաձայն ջերմունակության դասական տեսության՝ ջրային գոլորշու տեսակարար ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում՝ $c_p^g = 1.86 \text{ } \text{Ջ/(գ}\cdot\text{}^{\circ}\text{C)}$:

Օգտագործելով այս արժեքը՝ գոլորշու տեսակարար ջերմունակության համար կստանանք՝ $c = -4.18 \text{ Ջ/(գ·Կ)}$:

8.57. Քվազիստատիկ և իզոթերմ կերպով գոլորշացնենք հեղուկը T_1 ջերմաստիճանում: Այդ պրոցեսում էնտրոպիայի փոփոխությունը՝

$$\Delta S_1 = \frac{q}{T_1} (m_2 - m_1):$$

Այնուհետև քվազիստատիկ կերպով գոլորշու

ջերմաստիճանը փոխենք այնպես, որ այն մնա հագեցած: Այդ պրոցեսում անհրաժեշտ տարրական ջերմաքանակը՝

$$\delta Q = m_2 c dT = m_2 \left(c_p^g - \frac{q}{T} \right) dT:$$

Քանի որ $dS = \delta Q / T$, հետևաբար,

արհամարհելով $\lambda(T)$ կախումը, ինտեգրումից հետո կստանանք՝

$$\Delta S_2 = m_2 \left[c_p^g \ln \frac{T_2}{T_1} + q \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]:$$

Համակարգի ընդհանուր էնտրո-

պիայի փոփոխությունը՝ $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$:

8.58. $\frac{dq}{dT} = c_p^g - c - \frac{v^h}{v^g - v^h} \frac{q}{T} (1 - \alpha T)$, որտեղ c_p^g -ն գազի տեսակա-

րար ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում, իսկ v^h -ն և v^g -ն՝ համապատասխանաբար հեղուկի և գազի տեսակարար ծավալները:

ՀԱՎԵԼՎԱԾ

Աղյուսակ 1

Պինդ նյութերի հատկությունները

ρ -ն խտությունն է, E -ն՝ առաձգականության մոդուլը, α -ն՝ զծա-
յին ընդարձակման գործակիցը, c -ն՝ տեսակարար ջերմունակու-
թյունը, t -ն՝ հալման ջերմաստիճանը, և λ -ն՝ հալման տեսակա-
րար ջերմությունը:

Նյութը	ρ , $\times 10^3$, $կգ/մ^3$	E , $\times 10^{10}$, $Ն/մ^2$	α , $Կ^{-1}$	c , $Ջ/(կգ \cdot Կ)$	t , $^{\circ}C$	λ , $\times 10^3$, $Ջ/կգ$
Ալյումին	2.7	7.1	23.8	880	659	380
Ալմաստ	3.5	–	1.3	–	–	–
Աղյուս	1.8	2.8	5.5	750	–	–
Անագ	7.3	–	26.7	250	232	59
Ապակի	2.5	7.0	8.1	840	–	–
Արծաթ	10.5	7.9	19.5	234	961	88
Արույր	8.5	9.8	18.4	385	900	–
Բետոն	2.2	2.0	12.0	880	–	–
Գերմանիում	5.32	8.1	–	310	958	478
Գրաֆիտ	2.2	–	7.9	–	–	–
Դուրալյումին	2.79	7.3	22.6	930	753	420
Երկաթ	7.8	2.0	12.2	465	1 530	293
Թուջ (գորշ)	7.0	10.8	10.0	500	1 150	120
Ինդիում	22.4	52.8	–	134	–	–
Խցանակեղև	0.24	–	–	2 050	–	–
Կապար	11.3	1.6	29.0	130	327	22.5
Կոնստանտան	8.88	16.3	15.2	–	–	–
Ճենապակի	2.3	5.8	3.0	–	–	–
Նիկել	8.9	20.4	13.0	448	1 452	280
Ոսկի	19.3	–	14.2	130	1 063	66.6
Պլատին	21.5	–	9.0	134	1 770	113
Պղինձ	8.9	12.3	16.5	385	1 083	214
Պողպատ	7.8	20.6	11.7	460	1 350	205
Սառույց	0.9	–	50.7	2 100	0	334
Սիլիցիում	2.4	–	–	970	–	–
Վոլֆրամ	19.1	39.0	4.5	134	3 683	26
Տիտան	4.5	11.6	–	–	–	–
Ցինկ	7.1	8.2	29.0	400	692	118
Փայտ	0.7	–	55.0	2 700	–	–
Քվարց	2.65	7.5	0.5	–	–	–

Աղյուսակ 2

Հեղուկ նյութերի հատկությունները

ρ -ն խտությունն է, σ -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը, β -ն՝ ծավալային ընդարձակման գործակիցը, c -ն՝ տեսակարար ջերմունակությունը, t -ն՝ եռման ջերմաստիճանը (760 մմ ս. ս.), և r -ը՝ շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը:

Նյութը	ρ , կգ/մ^3	σ , Ն/մ	β , $\times 10^{-3}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	c , $\times 10^3$, $\text{Ջ/(կգ}\cdot^{\circ}\text{C)}$	t , $^{\circ}\text{C}$	r , $\times 10^3$, Ջ/կգ
Ամոնիակ	–	–	–	–	–33.4	1 370
Ացետոն	800	0.0233	1.43	2.16	56.25	525
Բենզին	700	–	1.00	2.09	150	300
Բենզոլ	880	0.0289	1.06	1.70	80.1	394
Գլիցերին	1 260	0.0657	0.59	2.39	290	825
Եթեր	720	0.0171	1.62	2.3	–	–
Ծմբաթթու	1 830	–	0.55	–	–	–
Թուլուլ	866	0.0285	1.08	1.72	–	–
Կաթ	1 030	–	–	–	–	–
Կերոսին	800	0.0240	0.96	–	–	–
Յուղ	920	0.0330	0.97	–	–	–
Ջուր քաղցրահամ	1 000	0.0727	0.18	4.19	100	2 256
Մեթիլ	13 600	0.465	0.181	0.138	356.8	285
Սպիրտ էթիլային	790	0.0223	1.10	2.39	78.33	840
Սպիրտ մեթիլային	830	–	1.19	2.47	64.6	1 100
Օճառաջուր	–	0.0400	–	–	–	–
Ֆրենոն	–	–	–	–	–24.9	162

Աղյուսակ 3

Գազային նյութերի հատկությունները

ρ -ն խտությունն է, c -ն՝ տեսակարար ջերմունակությունը (նորմալ պայմաններում), t -ն՝ խտացման ջերմաստիճանը, և r -ը՝ շոգեզոյացման տեսակարար ջերմությունը:

Նյութը	ρ , կգ/մ^3	c , $\text{Ջ/(կգ}\cdot\text{°C)}$	t , $^{\circ}\text{C}$	r , $\times 10^3$, Ջ/կգ
Ազոտ	1.25	1 000	-196	1.98
Ածխաթթու գազ	1.98	830	–	–
Ամոնիակ	0.77	2 100	-33.4	13.7
Թթվածին	1.43	920	-183	2.13
Հելիում	0.18	5 200	-269	0.2
Մեթան	0.72	–	-161.5	5.1
Ջրածին	0.09	14 300	-253	4.54
Ջրային գոլորշի	0.88	2 200	100	22.6
Օդ	1.29	1 000	-192	2.1

Հիմնարար ֆիզիկական հաստատուններ

Ավոգադրոյի հաստատուն՝ $N_A = 6.023 \cdot 10^{23} \text{ մոլ}^{-1}$

Ունիվերսալ գազային հաստատուն՝ $R = 8.314 \text{ Ջ/(մոլ}\cdot\text{°C)}$

Բոլցմանի հաստատուն՝ $k = 1.380 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ/°C}$

Իդեալական գազի մոլային ծավալը նորմալ պայմաններում՝ $V_0 = 22.42 \cdot 10^{-3} \text{ մ}^3/\text{մոլ}$

Որոշ ֆիզիկական մեծությունների միավորները ՄՄՀ-ում

1 ղին = 10^{-5} Ն

1 էրգ = 10^{-7} Ջ

1 կալ = 4.18 Ջ

1 էՎ/կ = $11\,600 \text{ °C}$

**Վան դեր Վալսի հավասարման a և b հաստատունները որոշ
նյութերի համար**

<i>Նյութը</i>	<i>Քիմ. բանաձևը</i>	<i>a , Պա մ⁶/մոլ²</i>	<i>b , սմ³/մոլ</i>
Ազոտ	N ₂	0.135	38.6
Արգոն	Ar	0.134	32.2
Ջրային գոլորշի	H ₂ O	0.545	30.4
Ջրածին	H ₂	0.0245	26.65
Օդ	–	1.308	114.1
Հելիում	He	0.0034	23.6
Ազոտի երկօքսիդ	NO ₂	0.38	44.3
Թթվածին	O ₂	0.136	31.67
Նեոն	Ne	0.21	16.9
Ազոտի օքսիդ	NO	0.144	28.86
Ածխածնի օքսիդ	CO	0.145	39.5
Մեթան	CH ₄	0.226	42.7
Ածխաթթու գազ	CO ₂	0.361	42.8
Քլոր	Cl ₂	0.65	56.2

Բովանդակություն

I. Իդեալական գազ.....	3
II. Գազերի մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը: Մաքսվելի և Բոլցմանի բաշխումները	16
III. Ջերմաքանակ և աշխատանք: Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը.....	35
IV. Ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքը: Էնտրոպիա: Շրջանային պրոցեսներ.....	55
V. Իրական գազեր	78
VI. Փոխանցման երևույթներ.....	92
VII. Հեղուկներ: Մակերևութային երևույթներ	100
VIII. Փուլային հավասարակշռություն և անցումներ	107
Պատասխաններ և լուծումներ	115
Հավելված (աղյուսակներ).....	191

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

**Ի. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ե. Բ. ԴԱԼՅԱՆ,
Վ. Ի. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Վ. Ա. ԹՈՒՄՅԱՆ**

**ՄՈՒԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ
ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ**

Երկրորդ լրամշակված հրատարակություն

Համակարգչային ձևավորումը՝ Կ. Չալաբյանի
Կազմի ձևավորումը՝ Ա. Պատվականյանի
Հրատ. սրբագրումը՝ Մ. Կեսոյանի

Տպագրված է «ՎԱՌՄ» ՍՊԸ-ում:
Ք. Երևան, Տիգրան Մեծի 48, բն. 43

Ստորագրված է տպագրության՝ 12.08.2020:
Չափսը՝ 60x84 ¹/₁₆: Տպ. մամուլը՝ 12.125:
Տպաքանակը՝ 100:

ԵՊՀ հրատարակչություն
Ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1
www.publishing.am



ԵՐԱՍՏԱՊԱՆԿՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 2020
publishing.ysu.am