

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. ԻԴԵԱԼԱԿԱՆ 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-Կլապեյրոնի 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:

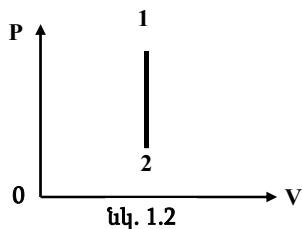
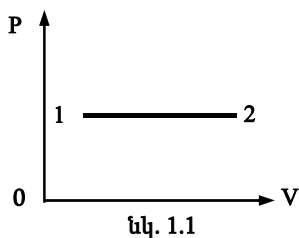
1.10. Հաստատուն ջերմաստիճանում գազի կոնցենտրացիան 2 անգամ նվազում է: Գազի n ՝ պարամետրերն են փոփոխության ենթարկվում:

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:

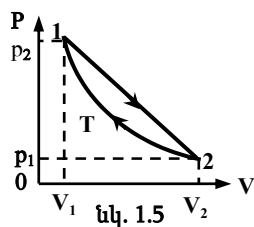
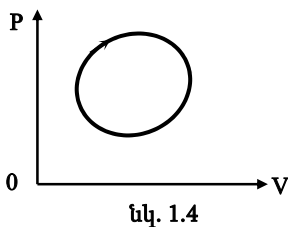
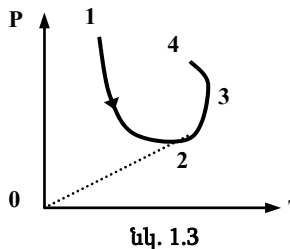
1.16. Պատկերել իդեալական գազի ρ խտության կախումը T ջերմաստիճանից իզոբար, իզոխոր և իզոթերմ պրոցեսների համար:

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

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

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

$k_T = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$ 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 դուրսմղման 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:

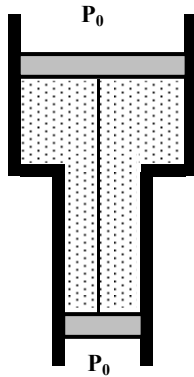
1.46. Երկու միանման հորիզոնական թիթեղների միջև կա μ մոլային զանգվածով և P ճնշումով իդեալական գազ: Գազի ջերմաստիճանը գծայնորեն աճում է ստորին թիթեղի T_1 ջերմաստիճանից մինչև վերին թիթեղի T_2 ջերմաստիճանը: Թիթեղների միջև եղած գազի ծավալը V է: Որոշել գազի զանգվածը:

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:

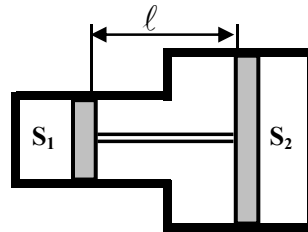
1.48. Ուղղաձիգ, երկու ծայրերը փակ խողովակը առանց շփման

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:

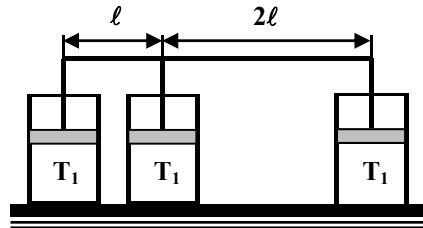
1.59. g ազատ անկման արագացումով ծանրության ուժի համասեռ դաշտում գտնվում է շատ բարձր ուղղաձիգ գլանաձև անոթ: Այն

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):

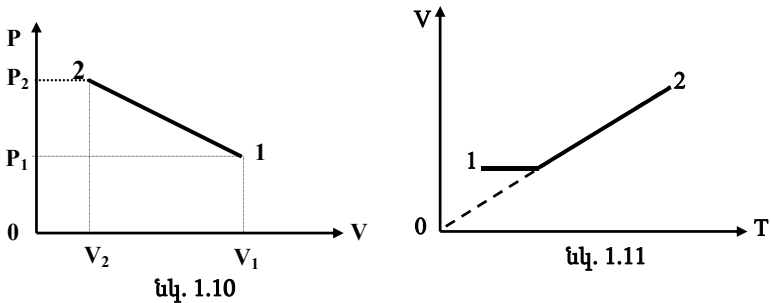
1.64. Ստանալ ամոնիակի մոլեկուլային բանաձևը, եթե $t = 20^\circ\text{C}$

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 կիներտիկ տեսության հիմնական հավասարումից հնարավոր լինի որոշել գազի մոլեկուլների $\overline{v^2}$ միջին քառակուսային արագությունը:

2.2. Ելնելով անոթի պատերին մոլեկուլների բախումների մոլեկուլային-կիներտիկ 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

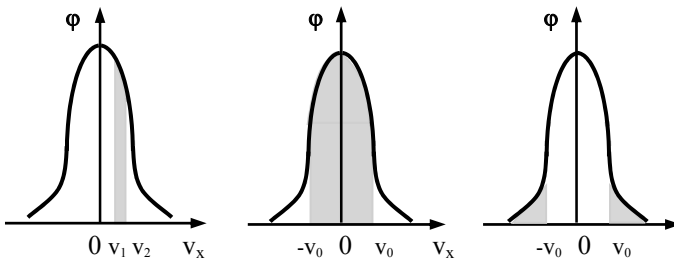
տատանումներ $x = a \cos \omega t$ օրենքով: Որոշել պատահական դիտման ընթացքում մասնիկի հայտնաբերման հավանականությունը $[x, x + dx]$ հատվածում: Հաշվել հետևյալ արժեքները՝ $\langle x \rangle$, $\langle x^2 \rangle$ և $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$:

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. Ինչ 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:

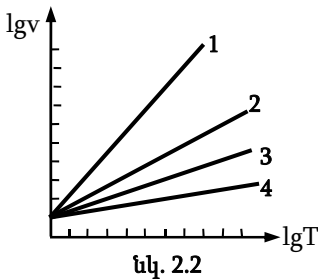
2.58. Օրգանական նյութի խոշոր մոլեկուլի զանգվածը՝ $m = 10^{-18}$ գ: Հաշվել այդպիսի մոլեկուլի ջերմային շարժման միջին լրիվ կինետիկ էներգիան, եթե այն գտնվում է օդում կախված վիճակում: Որոշել այդպիսի մոլեկուլի միջին քառակուսային արագությունը: Օդի ջերմաստիճանը՝ $T = 300$ Կ:

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:

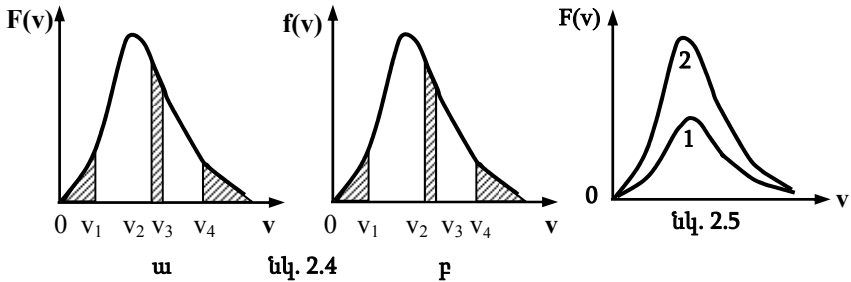
2.65. Ժամանակակից վակուումային պոմպերը թույլ են տալիս ստանալ ճնշումներ մինչև $P = 3 \cdot 10^{-12}$ մմ ս. ս. (սենյակային ջերմաստիճաններում): Որոշել 1սմ³ ծավալում եղած ազոտի մոլեկուլների թիվը և միջին միջմոլեկուլային հեռավորությունը այդ ճնշման դեպքում:

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

ագուտի 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:

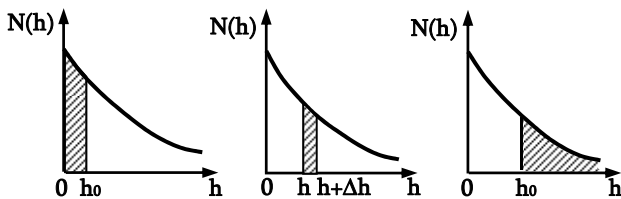
2.108. Հայտնի է գազի մոլեկուլների $n(r)$ կոնցենտրացիայի կախումը կոորդինատներից: Որոշել գազի մոլեկուլների կոորդինատների հավանականությունների բաշխումը: Գազի ծավալը V է: Դիտարկել Բոլցմանի բաշխման մասնավոր դեպքը:

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. Կփոխվի՞ արդյոք տվյալ գազի $\gamma = C_p / C_v$ հարաբերությունը, եթե մոլեկուլների մի մասը դիսոցվի 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՞վ 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:

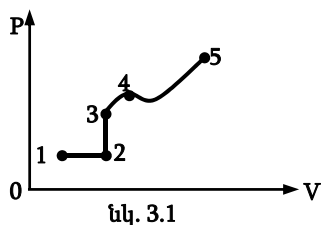
3.32. Ի՞նչ սահմաններում են գտնվում իդեալական գազի ջերմունակության արժեքները:

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:

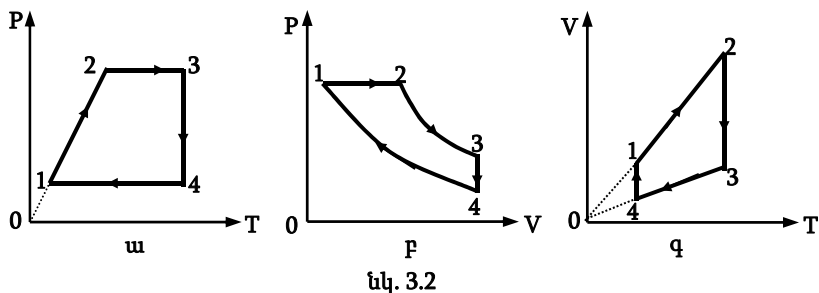
3.35. Ի՞նչ է էնթալպիան: Ինչո՞վ է այն տարբերվում ներքին էներգիայից:

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:



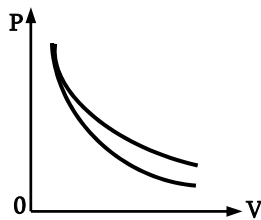
3.38. Միացով փակ գլանը լցված է գազով: Միացը վերնից սեղմված է Հուկի օրենքին ենթարկվող զսպանակով: (P, V) առանցքներում

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 :

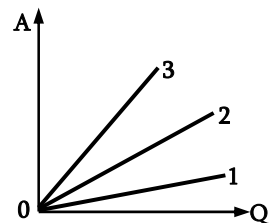
3.39. Նկ. 3.3-ում պատկերված են հելիումի և ածխաթթվի ադիաբատները: Ո՞ր կորն է համապատասխանում հելիումին:

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

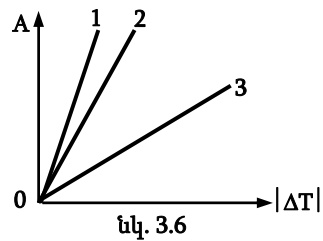
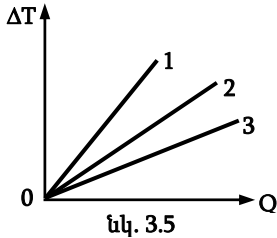


նկ. 3.4

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:

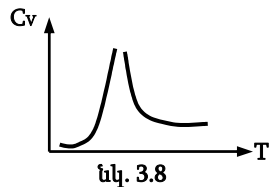
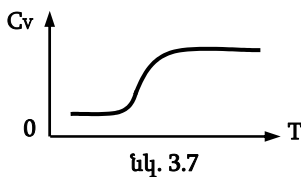
3.43. Նկ. 3.6-ում պատկերված ուղիղներից մեկը ցույց է տալիս աշխատանքի կախումը գազի ջերմաստիճանի փոփոխությունից իզոբար պրոցեսում: Մյուս երկուսը ազոտի և արգոնի ադիաբատներն

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°C 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°C 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:

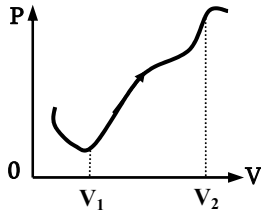
3.45. Երկատոմ գազերը տաքացնելիս բարձր ջերմաստիճաններում նկատվում է ջերմունակության կտրուկ աճ՝ հետագա նվազմամբ (նկ. 3.8): Նման կախում նկատվում է նաև բազմատոմ գազերի դեպքում: Ինչպե՞ս է բացատրվում այդպիսի կախումը:



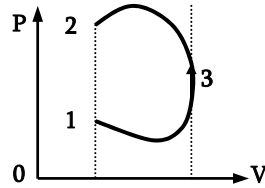
3.46. Հայտնի է $P = P(V)$ ճնշման կախումը ծավալից որոշակի պրոցեսի համար (նկ. 3.9): Ինչպե՞ս կարելի է հաշվել այդ պրոցեսում կատարված աշխատանքը, եթե ծավալը փոխվում է V_1 -ից V_2 : Ցույց տալ աշխատանքը նկարի վրա:

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:

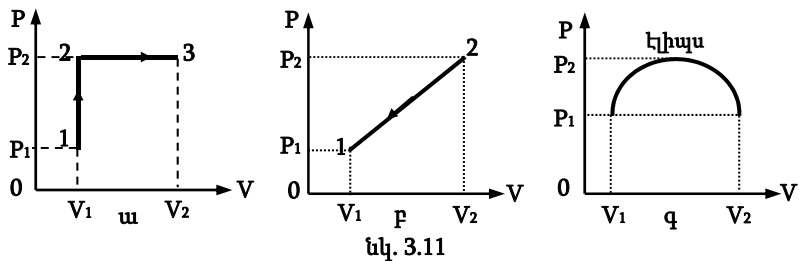
3.49. Կարելի՞ է արդյոք սահմանել այնպիսի վիճակի ֆունկցիաներ, որոնք ունեն համակարգի աշխատանքի կամ ջերմաքանակի իմաստ: Պատասխանը հիմնավորել:

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:

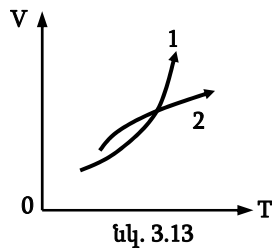
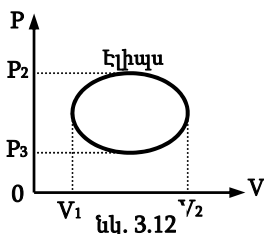
3.53. Որոշել նկ. 3.11-ում պատկերված պրոցեսներում համակարգի կատարած աշխատանքը:



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:



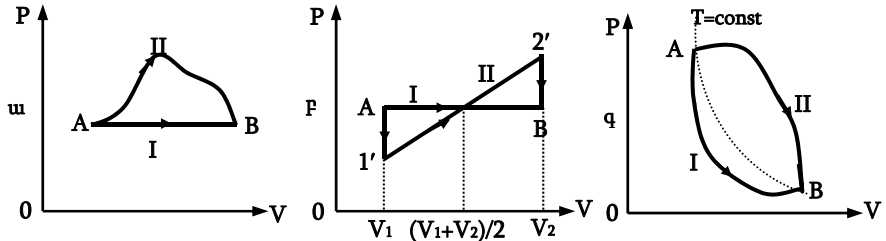
3.57. Ֆիզիկայի տեսանկյունից բացատրել այն փաստը, որ $C_p > C_v$:

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:

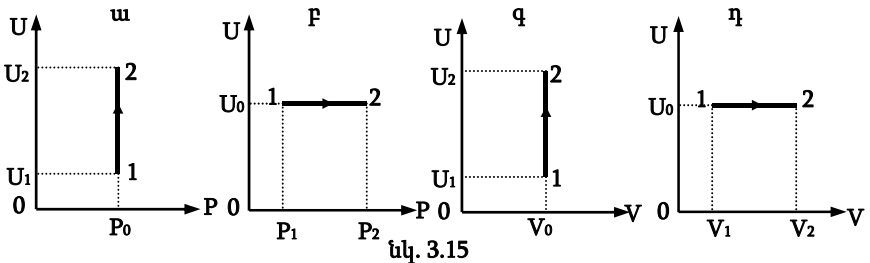
3.60. Համեմատել Q_I և Q_{II} ջերմաքանակները, որոնք ստանում է

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:

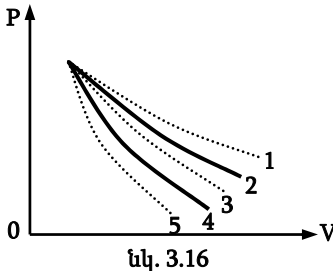
3.63. ν մոլ իդեալական գազին հաղորդում են Q ջերմաքանակ, ինչի հետևանքով նրա ջերմաստիճանը T_1 -ից բարձրանում է մինչև T_2 : Որոշել գազի γ աղիաբատ ցուցիչի արժեքը:

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

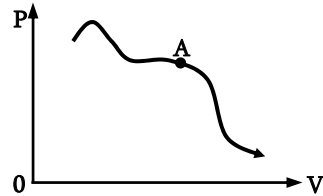
3.65. Նկ. 3.16-ում պատկերված են մի շարք պրոցեսների գրաֆիկներ: 2-րդ կորը իզոթերմ է, իսկ 4-րդը՝ աղիաբատ: Որոշել C ջերմունակության նշանը 1-ին, 3-րդ և 5-րդ պրոցեսներում: Ինչի՞ են հա-

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:

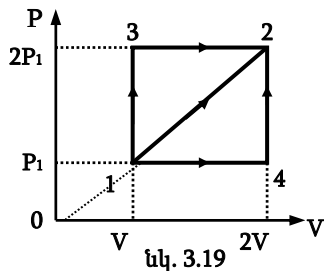
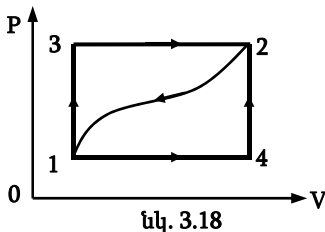
3.73. (P, V) դիագրամում պատկերված են որևէ ջերմադինամիկական համակարգի տարբեր դարձելի պրոցեսներ (նկ. 3.18): Հայտնի է, որ երբ համակարգը 1-ին վիճակից անցնում է 2-րդ վիճակին 1-3-2 ուղիով, ստանում է $Q_{132} = 80 \text{ Ջ}$ ջերմաքանակ և կատարում է $A_{132} = 30 \text{ Ջ}$ աշխատանք: 1) Որքա՞ն Q_{142} ջերմաքանակ 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 գանգվածով ազոտից և $m_2 = 20$ գ գանգվածով 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 գանգվածը 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 գանգվածով 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 1 մոլ 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:

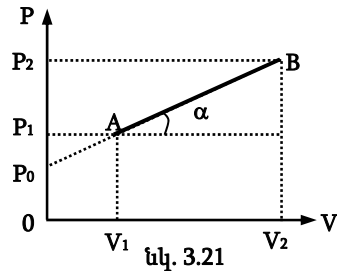
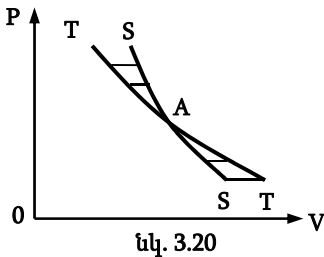
3.91. Տաքանո՞ւմ, թե՞ սառչում է իդեալական գազը, եթե ընդարձակվում է $PV^2 = \text{const}$ օրենքով: Հաշվել նրա ջերմունակությունն այդ պրոցեսում:

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 իզոթերմը 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:



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 կոդմից 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:

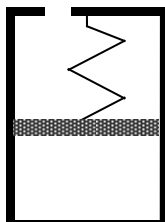
3.106. Մեկ մոլ իդեալական գազը կատարում է պրոցես, որի ընթացքում գազի մոլային ջերմունակությունը փոխվում է հետևյալ օրենքով՝ ա) $C = C_V + \alpha T$, բ) $C = C_V + \beta V$, գ) $C = C_V + \gamma P$, որտեղ C_V -ն, α -ն, β -ն և γ -ն հաստատուններ են: Ստանալ պրոցեսների հավասարումները՝ V և T փոփոխականներով:

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:

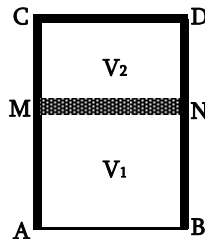
3.108. Օդի (իդեալական գազ, որի համար $\gamma = 1.4$) մի մասն անհրաժեշտ է սեղմել $P_1 = 10^9$ Պա ճնշումից մինչև $P_2 = 10^{10}$ Պա ճնշումը: Որոշել, թե ինչպես է ավելի ձեռնտու սեղմել գազը՝ ադիաբատորեն, թե՞ իզոթերմորեն, այսինքն՝ ո՞ր դեպքում կկատարվի ավելի քիչ աշխատանք:

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:

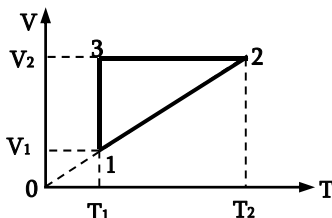
3.125. Գտնել որոշակի զանգվածով ազոտի ներքին էներգիայի փոփոխությունը, եթե ազոտը քվադիստատիկ կերպով ադիաբատորեն ընդարձակվում է $V_1 = 10$ լ ծավալից մինչև $V_2 = 320$ լ ծավալ: Գազի սկզբնական ճնշումը՝ $P_1 = 10^5$ Պա:

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:

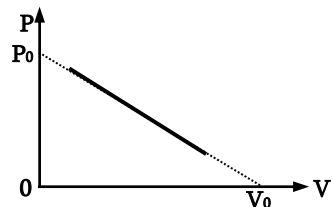
3.127. Դրակա՞ն, թե՞ բացասական աշխատանք է կատարում իդեալական գազը նկ. 3.24-ում պատկերված 1-2-3-1 շրջանային պրոցեսում: Հաշվել այդ աշխատանքը m գրամ ազոտի համար: Հայտնի է, որ $V_2 / V_1 = T_2 / T_1$:

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 միացը 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 միացի տակ, կա մեկ մոլ իդեալական գազ: Սկզբնական վիճակում գազի ճնշումը միացի վրա հավասարակշռվում էր մթնոլորտային P_0 ճնշումով: Արտաքինից ազդելով միացի վրա՝ այն այնպես դանդաղ են բարձրացնում, որ գազի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ և հավասար է T_0 -ի: Ի՞նչ աշխատանք է պետք կատարել միացը 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:

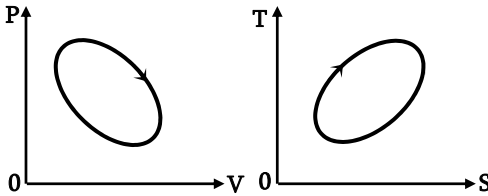
4.31. Ինչպե՞ս է փոխվում իդեալական գազի էնտրոպիան դատարկության մեջ ադիաբատորեն ընդարձակվելու դեպքում:

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

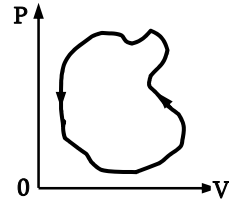
4.33. Ինչպե՞ս մեկնաբանել գազերի խառնվելու ընթացքում էնտրոպիայի աճը վիճակագրական տեսանկյունից:

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



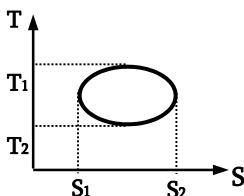
նկ. 4.2

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:

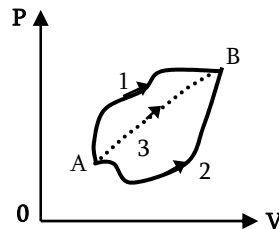
4.37. Որոշել նկ. 4.3-ում պատկերված էլիպսաձև ցիկլի ՕԳԳ-ն:

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) :

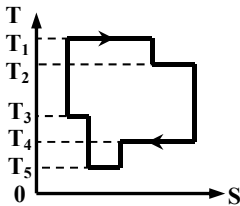
4.49. Որոշել հավասարակշռված համակարգի վիճակագրական կշռի փոփոխությունը, եթե ջերմաստիճանը և ճնշումը հաստատուն պահելով՝ փոխվի մասնիկների N թիվը η անգամ:

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

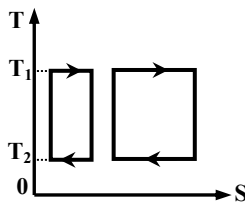
4.51. Կարելի՞ է արդյոք ստեղծել դարձելի ջերմային մեքենա, որն աշխատում է Կառնոյի ցիկլից տարբերվող ցիկլով: Ի՞նչ է դրա համար անհրաժեշտ:

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

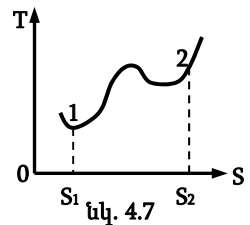
4.53. Համեմատել նկ. 4.6-ում պատկերված ցիկլերի ՕԳԳ-ները:



նկ. 4.5



նկ. 4.6



նկ. 4.7

4.54. (T, S) դիագրամում պատկերված է որոշակի քվադրատատիկ 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:

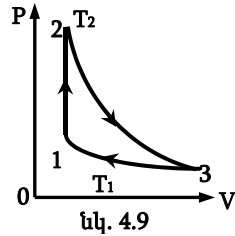
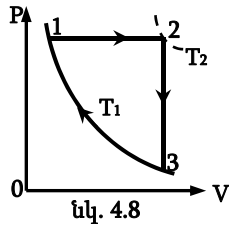
4.60. Որոշակի ծավալում $t_2 = -3^\circ\text{C}$ ջերմաստիճան պահպանելու
համար որպես սառցարան օգտագործվում է Կառնոյի մեքենան:
Շրջապատի ջերմաստիճանը՝ $t_1 = 27^\circ\text{C}$: Որքա՞ն աշխատանք է
պահանջվում մեկ ցիկլի ընթացքում $Q_2 = 215$ Ջ ջերմություն հեռաց-
նելու համար:

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

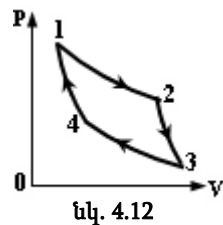
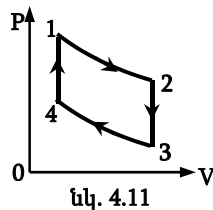
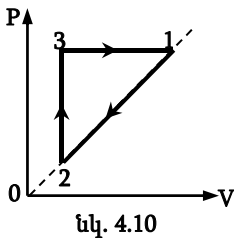
յուրաքանչյուր տեղամասում կատարված A_{ik} աշխատանքը և գազի ստացած ջերմությունը: Որոշել ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտելով այն T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով:



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:

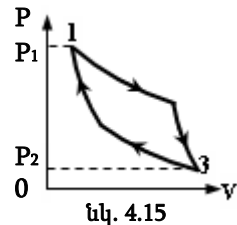
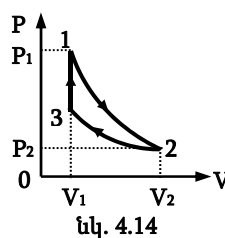
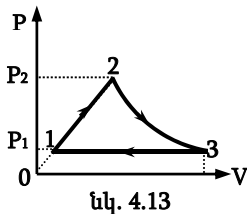
4.68. Որոշել պոլիտրոպ պրոցեսներից կազմված ցիկլի ՕԳԳ-ն, որը հաջորդաբար անցնում է հետևյալ վիճակներով՝ 1) $(2P, V)$, 2) $(2P, 8V)$, 3) $(P, 4V)$, 4) $(P, 2V)$: Բանոդ մարմինը միատոմ իդեալական գազ է:

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:

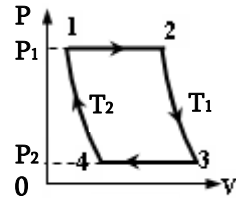
4.81. Կառնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ն՝ $\eta = 0.3$: Իզոթերմ ընդարձակման ըն-

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:

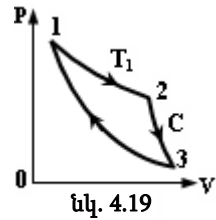
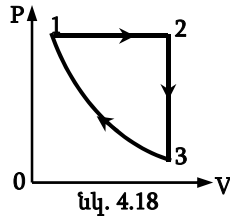
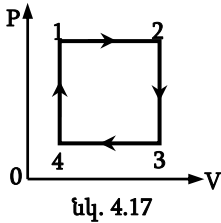
4.86. Կառնոյի ցիկլով աշխատող սառեցնող մեքենան խցիկում պահպանում է $T_1 = 260$ Կ ջերմաստիճան: Մի ցիկլի ընթացքում սառեցման խցիկից $Q_1 = 40$ կՋ էներգիա է դուրս մղվում շրջապատ, որի ջերմաստիճանը՝ $T_2 = 300$ Կ: Որոշել սառեցնող մեքենայի սպառած հզորությունը, եթե ցիկլի տևողությունը՝ $t = 1.5$ վ:

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:

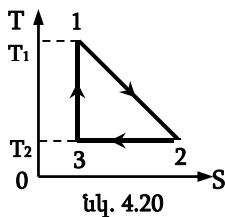


4.90. Ցիկլը կազմված է 1-2 իզոբար, 2-3 իզոխոր և 3-1 ադիաբատ պրոցեսներից (նկ. 4.18): Ցույց տալ, որ հաստատուն C_V և C_P ջերմունակություններով ցանկացած նյութի համար 1-ին, 2-րդ, 3-րդ վիճակների ջերմաստիճանները կապված են $T_2 / T_3 = (T_2 / T_1)^\gamma$ առնչությամբ, որտեղ $\gamma = C_P / C_V$:

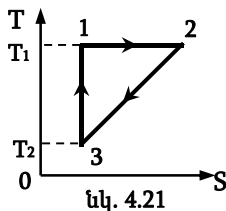
4.91. Որոշել կամայական նյութի՝ մեկ ցիկլի ընթացքում կատարած աշխատանքը, եթե ցիկլը կազմված է 1-2 իզոթերմ, 2-3 պոլիտրոպ և 3-1 ադիաբատ պրոցեսներից (նկ. 4.19): Պոլիտրոպի ջերմունակությունը C է, ջերմաստիճաններն իզոթերմի վրա և 3-րդ վիճակում համապատասխանաբար T_1 և T_3 են:

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:

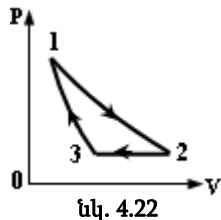
4.93. Ջերմային մեքենան, որի բանոց մարմինը կամայական նյութ է, կատարում է նկ. 4.21-ում պատկերված ցիկլը: Արտահայտել այդ ցիկլի ՕԳԳ-ն առավելագույն T_1 և նվազագույն T_2 ջերմաստիճաններով:



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:

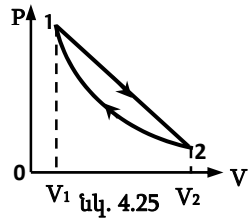
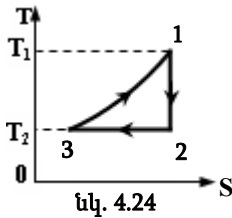
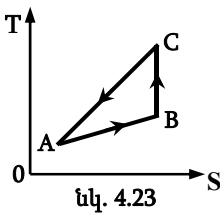
4.95. Դարձելի ցիկլում գազն իզոթերմ կերպով ընդարձակվում է, իզոբար կերպով սեղմվում և իզոխոր կերպով տաքացվում: Որոշել ՕԳԳ-ն, եթե ցիկլում առավելագույն և նվազագույն ջերմաստիճանների հարաբերությունը՝ $a = 1.1$: Բանոդ գազի վիճակի հավասարումը հայտնի չէ, սակայն հայտնի է, որ C_P -ն և C_V -ն հաստատուն են, և դրանց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

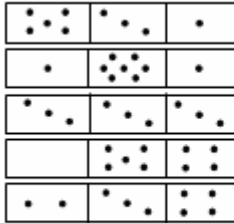
4.112. Որոշել մեկ մոլ ազոտի էնտրոպիան $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում, եթե $\eta = 5$ անգամ դարձելի ադիաբատ սեղմման դեպքում նրա ազատ էներգիայի աճը՝ $\Delta F = -48.5$ կՋ: Գազը համարել իդեալական:

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

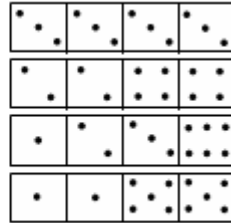
4.114. Որոշել երեք հավասար ծավալներում 9 մասնիկների բաշ-

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՝ $V_1 = 1.6$ 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 -րդ 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 ակնթարթորեն 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 Կառնոյի ցիկլը (T, S) դիագրամի վրա: Օգտվելով այդ դիագրամից՝ Կառնոյի դարձելի ցիկլի համար որոշել ՕԳԳ-ն:

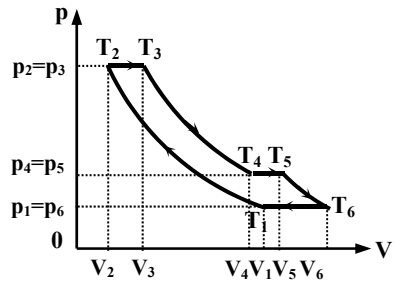
4.156. Ցույց տալ, որ համասեռ իզոտրոպ համակարգի համար բավարարվում են հետևյալ առնչությունները՝ $\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_p = \frac{C_p}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_p$,

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

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՝ $t_1 = 35^\circ \text{C}$: Ինչ 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 աշխատանքները 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 կտաքցվեն 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 Կլապեյրոն-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 Կլապեյրոն-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:

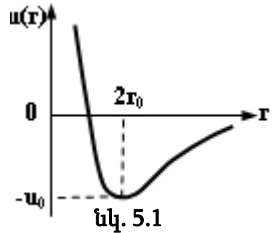
5.7. Ինչո՞վ բացատրել, որ Կլապեյրոն-Մենդելևեի հավասարման մեջ չեն մտնում տվյալ գազը բնութագրող պարամետրեր, իսկ Վան դեր Վալսի հավասարման մեջ մտնում են գազը բնութագրող a և b պարամետրերը:

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):



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

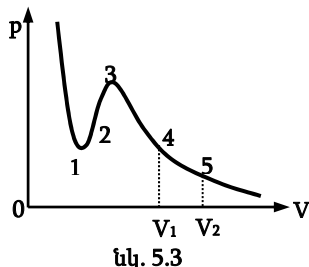
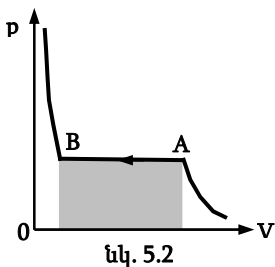
վիճակը վերանալիս: Ինչպե՞ս է այդ երևույթը բացատրվում:

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 ո՞ր մասն է կազմում ձգողության ուժերով բնորոշվող ճնշումը: Անոթի ծավալի ո՞ր 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 իզոբար 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: $T_1 = 300$ Կ ջերմաստիճանում գազի ճնշումը՝ $P_1 = 90 \text{ մթ.}$, իսկ $T_2 = 350$ Կ ջերմաստիճանում $P_2 = 110 \text{ մթ.}$: Գտնել Վան դեր Վալսի հաստատունները տվյալ գազի համար:

5.58. Ի՞նչ ճնշման պետք է ենթարկել ածխաթթու գազը $T_1 = 300$ Կ 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:

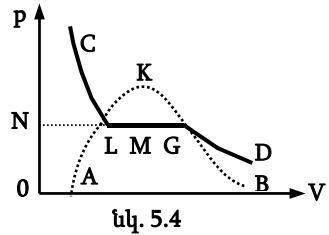
5.68. Վեներայի մթնոլորտը գրեթե ամբողջությամբ կազմված է $T = 750$ Կ ջերմաստիճանի և $\rho = 0.07$ գ/սմ³ խտությամբ ածխաթթու գազից (CO_2): Որոշել ճնշումը մոլորակի մակերևույթի վրա, եթե գազի կրիտիկական պարամետրերն են՝ $P_{կր} = 73.9$ մթ., $V_{կր} = 94$ սմ³/մոլ, $T_{կր} = 304$ Կ:

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 քվադրատատիկ 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. Յիկը կազմված է V_1 և V_2 ծավալներով իզոխոր և երկու ադիաբատ 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. Ինչ 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. Ինչ 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 -ր 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 -ր 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 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 $V = 1$ 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:

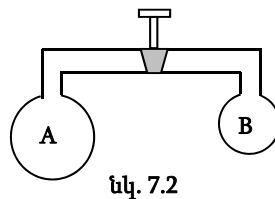
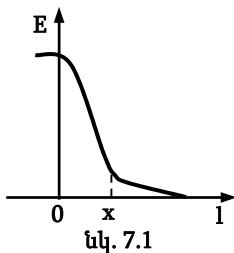
7.8. Ինչո՞ւ է ծորակից հոսող ջրի շիթն աստիճանաբար բարակում և ի վերջո բաժանվում առանձին կաթիլների:

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:

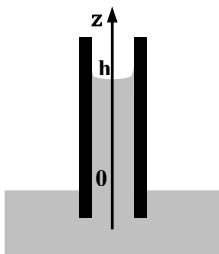
7.23. Մագական խողովակում լրիվ թրջելի հեղուկը հասել է որոշակի բարձրության: Որոշել հեղուկի սյան կշիռը, եթե մագական խողովակի շառավիղը r է, հեղուկի խտությունը՝ ρ , մակերևութային լարվածության գործակիցը՝ σ :

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:

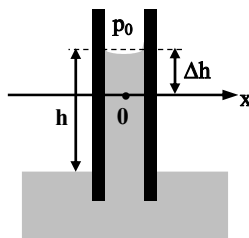
7.25. Մագանոթի մի ծայրն իջեցրել են այն թրջող հեղուկի մեջ, ինչի հետևանքով հեղուկը մագանոթում բարձրանում է, և հեղուկի սյան բարձրությունը դառնում է h (նկ. 7.3): Ի՞նչ տեղի կունենա մագանոթում հեղուկի մակարդակի և կորության շառավղի հետ այն աստիճանաբար սուղելու ժամանակ: Առանձին դիտարկել $z > h$ և $0 < z < h$ 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:

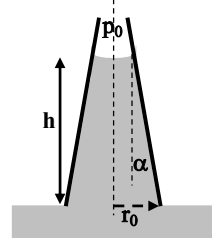
7.27. ρ խտությամբ հեղուկը մագանոթում բարձրանում է, և հեղուկի սյան բարձրությունը դառնում է h (նկ. 7.4): Մթնոլորտային ճնշումը P_0 է: Պատկերել ճնշման $P(x)$ կախումը x առանցքի կետերում:



նկ. 7.3



նկ. 7.4



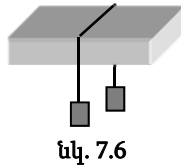
նկ. 7.5

7.28. Որոշել թաղանթի միավոր մակերեսի առաջացման ջերմությունը:

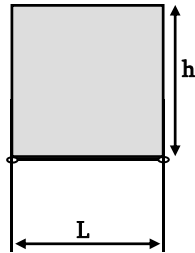
7.29. Դեպի վեր նեղացող ծայրով կոնաձև մազանոթի ստորին մասի շառավիղը r_0 է, իսկ գագաթի անկյունը՝ 2α (նկ. 7.5): Մազանոթն աննշան խորությամբ ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են թրջող հեղուկի մեջ: Որոշել՝ ա) հեղուկի սյան h բարձրությունը կայուն հավասարակշռության վիճակում, բ) հեղուկի խտությունը, որի դեպքում գոյություն ունի միայն մեկ հավասարակշռության վիճակ:

7.30. Դեպի վեր նեղացող ծայրով կոնաձև մազանոթի ստորին մասի շառավիղը r_0 է, իսկ գագաթի անկյունը՝ 2α (նկ. 7.5): Մազանոթն աննշան խորությամբ ուղղաձիգ դիրքով իջեցնում են թրջող հեղուկի մեջ: Որոշել հեղուկի սյան բարձրությունը մազանոթում:

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 ապակուն 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 կորության 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 ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՈՒԹՅՈՒՆ 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:

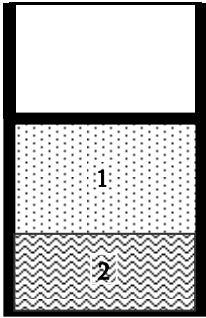
8.26. Ի՞նչ պրոցեսներ կկատարվեն նկ. 8.1-ում պատկերված՝ ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող համակարգում, որը կազմված է հեղուկից և նրա հագեցած գոլորշուց, եթե մխոցը՝ ա) բարձրացվի, բ) իջեցվի: Համակարգի T ջերմաստիճանը հաստատուն է: Ներկայացնել այդ պրոցեսները (P, V) դիագրամում՝ սկզբնական երկփուլ վիճակն 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:

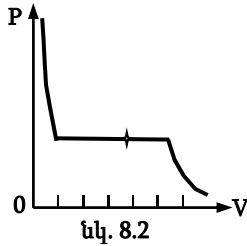
8.28. Հեղուկի և նրա հագեցած գոլորշու գումարային զանգվածը՝ $m = 12$ կգ: Մոտավորապես որոշել հեղուկի և գոլորշու զանգված-

ները, եթե համակարգը գտնվում է (P, V) դիագրամում խաչով նշված հավասարակշռված վիճակում (նկ. 8.2):

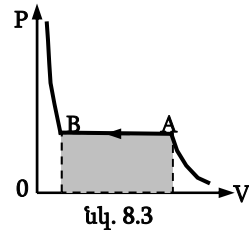
8.29. Նյութը A վիճակից անցնում է B վիճակին (նկ. 8.3): Ինչի՞նչ է հավասար նրբագծված մակերեսը: Ինչպե՞ս է փոխվում համակարգի ներքին էներգիան այս պրոցեսում:



նկ. 8.1



նկ. 8.2



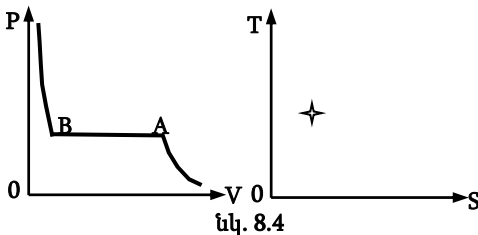
նկ. 8.3

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:

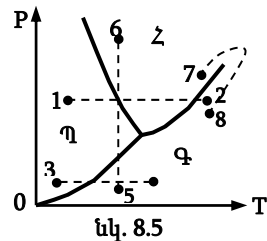
8.31. (P, V) դիագրամում պատկերել $T_1 < T_2 < \dots < T_{\text{կր}} < \dots$ իզոթերմների ընտանիքը: Ցույց տալ երկփուլային (հեղուկ-գազ) տիրույթը, հեղուկ և գազային վիճակներին համապատասխանող տիրույթները:

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 $q = \text{const}$, $V_g \gg V_h$, 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 $t = 100^\circ \text{C}$ 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՝ $t = 250^\circ \text{C}$: 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 $t = 100^\circ \text{C}$ 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 $0^\circ C$:

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. $t_0 = 0^\circ C$ 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 $t = -1^\circ C$ ջերմաստիճանում:

8.54. Սառույցի կտորը գտնվում է աղիաբատ թաղանթում մթնոլորտային ճնշման տակ և $t_0 = 0^\circ C$ 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

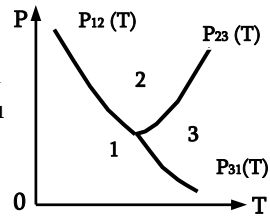
համար: $T = 373$ Կ ջերմաստիճանում ջրի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը՝ $q = 2253$ Ջ/գ:

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՝

$$F = \frac{pVg}{RT} (\mu_{\text{օդ}} - \mu_{\text{գ}}): \frac{F_{H_2}}{F_{He}} = \frac{\mu_{\text{օդ}} - \mu_{H_2}}{\mu_{\text{օդ}} - \mu_{He}} = 1.08:$$

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:

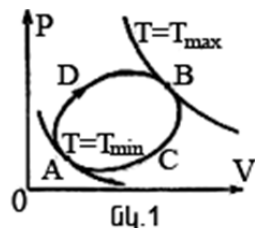
1.22. $\Delta \ell = \frac{1}{2} \left[H + L + L_1 - \sqrt{(H + L + L_1)^2 - 4L_1 H} \right]:$

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:

$$\underline{1.36.} \quad P_2 = m_2 g / S \text{ -ը և } P_1 = m_1 g / S \text{ -ը տաք և սառը օդի ճնշումներն}$$

$$\text{են ծխնեկույզի ստորին մասում: } P_2 - P_1 = \rho_0 g \ell \left(\frac{1}{1 + \alpha t_2} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right):$$

$$\underline{1.37.} \quad \rho = \frac{H_0(M - m)}{V(H - h)}: H_0 = 760 \text{ մմ ս. ս.:}$$

$$\underline{1.38.} \quad V = \frac{\Delta m}{\rho_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha t_1} - \frac{1}{1 + \alpha t_2} \right)} = 1000 \text{ մ}^3, \text{ որտեղ } \alpha \text{ -ն գազի ծավա-}$$

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՝

$$T = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)S}{V} x: \quad dT = \frac{(T_2 - T_1)S}{V} dx, \quad dm = \rho S dx: \quad \rho = P \mu / RT,$$

$$\text{իսկ} \quad dx = \frac{V}{R(T_2 - T_1)} dT: \quad dm = \frac{PV \mu}{R(T_2 - T_1)} \frac{dT}{T}:$$

$$m = p \mu V \ln(T_2 / T_1) / R(T_2 - T_1):$$

$$\underline{1.47.} \quad m_1 / m_2 = (1 - \mu / \mu_2) / (\mu / \mu_1 - 1) = 0.5, \text{ որտեղ } \mu = mRT / pV:$$

1.48. Դժվար չէ նկատել, որ միացի 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 միացները 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 միացների 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

$$n = \mu g / a R T_0 \quad h < 1/a:$$

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՝
 $dm = \rho dV = \rho Sdr$, $\rho = P\mu / RT$: Ինտեգրելով 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. $fg = \overline{f} \overline{g} + \overline{f} \Delta g + \overline{g} \Delta f + \Delta f \Delta g$: Միջինացնելով այս արտահայտությունը և նկատի ունենալով, որ $\overline{\Delta f} = \overline{\Delta g} = 0$, կստանանք՝
 $\overline{fg} = \overline{f} \overline{g} + \overline{\Delta f \Delta g}$:

2.37. $\overline{\Delta f^2} = \overline{(f - \overline{f})^2} = \overline{f^2} - 2\overline{f} \cdot \overline{f} + \overline{f}^2 = \overline{f^2} - \overline{f}^2$:

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 քառա-
 կուսային 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 ջերմաս-
 տիժաններն են, V_0 -ն և V_1 -ը՝ ծավալները: Քանի որ գազը կոշտ կա-
 պով 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
 $Z = \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$, և հաշվի առնելով, որ $n_1 = N/V_1$ և $n_2 = N/V_2$, 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 գոր-
 ծակիցը պետք է արտահայտել ազատության աստիճաններով:

$n = \frac{C_p - C}{C_v - C} = \frac{i}{i-2}$: Հարվածների թիվը կնվազի $\eta^{\frac{i-1}{i-2}}$ 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) $\sqrt{v^2} - v_h = \Delta v$, $\sqrt{3kT/m} - \sqrt{2kT/m} = \Delta v$,

$$T = \frac{m\Delta v^2}{k(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = \frac{\mu\Delta v^2}{R(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = 381.1 \text{ Կ}, \text{ Բ) } T = \frac{mv^2}{2k} = \frac{\mu v^2}{2R} = 340 \text{ Կ}:$$

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 Պոլասոնի 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-

տեգրալն 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 $\tau = 4V / S\bar{v}$:

2.102. $d(Vn) = \frac{1}{4} S\bar{v}(n_0 - n)dt$: $\frac{dn}{n_0 - n} = \frac{S\bar{v}}{4V} dt$, $\ln \frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_2} = \frac{S\bar{v}}{4V} t$:

$\ln \frac{1 - P_1/P_0}{1 - P_2/P_0} \approx \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right) - \left(1 - \frac{P_2}{P_0}\right) = \frac{P_2 - P_1}{P_0} = \frac{S\bar{v}}{4V} t$:

$t = \frac{4V}{S\bar{v}} \frac{P_2 - P_1}{P_0} = 1.17$ վրկ:

2.103. Հաշվեկշռի հավասարումն ազոտի մոլեկուլի համար՝ $\frac{dN_N^{(1)}}{dt} = -\frac{1}{4} \frac{S\bar{v}_N}{V} (N_N^{(1)} - N_N^{(2)})$, $\frac{dN_N^{(2)}}{dt} = -\frac{1}{4} \frac{S\bar{v}_N}{V} (N_N^{(2)} - N_N^{(1)})$, 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՝

$$\frac{dN_N^{(1)}}{dt} = -\frac{S\bar{v}_N}{2V} \left(N_N^{(1)} - \frac{N_N}{2} \right)$$
: Հաշվի առնելով սկզբնական պայմանները՝ $t=0$ պահին $N_N^{(1)} = N_N$, իսկ հետո $N_N^{(2)} = N_N - N_N^{(1)}$, կստանանք՝

$$N_N^{(1)} = \frac{N_N}{2} \left\{ 1 + \exp\left(-\frac{S\bar{v}_N t}{2V}\right) \right\}, \quad N_N^{(2)} = \frac{N_N}{2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{S\bar{v}_N t}{2V}\right) \right\}:$$

Նույն ձևով թթվածնի մոլեկուլների համար կստանանք՝

$$N_{O_2}^{(1)} = \frac{N_{O_2}}{2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{S\bar{v}_{O_2} t}{2V}\right) \right\}, \quad N_{O_2}^{(2)} = \frac{N_{O_2}}{2} \left\{ 1 + \exp\left(-\frac{S\bar{v}_{O_2} t}{2V}\right) \right\}:$$

Քանի որ սկզբնական ճնշումները նույնն են, ապա $N_N = N_{O_2} = N$:

Ճնշումն անոթի առաջին մասում՝

$$P_1(t) = \frac{1}{V} (N_N^{(1)} + N_{O_2}^{(1)}) kT = P \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\exp\left(-\frac{S\bar{v}_N t}{2V}\right) - \exp\left(-\frac{S\bar{v}_{O_2} t}{2V}\right) \right] \right\},$$

երկրորդ մասում՝

$$P_2(t) = P \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[\exp\left(-\frac{S\bar{v}_{O_2} t}{2V}\right) - \exp\left(-\frac{S\bar{v}_N t}{2V}\right) \right] \right\}:$$

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՝

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{8} n m S \bar{v}^3 + Q, \quad V \frac{dn}{dt} = -\frac{1}{4} n S \bar{v}:$$

Ըստ պայմանի՝ մեկ մասնիկին բաժին ընկնող էներգիան հաստատուն է՝ $\frac{E}{(Vn)} = const$: Այստեղից $dE = E \frac{dn}{n}$: Արտաքսելով dE -ն և

$$dn - \bar{n} \quad \text{կատանանք} \quad \frac{E}{Vn} = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv^3}{\bar{v}} - \frac{4Q}{nS\bar{v}}, \quad \text{որտեղից}$$

$$Q = \frac{m}{8} \left(\frac{\bar{v}^3}{\bar{v}} - \bar{v}^2 \right) n S \bar{v} : \quad \text{Մաքսվելյան} \quad \text{բաշխման} \quad \text{համար}$$

$$Q = kTS\bar{v}n/8 = kTS\bar{v}n_0 e^{-t/\tau} / 8, \text{ որտեղ } \tau = 4V/(S\bar{v}) :$$

$$\underline{2.105.} \quad P_2 - P_1 = mgN/S :$$

$$\underline{2.106.} \quad n(r) = n_0 \exp \left(- \frac{U(r) - U(r_0)}{kT} \right) :$$

2.107. n_0 -ն գազի մոլեկուլների կոնցենտրացիան է պոտենցիալ էներգիայի զրոյական մակարդակում: $n_0 = n(r_0) : U(r_0) = 0 :$

$$\underline{2.108.} \quad d\omega = dN / N = n(r) dx dy dz / \int_V n(r) dx dy dz :$$

$$\underline{2.109.} \quad \alpha = \exp \left(- \frac{U(r_2) - U(r_1)}{kT} \right) \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} :$$

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:

$$\underline{2.112.} \quad \alpha = \exp \left[- \frac{(m_{O_2} - m_{N_2})gh}{kT} \right] : \text{ Կախումը պատկերված է նկ. 3-ում:}$$

$$\underline{2.113.} \quad n_1 = n_{01} \exp(-m_1 gh / kT), \quad n_2 = n_{02} \exp(-m_2 gh / kT) :$$

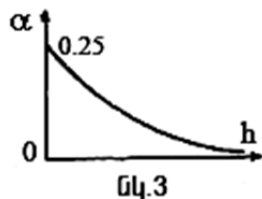
$$\eta / \eta_0 = \exp((\mu_2 - \mu_1)g \cdot h / RT) :$$

$$\underline{2.114.} \quad h = \frac{kT \ln(n_2 / n_1)}{g(m_2 - m_1)} :$$

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. $\overline{U} = kT/2$:

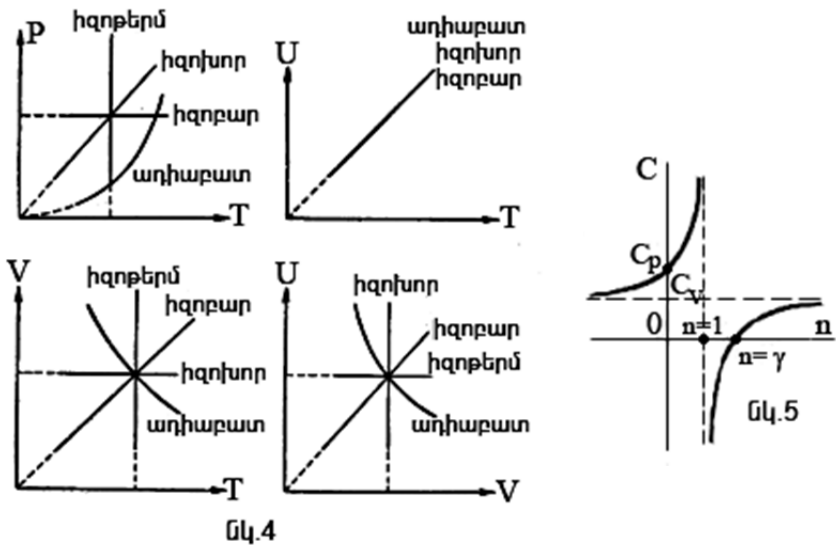
III. Ջերմաքանակ և աշխատանք: Ջերմադինամիկայի 1-ին սկզբունքը

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: $C_V = const$ 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. $C = \pm\infty$:

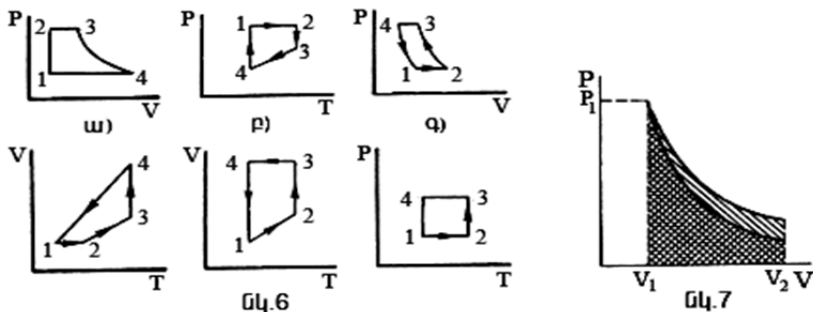
3.33. Այն պրոցեսների ժամանակ, երբ գազը սեղմվելիս կորցնում է որոշակի ջերմաքանակ, ընդ որում, այդ դեպքում գազը տաքանում է: Դա տեղի է ունենում գազի նկատմամբ արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքի հաշվին:

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 արքիսների 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-

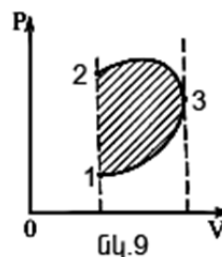
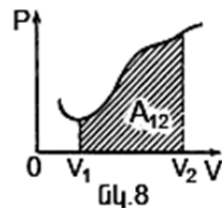
գծված պատկերի մակերեսին (նկ. 8):

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. $C_V = (\partial U / \partial T)_V$:



$$\mathbf{3.51.} \quad C_P = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P :$$

$$\mathbf{3.52.} \quad C_\varphi = C_V - \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_T \right] \cdot \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial T} \right)_V / \left(\frac{\partial \varphi}{\partial V} \right)_T \right] :$$

$$\mathbf{3.53.} \quad \text{ա) } A_{123} = A_{12} + A_{23} = P_2(V_2 - V_1), \text{ բ) } A_{21} = (P_1 + P_2)(V_1 - V_2) / 2$$

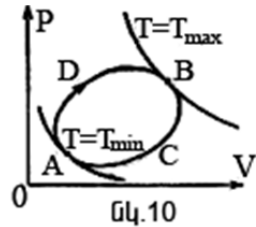
$$\text{գ) } A_{12} = (V_2 - V_1) \cdot [\pi P_2 + (4 - \pi) P_1] / 4 :$$

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) $Q_{142} = Q_{132} - A_{132} + A_{142} = 60$ Ջ,

2) $Q_{21}' = Q_{132} - A_{132} + A_{21} = 70$ Ջ,

3) $Q_{14} = 50$ Ջ, $Q_{42} = 10$ Ջ:

3.74. $Q = AC_p / R = 25$ 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. $c_V = 0.42$ Ջ/(գ·Կ), $c_P = 0.65$ 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. Խնդրի 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. $c = (n - \gamma)c_p / \gamma(n - 1) :$

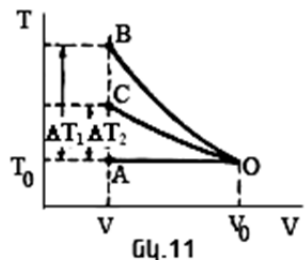
3.100. $P = Vtg\alpha + P_0$, $P_0 = \frac{P_1 V_2 - P_2 V_1}{V_2 - V_1}$,

$$tg\alpha = \frac{(P_2 - P_1)}{V_2 - V_1},$$

$$C = C_V + \frac{Vtg\alpha + P_0}{2Vtg\alpha + P_0} R = C_V + \frac{PR}{2P - P_0} :$$

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. $v_\delta = \sqrt{\gamma P / \rho} = \sqrt{\gamma RT / \mu}$:

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. $V T^{(C_V - C_0) / R} e^{-\alpha T / R} = \text{const}:$

3.132. $V T^{C_0 / R} e^{\alpha T^2 / 2R} = \text{const}:$

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. $C = C_V(n - \gamma)/(n - 1) = -4.2 \text{ Ջ/(մոլ}^\circ\text{Կ)}$, 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 $k\alpha_V = P\alpha_p$: $dp = k \left(\alpha_V dT - \frac{dV}{V} \right)$:

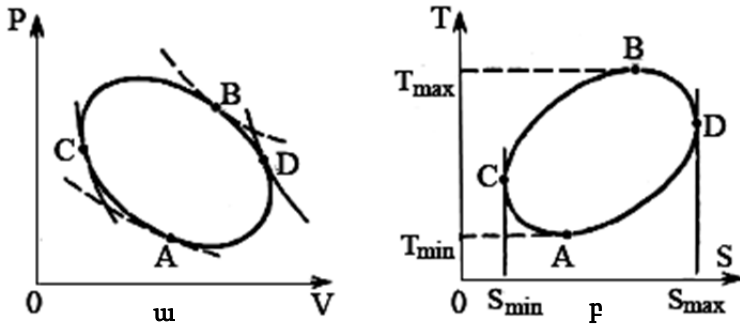
IV. Ջերմադինամիկայի 2-րդ սկզբունքը: Էնտրոպիա: Շրջանային պրոցեսներ

$$\textbf{4.31. } \text{Աճում է: } \Delta S = R \ln V_2 / V_1:$$

$$\textbf{4.34. } dU = TdS - PdV \Rightarrow \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T - P: \text{Ազատ էներգիայի}$$

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. Կոնեքանա $\Omega^{\eta-1}$ անգամ:

4.50. 2 ջեռուցիչ՝ T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով, 3 սառնարան՝ T_4 , T_5 և T_3 ջերմաստիճաններով:

4.51. Այո, ընդհանրապես անհրաժեշտ են անվերջ թվով ջեռուցիչներ 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:

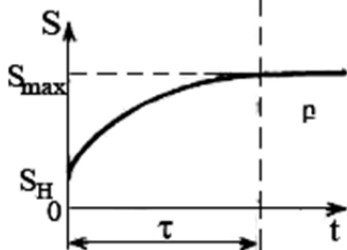
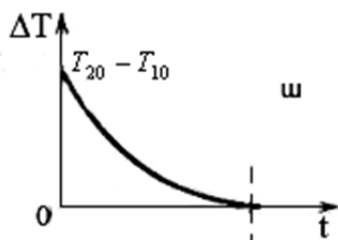
վիճակից 2-րդ վիճակին անցնելիս:

4.55. $S(V, T) = \nu R \ln \left(\frac{V}{\nu} \right) + \nu C_V \ln T + \nu S_0$,

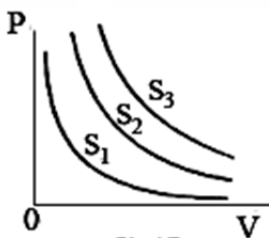
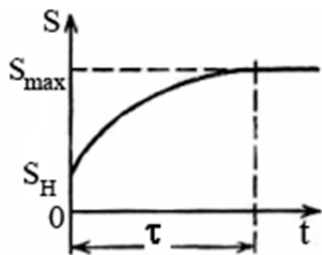
$$S(p, T) = -\nu R \ln p + \nu C_p \ln T + \nu S'_0,$$

$$S(p, V) = \nu C_p \ln V + \nu C_V \ln p + \nu S''_0 = \nu C_V \ln(PV^\gamma) + \nu S''_0:$$

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. $A_{12} = R(T_2 - T_1), \quad Q_{12} = C_p(T_2 - T_1),$

$A_{23} = 0, \quad Q_{23} = C_v(T_1 - T_2) < 0,$

$A_{31} = Q_{31} = RT_1 \ln(V_1 / V_2) = RT_1 \ln(T_1 / T_2) < 0,$

$\eta = \frac{R(T_2 - T_1) + RT_1 \ln(T_1 / T_2)}{C_p(T_2 - T_1)}:$

$$\underline{4.64.} \quad Q_{12} = C_v(T_2 - T_1), \quad Q_{23} = 0, \quad Q_{31} = C_v T_1 \ln(T_1 / T_2),$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2 - T_1} \ln(T_2 / T_1):$$

$$\underline{4.65.} \quad \eta = 1 - \frac{(C_p + C_v)(T_1 - T_2)}{2 \left[C_v (\sqrt{T_1 T_2} - T_2) + C_p (T_1 - \sqrt{T_1 T_2}) \right]};$$

$$Q_{12} = \frac{C_p + C_v}{2} (T_2 - T_1); \quad Q_{23} = C_v (\sqrt{T_1 T_2} - T_2);$$

$$Q_{31} = C_v (T_1 - \sqrt{T_1 T_2}):$$

$$\underline{4.66.} \quad \eta = 1 - T_2 / T_1:$$

$$\underline{4.67.} \quad A_{12} = Q_{12} = RT_1 \ln(V_2 / V_1); \quad A_{23} = (C_v - C_0)(T_1 - T_2);$$

$$Q_{23} = C_0(T_2 - T_1); \quad A_{34} = Q_{34} = -RT_2 \ln(V_3 / V_4);$$

$$A_{41} = (C_v - C_0)(T_2 - T_1); \quad Q_{41} = C_0(T_1 - T_2);$$

$$\eta = \frac{R(T_1 - T_2) \ln(V_2 / V_1)}{RT_1 \ln(V_2 / V_1) + C_0(T_1 - T_2)};$$

$$\underline{4.68.} \quad \eta = 13\%:$$

$$\underline{4.69.} \quad \eta = 25\%:$$

$$\underline{4.70.} \quad \eta \approx 50\%:$$

$$\underline{4.71.} \quad \eta = 1 - \frac{2\gamma}{\gamma + 1} \left[(P_2 / P_1)^{(\gamma+1)/\gamma} - 1 \right] \left[(P_2 / P_1)^2 - 1 \right]^{-1} = 0.15:$$

$$\underline{4.72.} \quad \eta = (3 - 2 \ln 2) / 9 = 0.18:$$

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:

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ_1}{T} + \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ_2}{T} + \int_{T_2}^{T_3} \frac{dQ}{T}; \quad dQ_1 = c_1 m_1 dT,$$

$dQ_2 = c_2 m_2 dT$, $dQ_3 = c_3 m_3 dT$: m_1 -ը, m_2 -ը և m_3 -ը համապատասխանաբար պղնձի, ջրի և ալյումինի զանգվածներն են, c_1 -ը, c_2 -ը և c_3 -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:

$Q_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ $1 \rightarrow 2$ անցման ժամանակ (իզոթերմ ընդարձակում):

$Q_2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$ $3 \rightarrow 4$ անցման ժամանակ (իզոթերմ սեղմում):

Մեկ ցիկլի աշխատանքը՝ $A = \frac{m}{\mu} R \left(T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \right)$: 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-

նի էնտրոպիայի փոփոխությունը՝ $\Delta S_2 = -\frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_4}{V_3}$: Մոդուլով

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 $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = 0 \Rightarrow$

$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = 0, dU = \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dV = -PdV, \delta Q = dU + PdV = 0 \Rightarrow$

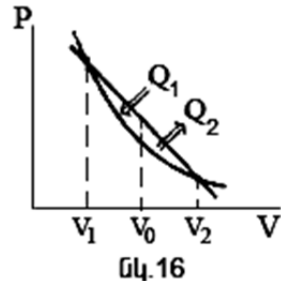
իզոթերմը բոլոր կետերում պետք է համընկնի ադիաբատի հետ:

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 բանոդ մարմնի

ստացած ջերմաքանակն է ցիկլի ընթացքում: Քանի որ $2 \rightarrow 1$ -ը ադիաբատ է, հետևաբար $1 \rightarrow 2$ տեղամասում, որի համար $P(V) = a + bV$, բանոդ 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. $S = \frac{\nu R}{\gamma - 1} - \frac{\Delta F}{T(\eta^{\gamma-1} - 1)} = 0.2$ 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 $T = \text{const:}$

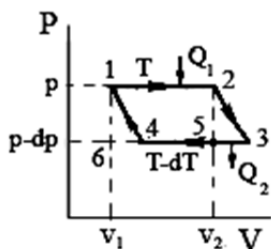
4.140. Կառնոյի ցիկլը պատկերենք (P, V) կոորդինատներով: Հա-
գեցած գոլորշու համար $P = P(T)$, այդ պատճառով իզոթերմը միա-
ժամանակ կլինի նաև իզոբար (նկ. 17): Ենթադրենք՝ $1 \rightarrow 2$ իզոթերմ

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 $\frac{(V_2 - V_1)dp}{\lambda} = \frac{dT}{T}$:

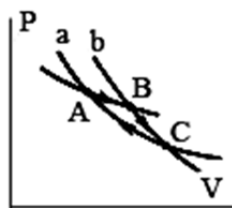
Այստեղից $\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{(V_2 - V_1)T}$: Ստացված արտահայտությունն անվա-

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:



Նկ. 17



Նկ. 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 $ab = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dT$,

$$ac = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dT: \text{ Հետևաբար } \delta A = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P (dT)^2:$$

$$\text{Այսպիսով՝ } \frac{1}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P (dT)^2 = \left\{ C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - C_P \right\} dT:$$

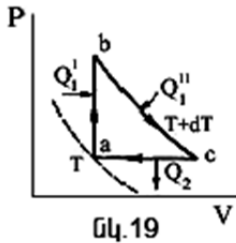
$$\text{Այստեղից } C_P - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P:$$

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

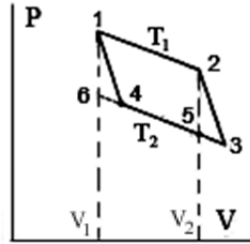
$$\text{կարող ենք գրել՝ } Q_1 = \left[\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T - V \right] (P_2 - P_1):$$

Ցիկլի A 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

Յիկլի 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՝ $A = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P (T_1 - T_2)(P_2 - P_1)$: Մառ-

նոյի 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 $S = \nu \left[C_V \ln T + R \ln \left(\frac{V - \nu b}{\nu} \right) + \text{const} \right]$:

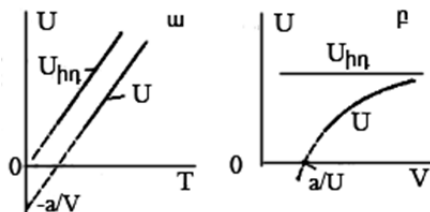
5.39. $T(V - b)^{n-1} = \text{const}$, որտեղ $n = 1 + R / (C_V - C)$:

5.40. $U = \nu (C_V T - a \nu / V)$, որտեղ ν -ն մոլերի թիվն է:

5.41. Տե՛ս նկ. 21:

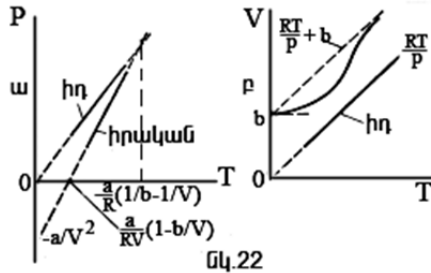
5.42. $\Delta U = N^2 a (V_2 - V_1) / V_2 V_1$:

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

$P = const$, ունի հետևյալ տեսքը՝ $\gamma_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$: Իդեալական գա-

զի համար $(\gamma_P)_{\text{դր}} = 1/T$, իսկ Վան դեր Վալսի գազի համար

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{(V-b)}{T-2a(V-b)/RV^3} \quad \text{և} \quad (\gamma_P)_{\text{դր}} = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P =$$

$\frac{V-b}{TV-2a(V-b)/RV^2}$: Երբ $V \rightarrow \infty$, $a, b \rightarrow 0$ (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 $b = RT_{\text{կր}}/8P_{\text{կր}}$, $a = 27R^2 T_{\text{կր}}^2 / 64P_{\text{կր}}$: 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:

$$\underline{5.112.} \quad \frac{bRT}{(V - b)^2} - \frac{2a}{V^2} = 0 :$$

$$\textbf{5.113. } T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V}{C_P} dP :$$

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 քվադրատատիկ 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. $C = R(1 + 2i) / 4 = 23 \text{ Ջ/(մոլ} \cdot \text{Կ)}$:

$$\underline{6.43.} \quad \langle \lambda \rangle = \left(\frac{2\pi N_A}{3b} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{kT_0}{\sqrt{2}\pi p_0} \right) = 84 \text{ նմ:}$$

$$\underline{6.44.} \quad \nu = \pi d^2 P_0 N_A \sqrt{\frac{2\gamma}{\mu R T_0}} = 5.5 \text{ ԳՀց:}$$

$$\underline{6.45.} \quad T = \left(\frac{\chi_1 T_1}{l_1} + \frac{\chi_2 T_2}{l_2} \right) / \left(\frac{\chi_1}{l_1} + \frac{\chi_2}{l_2} \right):$$

$$\underline{6.46.} \quad \chi = (l_1 + l_2) / \left(\frac{l_1}{\chi_1} + \frac{l_2}{\chi_2} \right):$$

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՝

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_0^{0.5\lambda} \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}} dx = 1 - e^{-0.5} = 1 - 0.61 = 0.39, \text{ ք) } 0.135:$$

$$\underline{6.48.} \quad \Delta t = 6.9 \cdot 10^7 \text{ վ:}$$

$$\underline{6.49.} \quad z = 4 \sqrt{\frac{\pi}{mkT}} P d^2 \sim 4 \cdot 10^{10} \text{ վ}^{-1}:$$

$$\underline{6.50.} \quad z = \frac{\pi d^2 \bar{v} n^2}{\sqrt{2}} = 2 \sqrt{\frac{\pi}{m}} \frac{P^2 d^2}{(kT)^{\frac{3}{2}}} \sim 6 \cdot 10^{28} \text{ վ}^{-1} \text{ սմ}^{-3}:$$

$$\underline{6.51.} \quad z \sim T^{-\frac{1}{2}}, \quad \lambda \sim T:$$

$$\underline{6.52.} \quad z \sim P, \quad \lambda \sim P^{-1}:$$

$$\underline{6.53.} \quad z \sim P^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}}, \quad \lambda \sim P^{-\frac{1}{\gamma}}, \quad \gamma = C_p / C_v:$$

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:

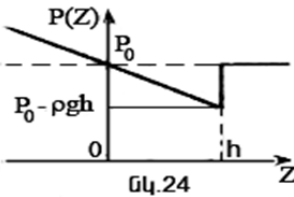
7.21. $\Delta P_2 = 2\Delta P_1 = 4\sigma / R$:

7.22. $P = 2\sigma / r \approx 10^6$ Պա:

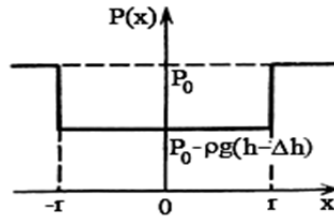
7.23. $p = 2\pi \cdot \sigma$:

7.24. ա) $h = 2\sigma / \rho g r$, բ) $h = 2\sigma \cos \theta / \rho g r$:

7.26. Տե՛ս նկ. 24: $\sigma = \rho g r h / 2$:



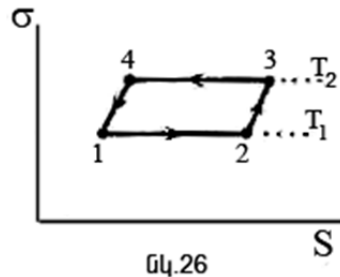
Նկ.24



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 $q = -T(d\sigma/dT)$:

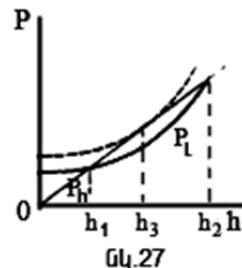
7.29. Քանի որ տեղի է ունենում լրիվ թրջում, մագնիսական հեղուկի ազատ մակերևույթը կլինի սֆերիկ մակերևույթի մի մաս, որի շառավիղը՝ $R = r/\cos\alpha$ (r -ը մագնիսի շառավիղն է այն բարձրության վրա, որին հասնում է հեղուկը): Եթե σ -ն հեղուկի մակերևութային լարվածության գործակիցն է, ապա հեղուկում գոգավոր սֆերիկ մակերևույթի վրա ճնշումը փոքր կլինի մթնոլորտայինից

$$P_l = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r_0 - h \tan\alpha} \quad \text{չափով: } \text{Հավասարակշռության}$$

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 մագն-



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:

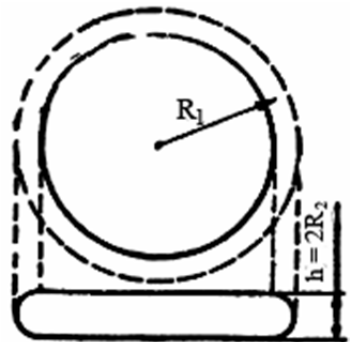
Ենթադրենք՝ h_2 -ի դեպքում հեղուկի մակարդակն ինչ-որ պատճառով բարձրացել է ($h > h_2$): Այդ դեպքում P_l -ն կմեծանա ավելի շատ, քան P_h -ն, և հեղուկի մակարդակը կշարունակի բարձրանալ մինչև մագնոթի վերին սահմանը: Եթե $h < h_2$, ապա $P_h > P_l$, և հեղուկի մակարդակը կշարունակի նվազել մինչև h_1 -ը: Նշանակում է՝ 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:

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՝



ՈՒ.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՝ մակերևույթի կորության շառավիղը թիթեղներին ուղղահայաց հարթության մեջ (տե՛ս նկ. 28): Կորության երկու շառավիղներն էլ դրական են, քանի որ մակերևույթների 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. $m_h = m / 6 \approx 2 \text{ կգ, } m_g = 5m / 6 \approx 10 \text{ կգ}:$

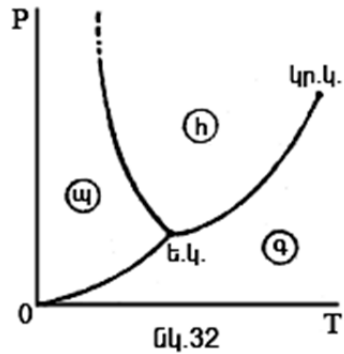
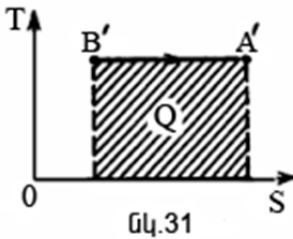
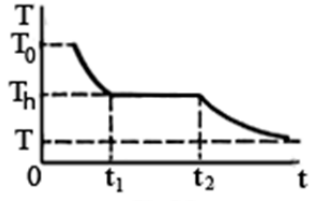
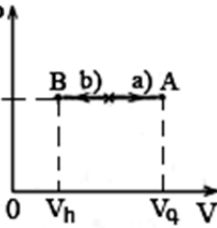
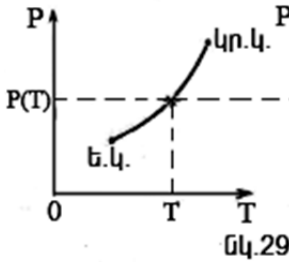
8.29. Նրբագծված մակերեսը հավասար է այն աշխատանքին, որը պետք է կատարել գոլորշու վրա, որպեսզի իզոթերմ սեղմման միջոցով կրիտիկական ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճանում այն վերածվի հեղուկի: Ներքին էներգիան նվազում է:

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՝ $\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T(V_q - V_h)}$,

$\frac{dP}{P} = \frac{q}{RT^2} dT$, $P(T) = P_0 \exp\left(-\frac{q}{RT}\right)$, $P_0 = P(T_0) \exp\left(\frac{q}{RT_0}\right)$:

8.37. $A = \Delta mRT / \mu = 1.2 \Omega$:

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. $P = AT^{-\mu \cdot a/R} e^{-q_0 \mu / RT}$, 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

**ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ 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