

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

Збірник задач для індивідуальної роботи з курсу фізики
Під редакцією О.О. Мочалова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2004

Молекулярна фізика і термодинаміка: Збірник задач для індивідуальної роботи з курсу фізики / *Н.І. Коваль, С.С. Коваль, Л.І. Стратієнко*; Під ред. *О.О. Мочалова*. – Миколаїв: НУК, 2004. – 44 с.

Кафедра фізики

У збірнику наведені задачі з молекулярної фізики і термодинаміки для індивідуальної роботи протягом вивчення загального курсу фізики.

Призначений для студентів усіх факультетів.

Підбір задач здійснили викладачі кафедри фізики: *С.С. Коваль* ("Молекулярно-кінетична теорія газу"), *Н.І. Коваль* ("Адіабатний процес. Робота газу при різних процесах"), *Л.І. Стратієнко* ("Другий закон термодинаміки").

Рецензент канд. фіз.-мат. наук *А.М. Кузнецов*

МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНА ТЕОРІЯ ГАЗУ. РІВНЯННЯ СТАНУ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ. ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

1. Визначити тиск, що справляє газ на стінки посудини, якщо його густина $0,01 \text{ кг/м}^3$, а середньоквадратична швидкість молекул становить 480 м/с .

2. Визначити найбільш імовірну швидкість молекул газу, густина якого при тиску 40 кПа становить $0,35 \text{ кг/м}^3$.

3. Визначити середню кінетичну енергію поступального руху молекул газу, що знаходиться під тиском $0,1 \text{ Па}$. Концентрація молекул газу дорівнює 10^{13} см^{-3} .

4. Визначити найбільш імовірну, середньоарифметичну та середньоквадратичну швидкості молекул азоту (N_2) при $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. При якій температурі середньоквадратична швидкість молекул кисню більша їх найімовірнішої швидкості на 100 м/с ?

6. Знайти середньоквадратичну швидкість молекул повітря при температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$, вважаючи, що повітря є однорідним газом, маса одного кіломоля якого $\mu = 29 \text{ кг/моль}$.

7. Знайти відношення середньоквадратичних швидкостей молекул гелію та азоту при однакових температурах.

8. Азот, маса якого 10 г , знаходиться при температурі 290 К . Визначити: 1) середню кінетичну енергію однієї молекули азоту; 2) середню кінетичну енергію обертального руху всіх молекул азоту. Газ вважати ідеальним.

9. Кисень масою 1 кг знаходиться при температурі 320 К . Ви-

значити: 1) внутрішню енергію молекул кисню; 2) середню кінетичну енергію поступального руху молекул кисню. Газ вважати ідеальним.

10. Молекула азоту летить зі швидкістю 430 м/с. Знайти кількість руху цієї молекули.

11. Яка кількість молекул знаходиться в кімнаті об'ємом 80 м³ при температурі 17 °С і тиску 75 мм рт. ст.?

12. Яка кількість молекул азоту буде знаходитися в 1 см³ посудини при 10 °С, якщо газ з неї відкачаний до найвищого розрідження, утвореного сучасними лабораторними засобами ($p = 10^{-11}$ мм рт. ст.)?

13. Яку кількість молекул налічує 1 г водяної пари?

14. У посудині ємністю 4 л знаходиться 1 г водню. Яка кількість молекул утримується в 1 см³ цієї посудини?

15. Знайти масу атома: 1) водню; 2) гелію.

16. Яка кількість частинок знаходиться в 1 г пароподібного йоду, якщо ступінь дисоціації його молекул дорівнює 50 %? Маса одного кіломоля йоду J_2 дорівнює 254 кг/кмоль.

17. Яка кількість частинок знаходиться в 16 г наполовину дисоційованого кисню?

18. У момент вибуху атомної бомби досягається температура, яка приблизно дорівнює 10⁶ К. Вважаючи, що при такій температурі всі молекули цілком дисоційовані на атоми, а атоми іонізовані, знайти середню квадратичну швидкість іона водню.

19. Знайти кількість молекул водню в 1 см³, якщо тиск дорівнює 200 мм рт. ст., а середня квадратична швидкість молекул за даних умов становить 240 м/с.

20. Густина деякого газу дорівнює 6·10⁻² кг/м³, середня квадратична швидкість його молекул – 500 м/с. Знайти тиск, який газ здійснює на стінки посудини.

21. У скільки разів середня квадратична швидкість порошини, завислій у повітрі, менше середньої квадратичної швидкості молекул повітря? Маса порошини 10⁻⁸ г. Повітря вважати однорідним газом, маса одного кіломоля якого дорівнює 29 кг/кмоль.

22. Знайти кількість руху молекули водню при температурі 20 °С. Швидкість молекули вважати рівною середній квадратичній швидкості.

23. У посудині об'ємом 2 л знаходиться 10 г кисню під тиском 680 мм рт. ст. Знайти: 1) середню квадратичну швидкість молекул газу; 2) кількість молекул, що знаходились в посудині; 3) густину газу.

24. Частинки гумігуту діаметром $D = 1$ мкм беруть участь у броунівському русі. Густина гумігуту $\rho = 1$ г/см³. Знайти середню квадратичну швидкість частинок гумігуту, якщо $t = 0$ °С.

25. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу дорівнює 450 м/с. Знайти густину цього газу, якщо його тиск становить $5 \cdot 10^4$ Н/м².

26. Знайти середню квадратичну швидкість молекул газу, густина якого при тиску 750 мм рт. ст. дорівнює $8,2 \cdot 10^{-5}$ г/см³. Чому дорівнює маса одного кіломоля цього газу, якщо значення густини наведено для температури 17 °С?

27. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу за нормальних умов дорівнює 461 м/с. Яка кількість молекул міститься в 1 г цього газу?

28. Чому дорівнює енергія теплового руху 20 г кисню при температурі 20 °С? Яка частина цієї енергії припадає на частку поступального руху, а яка на частку обертального?

29. Знайти кінетичну енергію теплового руху молекул, які містяться в 1 г повітря при температурі 15 °С. Повітря вважати однорідним газом, маса одного кіломоля якого дорівнює 29 кг/кмоль.

30. Чому дорівнює енергія обертального руху молекул, які містяться в 1 кг азоту при температурі 7 °С?

31. Чому дорівнює енергія теплового руху молекул двохатомного газу, вміщеного в посудину об'ємом 2 л, тиск у якій дорівнює $1,5 \cdot 10^5$ Н/м²?

32. Кінетична енергія поступального руху молекул азоту, який знаходиться в балоні об'ємом 0,02 м³, дорівнює $5 \cdot 10^3$ Дж, а середня квадратична швидкість його молекул становить $2 \cdot 10^3$ м/с. Знайти: 1) кількість азоту в балоні; 2) тиск, під яким знаходиться азот.

33. При якій температурі середня кінетична енергія теплового руху атомів гелію буде достатньою для того, щоб вони подолали земне тяжіння і назавжди залишили земну атмосферу? Розв'язати аналогічну задачу для Місяця.

34. 1 кг двохатомного газу знаходиться під тиском $p = 8 \cdot 10^4$ Н/м² та має густину $\rho = 4$ кг/м³. Знайти енергію теплового руху молекул газу за цих умов.

35. Яка кількість молекул двохатомного газу займає об'єм $V = 10$ см³ при тиску $p = 40$ мм рт. ст. і температурі $t = 27$ °С? Яку енергію теплового руху мають ці молекули.

36. Знайти середню арифметичну, середню квадратичну і

найбільш імовірну швидкості молекул газу, густина якого при тиску 300 мм рт. ст. дорівнює 0,3 г/л.

37. При якій температурі середня квадратична швидкість молекул азоту більше їх найбільш імовірної швидкості на 50 м/с?

38. Швидкості якої частини молекул кисню при 0 °С лежать в інтервалі від 100 до 110 м/с?

39. Швидкості якої частини молекул азоту при 150 °С лежать в інтервалі від 300 до 325 м/с?

40. Швидкості якої частини молекул водню при 0 °С лежать в інтервалі від 2000 до 2100 м/с?

41. У скільки разів кількість молекул ΔN_1 , швидкості яких лежать в інтервалі від $\sqrt{\bar{V}^2}$ до $\sqrt{\bar{V}^2} + \Delta V$, менше кількості молекул ΔN_2 , швидкості яких лежать в інтервалі від V_n до $V_n + \Delta V$?

42. Швидкості якої частини молекул азоту, що знаходиться при температурі T , лежать в інтервалі V_n до $V_n + \Delta V$? Задачу розв'язати для $T = 400$ К і $T = 900$ К.

43. Швидкості якої частини молекул азоту при температурі $T = 150$ °С лежать в інтервалі від $V_1 = 300$ м/с до $V_2 = 800$ м/с?

44. Яка частина загальної кількості N молекул має швидкість: 1) більше найбільш імовірної швидкості; 2) менше найбільш імовірної швидкості?

45. У балоні знаходиться 2,5 г кисню. Знайти кількість молекул кисню, швидкості яких перевищують значення середньої квадратичної швидкості.

46. У посудині знаходиться 8 г кисню при температурі 1600 К. Яка кількість молекул кисню має кінетичну енергію поступального руху, що перевищує значення $W_0 = 6,65 \cdot 10^{-20}$ Дж?

47. * Сучасні вакуумні насоси дозволяють отримати тиск до $p = 4 \cdot 10^{-15}$ атм (при кімнатній температурі). Враховуючи, що цей газ – азот, знайти кількість його молекул в 1 см³ та середню відстань між ними при цьому тиску.

48. * У посудині, об'єм якої $V = 5,0$ л, знаходиться азот масою m при температурі $T = 1800$ К. Знайти тиск газу, маючи на увазі, що при цій температурі $\eta = 30$ % молекул дисоційовано на атоми.

49. * Густина суміші гелію та азоту за нормальних умов $\rho = 0,60$ г/л. Знайти концентрацію атомів гелію в даній суміші.

50. * Паралельний пучок молекул азоту, які мають швидкість $v = 400$ м/с, падає на стінку під кутом $\phi = 30^\circ$ до її нормалі. Кон-

центрація молекул у пучку $n = 0,9 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Знайти тиск пучка на стінку, враховуючи, що молекули відбиваються від неї згідно з законом абсолютно пружного удару.

51. * Знайти кількість ступенів свободи молекули газу, якщо за нормальних умов густина газу $\rho = 1,3 \text{ мг/см}^3$ і швидкість поширення звуку в ньому $v = 330 \text{ м/с}$.

52. * Визначити відношення швидкості звуку в газі до середньої квадратичної швидкості молекул газу, якщо молекули: а) одноатомні; б) жорсткі двохатомні.

53. * Теплоізольована посудина з газоподібним азотом при температурі $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ рухається зі швидкістю $v = 100 \text{ м/с}$. Як і на скільки відсотків зміниться тиск газу після раптової зупинки посудини?

54. * Підрахувати при температурі $t = 17 \text{ }^\circ\text{C}$: а) середньоквадратичну швидкість та середню кінетичну енергію поступального руху молекули кисню; б) середньоквадратичну швидкість краплини води діаметром $d = 0,10 \text{ мкм}$, завислій у повітрі.

55. * Азот масою $m = 15 \text{ г}$ знаходиться у закритій посудині при температурі $T = 300 \text{ К}$. Яку кількість тепла потрібно надати азоту, щоб середня квадратична швидкість його молекул збільшилась в $n = 2$ рази.

56. * При якій температурі газу: а) середня квадратична швидкість молекул водню перевищує їх найбільш імовірну швидкість на $\Delta V = 400 \text{ м/с}$; б) функція розподілу молекул кисню за швидкістю $F(V)$ буде мати максимум при швидкості $V = 420 \text{ м/с}$.

57. * Знайти для газоподібного азоту: а) температуру, при якій швидкостям молекул $V_1 = 100 \text{ м/с}$ і $V_2 = 400 \text{ м/с}$ відповідають однакові значення функції розподілу Максвелла $F(V)$; б) швидкість молекул V , при якій значення функції розподілу Максвелла $F(V)$ для температури T_0 буде таким, як і для температури в n разів більшої.

58. * При якій температурі газу, до складу якого входять молекули азоту і кисню, найбільш імовірні швидкості компонент суміші будуть відрізнятися одна від одної на $\Delta V = 30 \text{ м/с}$?

59. * Суміш водню і гелію знаходиться при температурі $T = 300 \text{ К}$. При якій швидкості молекул V значення максвелівської функції розподілу за швидкістю $F(V)$ будуть однаковими для обох газів?

60. * При якій температурі газу кількість молекул, швидкості

яких знаходяться у заданому інтервалі $[V, V + dV]$, буде максимальною? Маса кожної молекули дорівнює m .

61. * Підрахувати за допомогою розподілу Максвелла середню проекцію швидкості $\langle V_x \rangle$ та середнє значення модуля цієї проекції $\langle |V_x| \rangle$, якщо маса кожної молекули m і температура газу T .

62. * Підрахувати за допомогою розподілу Максвелла $\langle V_x^2 \rangle$ – середнє значення квадрата V_x -проекцій швидкості молекул газу при температурі T . Маса кожної молекули дорівнює m .

63. * Підрахувати за допомогою розподілу Максвелла число ν молекул газу, що падають в одиницю часу на одиничну площадку, якщо концентрація молекул n , температура T і маса кожної молекули m .

64. * Визначити за допомогою розподілу Максвелла тиск, який справляє газ на стінку, якщо концентрація молекул n .

65. * За допомогою розподілу Максвелла знайти $\langle 1/V \rangle$ – середнє значення оберненої швидкості молекул ідеального газу, яке знаходиться при температурі T , якщо маса кожної молекули m . Порівняти отриману величину із оберненою величиною середньої швидкості.

66. * Яка частина молекул газу, який знаходиться при температурі T , має кінетичну енергію поступального руху більшу за ϵ_0 , якщо $\epsilon_0 \gg kT$?

67. * При якій температурі T середньоквадратична швидкість атомів гелію буде дорівнювати космічній швидкості $V_2 = 11,2$ км/с?

68. * При якій температурі T молекули кисню мають таку ж середньоквадратичну швидкість $\langle V_{\text{кв}} \rangle$, як молекули водню при температурі $T_1 = 100$ К?

69. * Посудина об'ємом $\nu = 4$ л утримує деякий газ масою $m = 0,6$ г під тиском $p = 200$ кПа. Визначити середньоквадратичну швидкість $\langle V_{\text{кв}} \rangle$ молекул газу.

70. * У скільки разів середньоквадратична швидкість молекул кисню більша середньоквадратичної швидкості частинки порошинки $m = 10^{-8}$ г, яка знаходиться серед молекул кисню?

71. Визначити середньоарифметичну швидкість $\langle V \rangle$ молекул газу, якщо відомо, що їх середньоквадратична швидкість $\langle V_{\text{кв}} \rangle = 1$ км/с.

72. Вважаючи азот ідеальним газом, визначити його питому теплоємність: 1) для ізобарного процесу; 2) для ізохорного процесу.

73. Яку температуру мають 2 г азоту, що займають об'єм 820 см^3 при тиску в 2 атм?

74. Який об'єм займають 10 г кисню при тиску 750 мм рт. ст. і температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$?

75. Балон об'ємом 12 л наповнений азотом при тиску $8,1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ і температурі $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Яка кількість азоту знаходиться в балоні?

76. Який може бути найменший об'єм балона, що вміщує 6,4 кг кисню, якщо його стінки при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ витримують тиск у 160 Н/см^2 ?

77. У посудині *A* об'ємом $V_1 = 3$ знаходиться газ під тиском $p_{01} = 2$ атм. У посудині *B* об'ємом $V_1 = 4$ л знаходиться той же газ під тиском $p_{01} = 1$ атм. Температура в обох посудинах однакова. Під яким тиском буде знаходитися газ, якщо з'єднати посудини *A* і *B* трубою?

78. 6 г вуглекислого газу (CO_2) і 5 г оксиду азоту (N_2O) заповнюють посудину об'ємом в $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Який загальний тиск у посудині при температурі $127 \text{ }^\circ\text{C}$?

79. У посудині знаходиться 14 г азоту і 9 г водню при температурі $10 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 10^6 Н/м^2 . Знайти: 1) масу одного кіломоля суміші; 2) об'єм посудини.

80. У закриту посудину, наповнену повітрям, вводиться діетиловий ефір ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$). Повітря знаходиться за нормальних умов. Після того, як увесь ефір випарувався, тиск у посудині став дорівнювати 1050 мм рт. ст. Яка кількість ефіру була введена в посудину? Об'єм посудини $V = 2$ л.

81. У посудині об'ємом 0,5 л знаходиться 1 г пароподібного йоду. При температурі $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ тиск у посудині дорівнює 700 мм рт. ст. Знайти ступінь дисоціації молекул йоду J_2 на атоми J за цих умов. Маса одного кіломоля J_2 дорівнює 254 кг/кмоль .

82. У посудині знаходиться вуглекислий газ. При деякій температурі ступінь дисоціації молекул вуглекислого газу на кисень і оксид вуглецю дорівнює 25 %. У скільки разів тиск у посудині за цих умов буде більшим того тиску, що мав би місце, якби молекули вуглекислого газу не були дисоційовані?

83. Вважаючи, що масова концентрація кисню й азоту в повітрі становить відповідно 23,6 та 76,4 %, знайти густину повітря при тиску 750 мм рт. ст. і температурі $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти парціальні тиски кисню й азоту за цих умов.

84. У посудині знаходиться суміш 10 г вуглекислого газу і 15 г

азоту. Знайти густину цієї суміші при температурі $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску $1,5 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$.

85. Молекула азоту, що летить зі швидкістю 600 м/с , ударяється нормально об стінку посудини і пружно відскакує від неї без втрати швидкості. Знайти імпульс сили, отриманий стінкою посудини під час удару.

86. Молекула аргону, що летить зі швидкістю 500 м/с , пружно вдаряється об стінку посудини. Напрямок швидкості молекули і нормаль до стінки посудини складають кут 60° . Знайти імпульс сили, отриманий стінкою посудини під час удару.

87. Для одержання якісного вакууму в скляній посудині необхідно прогрівати її стінки під час відкачування з метою видалення адсорбованого газу. Визначити, на скільки може підвищитися тиск у сферичній посудині радіусом $R = 10\text{ см}$, якщо адсорбовані молекули перейдуть зі стінок у посудину. Площу поперечного перерізу молекули вважати рівною 10^{-15} см^2 , прошарок мономолекулярний. Температура $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

88. У посудині знаходиться 10^{-10} кмоль кисню і 10^{-6} г азоту. Температура суміші дорівнює $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому тиск у посудині становить 10^{-3} мм рт. ст. Знайти: 1) об'єм посудини; 2) парціальний тиск кисню та азоту; 3) кількість молекул в 1 см^3 цієї посудини.

89. Знайти питому теплоємність кисню: 1) при $V = \text{const}$; 2) при $p = \text{const}$.

90. Знайти питому теплоємність при сталому тиску таких газів: 1) хлористого водню; 2) неону; 3) оксиду азоту; 4) оксиду вуглецю; 5) парів ртуті.

91. Знайти для кисню відношення питомої теплоємності при сталому тиску до питомої теплоємності при сталому об'ємі.

92. Для деякого двохатомного газу питома теплоємність при сталому тиску дорівнює $3,5\text{ кал/(г}\cdot\text{град)}$. Чому дорівнює маса одного кіломоля цього газу?

93. Чому дорівнюють питомі теплоємності c_V і c_p деякого двохатомного газу, якщо густина цього газу за нормальних умов становить $1,43\text{ кг/м}^3$?

94. Знайти питомі теплоємності c_V і c_p деякого газу, якщо відомо, що маса одного кіломоля цього газу дорівнює 30 кг/кмоль , а відношення $c_V/c_p = 1,4$.

95. У скільки разів теплоємність гримучого газу більше теп-

лоємності водяних парів, що утворилися під час його окиснення? Задачу розв'язати для випадків: 1) $V = \text{const}$; 2) $p = \text{const}$.

96. Чому дорівнює ступінь дисоціації кисню, якщо його питома теплоємність при сталому тиску становить $1050 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$.

97. Знайти питомі теплоємності c_V і c_p пароподібного йоду, якщо ступінь його дисоціації дорівнює 50% . Маса одного кіломоля йоду J_2 дорівнює $254 \text{ кг}/\text{кмоль}$.

98. Знайти, чому дорівнює ступінь дисоціації азоту, якщо відомо, що відношення C_p/C_V для нього становить $1,47$.

99. Знайти питому теплоємність при сталому тиску газової суміші, що складається з 3 кмоль аргону та 2 кмоль азоту.

100. Знайти відношення C_p/C_V для газової суміші, яка складається з 8 г гелію та 16 г кисню.

101. Питома теплоємність при сталому об'ємі газової суміші, що складається з одного кіломоля кисню і декількох кіломолей аргону, дорівнює $430 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Яка кількість аргону знаходиться в газовій суміші?

102. Знайти молярну масу і кількість ступенів вільності молекул газу, якщо відомі його питомі теплоємності: $c_V = 0,65 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{К})$ та $c_p = 0,91 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{К})$.

103. Різниця питомих теплоємностей $c_p - c_V$ деякого двоатомного газу при сталому об'ємі дорівнює $260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Знайти масу кіломоля μ газу і його питомі теплоємності c_p та c_V .

104. Під дією високої температури 40% молекул водню розпалися на атоми. Знайти питомі теплоємності c_p та c_V такого частково дисоційованого водню.

105. Які питомі теплоємності c_p та c_V суміші газів, що складається з 10 г кисню і 20 г азоту?

106. Знайти відношення C_p/C_V для суміші газів, яка містить 10 г гелію і 4 г водню.

107. Пасажирський літак здійснює польоти на висоті 8300 м . Щоб не постачати пасажирів кисневими масками, у кабінах за допомогою компресора підтримується сталий тиск, що відповідає висоті 2700 м . Знайти різницю тисків всередині і зовні кабіни. Середню температуру зовнішнього повітря вважати рівною 0°C .

108. На якій висоті густина газу становить 50% від густини його на рівні моря? Температуру вважати сталою і рівною 0°C . Задачу розв'язати: а) для повітря; 2) для водню.

109. На якій висоті тиск повітря становить 60% від тиску на

рівні моря? Вважати, що температура повітря скрізь однакова і дорівнює $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

110. Який тиск повітря в шахті на глибині 1 км , якщо вважати, що температура однакова на будь-якій висоті і дорівнює $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а прискорення вільного падіння не залежить від висоти? Тиск у поверхні Землі прийняти за p_0 .

111. Визначити відношення тиску повітря на висоті 1 км до тиску на дні шахти глибиною 1 км . Повітря у поверхні Землі знаходиться за нормальних умов, і його температура не залежить від висоти.

112. На якій висоті густина повітря в e разів менша відносно його густини на рівні моря? Температуру повітря і прискорення вільного падіння вважати незалежними від висоти.

113. На скільки зменшиться атмосферний тиск $p = 100\text{ кПа}$ при піднятті спостерігача над поверхнею Землі на висоту $\Delta h = 100\text{ м}$? Вважати, що температура $T = 290\text{ К}$ і не змінюється з висотою.

114. На якій висоті h над поверхнею Землі атмосферний тиск вдвічі менший, ніж на поверхні? Вважати, що температура повітря $T = 290\text{ К}$ і не змінюється з висотою.

115. У кабіні гелікоптера барометр показує тиск $\Delta p = 90\text{ кПа}$. На якій висоті h летить гелікоптер, якщо на злітному майданчику барометр показував тиск $p_0 = 100\text{ кПа}$? Вважати, що температура повітря $T = 290\text{ К}$ і не змінюється з висотою.

116. Яка зміна висоти Δh відповідає зміні тиску $p = 100\text{ Па}$: поблизу поверхні Землі, де температура $T_1 = 290\text{ К}$, тиск $p_1 = 100\text{ кПа}$, і на деякій висоті, де температура $T_2 = 220\text{ К}$, тиск $p_2 = 25\text{ кПа}$?

117. * Барометр у кабіні літака весь час показує однаковий тиск $p = 80\text{ кПа}$, завдяки чому пілот вважає висоту h польоту незмінною. Однак температура повітря змінилася на $\Delta T = 1\text{ К}$. Яку помилку Δh у визначенні висоти припустив пілот? Вважати, що температура не змінюється з висотою і тиск у поверхні Землі $p_0 = 100\text{ кПа}$.

118. * Нехай η_0 – відношення концентрації молекул водню до концентрації молекул азоту близько до поверхні Землі, а η – відповідне відношення на висоті $h = 3000\text{ м}$. Знайти відношення η/η_0 при $T = 280\text{ К}$, прийнявши, що температура та прискорення вільного падіння не залежать від висоти.

119. У посудині об'ємом 1 л знаходиться кисень масою 1 г. Визначити концентрацію молекул кисню в посудині.

120. У посудині об'ємом 5 л за нормальних умов знаходиться азот. Підрахувати: 1) кількість рідини; 2) масу кисню; 3) концентрацію його молекул у посудині.

121. Середня квадратична швидкість руху молекул деякого газу за нормальних умов дорівнює 480 м/с. Скільки молекул містить 1 г цього газу?

122. У посудині об'ємом $V = 0,3$ л при температурі $T = 290$ К знаходиться деякий газ. На скільки знизиться тиск газу в посудині, якщо його покинуть $N = 10^{19}$ молекул.

123. Визначити кінетичну енергію $\langle W_1 \rangle$, яка знадобиться в середньому на один ступінь свободи молекули азоту при температурі $T = 1000$ К, а також кінетичну енергію $\langle W_n \rangle$ поступального руху, $\langle W_b \rangle$ обертального руху і повну кінетичну енергію $\langle W \rangle$ молекули.

124. Визначити температуру T газу, якщо середня кінетична енергія поступального руху його молекул $\langle W_n \rangle = 1,6 \cdot 10^{-9}$ Дж.

125. Газ займає об'єм $V = 2$ л при тиску $p = 0,5$ МПа. Визначити сумарну кінетичну енергію W_n поступального руху молекул газу.

126. Балон утримує водень масою $m = 10$ г при температурі $T = 280$ К. Визначити кінетичну енергію W_n поступального руху і повну кінетичну енергію W всіх молекул газу.

127. * Посудина з воднем рухалася зі швидкістю $v = 50$ м/с. На скільки градусів нагріється газ, якщо посудина раптово зупиниться?

128. У балоні місткістю 15 л знаходиться азот під тиском 100 кПа при температурі $t_1 = 27$ °С. Після того, як із балона випустили 14 г азоту, його температура стала $t_2 = 17$ °С. Визначити тиск азоту, що залишився у балоні.

129. Балон об'ємом $V = 20$ л містить суміш водню і азоту при температурі 290 К і тиску 1 МПа. Обчислити масу водню, якщо маса суміші 150 г.

130. Азот масою 7 г перебуває під тиском $p = 0,1$ МПа і при температурі $T_1 = 290$ К. Внаслідок ізобарного нагрівання азот зайняв об'єм $V_2 = 10$ л. Визначити: а) об'єм газу V_1 до розширення; б) температуру газу T_2 після розширення; в) густину газу до і після розширення.

131. Закрита посудина містить суміш, що складається з 56 г азоту і 64 г кисню. Визначити зміну внутрішньої енергії суміші, якщо її температуру знизили на 20 К.

132. Кисень масою 32 г знаходиться в закритій посудині під тиском 0,1 МПа при температурі 290 К. Після нагрівання тиск у посудині збільшився в 4 рази. Визначити: 1) об'єм посудини; 2) температуру, до якої нагріли газ; 3) кількість теплоти, наданої газу.

133. Визначити кількість теплоти, наданої газу, якщо в процесі ізохорного нагрівання кисню об'ємом $V = 20$ л його тиск змінився на 100 кПа.

134. Двохатомний ідеальний газ ($\nu = 2$ молі) нагрівають при сталому об'ємі до температури $T_1 = 289$ К. Визначити кількість теплоти, яку необхідно надати газу, щоб збільшити його тиск в $n = 3$ рази.

135. При ізобарному нагріванні деякого ідеального газу ($\nu = 2$ молі) на 90 К йому було надано 2,1 кДж теплоти. Визначити: 1) роботу, виконану газом; 2) зміну внутрішньої енергії газу; 3) $\gamma = C_p/C_v$.

136. Азот масою $m = 280$ г збільшується в об'ємі внаслідок ізобарного процесу при тиску $p = 1$ МПа. Визначити: 1) роботу розширення; 2) кінцевий об'єм газу, якщо на розширення витрачена теплота $Q = 5$ кДж, а початкова температура азоту $T_1 = 290$ К.

137. Кисень об'ємом 1 л знаходиться під тиском 1 МПа. Визначити, яку кількість теплоти необхідно надати газу, щоб збільшити вдвічі: 1) його об'єм внаслідок ізобарного процесу; 2) його тиск внаслідок ізохорного процесу.

138. Об'єм деякого газу масою $m = 5$ г збільшується ізотермічно від V_1 до $V_2 = 2V_1$. Робота розширення $A = 1$ кДж. Визначити середню квадратичну швидкість молекул газу.

139. Азот масою $m = 14$ г стискають ізотермічно при температурі $T = 300$ К від тиску $p_1 = 100$ кПа до тиску $p_2 = 500$ кПа. Визначити: 1) зміну внутрішньої енергії газу; 2) роботу стискання; 3) кількість теплоти, що виділилася.

140. Балон містить 20 л водню при температурі $T = 300$ К під тиском $p = 0,4$ МПа. Які будуть температура T_1 і тиск p_1 , якщо газу надати теплоту $Q = 6$ кДж?

141. Гелій масою $m = 1$ г був нагрітий на 100 К при сталому тиску p . Визначити теплоту Q , передану газу, роботу розширення A і приріст внутрішньої енергії газу.

142. У циліндрі під поршнем знаходиться азот масою $m = 0,6$ кг, що займає об'єм $V_1 = 1,2$ м³ при температурі $T = 560$ К. У результаті нагрівання газ розширився і зайняв об'єм $V_2 = 4,2$ м³, причому температура залишилася сталою. Визначити зміну внутрішньої енергії газу, виконану ним роботу і теплоту Q , надану газу.

143. Водень масою $m = 10$ г нагріли на 200 К, при цьому газу була надана теплота $Q = 40$ кДж. Визначити зміну внутрішньої енергії водню і виконану ним роботу.

144. Тиск повітря всередині щільно закупореної пляшки при температурі 7 °С дорівнює 1 атм. При нагріванні пляшки корок вилетів. Знайти, до якої температури нагріли пляшку, якщо відомо, що корок вилетів при тиску повітря в пляшці, рівному $1,3$ атм.

145. 10 г кисню знаходяться під тиском $3 \cdot 10^5$ Н/м² при температурі 10 °С. Після нагрівання при сталому тиску газ зайняв об'єм 10 л. Знайти: 1) кількість теплоти, отриманої газом; 2) енергію теплового руху молекул газу до і після нагрівання.

146. 12 г азоту знаходяться в закритій посудині об'ємом 2 л при температурі 10 °С. Після нагрівання тиск у посудині став дорівнювати 104 мм рт. ст. Яку кількість теплоти було надано газу при нагріванні?

147. 2 л азоту знаходиться під тиском 10^5 Н/м². Яку кількість теплоти треба надати азоту, щоб збільшити вдвічі: 1) його об'єм при $p = \text{const}$; 2) його тиск при $V = \text{const}$?

148. У закритій посудині знаходиться 14 г азоту під тиском 10^5 Н/м² і при температурі 27 °С. Після нагрівання тиск у посудині підвищився в п'ять разів. Знайти: 1) до якої температури був нагрітий газ; 2) який об'єм посудини; 3) яка кількість теплоти надана газу?

149. Яку кількість теплоти треба надати 12 г кисню, щоб нагріти його на 50 К при сталому тиску?

150. На нагрівання 40 г кисню від 16 до 40 °С витрачено 150 кал. За яких умов нагрівався газ (при сталому об'ємі чи сталому тиску)?

151. У закритій посудині об'ємом 10 л знаходиться повітря під тиском 10^5 Н/м². Яку кількість теплоти треба надати повітрю, щоб підвищити тиск у посудині в п'ять разів?

152. Яку кількість вуглекислого газу можна нагріти від 20 до 100 °С кількістю теплоти $0,053$ ккал? На скільки при цьому зміниться кінетична енергія однієї молекули? Під час нагрівання газ розширюється при $p = \text{const}$.

153. У закритій посудині об'ємом $V = 2$ л знаходиться азот, густина якого $\rho = 1,4$ кг/м³. Яку кількість теплоти Q треба надати азоту, щоб нагріти його за цих умов на $\Delta t = 100$ °С?

154. Азот знаходиться в закритій посудині об'ємом 3 л при температурі 27 °С і тиску 3 атм. Після нагрівання тиск у посудині підвищився до 25 атм. Визначити: 1) температуру азоту після нагрівання; 2) кількість наданої азоту теплоти.

155. Для нагрівання деякої кількості газу на 50 °С при сталому тиску необхідно витратити 160 кал. Якщо цю ж кількість газу охолодити на 100 °С при сталому об'ємі, то виділиться 240 кал. Яку кількість ступенів свободи мають молекули цього газу?

156. 10 г азоту знаходяться в закритій посудині при температурі 7 °С. 1. Яку кількість теплоти треба надати азоту, щоб збільшити середню квадратичну швидкість його молекул удвічі? 2. У скільки разів при цьому змінилася температура газу? 3. У скільки разів при цьому змінився тиск газу на стінки посудини?

157. Гелій знаходиться в закритій посудині об'ємом 2 л при температурі 20 °С і тиску в 10^5 Н/м². 1. Яку кількість теплоти треба надати гелію, щоб підвищити його температуру на 100 °С? 2. Якою буде середня квадратична швидкість його молекул при новій температурі? 3. Який встановиться тиск? 4. Якою буде густина гелію? 5. Якою буде енергія теплового руху його молекул?

158. У закритій посудині об'ємом 2 л знаходиться однакова маса азоту і аргону за нормальних умов. Яку кількість теплоти треба надати, щоб нагріти цю газову суміш на 100 °С?

159. 10 г кисню знаходяться під тиском $3 \cdot 10^5$ Н/м² при температурі 10 °С. Після нагрівання при сталому тиску газ зайняв об'єм 10 л. Знайти: 1) кількість теплоти, отриманої газом; 2) зміну внутрішньої енергії газу; 3) роботу, виконану газом при розширенні.

160. 6,5 г водню, що знаходиться при температурі 27 °С, розширюється вдвічі при $p = \text{const}$ за рахунок припливу тепла ззовні. Знайти: 1) роботу розширення; 2) зміну внутрішньої енергії газу; 3) кількість теплоти, надану газу.

161. У закритій посудині знаходиться 20 г азоту і 32 г кисню. Знайти зміну внутрішньої енергії цієї суміші газів при охолодженні її на 28 К.

АДІАБАТНИЙ ПРОЦЕС. РОБОТА ГАЗУ ПРИ РІЗНИХ ПРОЦЕСАХ. ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ

162. При ізобарному нагріванні деякого ідеального газу ($\nu = 2$ молі) на $\Delta T = 90$ К йому була передана кількість теплоти 2,1 кДж. Визначити: а) роботу, яку виконав газ; б) зміну внутрішньої енергії газу; в) величину $\gamma = C_p/C_v$;

163. При ізотермічному розширенні 4 м³ газу його тиск змінився від $p_1 = 6 \cdot 10^5$ Па до $p_2 = 10^6$ Па. Знайти виконану при цьому роботу.

164. При адіабатному розширенні кисню ($\nu = 2$ молі), який знаходився за нормальних умов, його об'єм збільшився в $n = 3$ рази. Визначити: а) зміну внутрішньої енергії газу; б) роботу розширення газу.

165. До якої температури охолонуть повітря, що знаходилося при температурі 0 °С, якщо воно розширюється адіабатно від об'єму V_1 до об'єму $V_2 = 2V_1$?

166. Визначити середню довжину вільного пробігу молекули вуглекислого газу при температурі 100 °С і тиску 0,1 мм рт. ст. Діаметр молекули прийняти рівним $3,2 \cdot 10^{-8}$ см.

167. Знайти середнє число зіткнень молекул деякого газу за 1 с, якщо середня довжина вільного пробігу за цих умов дорівнює $5 \cdot 10^4$ см, а середня квадратична швидкість його молекул становить 500 м/с.

168. Вуглекислий газ і азот знаходяться при однакових температурі і тиску. Знайти для цих газів відношення коефіцієнтів дифузії. Діаметри молекул вважати однаковими.

169. Визначити коефіцієнт теплопровідності азоту, який знаходиться в деякому об'ємі при температурі 280 К. Ефективний діаметр молекул азоту дорівнює 0,38 нм.

170. Азот масою 500 г, що знаходиться під тиском $p_1 = 1$ МПа при температурі $t_1 = 127$ °С, ізотермічно розширюється так, що його тиск зменшується в $n = 3$ рази. Після цього газ адіабатно стискають до початкового тиску, а потім ізобарно стискають до початкового об'єму. Побудувати графік циклу і знайти роботу, виконану газом за цикл.

171. Циліндр радіусом $r = 10$ см і довжиною $l = 30$ см розташований усередині другого циліндра з радіусом $R = 10,5$ см так, що осі обох циліндрів збігаються. Малий циліндр нерухомий, вели-

кий обертається з частотою $n = 15 \text{ с}^{-1}$. Динамічна в'язкість газу, в якому знаходиться циліндр, $\eta = 8,5 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Яка сила діє на одиницю поверхні внутрішнього циліндра?

172. Азот масою $m = 280 \text{ г}$ розширюється в результаті ізобарного процесу при тиску $p = 1 \text{ МПа}$. Визначити: 1) роботу розширення; 2) кінцевий об'єм газу, якщо на розширення була витрачена теплота $Q = 5 \text{ кДж}$, а початкова температура азоту $T_1 = 390 \text{ К}$.

173. 7,5 л кисню адіабатно стискується до об'єму 1 л, при цьому в кінці стиску встановлюється тиск $1,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$. Яким був тиск газу до стискання?

174. 1 кг повітря, що знаходиться при температурі $30 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 1,5 атм, розширюється адіабатно, і тиск при цьому падає до 1 атм. Знайти: а) кінцеву температуру; б) роботу, виконану газом при розширенні.

175. Розширюючись, водень виконав роботу $A = 6 \text{ кДж}$. Яка кількість теплоти була підведена до газу, якщо він розширювався: 1) ізобарно; 2) ізотермічно.

176. При адіабатному стисканні кисню масою $m = 1 \text{ кг}$ виконана робота $A = 100 \text{ кДж}$. Якою буде кінцева температура T_2 газу, якщо до стискання кисень знаходився при температурі $T_1 = 300 \text{ К}$?

177. Знайти середню довжину вільного пробігу молекули повітря за нормальних умов. Діаметр молекули повітря умовно дорівнює $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

178. Знайти коефіцієнт дифузії водню за нормальних умов, якщо середня довжина вільного пробігу молекул за цих умов дорівнює $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

179. Вуглекислий газ і азот знаходяться при однакових температурі і тиску. Знайти для цих газів коефіцієнти внутрішнього тертя.

180. Одноатомний газ $\nu = 0,1 \text{ кмоль}$, що має тиск $p_1 = 100 \text{ кПа}$ і об'єм $V_1 = 5 \text{ м}^3$, стискується ізобарно до об'єму $V_2 = 1 \text{ м}^3$, потім стискується адіабатно і розширюється при сталій температурі до початкового об'єму і тиску. Побудувати графік циклу. Знайти: а) температуру, об'єм і тиск, які відповідають станам циклу; б) роботу, виконану газом за весь цикл.

181. Двохатомному газу надали теплоту $Q = 500 \text{ ккал}$. При цьому газ розширюється при сталому тиску. Знайти роботу розширення газу.

182. Деякий газ масою $m = 5 \text{ г}$ розширюється ізотермічно від

об'єму V_1 до об'єму $V_2 = 2V_1$. Робота розширення $A = 1$ кДж. Визначити середню квадратичну швидкість молекул.

183. Маса кисню 100 г. При сталому стиску він нагрівається на 30°C . Знайти роботу розширення газу.

184. Повітря у циліндрах двигуна внутрішнього згоряння стискується адіабатно, і його тиск при цьому змінюється також адіабатно від $p_1 = 10^5$ Па до $p_2 = 35 \cdot 10^5$ Па. Початкова температура повітря 40°C . Знайти температуру повітря в кінці стискання.

185. При адіабатному розширенні кисню з початковою температурою $T = 320$ К внутрішня енергія зменшилась на 8,4 кДж. Знайти масу кисню, якщо його об'єм при стисканні збільшується в $n = 10$ разів?

186. Знайти середнє число зіткнень за одну секунду молекул вуглекислого газу при температурі 100°C , якщо середня довжина вільного пробігу за цих умов дорівнює $8,7 \cdot 10^{-2}$ см.

187. Знайти коефіцієнт дифузії гелію за нормальних умов.

188. Вуглекислий газ і азот знаходяться при однакових температурі і тиску. Знайти для цих газів відношення коефіцієнтів теплопровідності.

189. Один моль ідеального двохатомного газу, що знаходиться під тиском $p_1 = 0,1$ МПа при температурі $T_1 = 300$ К, нагріли при сталому об'ємі до тиску $p_2 = 0,2$ МПа. Після цього газ ізотермічно розширився до початкового тиску, а потім ізобарно був стиснутий до початкового об'єму V_1 . Побудувати графік циклу і знайти роботу, виконану газом за повний цикл.

190. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул водню при тиску 0,1 МПа і температурі $T = 100$ К.

191. Циліндр радіусом $r = 10$ см і довжиною $l = 30$ см розташований всередині іншого циліндра з радіусом $R = 10,5$ см так, що осі обох циліндрів збігаються. Малий циліндр нерухомий, великий обертається з частотою $n = 15$ с⁻¹. Динамічна в'язкість газу, в якому знаходяться циліндри, $\eta = 8,5$ мкПа·с. Який обертальний момент буде діяти на малий циліндр?

192. Азот масою $m = 50$ г знаходиться при температурі $T_1 = 280$ К. У результаті ізохорного охолодження тиск газу зменшився в два рази, а потім після ізобарного розширення температура його кінцевого стану стала дорівнювати початковій. Визначити: 1) роботу, яку виконав газ; 2) зміну внутрішньої енергії газу.

193. У циліндрі під поршнем знаходиться водень масою $m =$

= 0,20 кг при температурі $T_1 = 300$ К. Водень спочатку розширився адіабатно, збільшивши свій об'єм в п'ять разів, а потім його стиснули ізотермічно, зменшивши об'єм газу в п'ять разів. Знайти температуру T_2 в кінці адіабатного розширення і повну роботу, здійснену газом. Побудувати графіки процесів.

194. Азот, що займає об'єм $V_1 = 10$ л під тиском $p_1 = 0,2$ МПа, ізотермічно розширюється до об'єму $V_2 = 28$ л. Визначити роботу розширення газу.

195. Двохатомний газ, що знаходиться при температурі 27 °С і тиску $2 \cdot 10^6$ Н/м², стискається адіабатно до об'єму $V_2 = 0,5V_1$. Знайти температуру та тиск газу після стискання.

196. У посудині об'ємом $0,5$ л знаходиться кисень за нормальних умов. Знайти загальне число зіткнень між молекулами кисню в цьому об'ємі за одну секунду.

197. У балоні об'ємом $V_1 = 10$ л знаходиться водень масою $m = 1$ г. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул.

198. Знайти кількість азоту, який проходить внаслідок дифузії через площадку 100 см² за 10 секунд, якщо градієнт густини в напрямку, перпендикулярному до площадки, дорівнює $1,26$ кг/м⁴. Температура азоту 27 °С, середня довжина вільного пробігу молекул азоту 10^{-5} см.

199. Визначити коефіцієнт теплопровідності азоту, що знаходиться в деякому об'ємі при температурі 280 К. Ефективний діаметр молекул азоту дорівнює $0,38$ нм.

200. Ідеальний двохатомний газ ($\nu = 3$ молі), що займає об'єм $V_1 = 5$ л і знаходиться під тиском $p_1 = 1$ МПа, спочатку ізохорно нагрівають до $T_2 = 500$ К. Після цього газ ізотермічно розширюється до початкового тиску, а потім він в результаті ізобарного стискання повертається до початкового стану. Побудувати графік циклу і знайти роботу газу за цикл.

201. Кисень нагрівається при сталому тиску $p = 80$ кПа. Його об'єм збільшується від $V_1 = 1$ м³ до $V_2 = 3$ м³. Визначити зміну внутрішньої енергії кисню, роботу, виконану газом при розширенні, а також теплоту, надану газу.

202. Робота розширення деякого двохатомного ідеального газу дорівнює $A = 2$ кДж. Визначити кількість підведеної до газу теплоти, якщо процес проходив: 1) ізотермічно; 2) ізобарно.

203. Кисень масою 10 г, який знаходиться при температурі 370 К, адіабатно розширюється, при цьому його тиск зменшується-

ся в чотири рази. В результаті наступного ізотермічного процесу газ стискується до початкового тиску. Визначити: 1) температуру газу в кінці процесу; 2) роботу, виконану газом.

204. Визначити роботу адіабатного розширення водню $m = 4$ г, якщо його температура зменшилась на $\Delta T = 10$ К?

205. При адіабатному стисканні кисню масою $m = 20$ г його внутрішня енергія збільшилась на 8 кДж, а температура – до $T_2 = 900$ К. Знайти: 1) збільшення температури ΔT ; 2) кінцевий тиск газу p_2 , якщо його початковий тиск $p_1 = 200$ кПа.

206. У скільки разів зменшиться число зіткнень за одну секунду молекул двохатомного газу, якщо об'єм газу адіабатно збільшити вдвічі?

207. При якому тиску відношення коефіцієнта внутрішнього тертя деякого газу до коефіцієнта його дифузії дорівнює 0,3 г/л, а середня квадратична швидкість його молекул становить 632 м/с?

208. Знайти коефіцієнт дифузії водню, що знаходиться при температурі 10 °С і тиску 10^5 Н/м².

209. При адіабатному стисканні газу його об'єм зменшився в 10 разів, а тиск збільшився в $k = 21,4$ рази. Визначити відношення теплоємностей газу $\gamma = C_p/C_v$.

210. Ідеальний двохатомний газ, що займає об'єм $V_1 = 2$ л, адіабатно розширився так, що його об'єм збільшився в $n = 5$ разів. Після цього газ ізобарно стиснули до початкового об'єму, а потім у результаті ізохорного нагрівання повернули в початковий стан. Побудувати графік циклу та знайти роботу циклу.

211. Балон об'ємом 20 л містить водень при температурі $T = 300$ К під тиском $p = 0,4$ МПа. Якою буде температура T_1 та тиск p_1 , якщо газу надати $Q = 6$ кДж теплоти?

212. Гелій масою $m = 1$ г був нагрітий на $\Delta T = 100$ К при сталому тиску. Визначити роботу розширення газу.

213. 10,5 г азоту ізотермічно розширюється при температурі -23 °С від тиску $p_1 = 2,5$ атм до $p_2 = 1$ атм. Знайти роботу, виконану газом при розширенні.

214. Двохатомному газу надали 2000 Дж теплоти. При цьому газ розширюється при сталому тиску. Знайти роботу розширення газу.

215. Двохатомний ідеальний газ займає об'єм $V_1 = 1$ л і знаходиться під тиском $p_1 = 0,1$ МПа. Після адіабатного стискання газу його об'єм V_2 і тиск p_2 . В результаті наступного ізохорного проце-

су газ охолоджується до початкової температури, а його тиск $p_3 = 0,2$ МПа. Визначити: 1) об'єм V_2 ; 2) тиск p_2 . Побудувати графіки цих процесів.

216. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул азоту при температурі 17°C і тиску 10^4 Н/м².

217. Знайти коефіцієнт дифузії азоту за нормальних умов.

218. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул гелію при температурі 0°C і тиску 760 мм рт. ст., якщо за цих умов коефіцієнт внутрішнього тертя для нього дорівнює $1,3 \cdot 10^4$ г/(см·с).

219. Знайти середню тривалість τ вільного пробігу молекул кисню при температурі $T = 250$ К і тиску $p = 100$ Па.

220. Газ, який займає при температурі $t_1 = 127^\circ\text{C}$ і тиску $p_1 = 10^5$ Н/м² об'єм $V_1 = 2$ л, ізотермічно стискають до об'єму V_2 і тиску p_2 , потім ізобарно охолоджують до температури $t_3 = -73^\circ\text{C}$, після чого ізотермічно змінюють об'єм до $V_4 = 1$ л. Знайти кінцевий тиск p_4 . Побудувати графіки процесів.

221. Деякий газ здійснює процес, під час якого тиск змінюється в залежності від об'єму за законом $p = p_0 e^{-\alpha(V-V_0)}$, де $p_0 = 6 \cdot 10^5$ Па, $\alpha = 0,2$ м⁻³, $V_0 = 2$ м³. Знайти роботу, яку здійснить газ під час розширення від $V_1 = 3$ м³ до $V_2 = 4$ м³.

222. При ізотермічному розширенні водню масою $m = 1$ г, який знаходився при температурі $T = 280$ К, об'єм газу збільшився в 3 рази. Визначити роботу розширення газу.

223. Азот масою $m = 2$ г, що має температуру $T_1 = 300$ К, був адиабатно стиснутий так, що його об'єм зменшився в $n = 10$ разів. Визначити кінцеву температуру T_2 газу та роботу стиску.

224. При стисканні $0,5$ кг кисню при сталому тиску була витрачена робота, що дорівнює 600 Дж. Як і на скільки градусів змінилась температура газу?

225. Двохатомний газ займає об'єм $V_1 = 0,5$ л при тиску $p_1 = 0,5$ атм. Газ стискається адиабатно до деякого об'єму V_2 і тиску p_2 і потім при сталому об'ємі V_2 охолоджується до початкової температури. Вважаючи, що при цьому тиск його становить $p_0 = 1$ атм: 1) побудувати графік процесу; 2) знайти об'єм V_2 і тиск p_2 .

226. Скільки теплоти виділиться, якщо азот масою $m = 1$ г, що знаходиться при температурі $T = 280$ К під тиском $p_1 = 0,1$ МПа, ізотермічно стиснути до тиску $p_2 = 1$ МПа?

227. При температурі 0°C і деякому тиску середня довжина

вільного пробігу молекул кисню становить $9,5 \cdot 10^{-8}$ м. Чому дорівнює середнє число зіткнень за одну секунду, якщо з посудини відкачати кисень до 0,01 початкового тиску? Температура залишається сталою.

228. Побудувати графік залежності коефіцієнта внутрішнього тертя азоту від температури в діапазоні $100 \text{ K} \leq T \leq 600 \text{ K}$ з інтервалом 100 К.

229. У посудині об'ємом $V = 2$ л знаходиться $N = 4 \cdot 10^{22}$ молекул двохатомного газу. Коефіцієнт теплопровідності газу $k = 0,014 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Знайти коефіцієнт дифузії за цих умов.

230. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно. Робоче тіло – повітря, взяте при початковому тиску 7 атм і температурі 127 °С. Початковий об'єм повітря $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Після першого ізотермічного розширення повітря зайняло об'єм 5 л; після адіабатного розширення об'єм став дорівнювати 8 л. Знайти: 1) координати перетинів ізотерм і адіабат; 2) роботу на кожній ділянці циклу; 3) повну роботу, яка виконується за весь цикл.

231. Ідеальний газ з показником адіабати γ розширився за законом $p = \alpha V$, де α – стала. Початковий об'єм газу V_0 . У результаті розширення об'єм збільшився в n разів. Знайти: 1) приріст внутрішньої енергії газу; 2) роботу, виконану газом.

232. При ізобарному розширенні двохатомного газу була виконана робота 16 кДж. Яку кількість теплоти було надано газу?

233. Газ розширюється адіабатно так, що його тиск падає від 2 до 1 атм. Потім він нагрівається при сталому об'ємі до початкової температури, при цьому його тиск зростає до 1,22 атм. Визначити відношення теплоємностей C_p/C_v для цього газу. Побудувати графік процесу.

234. При ізотермічному розширенні водню масою $m = 1$ г, який знаходився при температурі $T = 280 \text{ K}$, його об'єм збільшився в три рази. Визначити роботу розширення газу.

235. Горюча суміш у двигуні дизеля займається при температурі $T_2 = 1100 \text{ K}$. Початкова температура суміші $T_1 = 350 \text{ K}$. У скільки разів потрібно зменшити об'єм суміші при стисканні, щоб вона зайнялася? Вважати стискання адіабатним. Прийняти для суміші відношення $\gamma = C_p/C_v = 1,4$.

236. Кисень, який займає об'єм $V_1 = 1$ л під тиском $p_1 = 1,2 \text{ МПа}$, адіабатно розширюється до об'єму $V_2 = 10$ л. Визначити роботу розширення газу.

237. За деяких умов середня довжина вільного пробігу молекул газу становить $1,6 \cdot 10^{-7}$ м і середня арифметична швидкість його молекул – 1,95 км/с. Чому дорівнює середнє число зіткнень за одну секунду молекул цього газу, якщо при сталій температурі тиск газу зменшити в 1,27 разу?

238. У скільки разів коефіцієнт внутрішнього тертя кисню більше коефіцієнта внутрішнього тертя азоту? Температура газів однакова.

239. Визначити коефіцієнт теплопровідності азоту, якщо коефіцієнт динамічної в'язкості для нього за цих умов дорівнює 10 мкПа·с.

240. Один кіломоль ідеального газу здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар. При цьому об'єм газу змінюється від $V_1 = 25$ м³ до $V_2 = 50$ м³, а тиск – від $p_1 = 1$ атм до $p_2 = 2$ атм. У скільки разів робота, яка здійснюється за таким циклом, менше роботи, яка здійснюється за циклом Карно, ізотерми якого відповідають найбільшій та найменшій температурам даного циклу, якщо при ізотермічному розширенні об'єм збільшився в два рази?

241. Деяку масу азоту стиснули в п'ять разів (за об'ємом) перший раз адіабатно, другий раз ізотермічно. Початковий стан газу в обох випадках однаковий. Знайти відношення відповідних робіт, витрачених на стискання.

242. Газ об'ємом 5 л знаходиться під тиском $2 \cdot 10^5$ Н/м² і при температурі 17 °С нагрівається і розширюється ізобарно. Робота розширення газу дорівнює 20 кДж. На скільки нагріли газ?

243. 1 кмоль азоту, що знаходиться за нормальних умов, розширюється адіабатно від об'єму V_1 до $V_2 = 5V_1$. Знайти: 1) зміну внутрішньої енергії газу; 2) роботу розширення газу.

244. Водень масою $m = 4$ г нагріли на $\Delta T = 10$ К при сталому тиску. Знайти роботу розширення газу.

245. Водяна пара розширюється при сталому тиску. Визначити роботу розширення, якщо парі надали кількість теплоти $Q = 4$ кДж.

246. З балону, в якому знаходиться водень під тиском $p_1 = 1$ МПа при температурі $T_1 = 300$ К, випустили половину газу. Визначити кінцеву температуру T_2 і тиск p_2 , вважаючи процес адіабатним.

247. В колбі об'ємом 100 см³ знаходиться 0,5 г азоту. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул азоту за цих умов.

248. Коефіцієнти дифузії і внутрішнього тертя водню за деяких умов становлять відповідно $D = 1,42 \text{ см}^2/\text{с}$ і $\eta = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$. Знайти число молекул водню в 1 м^3 за цих умов.

249. Деякий газ масою 1 кг знаходиться при температурі $T = 300 \text{ К}$ і під тиском $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$. В результаті ізотермічного стискання тиск газу збільшився в два рази. Робота, витрачена на стискання, $A = -432 \text{ кДж}$. Визначити: 1) який це газ; 2) початковий об'єм газу.

250. Один моль ідеального двохатомного газу здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар. Найменші та найбільші об'єми та тиски відповідно становлять $V_{\min} = 10 \text{ л}$, $V_{\max} = 20 \text{ л}$, $p_{\min} = 246 \text{ кПа}$, $p_{\max} = 410 \text{ кПа}$. Накреслити графік циклу. Визначити температуру для характерних точок циклу, роботу циклу.

251. Один моль ідеального газу з показником адиабати γ здійснює процес, при якому залежність його тиску від температури можна описати законом $p = bT^\alpha$, де b і α – сталі. Знайти роботу, яку виконує газ, якщо його температура зміниться на ΔT .

252. 7 г вуглекислого газу було нагріто на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ в умовах вільного розширення. Знайти роботу розширення газу і зміну його внутрішньої енергії.

253. Необхідно стиснути 10^{-2} м^3 повітря до об'єму $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Як вигідніше його стискувати: адиабатно чи ізотермічно?

254. Газ, що мав об'єм 20 л за нормальних умов, був ізобарно нагрітий до $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити роботу розширення газу.

255. Яка робота здійснюється при ізотермічному розширенні водню масою $m = 5 \text{ г}$, взятого при температурі $T = 290 \text{ К}$, якщо об'єм газу збільшується в три рази?

256. Повітря, що знаходиться під тиском $p_1 = 100 \text{ кПа}$, було адиабатно стиснуте до тиску $p_2 = 1 \text{ МПа}$. Яким буде тиск p_3 , якщо стиснуте повітря, зберігаючи об'єм сталим, охолодити до початкової температури?

257. У посудині знаходиться вуглекислий газ, густина якого $\rho = 1,7 \text{ кг}/\text{м}^3$; середня довжина вільного пробігу його молекул за цих умов дорівнює $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ см}$. Знайти діаметр молекул вуглекислого газу.

258. Коефіцієнти дифузії та внутрішнього тертя кисню за деяких умов дорівнюють відповідно $D = 1,22 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с}$, $\eta = 1,95 \cdot 10^{-5} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$. Знайти за цих умов: 1) густину кисню; 2) середню довжину вільного пробігу його молекул; 3) середню арифметичну швидкість його молекул.

259. Азот, що знаходився при температурі 400 К, адіабатно розширили так, що його об'єм збільшився в п'ять разів, а внутрішня енергія зменшилась на 4 кДж. Визначити масу азоту.

260. Кисень масою $m = 32 \cdot 10^{-3}$ кг, що знаходиться при температурі $T_1 = 350$ К і тиску $p_1 = 0,5$ МПа, спочатку розширюється адіабатно від об'єму $V_1 = 1$ л до об'єму $V_2 = 2$ л, а потім ізобарно до $V_3 = 3$ л. Визначити: 1) температури T_2 і T_3 газу; 2) роботу газу для кожного процесу; 3) побудувати графік процесів.

261. Ідеальний газ з показником адиабати γ здійснює процес, при якому внутрішня енергія залежить від об'єму за законом $p = bT^\alpha$, де b і α – сталі. Знайти роботу, яку виконає газ і теплоту, яку необхідно йому надати, щоб внутрішня енергія отримала приріст ΔU .

ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ. РІДИНИ

262. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду при 0°C у воду при 0°C .

263. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду при -20°C у воду при 0°C .

264. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду при 0°C у воду при 20°C .

265. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду при -20°C у воду при 20°C .

266. 6,6 г водню розширюється ізобарно до збільшення об'єму у два рази. Знайти зміну ентропії.

267. Знайти зміну ентропії 10 г води, взятої при 100°C , під час перетворення її в пару при 100°C .

268. 10 г кисню нагріваються від $t_1 = 50^\circ\text{C}$ до $t_2 = 150^\circ\text{C}$. Знайти зміну ентропії, якщо нагрівання відбувається при сталому тиску.

269. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду, який був взятий при температурі 0°C , в пару при 100°C .

270. Знайти зміну ентропії при перетворенні 240 г льоду, який був взятий при температурі -20°C , в пару при 100°C .

271. 640 г розплавленого свинцю при температурі плавлення вилили на лід при 0°C . Знайти зміну ентропії свинцю.

272. Знайти зміну ентропії при ізобарному розширенні 8 г гелію від об'єму $V_1 = 10$ л до $V_2 = 25$ л.

273. Знайти зміну ентропії 10 г води, взятої при температурі 30°C , при перетворенні її в пару при 100°C .

274. Знайти зміну ентропії при нагріванні 10 г води від 20 до 100°C .

275. Один кубічний метр повітря, що знаходиться при температурі 0°C та тиску $2 \cdot 10^5$ Н/м², ізотермічно розширюється від об'єму V_1 до об'єму $V_2 = 2V_1$. Знайти зміну ентропії.

276. Зміна ентропії на інтервалі між двома станами в циклі Карно дорівнює $4,2$ кДж/К. Різниця температур між двома ізотермами становить 100°C . Яка кількість теплоти перетворюється у роботу в цьому циклі?

277. Знайти зміну ентропії під час розширення 8 г кисню від об'єму 10 л при температурі 80°C до об'єму 40 л при температурі 300°C .

278. Знайти зміну ентропії під час переходу 12 г азоту від об'єму 15 л при температурі 40°C до об'єму 40 л при температурі 300°C при сталому тиску.

279. Знайти зміну ентропії при ізотермічному розширенні 6 г водню від тиску 10^5 Па до $0,5 \cdot 10^5$ Н/м².

280. $10,5$ г азоту ізотермічно розширюються від об'єму $V_1 = 2$ л до об'єму $V_2 = 5$ л. Знайти приріст ентропії.

281. Теплову машину, яка працює за циклом Карно з термічним ККД $\eta = 10\%$, використовують з такими ж резервуарами, що і холодильну машину. Знайти її холодильний коефіцієнт ϵ ($\epsilon = Q_{\text{хол}}/A$).

282. У зв'язку з нагріванням 22 г азоту його абсолютна температура зросла в $1,2$ рази, а ентропія збільшилась на $4,19$ Дж/град. За яких умов відбувалося нагрівання (при сталому об'ємі чи при сталому тиску?)

283. Яка кількість молів ідеального газу була в посудині, якщо після того, як газ ізобарно нагріли до збільшення об'єму в два рази, а потім ізохорно охолодили до зменшення тиску в два рази, приріст ентропії склав $11,5$ Дж/К.

284. 48 г кисню нагріваються від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $T_2 = 500$ К. Знайти зміну ентропії, якщо нагрівання відбувається при сталому об'ємі.

285. Під час нагрівання 1 кмоль двохатомного газу його абсолютна температура збільшується в $1,5$ рази. Знайти зміну ентропії, якщо нагрівання відбувається при $V = \text{const}$.

286. Під час нагрівання 4 кмолів двохатомного газу його абсолютна температура збільшується у вісім разів. Знайти зміну ентропії, якщо нагрівання відбувається ізобарно.

287. Азот масою 28 г адіабатно розширили в два рази, а потім ізобарно стиснули до початкового об'єму. Знайти зміну ентропії газу.

288. Після ізобарного розширення азоту в два рази з подальшим адіабатним стисканням до початкового об'єму приріст ентропії становив +20 Дж/К. Яка маса азоту була у посудині?

289. У скільки разів адіабатно розширили 30 г кисню, якщо після ізобарного стискання до початкового об'єму зміна ентропії склала -15 Дж/К.

290. Кусок льоду масою 100 г при температурі 0 °С помістили в калориметр, в якому знаходилось 100 г води при температурі 60 °С. Нехтуючи теплоємністю калориметра, знайти приріст ентропії системи до моменту встановлення теплової рівноваги.

291. Навести приклад процесу, при якому вся теплота, отримана з теплового резервуара, перетворюється у роботу.

292. Ідеальний газ ($\nu = 2$ молі) спочатку ізобарно нагріли так, що його об'єм збільшився в два рази, а потім ізохорно охолодили так, що його тиск зменшився в два рази. Знайти приріст ентропії.

293. Водень здійснює цикл Карно. Знайти коефіцієнт корисної дії (ККД) циклу, якщо при адіабатному розширенні тиск газу зменшується в два рази.

294. Ідеальна холодильна машина має ККД $\eta = 0,093$. Тепло відбирається від тіла з температурою -10 °С і передається тілу з температурою t °С. Знайти температуру t °С цього тіла, якщо здійснюється обернений цикл Карно.

295. Ідеальний газ ($\nu = 2$ молі) спочатку ізохорно охолодили так, що його тиск зменшився в два рази, а потім ізобарно нагріли так, що його об'єм збільшився в два рази. Знайти приріст ентропії.

296. Лід масою 2 кг при температурі $t_1 = 0$ °С був перетворений у воду тієї ж температури за допомогою пари, що мала температуру $t_1 = 100$ °С. Знайти масу витраченої пари. Яка зміна ΔS ентропії системи лід-пара під час танення льоду?

297. Внаслідок ізохорного охолодження газу його тиск зменшився в два рази, а при подальшому ізобарному нагріванні об'єм збільшився в два рази. Приріст ентропії становив -12 Дж/К. Скільки молів газу було у посудині?

298. У скільки разів збільшиться об'єм двоатомного газу ($\nu = 2$ молі) внаслідок ізобарного нагрівання, якщо після подальшого ізохорного охолодження його тиск зменшився втричі, а приріст ентропії становив 15 Дж/К .

299. Приріст ентропії ідеального газу становив -20 Дж/К після ізохорного охолодження газу зі зменшенням тиску в n раз, а потім ізобарного нагрівання зі збільшенням об'єму вдвічі. Чому дорівнює n , якщо кількість газу 3 молі?

300. Змішали $m_1 = 5 \text{ кг}$ води при температурі $T_1 = 280 \text{ К}$ з $m_2 = 8 \text{ кг}$ води при температурі $T_2 = 350 \text{ К}$. Знайти: 1) температуру суміші; 2) зміну ентропії суміші після змішування. Вважати теплоємність води сталою.

301. 25 г азоту ізобарно розширили в три рази, а потім адіабатно стиснули до початкового об'єму. Знайти приріст ентропії.

302. Після адіабатного розширення азоту в два рази з подальшим ізобарним стисканням до початкового об'єму зміна ентропії склала $\Delta S = -20,2 \text{ Дж/К}$. Яка маса азоту була в посудині?

303. Ідеальна холодильна машина працює за оберненим циклом Карно. Тепло відбирається від тіла з температурою $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ і передається тілу з температурою $+17 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти ККД циклу.

304. 20 г водню адіабатно розширили в n разів, а потім ізобарно стиснули до початкового об'єму. Знайти n , якщо зміна ентропії склала $+10 \text{ Дж/К}$.

305. В якому випадку ККД циклу Карно більше підвищиться: при збільшенні температури нагрівача на ΔT чи при зменшенні температури холодильника на таку ж саму величину?

306. Водень здійснює цикл Карно. Знайти ККД циклу, якщо при оберненому розширенні об'єм газу збільшується у $n = 2$ рази.

307. Ідеальна холодильна машина працює як тепловий насос за оберненим циклом Карно. Вона відбирає тепло від води з температурою $2 \text{ }^\circ\text{C}$ та передає його повітрю з температурою $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти коефіцієнт η_1 – відношення кількості теплоти, переданої повітрю, до кількості теплоти, віднятої у води за той же час.

308. Два молі ідеального газу здійснюють цикл Карно. Температури нагрівника та холодильника відповідно 1200 і 300 К , при ізотермічному розширенні об'єм збільшився вдвічі. Знайти роботу за цикл.

309. Теплову машину, яка працює за циклом Карно, використовують з такими ж тепловими резервуарами, як і холодильну

машину з холодильним коефіцієнтом $\varepsilon = 9$. Знайти ККД теплової машини.

310. Ідеальна тепла машина, яка працює за циклом Карно, одержує за кожен цикл від нагрівача 600 кал. Температури нагрівача і холодильника відповідно 400 та 300 К. Знайти роботу, виконану машиною за один цикл.

311. Ідеальна тепла машина, яка працює за циклом Карно, одержує за кожен цикл від нагрівача 800 кал. Температури нагрівача та холодильника відповідно 600 і 350 К. Знайти кількість теплоти, яка була передана холодильнику за один цикл.

312. Ідеальна тепла машина працює за циклом Карно. Знайти ККД циклу, якщо відомо, що за один цикл була виконана робота 3000 Дж, а холодильнику була передана теплота 3,2 ккал.

313. Ідеальна тепла машина, яка працює за циклом Карно, виконує за один цикл роботу $7,35 \cdot 10^4$ Дж. Температура нагрівача 100 °С, температура холодильника 0 °С. Знайти: 1) ККД машини; 2) кількість теплоти, яку машина одержала за один цикл від нагрівача; 3) кількість теплоти, яка була віддана за один цикл холодильнику.

314. Ідеальна тепла машина працює за циклом Карно. Кількість теплоти, отриманої від нагрівача, дорівнює 1,5 ккал, 80 % з яких передається холодильнику. Знайти: 1) ККД циклу; 2) роботу, виконану за один повний цикл.

315. Чи може тепла машина, яка використовує цикл Карно, бути необоротною? Назвати достатні умови оборотності такої машини.

316. Скільки палива за 1 год споживає парова машина потужністю 14,7 кВт, якщо температура котла 200 °С, а холодильника – 58 °С. При ККД 20 % теплотворна здатність палива $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг. Порівняти ККД цієї машини з ККД ідеальної парової машини, що працює за циклом Карно між тими ж температурами ($\eta_{\text{ид}}/\eta_{\text{р}}$).

317. Знайти температуру котла парової машини потужністю 14,7 кВт та його ККД, якщо ККД ідеальної парової машини, яка працює за циклом Карно при тих же температурах, $\eta = 30$ %. Відомо, що машина споживає за одну годину 8,1 кг палива з теплотворною здатністю $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг, температура холодильника 58 °С.

318. Ідеальна холодильна машина, яка працює за оберненим циклом Карно, виконує за один цикл роботу $3,7 \cdot 10^4$ Дж. Тепло

відбирається від тіла з температурою $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і передається тілу з температурою $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти кількість теплоти, віднятої у холодного тіла за один цикл.

319. Ідеальна холодильна машина, яка працює за оберненим циклом Карно, виконує за один цикл роботу $4,6 \cdot 10^3$ Дж. Тепло відбирається від тіла з температурою $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ і передається тілу з температурою $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти кількість теплоти, переданої гарячому тілу за один цикл.

320. Один кіломоль ідеального газу здійснює цикл Карно, при цьому робота дорівнює $5,18 \cdot 10^6$ Дж. У скільки разів збільшується об'єм при ізотермічному розширенні, якщо ізотерми циклу відповідають найбільшій та найменшій температурам іншого циклу, що складається з двох ізохор та двох ізобар, у якому об'єм газу змінюється від $V_1 = 25\text{ м}^3$ до $V_2 = 50\text{ м}^3$, а тиск – від $p_1 = 1\text{ атм}$ до $p_2 = 2\text{ атм}$.

321. Кусок міді масою 90 г при температурі $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ поклали в калориметр, в якому знаходився лід масою 50 г при температурі $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти приріст ентропії куска міді до моменту встановлення теплової рівноваги. Вважати теплоємності міді та льоду сталими.

322. Ідеальна холодильна машина працює за оберненим циклом Карно з ККД 0,093. Тепло відбирається від тіла з температурою t_1 та передається тілу з температурою $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти температуру t_1 .

323. Ідеальна холодильна машина працює за оберненим циклом Карно з коефіцієнтом $Q_1/Q_2 = 1,09$. Тепло відбирається від води з температурою $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ та передається повітрю. Знайти температуру повітря t , якщо Q_2 – кількість теплоти, віднятої від води, Q_1 – кількість теплоти, переданої повітрю.

324. У процесі роботи ідеальної холодильної машини тепло відбирається від рідини з температурою t та передається повітрю з температурою $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти температуру рідини, якщо виконується обернений цикл Карно з коефіцієнтом $Q_1/Q_2 = 1,09$, де Q_2 – кількість теплоти, віднятої від води, Q_1 – кількість теплоти, переданої повітрю.

325. Ідеальна холодильна машина, що працює за оберненим циклом Карно, передає тепло від холодильника з водою при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ кип'ятильнику з водою при температурі $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яку кількість води необхідно заморозити в холодильнику, щоб перетворити на пару 1 кг води в кип'ятильнику?

326. В ідеальній холодильній машині, яка працює за циклом Карно, тепло передається від холодильника з водою при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ кип'ятильнику з водою при температурі $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скільки води було перетворено на пару в кип'ятильнику, якщо в холодильнику було заморожено $4,94\text{ кг}$ води.

327. Ідеальна холодильна машина передає тепло від холодильника з водою при температурі T кип'ятильнику з водою при температурі $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому в холодильнику було заморожено $4,94\text{ кг}$ води, а в кип'ятильнику було перетворено на пару 1 кг води. Визначити температуру води в холодильнику.

328. Парова машина потужністю $14,7\text{ кг}$ споживає за одну годину $8,1\text{ кг}$ вугілля з теплотворною здатністю $3,3 \cdot 10^7\text{ Дж/кг}$, температура котла $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура холодильника $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти фактичний ККД машини та порівняти його з ККД ідеальної теплової машини, що працює за циклом Карно між тими самими температурами.

329. Знайти потужність парової машини з ККД $\eta = 20\%$, яка споживає за одну годину $8,1\text{ кг}$ вугілля з теплотворною здатністю $3,3 \cdot 10^7\text{ Дж/кг}$. Відомо, що температура котла $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура холодильника $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти ККД ідеальної парової машини, яка працює за циклом Карно між тими ж температурами.

330. Кусок міді масою 90 г при температурі $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ поклали в калориметр, в якому знаходився лід масою 50 г при температурі $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти приріст ентропії льоду на момент встановлення теплової рівноваги.

331. У калориметрі знаходився лід масою 50 г при температурі $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. На нього поклали кусок міді масою 90 г при температурі $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти приріст ентропії системи лід–мідь на момент встановлення рівноваги.

332. Питома теплота випаровування води при температурі $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $1,94 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$. Відомо, що тиск насиченої пари при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ $15,3\text{ атм}$, густина води 10^3 кг/м^3 . Користуючись першим законом термодинаміки знайти сталу a в рівнянні Ван-дер-Ваальса. Прийняти, що зміна внутрішньої енергії сил взаємодії під час випаровування відповідає рівнянню $\Delta U = a(V_1 - V_2)/(V_1 V_2)$.

333. Знайти температуру холодильника теплової машини, а також її ККД, якщо відомо, що ККД ідеальної теплової машини, що працює за циклом Карно між тими ж температурами, 30% . Реальна машина споживає за одну годину 81 кг вугілля з тепло-

творною здатністю $3,3 \cdot 10^7$ Дж/кг, температура котла 200 °С, потужність машини $14,7$ кВт.

334. Знайти зміну ентропії ΔS під час плавлення 1 моля льоду, якщо зовнішній тиск збільшився на 1 МПа, а температура плавлення змінилась на $\Delta T = -0,08$ К. Густина льоду $0,9$ г/см³, густина води 1 г/см³.

335. Скільки молів льоду розплавиться, якщо при збільшенні зовнішнього тиску на 1 МПа температура плавлення відповідно змінилась на $\Delta T = -0,08$ К, а ентропія на 23 Дж/К. Густина льоду $0,9$ г/см³, густина води 1 г/см³.

336. Робота, яку виконують 10 кмолів ідеального газу за цикл Карно, становить 500 Дж. У скільки разів зменшується об'єм при ізотермічному стисканні газу, якщо ізотермам відповідають температури 1000 та 250 К.

337. Знайти температуру нагрівача в циклі Карно, якщо температура холодильника 300 К, робоче тіло – один кіломоль ідеального газу, об'єм якого збільшується вдвічі при ізотермічному розширенні. Робота за цикл дорівнює $4,5 \cdot 10^6$ Дж.

338. Теплова машина працює за циклом Карно. При ізотермічному стисканні об'єм $0,5$ кмоль ідеального газу зменшується у 3 рази. Знайти температуру холодильника, якщо температура нагрівача 1300 К, а робота за цикл дорівнює $25 \cdot 10^5$ Дж.

339. Чому дорівнює маса льоду, зануреного в 100 г води температурою 50 °С, якщо температура суміші 20 °С, а початкова температура льоду 0 °С. Визначити також приріст ентропії системи до моменту встановлення теплової рівноваги.

340. У калориметрі знаходиться вода при температурі 60 °С. У воду занурено кусок льоду масою 100 г і температурою 0 °С. Визначити приріст ентропії системи на момент встановлення теплової рівноваги (20 °С).

341. Для характеристики стану тіла можна користуватись його температурою та ентропією. Зобразити графічно цикл Карно на діаграмі. По осі абсцис відкласти ентропію, по осі ординат – температуру. Знайти за допомогою графіка ККД циклу.

342. Знайти зміну ентропії одного моля ідеального газу при політропному розширенні $pV^n = \text{const}$ від об'єму V_1 до об'єму V_2 при $n = 1$.

343. Теплова машина з одним молем ідеального газу працює за циклом Стірлінга, який складається з двох ізотерм та двох ізо-

хор. Довести, що ККД такої машини $\eta > (T_1 - T_2)/T_1$. Вважати відомими максимальні та мінімальні об'єми та температури газу.

344. При якій температурі тиск насиченої пари деякого спирту дорівнює $6,78 \cdot 10^4$ Н/м², якщо при температурі 313 К, тиск $1,77 \cdot 10^4$ Н/м². Відомо, що при випаровуванні 10^{-3} кг спирту при температурі 323 К зміна ентропії становить 2,86 Дж/К. Маса одного моля спирту $46 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

345. На скільки збільшився зовнішній тиск, якщо температура плавлення одного моля льоду зменшилась на $\Delta T = -0,08$ К. Зміна ентропії становить 25 Дж/К, густина льоду і води відповідно $0,9$ г/см³ і 1 г/см³.

346. Площина прямокутної рамки з рухомою нижньою поперечкою довжиною 40 мм затянута мильною плівкою. Який повинен бути діаметр мідної поперечки, щоб вона знаходилась у рівновазі? Вважати коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину рівним $4 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

347. Площина прямокутної рамки з рухомою поперечкою діаметром 0,5 мм затянута мильною плівкою. Знайти, чому дорівнює довжина поперечки, якщо відомо, що при її переміщенні на 1 см виконується ізотермічна робота $4,5 \cdot 10^{-4}$ Дж. Прийняти для мильного розчину $\alpha = 0,045$ Н/м.

348. Тиск насичених парів етилового спирту (C₂H₅OH) при температурі 40 °С дорівнює 133 мм рт. ст., а при температурі 68 °С – 509 мм рт. ст. Знайти зміну ентропії під час випаровування 1 г етилового спирту, який знаходиться при температурі 50 °С.

349. Деякий спирт має тиск насичених парів 509 мм рт. ст. при температурі 341 К, а при температурі 313 К – 133 мм рт. ст. Знайти масу одного моля спирту, якщо під час випаровування 1 г спирту при температурі 50 °С зміна ентропії становить 2,86 Дж/К.

350. Зміна ентропії під час випаровування 1 г рідини при температурі 50 °С становить 2,86 Дж/К. Знайти тиск насичених парів рідини при температурі 341 К, якщо тиск його насичених парів при температурі 313 К дорівнює 133 мм рт. ст. Маса одного моля речовини $46 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Відповідь дати в мм рт. ст.

351. Зміна ентропії під час плавлення 1 моля льоду становить 25 Дж/К. Знайти, на скільки зменшиться температура плавлення льоду при збільшенні зовнішнього тиску на 1 МПа. Густина льоду і води відповідно 0,9 та 1,0 г/см³.

352. Яку масу рідини з молярною масою $46 \cdot 10^{-3}$ кг/моль при

температурі 323 К випарили, якщо зміна ентропії становила 2,86 Дж/К. Відомо, що тиск насиченої пари рідини при температурі 313 К дорівнює 133 мм рт. ст., а при температурі 341 К – 509 мм рт. ст.

353. При якій температурі випарили 1 г рідини з молярною масою $23 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, якщо зміна ентропії становила 5,72 Дж/К. Відомо, що при температурі 40 °С тиск насиченої пари 133 мм рт. ст., а при температурі 68 °С – 509 мм рт. ст.

354. Користуючись першим законом термодинаміки знайти питому теплоту випаровування води. Відомо, що тиск насиченої пари при 200 °С складає 15,3 атм, густина води 10^3 кг/м³. Вважати, що зміна внутрішньої енергії сил взаємодії при випаровуванні відповідає рівнянню Ван-дер-Ваальса $\Delta U = a(V_2 - V_1)/(V_1 V_2)$, де $a = 5,56 \cdot 10^{-5}$ Н·м⁴/кмоль².

355. Відомі ентропії одиниці маси деякої речовини в газоподібному (S_r), рідкому (S_p) та твердому ($S_{тв}$) станах та температури плавлення $T_{пл}$, сублімації (T_s) та випаровування ($T_{вип}$). Знайти приховані теплоти $q_{пл}$, q_c , $q_{вип}$ відповідних фазових переходів.

356. Питомі об'єми газової та рідкої фаз речовини при тиску p дорівнюють V_r та V_p відповідно. Питома теплота випаровування при цьому тиску q . Знайти приріст $\Delta U = U_r - U_p$ питомої внутрішньої енергії речовини під час випаровування.

357. Яку роботу проти сил поверхневого натягу необхідно виконати, щоб збільшити в 2 рази об'єм мильної кульки радіусом 1 см? Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину прийняти рівним $4,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

358. Яку силу необхідно прикласти до горизонтального кільця з алюмінію, щоб відірвати його від поверхні води, якщо висота кільця 10 мм, внутрішній діаметр 50 мм, зовнішній діаметр 52 мм? Яку частину від знайденої сили складають сили поверхневого натягу?

359. Алюмінієве кільце внутрішнім діаметром 25 мм та зовнішнім діаметром 52 мм підвішене на пружині з коефіцієнтом пружності 10^4 кг/мм так, що воно дотикається до поверхні рідини. Під час опускання поверхні рідини кільце відірвалось від неї при видовженні пружини на 5,3 мм. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу рідини, якщо висота кільця 1 мм.

360. У скляному капілярі діаметром 100 мкм вода піднімається на висоту 30 см. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу води, якщо її густина 1 г/см³.

361. У посудину зі ртуттю занурили відкритий капіляр, внутрішній діаметр якого 3 мм. Різниця рівнів ртуті у посудині та капілярі 3,7 мм. Чому дорівнює радіус кривизни меніска в капілярі?

362. Спирт краплями витікає з посудини крізь вертикальну трубку внутрішнім діаметром 2 мм. Через який час витече 10 г етилового спирту, якщо краплі відриваються щосекунди одна за одною.

363. З вертикальної трубки внутрішнім радіусом 1 мм витікають краплі води. Знайти радіус краплі у момент відриву. Краплю вважати сферичною. Діаметр шийки краплі в момент відриву вважати рівним діаметру трубки.

364. Яку роботу проти сил поверхневого натягу необхідно виконати, щоб розбити сферичну краплю ртуті радіусом 3 мм на дві однакові краплі?

365. Знайти тиск повітря (у мм рт. ст.) в повітряній бульбашці діаметром 0,01 мм, яка знаходиться на глибині 20 см під поверхнею води. Зовнішній тиск 765 мм рт. ст.

366. Тиск повітря всередині мильної бульбашки на 1 мм рт. ст. більший за атмосферний. Чому дорівнює діаметр бульбашки? Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину дорівнює 0,043 Н/м.

367. На якій глибині під водою знаходиться бульбашка повітря, якщо відомо, що густина повітря в ній дорівнює 2 кг/м^3 . Діаметр бульбашки 0,015 мм, температура $20 \text{ }^\circ\text{C}$, атмосферний тиск 760 мм рт. ст.

368. У скільки разів густина повітря в бульбашці, що знаходиться на глибині 5 м під водою, більша за густину повітря при атмосферному тиску (при тій же температурі)? Радіус бульбашки $5 \cdot 10^{-4}$ мм.

369. На скільки нагріється крапля ртуті, яка утворилася від злиття двох крапель радіусом 1 мм кожна?

370. Вода краплями витікає з посудини крізь вертикальну трубку внутрішнім діаметром 3 мм. При зменшенні температури води від 100 до $20 \text{ }^\circ\text{C}$ вага кожної краплі змінилась на $13,5 \cdot 10^{-5}$ Н. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу води при $100 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ він становить $7,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м. Діаметр шийки краплі в момент відриву вважати рівним внутрішньому діаметру трубки.

371. Різниця рівнів ртуті в колінах U -подібного манометра становить 5,6 мм. Знайти крайовий кут змочування ртуті, якщо

перше коліно має діаметр 2 мм, друге – 1 мм. Коефіцієнт поверхневого натягу 0,5 Н/м, густина ртуті $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

372. Широке коліно U-подібного манометра має діаметр 2 мм, вузьке – 1 мм. Різниця рівнів ртуті Δh в обох колінах дорівнює 5,6 мм. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу ртуті, якщо її густина $13,6 \text{ г/см}^3$, а крайовий кут 138° .

373. Вертикальний скляний капіляр занурили в воду. Знайти радіус кривизни меніска, якщо висота стовпчика води в трубці 20 мм. Густина води 1 г/см^3 , коефіцієнт поверхневого натягу 73 мН/м. Змочування вважати повним.

374. Капіляр, внутрішній радіус якого 0,5 мм, занурили в рідину. Знайти масу рідини, яка піднялась у капілярі, якщо її коефіцієнт поверхневого натягу 60 мН/м.

375. Кисень масою 100 г розширюється від об'єму 5 л до об'єму 10 л. Знайти роботу міжмолекулярних сил тяжіння під час цього розширення. Поправку a прийняти рівною $0,136 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$.

376. Азот ($\nu = 3$ молі) розширюється в вакуумі, внаслідок чого його об'єм збільшується від 1 до 5 л. Яку кількість теплоти необхідно надати газу, щоб його температура залишалась незмінною? Поправку a прийняти рівною $0,135 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$.

377. На яку висоту підніметься бензол у капілярі, внутрішній діаметр якого 1 мм? Змочування вважати повним.

378. Яким повинен бути внутрішній діаметр капіляра, щоб при повному змочуванні вода в ньому піднялась на 2 см?

379. Знайти різницю рівнів ртуті в двох сполучених капілярах з діаметрами 1 та 2 мм. Незмочування вважати повним.

380. Яким повинен бути найбільший діаметр пор у гноті лампи, щоб гас піднявся від дна на поверхню (висота 10 см)? Вважати пори циліндричними трубками, змочування повне.

381. Капіляр внутрішнім радіусом 2 мм занурений у рідину. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу рідини, якщо відомо, що вага рідини, яка піднялась в капілярі, $9 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

382. Капілярна трубка, внутрішній радіус якої 0,16 мм, занурена вертикально в посудину з водою. Яким має бути тиск повітря над рідиною у капілярі, щоб рівень води у капілярі та в широкій посудині був однаковий? Зовнішній тиск 760 мм рт. ст. Змочування вважати повним.

383. Яка різниця рівнів ртуті в посудині та в капілярі Δh , якщо радіус кривизни ртутного меніска в капілярі 2 мм?

384. У широку посудину з водою занурено капіляр таким чином, що верхній його кінець знаходиться вище рівня води в посудині на 2 см. Внутрішній радіус капіляра дорівнює 0,5 мм. Знайти радіус кривизни меніска у капілярі. Змочування вважати повним.

385. Широке коліно U -подібного манометра має діаметр 2 мм, вузьке – 1 мм. Знайти різницю рівнів ртуті в обох колінах, якщо поверхневий натяг ртуті 0,5 Н/м, густина 13,6 г/см³, крайовий кут 138°.

386. Крапля ртуті, отримана шляхом злиття двох крапель однакового радіуса, нагрівається на $1,65 \cdot 10^{-4}$ К. Який радіус маленьких крапель?

387. У закритій посудині об'ємом 0,5 м³ знаходиться 0,6 кг вуглекислого газу при деякому тиску p_1 . При збільшенні температури в 1,85 разу, тиск збільшився вдвічі. Користуючись рівнянням Ван-дер-Ваальса, знайти тиск p_1 газу.

388. Азот ($\nu = 2$ молі) адиабатно розширюється у вакуумі. Температура газу при цьому зменшується на 1 К. Знайти роботу, яка виконується проти міжмолекулярних сил тяжіння.

389. Кисень ($\nu = 2$ молі, реальний газ), який займає при $T_1 = 400$ К об'єм $V_1 = 1$ л, розширюється ізотермічно до $V_2 = 2V_1$. Знайти роботу під час розширення та зміну внутрішньої енергії газу. Поправки a та b прийняти рівними відповідно 0,136 Н·м⁴/моль² та $3,17 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

390. Вуглекислий газ масою 88 г займає при температурі 290 К об'єм 1000 см³. Знайти внутрішню енергію газу за умови: 1) газ ідеальний; 2) газ реальний. Поправку a прийняти рівною 0,361 Н·м⁴/моль².

391. Кисень ($\nu = 2$ молі) займає об'єм $V_1 = 1$ л. Знайти зміну температури кисню, якщо він адиабатно розширюється у вакуумі до об'єму $V_2 = 10$ л. Поправку a прийняти рівною 0,136 Н·м⁴/моль².

392. Кисень ($\nu = 2$ молі) знаходиться в посудині об'ємом 5 л. Знайти: 1) внутрішній тиск газу; 2) власний об'єм молекул. Поправки a та b прийняти рівними відповідно 0,136 Н·м⁴/моль² та $3,17 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

393. Вуглекислий газ масою 6,6 кг при тиску 0,1 МПа займає об'єм 3,75 м³. Знайти температуру газу за умови: 1) газ реальний 2) газ ідеальний. Поправки a та b прийняти рівними відповідно 0,361 Н·м⁴/моль² та $4,28 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

394. Вуглекислий газ масою 2,2 кг знаходиться при температурі 290 К в посудині об'ємом 30 л. Знайти тиск газу за умови:

1) газ реальний; 2) газ ідеальний. Поправки a та b прийняти рівними відповідно $6,361 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$ та $4,28\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

395. Густина азоту $140 \text{ кг}/\text{м}^3$, його тиск 10 МПа . Знайти температуру газу за умови: 1) газ реальний; 2) газ ідеальний. Поправки a та b прийняти рівними відповідно $0,135 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$ та $3,86\cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.

396. $0,5$ кмоль деякого газу займає об'єм $V_1 = 1 \text{ м}^3$. Після розширення газу до об'єму $V_2 = 1,2 \text{ м}^3$ була виконана робота проти сил взаємодії молекул 580 Дж . Знайти для цього газу сталу a , яка входить у рівняння Ван-дер-Ваальса.

397. Знайти тиск, зумовлений силами взаємодії молекул, які містяться в одному кіломолі газу, що знаходиться за нормальних умов. Критичні температура та тиск цього газу відповідно становлять $T_k = 417 \text{ К}$, $p_k = 76 \text{ атм}$.

398. У закритій посудині об'ємом $0,5 \text{ м}^3$ знаходиться $0,6$ кмоль вуглекислого газу при тиску $3\cdot 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$. Користуючись рівнянням Ван-дер-Ваальса, знайти, у скільки разів треба збільшити температуру газу, щоб тиск збільшився вдвічі.

399. Для водню сили взаємодії між молекулами незначні; головну роль відіграють власні розміри молекул. 1. Написати рівняння стану такого напівідеального газу. 2. Знайти помилку при визначенні маси водню, який знаходився в деякому об'ємі при температурі $0 \text{ }^\circ\text{C}$ та тиску $2,8\cdot 10^7 \text{ Па}$, не враховуючи власних розмірів молекул.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высшая школа, 1989.
2. Загальні основи фізики: Навч. посібник. Кн.1: Механіка. Термодинаміка та молекулярна фізика / *І.Г. Багацька, Д.Б. Головка* та ін. – К.: Либідь, 1998.
3. *Зисман Г.А., Тодес О.М.* Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. – М.: Наука, 1967. – Т. 1.
4. *Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик Л.П.* Загальний курс фізики: Навч. посібник: У 3 т. – К.: Техніка, 1999. – Т. 1.
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики: Учебник: В 3 т. – М.: Наука, 1989. – Т. 1.
6. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1990.
7. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие: В 3 т. / Под ред. *Г.С. Ландсберга.* – 10-е изд. – М.: Наука, 1984. – Т. 1.

ЗМІСТ

Молекулярно-кінетична теорія газу. Рівняння стану ідеального газу. Перший закон термодинаміки	3
Адіабатний процес. Робота газу при різних процесах. Явища переносу	17
Другий закон термодинаміки. Рідини	26
Рекомендована література	40

**КОВАЛЬ Надія Іванівна
КОВАЛЬ Сергій Станіславович
СТРАТИСНКО Лариса Іванівна**

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА
Збірник задач для індивідуальної роботи з курсу фізики

Під редакцією О.О. Мочалова

Видавництво НУК, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Редактор І.Ю. Цицюра
Комп'ютерна правка та верстка А.Й. Тріщ
Коректор Н.О. Шайкіна

Підписано до друку 12.07.04. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 2,4. Обл.-вид. арк. 2,6. Тираж 400 прим.
Вид. № 3. Зам. № 203. Ціна договірна.



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати *підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки*, – ми до Ваших послуг.

ДЛЯ НОТАТОК