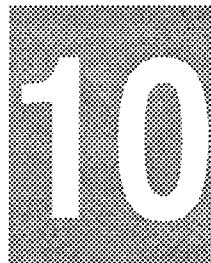


І.М. ГЕЛЬФГАТ, І.Ю. НЕНАШЕВ

# ФІЗИКА

## ЗБІРНИК

## ЗАДАЧ



ГІМНАЗІЯ

ХАРКІВ · 2001

*Рецензенти:*

*К.О. Чижко — доктор фізико-математичних наук*

*Т.В. Лободюк — заслужений учитель України*

**Гельфгат І.М., Ненашев І.Ю.**

Г32 Фізика-10. Збірник задач. — Харків: «Гімназія», 2001 — 112 с.

ISBN 966-7384-54-3

Книжку адресовано учням загальноосвітніх шкіл, а також гімназій і ліцеїв. Книжка містить задачі з фізики для 10 класу, диференційовані за складністю відповідно до прийнятої в Україні 12-бальної системи оцінювання навчальних досягнень учнів. У кожному розділі відібрано низку ключових задач, до яких дано розв'язання. Виділено також якісні задачі та питання.

**ББК 22.2 я 72.3**

**ISBN 966-7384-54-3**

© Гельфгат І.М., Ненашев І.Ю.

## ЗМІСТ

До читача .....	4
1. Основи молекулярно-кінетичної теорії. Стала Авогадро .....	5
2. Газові закони. Рівняння стану ідеального газу .....	9
3. Зв'язок між температурою і середньою кінетичною енергією молекул ...	15
4. Закони термодинаміки. Теплові двигуни.....	17
5. Властивості твердих тіл і рідин .....	22
6. Теплообмін і фазові перетворення. Насичена пара, вологість повітря....	28
7. Закон Кулона. Напруженість електричного поля.....	33
8. Потенціал. Провідники та діелектрики в електричному полі.....	38
9. Конденсатори. Енергія електричного поля .....	42
10. Закон Ома для ділянки кола.....	45
11. Робота та потужність струму. Закон Ома для повного кола .....	48
12. Магнітне поле. Вектор магнітної індукції .....	53
13. Електромагнітна індукція.....	61
14. Електричний струм у різних середовищах.....	68
Відповіді, вказівки, розв'язання.....	75
Додаток .....	103

## ДО ЧИТАЧА

- Книжку адресовано учням загальноосвітніх шкіл, а також гімназій і ліцеїв.
- Книжка цілком відповідає діючій програмі з фізики, яка затверджена Міністерством освіти і науки України.
- Книжка містить задачі з фізики для 10 класу, диференційовані за складністю на три рівні відповідно до прийнятої в Україні 12-балльної системи оцінювання навчальних досягнень учнів. Для досягнення достатнього рівня потрібно опрацювати задачі середнього та достатнього рівнів, для досягнення високого рівня потрібно опрацювати задачі середнього, достатнього та високого рівнів.
- У кожному розділі відібрано низку ключових задач, до яких дано розв'язання (такі задачі позначено знаком ). Виділено також якісні задачі та запитання (іх позначено знаком ).
- Довідковий матеріал, необхідний для розв'язання задач, вміщено у Додатку.
- Розділ «Електромагнітна індукція» призначено для шкіл і класів з поглибленим вивченням фізики.
- Відповіді до задач округлено згідно з правилами наближених обчислень.



Автори вдячні рецензентам К.О. Чишко та Т.В. Лободюк за корисні зауваження, В.Л. Манакіну за численні обговорення задач. Велику допомогу в роботі над книжкою надали адміністрація Фізико-математичного ліцею № 27 м. Харкова та вчитель А.В. Євсіков.

# 1. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ. СТАЛА АВОГАДРО

$$v = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}, \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

При виготовленні астрономічного дзеркала на поверхні площею  $S = 1 \text{ м}^2$  напилили  $m = 0,1 \text{ г}$  срібла. Оцініть розмір  $d$  атомів срібла, якщо в дзеркальному покритті  $N = 100$  атомних шарів.

*Дано:*

$$S = 1 \text{ м}^2$$

$$m = 0,1 \text{ г} = 10^{-4} \text{ кг}$$

$$N = 100$$

$$\rho = 10500 \text{ кг/м}^3$$

$$d - ?$$

*Розв'язання.*

Товщина напиленого шару срібла  $h = Nd$ .

Об'єм цього шару  $V = Sh = SNd$ , а його маса  $m = \rho V = N\rho Sd$ .

Звідси дістаємо  $d = \frac{m}{N\rho S}$ .

$$[d] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2} = \text{м}. \quad d = \frac{10^{-4}}{100 \cdot 10500 \cdot 1} \approx 10^{-10} (\text{м}).$$

*Відповідь.* Приблизно  $10^{-10} \text{ м}$ .

- 1.1. Яка товщина гасової плівки на поверхні води, якщо гас масою 1,6 г утворив пляму площею  $200 \text{ м}^2$ ? Який висновок можна звідси зробити про розміри молекул?
- 1.2. **?** Чим пояснюється явище дифузії? Чому дифузія в газах відбувається набагато швидше, ніж у рідинах?
- 1.3. **?** Чому водень і гелій здатні «зникати» навіть з герметично закритих посудин?
- 1.4. **?** Якщо не працює вентиляція, дрібний деревний пил у столярному цеху годинами «висить» у повітрі навіть після вимикання деревообробних верстатів. Чому?

- 1.5.** ② Дві скляні пластинки важко відірвати одну від одної, якщо між ними є трохи води. Якщо ж пластинки сухі, то вони легко відокремлюються одна від одної. Чому?
- 1.6.** ② Чому полірування поверхонь, на яких відбувається тертя, може привести не до зменшення тертя, а, навпаки, до збільшення?
- 1.7.** Які молярні маси гелію, міді, ртуті, урану?
- 1.8.** Які молярні маси кухонної солі  $\text{NaCl}$ , сульфату міді  $\text{CuSO}_4$ , аміаку  $\text{NH}_3$ ?
- 1.9.** Яка маса 25 моль кисню?
- 1.10.** Яка маса атома літію? Атома золота?
- 1.11.** Чому дорівнює маса молекули метану ( $\text{CH}_4$ )?



- 1.12.** ② При дифузійному зварюванні деталі притискають одну до одної, нагрівають до певної температури і витримують якийсь час (дифузійне зварювання дозволяє міцно з'єднувати деталі з різних металів і навіть металеві деталі з керамічними). Яку (приблизно) температуру слід підтримувати при зварюванні?
- 1.13.** У скільки разів змінилася б кількість речовини в балоні, якби в результаті електричного розряду кисень  $\text{O}_2$ , що знаходиться в балоні, перетворився на озон  $\text{O}_3$ ?
- 1.14.** Скільки молекул міститься в 1 г вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ )?
- 1.15.** Скільки молекул міститься в 5 г водню ( $\text{H}_2$ )?
- 1.16.** Через мікроскопічні щілини з балона зі стисненим повітрям<sup>\*)</sup> що-секунди «ідуть» 5 мільярдів молекул. За який час маса балона з повітрям зменшиться на 1 мг?
- 1.17.** Скільки іонів натрію міститься в пачці кухонної солі ( $\text{NaCl}$ ) масою 500 г?
- 1.18.** Яка кількість речовини міститься в 39 г заліза?
- 1.19.** Яка кількість речовини ( $\text{SiO}_2$ ) у піщинці масою 20 мг?
- 1.20.** Де більше атомів кисню: в 10 моль води чи в 5 моль кисню? У скільки разів?
- 1.21.** Де більше молекул: у 5 г водню чи в 10 г води? У скільки разів більше?

<sup>\*)</sup> Тут і надалі вважайте повітря газом з молярною масою 0,029 кг/моль.

- 1.22.** Який об'єм займають 4 моль алюмінію?
- 1.23.** Чи помістяться в трилітровій банці 50 моль ртуті?
- 1.24.** В якому об'ємі води міститься  $10^{18}$  молекул (вода знаходитьться в рідкому стані)?
- 1.25.** Де більше молекул: у склянці води чи в повітрі всередині порожньої бочки? Об'єм склянки  $200 \text{ см}^3$ , об'єм бочки  $0,4 \text{ м}^3$ , повітря перебуває за нормальних умов.
- 1.26.** При якому об'ємі спортивного залу кількість молекул повітря в цьому залі в 100 разів перевищує кількість атомів у залізний штанзі масою 100 кг?
- 1.27.** Порівняйте кількість речовини в двох кубиках однакового об'єму: залізному й алюмінієвому.
- 1.28.** У гальванічній ванні корпуси годинників покривають шаром золота завтовшки 24 мкм. Скільки атомів золота в покритті, якщо площа поверхні корпуса годинника дорівнює  $10 \text{ см}^2$ ?
- 1.29.** Якою була б відносна атомна маса фтору, якби за атомну одиницю маси прийняли масу молекули водню?
- 1.30.** В якій із крапель — води чи ртуті — кількість речовини більша? У скільки разів? Розгляніть випадки, коли краплі мають: а) однакові маси; б) однакові об'єми.
- 1.31.** Оцініть розміри молекули води, скориставшись наведеними в Додатку даними.
- 1.32.** При виготовленні інтегральної мікросхеми в кристал надчистого кремнію масою 1 мг уводять галій масою  $10^{-6}$  г. Скільки атомів кремнію припадає на один атом галію?
- 1.33.** У циліндричній склянці діаметром 7 см знаходиться вода масою 200 г. Оцініть кількість молекулярних шарів, які «ідуть» з поверхні води щосекунди, якщо уся вода випаровується за 10 діб. Вважайте, що швидкість випаровування постійна, а товщина молекулярного шару дорівнює  $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .
- 1.34.** У науково-фантастичних творах є згадки про надміцну і надтонку нитку завтовшки в один атом. Якою була б довжина такої нитки масою 20 г, виготовленої з вуглецю? Порівняйте цю довжину з відстанню від Землі до Сонця. Вважайте атом вуглецю кулькою радіусом  $7,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

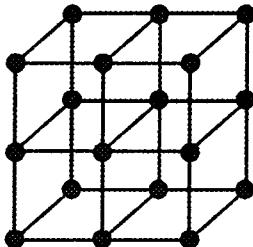
**1.35.** У закритому балоні з киснем знаходиться вугілля масою 12 г.

У скільки разів зміниться кількість речовини в балоні після згоряння вугілля? Розгляньте два випадки: а) маса кисню дорівнює 32 г; б) маса кисню дорівнює 64 г.

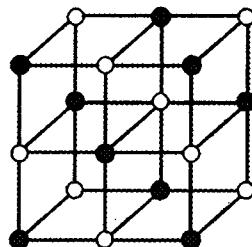
**1.36.♦** У герметично закритій лабораторії площею  $S = 80 \text{ м}^2$  і висотою  $h = 3 \text{ м}$  крапельку ртуті радіусом  $r = 0,2 \text{ мм}$  піддали сильному нагріванню, у результаті чого вона швидко випарувалася. Чи була при цьому перевищена гранично припустима концентрація (ГПК) пари ртуті в приміщенні? ГПК пари ртуті  $n_{\max} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .

**1.37.** В озеро з середньою глибиною 7,5 м і площею 16  $\text{км}^2$  кинули кристалик кухонної солі  $\text{NaCl}$  масою 20 мг. Через дуже тривалий час з озера зачерпнули склянку води об'ємом 200  $\text{см}^3$ . Скільки іонів натрію з кинутого кристала виявилось у цій склянці?

**1.38.♦** Яка густина  $\rho$  кристала з так званими простими кубічними решітками (див. рисунок), якщо маса кожного атома  $m_0$ , а довжина ребра кубічної комірки  $a$ ?



До задачі 1.38



До задачі 1.39

**1.39.** Кристали кухонної солі  $\text{NaCl}$  мають кубічні решітки, що складаються з іонів  $\text{Na}$  та  $\text{Cl}$ , які чергуються (див. рисунок). Знайдіть відстань  $a$  між центрами найближчих іонів. Густина солі  $\rho = 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

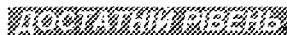
## 2. ГАЗОВІ ЗАКОНИ. РІВНЯННЯ СТАНУ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ<sup>\*</sup>

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \text{ (при } m = \text{const}), \quad pV = \frac{m}{M} RT$$

### ВІДповіді на завдання

- 2.1. Виразіть у кельвінах значення температури: 27 °C, -23 °C, 370 °C.
- 2.2. Виразіть у градусах Цельсія значення температури: 23 K, 93 K, 753 K.
- 2.3. При якій температурі за шкалою Кельвіна плавиться свинець?
- 2.4. Температура в кімнаті збільшилася на 10 °C. На скільки збільшилася температура за шкалою Кельвіна?
- 2.5. При температурі -23 °C газ займає об'єм 60 л. Яким буде об'єм газу при 127 °C? Тиск газу не змінився.
- 2.6. При виготовленні ламп розжарювання їхні балони заповнюють азотом під тиском, значно меншим атмосферного. Чому цей тиск не роблять рівним атмосферному?
- 2.7. На скільки відсотків збільшився тиск газу в закритому балоні, що внесли з вулиці в кімнату? Температура зовнішнього повітря дорівнює -23 °C, температура в кімнаті 17 °C.
- 2.8. Тиск газу в балоні при 27 °C дорівнює 240 кПа. Яким стане тиск після нагрівання газу на 100 °C? Охолодження на 50 °C?
- 2.9. У балоні об'ємом 10 л знаходиться повітря при тиску 1,5 МПа. Яким стане тиск газу, якщо відкрити кран, що з'єднує цей балон з іншим балоном об'ємом 40 л, в якому повітря немає? Температура газу не змінюється.
- 2.10. Газ при температурі 37 °C і тиску 1,5 МПа має об'єм 10 л. Який об'єм цієї маси газу за нормальних умов?
- 2.11. При стисканні повітря в циліндрі дизельного двигуна об'єм повітря зменшується в 15 разів, а температура підвищується від 47 °C до 620 °C. Який тиск повітря наприкінці стискання, якщо на початку стискання тиск повітря дорівнював 100 кПа?
- 2.12. Яка кількість речовини в газі, якщо при температурі -13 °C і тиску 500 кПа об'єм газу дорівнює 30 л?
- 2.13. Який тиск повинен витримувати газовий балон об'ємом 50 л, щоб при температурі 25 °C у ньому можна було зберігати 2 кг метану ( $\text{CH}_4$ )?

\* Тут і надалі, якщо атмосферний тиск не задано, вважайте його рівним 100 кПа.

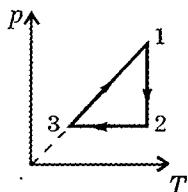


- 2.14.** Перевернуві відкриту колбу нагріли, закрили корком й опустили в відро з водою. Коли корок вийняли, вода заповнила 25% об'єму колби. До якої температури було нагріто колбу, якщо температура води в відрі 20 °C?
- 2.15.** Після збільшення абсолютної температури в 1,2 раза об'єм газу збільшився на 0,6 л при постійному тиску. Знайдіть початковий об'єм газу.
- 2.16.** Чи змінювався тиск газу, що знаходиться в непроникній еластичній оболонці, якщо при нагріванні газу від 250 К до 500 К його об'єм зрос 1,5 раза?
- 2.17.** Космічний корабель, стартувавши із Землі, вийшов на навколоземну орбіту. Як змінився тиск повітря в герметично закритому відсіку? Температура у відсіку не змінилася.
- 2.18.** Чому балон із будь-яким стисненим газом становить велику небезпеку при пожежі?
- 2.19.** Після підвищення температури на 9 К тиск газу в закритому балоні збільшився на 3%. Якою була початкова температура?
- 2.20.** Після збільшення абсолютної температури в 1,3 раза тиск газу в закритому балоні збільшився на 150 кПа. Яким був початковий тиск у балоні?
- 2.21.** Коли літнє сонце нагріло балон із газом на 15 К, показання манометра<sup>\*)</sup> на балоні збільшилося від 19 атм до 20 атм. Якою була початкова температура балона?
- 2.22.** Манометр на балоні з газом при температурі 27 °C показував 5 атм. Коли балон винесли на вулицю, де температура дорівнює -23 °C, манометр показав 3,6 атм. Чи не відбувся за цей час витік газу з балона?
- 2.23.** Газ знаходитьться в сталевому балоні. Чи є тріщини в балоні, якщо при нагріванні від 100 К до 300 К тиск у балоні змінюється від 120 кПа до 340 кПа?
- 2.24.** Пляшку закрили корком, площа перерізу якого дорівнює 2 см<sup>2</sup>. Щоб витягти корок, потрібно прикласти силу 10 Н. До якої температури потрібно нагріти пляшку, щоб корок вилетів? Початкова температура повітря в пляшці дорівнює 20 °C.
- 2.25.** При надуванні щік і тиск, і об'єм повітря в роті зростають, а температура залишається незмінною. Чи не суперечить це закону Бойля-Маріотта?

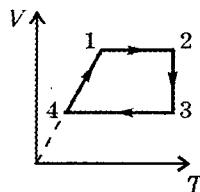
<sup>\*)</sup> Слід враховувати, що манометр показує тиск, надлишковий над атмосферним (різницю тисків всередині та ззовні балона).

- 2.26.** При ізотермічному стисканні об'єм газу зменшився на 5 л, а тиск збільшився в 3 рази. Яким був початковий об'єм газу?
- 2.27. 0** Спливаюча зі дна озера бульбашка повітря поблизу поверхні води має діаметр  $D = 2$  мм. На якій глибині  $h$  діаметр бульбашки  $d$  був 1,5 мм? Зміну температури води з глибиною не враховуйте.
- 2.28.** Щоб підводний човен сплив, потрібно за допомогою стисненого повітря витиснути з баластових цистерн 1 т морської води. З якої найбільшої глибини може спливати човен, маючи в запасі шість балонів стисненого повітря об'ємом по 30 л? Тиск стисненого повітря 7 МПа.
- 2.29.** Чи змінювалася температура газу при стисканні, якщо при зменшенні об'єму в 2 рази тиск зрос від 120 кПа до 260 кПа?
- 2.30.** Об'єм газу зменшили в 1,5 раза, у результаті чого абсолютна температура збільшилася на 20%, а тиск — на 320 кПа. Яким був початковий тиск газу?
- 2.31. 0** Два балони, що мають об'єми 6 л і 14 л, містять гази при однаковій температурі при тисках відповідно 8 МПа і 5 МПа. Балони з'єднано трубкою з краном. Який тиск установиться в балонах, якщо відкрити кран? Температура не змінюється, гази в хімічну реакцію не вступають.
- 2.32.** Компресор нагнітає повітря в резервуар ємністю 50 л, захоплюючи за кожний цикл роботи об'єм повітря 2 л. Початковий тиск у резервуарі дорівнює атмосферному. Який тиск установиться в резервуарі після 100 циклів роботи компресора? Вважайте, що температура повітря при стисканні не змінюється.
- 2.33. 0** Поршневим повітряним насосом об'ємом  $V = 2$  л відкачують повітря з балона об'ємом  $V_0 = 50$  л. Який тиск у балоні після  $N = 100$  коливань поршня насоса, якщо початковий тиск дорівнює атмосферному? Температуру можна вважати незмінною.
- 2.34.** При температурі  $-23^{\circ}\text{C}$  тиск газу в балоні дорівнює 1,8 МПа. Якщо тиск у балоні перевищує 2 МПа, автоматичний клапан відкривається й випускає частину газу. Скільки відсотків газу вийде з балона, якщо температура в приміщенні підніметься до  $27^{\circ}\text{C}$ ?
- 2.35.** З автомобільної шини через невеликий отвір витікає повітря. На скільки підвищилася температура шини під час руху автомобіля, якщо після витікання 10% повітря тиск у шині не змінився? Початкова температура дорівнює  $10^{\circ}\text{C}$ .

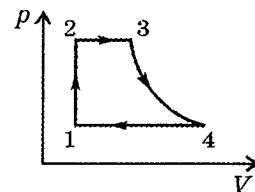
- 2.36.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах  $V$ ,  $T$  і  $p$ ,  $V$ . Маса газу незмінна.



До задачі 2.36



До задачі 2.37

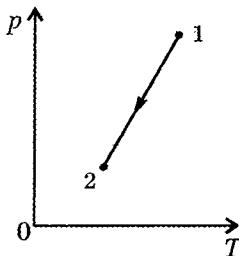


До задачі 2.38

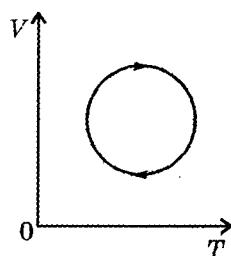
- 2.37.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах  $p$ ,  $V$  і  $p$ ,  $T$ . Маса газу незмінна.

- 2.38.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах  $p$ ,  $T$  і  $V$ ,  $T$ . Маса газу незмінна. Ділянка графіка 3-4 відповідає ізотермічному процесу.

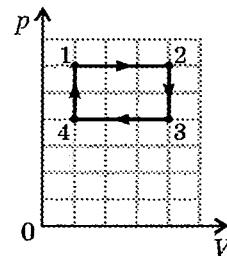
- 2.39.** Порівняйте об'єм даної маси ідеального газу в станах 1 і 2 (див. рисунок).



До задачі 2.39



До задачі 2.40



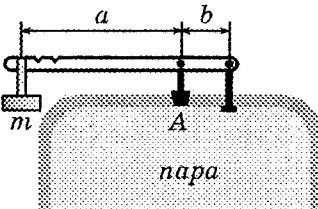
До задачі 2.41

- 2.40.** Як змінювався тиск ідеального газу в ході процесу, графік якого зображене на рисунку? Укажіть точки на графіку, що відповідають найбільшому та найменшому тиску.

- 2.41.** В яких станах температура газу при циклічному процесі (див. рисунок) максимальна? Мінімальна? У скільки разів відрізняється максимальна температура від мінімальної?

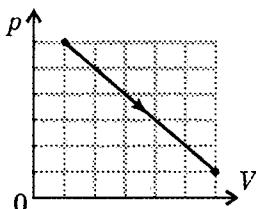
- 2.42.** На скільки зміниться маса повітря в кімнаті, якщо в результаті несправності опалювальної системи температура в кімнаті понизиться від  $20^{\circ}\text{C}$  до  $7^{\circ}\text{C}$ ? Об'єм кімнати дорівнює  $60\text{ m}^3$ .

- 2.43.** У скільки разів відрізняється густина вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) від густини азоту ( $\text{N}_2$ ), якщо гази знаходяться при одинакових умовах?

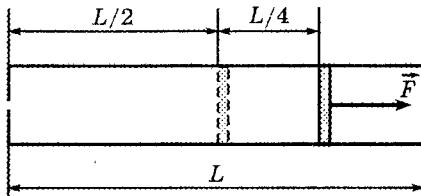
- 2.44.** Знайдіть густину атмосфери Юпітера на тому рівні, де тиск дорівнює 100 кПа. Вважайте, що атмосфера цілком складається з водню ( $H_2$ ), а її температура 150 К.
- 2.45.** У паровому котлі об'ємом  $2 \text{ м}^3$  знаходиться водяна пара при температурі  $200^\circ\text{C}$  і тиску 1 МПа. Яка маса цієї пари?
- 2.46.** Горизонтальний циліндр довжиною 1 м розділений двома поршнями на три секції. З циліндра відкачують повітря і вводять у секції відповідно 8 г водню, 4 г гелію і 80 г метану. Якими будуть довжини секцій після встановлення рівноваги?
- 2.47. 01** Щоб повітряна куля могла підняти Вінні-Пуха, об'єм кулі має бути не менше  $V = 25 \text{ м}^3$ . Яка маса  $m$  Вінні-Пуха, якщо повітряну кулю наповнено повітрям при температурі  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ , а температура зовнішнього повітря  $t_0 = 7^\circ\text{C}$ ? Тиск повітря усередині кулі вважайте рівним атмосферному; масою оболонки повітряної кулі можна знехтувати.
- 2.48.** У скільки разів зміниться піднімальна сила повітряної кулі, якщо гелій, що її наповняє, замінити воднем? Вагою оболонки кулі можна знехтувати.
- 2.49.** При якому тиску пари в паровому котлі клапан  $A$  (див. рисунок) відкриється? Площа отвору клапана  $S = 2 \text{ см}^2$ , маса підвішеного до важеля клапана гирі  $m = 2 \text{ кг}$ , зазначені на рисунку відрізки важеля  $a = 15 \text{ см}$  і  $b = 3 \text{ см}$ .
- 
- 2.50.** Горизонтальний циліндр довжиною 20 см розділений закріпленим тонким поршнем навпіл. Ліворуч від поршня тиск газу дорівнює 400 кПа, праворуч — 100 кПа. Куди і на скільки посунеться поршень, якщо його відпустити?
- 2.51. 01** Відкриту з двох кінців вертикальну скляну трубку довжиною  $L = 50 \text{ см}$  наполовину занурюють у ртуть. Потім трубку закривають зверху і виймають. Яка довжина  $l$  стовпчика ртуті, що залишиться в трубці? Атмосферний тиск дорівнює 750 мм рт. ст.
- 2.52.** У балон об'ємом 8 л налили 10 г води. Потім балон герметично закрили й нагріли від  $20^\circ\text{C}$  до  $180^\circ\text{C}$ . Уся вода випарувалася. Який тиск установився усередині балона?

**2.53.** Яку густину має при тиску 200 кПа і температурі 17 °C суміш, 10% маси якої складає кисень, а 90% — гелій?

**2.54.** Як змінювалася температура ідеального газу в процесі, графік якого зображене на рисунку? Укажіть точку графіка, що відповідає максимальній температурі. У скільки разів максимальна температура перевищує мінімальну?



До задачі 2.54



До задачі 2.55

**2.55.** За допомогою показаної на рисунку установки можна виміряти атмосферний тиск. Для цього поршень розміщають посередині циліндра, отвір у дні циліндра закривають пальцем і вимірюють за допомогою динамометру силу  $F$ , яку потрібно прикладти до поршня для його повільного переміщення на чверть довжини циліндра. Вранці ця сила дорівнювала 20 Н, а ввечері 19,4 Н. Яким був атмосферний тиск вранці і ввечері? Площа поршня  $S = 6 \text{ см}^2$ .

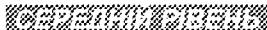
**2.56.** Посередині відкритої горизонтальної трубки поміщають поршень, що може рухатися без тертя. Трубку закривають з обох кінців і розташовують вертикально. Після встановлення рівноваги поршень поділяє трубку в відношенні 2:1. Потім дослід повторюють, збільшивши масу поршня вдвічі. В якому відношенні поршень тепер поділяє трубку?

**2.57.** Посередині відкритої з обох кінців горизонтальної скляної трубки довжиною 87 см знаходиться стовпчик ртуті довжиною 15 см. Закривши один з отворів трубки, її розташовують вертикально, закритим кінцем униз. Знайдіть атмосферний тиск, якщо стовпчик ртуті перемістився відносно трубки на 6 см.

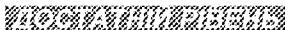
**2.58.** На скільки перемістився б стовпчик ртуті відносно трубки (див. попередню задачу), якби трубку розташували вертикально: а) закритим кінцем вгору; б) попередньо закривши обидва отвори трубки?

### 3. ЗВ'ЯЗОК МІЖ ТЕМПЕРАТУРОЮ І СЕРЕДНЬОЮ КІНЕТИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ МОЛЕКУЛ

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}, p = nkT, \overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$



- 3.1. 0** Чому дорівнює тиск вуглеводневого газу, якщо в балоні об'ємом  $V = 40$  л міститься  $N = 5 \cdot 10^{24}$  молекул, а середня квадратична швидкість молекул  $\overline{v} = 400$  м/с?
- 3.2.** Знайдіть середню квадратичну швидкість молекул кисню за нормальніх умов.
- 3.3.** При якій температурі середня квадратична швидкість атомів гелію дорівнює 1,3 км/с?
- 3.4.** У скільки разів змінився б тиск у балоні, якби в результаті електричного розряду кисень  $O_2$ , що знаходився в балоні, перетворився на озон  $O_3$ ? Важайте, що температура газу не змінилася.
- 3.5. ② 0** Повітря складається в основному з кисню й азоту. Молекули якого з цих газів мають: а) більшу середню кінетичну енергію; б) більшу середню квадратичну швидкість?
- 3.6.** Знайдіть середню кінетичну енергію поступального руху молекул при температурі 27 °C.
- 3.7.** Температура повітря дорівнює  $-13$  °C. До якої температури треба його нагріти, щоб середня кінетична енергія поступального руху молекул збільшилася на 15%? У півтора раза?
- 3.8.** Яка концентрація молекул у повітрі за нормальніх умов?



- 3.9. ② 0** Одну з двох однакових посудин заповнено сухим повітрям, а іншу — вологим, яке містить водяну пару. Температури й тиски в обох посудинах однакові. Яка з них легша?
- 3.10.** Чому дорівнює тиск газу, якщо його густина  $2$  кг/м<sup>3</sup>, а середня квадратична швидкість його молекул  $600$  м/с?
- 3.11.** Молекули якого газу при 20 °C мають середню квадратичну швидкість  $510$  м/с?
- 3.12.** У балон об'ємом  $20$  л, що знаходиться на вагах, накачали газ. Яка середня квадратична швидкість молекул газу, якщо манометр показав  $4,9$  МПа, а показання вагів збільшилося на  $1$  кг?
- 3.13.** У скільки разів відрізняються середні квадратичні швидкості молекул кисню й азоту в вашій кімнаті?

- 3.14.** У балоні А знаходиться кисень масою 8 г, а в такому ж балоні Б — водень масою 0,5 г. Порівняйте тиски в балонах, якщо у молекул кисню й водню однакові: а) середні квадратичні швидкості; б) середні кінетичні енергії.
- 3.15.** Оцініть середню відстань між молекулами повітря в ясний літній день (при температурі 27 °C і тиску 100 кПа). У скільки разів ця відстань перевищує розміри молекул (приблизно  $3 \cdot 10^{-10}$  м)?
- 3.16.** При підвищенні абсолютної температури азоту в 2 рази кожна друга молекула дисоціювала на атоми. У скільки разів змінився тиск газу?
- 3.17.** У досліді Штерна прилад обертається з частотою  $40 \text{ c}^{-1}$ , радіуси внутрішнього та зовнішнього циліндрів дорівнюють відповідно 2 см і 20 см. На якій відстані один від одного осядуть на зовнішньому циліндрі атоми срібла, що мають швидкості 200 м/с і 300 м/с?
- 3.18.** У досліді Штерна (див. попередню задачу) зсув середини смужки срібла склав 17 мм. Яка температура платинової нитки розжарювання?
- 
- 3.19.** У закритому балоні відбувається повне згоряння шматочка вугілля з утворенням вуглекислого газу. Після цього балон охолоджують до початкової температури. Порівняйте кінцевий тиск у балоні з початковим. Об'єм вугілля малий у порівнянні з об'ємом балона.
- 3.20.** У закритому балоні при тиску  $p_0$  знаходиться суміш з 1 моль кисню і 2 моль водню. Між газами відбувається реакція з утворенням водяної пари. Який тиск установиться в балоні після охолодження до початкової температури? Конденсації пари не відбувається.
- 3.21.** У герметично закритому балоні знаходиться суміш із  $m_1 = 2$  г водню та  $m_2 = 64$  г кисню при тиску  $p_0 = 120$  кПа. Між газами відбувається реакція з утворенням водяної пари. Який тиск установиться в балоні після охолодження до початкової температури? Пара не конденсується.
- 3.22.** Як змінилося б основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу, якби молекулам було «дозволено» рухатися тільки уздовж прямої, перпендикулярної до стінки посудини?
- 3.23.** Знайдіть середню квадратичну швидкість броунівської частки при температурі 20 °C; броунівську частку розглядаєте як кульку радіусом 3 мкм, густина якої дорівнює густині води.

## 4. ЗАКОНИ ТЕРМОДИНАМІКИ. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ

$$\Delta U = A + Q, \quad U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT, \quad A = -p\Delta V, \quad \eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Для ізобарного нагрівання  $v = 200$  моль газу на  $\Delta T = 100$  К йому передали кількість теплоти  $Q = 470$  кДж. Яку роботу  $A'$  виконав газ? Яка зміна його внутрішньої енергії  $\Delta U$ ?

*Дано:*

$$v = 200 \text{ моль}$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

$$Q = 470 \text{ кДж} = 4,7 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$A' - ?$$

$$\Delta U - ?$$

*Розв'язання.*

При ізобарному нагріванні газ виконав роботу  $A' = p \cdot \Delta V = pV_2 - pV_1$ . Відповідно до рівняння стану ідеального газу  $p = vRT$  цей вираз можна записати у вигляді

$$A' = vRT_2 - vRT_1 = vR\Delta T.$$

Відповідно до першого закону термодинаміки  $Q = A' + \Delta U$ , звідки

$$\Delta U = Q - A'.$$

$$[A'] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}.$$

$$A' = 200 \cdot 8,31 \cdot 100 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}, \quad \Delta U = 3 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

*Відповідь.*  $A' = 170$  кДж,  $\Delta U = 300$  кДж.

- Задачі та завдання**
- 4.1. **?** При якому процесі внутрішня енергія газу не змінюється?
  - 4.2. Яку роботу виконав газ при ізобарному збільшенні об'єму від 35 л до 50 л? Тиск газу дорівнює 200 кПа.
  - 4.3. **?** Шматок м'якого дроту кілька разів зігнули і розігнули. В яку форму перейшла витрачена при цьому енергія?
  - 4.4. На скільки змінилася внутрішня енергія газу, якщо йому надали кількість теплоти 15 кДж і виконали над ним роботу 25 кДж?
  - 4.5. На скільки змінилася внутрішня енергія газу, що виконав роботу 50 кДж, одержавши кількість теплоти 85 кДж?

- 4.6.** Яку кількість теплоти потрібно передати газу, щоб його внутрішня енергія збільшилася на 15 Дж і при цьому газ виконав роботу 25 Дж?
- 4.7.** Над газом було виконано роботу 55 Дж, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 15 Дж. Отримав чи віддав тепло газ у цьому процесі? Яку саме кількість теплоти?
- 4.8. ?** В якому процесі газ, отримуючи тепло, не змінює температуру?
- 4.9.** У ході ізотермічного розширення газові було надано кількість теплоти 300 Дж. Яку роботу виконав газ?
- 4.10.** При адіабатному стисканні 5 моль одноатомного газу його температура підвищилася на 20 К. Яку роботу виконано над газом?
- 4.11.** При згорянні палива в тепловому двигуні виділилася кількість теплоти 200 кДж, а холодильнику передано кількість теплоти 120 кДж. Знайдіть ККД теплового двигуна.
- 4.12.** Який ККД теплового двигуна, якщо робоче тіло, одержавши від нагрівача кількість теплоти 1,6 МДж, виконало роботу 400 кДж? Яку кількість теплоти передано холодильнику?
- 4.13.** Який ККД теплового двигуна потужністю 50 кВт, якщо за 10 с він передав навколошньому середовищу кількість теплоти 1 МДж?
- 4.14.** Який ККД ідеальної теплової машини, якщо температура нагрівача дорівнює 347 °С, а температура холодильника 37 °С?
- 4.15.** Температура нагрівача ідеальної теплової машини дорівнює 477 °С. Якою повинна бути температура холодильника, щоб ККД машини перевищував 80%?



- 4.16.** Один моль пари ртуті й один моль гелію мають однакову температуру. Який з газів має більшу внутрішню енергію? У скільки разів?
- 4.17.** Один грам пари ртуті й один грам гелію мають однакову температуру. Який з газів має більшу внутрішню енергію? У скільки разів?
- 4.18.** Яка внутрішня енергія аргону в балоні об'ємом 50 л, якщо тиск газу дорівнює 1 МПа?
- 4.19.** При зменшенні об'єму одноатомного газу в 4 рази тиск цього газу збільшився в 5 разів. У скільки разів змінилася внутрішня енергія газу?
- 4.20. ?** У надувній кульці і сталевому балоні містяться однакові маси повітря. В якому випадку для підвищення температури повітря на 1 К буде потрібна більша кількість теплоти?

- 4.21.** При яких із зазначених нижче процесів газ виконує додатну роботу: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне стискання; г) адіабатне розширення?
- 4.22.** При яких із зазначених нижче процесів газ одержує тепло: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне стискання; г) адіабатне розширення?
- 4.23.** Після вмикання опалення повітря в кімнаті нагрілося від температури  $7^{\circ}\text{C}$  до температури  $27^{\circ}\text{C}$ . У скільки разів змінилася внутрішня енергія повітря, що міститься в кімнаті?
- 4.24.** Балон з гелієм внесли з морозу в тепле приміщення. Клапан на балоні автоматично відкривається, коли тиск усередині перевищує зовнішній на 6 атм. Уперше він відкрився при температурі гелю  $-3^{\circ}\text{C}$ . У скільки разів зміниться після цього внутрішня енергія гелю в балоні, коли його температура досягне  $27^{\circ}\text{C}$ ?
- 4.25.** У вертикальному циліндрі під поршнем<sup>\*)</sup> знаходиться повітря масою 29 г. Яку роботу виконає повітря при підвищенні температури на  $100\text{ K}$ ?
- 4.26.** Яку роботу виконує водень масою 6 г при ізобарному підвищенні температури на  $60\text{ K}$ ?
- 4.27.** Яку роботу виконає газ при ізобарному нагріванні на  $50\text{ K}$ , якщо кількість речовини в газі дорівнює 5 моль?
- 4.28.** При нагріванні повітря в циліндрі поршень масою  $m = 5\text{ kg}$  і площею  $S = 50\text{ cm}^2$  перемістився на  $l = 15\text{ см}$ . Яку роботу виконало повітря, якщо поршень переміщався: а) горизонтально; б) вертикально вгору; в) вертикально вниз?
- 4.29.** Одноатомному газу ( $v = 2$  моль) надано кількість теплоти  $1,2\text{ kДж}$ . При цьому газ виконав роботу  $600\text{ Дж}$ . На скільки змінилася температура газу?
- 4.30.** Чому питома теплоємність газу при постійному тиску помітно більша, ніж питома теплоємність при постійному об'ємі? Чому для рідин і твердих тіл обидві ці величини практично одинакові?
- 4.31.** Яку кількість теплоти  $Q$  необхідно передати водню масою  $m = 12\text{ g}$ , щоб нагріти його на  $\Delta T = 50\text{ K}$ : а) при постійному тиску; б) при постійному об'ємі?
- 4.32.** При ізобарному нагріванні об'єм гелю збільшився в 3 рази. Яку роботу виконав газ? Яка кількість теплоти йому надано? Маса гелю 12 г, початкова температура  $-123^{\circ}\text{C}$ .

<sup>\*)</sup> Тут і надалі вважається, що поршень рухається без тертя.

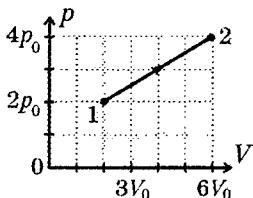
- 4.33.** Якщо відкрити вентиль балона зі стисненим газом, балон навіть улітку може покритися інеєм. Поясніть це явище.
- 4.34.** Паливо, що впорскують у циліндр дизельного двигуна, спалахує без електричної іскри внаслідок високої температури повітря в циліндрі (блíзько  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). За рахунок чого повітря так сильно нагрівається?
- 4.35.** Наведіть приклад процесу, в якому газ нагрівається, *віддаючи тепло*.
- 4.36.** Об'єм газу зменшують у 2 рази: одного разу — швидко, а іншого — повільно. В якому випадку: а) відразу після стискання тиск газу більший; б) при стисканні виконали більшу роботу? Чому?
- 4.37.** Тепловий двигун, що працює при температурі нагрівача  $527\text{ }^{\circ}\text{C}$  і температурі холодильника  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , має ККД 30%. У скільки разів ККД цього двигуна менший, ніж ККД ідеального теплового двигуна при тих же температурах нагрівача і холодильника?
- 4.38.** На теплоході встановлений дизельний двигун потужністю  $80\text{ kWt}$  із ККД 30%. На скільки кілометрів шляху йому вистачить 1 т дизельного палива при швидкості руху  $20\text{ km/god}$ ?
- 4.39.** Як зміниться температура в кімнаті, якщо надовго відкрити дверцята працюючого холодильника?

### ВІДОВІДВІДІВСТВА

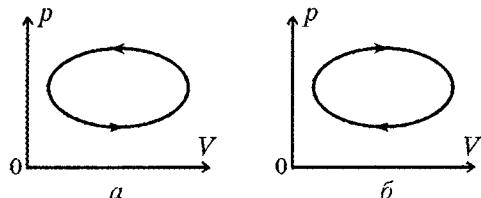
- 4.40.** В одному з двох однакових балонів зберігається гелій, а в другому — водень. Обидва гази перебувають при однакових умовах. У якого з газів більша внутрішня енергія?
- 4.41.** Яка частка кількості теплоти, наданої гелію при ізобарному розширенні, витрачається на виконання роботи?
- 4.42.** У скільки разів питома теплоємність одноатомного газу при постійному тиску  $c_p$  більша, ніж його питома теплоємність при постійному об'ємі  $c_V$ ?
- 4.43.** Знайдіть різницю  $c_p - c_V$  (див. попередню задачу) для газу з молярною масою  $M$ .
- 4.44.** У вертикальному циліндрі міститься повітря масою  $m_1 = 2,9\text{ g}$ . Воно відділене від атмосфери поршнем, діаметр якого  $d = 10\text{ cm}$ , а маса  $m_2 = 20\text{ kg}$ . На скільки градусів потрібно нагріти повітря в циліндрі, щоб поршень піднявся на  $h = 15\text{ cm}$ ? Яка кількість теплоти  $Q$  для цього буде потрібна?

**4.45.** У циліндрі під поршнем знаходиться газ масою 20 г. Для підвищення температури газу на 10 К необхідна така кількість теплоти: 130 Дж при закріпленому поршні або 182 Дж при незакріпленим поршні. Який це може бути газ?

**4.46.** Яку роботу виконав одноатомний газ у показаному на рисунку процесі? Яку кількість теплоти одержав газ?



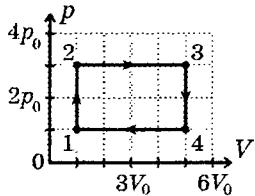
До задачі 4.46



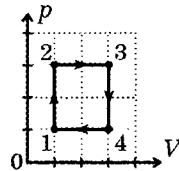
До задачі 4.47

**4.47.0** В якому з циклічних процесів (див. рис. а, б) газ виконує додатну роботу, а в якому — від'ємну?

**4.48.** З одноатомним ідеальним газом відбувається циклічний процес (див. рисунок). Знайдіть для кожного з етапів циклу виконану газом роботу і кількість отриманої чи відданої теплоти.



До задачі 4.48



До задачі 4.49

**4.49.0** Знайдіть ККД показаного на рисунку циклу, якщо робоче тіло — одноатомний ідеальний газ.

**4.50.** Скільки літрів бензину витратить автомобіль масою 800 кг на шляху довжиною 500 км, якщо ККД двигуна 25%, а середній коефіцієнт опору рухові дорівнює 0,06?

**4.51.** Реактивний двигун літака, що летить зі швидкістю 900 км/год, розвиває силу тяги 45 кН. Яка витрата гасу за 1 год польоту, якщо ККД двигуна 20%?

## 5. ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ І РІДИН<sup>\*</sup>



$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \sigma = \frac{F}{S} = E|\varepsilon| \quad U = \sigma S, F = \sigma l, h = \frac{2\sigma}{\rho gr}$$

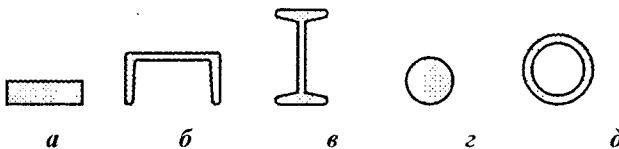


- 5.1.** ② Олово легко розплавити. Чому ж не можна видувати з нього вироби, як це роблять зі скла?
- 5.2.** ② Колби деяких ламп роблять із прозорого сапфіра ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Чому їх не видувають, як скляні вироби, а вирошують з розплаву?
- 5.3.** ② Які види деформацій виникають у стіні будинку, плиті міжповерхового перекриття, тросі ліфта, сидінні стільця?
- 5.4.** ② Яку деформацію зазнає стержень закритої дверної клямки, коли двері намагаються відчинити?
- 5.5.** Під дією якої сили, напрямленої уздовж осі стержня, у ньому виникає напруга 150 МПа? Діаметр стержня дорівнює 0,4 см.
- 5.6.** До мідного дроту з площею поперечного перерізу  $0,5 \text{ mm}^2$  підвішений вантаж масою 5 кг. Знайдіть механічну напругу в дроті і його відносне видовження.
- 5.7.** Чи витримає мідний дріт із площею поперечного перерізу  $2 \text{ mm}^2$  вантаж масою 20 кг?
- 5.8.** Яка границя міцності металу, якщо виготовлений із цього металу дріт із поперечним перерізом  $0,5 \text{ mm}^2$  рветься під дією вантажу масою 10 кг?
- 5.9.** До сталевого дроту довжиною 1 м із площею поперечного перерізу  $0,5 \text{ mm}^2$  підвішено вантаж масою 15 кг. Знайдіть механічну напругу в дроті, його відносне й абсолютноне видовження.
- 5.10.** ② Чому в стані невагомості краплі будь-якої рідини приймають сферичну форму?
- 5.11.** ② Для одержання мисливського дробу тонкі струмені розплавленого свинцю виливають з високої вежі у воду. На поверхню водипадають уже затверділі круглі дробинки. Поясніть, на чому заснований цей метод.
- 5.12.** ② Чому при нагріванні осколка скла його гострі краї «обпливають» (приймають округлу форму)?
- 5.13.** ② Чому розпушування ґрунту сприяє збереженню в ньому вологи?

\* В усіх задачах цього розділу змочування або незмочування вважаються повними, а температура рідини — рівною  $20^\circ\text{C}$ . Поверхня скла вважається чистою, тобто її змочує вода.

## ПОДІЛЛЯЮЧІ ВІДВЕДИ

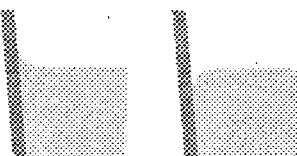
- 5.14.** Чи завжди кристалам властива анізотропія?
- 5.15.** Чому найчастіше при кристалізації рідини виходить полікристал? При якій умові кристалізація приводить до утворення монокристала?
- 5.16.** Чому раму велосипеда виготовляють з металевих трубок, а не з суцільних стержнів? На який тип деформації (головним чином) розраховано таку конструкцію?
- 5.17.** На рисунку показано різні профілі будівельних конструкцій (рис. *б* — швелер, рис. *в* — двотавр). Усі вони виготовлені з одного сорту сталі, мають однакову довжину й однакову масу. Які з цих профілів найкраще «працюють» на вигин? На стискання?



*До задачі 5.17*

- 5.18.** У багатьох конструкціях заміна суцільних стержнів на трубки дозволяє заощадити матеріали і полегшити конструкцію без зменшення її міцності. Чому б не замінити тонкостінними трубками суцільні колони, палі, трос ліфта?
- 5.19.** Чому посуд для дослідів з гарячими рідинами роблять з тонкого скла?
- 5.20.** Яка механічна напруга матеріалу поблизу основи сталевого димаря висотою 50 м? Вважайте трубу циліндрично.
- 5.21.** Вантаж підвісили до троса, що складається з десяти одинакових дротів. Потім один такий же дріт розрізали на десять рівних частин і до однієї з частин підвісили такий же вантаж. Порівняйте відносній абсолютні видовження дротів у обох випадках.
- 5.22.** Якщо до кінців дроту довжиною 2 м і площею поперечного перерізу  $2 \text{ mm}^2$  прикласти дві протилежно напрямлені сили по 100 Н, дріт подовжується на 0,5 мм. Знайдіть модуль Юнга металу, з якого виготовлено дріт.
- 5.23.** Якою має бути площа поперечного перерізу сталевого троса ліфта, якщо ліфт масою  $m = 500 \text{ кг}$  може рухатися з прискоренням до  $a = 1,2 \text{ м}/\text{s}^2$ ? Запас міцності троса  $n = 10$ .
- 5.24.** Який максимальний вантаж можна підвісити до троса, що складається з 250 сталевих дротів діаметром 0,8 мм?

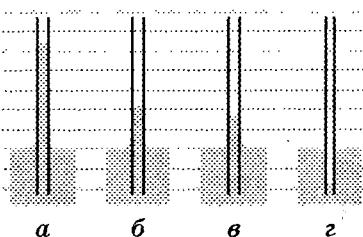
- 5.25.** Яким має бути діаметр сталевого стержня гака піднімального крана, якщо вантажопідйомність крана 2 т, а припустиме прискорення вантажу дорівнює  $4 \text{ м/с}^2$ ?
- 5.26.** При якій довжині алюмінієвий дріт, підвішений вертикально, рветься під власною вагою?
- 5.27.** Трос зі сталевого дроту використовують для спуска глибоководного апарату в морські глибини. Яка найбільша глибина занурення апарату?
- 5.28.** Чому шибики в стародавніх соборах, що простояли більше ста років, виявляються товстішими внизу, ніж угорі?
- 5.29.** Чому маленькі краплі туману мають сферичну форму, а форма великих крапель дощу дещо відрізняється від сферичної?
- 5.30.** Яку мінімальну роботу потрібно виконати, щоб крапельку води радіусом 2 мм «розділити» на вісім однакових крапель?
- 5.31.** Опустіть у воду пензлик. Що відбувається з його волосками у воді? Після вимання пензлика з води? Поясніть ці явища.
- 5.32.** Збільшується чи зменшується поверхневий натяг води при розчиненні в ній прального порошку?
- 5.33.** На поверхні води плаває дрібна деревна тирса. Як вона поведеться, якщо торкнутися поверхні води шматочком мила? Сахара? Поверхневий натяг у розчину цукру більший, ніж у чистої води.
- 5.34.** Прямий дріт довжиною 10 см лежить на поверхні рідини. По один бік від нього знаходиться чиста вода, по інший — мильний розчин. Яку горизонтальну силу потрібно прикласти до дроту, щоб утримувати його на місці?
- 5.35.** Космонавт у стані невагомості відкриває дві скляні пробірки: одну з гасом, іншу зі ртуттю. Як поведуться рідини?
- 5.36.** Чи повинні фарба або лак змочувати поверхню, на яку їх наносять?
- 5.37.** Перед паянням поверхні ретельно знежириють і очищають від бруду й оксидів. Навіщо це роблять?
- 5.38.** На рис. *a*, *b* показано форму поверхні води біля стінок двох склянок. Яку з цих склянок ретельно вимили миючим засобом?
- 5.39.** Тонка сталева голка може «лежати» на поверхні води. Чи вдасться цей експеримент, якщо перед ним голку ретельно протерти одеколоном?



До задачі 5.38

- 5.40.** Якщо покласти шматок крейди на вологу губку, він пропочиться водою; якщо ж після цього покласти його на суху губку, та залишиться сухою. Чому?
- 5.41.** Яка тканина більше підходить для намету — та, яку вода змочує, чи та, яку вода не змочує?
- 5.42.** Чому рушники не шиють із шовку?
- 5.43.** Підвішено на нитках дротову прямоугольну рамку зі сторонами 10 см і 15 см занурюють у воду. Яку силу необхідно прикласти для відриву рамки від поверхні води, якщо маса рамки дорівнює 2,5 г? Вважайте, що рамка при підйомі залишається горизонтальною.
- 5.44.** Дротове кільце масою 1,5 г і діаметром 5 см відривають за допомогою динамометра від поверхні рідини. Динамометр у момент відриву показує 50 мН. Чому дорівнює поверхневий натяг рідини?
- 5.45.** Кубик масою  $m = 3$  г, що змочується водою, плаває на поверхні води. Довжина ребра кубика  $a = 3$  см. На якій глибині  $h$  знаходитьсь нижня грань кубика, якщо вона горизонтальна?
- 5.46.** На поверхні води плаває кубик, що змочується водою, з довжиною ребра 2 см. Верхня грань кубика горизонтальна. На скільки зміниться глибина занурення кубика, якщо його натерти парфіном?
- 5.47.** Із круглої дірочки в дні посудини капає рідина. Маса 100 крапель виявилася рівною 2 г. Який поверхневий натяг рідини, якщо діаметр шийки краплі перед відривом дорівнює 1,2 мм?
- 5.48.** Вертикальну капілярну скляну трубку підвішено до шальки терезів. Терези урівноважено. Чи порушиться рівновага, якщо до трубки обережно піднести знизу посудину з водою так, щоб край капіляра торкнувся до поверхні води?
- 5.49.** Щоб відновити рівновагу терезів (див. попередню задачу), вантаж на іншій шальці терезів збільшили на 0,14 г. Знайдіть радіус капіляра.
- 5.50.** Знайдіть масу води, що піднялася по капіляру діаметром 0,64 мм.
- 5.51.** Знайдіть висоту капілярного підйому мильного розчину, якщо радіус капіляра дорівнює 0,5 мм. Густину мильного розчину вважайте рівною густині води.
- 5.52.** На яку максимальну глибину можна занурити в ртуть нижній кінець скляного капіляра радіусом 0,5 мм, щоб ртуть не ввійшла в капіляр?

- 5.53.** На рисунку показано чотири однакові скляні капіляри, опущені в різні рідини. У посудині *a* перебуває вода. В якій із посудин спирт, а в якій — мильний розчин?



*До задачі 5.53*

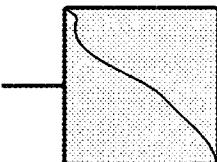
- 5.54.** Внутрішні діаметри правого і лівого колін U-подібної трубки рівні 0,8 мм і 0,4 мм. Яка різниця рівнів налитої в трубку води?

- 5.55.** За допомогою якого експерименту можна оцінити товщину капілярів у фільтрувальному папері? Зробіть цей експеримент.

### ВІДВОДНЯННЯ

- 5.56.** Який переріз повинна мати сталева колона висотою 5 м, щоб під дією вантажу масою 15 т вона зжалася менше ніж на 1 мм? На скільки стиснена така колона під власною вагою?
- 5.57.** Дріт розтягуються під дією підвішеного вантажу. Яка частина втраченої вантажем потенціальної енергії переходить при цьому в потенціальну енергію розтягнутого дроту?
- 5.58.** Чому трос зі 100 дротів витримує більший вантаж, ніж просто «пучок» з таких же дротів?
- 5.59.** Оцініть максимальний розмір крапель води, що можуть висіти на стелі.
- 5.60.** Якщо кинути скляну пластинку в посудину зі ртуттю, вона спливе. Однак якщо покласти цю пластинку на дно порожньої плоскодонної кювети і *потім* налити в кювету ртуть, скляна пластинка не спливе. Чим пояснюються результати цих експериментів?
- 5.61.** Дрібні крупинки речовин А і Б тонуть у воді. Однак коли їх висипали до склянки з газованою водою, крупинки речовини А потонули, а крупинки речовини Б після занурення у воду почали спливати. Поясніть це явище. Яку з двох речовин вода зможе?

- 5.62.** Квадратний дротовий каркас, до якого прив'язано нитку, занурили в мильний розчин і вийняли. Каркас виявився затягнутим мильною плівкою (див. рисунок). Плівку з одного боку від нитки прокололи. Яку форму прийняла нитка? Сторона квадрата 10 см. Довжина нитки дорівнює: а) 15 см; б) 18 см.



До задачі 5.62

- 5.63.** Довга сталева голка, змазана жиром, «лежить» на поверхні води. Оцініть, яким може бути діаметр голки.
- 5.64.** Вісім маленьких крапель ртуті з розбитого медичного термометра зливаються в одну краплю. На скільки змінилася при цьому температура крапель, якщо теплообміном з навколишнім середовищем можна знехтувати?
- 5.65.** Оцініть ширину  $a$  меніска (вигнутої частини поверхні рідини) у стінки посудини. За якої умови посудину можна вважати капіляром? Густина рідини  $\rho$ , поверхневий натяг  $\sigma$ .
- 5.66.** Який тиск під поверхнею рідини, що піднялася по капіляру радіусом  $R$ ? Поверхневий натяг рідини дорівнює  $\sigma$ .
- 5.67.** Яка висота  $h$  підйому змочуючої рідини між двома паралельними вертикальними пластинками, краї яких опущено в рідину? Який тиск під поверхнею рідини? Густина рідини  $\rho$ , поверхневий натяг  $\sigma$ , відстань між пластинками  $d$ .
- 5.68.** Який тиск усередині газової бульбашки в каструлі з водою? Радіус бульбашки: а) 0,15 мм; б) 10 мкм.
- 5.69.** На скільки відсотків тиск усередині мильного пузыря діаметром 5 мм більший, ніж тиск навколошнього повітря?

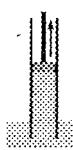
## 6. ТЕПЛООБМІН І ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ. НАСИЧЕНА ПАРА, ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ

$$Q = cm\Delta t, Q = \lambda m, Q = rm, \varphi = \frac{p}{p_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

### Задачі та вправи

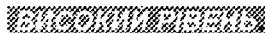
- 6.1. Якщо дути на гарячий чай, він швидше остигне. Чому?
- 6.2. Температура повітря в жаркий літній день помітно вище, ніж температура води в ріці. Чому ж вам холодно, коли ви виходите з води після купання?
- 6.3. Чому в вологому повітрі спеку переносити важче, ніж у сухому?
- 6.4. Обидва термометри психрометра показують однакову температуру. Яка відносна вологість повітря?
- 6.5. Парціальний тиск водяної пари в повітрі при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $1,4 \text{ кПа}$ . Яка відносна вологість повітря?
- 6.6. У повітрі об'ємом  $6 \text{ м}^3$  при температурі  $19^{\circ}\text{C}$  міститься  $50 \text{ г}$  водяної пари. Визначіть відносну вологість повітря.
- 6.7. Яка відносна вологість повітря, у  $10 \text{ л}$  якого при температурі  $30^{\circ}\text{C}$  міститься  $0,2 \text{ г}$  водяної пари?
- 6.8. Знайдіть густину водяної пари, якщо її парціальний тиск дорівнює  $10 \text{ кПа}$ , а температура повітря  $50^{\circ}\text{C}$ .
- 6.9. Яка відносна вологість повітря, якщо термометри психрометра показують  $16^{\circ}\text{C}$  і  $13^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.10. Який парціальний тиск водяної пари в повітрі, якщо термометри психрометра показують  $18^{\circ}\text{C}$  і  $12^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.11. Відносна вологість повітря в кімнаті при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  складає  $44\%$ . Яке показання вологого термометра психрометра?
- 6.12. Яке показання вологого термометра психрометра, якщо відносна вологість у кімнаті  $60\%$ , а сухий термометр показує  $22^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.13. У закритій посудині знаходиться вода при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ . Скільки води випарується, якщо відкрити кран, що з'єднує цю посудину з порожнім балоном об'ємом  $50 \text{ л}$ ?
- 6.14. Яка відносна вологість повітря при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ , якщо точка роси  $t_p = 15^{\circ}\text{C}$ ?

- 6.15.** У закритій посудині об'ємом 2 л знаходиться водяна пара масою 12 мг. До якої температури треба остудити посудину, щоб у ній випала роса?
- 6.16.** Чи випаде роса при охолодженні повітря до 10 °C, якщо при 18 °C відносна вологість повітря дорівнює 65%?
- 6.17.** При температурі 25 °C відносна вологість повітря в приміщенні дорівнює 70%. Яка маса роси, що випала з 1 м<sup>3</sup> повітря після зниження температури до 16 °C?
- 6.18.** У відро налили окріп при 100 °C, а потім долили холодну воду при 20 °C. Скільки було окропу, якщо вийшло 12 кг води при температурі 40 °C?
- 6.19.** У посудині з водою плавають шматочки льоду. Що більше: внутрішня енергія 1 г води чи внутрішня снергія 1 г льоду?
- 6.20.** У закритій посудині над водою знаходиться водяна пара. Що більше: внутрішня енергія 1 г води чи внутрішня енергія 1 г пари?
- 6.21.** Конструктори запропонували покрити відсік космічного корабля, що спускається, шаром легкоплавкого матеріалу. Для чого? Що можна сказати про планету, на якій має бути посадка?
- 
- 6.22.** Повітря в закритій посудині містить ненасичену водяну пару. Як буде змінюватися відносна вологість повітря при нагріванні посудини?
- 6.23.** Чому в людини, що ввійшла в тепле приміщення з морозу, запотівають окуляри?
- 6.24.** Чому магнітофон, принесений узимку з вулиці, не рекомендується вмикати раніше ніж через 2 год?
- 6.25.** Протягом дня показання сухого термометра психрометра не змінювалося, а показання вологого термометра зменшувалося. Як змінювалася відносна вологість повітря?
- 6.26.** Чому в опалюваних приміщеннях узимку відносна вологість повітря менша, ніж на вулиці?
- 6.27.** У теплій кухні розвішано випрану білизну. На вулиці мріячить холодний осінній дощ. Чи варто відкрити кватирку, щоб білизна висохнула швидше?
- 6.28.** З якого боку утворюється взимку іній на шибках? Поясніть процес його утворення.
- 6.29.** Космонавт на поверхні Місяця відкрив ампулу з водою. Що буде відбуватися з водою?

- 6.30.** При якій температурі випаде роса, якщо термометри психрометра показують  $20^{\circ}\text{C}$  і  $17^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.31.** Холодна вода може піднятися за поршнем у трубці на висоту до 10 м. На яку висоту можна підняти в такий спосіб воду, що знаходиться при температурі: а)  $90^{\circ}\text{C}$ ; б)  $100^{\circ}\text{C}$ ? 
- 6.32.** Яка густина наасиченої водяної пари при температурі  $100^{\circ}\text{C}$ ? 
- 6.33.** До якого значення треба понизити тиск, щоб вода кипіла при температурі  $90^{\circ}\text{C}$ ? При температурі  $50^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.34.** Скільки води википіло з забутого на плиті чайника, якщо в кухні на стінах і стелі з'явилися крапельки води? Площа кухні  $8\text{ m}^2$ , висота 3 м; температура повітря дорівнює  $20^{\circ}\text{C}$ , а початкова відносна вологість 70%. Двері і вікно щільно закриті.
- 6.35.** Скільки води треба випарувати, щоб відносна вологість повітря в кімнаті при  $20^{\circ}\text{C}$  підвищилася від 25% до 65%? Об'єм кімнати  $60\text{ m}^3$ .
- 6.36.** У 10 л повітря при температурі  $30^{\circ}\text{C}$  міститься 0,2 г водяної пари. Яка кількість пари сконденсується, якщо при постійній температурі зменшити об'єм повітря вдвічі?
- 6.37.** В якому об'ємі повітря міститься  $10^{14}$  молекул води, якщо температура дорівнює  $20^{\circ}\text{C}$ , а відносна вологість 60%?
- 6.38.** У полірований металевий чайник налили холодну воду. Чайник «запотів». При якій температурі води «запотівання» зникне? Температура повітря в кімнаті  $20^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 70%.
- 6.39.** Відносна вологість повітря при температурі  $15^{\circ}\text{C}$  дорівнює 70%. Якою стане відносна вологість, якщо температуру підвищити до  $30^{\circ}\text{C}$ , а об'єм повітря зменшити в 2 рази?
- 6.40.** При  $6^{\circ}\text{C}$  показання обох термометрів психрометра одинакові. Які будуть показання термометрів після вмикання опалення і підвищення температури в кімнаті до  $16^{\circ}\text{C}$ ? Вважайте, що густина водяної пари в повітрі залишилася незмінною.
- 6.41.** Вологий термометр психрометра показує температуру  $10^{\circ}\text{C}$ . Яка температура повітря, якщо його вологість складає 60%?
- 6.42.** У калориметрі з теплоємністю 100 Дж/К знаходиться вода масою 200 г при температурі  $16^{\circ}\text{C}$ . Після опускання у воду металевої гирі масою 100 г, нагрітої в киплячій воді, у калориметрі установилася температура  $20^{\circ}\text{C}$ . Знайдіть питому теплоємність металу, з якого виготовлено гирю.

- 6.43.** Скільки гасу буде потрібно спалити для одержання 15 л окрупу з льоду, температура якого дорівнює  $-10^{\circ}\text{C}$ ? ККД нагрівача 50%.
- 6.44.** Спалюючи 200 г бензину, воду масою 8 кг нагрівають від  $20^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ , причому частина води випаровується. Скільки води випарувалося, якщо ККД нагрівача дорівнює 40%?
- 6.45.** Вода в електричному чайнику нагрівається від  $20^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$  за 4 хв. Скільки ще потрібно часу, щоб 20% води перетворилося на пару? Утратами тепла можна знехтувати.
- 6.46.?** Свинцева куля, рухаючись зі швидкістю  $v_0 = 20 \text{ м/с}$ , налетіла на таку ж нерухому кулю. На скільки градусів підвищилася температура куль у результаті непружного зіткнення?
- 6.47.** Сталевий снаряд, випущений вертикально вгору зі швидкістю 500 м/с, досяг висоти 2 км. На скільки підвищилася б його температура при підйомі, якби не передача енергії повітря?
- 6.48.** З якої висоти повинна вільно падати градинка, щоб при ударі об землю вона розплавилася? Температуру на початку падіння вважайте рівною  $-20^{\circ}\text{C}$ , теплообмін з навколишнім середовищем не врахуйте.
- 6.49.?** У калориметрі знаходиться вода масою  $m_{\text{в}} = 1 \text{ кг}$ , температура якої  $t_{\text{в}} = 30^{\circ}\text{C}$ . У калориметр вміщають лід при температурі  $t_{\text{l}} = 0^{\circ}\text{C}$ . При якій масі  $m_{\text{l}}$  льоду він весь розстане?
- 6.50.** У калориметрі знаходиться 1 л води при  $100^{\circ}\text{C}$ . Скільки льоду, що має температуру  $0^{\circ}\text{C}$ , потрібно помістити в калориметр, щоб температура в ньому понизилася до  $20^{\circ}\text{C}$ ? Теплоємність калориметра 300 Дж/К.
- 6.51.?** Кухоль з водою плаває в каструлі, що стоїть на вогні. Чи закипить вода в кухлі?
- 6.52.** У калориметрі знаходиться вода масою 500 г при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ . Скільки пари, що має температуру  $100^{\circ}\text{C}$ , потрібно впустити в калориметр, щоб підвищити температуру до  $40^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.53.** У мідному калориметрі масою 700 г знаходиться вода об'ємом 800 мл при температурі  $12^{\circ}\text{C}$ . До якої температури нагріється вода, якщо ввести в калориметр 50 г пари при температурі  $100^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.54.** Необхідно розплавити деталь масою 1 кг, температура якої  $20^{\circ}\text{C}$ . В якому випадку буде потрібна більша кількість теплоти — якщо деталь мідна чи алюмінієва? У скільки разів більша?

- 6.55.** Сталевий і алюмінієвий бруски однакових розмірів перебувають при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для плавлення якого з них необхідна більша кількість теплоти? У скільки разів більша?
- 6.56.** У калориметр помістили 500 г мокрого снігу. Після того, як у калориметр долили 500 г окропу і сніг розтанув, установилася температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Скільки води містив сніг спочатку?



- 6.57.** Чому крапельки туману можуть залишатися рідкими і при сильному морозі?
- 6.58.** На скільки відрізняється густина сухого повітря ( $\varphi = 0$ ) при тиску 101 кПа і температурі  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  від густини вологого повітря ( $\varphi = 100\%$ ) за тих самих умов?
- 6.59.** Трубку довжиною 60 см, запаяну з одного кінця, занурюють у ртуть вертикально, відкритим кінцем униз. При якій глибині занурення в трубці випаде роса? Температура в трубці не змінюється. Відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск дорівнює 76 см рт. ст.
- 6.60.** Паровий котел частково заповнений водою, а частково — сумішшю повітря і насищеної пари. Початкова температура в котлі  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Початковий тиск у котлі 500 кПа. Який тиск буде в котлі після зниження температури до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- 6.61.** При стисканні деякої порції вологого повітря його об'єм зменшився в чотири рази, а тиск зрос у три рази. Коли повітря стиснули ще в два рази, тиск став у п'ять разів більше початкового. Якою була початкова відносна вологість повітря? Температура повітря при стисканні не змінювалася.
- 6.62.** У калориметр, що містить 330 г льоду і 670 г води, помістили порожній алюмінієвий куб, температура якого  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У результаті теплообміну в калориметрі установилася температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка товщина стінок куба, якщо довжина його ребра дорівнює 12 см?
- 6.63.** У воду масою  $m_{\text{в}} = 1\text{ кг}$ , що має температуру  $t_{\text{в}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поклали лід масою  $m_{\text{л}} = 500\text{ г}$ , температура якого  $t_{\text{л}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка температура встановиться в посудині?
- 6.64.** У калориметрі знаходиться окріп масою 300 г. У нього поміщають 120 г льоду при температурі  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка температура встановиться в калориметрі?

## 7. ЗАКОН КУЛОНА. НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ<sup>\*)</sup>

$$F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

Заряди двох однакових маленьких металевих кульок дорівнюють  $-2$  нКл і  $+10$  нКл. Кульки торкнулися одна до одної, після чого їх розвели на початкову відстань. У скільки разів змінився модуль сили взаємодії між ними?

*Дано:*

$$q_1 = -2 \text{ нКл}$$

$$q_2 = +10 \text{ нКл}$$

$$\underline{F_0/F - ?}$$

*Розв'язання.*

Нехай відстань між кульками дорівнює  $r$ .

Тоді початкова сила взаємодії між кульками

$$F_0 = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \text{ а кінцева } F = k \frac{q^2}{r^2}.$$

Тут  $q$  — заряд кожної з кульок після дотику. Відповідно до закону збереження заряду  $2q = q_1 + q_2$ . Отже,

$$\frac{F_0}{F} = \frac{4|q_1| \cdot |q_2|}{(q_1 + q_2)^2}.$$

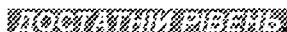
$$\left[ \frac{F_0}{F} \right] = 1. \quad \frac{F_0}{F} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10}{(-2 + 10)^2} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

*Відповідь.* Модуль сили зменшився в 1,25 раза.

- 7.1. ②** Доторкнувшись додатно зарядженою скляною паличкою до сталової кульки, ми передаємо їй додатний заряд. Які елементарні частки і куди при цьому переміщаються?

<sup>\*)</sup> Якщо не зазначено, в якому середовищі знаходяться заряди, тут і надалі вважайте, що вони знаходяться у вакуумі.

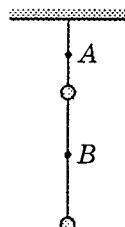
- 7.2.** Якщо піднести на нитці заряджену станіолеву гільзу до незарядженої, то вони спочатку притягнуться одна до одної, а після дотику будуть відштовхуватися. Поясніть явище.
- 7.3.** Як зарядити дві металеві кульки одинаковими за модулем, але різними за знаком зарядами?
- 7.4.** З якою силою взаємодіють два точкові заряди 2 нКл і 4 нКл, що знаходяться на відстані 3 см?
- 7.5.** Два одинакові заряди<sup>\*</sup>, розташовані на відстані 9 см, відштовхуються із силами 1 мН. Які модулі зарядів?
- 7.6.** Дві порошини знаходяться на відстані 10 см одна від одної. Якого буде сила взаємодії між ними, якщо десять мільярдів електронів перенести з однієї порошини на іншу?
- 7.7.** Скільки електронів треба «перенести» з однієї порошини на іншу, щоб сила кулонівського притягання між порошинами на відстані 1 см дорівнювала 10 мкН?
- 7.8.** В якому випадку напрям діючої на частку кулонівської сили протилежний до напряму вектора напруженості електричного поля?
- 7.9.** На заряд 1 нКл у деякій точці електричного поля діє сила 2 мкН. Яка напруженість поля в цій точці?
- 7.10.** Заряд 2 нКл знаходиться в електричному полі з напруженістю 2 кН/Кл. З якою силою поле діє на заряд?
- 7.11.** Який заряд повинна мати порошина масою 0,1 мг, щоб вона «висіла» в напрямленому вгору електростатичному полі напруженістю 1 кН/Кл?
- 7.12.** З яким прискоренням рухається протон у електричному полі з напруженістю 40 кН/Кл?
- 7.13.** У скільки разів змінюється напруженість поля точкового заряду при збільшенні відстані до заряду в 3 рази?
- 7.14.** Чому дорівнює напруженість електростатичного поля точкового заряду 40 нКл на відстанях 8 см і 16 см від заряду?



- 7.15.** У скільки разів сила кулонівського відштовхування між електронами в електронному пучку більша, ніж сила гравітаційного притягання між ними?

<sup>\*</sup>) Під коротким терміном «заряд» у ряді випадків мається на увазі заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати.

- 7.16.0** Який заряд набула б при електризації крапелька води масою 1,8 мг, якби її передали один «зайвий» електрон на кожну тисячу молекул?
- 7.17.** З якою силою відштовхувалися б дві крапельки (див. попередню задачу), перебуваючи на відстані 1 м одна від одної?
- 7.18.** Дві кулі мають маси по 10 г. Які однакові заряди необхідно надати цим кулям, щоб кулонівське відштовхування зрівноважило гравітаційне притягання? Відстань між кулями велика в порівнянні з їхніми радіусами.
- 7.19.** На шовковій нитці висять дві заряджені кульки масами 20 мг кожна (див. рисунок). Модулі зарядів кульок 1,2 нКл. Відстань між кульками 1 см. Чому дорівнює сила натягу нитки в точках A і B? Розгляньте випадки однотипних і різномінних зарядів.
- 7.20.** Дві однакові провідні кульки масою по 2 г підвішено на нитках довжиною 1 м у одній точці. Який сумарний заряд треба надати кулькам, щоб кут між нитками збільшився до  $90^\circ$ ?
- 7.21.0** Від'ємний заряд  $q_1 = -0,2 \text{ мкКл}$  і додатній  $q_2 = 0,8 \text{ мкКл}$  розташовані на відстані  $a = 60 \text{ см}$  один від одного. Де потрібно розмістити третій заряд  $Q$ , щоб рівнодійна кулонівська сила, які діють на кожній із трьох зарядів, дорівнювала нулю? Яким має бути третій заряд?
- 7.22.** Два додатні заряди  $0,2 \text{ мкКл}$  і  $1,8 \text{ мкКл}$  закріплено на відстані  $60 \text{ см}$  один від одного. Де потрібно розмістити третій заряд, щоб діючі на нього кулонівські сили компенсували одну одну?
- 7.23.0** Відстань між двома зарядженими кульками  $a = 12 \text{ см}$ . З якою силою  $F$  вони діють на заряд  $q = +2 \text{ нКл}$ , віддалений на  $r = 10 \text{ см}$  від кожної з них? Розгляньте випадки: а) заряди кульок  $+Q$  і  $-Q$ ; б) заряди обох кульок  $+Q$ . Тут  $Q = 50 \text{ нКл}$ .
- 7.24.** Три кульки, що лежать на гладенькому столі, зв'язані попарно нитками довжини  $l$ . Якими стануть сили  $T$  натягу ниток, якщо кожній кульці надати заряд  $q$ ?
- 7.25.** Чотири заряди по  $+20 \text{ нКл}$ , попарно зв'язані нитками, розташовані у вершинах квадрата. Який заряд потрібно помістити в центрі квадрата, щоб сили натягу ниток зменшилися до нуля?
- 7.26.** У вершинах рівностороннього трикутника знаходяться три зв'язані нитками заряди  $q$ . Яким має бути заряд  $Q$  у центрі трикутника, щоб сили натягу ниток зменшилися до нуля?



**7.27.** Кулька масою 0,2 г, підвішена на нитці, знаходиться в горизонтальному електричному полі з напруженістю 8 кН/Кл. Який кут утворює нитка з вертикальлю, якщо заряд кульки 50 нКл?

**7.28.** У горизонтальне електричне поле внесли підвішену на нитці кульку масою 2 г, що має заряд 0,1 мкКл. Яка напруженість поля, якщо нитка утворює з вертикальлю кут  $45^\circ$ ?

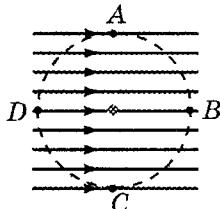
**7.29.** Маленьку зарядженну кульку піднесли до великого металевого листа. Покажіть приблизний вигляд силових ліній електричного поля.

**7.30.** В яких точках напруженість поля двох точкових зарядів з модулями 4 нКл і 16 нКл дорівнює нулю? Відстань між зарядами дорівнює 12 см. Розгляньте два випадки: а) заряди однотипні; б) заряди різночленні. Зробіть рисунок.

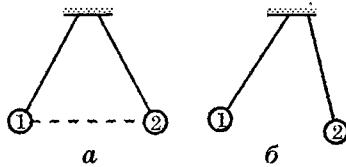
**7.31.** Дві маленьки заряджені кульки розташовані на відстані 8 см одна від одної. Знайдіть напруженість електричного поля в точці, віддаленій від кожної з них на 5 см. Розгляньте випадки: а) заряди кульок +20 нКл і -20 нКл; б) заряди обох кульок +20 нКл.

**7.32.** В однорідне поле з напруженістю 10 кН/Кл, направлене вгору, внесли заряд 25 нКл. В якій точці напруженість поля дорівнюватиме нулю?

**7.33.** В однорідне поле з напруженістю 12 кН/Кл внесли точковий заряд +2,5 нКл. Якою буде напруженість поля в точках A, B, C, D, що знаходяться на відстані 5 см від заряду (див. рисунок)?



До задачі 7.33



До задачі 7.35

**7.34.** У вершинах квадрата зі стороною  $a$  розташовано три додатні заряди  $+q$  і від'ємний заряд  $-q$ . Знайдіть напруженість електричного поля в центрі квадрата.

**7.35.** Двом кулькам, підвішеним на нитках однакової довжини, надають додатні заряди. Нитки відхиляються від вертикалі (див. рис. а, б). Яка з кульок має більшу масу і більший заряд у випадках а, б?

## ВІДВЕДЕННЯ

- 7.36.** Деякий «учений» поставив мету одержати такі «атомні ядра», щоб кулонівське відштовхування між ними точно компенсувало гравітаційне притягання. Якою повинна бути частка протонів у цих «ядрах»? Яка мінімально можлива маса такого «ядра»?
- 7.37.** Відстань між двома одинаковими дробинками з різноїменними зарядами дорівнює 2 см. Сила притягання між ними 40 мН. Дробинки торкаються одна до одної і їх знову розводять на відстань 2 см. Тепер дробинки відштовхуються з силою 22,5 мН. Знайдіть початкові заряди дробинок.
- 7.38.** Двом металевим кулям, що торкаються одна до одної, надають заряд  $Q$ . Після цього кулі віддаляють на відстань, що набагато перевищує їхні радіуси. Доведіть, що виникаюча між кулями сила відштовхування буде найбільшою в тому випадку, коли радіуси куль одинакові.
- 7.39.** Бусинка може без тертя ковзати по непровідній горизонтальній спиці. На кінцях спиці закріплені кульки з одинаковими додатними зарядами. Додатний чи від'ємний заряд треба надати бусинці, щоб посередині спиці вона знаходилася в стійкій рівновазі?
- 7.40.** Чи правильне твердження: вільні заряджені частки рухаються в електростатичному полі уздовж силових ліній цього поля?
- 7.41.** На нитках довжиною  $l = 3$  м, закріплених у одній точці, висять дві одинакові металеві кульки. Кулькам надали рівні заряди, у результаті чого вони розійшлися на відстань  $a = 19$  см. Потім одну з кульок розрядили. Якою буде відстань  $b$  між кульками після встановлення рівноваги?
- 7.42.** У найпростіший моделі атома водню вважається, що електрон рухається навколо нерухомого протона по колу радіусом  $5 \cdot 10^{-10}$  м. Які в цій моделі швидкість електрона і частота його обертання?

## 8. ПОТЕНЦІАЛ. ПРОВІДНИКИ ТА ДІЕЛЕКТРИКИ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

$$\varphi = \frac{W}{q}, A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU, E = \frac{U}{d}, E = \frac{E_0}{\epsilon}$$

### Задачі та вправи

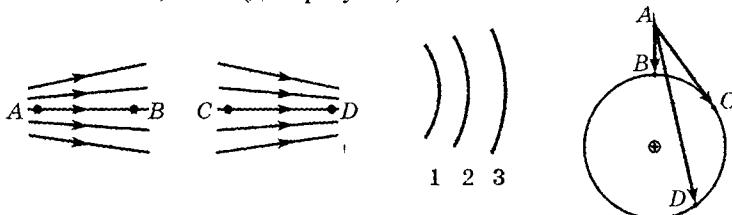
- 8.1. Потенціальна енергія заряду 1 нКл у точці електричного поля дорівнює 5 мкДж. Чому дорівнює потенціал поля в цій точці?
- 8.2. У точці поля з потенціалом 300 В заряджене тіло має потенціальну енергію -0,6 мкДж. Який заряд тіла?
- 8.3. Яку роботу виконує поле при переміщенні заряду 2 нКл із точки з потенціалом 200 В у точку з потенціалом 50 В?
- 8.4. Яку роботу виконує поле при переміщенні заряду 4 нКл із точки з потенціалом 20 В у точку з потенціалом 220 В?
- 8.5. При переносі з точки *A* в точку *B* заряду 5 нКл електричне поле виконало роботу 10 мкДж. Яка різниця потенціалів між точками *A* і *B*?
- 8.6. При переносі з точки *A* в точку *B* заряду 4 мкКл виконується робота 40 мДж проти кулонівських сил. Яка різниця потенціалів між точками *A* і *B*?
- 8.7. Заряд -20 нКл перемістили в однорідному електричному полі з напруженістю 10 кВ/м на 5 см у напрямі силової лінії. Яку роботу виконало поле? На скільки змінилася потенціальна енергія заряду?
- 8.8. В однорідному електричному полі дві точки лежать на одній силовій лінії. Відстань між точками дорівнює 10 см. Яка напруга між ними, якщо напруженість поля 150 кВ/м?
- 8.9. Для виміру енергії мікрочастинок застосовують позасистемну одиницю — електронвольт (eВ). Таку енергію отримує електрон, пройшовши різницю потенціалів 1 В. При якій швидкості електрона його кінетична енергія дорівнює 1 еВ? 1 кеВ?
- 8.10. Яку кінетичну енергію отримав електрон, пройшовши прискорючу різницю потенціалів 2 кВ? Виразіть відповідь у електронвольтах і джоулях.
- 8.11. Заряджений прямокутний лист фольги згорнули в циліндр. Як змінилася поверхнева густина заряду?
- 8.12. Точковий заряд 2 нКл знаходитьсь в гасі. Яка напруженість поля цього заряду на відстані 1 см від нього?
- 8.13. На якій відстані від заряду 10 нКл у машинному маслі напруженість поля дорівнює 10 кВ/м?

- 8.14.** Дві маленькі кульки з однаковими зарядами, що знаходяться у воді на відстані 10 см одна від одної, відштовхуються з силою 4 мН. Знайдіть заряд кожної з кульок.

### ДОЗАДАЧІ

- 8.15.** Як можна змінити потенціал провідної кулі, не торкаючись її та не змінюючи її заряду?

- 8.16.** Порівняйте потенціал і напруженість електричного поля в точках *A*, *B*, *C* і *D* (див. рисунок).



До задачі 8.16

До задачі 8.17

До задачі 8.18

- 8.17.** На рисунку зображене еквіпотенціальні поверхні електричного поля. Нарисуйте силові лінії цього поля. Розгляньте два випадки: а)  $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$ ; б)  $\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$ .

- 8.18.** В електричному полі додатного точкового заряду з точки *A* по черзі переміщають заряд у точки *B*, *C* і *D*. В якому випадку кулонівська сила виконує найбільшу роботу?

- 8.19.** Порошинка масою 2,5 мг висить, не рухаючись, в однорідному вертикальному електричному полі з напруженістю 100 кВ/м. Порошинка втрачає 100 електронів. Яку швидкість вона матиме, пройшовши 2 см?

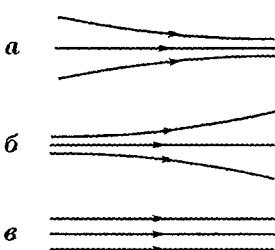
- 8.20.** Швидкість електрона зменшилася від 10 000 км/с до нуля. Яку різницю потенціалів пройшов електрон?

- 8.21.** При русі в електричному полі швидкість електрона збільшилася з 1 000 км/с до 5 000 км/с. Яку різницю потенціалів пройшов цей електрон?

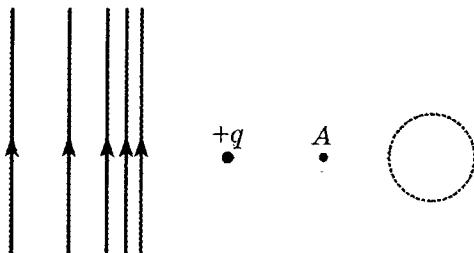
- 8.22.** У кінескопах кольорових телевізорів електрони проходять прискорюючу різницю потенціалів 35 кВ. З якою швидкістю електрони підлітають до екрана кінескопа?

- 8.23.** Дві однакові заряджені металеві кулі знаходяться на невеликій відстані одна від одної. В якому із зазначених нижче випадків модуль кулонівської сили взаємодії між ними більший: а) заряди обох куль  $+q$ ; б) заряди куль  $+q$  і  $-q$ ?

**8.24.** На рис. *a*, *b*, *c* показано картини силових ліній трьох електрических полів. Як буде поводитися незаряджена кулька, поміщена в кожне з цих полів? Чи має значення, із провідника чи діелектрика виготовлено кульку?



До задачі 8.24



До задачі 8.27

До задачі 8.30

**8.25.** Чому незаряджені легкі шматочки паперу притягаються до заряджених тіл незалежно від знака їхнього заряду?

**8.26.** Чи можуть притягатися одноименно заряджені тіла?

**8.27.** Чи можна створити електростатичне поле, лінії напруженості якого мають вигляд, показаний на рисунку?

**8.28.** Нарисуйте силові лінії однорідного електричного поля, в яке внесли діелектричну пластинку, перпендикулярну до силових ліній.

**8.29.** В однорідне електричне поле внесли металеву кулю. Покажіть приблизний вигляд силових ліній поля поблизу кулі.

**8.30.** Електричне поле утворюється додатним точковим зарядом. Збільшаться чи зменшаться напруженість і потенціал поля в точці *A* (див. рисунок), якщо праворуч від неї помістити незаряджену провідну кулю? Чи зміниться відповідь, якщо куля виготовлена з діелектрика?

**8.31.** Знайдіть відстань між двома точковими зарядами, що розташовані в машинному маслі, якщо сила взаємодії між ними така сама, як у вакуумі на відстані 40 см.



**8.32.** В однорідне електричне поле з напруженістю 2 МВ/м влітає протон зі швидкістю 20 Мм/с під кутом  $120^\circ$  до напряму силових ліній. Через який час швидкість протона буде перпендикулярною до силових ліній? Яке переміщення протона за цей час?

- 8.33.** Чому дорівнює потенціал  $\phi$  поля точкового заряду  $Q = 20 \text{ нКл}$  на відстані  $r = 5 \text{ см}$  від заряду?
- 8.34.** Металевій кулі радіусом 2 см передано заряд 40 нКл. Який потенціал поверхні кулі? Центра кулі?
- 8.35.** Порівняйте потенціали двох віддалених металевих куль різного діаметра, що мають одинакові додатні заряди.
- 8.36.** Різниця потенціалів двох точок, віддалених від центра зарядженої металевої сфери на 20 см і 30 см, дорівнює 2 В. Радіус сфери 10 см. Який заряд сфери? Яка різниця потенціалів між сферою та її центром?
- 8.37.** Чотири заряди по 40 нКл розташовано у вершинах квадрата зі стороною 4 см. Який потенціал поля в центрі квадрата?
- 8.38.** Які однакові заряди треба розмістити у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною 10 см, щоб потенціал поля в центрі трикутника дорівнював  $-100 \text{ В}$ ?
- 8.39.** Які напруженість і потенціал поля в центрі рівномірно зарядженого дротового кільця? Заряд кільця  $Q$ , радіус  $R$ .
- 8.40.** Двом металевим кулям з радіусами  $R_1 = 5 \text{ см}$  і  $R_2 = 15 \text{ см}$  надали заряди  $q_1 = 12 \text{ нКл}$  і  $q_2 = -40 \text{ нКл}$ . Кулі з'єднують тонким дротом. Який заряд  $\Delta q$  пройде по дроту? Відстань між кулями набагато більша, ніж їхні радіуси.
- 8.41.** Дві однакові металеві порошинки масою 1 мкг знаходяться на відстані 1 см одна від одної. Кожній із порошинок надають заряд 0,1 нКл. Яку максимальну швидкість можуть набути порошинки?
- 8.42.** Дві невеликі кульки з одинаковими зарядами 40 нКл наділи на вертикальну діелектричну спицю. Нижню кульку закріплено, а верхня може без тертя ковзати по спиці. Її утримують над нижньою кулькою на відстані 8 см. На яку мінімальну відстань наблизиться верхня кулька до нижньої, якщо її відпустити? Маса верхньої кульки 2 г.
- 8.43.** Дві одинакові заряджені кульки, підвішені в одній точці на нитках рівної довжини, розійшлися у повітрі на деякий кут. Якою має бути густина  $\rho$  кульок, щоб при зануренні їх у машинне масло цей кут не змінився?

## 9. КОНДЕНСАТОРИ. ЕНЕРГІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

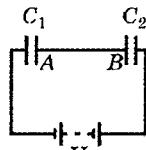
$$C = \frac{q}{U}, \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad W_p = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}, \quad w = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$$

### Задачі

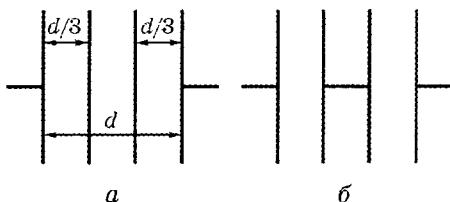
- 9.1.** ② Коли конденсатор підключили до джерела постійної напруги, одна з його обкладинок отримала заряд 20 нКл. Чому дорівнює:  
а) заряд конденсатора; б) сумарний заряд обох обкладинок?
- 9.2.** ② Чи правильне твердження: під зарядом конденсатора розуміють суму зарядів його обкладинок?
- 9.3.** ② У скільки разів зміниться ємність плоского конденсатора, якщо зменшити робочу площину пластин у 3 рази?
- 9.4.** ② Відстань між пластинами плоского конденсатора зменшили в 2 рази. Як змінилася ємність конденсатора?
- 9.5.** Яка ємність конденсатора, заряд якого дорівнює 20 мКл при різниці потенціалів між обкладинками 2 кВ?
- 9.6.** Який заряд потрібно передати конденсатору ємністю 1 мкФ, щоб різниця потенціалів між його пластинами дорівнювала 50 В?
- 9.7.** Яка різниця потенціалів між обкладинками конденсатора ємністю 2000 пФ, якщо заряд конденсатора дорівнює 4 нКл?
- 9.8.** Як зміниться ємність плоского конденсатора, якщо замінити діелектрик між пластинами: замість папера, просоченого парафіном, використовувати слюду такої ж товщини?
- 9.9.** Плоский конденсатор являє собою дві плоскі металеві пластини площею  $36 \text{ см}^2$ , між якими знаходиться слюдяна пластинка завтовшки 0,14 см. Чому дорівнює ємність конденсатора? Який заряд конденсатора, якщо напруга на ньому дорівнює 300 В?
- 9.10.** Імпульсна лампа фотоспалаху споживає за один спалах 36 Дж електричної енергії. До якої напруги заряджають конденсатор ємністю 800 мкФ, що живить спалах?

### Задачі

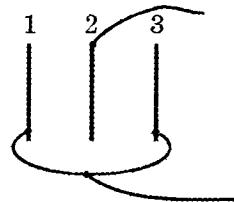
- 9.11.** Яка напруженість електричного поля усередині плоского повітряного конденсатора, якщо його заряд дорівнює 0,5 мкКл, а площа пластин  $500 \text{ см}^2$ ?

- 9.12.** Який заряд плоского конденсатора ємністю  $20 \text{ пФ}$ , якщо напруженість поля між пластинами дорівнює  $50 \text{ кВ/м}$ , а відстань між пластинами  $5 \text{ мм}$ ?
- 9.13.** Плоский конденсатор підключили до джерела постійної напруги. Як зміниться заряд конденсатора, різниця потенціалів між обкладинками і напруженість поля усередині конденсатора, якщо відстань між обкладинками збільшити в 2 рази: а) не відключаючи джерела напруги; б) попередньо відключивши джерело?
- 9.14.** Плоский повітряний конденсатор зарядили та відключили від джерела напруги. У скільки разів зміниться заряд і напруга на обкладинках конденсатора, якщо простір між обкладинками заповнити парafіном?
- 9.15.** Діелектриком у плоскому конденсаторі служить пластинка слюди площею  $800 \text{ см}^2$  і товщиною  $4 \text{ мм}$ . Конденсатор підключений до джерела напруги  $400 \text{ В}$ . Який заряд пройде по колу, якщо пластинку витягти?
- 9.16.** Два конденсатори, ємності яких рівні  $C_1$  і  $C_2$ , з'єднані: а) паралельно; б) послідовно. Яка ємність батареї конденсаторів?
- 9.17.** Два конденсатори мають ємності  $2 \text{ мкФ}$  і  $3 \text{ мкФ}$ . Батареї якої ємності можна виготовити з цих конденсаторів?
- 9.18.** Конденсатори ємністю  $C_1$  і  $C_2$  з'єднані послідовно і підключили до джерела (див. рисунок) з напругою  $U$ . Який заряд  $q$  одержить від джерела батарея конденсаторів? Чому дорівнює заряд обкладинки  $A$ ? Сумарний заряд обкладинок  $A$  і  $B$ ?
- 
- 9.19.** Перед грозою напруженість електричного поля в повітрі досягає  $50 \text{ кВ/м}$ . Яка при цьому густина енергії електричного поля?
- 9.20.** Між обкладинками плоского конденсатора знаходиться гас. Відстань між обкладинками дорівнює  $1 \text{ см}$ , напруга на конденсаторі  $2 \text{ кВ}$ . Яка густина енергії електричного поля усередині конденсатора?
- 
- 9.21.** Конденсатор невідомої ємності, заряджений до напруги  $800 \text{ В}$ , підключили паралельно до конденсатора ємністю  $4 \text{ мкФ}$ , зарядженого до напруги  $200 \text{ В}$ . Яка ємність першого конденсатора, якщо після з'єднання напруга на батареї дорівнює  $400 \text{ В}$ ?

**9.22.** У скільки разів зміниться ємність плоского конденсатора, якщо в нього ввести дві тонкі металеві пластиини (див. рис. а)? Якщо з'єднати ці пластиини проводом (див. рис. б)?



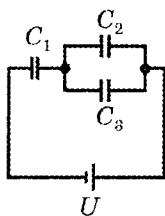
До задачі 9.22



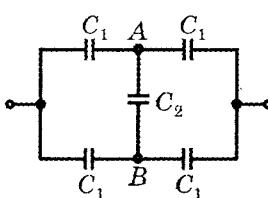
До задачі 9.23

**9.23.** Конденсатор складається з трьох смужок фольги площею по  $4 \text{ см}^2$ , розділених шарами слюди товщиною  $0,2 \text{ мм}$ . Крайні смужки фольги з'єднані між собою (див. рисунок). Яка ємність конденсатора?

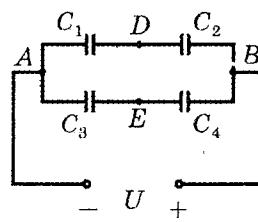
**9.24.** Знайдіть заряди на кожному з конденсаторів (див. рисунок), якщо  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 4 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 6 \text{ мкФ}$ ,  $U = 18 \text{ В}$ .



До задачі 9.24



До задачі 9.25

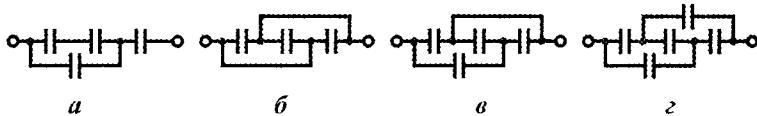


До задачі 9.26

**9.25.** Знайдіть ємність  $C_0$  батареї конденсаторів, яку зображенено на рисунку.

**9.26.** Знайдіть заряд кожного з конденсаторів і різницю потенціалів між точками D і E (див. рисунок), якщо  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ , а  $C_4 = 4C$ . До точок A і B підведено постійну напругу  $U$ .

**9.27.** Знайдіть ємності показаних на рис. а — г систем, якщо всі конденсатори мають одинакову ємність  $C$ .



## 10. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА

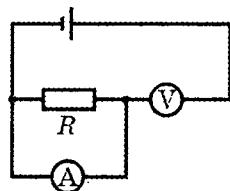
$$I = \frac{U}{R}, R = \rho \frac{l}{S}, R = R_1 + R_2 + \dots, \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$



- 10.1.** Як визначити, не розриваючи коло, чи йде по проводу струм?
- 10.2.** Який заряд проходить щосекунди через поперечний переріз проводу, що живить лампу, якщо сила струму в лампі дорівнює 1 А?
- 10.3.** При якій силі струму за 4 с через поперечний переріз провідника проходить заряд 32 Кл?
- 10.4.** Зарядка автомобільного акумулятора тривала 5 год. Який заряд пройшов по колу, якщо сила струму дорівнювала 10 А?
- 10.5.** Який напрям електричного струму електронного променя в кінескопі телевізора: до екрана або від нього?
- 10.6.** Сила струму електронного променя кінескопа дорівнює 100 мА. Скільки електронів щосекунди потрапляє на екран кінескопа?
- 10.7.** Для виготовлення реостата опором 126 Ом використали нікеліновий дріт із площею поперечного перерізу 0,1 мм<sup>2</sup>. Яка довжина цього дроту?
- 10.8.** Реостат опором 40 Ом розрахований на максимальну силу струму 2 А. Чи можна включати цей реостат у коло з напругою 70 В? 100 В?
- 10.9.** В ялинковій гірлянді, включений у мережу 220 В, послідовно з'єднано 20 однакових лампочок. Які напруга на кожній лампочці й опір кожної з лампочок у робочому режимі, якщо сила струму в гірлянді дорівнює 45 мА?
- 10.10.** До джерела постійної напруги 48 В підключили три резистори, що з'єднано послідовно. Сила струму через перший резистор дорівнює 1 А, опір другого становить 12 Ом, а напруга на третьому резисторі дорівнює 18 В. Які опори першого та третього резисторів?
- 10.11.** Автомобільну лампу, розраховану на напругу 12 В і силу струму 8 А, потрібно включити в мережу з напругою 172 В. Який додатковий опір і як потрібно підключити до лампи?
- 10.12.** Які опори можна одержати за допомогою двох резисторів, опори яких 2 Ом і 3 Ом?
- 10.13.** Два резистори з'єднано паралельно. Опір першого резистора дорівнює 25 Ом. Сила струму в другому резисторі дорівнює 7,5 А, напруга на ньому 150 В. Яка загальна сила струму в колі?

**10.14.** Які опори можна одержати за допомогою трьох резисторів по  $12\text{ Ом}$ ?

**10.15.** Учень зібрав електричне коло (див. рисунок) для вимірювання сили струму в резисторі та напруги на ньому. Яку помилку він допустив? Що будуть показувати прилади?

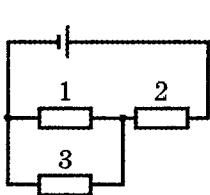


### ВІДВЕДИТЕ ВІДЕО

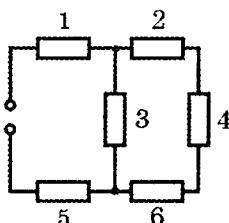
**10.16.** Чи можливий електричний струм за відсутності електричного поля?

**10.17.** Для живлення лампи фотоспалаху використовується конденсатор ємністю  $800\text{ мкФ}$ , заряджений до напруги  $300\text{ В}$ . Який середній струм розрядки конденсатора, якщо тривалість спалаху складає  $20\text{ мс}$ ?

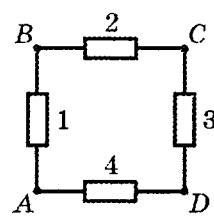
**10.18.** В електричному колі (див. рисунок) усі резистори мають опір  $10\text{ Ом}$ . Які напруги на кожному резисторі та сила струму в кожному з них, якщо напруга джерела дорівнює  $30\text{ В}$ ?



До задачі 10.18



До задачі 10.19



До задачі 10.20

**10.19.** До джерела струму з напругою  $110\text{ В}$  підключене електричне коло (див. рисунок). Усі резистори мають опір  $10\text{ Ом}$ . Знайдіть силу струму в кожному резисторі.

**10.20.** Опори резисторів (див. рисунок)  $R_1 = 5\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6\text{ Ом}$  і  $R_4 = 4\text{ Ом}$ . Знайдіть опір кола між точками: а)  $A$  і  $B$ ; б)  $A$  і  $C$ .

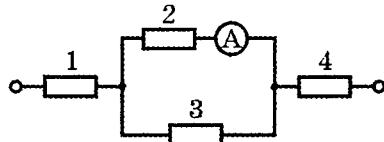
**10.21.** Маса мідного проводу  $m = 300\text{ г}$ , електричний опір  $R = 57\text{ Ом}$ . Знайдіть довжину проводу  $l$  і площину його поперечного перерізу  $S$ .

**10.22.** Які опори можна одержати, використовуючи не більше чотирьох резисторів з опором  $24\text{ кОм}$ ? Накресліть схеми відповідних з'єднань.

**10.23.** Три однакові лампи, розраховані на напругу  $36\text{ В}$  і силу струму  $1,5\text{ А}$ , потрібно з'єднати паралельно і підключити до мережі з напругою  $45\text{ В}$ . Додатковий резистор якого опору потрібно під-

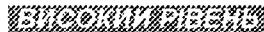
ключити послідовно з лампами, щоб вони працювали в нормальному режимі?

- 10.24.** Коло, зображене на рисунку, підключене до джерела постійної напруги 44 В. Амперметр показує 500 мА. Знайдіть напругу на кожному з резисторів, якщо  $R_1 = R_4$ , а  $R_2 = 44 \Omega$ .

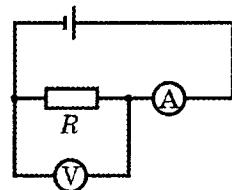


- 10.25.** Гальванометр має опір  $R_g = 385 \Omega$ . Струм повного відхилення  $I_g = 0,38 \text{ mA}$ . З цього гальванометра потрібно виготовити амперметр із границею вимірювання  $I = 2 \text{ A}$ . Якої довжини  $l$  ніхромовий провід з площею поперечного перерізу  $S = 1 \text{ mm}^2$  треба використати як шунтуючий резистор?

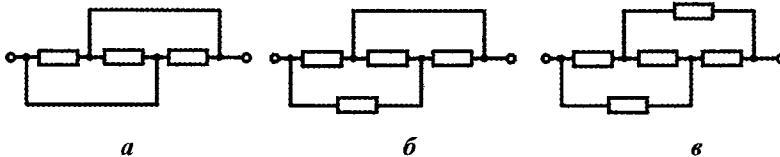
- 10.26.** Вольтметр, розрахований на напругу 15 В, виготовлено з гальванометра з опором 2,3 Ом і чутливістю (напругою, що відповідає відхиленню стрілки на одну поділку)  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ В/под}$ . Який додатковий опір використано при виготовленні вольтметра, якщо шкала гальванометра має 10 поділок?



- 10.27.** Для виміру опору резистора  $R$  зібрано коло, показане на рисунку. Амперметр показує  $I = 2 \text{ A}$ , вольтметр  $U = 120 \text{ V}$ . Знайдіть опір резистора, якщо опір вольтметра  $3 \text{ k}\Omega$ . До якої похибки (абсолютної  $\Delta R$  і відносної  $\varepsilon_R$ ) приведе використання для  $R$  наближеної формули  $R = U/I$ ?



- 10.28.** З однакових резисторів по  $10 \Omega$  потрібно скласти коло опором  $6 \Omega$ . Яка найменша кількість необхідних для цього резисторів? Накресліть схему кола.
- 10.29.** Знайдіть опір кожного з кіл (див. рис. *a*, *b*, *c*), якщо опір кожного з резисторів дорівнює  $1 \text{ k}\Omega$ .



## 11. РОБОТА ТА ПОТУЖНІСТЬ СТРУМУ. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОВНОГО КОЛА

$$A = UIt, Q = I^2Rt, P = UI, I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Реостат підключений до джерела струму. При зміні опору реостата від  $R_1 = 4$  Ом до  $R_2 = 9,5$  Ом сила струму в колі змінюється від  $I_1 = 8$  А до  $I_2 = 3,6$  А. Знайдіть ЕРС  $\mathcal{E}$  джерела струму та його внутрішній опір  $r$ .

*Дано:*

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 9,5 \text{ Ом}$$

$$I_1 = 8 \text{ А}$$

$$I_2 = 3,6 \text{ А}$$

$$\mathcal{E} - ?$$

$$r - ?$$

*Розв'язання.*

Із закону Ома для повного кола  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$  випливає співвідношення  $\mathcal{E} = I(R + r)$ . З цього співвідношення отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1(R_1 + r), \\ \mathcal{E} = I_2(R_2 + r). \end{cases}$$

$$\text{Звідси } r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}, \quad \mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}.$$

$$[r] = \frac{\text{А} \cdot \text{Ом}}{\text{А}} = \text{Ом}, \quad [\mathcal{E}] = \frac{\text{А}^2 \cdot \text{Ом}}{\text{А}} = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{В.}$$

Підставивши числові значення, знаходимо  $\mathcal{E} = 36$  В,  $r = 0,5$  Ом.

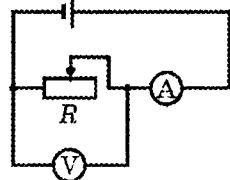
*Відповідь.*  $\mathcal{E} = 36$  В,  $r = 0,5$  Ом.

- 11.1. ?** До батарейки підключено лампочку. Чи правильне твердження: усередині батарейки струм іде від її додатного полюса до від'ємного?
- 11.2. ?** У замкнутому колі сторонні сили виконали роботу 5 Дж. Яку роботу виконали за цей час кулонівські сили?
- 11.3. ?** ЕРС батарейки кишеневого ліхтарика дорівнює 4,5 В. Чому ж у цьому ліхтарiku використовують лампочку, розраховану на напругу 3,5 В?

- 11.4.** У замкнутому колі сила струму дорівнює 1 А. Яку роботу виконують у колі сторонні сили за 10 с, якщо ЕРС джерела струму дорівнює 12 В?
- 11.5.** Акумулятор мотоцикла має ЕРС 6 В та внутрішній опір 0,5 Ом. До нього підключили реостат з опором 5,5 Ом. Знайдіть силу струму в реостаті та напругу на клемах акумулятора.
- 11.6.** Автомобільну лампу, на якій написано «12 В, 100 Вт», підключили до акумулятора з ЕРС 12 В і внутрішнім опором 0,06 Ом. Знайдіть силу струму та потужність струму в лампі.
- 11.7.** ЕРС батареї акумуляторів дорівнює 6 В, а внутрішній опір батареї 0,25 Ом. Знайдіть силу струму короткого замикання.



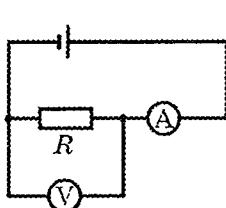
- 11.8.** Електричний чайник нагріває 2 л води від 10 °C до 100 °C за 3 хв. Яка довжина нікелінового проводу, з якого виготовлений нагрівальний елемент? Площа перерізу проводу дорівнює 0,63 мм<sup>2</sup>, ККД чайника 80%, напруга в мережі 220 В.
- 11.9.** Опір першого резистора в 4 рази більший, ніж опір другого. Порівняйте потужності струму в резисторах, з'єднаних: а) послідовно; б) паралельно.
- 11.10.** Резистори з опорами 60 Ом і 20 Ом включають у мережу з напругою 120 В. Знайдіть сумарну потужність струму в резисторах, якщо вони з'єднані: а) послідовно; б) паралельно.
- 11.11.** Підйомник, двигун якого підключений до мережі постійної напруги 120 В, при силі струму 4 А піднімає вантаж масою 72 кг рівномірно зі швидкістю 0,5 м/с. Який ККД підйомника?
- 11.12.** Електродвигун моделі електромобіля працює при напрузі 9 В. Модель масою 2 кг рухається з постійною швидкістю 1,5 м/с. Яка сила струму в електродвигуні, якщо ККД моделі дорівнює 75%, а коефіцієнт опору рухові 0,08?
- 11.13.** При запуску автомобільного двигуна за допомогою стартера напруга в бортовій мережі значно знижується. Чому?
- 11.14.** При якому опорі зовнішнього кола напруга в зовнішньому колі дорівнює половині ЕРС джерела?
- 11.15.** Для визначення характеристик джерела струму зібрали коло (див. рисунок). При одному положенні движка реостата прилади показують 4,5 В і 0,5 А, при іншому — 4 В і 1 А. Знайдіть за цими даними ЕРС і внутрішній опір джерела струму.



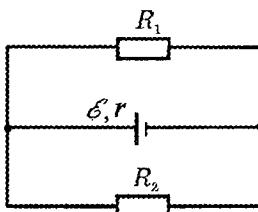
**11.16.** Коли до джерела струму підключили резистор з опором 32 Ом, сила струму в цьому резисторі склала 500 мА. Коли резистор замінили іншим, з опором 16 Ом, сила струму збільшилася до 900 мА. Знайдіть ЕРС і внутрішній опір джерела струму.

**11.17.** Які ЕРС і внутрішній опір джерела, якщо при силі струму 6 А потужність у зовнішньому колі дорівнює 90 Вт, а при силі струму 2 А ця потужність знижується до 60 Вт?

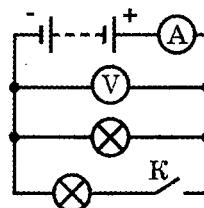
**11.18.** У колі (див. рисунок) вольтметр показує 11 В, а амперметр 2 А. ЕРС джерела струму 12 В. Знайдіть опір резистора і внутрішній опір джерела струму.



До задачі 11.18



До задачі 11.19



До задачі 11.20

**11.19.** Знайдіть напругу  $U$  на полюсах джерела струму (див. рисунок). Які сили струму  $I_1$  і  $I_2$  у резисторах? Опори резисторів  $R_1 = 8$  Ом,  $R_2 = 24$  Ом; ЕРС джерела струму  $\mathcal{E} = 40$  В, його внутрішній опір  $r = 2$  Ом.

**11.20.** Як зміняться показання амперметра та вольтметра при замиканні ключа (див. рисунок)? Внутрішній опір джерела порівняний з опорами лампочок.

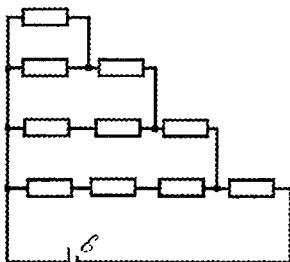
**11.21.** ЕРС джерела струму дорівнює 12 В. Коли до джерела підключили резистор, напруга в зовнішньому колі виявилася 6 В. Якою стане ця напруга, якщо підключити ще один такий самий резистор: а) послідовно до першого; б) паралельно до першого?

**11.22.** Джерело струму з ЕРС 60 В і внутрішнім опором 0,05 Ом з'єднано алюмінієвим кабелем з площею поперечного перерізу  $140 \text{ mm}^2$  і довжиною 500 м з потужним нагрівачем. Сила струму в колі 100 А. Які напруги на джерелі струму та нагрівачі?

**11.23.** До джерела струму з ЕРС 15 В і внутрішнім опором 2,5 Ом підключено реостат. Побудуйте графіки залежностей сили струму в колі та напруги на реостаті від опору реостата  $R$ .

- 11.24.** Знайдіть силу струму через джерело струму та напругу на джерелі (див. рисунок), якщо його ЕРС 15 В, а внутрішній опір 4 Ом. Опір кожного з резисторів 68 Ом.

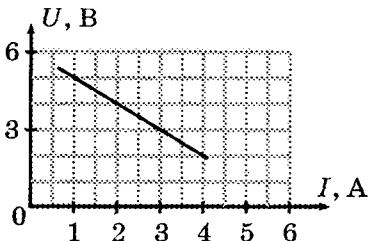
- 11.25.** Три однакові гальванічні елементи з ЕРС 1,5 В і внутрішнім опором 0,3 Ом з'єднано: а) послідовно; б) паралельно. Чому дорівнюють ЕРС і внутрішній опір батареї?



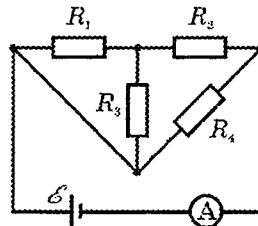
До задачі 11.24

- 11.26.** Реостат із максимальним опором 6 Ом підключений до джерела струму з ЕРС  $\mathcal{E} = 6$  В і внутрішнім опором  $r = 1$  Ом. При якому опорі  $R$  реостата потужність  $P$  струму в ньому буде найбільшою? Побудуйте графік залежності  $P(R)$ .

- 11.27.** При зміні опору зовнішнього кола змінюються і сила струму  $I$ , і напруга  $U$  на джерелі струму. Визначте ЕРС джерела струму і його внутрішній опір за наведеним на рисунку графіком залежності  $U(I)$ .



До задачі 11.27



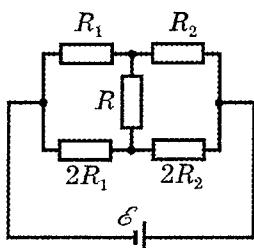
До задачі 11.28

- 11.28.** Яку силу струму  $I$  покаже амперметр у зображеному на рисунку колі? Опори резисторів у колі:  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 8$  Ом,  $R_3 = 12$  Ом,  $R_4 = 24$  Ом. ЕРС джерела  $\mathcal{E} = 36$  В, його внутрішній опір  $r = 1$  Ом.

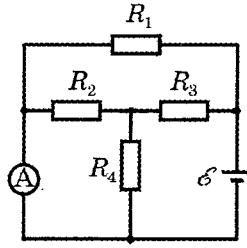
- 11.29.** Коли до батареї акумуляторів підключено одну лампу, напруга на клемах батареї дорівнює 20 В. При паралельному підключені ще однієї такої ж самої лампи напруга падає до 15 В. Знайдіть опір кожної лампи. Вважайте, що опір ламп не залежить від розжарювання. Внутрішній опір батареї дорівнює 1 Ом.

**11.30.** Знайдіть силу струму  $I_1$  у резисторі опором  $R_1$  (див. рисунок).

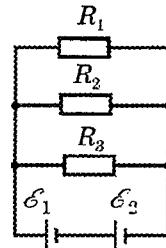
Опори резисторів:  $R_1 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 7 \text{ Ом}$ ,  $R = 2 \text{ Ом}$ . ЕРС джерела  $\mathcal{E} = 30 \text{ В}$ , його внутрішній опір  $r = 2 \text{ Ом}$ .



До задачі 11.30



До задачі 11.31

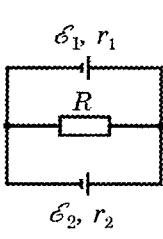


До задачі 11.32

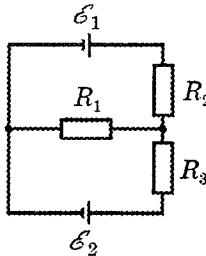
**11.31.** Знайдіть силу струму  $I_A$  через амперметр (див. рисунок), якщо опори резисторів  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_4 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ . ЕРС джерела  $\mathcal{E} = 50 \text{ В}$ , його внутрішній опір  $r = 1 \text{ Ом}$ . Опором амперметра можна знехтувати.

**11.32.** Чому дорівнюють різниці потенціалів  $U_1$  і  $U_2$  на полюсах джерел струму (див. рисунок)? ЕРС джерел однакові та рівні  $6 \text{ В}$ , внутрішні опори відповідно  $0,5 \text{ Ом}$  і  $1,5 \text{ Ом}$ . Опори резисторів відповідно  $2 \text{ Ом}$ ,  $3 \text{ Ом}$ ,  $6 \text{ Ом}$ .

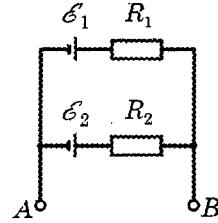
**11.33.** Чому дорівнює сила струму в резисторі опором  $5 \text{ Ом}$  (див. рисунок)? ЕРС джерел  $\mathcal{E}_1 = 6 \text{ В}$  і  $\mathcal{E}_2 = 5 \text{ В}$ , внутрішні опори  $r_1 = 1 \text{ Ом}$  і  $r_2 = 2 \text{ Ом}$ .



До задачі 11.33



До задачі 11.34



До задачі 11.35

**11.34.** Знайдіть розподіл струмів і напруг у показаному на рисунку колі.  $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 5 \text{ В}$ ,  $R_1 = 7,5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ . Внутрішнім опором джерел можна знехтувати.

**11.35.** Чому дорівнює різниця потенціалів між точками  $A$  і  $B$  (див. рисунок), якщо  $\mathcal{E}_1 = 2 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 2,6 \text{ В}$ ,  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ? Внутрішнім опором джерел можна знехтувати.

## 12. МАГНІТНЕ ПОЛЕ. ВЕКТОР МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

$$F = BIl \cdot \sin \alpha, F = |q|vB \cdot \sin \alpha$$

На горизонтальних рейках, що знаходяться в вертикальному однорідному магнітному полі, лежить сталевий брускок, перпендикулярний до рейок. Довжина бруска  $a = 15$  см, маса  $m = 300$  г, коефіцієнт тертя між бруском і рейками  $\mu = 0,2$ . Щоб брускок зрушив з місця, по ньому необхідно пропустити струм  $I = 40$  А. Яка індукція  $B$  магнітного поля?

*Дано:*

$$a = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$m = 300 \text{ г} = 0,3 \text{ кг}$$

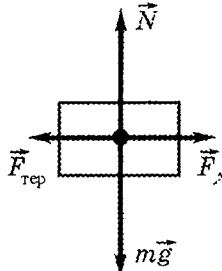
$$\mu = 0,2$$

$$I = 40 \text{ А}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$B - ?$$

*Розв'язання.*



На рисунку показано діючі на брускок сили. Сила Ампера  $F_A = BIa \cdot \sin \alpha$ ; у той момент, коли брускок зрушує з місця, сила тертя  $F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg$ . З умови  $F_A = F_{\text{тер}}$  знаходимо

$$B = \frac{\mu mg}{Ia \cdot \sin \alpha}.$$

$$[B] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл.}$$

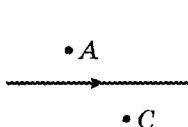
$$B = \frac{0,2 \cdot 0,3 \cdot 9,8}{40 \cdot 0,15 \cdot 1} = 9,8 \cdot 10^{-2} (\text{Тл}).$$

*Відповідь.*  $B = 98 \text{ мТл.}$

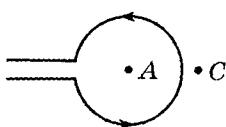
**12.1. ❶ Чи діє магнітне поле на нерухомий електрон?**

**12.2. ❷ Як має рухатися електрон у однорідному магнітному полі, щоб на нього не діяла сила Лоренца?**

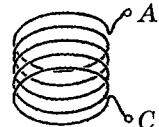
**12.3.** По проводу (див. рисунок) йде електричний струм. В якому напрямі повернеться магнітна стрілка, поміщена в точку A? У точку C?



До задачі 12.3



До задачі 12.4



До задачі 12.5

**12.4.** По витку проводу (див. рисунок) іде електричний струм. В якому напрямі повернеться магнітна стрілка, поміщена в точку A? У точку C?

**12.5.** Усередині котушки (див. рисунок) вектор індукції магнітного поля напрямлений знизу вгору. Яку з клем (A чи C) підключено до додатного полюса джерела струму?

**12.6.** Яка сила діє з боку однорідного магнітного поля з індукцією 30 мТл на прямолінійний провід довжиною 50 см, що знаходиться в полі? Провід утворює прямий кут із напрямом вектора магнітної індукції поля. Сила струму в проводі 12 А.

**12.7.** Провідник, сила струму в якому дорівнює 8 А, знаходиться в однорідному магнітному полі. Яка індукція магнітного поля, якщо на прямолінійну ділянку провідника довжиною 10 см, що утворює кут  $30^\circ$  із напрямом вектора магнітної індукції, діє з боку магнітного поля сила 10 мН?

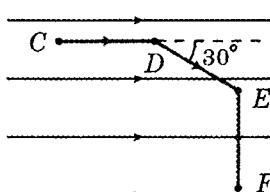
**12.8.** Провідник, сила струму в якому дорівнює 15 А, знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 50 мТл. Який кут утворює з напрямом вектора магнітної індукції прямолінійна ділянка провідника довжиною 20 см, якщо на цю ділянку діє з боку магнітного поля сила 75 мН?

**12.9.** Яка сила діє на електрон, що рухається зі швидкістю 60 000 км/с в однорідному магнітному полі з індукцією 0,15 Тл? Електрон рухається перпендикулярно до ліній магнітної індукції поля.

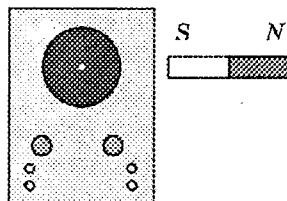
**12.10.** Яка сила діє на протон, що рухається зі швидкістю  $2 \cdot 10^6$  м/с в однорідному магнітному полі з індукцією 0,1 Тл? Протон рухається під кутом  $60^\circ$  до ліній магнітної індукції поля.

**ВІДВЕДЕНІ ЗАДАЧІ**

- 12.11.** Притягуються чи відштовхуються проводи тролейбусної лінії, коли по них проходить електричний струм?
- 12.12.** Провід, сила струму в якому дорівнює 10 А, знаходиться в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією 20 мТл (див. рисунок). Які сили діють на відрізки проводу  $CD$ ,  $DE$ ,  $EF$ ? Довжина кожного з цих відрізків дорівнює 40 см.



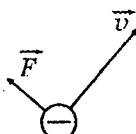
*До задачі 12.12*



*До задачі 12.13*

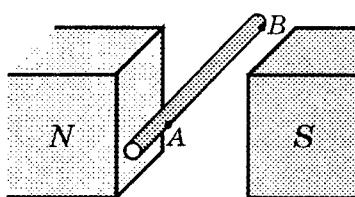
- 12.13.** Електронний промінь на екрані осцилографа дає світлу точку. До осцилографа (див. рисунок) підносять смуговий магніт. Куди зміститься світла точка?

- 12.14.** На рисунку показаний напрям руху електрона та напрям діючої на нього з боку магнітного поля сили Лоренца. Який напрям вектора магнітної індукції поля?

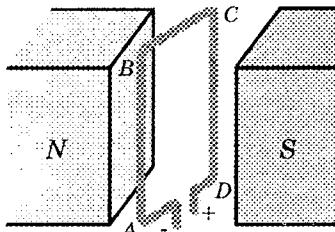


- 12.15.** Як змінюються в результаті дії магнітного поля кінетична енергія й імпульс зарядженої частки, що рухається?

- 12.16.** У проводі, що міститься між полюсами магніту, струм іде від  $A$  до  $B$  (див. рисунок). Куди напрямлена діюча на провід сила Ампера?



*До задачі 12.16*



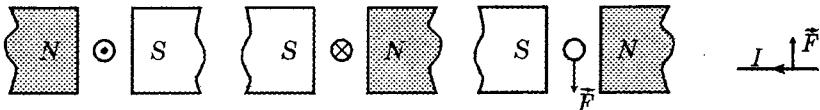
*До задачі 12.17*

- 12.17.** В який бік буде повертатися рамка зі струмом, вміщена між полюсами магніту (див. рисунок)?

- 12.18.** Прямоугольна рамка зі струмом знаходиться в однорідному магнітному полі. Доведіть, що рівнодійна сила Ампера, прикладених до всіх сторін рамки, дорівнює нулю.

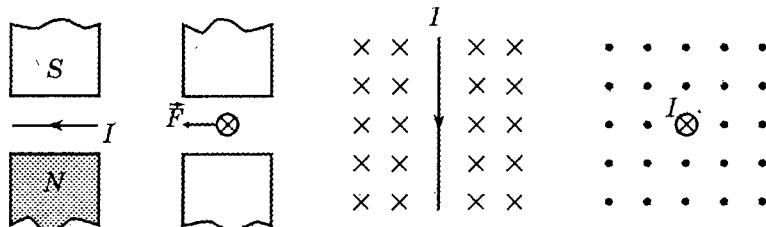
**12.19.** Прямоугольна рамка зі струмом знаходиться в однорідному магнітному полі. Як потрібно повернути рамку, щоб на неї діяв якнайбільший обертаючий момент?

**12.20.** На рисунках показано провідники зі струмом, що знаходяться в магнітному полі. Сформулюйте задачу по кожному з наведених рисунків і розв'яжіть її.



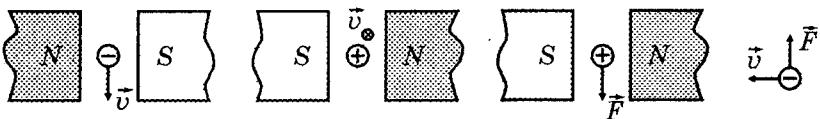
До задачі 12.20

**12.21.** На рисунках показано провідники зі струмом, що знаходяться в магнітному полі. Сформулюйте задачу по кожному з наведених рисунків і розв'яжіть її.



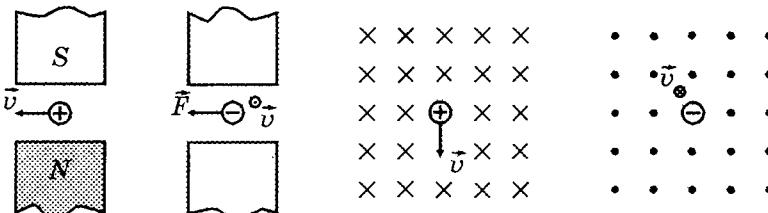
До задачі 12.21

**12.22.** На рисунках схематично показано різні випадки взаємодії зарядженої частки, що рухається, і магнітного поля. Сформулюйте задачу в кожному випадку і розв'яжіть її.



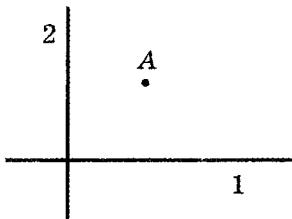
До задачі 12.22

**12.23.** На рисунках схематично показано різні випадки взаємодії зарядженої частки, що рухається, і магнітного поля. Сформулюйте задачу в кожному випадку і розв'яжіть її.

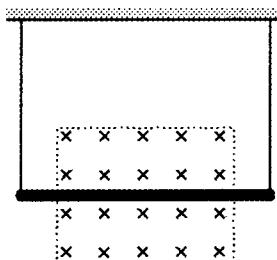


**12.24.** Точка  $A$  знаходиться посередині між двома довгими паралельними проводами (див. рисунок). Якщо струм тече тільки в одному з провідників, магнітна індукція поля в точці  $A$  дорівнює  $10 \text{ мТл}$ . Якою стане індукція магнітного поля в цій точці, якщо по іншому провіднику пропустити такий самий струм? Розгляньте два випадки: а) напрями струмів однакові; б) напрями струмів протилежні.

**12.25.** Довгі прямі проводи 1 і 2 знаходяться в одній площині (проводи ізольовані один від одного в точці перетинання). Точка  $A$  знаходиться на однакових відстанях від обох проводів (див. рисунок). Коли по проводу 1 пропускають струм зліва направо, магнітна індукція поля в точці  $A$  дорівнює  $B_0$ . Якою стане магнітна індукція поля в цій точці, якщо по проводу 2 буде йти такий самий струм: а) вгору; б) вниз?



До задачі 12.25



До задачі 12.26

**12.26.** Середня частина металевого стержня масою  $40 \text{ г}$ , підвішеного горизонтально на двох проводах, знаходиться в однорідному магнітному полі (див. рисунок) з індукцією  $40 \text{ мТл}$ . Ширина області поля дорівнює  $50 \text{ см}$ . Замикаючи ключ, через стержень пропускають електричний струм. Які напрям струму в стержні та сила струму, якщо після замикання ключа сила натягу проводів: а) зменшилася в 2 рази; б) збільшилася в 2 рази?

**12.27.** Горизонтальний провідник масою  $m = 20 \text{ г}$  підвішений за кінці на двох проводах. Середня частина провідника довжиною  $l = 50 \text{ см}$  знаходиться у вертикальному однорідному магнітному полі з індукцією  $B = 0,1 \text{ Тл}$ ; проводи знаходяться поза областью магнітного поля. У провіднику протікає струм  $I = 2 \text{ А}$ . На який кут  $\alpha$  від вертикали відхиляються проводи?

**12.28.** Електрон влігає в однорідне магнітне поле під прямим кутом до ліній магнітної індукції. Магнітна індукція поля дорівнює  $50 \text{ мТл}$ ,

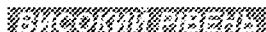
швидкість електрона 20 000 км/с. Знайдіть радіус кола, по якому буде рухатися електрон.

**12.29.** Електрон влітає в однорідне магнітне поле зі швидкістю 10 000 км/с і рухається по колу радіусом 2 см. Яка магнітна індукція поля?

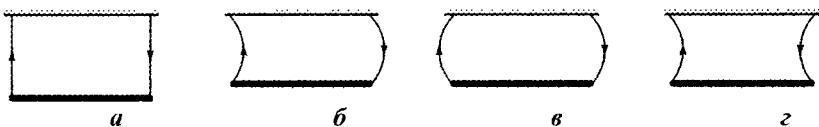
**12.30.** Протон рухається в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією 20 мТл по колу радіусом 5 см. Знайдіть швидкість протона.

**12.31.** Пробку, що загвинчується в отвір для зливу масла з піддона автомобільного двигуна, намагнічують. Для чого?

**12.32.** Чому на заводах для перенесення розпечених сталевих брусків не застосовують електромагнітні піднімальні крані?



**12.33.** Через горизонтальний стержень, підвішений на двох проводах, пропускають електричний струм (див. рис. а). Усю систему поміщають у сильне однорідне магнітне поле, перпендикулярне до площини рисунка. Які з рис. б - г можуть бути правильними? При якому напрямі вектора індукції магнітного поля?



*До задачі 12.33*

**12.34.** На гладенькій горизонтальній поверхні лежить петля з гнучкого проводу. Яку форму прийме ця петля, якщо створити в ній сильний електричний струм?

**12.35.** Прямоокутна рамка зі струмом знаходиться в однорідному магнітному полі. Укажіть положення стійкої та нестійкої рівноваги рамки.

**12.36.** Прямоокутна рамка зі струмом знаходиться в неоднорідному магнітному полі. Доведіть, що діючі на сторони рамки сили Ампера втягують її в область більш сильного поля.

**12.37.** Прямоокутна дротова рамка площею  $S$  знаходиться в однорідному магнітному полі. Доведіть, що діючий на рамку обертаючий момент задається формулою  $M = BIS \cdot \cos \alpha$ , де  $B$  — індукція магнітного поля,  $I$  — сила струму в рамці,  $\alpha$  — кут між площею рамки і напрямом вектора магнітної індукції.

**12.38.** В однорідному магнітному полі з магнітною індукцією 25 мТл знаходиться дротове кільце радіусом 2 см, сила струму в якому дорівнює 5 А. При якому положенні кільца на нього діє максимальний обертаючий момент? Знайдіть значення цього обертаючого моменту.

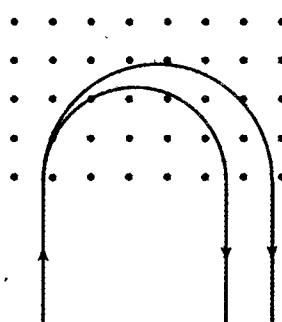
**12.39.** Електрон, розігнаний різницею потенціалів  $U = 2$  кВ, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією  $B = 150$  мТл перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначіть радіус кола, що його описше електрон.

**12.40.** В однорідне магнітне поле з магнітною індукцією 30 мТл перпендикулярно до ліній магнітної індукції влітає електрон з кінетичною енергією 50 кеВ. Який радіус кривизни траєкторії руху електрона?

**12.41.** Протон, що влетів після розгону в однорідне магнітне поле з індукцією 50 мТл, рухається по колу радіусом 5 см. Яку різницю потенціалів пройшов протон при розгоні?

**12.42.** Заряджена частка, розігнана різницею потенціалів  $U$ , влітає в однорідне магнітне поле з індукцією  $B$  і рухається по колу радіусом  $R$ . Визначіть за цими даними питомий заряд частки, тобто відношення її заряду до маси  $q/m$ .

**12.43.** *Mas-спектрограф.* Пучок іонів, розігнаних різницею потенціалів 4 кВ, влітає в однорідне магнітне поле з магнітною індукцією 80 мТл перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Пучок складається з іонів двох типів із молярними масами 0,02 кг/моль і 0,022 кг/моль. Усі іони мають заряд  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Іони вилітають з поля двома пучками (див. рисунок). Знайдіть відстань між пучками іонів, що вилітають.



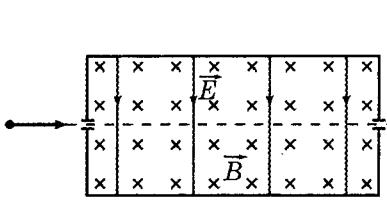
**12.44.** В однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції влітають з однаковою швидкістю протон і електрон. Порівняйте радіуси кіл, по яких вони будуть рухатися, і періоди їхнього обертання по цих колах.

**12.45.** В однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції влітають протон і електрон, що мають однакову кінетичну енергію. Порівняйте радіуси кіл, по яких вони будуть рухатися, і періоди їх обертання.

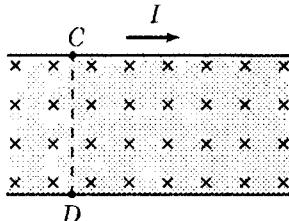
**12.46.** В однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції влітають два електрони зі швидкостями  $v_1 = 5 \cdot 10^6$  м/с і

$v_2 = 10^7$  м/с. Порівняйте радіуси кіл, по яких вони будуть рухатися, і періоди їх обертання по цих колах.

- 2.47. Поясніть дію «фільтра швидкостей», показаного на рисунку. У пристрії створено однорідні поля: магнітне з індукцією  $B$  і електричне з напруженістю  $E$ . Поля напрямлені перпендикулярно одне до одного і до початкової швидкості часток.



До задачі 12.47



До задачі 12.52

- 2.48. Силові лінії однорідного електричного поля і лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля взаємно перпендикулярні. Напруженість електричного поля  $E = 2$  кВ/м, а магнітна індукція магнітного поля  $B = 5$  мТл. Якими мають бути напрям і модуль швидкості електрона, щоб його рух був прямолінійним?

- 2.49. Як зміниться відповідь у попередній задачі, якщо розглядати рух протона, а не електрона?

- 2.50. Електрон влітає в однорідне магнітне поле зі швидкістю  $v$  під кутом  $\alpha$  до напряму поля. Магнітна індукція поля  $B$ . По якій траєкторії буде рухатися електрон?

- 2.51. Електрон, що влетів у однорідне магнітне поле під кутом  $60^\circ$  до ліній магнітної індукції, рухається по гвинтовій лінії радіусом 2 см, роблячи один оборот за 30 нс. Визначіть магнітну індукцію поля та крок гвинтової лінії.

- 2.52. Тонка металева стрічка знаходиться в магнітному полі, лінії магнітної індукції якого перпендикулярні до площини стрічки (див. рисунок). Якщо по стрічці пропустити електричний струм, то між точками  $C$  і  $D$ , що знаходяться в одному поперечному перерізі, з'являється різниця потенціалів. Поясніть це явище. Потенціал якої з двох точок вищий?

- 2.53. Як змінюється магнітна проникність заліза при охолодженні?

- 2.54. Сталеву голку підвішено над столом на довгому дроті. Якщо поруч із голкою поставити запалену свічку, а за нею розмістити сильний магніт, голка почне коливатися. Чому?

## 13. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ\*

$$\Phi = BS \cos \alpha, \mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, W_M = \frac{LI^2}{2}$$

© Г.В. Бібіков, В.І. Сидорук

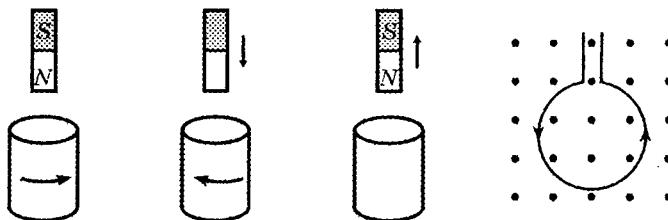
- 13.1.** Як потрібно орієнтувати дротову рамку в однорідному магнітному полі, щоб магнітний потік через рамку дорівнював нулю? Був максимальним?
- 13.2.** Магнітний потік через квадратну дротову рамку зі стороною 5 см, площа якої перпендикулярна до ліній індукції однорідного магнітного поля, дорівнює 0,1 мВб. Чому дорівнює модуль вектора індукції магнітного поля?
- 13.3.** Лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля утворюють кут  $30^\circ$  із вертикальлю. Модуль вектора магнітної індукції дорівнює 0,2 Тл. Який магнітний потік пронизує горизонтальне дротове кільце радіусом 10 см?
- 13.4.** Смуговий магніт падає крізь дротову котушку. Порівняйте час падіння у випадках, коли котушка замкнута і розімкнута.
- 13.5.** Магнітний потік, що пронизує замкнутий контур, рівномірно зростає від 2 мВб до 14 мВб за 6 мс. Чому дорівнює ЕРС індукції в контурі?
- 13.6.** Вертикальний металевий стержень довжиною 50 см рухається горизонтально зі швидкістю 3 м/с у однорідному магнітному полі з індукцією 0,15 Тл. Лінії індукції магнітного поля напрямлені горизонтально під прямим кутом до напряму вектора швидкості стержня. Чому дорівнює ЕРС індукції в стержні?
- 13.7.** Горизонтальний сталевий стержень довжиною 40 см рухається вертикально вниз із швидкістю 2 м/с у однорідному магнітному полі з магнітною індукцією 10 мТл. Чому дорівнює ЕРС індукції в стержні? Вектор магнітної індукції напрямлений під прямим кутом до стержня й утворює кут  $60^\circ$  із вертикальлю.
- 13.8.** З якою мінімальною швидкістю потрібно рухати в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією 50 мТл стержень довжиною 2 м, щоб у стержні виникала ЕРС індукції 0,6 В?

\* ) Цей розділ призначено для навчальних закладів і класів з поглибленим вивченням фізики (в інших школах і класах електромагнітна індукція вивчається в 11 класі).

- 13.9.** Чому при розмиканні кола живлення електродвигуна чи трансформатора може виникнути сильна іскра?
- 13.10.** Яка індуктивність контуру, якщо при силі струму 6 А його пронизує магнітний потік 0,3 мВб?
- 13.11.** Яка ЕРС самоіндукції виникає в катушці з індуктивністю 20 мГн при рівномірній зміні сили струму на 15 А за 1 с?
- 13.12.** Якою повинна бути швидкість зміни сили струму, щоб у катушці з індуктивністю 50 мГн виникла ЕРС самоіндукції 30 В?
- 13.13.** Яка індуктивність контуру, якщо при рівномірній зміні сили струму на 5 А за 50 мс у цьому контурі виникає ЕРС 10 В?
- 13.14.** У катушці індуктивністю 0,4 Гн сила струму дорівнює 5 А. Яка енергія магнітного поля катушки?
- 13.15.** Енергія магнітного поля катушки індуктивністю 0,5 Гн дорівнює 0,25 Дж. Яка сила струму в катушці?
- 13.16.** Яка індуктивність катушки, якщо при силі струму 3 А енергія магнітного поля катушки дорівнює 1,8 Дж?

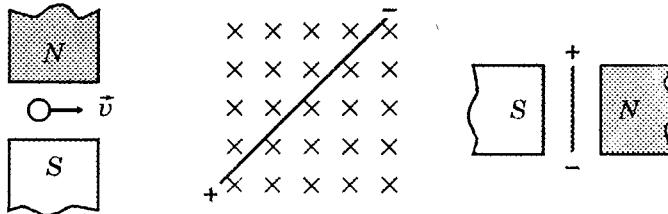
### Для спостереження

- 13.17.** На рисунку показано різні ситуації, в яких спостерігається явище електромагнітної індукції. Сформулюйте і розв'яжіть задачу для кожного випадку.

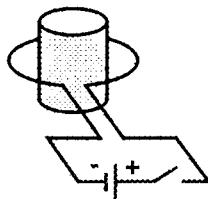


*До задачі 13.17*

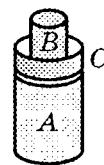
- 13.18.** На рисунку показано різні ситуації, в яких спостерігається явище електромагнітної індукції. Сформулюйте і розв'яжіть задачу для кожного випадку.



**13.19.**  Короткозамкнену катушку охоплює дротовий виток (див. рисунок). Визначіть напрям індукційного струму в катушці: а) при замиканні ключа; б) при розмиканні ключа.



До задачі 13.19

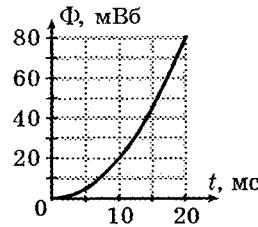
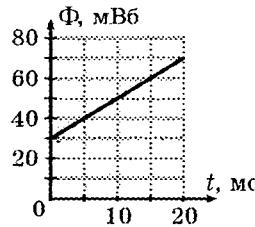
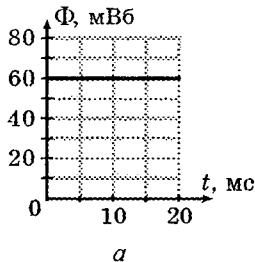


До задачі 13.20

**13.20.**  На вставленій у катушку *A* вертикальний сердечник *B* на- діто мідне кільце *C* (див. рисунок). При підключені катушки до джерела струму кільце підстрибує. Поясніть це явище.

**13.21.** Лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля утворюють кут  $30^\circ$  із вертикальлю. Модуль вектора магнітної індукції дорівнює  $0,2 \text{ Тл}$ . У магнітному полі знаходиться вертикальне дротове кільце площею  $5 \text{ см}^2$ , що обертається навколо вертикальної осі симетрії. Чи може магнітний потік, що пронизує кільце в деякий момент, дорівнювати: а) нулью; б)  $20 \text{ мкВб}$ ; в)  $45 \text{ мкВб}$ ; г)  $70 \text{ мкВб}$ ?

**13.22.** На рис. *a* — *в* показано графіки залежності від часу магнітних потоків через різні замкнуті контури. В яких із контурів ЕРС індукції не залежить від часу? Знайдіть значення модуля ЕРС індукції для цих контурів.



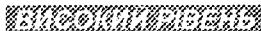
До задачі 13.22

**13.23.**  Якщо різко струснути компас, стрілка починає коливатися. Як зміниться час загасання цих коливань, якщо пластмасовий корпус компаса замінити на алюмінієвий?

**13.24.**  Клеми електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи при транспортуванні замикають дротовою перемичкою. Навіщо?

- 13.25.** Смуговий магніт різко висмикують із порожнього циліндра. В якому випадку виконана робота більша: якщо циліндр картонний чи якщо він мідний?
- 13.26.** Магніт падає в довгій вертикальній мідній трубі, в якій немає повітря. Магніт не дотикається до труби. Опишіть характер падіння.
- 13.27.** Маятник являє собою маленький магніт, підвішений на довгій нитці. Чи зміниться характер коливань маятника, якщо до нього знизу піднести мідний лист?
- 13.28.** У катушці з 200 витків збуджується постійна ЕРС індукції 160 В. На скільки змінився протягом 5 мс магнітний потік через кожний з витків?
- 13.29.** Магнітна індукція однорідного магнітного поля змінюється зі швидкістю 20 Тл за секунду. При цьому в катушці з площею поперечного перерізу  $6 \text{ см}^2$  збуджується ЕРС індукції 12 В. Скільки витків у катушці? Вісь катушки паралельна до ліній магнітної індукції.
- 13.30.** Магнітна індукція однорідного магнітного поля змінюється зі швидкістю 20 Тл за секунду. При цьому в катушці з площею поперечного перерізу  $6 \text{ см}^2$ , що містить 1000 витків, збуджується ЕРС індукції 6 В. Який кут утворює вісь катушки з лініями магнітної індукції поля?
- 13.31.** Автомобільна катушка запалювання живиться через переривач від бортової мережі 12 В. Чому при русі автомобіля напруга між контактами переривача може перевищувати 300 В?
- 13.32.** При зміні сили струму в кожному витку довгої катушки з дроту виникає ЕРС самоіндукції  $\mathcal{E}_{si} = 0,5$  В. Яка напруженість  $E$  вихрового електричного поля у витках, якщо радіус витків  $r = 3$  см?
- 13.33.** При розмиканні кола в катушці виникла ЕРС самоіндукції 300 В. Яка напруженість вихрового електричного поля у витках катушки, якщо їхня кількість дорівнює 800, а радіус витків 4 см?
- 13.34.** Мідне дротове кільце розташовано горизонтально в однорідному вертикальному магнітному полі. Магнітна індукція поля змінюється зі швидкістю 2 Тл/с. Який індукційний струм у кільці, якщо радіус кільця дорівнює 5 см, а радіус дроту 1 мм?
- 13.35.** Літак із розмахом крил 20 м летить горизонтально зі швидкістю 720 км/год уздовж магнітного меридіана. Яка різниця потенціалів між кінцями крил? Вертикальна складова магнітного поля Землі дорівнює 50 мкТл.

- 13.36.** У катушці індуктивністю 20 мГн сила струму дорівнює 0,5 А. На скільки збільшиться енергія магнітного поля, якщо в катушку вставити залізний сердечник, що збільшить її індуктивність у 50 разів? Сила струму в колі не змінюється.



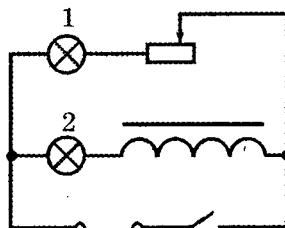
- 13.37.** Який заряд  $q$  пройде через поперечний переріз замкнутого провідника з опором  $R = 20 \Omega$  при зміні магнітного потоку від  $\Phi_1 = 15 \text{ мВб}$  до  $\Phi_2 = 5 \text{ мВб}$ ?

- 13.38.** Кільце з алумінієвого дроту розташовано горизонтально в однорідному вертикальному магнітному полі, магнітна індукція якого дорівнює 0,5 Тл. Який заряд пройде через поперечний переріз дроту, якщо: а) магнітне поле зникне; б) кільце повернути на  $180^\circ$  навколо горизонтальної осі? Радіус кільця дорівнює 3 см, радіус дроту 1 мм.

- 13.39.** Замкнений ізольований провід довжиною 4 м розташований по периметру круглої горизонтальної площинки. Який заряд пройде через провід, якщо надати йому форму квадрата? Опір проводу дорівнює 2 Ом, вертикальна складова магнітного поля Землі дорівнює 50 мГл.

- 13.40.** У показаному на рисунку колі при замкнутому ключі сила струму в обох лампах однаакова. Яка з ламп раніше спалахує при замиканні ключа? Раніше гасне при розмиканні ключа?

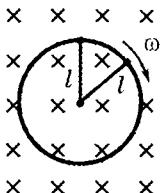
- 13.41.** Свинцеве кільце радіусом  $r$  розташовано горизонтально між полюсами електромагніта, що створює вертикальне однорідне магнітне поле з магнітною індукцією  $B$ . Охолоджуючи кільце, його переводять у надпровідний стан. Який магнітний потік  $\Phi$  буде пронизувати площину кільця після вимикання електромагніта?



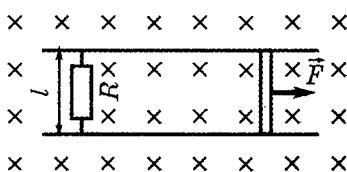
До задачі 13.40

- 13.42.** Надпровідна катушка радіусом  $r$  складається з  $N$  витків і має індуктивність  $L$ . Знайдіть силу струму  $I$ , що виникає в катушці з замкнутими кінцями при вимиканні зовнішнього однорідного магнітного поля, вектор магнітної індукції якого  $\vec{B}$  напрямлений уздовж осі катушки.

**13.43.** Металеве кільце радіусом  $l$  знаходиться в однорідному магнітному полі з вектором магнітної індукції  $\vec{B}$ , перпендикулярним до площини кільця. Дві металеві стрілки опором  $R$  кожна мають контакт між собою і з кільцем (див. рисунок). Одна стрілка нерухома, а інша рівномірно обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ . Знайдіть силу струму  $I$  у стрілках. Опором кільця можна знехтувати.



До задачі 13.43



До задачі 13.44

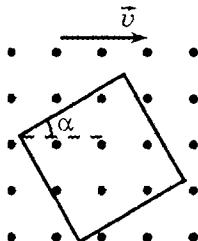
**13.44.** Металевий стержень може ковзати без тертя по паралельних горизонтальних рейках, що знаходяться на відстані  $l$  одна від одної. Рейки з'єднано перемичкою, опір якої  $R$  (див. рисунок). Система знаходиться у вертикальному однорідному магнітному полі з індукцією  $B$ . Як буде рухатися стержень, якщо до нього прикладти постійну силу  $F$ ? Електричним опором стержня та рейок можна знехтувати. Явище самоіндукції не враховуйте.

**13.45.** На циліндричний залізний сердечник радіусом  $r$  надіто ізольоване металеве кільце того ж самого радіуса. Електричний опір кільця  $R$ . У сердечнику створюється однорідне магнітне поле, індукція якого змінюється за законом  $B = a_0 t$ . Як змінюється з часом сила струму  $I$  у кільці і різниця потенціалів між діаметрально протилежними точками кільца?

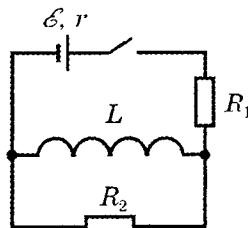
**13.46.** Котушку, що має індуктивність  $L$  і електричний опір  $R$ , підключають до акумулятора. Як виглядає графік залежності сили струму  $I$  у котушці від часу? Оцініть характерний час  $\tau$  зростання струму в котушці. ЕРС акумулятора дорівнює  $\epsilon$ , його внутрішнім опором можна знехтувати.

**13.47.** Квадрат, виготовлений із проводу довжиною 2 м, рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,3 Тл (див. рисунок).

Яка ЕРС індукції в кожній зі сторін квадрата? Загальна ЕРС індукції в контурі?  $v = 5 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .



До задачі 13.47



До задачі 13.48

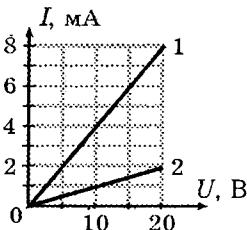
- 13.48.** Який заряд пройде через резистор  $R_2$  (див. рисунок) після розмикання ключа? ЕРС джерела  $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$ , внутрішній опір  $r = 0,5 \text{ Ом}$ , індуктивність катушки  $L = 0,2 \text{ Гн}$ , опори резисторів  $R_1 = 2,5 \text{ Ом}$  і  $R_2 = 1 \text{ Ом}$ . Опір катушки дуже малий.
- 13.49.** Яка кількість теплоти виділиться в резисторі  $R_2$  після розмикання ключа (див. задачу 13.48)?
- 13.50.** **?** За допомогою електродвигуна постійного струму піднімають вантаж на тросі. Якщо відключити електродвигун від джерела напруги і замкнути його ротор накоротко, вантаж буде опускатися з постійною швидкістю. Поясніть це явище. В яку форму переходить потенціальна енергія вантажу?
- 13.51.** **?** Чому сила струму через електродвигун змінюється при зміні швидкості обертання ротора цього двигуна?
- 13.52.** **?** В якому випадку обмотка електродвигуна сильніше нагрівається струмом, що тече по ній, — коли двигун обертається вхолосту чи коли виконує роботу? Напругу в мережі вважайте постійною.
- 13.53.** **?** Електродвигун включений у мережу постійного струму з напругою  $U = 120 \text{ В}$ . Опір обмотки двигуна  $R = 12 \text{ Ом}$ . Яку максимальну потужність  $N_{\max}$  може розвивати цей двигун? При якій силі струму  $I_0$  досягається ця потужність? Напругу в мережі вважайте постійною.

## 14. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

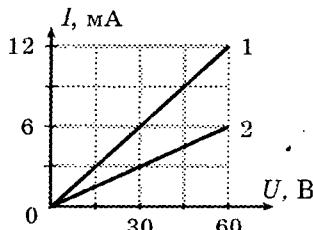
$$I = |q_0|n\bar{v}S, \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad m = \frac{M}{eN_A n} \cdot I \cdot \Delta t$$



- 14.1.** Сила струму в проводі дорівнює 1 А. Скільки електронів проходить через поперечний переріз проводу за 1 нс?
- 14.2.** Чому дорівнює середня швидкість упорядкованого руху електронів у проводі з площею поперечного перерізу 3  $\text{мм}^2$  при силі струму 5 А? Концентрація електронів провідності дорівнює  $8 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ .
- 14.3.** До якої температури треба остудити мідний провід, щоб його опір зменшився на 20%? Початкова температура дорівнює 0 °C.
- 14.4.** Коли дротову котушку перемістили з льоду, що тане, у відкриту посудину з киплячою водою, її опір збільшився на 30%. Чому дорівнює температурний коефіцієнт опору металу, з якого виготовлено дріт?
- 14.5.** Послідовно з електродвигуном іноді підключають напівпровідниковий терморезистор. Чому в цьому випадку сила струму при включені зростає повільніше?
- 14.6.** На рисунку показано вольт-амперні характеристики фоторезистора, що відповідають двом його різним станам. Яка з характеристик відповідає освітленому фоторезистору, а яка — затемненому? У скільки разів змінився опір фоторезистора при освітленні?



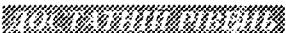
До задачі 14.6



До задачі 14.7

- 14.7.** На рисунку показано вольт-амперні характеристики напівпровідникового терморезистора, що відповідають двом його різним станам. Яка з характеристик відповідає більш високій температурі терморезистора? Які опори терморезистора в кожному зі станів?

- 14.8.** Чому вимоги до чистоти напівпровідникових матеріалів дуже високі (у ряді випадків не допускається наявність навіть одного атома домішки на мільйон атомів)?
- 14.9.** Яку провідність (електронну чи діркову) має кремній з домішкою галію? Індію? Фосфору? Сурми?
- 14.10.** У результаті пропускання електричного струму через розчин мідного купоросу маса катода збільшилася від 50 г до 62 г. Якою була тривалість процесу, якщо сила струму при електролізі дорівнювала 1,5 А?
- 14.11.** При якій силі струму проводився електроліз водяного розчину  $\text{CuSO}_4$ , якщо за 25 хв на катоді виділилося 2 г міді?
- 14.12.** У процесі електролізу з водяного розчину срібної солі виділилося 500 мг срібла. Який заряд пройшов через електролітичну ванну?



- 14.13.** Два алюмінієві проводи включені в коло послідовно. Порівняйте швидкості  $v_1$  і  $v_2$  упорядкованого руху електронів у цих проводах, якщо: а) довжина проводів однаакова, а діаметр першого проводу в 2 рази більший, ніж діаметр другого; б) діаметр проводів одинаковий, а довжина першого проводу в 2 рази більша, ніж довжина другого.
- 14.14.** Два мідні проводи включені в коло паралельно. Порівняйте швидкості  $v_1$  і  $v_2$  упорядкованого руху електронів у цих проводах, якщо: а) довжина проводів однаакова, а діаметр першого проводу в 2 рази більший, ніж діаметр другого; б) діаметр проводів одинаковий, а довжина першого проводу в 2 рази більша, ніж довжина другого.
- 14.15.** Підключена до мережі спіраль електроплитки розжарилася. Як зміниться розжарювання, якщо на частину спіралі потрапить вода?
- 14.16.** Сила струму в нагрівачі, включенному в мережу 220 В, дорівнює 1 А. Температура нагрівального елементу в робочому режимі дорівнює  $500^{\circ}\text{C}$ , а його опір при  $0^{\circ}\text{C}$  дорівнює 75 Ом. Чому дорівнює температурний коефіцієнт опору матеріалу нагрівального елементу?
- 14.17.** На цоколі електричної лампи розжарювання з вольфрамовою ниткою написано: «120 В, 500 Вт». Якщо пропускати через цю лампу струм 8 мА, то напруга на ній складає 20 мВ; при цьому темпера-

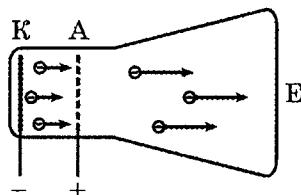
тура нитки розжарювання  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка температура нитки розжарювання в робочому стані?

14.18. У скільки разів змінюється опір мідного проводу при підвищенні температури від  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

14.19. **0** При підвищенні температури від  $t_1 = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $t_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  опір дротової котушкі збільшилося від  $R_1 = 10\text{ Ом}$  до  $R_2 = 15\text{ Ом}$ . Який температурний коефіцієнт опору металу, з якого виготовлено дріт?

14.20. Концентрація електронів провідності в германії дорівнює  $3 \cdot 10^{17}\text{ м}^{-3}$ . Після легування пластини германія миш'яком концентрація електронів провідності збільшилася в 1000 разів. У скільки разів кількість атомів германія в пластині перевищує кількість атомів миш'яку?

14.21. **0** Відстань між катодом К й анодом А у вакуумній трубці  $s_1 = 5\text{ см}$ , відстань від екрана Е до анода  $s_2 = 25\text{ см}$ . Анодна напруга  $U = 9\text{ кВ}$ . Вважаючи електричне поле між катодом і анодом однорідним, знайдіть час руху електрона: а) від катода до анода; б) від анода до екрана.



14.22. При якій анодній напрузі час руху електрона від катода до анода кінескопа менше  $10\text{ нс}$ ? Відстань між катодом і анодом дорівнює  $1,5\text{ см}$ ; електричне поле вважайте однорідним.

14.23. **0** Пучок електронів, розігнаних напругою  $U_1 = 5\text{ кВ}$ , влітає в плоский конденсатор посередині між пластинами й паралельно до них. Довжина конденсатора  $l = 10\text{ см}$ , відстань між пластинами  $d = 10\text{ мм}$ . При якій найменшій напрузі  $U_2$  на конденсаторі електрони не будуть вилітати з нього?

14.24. Електрон влітає в плоский конденсатор паралельно до його пластин зі швидкістю  $2,0 \cdot 10^7\text{ м/с}$ . Напруженість поля в конденсаторі  $2,5 \cdot 10^4\text{ В/м}$ , довжина конденсатора  $80\text{ мм}$ . Знайдіть модуль і напрям швидкості електрона у момент вильоту з конденсатора.

14.25. В електронно-променевій трубці пучок електронів, прискорених різницею потенціалів  $6\text{ кВ}$ , рухається між пластинами плоского конденсатора довжиною  $4\text{ см}$ . Відстань між пластинами  $1\text{ см}$ . Яку напругу треба подати на пластини конденса-

тора, щоб зміщення електронного пучка на виході з конденсатора дорівнювало 4 мм?

**14.26.** У сиріх приміщеннях замість напруги 220 В використовують напругу 36 В. Чому?

**14.27.** Знайдіть електрохімічні еквіваленти одновалентної і двовалентної міді.

**14.28.** Яка кількість речовини осяде на катоді, якщо через розчин солі одновалентного металу пройде заряд 96 Кл?

**14.29.** Дві однакові електролітичні ванни заповнено розчином мідного купоросу; у першій ванні концентрація розчину вище. Порівняйте кількість міді, що виділилася на їхніх катодах, якщо ванни з'єднано: а) послідовно; б) паралельно.

**14.30.** Дві однакові електролітичні ванни з'єднано послідовно. В одній з них — розчин  $\text{CuCl}$ , в іншій —  $\text{CuCl}_2$ . В якій з ванн на катоді виділяється більше міді?

**14.31.** Нікелювання за допомогою електролізу металової пластинки, що має площину поверхні  $S = 48 \text{ см}^2$ , продовжувалося  $t = 4$  год при силі струму  $I = 0,15 \text{ A}$ . Знайдіть товщину  $h$  шару нікелю. Валентність нікелю  $n = 2$ .

**14.32.** Скільки часу потрібно для нікелювання металевого виробу площею поверхні  $120 \text{ см}^2$ , якщо товщина покриття повинна бути  $0,03 \text{ мм}$ ? Сила струму при електролізі дорівнює  $0,5 \text{ A}$ , валентність нікелю дорівнює 2.

**14.33.** Скільки витрачено електроенергії на рафінування 5 т міді, якщо напруга на електролітичній ванні дорівнює 0,4 В? Електрохімічний еквівалент міді  $3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .

**14.34.** Скільки витрачено електроенергії на одержання 1 кг алюмінію, якщо електроліз ведеться при напрузі 10 В, а ККД процесу 80%? Електрохімічний еквівалент алюмінію  $0,93 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .

**14.35.** Чому збільшення діаметра проводу у високовольтних лініях передач електроенергії приводить до зменшення втрат на коронний розряд?

**14.36.** Що відбудеться з палаючою електричною дугою, якщо сильно остудити від'ємний електрод? Додатний?

**14.37.** Іонізуюче випромінювання щосекунди створює в  $1 \text{ см}^3$  газу в трубці  $n = 5 \cdot 10^9$  пар однозарядних іонів. Чому дорівнює сила струму насичення при несамостійному розряді, якщо об'єм трубки  $V = 600 \text{ см}^3$ ?

- 14.38.** Сила струму насищення при несамостійному розряді в трубці довжиною 60 см і площею поперечного перерізу  $15 \text{ см}^2$  дорівнює 0,3 мА. Скільки пар іонів виникає в кожному кубічному сантиметрі газу щосекунди під дією іонізатора?
- 14.39.** Два плоскі паралельні електроди знаходяться в скляній розрядній трубці, заповнені атомарним воднем при зниженному тиску. Відстань між електродами дорівнює 2,5 см, до них прикладено напругу 4 кВ. Чи буде протікати струм у трубці? Потенціал іонізації атомів водню дорівнює 13,54 В, довжина вільного пробігу електронів 92 мкм.

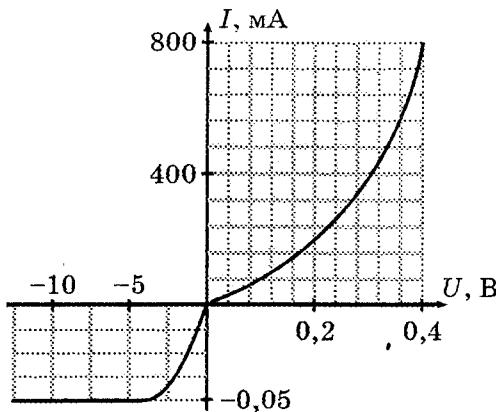


- 14.40.?** Яка густина струму<sup>\*)</sup>  $j$  у мідному провіднику при напруженості електричного поля 17 мВ/м?
- 14.41.?** Знайдіть швидкість  $v$  упорядкованого руху електронів у мідному проводі<sup>\*\*)</sup> з площею поперечного перерізу  $S = 0,5 \text{ мм}^2$  при силі струму  $I = 2,5 \text{ А}$ .
- 14.42.** Знайдіть швидкість упорядкованого руху електронів у мідному проводі<sup>\*\*)</sup> довжиною 100 м, до якого прикладено напругу 10 В.
- 14.43.** Порівняйте швидкості упорядкованого руху електронів у вольфрамовій нитці розжарювання настільної лампи і мідному<sup>\*\*)</sup> шнурі цієї лампи. Площа поперечного перерізу нитки розжарювання дорівнює  $10^{-3} \text{ мм}^2$ , а шнура  $1 \text{ мм}^2$ . Вважайте, що на кожний іон вольфраму припадає два електрони провідності.
- 14.44.?** Після введення в германій домішки миш'яку концентрація електронів провідності збільшилася. Як змінилася при цьому концентрація дірок?
- 14.45.?** Як зміниться опір пластиини кремнію з домішкою фосфору, якщо ввести в неї домішку галію? Концентрації атомів фосфору і галію однакові.
- 14.46.** На рисунку наведено вольт-амперну характеристику напівпровідникового діода. Діод підключений до джерела постійної напруги:

<sup>\*)</sup> Густину струму називається відношення сили струму в провіднику до площи поперечного перерізу цього провідника:  $j = I/S$ .

<sup>\*\*)</sup> Вважайте, що на кожний іон міді припадає два електрони провідності.

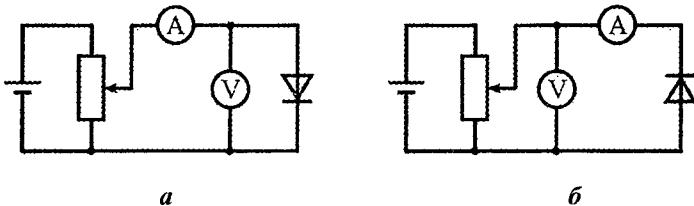
а) +0,4 В; б) -5 В. У скільки разів зміниться сила струму через діод, якщо послідовно з ним підключити резистор опором 100 Ом?



До задач 14.46, 14.47

**14.47.** На рисунку наведено вольт-амперну характеристику напівпровідникового діода. Діод підключений до джерела постійної напруги:  
а) +0,4 В; б) -5 В. У скільки разів зміниться сила струму в колі, якщо паралельно з діодом підключити резистор опором 100 Ом?

**14.48.** Чому для одержання вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода використовують дві *різні* схеми з'єднання пристрій (див. рис. а, б)?



До задачі 14.48

**14.49.** Деталь потрібно покрити шаром хрому завтовшки 40 мкм. Скільки часу продовжуватиметься електроліз при густині струму  $1,5 \text{ kA/m}^2$ ? Електрохімічний еквівалент хрому  $1,8 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .

**14.50.** Електролітичне сріблення виробу відбувається при густині струму  $0,55 \text{ A/dm}^2$ . З якою швидкістю наростає шар срібла?

- 14.51.** При електролізі підкисленої води через ванну пройшов заряд 7500 Кл. Кисень, що виділився, знаходитьсь в об'ємі 0,5 л під тиском 101 кПа. Яка його абсолютна температура?
- 14.52.** Аеростат об'ємом  $250 \text{ м}^3$  заповнюють воднем при температурі  $27^\circ\text{C}$  і тиску 2 атм. Який заряд потрібно пропустити при електролізі через слабкий розчин кислоти, щоб одержати потрібну кількість водню?
- 14.53.** При якій найменшій швидкості електрон може іонізувати нерухомий атом неону? Потенціал іонізації атомів неону  $\varphi = 21,5 \text{ В}$ .
- 14.54.** Плоский повітряний конденсатор із відстанню між обкладинками 2 мм і площею обкладинок  $10 \text{ см}^2$  заряджений до напруги 2 кВ і відключений від джерела струму. Під дією зовнішнього іонізатора в просторі між обкладинками щосекунди утворюється  $10^8$  пар одновалентних іонів. На скільки змінилася напруга на конденсаторі через 5 с після початку дії іонізатора? Вважайте, що всі іони досягають обкладинок конденсатора.

## В

- 1.1.**  $10^{-8}$  м; розміри молекул не перевищують  $10^{-8}$  м. **1.4.** Це приклад броунівського руху. **1.5.** Це приклад дії сил міжмолекулярного притягання. Сухі стекла легко відокремлюються, тому що через нерівності на поверхнях площа контакту дуже мала, а радіус дії міжмолекулярних сил порівнянний з розмірами молекул.
- 1.6.** При поліруванні зменшуються нерівності обох поверхонь і міжмолекулярне притягання цих поверхонь сильнішає.
- 1.7.**  $4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль;  $64 \cdot 10^{-3}$  кг/моль; 0,2 кг/моль; 0,24 кг/моль.
- 1.8.**  $58 \cdot 10^{-3}$  кг/моль; 0,16 кг/моль;  $17 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. **1.9.** 0,8 кг.
- 1.10.**  $1,2 \cdot 10^{-26}$  кг;  $3,3 \cdot 10^{-25}$  кг.
- 1.11.**  $2,7 \cdot 10^{-26}$  кг. **1.12.** Трохи нижче температури плавлення найбільш легкоплавкого матеріалу.
- 1.13.** Зменшилася б у 1,5 раза. *Вказівка*. Порівняйте кількість молекул до і після реакції. **1.14.**  $1,4 \cdot 10^{22}$ . **1.15.**  $1,5 \cdot 10^{24}$ . **1.16.** 130 років.
- 1.17.**  $5,15 \cdot 10^{24}$ . **1.18.** 0,7 моль. **1.19.**  $3,3 \cdot 10^{-4}$  моль.
- 1.20.** Кількість атомів кисню однакова. **1.21.** У водні, у 4,5 раза.
- 1.22.**  $40 \text{ см}^3$ . Об'єм алюмінію можна виразити через його масу і густину:  $V = \frac{m}{\rho}$ . Масу ж алюмінію можна виразити через кількість речовини і молярну масу:  $m = v \cdot M$ . Звідси одержуємо  $V = \frac{v \cdot M}{\rho}$ .
- 1.23.** Так. **1.24.**  $0,03 \text{ мм}^3$ . **1.25.** У повітрі, в 1,6 раза. **1.26.**  $4000 \text{ м}^3$ .
- 1.27.** У залізному кубику кількість речовини в 1,4 раза більша.
- 1.28.**  $1,4 \cdot 10^{21}$ . **1.29.** 9,5 а.ом.
- 1.30.** а) у краплі води, в 11 разів; б) у краплі ртуті, в 1,2 раза.
- 1.31.**  $3 \cdot 10^{-10}$  м. *Вказівка*. На кожну молекулу припадає об'єм
- $$V_0 = \frac{M}{\rho N_A}$$
- 1.32.** 2500. **1.33.** 400 шарів.
- 1.34.**  $1,5 \cdot 10^{15}$  м; довжина нитки перевищувала б відстань від Землі до Сонця в 10 000 разів.
- 1.35.** а) зменшиться в 2 рази; б) зменшиться в 1,5 раза.
- 1.36.** ГПК не була перевищена. Концентрація атомів ртуті в кімнаті  $n = \frac{N}{hS} = \frac{mN_A}{MhS}$ . Тут  $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$  — маса

крапельки ртуті,  $\rho$  і  $M$  — відповідно густина і молярна маса ртуті.

Звідси  $n = \frac{4\pi r^3 \rho N_A}{3MhS} = 5,7 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$ . Таким чином, концентрація пари ртуті дорівнює 19% від ГПК.

**1.37.**  $3,3 \cdot 10^8$ .

**1.38.**  $\rho = \frac{m_0}{a^3}$ . ~~Задача 1.38~~ Можна вважати, що кожній із восьми кубічних комірок, що сходяться в центрі атома, «належить»  $1/8$  цього атома, тобто маса  $m_0/8$ . У кубічної комірки вісім вершин, тому на кожну комірку об'ємом  $a^3$  припадає маса  $m_0$ .

**1.39.**  $a = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

**2.1.** 300 К; 250 К; 643 К. **2.2.**  $-250^\circ\text{C}$ ;  $-180^\circ\text{C}$ ;  $480^\circ\text{C}$ .

**2.3.** 600 К. **2.4.** На 10 К. **2.5.** 96 л.

**2.6.** Щоб після вмикання лампи тиск азоту не розірвав балон (при нагріванні тиск газу помітно зростає). **2.7.** На 16%.

**2.8.** 320 кПа; 200 кПа. **2.9.** 0,3 МПа.

**2.10.** 132 л. **2.11.** 4,2 МПа.

**2.12.** 6,9 моль. **2.13.** 6,2 МПа.

**2.14.** До  $118^\circ\text{C}$ . ~~Задача 2.14~~ Оскільки маса повітря в колбі не змінилася, виконується рівняння Клапейрона  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ . Тиск повітря в колбі практично незмінний (невеликим збільшенням тиску внаслідок тиску стовпа води можна знехтувати). Для ізобарного процесу  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ , звідки  $T_1 = T_2 \frac{V_1}{V_2}$ . Відповідно до умови  $V_2 = 0,75V_1$ . Отже,  $T_2 = 4T_1/3 = 391 \text{ K}$ .

**2.15.** 3 л. **2.16.** Збільшився в 1,33 раза.

**2.17.** Тиск не змінився.

**2.18.** Зростаючий при нагріванні тиск газу може розірвати балон і надати його осоколкам великої швидкості. **2.19.** 300 К.

**2.20.** 500 кПа. **2.21.** 300 К. **2.22.** Відбувся витік газу. **2.23.** У балоні є тріщини (відбувся витік газу). **2.24.** До  $167^\circ\text{C}$ . **2.25.** Закон Бойля-Маріотта не виконується, коли маса газу змінюється.. **2.26.** 7,5 л.

**2.27.** 14 м. ~~Задача 2.27~~ Повітря в бульбашці ізотермічно розширюється. Відповідно до закону Бойля-Маріотта виконується співвідношення  $(p_a + \rho gh) \cdot V_1 = p_a \cdot V_2$ . Тут  $\rho$  — густина води;

$V_1 = \frac{1}{6}\pi d^3$  — початковий об'єм бульбашки,  $V_2 = \frac{1}{6}\pi D^3$  — її

$$\text{кінцевий об'єм. Звідси знаходимо } h = \frac{p_a}{\rho g} \left( \frac{D^3}{d^3} - 1 \right).$$

**2.28.** 65 м. **2.29.** Температура збільшувалася. **2.30.** 400 кПа.

**2.31.** 5,9 МПа. ~~Відповідно до рівняння стану ідеального газу~~  $p_1V_1 = v_1RT$ ,  $p_2V_2 = v_2RT$ ,  $p(V_1 + V_2) = vRT$ . Тут  $v_1$  і  $v_2$  — кількість речовини відповідно в першому і другому балонах,  $v$  — загальна кількість речовини в балонах. Оскільки  $v = v_1 + v_2$ ,

$$\text{дістаємо } p_1V_1 + p_2V_2 = p(V_1 + V_2), \text{ звідки } p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}.$$

**2.32.** 500 кПа. *Вказівка.* Насос захопив 200 л атмосферного повітря, тобто фактично відбулося ізотермічне стискання повітря від об'єму 250 л до об'єму 50 л.

**2.33.** 2 кПа. ~~На початку кожного циклу роботи поршень міститься біля краю циліндра; висуваючи поршень, надають можливість повітря розширюватися від об'єму  $V_0$  до об'єму  $V_0 + V$ ; потім повітря з насоса витісняють у атмосферу, і процес повторюється. Відповідно до умови цей процес ізотермічний.~~ Отже,  $p_n \cdot V_0 = p_{n+1} \cdot (V_0 + V)$ . Тут  $p_n$  — тиск у балоні після  $n$  коливань поршня. Як бачимо, значення  $p_n$  утворюють геометричну прогресію (при кожному наступному коливанні поршня насос захоплює менше повітря, ніж при попередньому).

$$\text{Після } N \text{ таких коливань тиск у балоні } p_N = p_a \left( \frac{V_0}{V_0 + V} \right)^N.$$

**2.34.** 7,4 %. **2.35.** На 31 К.

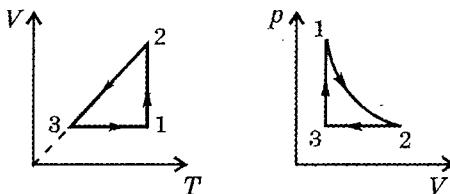
**2.36.** ~~Перш ніж будувати графіки, потрібно з'ясувати, що саме відбувається з газом на кожному етапі замкнутого процесу.~~ (Скориставшись газовими законами чи рівнянням Клапейрона, можна зробити висновок і про характер зміни об'єму газу на кожному з етапів.) Етап 1-2 — це ізотермічне розширення (температура постійна, тиск зменшується), етап 2-3 — ізобарне охолодження (тиск постійний, температура зменшується), етап 3-1 — ізохорне нагрівання (тиск збільшується прямо пропорційно до абсолютної температури газу).

Етап 1-2:  $T = \text{const}$ ,  $p$  — убуває,  $V$  — зростає (пропорційно до  $1/p$ ).

Етап 2-3:  $T$  — убуває,  $p = \text{const}$ ,  $V$  — убуває (пропорційно до  $T$ ).

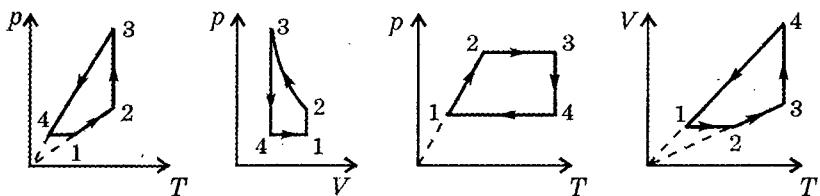
Етап 3-1:  $T$  — зростає,  $p$  — зростає (пропорційно до  $T$ ),  $V = \text{const}$ .

При побудові графіків у координатах  $V$ ,  $T$  і  $p$ ,  $V$  слід враховувати, що ці графіки повинні бути замкнутими (див. рисунок).



### До задачі 2.36

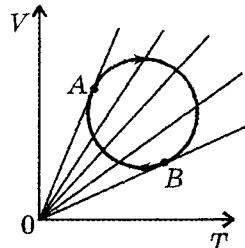
- 2.37.** Див. рисунок. **2.38.** Див. рисунок. **2.39.** У стані 1 об'єм газу менший. **Вказівка.** Проведіть ізохори через стани 1 і 2.



### До задачі 2.37

### До задачі 2.38

- 2.40.** ~~Задача~~ Проведемо через різні точки графіка ізобари (див. рисунок). Найбільшому тиску відповідає найнижча ізобара, тому найбільший тиск досягається в нижній точці торкання  $B$ . Найменший тиск відповідає верхній точці торкання  $A$ . При переході від точки  $A$  до точки  $B$  тиск газу зростає, а при переході від точки  $A$  до точки  $B$  тиск убуває.



- 2.41.** У стані 2; у стані 4;  $T_2 = 6T_4$ . **2.42.** Збільшиться на 3,3 кг.

- 2.43.** Густота вуглеводного газу більша в 1,57 раза. **2.44.** 160 г/м<sup>3</sup>.

- 2.45.** 9,2 кг. **2.46.** 40 см, 10 см, 50 см.

- 2.47.** 2,4 кг. ~~Задача~~ Повітряна куля піднімає Вінні-Пуха за умови, що вага витиснутого кулею зовнішнього (холодного) повітря дорівнює сумарній вазі теплого повітря в кулі і самого Вінні-Пуха:  $m_0 g = m_1 g + mg$ . Щоб знайти маси теплого і

холодного повітря, скористаємося рівнянням стану ідеального

$$\text{газу: } m_{0,1} = \frac{p_a VM}{RT_{0,1}}. \text{ Звідси дістаємо } m = \frac{p_a VM}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right).$$

**2.48.** Збільшиться в 1,08 раза. **2.49.** 690 кПа. **2.50.** Вправо, на 6 см.

**2.51.** 17,4 см. ~~Вказівка~~ Коли трубку виймають зі ртуті, повітря в ній ізотермічно розширюється від об'єму  $LS/2$  до об'єму  $(L - l)S$ , де  $S$  — площа перерізу трубки. Початковий тиск повітря в трубці дорівнює атмосферному, тобто  $\rho g H$ , де  $\rho$  — густина ртуті, а  $H = 0,75$  м. Кінцевий тиск повітря в трубці менший атмосферного на величину  $\rho gl$ . Відповідно до закону Бойля-Маріотта  $\rho g \cdot LS/2 = (\rho g - \rho gl)(L - l)S$ , відкіля  $l = \frac{H + L}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{H^2 + L^2} = 0,17$  м (другий корінь квадратного рівняння не має фізичного смыслу).

**2.52.** 416 кПа. *Вказівка.* Загальний тиск у балоні складається з тиску повітря при 453 К (скористайтесь рівнянням ізохорного процесу) і тиску пари води при тій же температурі (скористайтесь рівнянням стану ідеального газу). **2.53.** 0,36 кг/м<sup>3</sup>.

**2.54.** Температура спочатку збільшувалася, а потім зменшувалася; максимальній температурі відповідає середина відрізка на графіку; у 2,04 раза. ~~Вказівка~~ Початковий і кінцевий стани газу знаходяться на одній ізотермі (початкова і кінцева температури газу однакові). На початку процесу, зображеного на рисунку, газ переходив на ізотерми, що відповідають усе більш високій температурі. Ізотерма, що відповідає найвищій температурі, дотикається відрізка в його середині. Після проходження цього стану температура газу знижувалася. Скориставшись рівнянням Клапейрона, знаходимо відношення температур у станах A (середина відрізка) і

$$\text{в початковому стані 1: } \frac{T_A}{T_1} = \frac{p_A V_A}{p_1 V_1}.$$

**2.55.** 100 кПа ранком, 97 кПа ввечері.

~~Вказівка~~ Для ізотермічного процесу відповідно до закону Бойля-Маріотта  $p_a \cdot \frac{LS}{2} = \left( p_a - \frac{F}{S} \right) \cdot \frac{3LS}{4}$ . Звідси  $p_a = \frac{3F}{S}$ .

**2.56.** 3,3:1. **2.57.** 75 см рт. ст. (тут і в ряді інших задач відповідь зручно виразити в сантиметрах або міліметрах ртутного стовпа).

**2.58.** а) на 9 см; б) на 3,6 см.

**3.1.** 490 кПа. ~~Вказівка~~ Скористаємося основним рівнянням молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. Концентрація молекул

$n = N/V$ , масу молекули можна виразити через молярну масу

$$\text{вуглеводневого газу: } m_0 = M/N_A. \text{ Звідси } p = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{M}{N_A} \cdot \overline{v^2}.$$

- 3.2.** 460 м/с. **3.3.** 271 К. **3.4.** Зменшився б у 1,5 раза. **3.5.** а) середня кінетична енергія однакова; б) молекули азоту. **3.6.**  $6,2 \cdot 10^{-21}$  Дж. **3.7.** 299 К; 390 К. **3.8.**  $2,65 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

- 3.9.** Легше посудина з вологим повітрям.

~~Задача~~ У рівних об'ємах газів при одинакових температурах і тисках міститься однакова кількість молекул. Виходить, у вологому повітрі легкі молекули води просто замінюють таку ж кількість молекул азоту і кисню.

- 3.10.** 240 кПа. *Вказівка.* Густину газу дорівнює добутку  $n m_0$ .

- 3.11.** Наприклад, азоту або етилену. **3.12.** 540 м/с. **3.13.** Швидкість молекул азоту більша в 1,07 раза.

- 3.14.** а) Тиск у балоні А більший у 16 разів; б) тиск одинаковий.

~~Задача~~ а) Виразимо тиск газу через його масу, об'єм і середню квадратичну швидкість молекул:  $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{m}{3V} \overline{v^2}$ . З отриманого рівняння видно, що при рівних об'ємах і середніх квадратичних швидкостях тиск пропорційний до маси газу. б) Виразимо тиск газу через його масу, молярну масу, об'єм і середню кінетичну енергію молекул:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \overline{E_k} = \frac{2N_A}{3V} \cdot \frac{m}{M} \cdot \overline{E_k}.$$

У цьому випадку тиск пропорційний до кількості речовини.

- 3.15.**  $3,5 \cdot 10^{-9}$  м; у 12 разів.

- 3.16.** Тиск збільшився в 3 рази. ~~Задача~~ Скористаємося формuloю  $p = nkT$ . Відповідно до умови  $T$  зростає в 2 рази; при дисоціації кожної другої молекули концентрація  $n$  часток у газі зростає в 1,5 раза. Отже, тиск зростає в 3 раза.

- 3.17.** 15 мм. **3.18.** 2200 К. **3.19.** Кінцевий тиск дорівнює початковому.

*Вказівка.* Концентрація молекул газу в посудині не змінилася.

**3.20.**  $2p_0/3$ .

- 3.21.** 100 кПа. ~~Задача~~ Тиск газу прямо пропорційний до кількості молекул у балоні, а, отже, — до кількості речовини. Спочатку кількість речовини в балоні була 3 моль (1 моль водню і 2 моль кисню). Після реакції кількість речовини в балоні стала 2,5 моль

(1 моль водяної пари і 1,5 моль кисню). Таким чином, тиск зменшився в 1,2 раза. **3.22.** Рівняння мало б вигляд  $p = nm_0 \bar{v}^2$ .

**3.23.** 0,33 мм/с. ~~3.23. 0,33 мм/с.~~ Середня кінетична енергія хаотичного руху броунівської частки дорівнює середній кінетичній енергії поступального руху окремої молекули, тобто  $3kT/2$ . Звідси для середньої квадратичної швидкості броунівської частки дістаемо

$$\text{вираз } \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3kT}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}} = \frac{3}{2r} \sqrt{\frac{kT}{\pi \rho r}}$$

- 4.1.** При ізотермічному. **4.2.** 3 кДж. **4.3.** У внутрішню енергію. **4.4.** Збільшилася на 40 кДж. **4.5.** Збільшилася на 35 кДж. **4.6.** 40 Дж. **4.7.** Віддав 10 Дж. **4.8.** При ізотермічному розширенні. **4.9.** 300 Дж. **4.10.** 1,25 кДж. **4.11.** 40%. **4.12.** 25%; 1,2 МДж. **4.13.** 33%. **4.14.** 50%. **4.15.** Не більше 150 К. **4.16.** Обидва гази мають однакову внутрішню енергію. **4.17.** Гелій, у 50 разів. **4.18.** 75 кДж. **4.19.** Збільшилася в 1,25 раза. **4.20.** Для нагрівання повітря в надувній кульці. *Вказівка.* При нагріванні повітря в кульці його об'єм збільшується. **4.21.** У випадках б, г. **4.22.** У випадках а, б. **4.23.** Внутрішня енергія повітря в кімнаті не змінилася.

~~3.23. 0,33 мм/с.~~ Через витік повітря тиск у кімнаті не змінюється при нагріванні: тиск залишається рівним атмосферному (якщо уявити собі герметично закриту «кімнату», то навіть при невеликому нагріванні тиск підвищиться настільки, що звичайні шиби не витримають). Отже, маса  $m$  повітря в кімнаті зменшується. Внутрішня енергія повітря пропорційна до  $mRT/M$ , тобто (відповідно до рівняння стану ідеального газу) до добутку тиску повітря на об'єм кімнати. Але обидві ці величини при нагріванні не змінюються; виходить, внутрішня енергія повітря в кімнаті при нагріванні теж не змінюється! Всю енергію, що надходить від джерела тепла, уносить повітря, яке виходить назовні.

- 4.24.** Не зміниться. **4.25.** 831 Дж. **4.26.** 1,5 кДж. **4.27.** 2,1 кДж. **4.28.** а) 75 Дж; б) 82 Дж; в) 68 Дж. ~~3.28. а) 75 Дж; б) 82 Дж; в) 68 Дж.~~ Розширення повітря є ізобарним. При розширенні виконується робота  $A = p\Delta V$ . Зміна об'єму  $\Delta V = Sl$ . Тиск повітря в циліндрі у випадку а дорівнює атмосферному, у випадку б він більший атмосферного на величину  $mg/S$ , у випадку в — менший атмосферного на таку ж величину.

**4.29.** Збільшилася на 24 К. **4.30.** При ізобарному нагріванні гази, на відміну від рідин і твердих тіл, помітно розширяються.

**4.31.** а) 8,6 кДж; б) 6,1 кДж. ~~Припустимо~~ а)  $Q_p = c_p m \Delta T$ , де  $c_p$  — питома теплоємність водню при постійному тиску, що наводиться в довідкових таблицях; б) оскільки в довідкових таблицях не наведено значення питомої теплоємності водню при постійному об'ємі, необхідно скористатися наслідками з першого закону термодинаміки:  $Q_p = \Delta U + p \Delta V$ ,  $Q_V = \Delta U$ . Звідси  $Q_V = Q_p - p \Delta V = Q_p - m R \Delta T / M$ .

**4.32.** 7,5 кДж; 18,7 кДж. **4.33.** Відбувається практично адіабатне розширення газу, що супроводжується зниженням температури.

**4.35.** Наприклад, накачування повітря у велосипедну шину (у цьому випадку виконана над повітрям робота більша, ніж передана навколошньому середовищу кількість теплоти).

**4.36.** а, б) при швидкому стисканні. **4.37.** У 2,1 раза.

**4.38.** 900 км. **4.39.** Збільшиться.

**4.** 1. Водень. **4.41.** 40%. **4.42.** У  $5/3$  раза. **4.43.**  $c_p - c_V = R/M$ .

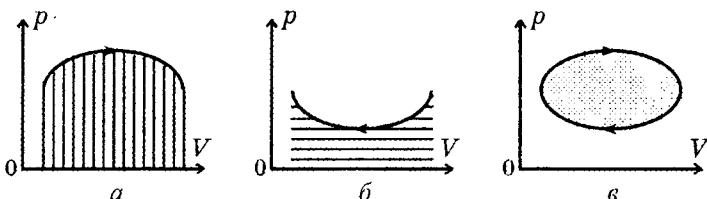
**4.44.** 177 К; 520 Дж. ~~Припустимо~~ Повітря під поршнем знаходиться під постійним тиском  $p = p_a + 4m_2g/\pi d^2$ . Робота повітря при нагріванні  $A' = \frac{m_1}{M} R \Delta T = p \Delta V$ . З урахуванням співвідношення

$$\Delta V = \frac{1}{4} \pi d^2 h \quad \text{дістаємо} \quad \Delta T = \frac{Mh}{Rm_1} \left( \frac{\pi d^2 p_a}{4} + m_2 g \right). \quad \text{Необхідна}$$

кількість теплоти  $Q = c_p m_1 \Delta T$ .

**4.45.** Наприклад, кисень. **4.46.**  $12 p_0 V_0$ ;  $42 p_0 V_0$ .

**4.47.** а) від'ємну; б) додатну. ~~Припустимо~~ б) Розіб'ємо процес на два етапи: розширення (див. рис. а) і стискання (див. рис. б).



На першому етапі газ виконує додатну роботу, чисельно рівну площі області з вертикальним штрихуванням; на другому етапі газ виконує від'ємну роботу, модуль якої чисельно дорівнює площі області з горизонтальним штрихуванням. Площа, заштрихована на

рис. *a*, більша площа, заштрихованої на рис. *b*. Отже, у циклічному процесі газ виконує додатну роботу, рівну площі усередині графіка (див. рис. *c*). Таким чином, газ виконує за цикл додатну роботу, якщо в координатах  $p, V$  цикл проходиться за годинниковою стрілкою.

**4.48.** Етап 1-2:  $A' = 0, Q = 3p_0V_0$ . Газ одержував тепло.

Етап 2-3:  $A' = 12p_0V_0, Q = 30p_0V_0$ . Газ одержував тепло.

Етап 3-4:  $A' = 0, Q = -15p_0V_0$ . Газ віддавав тепло.

Етап 4-1:  $A' = -4p_0V_0, Q = -10p_0V_0$ . Газ віддавав тепло.

**4.49.** 22%.  ККД циклу  $\eta = \frac{A'}{Q} \cdot 100\%$ . Робота газу за

цикл чисельно дорівнює площи фігури усередині графіка циклу в координатах  $p, V$ :  $A' = 4p_0V_0$  ( $p_0, V_0$  — відстані між лініями сітки на рисунку). Оскільки газ одержував тепло на ділянках 1-2 і 2-3,

$$Q = Q_{13} = \Delta U_{13} + A'_{13} = \Delta U_{13} + A'_{23} = \frac{3}{2}vR(T_3 - T_1) + 6p_0V_0 = \\ = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_1V_1) + 6p_0V_0 = 18p_0V_0.$$

**4.50.** 30 л. **4.51.** 4,4 т.

**5.2.** Сапфір, на відміну від скла, має кристалічну структуру.

**5.5.** 1,9 кН. **5.6.** 98 МПа;  $8,2 \cdot 10^{-4}$ . **5.7.** Не витримає. **5.8.** 196 МПа.

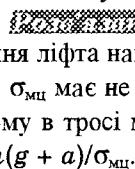
**5.9.** 290 МПа;  $1,45 \cdot 10^{-3}$ ; 1,45 мм. **5.13.** При розпушуванні руйнуються капіляри, по яких вода піднімається до поверхні і випаровується.

**5.14.** Не завжди (наприклад, полікристали ізотропні).

**5.15.** Монокристал утворюється при наявності одного центра кристалізації. **5.17.** Найкраще «працюють» на вигин профілі *b, e, δ*; на стискання всі профілі «працюють» однаково.

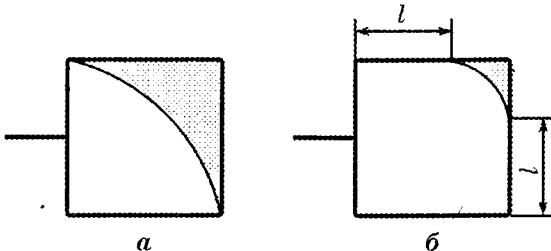
**5.18.** Указані тіла зазнають деформації розтягу або стискання, а не вигину. **5.19.** Щоб стінки швидко прогрівалися на всю товщину їх у них не виникали механічні напруги. **5.20.** 3,8 МПа.

**5.21.** У другому випадку відносне видовження дроту менше в 10 разів, а абсолютне видовження — у 100 разів. **5.22.** 200 ГПа.

**5.23.** Не менше  $1,1 \text{ см}^2$ .  Сила  $F$  натягу троса найбільша, коли прискорення ліftа направлене вгору:  $F = m(g + a)$ . Границя міцності сталі  $\sigma_{\text{мц}}$  має не менше ніж у  $n$  разів перевищувати виникаючу при цьому в тросі механічну напругу  $\sigma = F/S$ . Звідси знаходимо:  $S \geq n m(g + a)/\sigma_{\text{мц}}$ .

- 5.24.** 6,4 т. **5.25.** 8,4 мм. **5.26.** 3,8 км. **5.27.** 7,5 км. **5.28.** Скло повільно стікає вниз (аморфні тіла поводяться як дуже в'язкі рідини).
- 5.30.** 3,7 мкДж. **5.32.** Зменшується.
- 5.33.** Тирса буде «роздігатися» від шматочка мила і «збігатися» до шматочка цукру. **5.34.** 3,3 мН. **5.35.** Гас буде обволікати пробірку зсередини і ззовні; ртуть збереться в краплю.
- 5.38.** Склянка а. **5.40.** Капіляри в шматку крейди значно тонші, ніж у губці. **5.43.** 98 мН. **5.44.** 0,11 Н/м.
- 5.45.** 4,2 мм. На кубик, що плаває, діють напрямлені вниз сила тяжіння  $mg$  і сила поверхневого натягу  $4\sigma a$ , а також напрямлена вгору архімедова сила  $\rho_B g a^2 h$ . З умови рівноваги кубика дістаемо  $h = \frac{mg + 4\sigma a}{\rho_B g a^2}$ . Зазначимо, що за умови відсутності сили поверхневого натягу глибина занурення нижньої грані кубика була б на 1 мм меншою.
- 5.46.** Зменшиться на 3 мм. **5.47.** 52 мН/м. **5.49.** 1,5 мм.
- 5.50.** 15 мг. **5.51.** 1,6 см. **5.52.** На 1,5 см.
- 5.53.** в — спирт, б — мильний розчин. **5.54.** 19 мм.
- 5.56.** Не менше  $37 \text{ cm}^2$ ; на 4,8 мкм.
- 5.57.** Половина. Якщо маса вантажу дорівнює  $m$ , а жорсткість дроту  $k$ , то видовження дроту під дією підвішеного вантажу  $x = mg/k$ . Потенціальна енергія вантажу зменшується на величину  $mgx = m^2g^2/k$ , а потенціальна енергія розтягнутого дроту  $kx^2/2 = m^2g^2/(2k)$ . Таким чином, половина втраченої вантажем потенціальної енергії переходить у потенціальну енергію розтягнутого дроту. Інша половина втраченої вантажем потенціальної енергії переходить у внутрішню (наприклад, при загасанні виникаючих коливань вантажу).
- 5.58.** У «пучку» навантаження ніколи не розподіляється між усіма дротами порівну (ті дроти, довжина яких трохи більша, ніж у інших, зовсім не розтягнуті). Тому спочатку може порватися дріт, на який припадає найбільше навантаження, потім прийде черга наступного дроту і т.д. У троє між дротами діє велика сила тертя, усі дроти розтягаються практично однаково і навантаження розподіляється між ними порівну.
- 5.59.** Радіус краплі не більше 3-4 мм. **5.60.** Через великий поверхневий натяг ртуть не підтікає під пластинку, що лежить на гладенькому дні кювети. Тому на пластинку не діє архімедова сила.
- 5.61.** Вода змочує речовину А і не змочує речовину Б. Унаслідок цього до купинок речовини Б прилипають бульбашки газу.

**5.62.** Див. рис. а, б ( $l = 5,3$  см). **5.63.** Не більше 1,5 мм.



*До задачі 5.62*

**5.64.** Збільшилася на 4,7 мК.

**5.65.** Приблизно 3 мм. ~~Задача 5.65~~ Скористаємося методом розмірностей. Значення  $a$  може залежати тільки від трьох величин:  $\rho$ ,  $\sigma$  і  $g$ . Припустимо, що ця залежність має вигляд  $a = \alpha \cdot \sigma^x \cdot \rho^y \cdot g^z$ . Тут  $\alpha$  — безрозмірний коефіцієнт порядку одиниці, а  $x$ ,  $y$ ,  $z$  — невідомі показники ступеню. Запишемо одиниці виміру величин, що входять у праву частину формули:

$$[\sigma] = \frac{H}{m} = \frac{\text{кг}}{\text{с}^2}, [\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, [g] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Очевидно, кілограми і секунди}$$

не повинні ввійти в остаточний результат. Це можливо тільки при

$$y = z = -x, \text{ тобто коли } a = \alpha \cdot \left( \frac{\sigma}{\rho g} \right)^x. \text{ Оскільки } \left[ \frac{\sigma}{\rho g} \right] = \text{м}^2,$$

одержуємо  $x = 0,5$ ; таким чином,  $a \approx \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$ .

**5.66.**  $p = p_a - 2\sigma/R$ . ~~Задача 5.66~~ Тиск під поверхнею рідини менший атмосферного на величину  $\Delta p = \rho gh$ , де  $h = 2\sigma/(\rho g R)$  — висота підйому рідини в капілярі. Звідси  $\Delta p = 2\sigma/R$ . Цей тиск (його називають лапласовим) створюється сферичною поверхнею рідини.

**5.67.**  $h = \frac{2\sigma}{\rho g d}$ ;  $p = p_a - 2\sigma/d$ . **5.68.** а) 101 кПа; б) 115 кПа.

**5.69.** Н: 0,06%. *Вказівка.* Надлишковий тиск усередині мильного пузиря створюють дві сферичні поверхні рідини.

**6.4.** 100%. **6.5.** 60%. **6.6.** 51%. **6.7.** 66%. **6.8.** 67 г/м<sup>3</sup>. **6.9.** 71%.

**6.10.** 1 кПа. **6.11.** 13 °С. **6.12.** 17 °С. **6.13.** 0,87 г.

**6.14.** 74%. Густини  $\rho$  водяної пари дорівнює густині на-  
сичної пари при 15 °C (можна вважати, що при охолодженні гус-  
тина пари практично не змінюється). Тоді відносна вологість по-  
вітря  $\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\%$ , де  $\rho_n$  — густина насичної пари при 20 °C.

**6.15.** До 3 °C. **6.16.** Роса випаде. **6.17.** 2,5 г. **6.18.** 3 кг.

**6.19.** Легкоплавкий матеріал захищає відсік, який спускається, від  
перегріву при посадці на планету, що має атмосферу.

**6.23.** Відбувається конденсація водяної пари, коли тепле повітря сти-  
кається з холодними стеклами окулярів.

**6.25.** Відносна вологість повітря зменшувалася.

**6.26.** Вказівка. Парциальний тиск водяної пари в приміщенні і на ву-  
лиці приблизно одинаковий. **6.27.** Так (пара буде виходити з кухні  
на вулицю). **6.28.** Іній утворюється на внутрішньому боці шибки в  
результаті перетворення водяної пари в кристали льоду.

**6.29.** Вода буде одночасно кипіти і замерзати.

**6.30.** При 15 °C. Відповідно до показань психрометра  
температура повітря 20 °C, а відносна вологість 74%. Густина *на-  
сичної* водяної пари при 20 °C дорівнює 17,3 г/м<sup>3</sup>; отже, густина  
водяної пари в повітрі  $0,74 \cdot 17,3 \text{ г/м}^3 = 12,8 \text{ г/м}^3$ . Роса випаде при  
температурі, при якій водяна пара з такою густиною є насичною,  
тобто при 15 °C.

**6.31.** а) на 3 м; б) вода не буде підніматися.

**6.32.** 0,58 кг/м<sup>3</sup>. **Вказівка.** При температурі кипіння тиск насичної пари  
дорівнює зовнішньому тиску. **6.33.** До 70 кПа; до 12 кПа.

**6.34.** Більше 125 г. **6.35.** 415 г. **6.36.** 0,05 г. **6.37.** У 0,29 мм<sup>3</sup>.

**6.38.** При 14 °C. **6.39.** 59%. **6.40.** 16 °C і 11 °C. **6.41.** 14 °C.

**6.42.** 470 Дж/(кг · К). **6.43.** 0,5 кг. **6.44.** 0,43 кг. **6.45.** 5,5 хв.

**6.46.** На 0,4 °C. **Вказівка.** Із закону збереження імпульсу випли-  
ває, що після зіткнення кулі будуть рухатися зі швидкістю  $v_0/2$ .  
Зміну температури куль  $\Delta t$  можна знайти, скориставшись законом  
збереження енергії:  $2mc\Delta t = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{2m(v_0/2)^2}{2}$ , звідки  $\Delta t = \frac{v_0^2}{8c}$ .

Тут  $c$  — питома теплоємність свинцю.

**6.47.** На 230 К. **6.48.** 38 км.

**6.49.** Не більше 0,38 кг. **Вказівка.** Найбільше можливе значення  
маси льоду відповідає випадку, коли вода охолоджується до 0 °C.  
У цьому випадку рівняння теплового балансу приймає вигляд

$\lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}}m_{\text{в}}(0^{\circ}\text{C} - t_{\text{в}}) = 0$ , відкіля  $m_{\text{л}} = c_{\text{в}}m_{\text{в}}t_{\text{в}}/\lambda$ . Тут  $\lambda$  — питома теплота плавлення льоду.

**6.50.** 0,85 кг.

**6.51.** ~~Відповідь~~ Хоча вода в кухлі, що плаває, нагріється до температури кипіння, для процесу кипіння цього недостатньо: необхідне *подальше* підведення тепла, а для цього — теплообмін з *більш нагрітим* тілом. Вода в каструлі кипить, одержуючи тепло від дна, температура якого вище температури кипіння; однак вода в каструлі не може служити нагрівачем для води в кухлі. Тому вода в кухлі кипіти не буде.

**6.52.** 16,5 г. **6.53.** До  $47^{\circ}\text{C}$ .

**6.54.** Якщо деталь алумінієва, буде потрібна в 1,6 раза більша кількість теплоти. **6.55.** Для плавлення сталевого бруска буде потрібна в 2,2 раза більша кількість теплоти. **6.56.** 120 г.

**6.57.** Переохолодження крапельок можливе завдяки відсутності в них центрів кристалізації.

**6.58.** Густинна сухого повітря більша на  $10,6 \text{ г}/\text{м}^3$ .

~~Відповідь~~ Позначимо густину насиченої водяної пари при заданій температурі  $p_{\text{n}}$ . При переході від вологого повітря до сухого концентрація молекул не змінюється, тому можна вважати, що кожну молекулу водяної пари заміняє «молекула повітря». У результаті такої заміни маса молекул збільшується в  $29/18$  раза (молярна маса повітря саме в стільки разів перевищує молярну масу води). Отже, густинна сухого повітря більша на  $11p_{\text{n}}/18$ .

**6.59.** Не менше 31 см. **6.60.** 360 кПа.

**6.61.** 50%. ~~Відповідь~~ Уже при першому стисканні тиск виріс *менше*, ніж у чотири рази — виходить, пара стала насиченою і відбулася часткова її конденсація. Тому тиск пари  $p_{\text{n}}$  після першого і другого стискання одинаковий. Позначимо початковий парціальний тиск пари  $p$ , а повітря  $p_{\text{n}}$ . Парціальний тиск повітря зміновався при ізотермічному стисканні обернено пропорційно до об'єму: після першого стискання він став рівним  $4p_{\text{n}}$ , а після другого  $8p_{\text{n}}$ . Повний тиск вологого повітря спочатку дорівнював  $p + p_{\text{n}}$ , після першого стискання став  $p_{\text{n}} + 4p_{\text{n}}$ , а після другого  $p_{\text{n}} + 8p_{\text{n}}$ . Відповідно до умови

$$p_{\text{n}} + 4p_{\text{n}} = 3(p + p_{\text{n}}), \quad p_{\text{n}} + 8p_{\text{n}} = 5(p + p_{\text{n}}).$$

Виключаючи з цих рівнянь  $p_{\text{n}}$ , знаходимо  $p = p_{\text{n}}/2$ .

**6.62.** 1,5 см.

**6.63.** 0 °C. Вода, остигаючи до 0 °C, може передати льоду кількість теплоти  $Q_1 = m_{\text{в}}c_{\text{в}}t_{\text{в}} = 126$  кДж. Для плавлення всього льоду необхідна кількість теплоти  $Q_2 = \lambda m_{\text{л}} = 165$  кДж. Оскільки  $Q_2 > Q_1$ , повного плавлення льоду не відбудеться, у посудині перебуватимуть вода і лід при температурі 0 °C.

**6.64.** 46 °C.

**7.4.** 80 мКн. **7.5.** 30 нКл. **7.6.** 2,3 мкН. **7.7.**  $2,1 \cdot 10^9$ . **7.9.** 2 кН/Кл.

**7.10.** 4 мКн. **7.11.** 0,98 нКл. **7.12.**  $3,8 \cdot 10^{12}$  м/с<sup>2</sup>.

**7.13.** Зменшується в 9 разів. **7.14.** 56 кН/Кл; 14 кН/Кл.

**7.15.** У  $4,2 \cdot 10^{42}$  разів.

**7.16.** 9,6 мКл. Кількість молекул у крапельці води

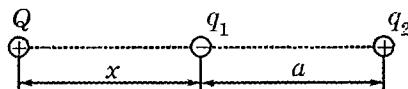
$$N = \frac{m}{M} N_A. \text{ Заряд крапельки буде } q = 10^{-3} \frac{m}{M} e N_A. \text{ Зрозуміло, отримане значення заряду неправдоподібно велике (уже при набагато меншому заряді кулонівські сили розірвуть крапельку).}$$

**7.17.**  $8,3 \cdot 10^5$  Н. **7.18.**  $8,6 \cdot 10^{-13}$  Кл.

**7.19.** Сила натягу нитки в точці A дорівнює 0,39 мН; у точці B для одноимennих зарядів 0,33 мН, а для різномінних 66 мкН. **7.20.** 4,2 мкКл.

**7.21.** На відстані 0,6 м від меншого зарада і 1,2 м від більшого; 0,8 мкКл.

Заряд  $Q$  слід помістити в точку, в якій напруженість поля двох перших зарядів дорівнює нулю:  $\hat{E}_1 + \hat{E}_2 = 0$ . Ця точка лежить на прямій, що проходить через заряди 1 і 2, причому поза з'єднуючим зарядом відрізком (у точках на цьому відрізку вектори  $\hat{E}_1$  і  $\hat{E}_2$  напрямлені в один бік). Щоб виконувалася умова  $E_1 = E_2$ , шукана точка повинна лежати близче до меншого за модулем заряду (див. рисунок).



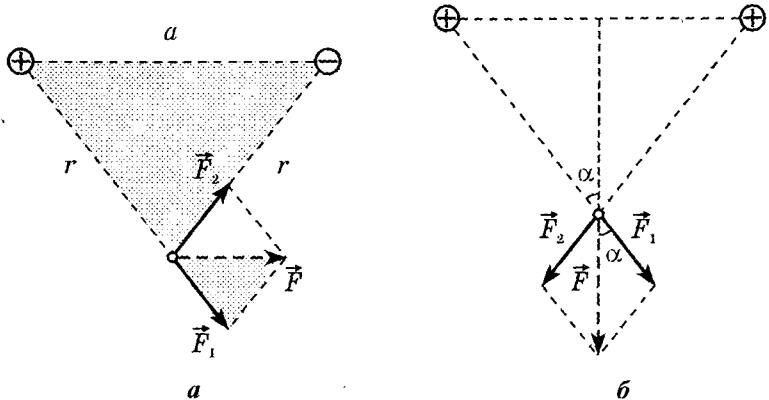
Зі співвідношення  $k \frac{q_2}{(a+x)^2} = k \frac{q_1}{x^2}$  одержуємо  $x = a$ . Знайдемо

тепер заряд  $Q$ . Для цього можна використати умову рівноваги заряду  $q_1$ : він знаходиться посередині між зарядами  $Q$  і  $q_2$ , звідки випливає  $Q = q_2$ .

**7.22.** На відстані 15 см від меншого заряду і 45 см від більшого.

**7.23.** а) 0,11 мН; б) 0,14 мН. Силу  $F = \hat{F}_1 + \hat{F}_2$  можна знайти, скориставшись правилом паралелограма (див. рис. а). Пара-

лелограм сил являє собою ромб. З подібності виділених на рисунку трикутників одержуємо  $F = \frac{a}{r} \cdot F_1 = k \frac{Qqa}{r^3}$ . б) Див. рис. б.  $F = 2F_1 \cos \alpha$ , де  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{4r^2 - a^2}/(2r)$ .



$$7.24. T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2}.$$

$$7.26. Q = -\frac{q}{\sqrt{3}}.$$

$$7.27. 11,5^\circ.$$

7.28. 0,2 МН/Кл.

7.29. Див. рисунок.

7.30. а) на відстані 4 см від меншого заряду і 8 см від більшого; б) на відстані 12 см від меншого заряду і 24 см від більшого.

7.31. а) 115 кН/Кл; б) 86 кН/Кл.

7.32. У точці, що лежить на 15 см нижче заряду.

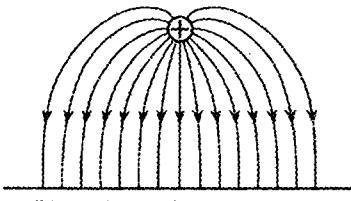
7.33. 15 кН/Кл (у точках A і C); 21 кН/Кл (у точці B); 3 кН/Кл (у точці D).

$$7.34. T = \frac{q^2}{\pi\epsilon_0 l^2}.$$

7.35. У випадку а маси кульок одинакові, у випадку б маса кульки 2 більша; про співвідношення зарядів кульок нічого сказати не можна. 7.36.  $9 \cdot 10^{-19}$ ; 1,9 мкг.

7.37. Модулі зарядів 2,7 нКл і 0,67 нКл. 7.39. Додатний.

7.40. Неправильне (якщо силові лінії не прямолінійні).



До задачі 7.29

**7.41.** 12 см. Після розрядки однієї з кульок відштовхування зміниться притяганням, кульки стикнуться, при цьому заряд  $q$  однієї з них розділиться між кульками порівну. У результаті знову виникне відштовхування, але слабкіше початкового. Знайдемо характер залежності відстані між кульками від заряду

кульок. З формул  $F_k = k \frac{q^2}{a^2} = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$  і  $a = 2l \sin \alpha$  (див. рисунок) при  $\alpha \ll 1$ ,

одержуємо  $a = \left( \frac{2klq^2}{mg} \right)^{1/3}$ . Заміняючи  $q$

на  $q/2$ , знаходимо  $b = \frac{a}{4^{1/3}}$ .

**7.42.** 710 км/с;  $2,3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$ .

**8.1.** 5 кВ. **8.2.** -2 нКл. **8.3.** 0,3 мкДж. **8.4.** -0,8 мкДж. **8.5.** 2 кВ.

**8.6.** -10 кВ. **8.7.** -10 мкДж; збільшилася на 10 мкДж. **8.8.** 15 кВ.

**8.9.**  $5,9 \cdot 10^5$  м/с;  $1,9 \cdot 10^7$  м/с. **8.10.** 2 кеВ;  $3,2 \cdot 10^{-16}$  Дж.

**8.11.** На зовнішній поверхні збільшилася в 2 рази; на внутрішній — зменшилася до нуля. **8.12.** 86 кВ/м. **8.13.** 6 см. **8.14.** 19 нКл.

**8.15.** Наприклад, піднести до кулі заряджене тіло.

**8.16.**  $\varphi_A > \varphi_B$ ,  $E_A > E_B$ ;  $\varphi_C > \varphi_D$ ,  $E_C < E_D$ .

**8.17. Вказівка.** Силові лінії перпендикулярні до еквіпотенціальних поверхонь і напрямлені в бік зменшення потенціалу.

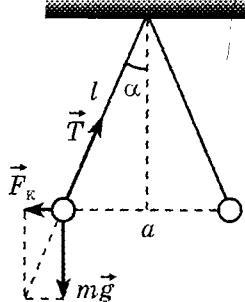
**8.18.** У всіх випадках робота однаакова. **8.19.** 0,16 мм/с. **8.20.** 280 В.

**8.21.** -68 В. **8.22.**  $1,1 \cdot 10^8$  м/с.

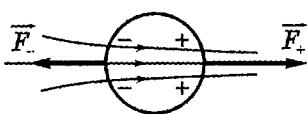
**8.23.** У випадку б. **Вказівка.** Слід урахувати перерозподіл заряду по поверхні кожної кульки.

**8.24.** У випадках  $a$  і  $b$  кулька втягується в область більш сильного поля, у випадку  $c$  залишається нерухомою.

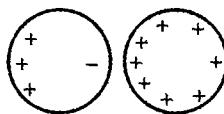
**Задача 8.25** Електричне поле викликає в кульці поділ зарядів. Праворуч на поверхні з'являється додатний заряд  $q$ , ліворуч — рівний йому за модулем від'ємний заряд. Отже, в полі на кульку діє сила  $\vec{F} = \hat{\vec{F}}_+ + \hat{\vec{F}}_- = q(\hat{\vec{E}}_+ + \hat{\vec{E}}_-)$ . Тут  $\hat{\vec{E}}_+$  і  $\hat{\vec{E}}_-$  — напруженості поля в області концентрації відповідно додатного і від'ємного зарядів. На рисунку як приклад показано випадок  $a$ . У цьому випадку  $E_+ > E_-$  (праворуч лінії напруженості згушаються), тому



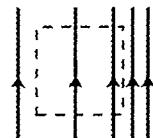
сила  $F$  направлена вправо. Міркуючи аналогічно, одержуємо, що у випадку б вона направлена вліво. Таким чином, в обох випадках кулька втягується в область більш сильного поля (наприклад, притягється до заряду, що створює поле). В однорідному полі (випадок в)  $F = 0$ . Проведене міркування справедливе як для провідників, так і для діелектриків (у провіднику поділ зарядів відбувається внаслідок електростатичної індукції, у діелектрику — внаслідок поляризації).



До задачі 8.24



До задачі 8.26



До задачі 8.27

**8.25.** Унаслідок поділу зарядів у електричному полі.

**8.26.** Можуть, якщо вони розташовані на невеликій відстані і заряд одного тіла набагато перевищує заряд іншого (див. рисунок).

**8.27.** Не можна: робота такого поля при переміщенні заряду по замкнuttій траекторії (див. рисунок) могла б бути відмінною від нуля.

**8.30.** Напруженість поля збільшиться, потенціал зменшиться.

**8.31.** 25 см. **8.32.** 52 нс; 0,94 м. *Вказівка.* Протон рухається по параболі (подібно тілу, кинутому під кутом до горизонту).

**8.33.**  $\phi = 3,6 \text{ кВ}$ . Якщо в полі даного заряду знаходиться інший заряд  $q$ , то його потенціальна енергія  $W_p = q\phi$ , а робота кулонівських сил при переміщенні заряду  $A = -\Delta W_p = q(\phi_1 - \phi_2)$ . При малій зміні відстані між зарядами (від  $r$  до  $r + \Delta r$ ) можна вважати, що кулонівська сила майже не змінюється:

$$A \approx \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \Delta r \approx \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r(r + \Delta r)} \cdot \Delta r \approx q \left( \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 (r + \Delta r)} \right).$$

Неважко перевірити, що ця формула справедлива незалежно від знаків обох зарядів. Зіставляючи два отримані вирази для роботи і з огляду на те, що при  $r \rightarrow \infty$  потенціальну енергію приймають рівною нульо, дістаемо  $\phi = Q/(4\pi\epsilon_0 r)$ . Зазначимо, що потенціальна енергія взаємодії зарядів  $W_p = Qq/(4\pi\epsilon_0 r)$  додатна для одноіменних зарядів (тобто у випадку відштовхування) і від'ємна для різномінних зарядів.

**8.34.** 18 кВ; 18 кВ. **8.35.** Потенціал меншої кулі вищий.

**8.36.** 0,13 нКл; **8.37.** 51 кВ. **8.38.** -0,21 нКл.

**8.39.**  $E = 0$ ,  $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ . **8.40.**  $\Delta q = 19$  нКл. *Вказівка.* Перерозподіл

заряду продовжується, поки потенціали куль не зрівняються.

**8.41.** 3 м/с. **8.42.** 9,2 мм.

**8.43.** 1500 кг/м<sup>3</sup>. ~~Задача~~ На рисунку

показано сили, що діють на одну з кульок після занурення в машинне масло. З умови рівноваги одержуємо співвідно-

шення  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{\text{км}}}{mg - F_A}$ . Тут  $F_{\text{км}}$  — сила

кулонівського відштовхування в маслі,  $F_A$  — архімедова сила. У повітрі архімедова сила практично відсутня, а кулонівська сила збільшується в  $\epsilon$  разів ( $\epsilon$  — діелектрична проникність масла);

тому  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\epsilon F_{\text{км}}}{mg}$ . Звідси  $mg = \frac{\epsilon F_A}{\epsilon - 1}$ .

З огляду на співвідношення  $m = \rho V$  і

$F_A = \rho_m gV$ , знаходимо  $\rho = \frac{\epsilon \rho_m}{\epsilon - 1}$ . Тут

$\rho_m$  — густинна машинного масла.

**9.1.** а) 20 нКл; б) 0. **9.2.** Неправильне. **9.5.** 10 мкФ. **9.6.** 50 мкКл.

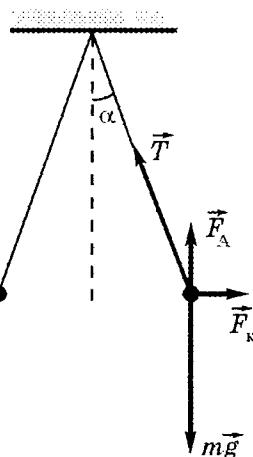
**9.7.** 2 В. **9.8.** Збільшиться в 3,5 раза. **9.9.** 160 пФ; 48 нКл. **9.10.** 300 В.

**9.11.** 1,1 МВ/м. **9.12.** 5 нКл.

**9.13.** а) Заряд і напруженість поля зменшаться в 2 рази, різниця потенціалів не зміниться. б) Заряд і напруженість поля не зміняться, різниця потенціалів збільшиться в 2 рази. **9.14.** Заряд не зміниться, напруга зменшиться в 2 рази. **9.15.** 425 нКл.

**9.16.** а)  $C = C_1 + C_2$ ; б)  $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ .

~~Задача~~ а) Ємність батареї  $C = q/U$ . Загальний заряд батареї  $q = q_1 + q_2 = C_1 U + C_2 U$  (напруга на кожному конденсаторі така сама, як на батареї), звідки  $C = C_1 + C_2$ . б) У цьому випадку заряд кожного з конденсаторів дорівнює загальному заряду батареї. Напруги на конденсаторах  $U_1 = q/C_1$ ,  $U_2 = q/C_2$ ; на батареї  $U = U_1 + U_2 = q(C_1 + C_2)/C_1 C_2$ ,  $C = q/U = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ .



**9.17.** 5 мкФ; 1,2 мкФ. **9.18.**  $q = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$ ;  $q_A = q$ ;  $q_A + q_B = 0$ .

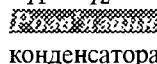
**9.19.** 11 мДж/м<sup>3</sup>. **9.20.** 0,37 Дж/м<sup>3</sup>. **9.21.** 2 мкФ.

**9.22.** Не зміниться; збільшиться в 1,5 раза. **9.23.** 250 пФ.

**9.24.**  $q_1 = 30$  мкКл,  $q_2 = 12$  мкКл,  $q_3 = 18$  мкКл.

**9.25.**  $C_0 = C_1$ . *Вказівка.* Потенціали точок A і B однакові, включений між цими точками конденсатор не заряджений. Якщо його вилучити, ємність батареї не зміниться.

**9.26.**  $q_1 = q_2 = CU/2$ ,  $q_3 = q_4 = 4CU/5$ ;  $\varphi_D - \varphi_E = -0,3U$ .

 Ємність верхньої гілки кола  $C/2$ , заряди на конденсаторах цієї гілки  $q_1 = q_2 = CU/2$ . Ємність нижньої гілки

$$\text{кола } C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{4C}{5}, \text{ заряди конденсаторів } q_3 = q_4 = 4CU/5.$$

Знайдемо напруги на конденсаторах 1 і 3:  $U_1 = q_1/C_1 = U/2$ ,  $U_3 = q_3/C_3 = 4U/5$ . Оскільки  $U_1 = \varphi_D - \varphi_A$  і  $U_3 = \varphi_E - \varphi_A$ , дістамо  $\varphi_D - \varphi_E = U_1 - U_3 = -0,3U$ .

**9.27.** а) 0,6C; б) 3C; в) 5C/3; г) C.

**10.3.** 8 А. **10.4.**  $1.8 \cdot 10^5$  Кл. **10.5.** Від екрана. **10.6.**  $6,25 \cdot 10^{14}$ .

**10.7.** 30 м. **10.9.** 11 В; 240 Ом. **10.10.** 18 Ом; 18 Ом.

**10.11.** 20 Ом; послідовно. **10.12.** 5 кОм; 1,2 кОм. **10.13.** 13,5 А.

**10.14.** 4 кОм, 6 кОм, 8 кОм, 12 кОм, 18 кОм, 24 кОм, 36 кОм.

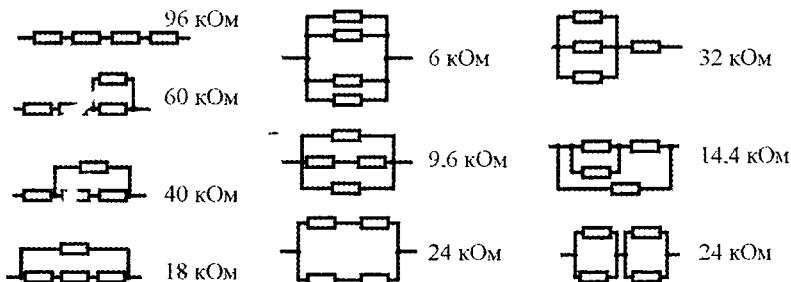
**10.16.** Можливий. **10.17.** 12 А.

**10.18.**  $U_1 = U_3 = 10$  В,  $U_2 = 20$  В,  $I_1 = I_3 = 1$  А,  $I_2 = 2$  А.

**10.19.**  $I_1 = I_5 = 4$  мА,  $I_2 = I_4 = I_6 = 1$  мА,  $I_3 = 3$  мА.

**10.20.** а) 4 Ом; б) 6 Ом.

**10.21.**  $l = \sqrt{mR/(pd)} = 340$  м;  $S = \sqrt{\rho m/(dR)} = 0,1$  мм<sup>2</sup>. Тут  $\rho$ ,  $d$  — відповідно питомий опір і густинна міді. **10.22.** Усього можна отримати 15 значень опору. На рисунку показано з'єднання 4 резисторів. Опори 8 кОм, 12 кОм, 16 кОм, 24 кОм, 36 кОм, 48 кОм, 72 кОм можна отримати, використовуючи не більше трьох резисторів.

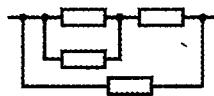


**10.23.** 2 Ом. **10.24.** 300 В.

**10.25.** 6,65 см. Якщо при повній силі струму в колі  $I$  у гальванометрі йде струм  $I_r$ , то сила струму в шунті  $I_{ш} = I - I_r$ .

$$\text{Зі співвідношень } I_r R_r = I_{ш} R_{ш} \text{ і } R_{ш} = \rho l / S \text{ дістаємо } l = \frac{S I_r R_r}{\rho(I - I_r)}.$$

**10.26.** 2,46 кОм. **10.27.**  $R = 61,2$  Ом;  $\Delta R = 1,2$  Ом;  $\varepsilon_R = 0,02$ .



**10.28.** Чотири резистори (див. рисунок).  
**10.29.** а) 333 Ом; б) 600 Ом; в) 1 кОм.

**11.1.** Неправильне. **11.2.** Повна робота кулонівських сил дорівнює нулю. **11.4.** 120 Дж.

*До задачі 10.28*

**11.5.** 1 А; 5,5 В. **11.6.** 8 А; 92 Вт. **11.7.** 24 А. **11.8.** 14 м.

**11.9.** а)  $P_1 = 4P_2$ ; б)  $P_2 = 4P_1$ . **11.10.** а) 180 Вт; б) 960 Вт.

**11.11.** 73,5%. **11.12.** 0,35 А. **11.14.** При опорі зовнішнього кола, який дорівнює внутрішньому опору джерела. **11.15.** 5 В; 1 Ом.

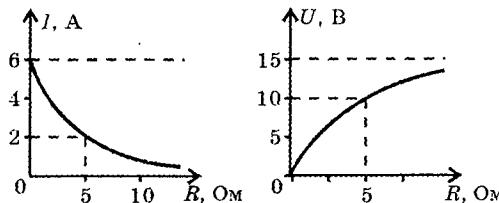
**11.16.** 18 В; 4 Ом. **11.17.** 37,5 В; 3,75 Ом. **11.18.** 5,5 Ом; 0,5 Ом.

**11.19.**  $U = 30$  В;  $I_1 = 3,75$  А;  $I_2 = 1,25$  А. **11.20.** Опір зовнішнього кола  $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ , сила струму в колі  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ .

Напруга в колі  $U = IR$ ,  $I_1 = U/R_1$ ,  $I_2 = U/R_2$ .

**11.20.** Показання амперметра збільшиться, а вольтметра — зменшиться.

**11.21.** а) 8 В; б) 4 В. **11.22.** 55 В; 45 В. **11.23.** Див. рисунок.



*До задачі 11.23*

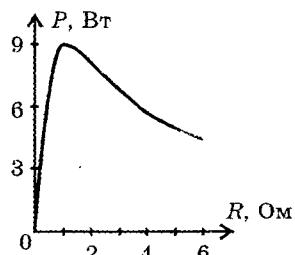
**11.24.** 0,1 А; 14,6 В. **11.25.** а) 4,5 В; 0,9 Ом; б) 1,5 В; 0,1 Ом.

**11.26.** При  $R = 1$  Ом. **11.27.** Сила

струму  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ . Потужність струму в реостаті

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{(\sqrt{R} + r/\sqrt{R})^2}.$$

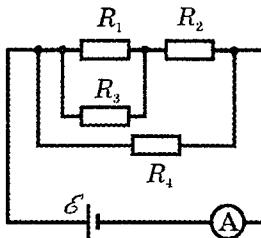
Значення потужності максимальне, коли знаменник приймає мінімальне значення.



Скористаємося нерівністю, справедливою для всіх додатних значень  $a$  і  $b$ :  $a + b \geq 2\sqrt{ab}$ , причому рівність досягається лише при  $a = b$ . З цієї нерівності випливає, що максимальне значення потужності досягається при  $R = r$ . Графік залежності  $P(R)$  наведений на рисунку.

**11.27.** 6 В; 1 Ом. *Вказівка.* Продовжіть графік до перетинання з осьми координат: у розімкнутому колі  $U = \mathcal{E}$ , при короткому замиканні  $U = 0$ .

**11.28.** 4 А. *Вказівка.* Еквівалентну схему кола наведено на рисунку.



*До задачі 11.28*

**11.29.** 2 Ом. **11.30.** 2 А. *Вказівка.* Порівняйте з задачею 9.25.

**11.31.**  $I_A = 6$  А. *Вказівка.* Нарисуйте еквівалентну схему кола, з якої вилучений амперметр, і знайдіть силу струму через кожний з резисторів. Потім скористайтеся тим, що сумарна сила струму, яка «втікає» в кожен вузол кола, дорівнює сумарній силі струму, яка «витікає» з цього вузла.

**11.32.**  $U_1 = 4$  В,  $U_2 = 0$  (друге джерело працює в режимі короткого замикання). **11.33.** 1 А.

**11.34.**  $I_1 = 0,75$  А;  $U_1 = 5,63$  В;  $I_2 = 1,06$  А;  $U_2 = 6,37$  В;  $I_3 = 0,31$  А;  $U_3 = 0,63$  В. **11.35.** 2,4 В.

**12.2.** Паралельно до ліній магнітної індукції. **12.3.** Північним полюсом до нас; північним полюсом від нас. **12.5.** Клема С.

**12.6.** 0,18 Н. **12.7.** 25 мТл. **12.8.**  $30^\circ$ . **12.9.**  $1,44 \cdot 10^{-12}$  Н.

**12.10.**  $2,8 \cdot 10^{-14}$  Н. **12.11.** Відштовхуються. **12.12.** 0; 40 мН; 80 мН.

**12.13.** Униз. **12.14.** До нас.

**12.15.** Кінетична енергія і модуль імпульсу не змінюються; напрям імпульсу змінюється.

**12.16.** Униз. **12.17.** Проти годинникової стрілки, якщо дивитися зверху.

**12.19.** Площина рамки має бути паралельною до ліній магнітної індукції.

**12.24.** а) 0; б) 20 мТл. **12.25.** а) 0; б)  $2B_0$ .

**12.26.** а) упрано; 9,8 А; б) уліво; 19,6 А.

**12.27.** На  $27^\circ$ . На провідник діє в горизонтальному напрямі сила Ампера  $F_A = BIl \cdot \sin 90^\circ = BIl$ . Рівнодійна цієї сили і сили тяжіння має бути напрямлена паралельно до проводів під вісом, звідки знаходимо  $\tan \alpha = \frac{BI}{mg}$ .

**12.28.** 2,3 мм. **12.29.** 2,8 мТл. **12.30.** 96 км/с. **12.31.** Для того, щоб до пробки притягалася сталева тирса, що потрапила в масло.

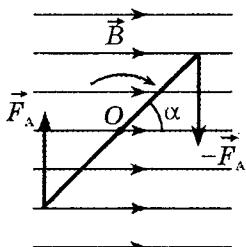
**12.32.** Чим вища температура, тим слабкіше намагнічується сталь; якщо температура вища точки Кюрі, сталь практично не намагнічується.

**12.33.** Рис. в (якщо вектор  $\vec{B}$  напрямлений від нас) і рис. г (якщо вектор  $\vec{B}$  напрямлений до нас). **12.34.** Форму кола.

**12.35.** В обох положеннях площаина рамки перпендикулярна до ліній індукції магнітного поля. У положенні стійкої рівноваги напрям струму в рамці зв'язаний з напрямом магнітного поля правилом свердліка (при цьому сили Ампера, що діють на рамку, прагнуть розтягти її).

**12.37.** Нехай рамка знаходитьсь в горизонтальному магнітному полі й обертається навколо вертикальної осі  $O$ ;  $a$  і  $b$  — довжини відповідно горизонтальної і вертикальної сторін рамки. У цьому випадку обертаючий момент створюють тільки сили Ампера, що діють на вертикальні сторони рамки (див. рисунок, на якому показано вигляд зверху). Знайдемо сумарний обертаючий момент  $M$  цих сил відносно осі  $O$ :

$$M = 2 \cdot F_A \cdot \frac{a}{2} \cos \alpha = 2 \cdot BIb \cdot \frac{a}{2} \cos \alpha = BIS \cdot \cos \alpha.$$



Можна довести, що цей вираз справедливий для будь-якого плоского контуру, причому вісь обертання може і не бути віссю симетрії цього контуру.

**12.38.** Коли площаина кільця паралельна до ліній магнітної індукції; 0,16 мН · м.

**12.39.** 1 мм. Зі співвідношення  $eU = \frac{m_e v^2}{2}$  знаходимо

швидкість електрона:  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$ . У магнітному полі сила Лоренца

надає електрону доцентрового прискорення:  $m_e v^2 / r = evB$ .

$$\text{Звідси отримуємо } r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_e U}{e}}.$$

**12.40.** 2,5 см. **12.41.** 300 В. **12.42.**  $\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$ . **12.43.** 5 см.

**12.44.** Радіус орбіти протона більше в 1836 разів; період обертання протона більше в 1836 разів. **12.45.** Радіус орбіти протона більше в 43 рази; період обертання протона більше в 1836 разів.

**12.46.**  $r_2 = 2r_1$ ; періоди обертання електронів одинакові.

**12.47. Вказівка.** На заряджений частку в приладі діють кулонівська сила і сила Лоренца. Щоб частка пролетіла через прилад, ці сили мають компенсувати одна одну.

**12.48.**  $4 \cdot 10^5$  м/с; перпендикулярно до векторів  $\hat{E}$  і  $\hat{B}$  (напрями кулонівської сили і сили Лоренца мають бути протилежними).

**12.49.** Відповідь не зміниться. **12.50.** По гвинтовій лінії з радіусом

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{eB} \text{ і кроком } h = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{eB}. \quad \text{12.51. } 1,2 \text{ мТл; } 7,3 \text{ см.}$$

**12.52.  $\Phi_C < \Phi_D$ .** *Вказівка.* При проходженні струму сила Лоренца відхиляє електрони вгору, тобто відбувається поділ зарядів.

**12.53.** Збільшується.

**12.54.** Голка, притягаючись до магніту, потрапляє в полум'я свічі. Нагрівшись до температури Кюрі, сталь стає парамагнетиком. Віддаляючись від магніту, голка виходить з полум'я свічі, остигає, і сталь знову стає ферромагнетиком. Після цього процес повторюється.

**13.2.** 40 мТл. **13.3.** 5,4 мВб. **13.5.** 2 В. **13.6.** 0,27 В. **13.7.** 6,9 мВ.

**13.8.** 6 м/с. **13.10.** 50 мкГн. **13.11.** 0,3 В. **13.12.** 600 А/с. **13.13.** 0,1 Гн. **13.14.** 5 Дж. **13.15.** 1 А. **13.16.** 0,4 Гн.

**13.19.** а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки.

*Вказівка.* Магнітне поле індукційного струму напрямлене: а) при замиканні ключа — протилежно до магнітного поля витка; б) при розмиканні ключа — у той же бік, що й магнітне поле витка.

**13.21.** а, б, в) — може; г) — не може. **13.22.** а) 0; б) 2 В.

**13.23.** Зменшиться. **13.24.** Щоб виникаючі при поштовхах коливання стрілок приладів швидше загасали.

**13.26.** У трубі при русі магніту виникають вихрові струми. Відповідно до правила Ленца магнітне поле цих струмів перешкоджає падінню магніту. Гальмуюча сила зростає зі збільшенням швидкості падіння (у цьому відношенні рух магніту нага-

дус падіння тіла в рідині чи газі). Прискорення магніту поступово зменшується, і, якщо труба досить довга, рух магніту стає рівномірним.

**13.27.** Коливання будуть швидше загасати. **13.28.** На 4 мВб.

**13.29.** 1000 витків. **13.30.**  $60^\circ$ .

**13.32.** 2,7 В/м. Силові лінії вихрового електричного поля являють собою кола. При проходженні через виток котушки заряду  $q$  вихрове поле виконує роботу  $A = F \cdot 2\pi r = qE \cdot 2\pi r$ .

З іншого боку,  $A = q\mathcal{E}_{si}$ . Звідси знаходимо  $E = \mathcal{E}_{si}/(2\pi r)$ .

**13.33.** 1,5 В/м. **13.34.** 9,2 А.

**13.35.** 0,2 В. **13.36.** На 0,12 Дж.

**13.37.** 0,5 мКл. Розіб'ємо весь процес на такі короткі етапи, що протягом кожного з них швидкість зміни магнітного потоку можна вважати постійною. Скористаємося законом Ома для повного кола і законом електромагнітної індукції:  $IR = \mathcal{E}_i = -\Delta\Phi/\Delta t$ . Протягом кожного етапу через провідник проходить заряд  $\Delta q = I\Delta t = -\Delta\Phi/R$ . Додаючи аналогічні спiввiдношення для всiх етапiв процесу, дiстанемо  $q = (\Phi_1 - \Phi_2)/R$ .

**13.38.** а) 0,84 Кл; б) 1,7 Кл. **13.39.** 6,85 мкКл.

**13.40.** Лампа 1 спалахує раніше; лампи гаснуть одночасно.

**13.41.**  $\Phi = \pi r^2 B$ . *Вказiвка.* У надпровідному контурі при зміні магнітного поля виникає такий незатухаючий індукційний струм, що магнітний потік не змінюється (це випливає з умови  $\mathcal{E}_i = 0$ ).

$$13.42. I = \frac{\pi NBr^2}{L}. \quad 13.43. I = \frac{\omega Bl^2}{4R}.$$

**13.44.** При русі стержня в ньому індукується ЕСС  $\mathcal{E}_i = Bvl$  і виникає індукційний струм  $I = \mathcal{E}_i/R$ . На стержень діє сила Ампера  $F_A = BlI = B^2l^2v/R$ , направлена протилежно до швидкості (ця сила нагадує силу опору середовища, тобто зростає зі зростанням швидкості). Прискорення стержня поступово зменшується, і зрештою (якщо рейки досить довгі) рух стане рівномірним.

З умови  $F_A = F$  дiстаємо швидкiсть цього руху  $v = \frac{FR}{B^2l^2}$ .

**13.45.**  $I = \frac{\pi r^2 a B_0}{R}$ ; рiзниця потенцiалiв мiж будь-якими двома точками кiльця дорiвнює нулю (подiлу зарядiв не вiдбувається, кулонiвське поле вiдсутнє).

**13.46.** Відповідно до закону Ома для повного кола

$$IR = \mathcal{E} - L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \text{ тобто } \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}}{L} - I \frac{R}{L}.$$

Відразу після підключення  $I = 0$ , тому сила струму почне зростати зі

швидкістю  $\frac{\Delta I}{\Delta t} \approx \frac{\mathcal{E}}{L}$ . При збільшенні сили струму швидкість її зростання

зменшується і наближається до нуля при  $I \rightarrow \mathcal{E}/R$  (див. рисунок). Час  $\tau$  можна оцінити, розділивши зміну сили струму  $\mathcal{E}/R$  на початкову швидкість її росту  $\mathcal{E}/L$ , що дає  $\tau \sim L/R$ . Зазначимо, що  $\tau$  не залежить від  $\mathcal{E}$ . До такого ж висновку можна було прийти з міркувань розмірності чи склавши баланс енергії:  $\mathcal{E}It \sim LI^2/2$ .

**13.47.** У двох сторонах квадрата по 375 мВ; у двох інших сторонах — по 650 мВ; загальна ЕРС дорівнює нулю.

**13.48.** 0,4 Кл. **13.49.** 0,4 Дж.

**13.50.** Електродвигун починає працювати як генератор; потенціальна енергія вантажу переходить у внутрішню енергію.

**13.52.** Нагрівання обмотки двигуна залежить тільки від сили струму. При обертанні двигуна в його обмотці наводиться ЕРС індукції, що викликає відповідно до правила Ленца зменшення сили струму. Оскільки двигун під навантаженням обертається повільніше, ЕРС індукції в ньому менша, і тому сила струму більша. Отже, двигун нагрівається сильніше, коли він виконує роботу.

**13.53.** 300 Вт; 5 А. **13.54.** Корисна потужність електродвигуна дорівнює різниці повної потужності струму і потужності теплових втрат у обмотках:  $N = IU - I^2R$ . Зазначимо, що в даному випадку  $U \neq IR$ , оскільки виникає ЕРС індукції. Максимум функції  $N(I)$  можна знайти за допомогою похідної чи виділивши пов-

$$\text{ний квадрат: } N = \frac{U^2}{4R} - R \left( \frac{U}{2R} - I \right)^2.$$

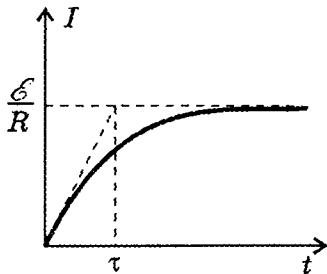
**14.1.**  $6,25 \cdot 10^9$ . **14.2.** 0,13 мм/с. **14.3.**  $-47^\circ\text{C}$ . **14.4.**  $0,003 \text{ K}^{-1}$ .

**14.6.** 1 — освітлений; 2 — затемнений; зменшився в 4 рази.

**14.7.** Характеристика 1 відповідає більш високій температурі, ніж характеристика 2;  $R_1 = 5 \text{ кОм}$ ;  $R_2 = 10 \text{ кОм}$ .

**14.9.** Діркову; діркову; електронну; електронну.

**14.10.** 6,7 год. **14.11.** 4 А. **14.12.** 450 Кл.



**14.13.** а)  $v_2 = 4v_1$ ; б)  $v_2 = v_1$ . **14.14.** а)  $v_2 = v_1$ ; б)  $v_2 = 2v_1$ .

**14.15.** Розжарювання тієї частини спиралі, куди не потрапила вода, збільшиться.

**14.16.**  $0,0039 \text{ K}^{-1}$ . **14.17.**  $2400^\circ\text{C}$ . **14.18.** Збільшується в 1,23 раза.

**14.19.**  $0,004 \text{ K}^{-1}$ . ~~Виключаючи~~ Нехай  $R_0$  — опір дротової котушки при температурі  $0^\circ\text{C}$ . Тоді  $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ ,  $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ .

Виключаючи  $R_0$ , отримуємо  $\alpha = \frac{R_2/R_1 - 1}{t_2 - (R_2/R_1)t_1}$ .

**14.20.**  $1,5 \cdot 10^8$ .

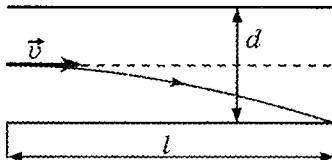
**14.21.** а) 1,8 нс; б) 4,5 нс.

~~Виключаючи~~ У просторі між катодом і анодом електрони летять рівноприскорено, тому що на них діє постійна сила  $F = eE$ , де  $E = U/s_1$ . Відстань між анодом і катодом вони пролітають за час

$\tau_1 = \sqrt{\frac{2s_1}{a}} = \sqrt{\frac{2m_e d^2}{eU}}$ . У просторі між анодом і екраном електрони вже летять рівномірно — електричного поля там немає. При цьому їхня швидкість  $v = \sqrt{2eU/m_e}$ . Час руху електронів на цій ділянці становить  $\tau_2 = s_2/v = s_2 \sqrt{m_e/(2eU)}$ .

**14.22.** Не менше 26 В.

**14.23.** 100 В. ~~Виключаючи~~ Рух електрона нагадує рух тіла, кинутого горизонтально (див. рисунок).



Електрони не будуть вилітати з конденсатора, якщо  $at^2/2 \geq d/2$ .

Прискорення електронів  $a = \frac{eE}{m_e} = \frac{eU_2}{dm_e}$ , а час руху в конден-

саторі  $t = \frac{l}{v} = l \sqrt{\frac{m_e}{2eU_1}}$ . Звідси  $U_2 = 2d^2U_1/l^2$ .

**14.24.**  $2,7 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ ; під кутом  $41^\circ$  до пластин.

**14.25.** 600 В.

**14.27.**  $6,6 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл;  $3,3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**14.28.**  $10^{-3}$  моль.

**14.29.** а) Кількість міді однакова. б) Більше міді виділиться на катоді першої ванни.

**14.30.** У ванні з розчином CuCl.

**14.31.** 15 мкм. З закону електролізу  $m = \frac{M}{eN_A n} \cdot I \cdot \Delta t$

і співвідношення  $m = \rho V = \rho h S$  отримуємо  $h = \frac{MI\Delta t}{eN_A n\rho S}$ .

**14.32.** 6 год.

**14.33.**  $6 \cdot 10^9$  Дж (1700 кВт · год).

**14.34.** 130 МДж (37 кВт · год).

**14.36.** Дуга згасне; дуга не зміниться.

**14.37.** 480 нА. Сила струму  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{enV}{\Delta t}$ . Варто

звернути увагу на те, що *пари* однозарядних іонів переносять з катода на анод *один* електрон.

**14.38.**  $2,1 \cdot 10^9$ .

**14.39.** Струм буде протікати. *Вказівка.* На довжині вільного пробігу електрони отримують енергію, що перевищує енергію іонізації атомів водню.

**14.40.** 1 МА/м<sup>2</sup>. Густота струму  $j = I/S$ . Скористаємося законом Ома  $I = U/R$ , формулою  $R = \rho l/S$  і співвідношенням  $U = El$ . Для густоти струму отримуємо вираз  $j = U/(RS) = E/\rho$ .

**14.41.** 0,19 мм/с. Скористаємося співвідношенням для сили струму  $I = envS$ . Відповідно до умови концентрація електронів провідності дорівнює подвоєній концентрації іонів міді:  $n = 2\rho N_A / M$ . Звідси дістаемо  $v = IM / (2eN_A \rho S)$ .

**14.42.** 0,22 мм/с.

**14.43.** У вольфрамовій нитці швидкість більша в 1300 разів.

**14.44.** Зменшилася.

**14.45.** Збільшиться.

**14.46.** а) Зменшиться в 200 разів. б) Практично не зміниться.

**14.47.** а) Практично не зміниться. б) Збільшиться в 1000 разів.

**14.48.** У даному випадку не можна вважати опір амперметра нескінченно малим, а опір вольтметра — нескінченно великим. Схему *a* не можна використовувати для вимірю зворотного струму через

діод (практично весь струм піде через вольтметр). Схему б не можна використовувати для виміру напруги при прямому струмі (напруга на амперметрі набагато перевищує напругу на діоді).

**14.49.** 18 хв.

**14.50.** 5,8 нм/с.

**14.51.** 313 К. *Вказівка.* Слід урахувати, що атоми кисню, які виділилися при електролізі, утворять двохатомні молекули.

**14.52.**  $3,8 \cdot 10^9$  Кл.

**14.53.** 2,7 Мм/с.

**14.54.** Зменшилася на 18 В.

## ФІЗИЧНІ СТАЛІ

Гравітаційна стала  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$

Стала Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Стала Болтьцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$

Універсальна газова стала  $R = k \cdot N_A = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$

Елементарний електричний заряд  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Електрична стала  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

$$\left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2 \right)$$

Маса електрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Маса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

# ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

## 1. Густина речовин

Тверді тіла		Рідини		Гази (за нормальних умов)	
Речовина	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	Речовина	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	Речовина	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$
Алюміній	2700	Бензин	700	Водень	0,09
Вольфрам	19300	Вода	1000	Гелій	0,18
Германій	5300	Вода		Кисень	1,43
Залізо	7800	морська	1030	Повітря	1,29
Лід	900	Гас	800		
Мідь	8900	Масло			
Нікель	8900	машинне	900		
Срібло	10500	Ртуть	13600		
Сталь	7800	Спирт	800		
Хром	7200				

## 2. Теплові властивості речовин

### Тверді тіла

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг · К)	Температура плавлення, °C	Питома теплота плавлення, кДж/кг
Алюміній	0,88	660	380
Вольфрам	0,13	3387	185
Лід	2,1	0	330
Мідь	0,38	1083	180
Свинець	0,13	327	25
Сталь	0,46	1400	82

### Рідини

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг · К)	Температура кипіння за нормальним атмосферним тиску, °C	Питома теплота пароутворення за нормальногого атмосферного тиску та температури кипіння, МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

### Питома теплоємність газів за постійного тиску

Водень	14,3
Кисень	0,91
Повітря	1,01

### 3. Поверхневий натяг рідин при 20 °C, мН/м

Вода	73	Ртуть	510
Мильний розчин	40	Спирт	22

### 4. Залежність тиску $p_h$ і густини $\rho_h$ насыченої водяної пари від температури $t$

$t, ^\circ\text{C}$	$p_h, \text{kPa}$	$\rho_h, \text{g/m}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_h, \text{kPa}$	$\rho_h, \text{g/m}^3$
0	0,61	4,8	18	2,07	15,4
3	0,76	6,0	19	2,20	16,3
6	0,93	7,3	20	2,33	17,3
10	1,23	9,4	25	3,17	23,0
15	1,71	12,8	30	4,24	30,4
16	1,81	13,6	50	12,34	82,9
17	1,93	14,5	90	70,11	423,3

### 5. Психрометрична таблиця

Показання сухого термометра , °C	Різниця показань сухого та вологого термометрів, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Відносна вологість, %									
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34

## 6. Питома теплота згоряння палива, МДж/кг

Бензин	46
Гас	46
Дизельне паливо	43

## 7. Границя міцності на розтяг $\sigma_{мп}$ і модуль пружності $E$

Речовина	$\sigma_{мп}$ , МПа	$E$ , ГПа
Алюміній	100	70
Мідь	50	120
Сталь	500	200

## 8. Температурний коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл, $10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Залізо	1,2
Коістантан	1,5
Мідь	1,7
Сталь	1,2

## 9. Діелектрична проникність

Вода	81	Парафін	2
Гас	2,1	Слюда	7
Масло машинне	2,5		

**10. Питомий опір  $\rho$  при 20 °C і температурний  
коефіцієнт опору  $\alpha$  провідників**

Речовина	$\rho$ , $10^{-8}$ Ом · м	$\alpha$ , $K^{-1}$	Речовина	$\rho$ , $10^{-8}$ Ом · м	$\alpha$ , $K^{-1}$
Алюміній	2,8	0,0042	Мідь	1,7	0,0043
Вольфрам	5,5	0,0048	Нікелін	42	0,0001
Вугілля	4000	-0,0008	Ніхром	110	0,0001
Константан	50	-0,00005			

# ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА

ПЕРІОДИ	РЯД	ГРУПИ				
		I	II	III	IV	V
1	1	H <sup>1</sup> Гідроген				
2	2	Li <sup>3</sup> Літій	Be <sup>4</sup> Берилій	B <sup>5</sup> Бор	C <sup>6</sup> Карбон	N <sup>7</sup> Нітроген
3	3	Na <sup>11</sup> Натрій	Mg <sup>12</sup> Магній	Al <sup>13</sup> Алюміній	Si <sup>14</sup> Сіліцій	P <sup>15</sup> Фосфор
4	4	K <sup>19</sup> Калій	Ca <sup>20</sup> Кальцій	Sc <sup>21</sup> Скандій	Ti <sup>22</sup> Титан	V <sup>23</sup> Ванадій
	5	Rb <sup>37</sup> Рубідій	Sr <sup>38</sup> Стронцій	Y <sup>39</sup> Ітрій	Zr <sup>40</sup> Цирконій	Nb <sup>41</sup> Ніобій
5	6	Ag <sup>47</sup> Аргентум	Cd <sup>48</sup> Кадмій	In <sup>49</sup> Індій	Sn <sup>50</sup> Станум	Sb <sup>51</sup> Стибій
	7	Cs <sup>55</sup> Цезій	Ba <sup>56</sup> Барій	La <sup>57</sup> Лантан	Hf <sup>72</sup> Гафній	Ta <sup>73</sup> Тантал
6	8	Au <sup>79</sup> Аурум	Hg <sup>80</sup> Меркурій	Tl <sup>81</sup> Талій	Pb <sup>82</sup> Плюмбум	Bi <sup>83</sup> Бісмут
	9	Fr <sup>87</sup> Францій	Ra <sup>88</sup> Радій	Ac <sup>89</sup> Актиній		
7	10					

\* ЛАНТАНОЇДИ

58 <sub>140,12</sub> Ce	59 <sub>140,91</sub> Pr	60 <sub>144,24</sub> Nd	61 <sub>(145)</sub> Pm	62 <sub>150,35</sub> Sm	63 <sub>151,96</sub> Eu	64 <sub>157,25</sub> Gd
Церій	Празеодім	Неодім	Прометій	Самарій	Європій	Гадоліній
65 <sub>158,92</sub> Tb	66 <sub>162,50</sub> Dy	67 <sub>164,93</sub> No	68 <sub>167,26</sub> Er	69 <sub>168,93</sub> Tm	70 <sub>173,04</sub> Yb	71 <sub>174,97</sub> Lu
Тербій	Диспрозій	ГОльмій	Ербій	Тулій	Ітербій	Лютецій

# ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ЕЛЕМЕНТИВ							
VI	VII	VIII				0	
						He <sup>4,0026</sup> Гелій	
O <sub>15,9994</sub> Оксиген	F <sub>18,9984</sub> Флюор					Ne <sub>20,183</sub> Неон	
S <sub>32,064</sub> Сульфур	Cl <sub>35,453</sub> Хлор					Ar <sub>39,948</sub> Аргон	
Cr <sub>51,996</sub> Хром	Mn <sub>54,938</sub> Манган	Fe <sub>55,847</sub> Ферум	Co <sub>58,933</sub> Кобальт	Ni <sub>58,71</sub> Нікол			
Se <sub>78,96</sub> Селен	Br <sub>79,90</sub> Бром					Kr <sub>83,80</sub> Криpton	
Mo <sub>95,94</sub> Молібден	Tc <sub>(99)</sub> Технецій	Ru <sub>101,07</sub> Рутеній	Rh <sub>102,905</sub> Родій	Pd <sub>106,4</sub> Паладій			
Te <sub>127,60</sub> Телур	I <sub>126,904</sub> Іод					Xe <sub>131,30</sub> Ксенон	
W <sub>183,85</sub> Вольфрам	Re <sub>186,2</sub> Реній	Os <sub>190,2</sub> Осмій	Ir <sub>192,2</sub> Іридій	Pt <sub>195,09</sub> Платина			
Po <sub>(210)</sub> Полоній	At <sub>(210)</sub> Астат					Rn <sub>(222)</sub> Радон	

## \*\* АКТИНОЇДИ

90 232,038 Th Торій	91 (231) Pa Протактиній	92 238,03 U Уран	93 (237) Np Нептуній	94 (242) Pu Плутоній	95 (243) Am Америцій	96 (247) Cm Кюрій
97 (247) Bk Берклій	98 (249) Cf Каліфорній	99 (254) Es Ейнштейній	100 (253) Fm Фермій	101 (256) Md Менделєєвій	102 (256) No Нобелій	103 (257) Lr Лоуренсій

Гельфгат Ілля Маркович, Ненашев Ігор Юрійович

## Фізика-10. Збірник задач

Редактор М.В . Москаленко.

Підписано до друку 2.07.2001. Формат 60x84/16.

Гарнітура шкільна. Папір газетний.

Друк офсетний. Обл.-вид. арк. 6,81.

Творче об'єднання «Гімназія»,

Харків, вул. Тобольська, 46-а.

Тел. (0572) 30-70-59, 30-70-97, 11-80-62, факс 30-79-93.

Надруковано в «ІПМ Модем», м.Харків, пр. Леніна, 60.