

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_1)}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)}$$



Інтернет-  
підтримка

$$Q = cm\Delta t$$

# ФІЗИКА

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

# 8

За редакцією  
Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

**Частина 2**

$$I = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

$$I = \frac{q}{t}$$

# КЛАС

$$Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+$$



$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

# ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ УЧНІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ

1

## Загальні положення

- 1.1. У кабінеті фізики слід суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку навчального закладу, установлених норм і режимів праці та відпочинку.
- 1.2. У кабінеті фізики можна перебувати тільки в присутності вчителя або лаборанта.
- 1.3. Про вихід із ладу або несправність обладнання слід негайно повідомити вчителя.

2

## Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

- 2.1. У разі травмування, нездужання тощо слід негайно повідомити вчителя.
- 2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо слід негайно повідомити вчителя.
- 2.3. У випадку евакуації чітко виконуйте розпорядження вчителя.

3

## Вимоги безпеки перед початком роботи

- 3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного виконання роботи.
- 3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 3.3. Починайте роботу тільки з дозволу вчителя.
- 3.4. Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем.

## Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.
- 4.2. Розміщуйте обладнання так, щоб запобігти його падінню або перекиданню.
- 4.3. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
- 4.4. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтесь обертових частин машин і не нахилийтеся над ними.
- 4.5. Користуйтеся провідниками з клемми й запобіжними чохлами з міцною ізоляцією та без видимих пошкоджень.
- 4.6. Без дозволу вчителя не вмикайте електричне обладнання; самостійно не усувайте несправності електромережі й електрообладнання.
- 4.7. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу. Складене коло вмикайте тільки з дозволу вчителя.
- 4.8. Не торкайтесь елементів кола, що не мають ізоляції й перебувають під напругою. Користуйтеся інструментами із заізольованими ручками.
- 4.9. Виявивши несправність в електричному обладнанні, яке перебуває під напругою, негайно повідомте вчителя.

## Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 5.1. Після роботи приберіть робоче місце.
- 5.2. Електричне коло розбирайте тільки після вимкнення джерела електроживлення.
- 5.3. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя.

# ФІЗИКА

# 8

## КЛАС

**ПІДРУЧНИК**  
для осіб з особливими  
освітніми потребами

(Н 54.1 — Н 54.2)

8 КЛАС  
(у 2-х частинах)

За редакцією  
Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

**ЧАСТИНА 2**

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України

Харків  
Видавництво «Ранок»  
2021



УДК 376:53(075.3)  
Ф50

Авторський колектив:  
Віктор Бар'яхтар, Станіслав Довгий, Фаїна Божинова, Олена Кірюхіна

*Рекомендовано*  
*Міністерством освіти і науки України*  
(наказ Міністерства освіти і науки України  
від 22.02.2021 № 243)

**Видано за рахунок державних коштів.**  
**Продаж заборонено**

Автори й видавництво висловлюють щирю подяку:  
*М. М. Кірюхіну*, президенту Спілки наукових і інженерних об'єднань України,  
кандидату фізико-математичних наук;  
*І. Ю. Ненашеву*, учителю-методисту, заслуженому вчителю України;  
*І. В. Хован*, учителю фізики, кандидату педагогічних наук,  
за слушні зауваження й конструктивні поради;  
*І. С. Чернецькому*, завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань  
Національного центру «Мала академія наук України», кандидату педагогічних наук,  
за допомогу у створенні відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку  
в Національному центрі «Мала академія наук України»*

Ілюстрації *Володимира Хорошенка, Володимира Зюзюкіна*

**Фізика** : підруч. для осіб з особливими освітніми по-  
Ф50 требами (Н 54.1 — Н 54.2) 8 клас (у 2-х частинах) : Ч. 2 /  
[Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхі-  
на О. О.]; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — Харків :  
Вид-во «Ранок», 2021. — 192 с. : іл., фот.

ISBN 978-617-09-7346-7

УДК 376:53(075.3)



Інтернет-підтримка

ISBN 978-617-09-7350-4  
ISBN 978-617-09-7346-7 (Ч. 2)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,  
Кірюхіна О. О., 2021  
© Хорошенко В. Д., Зюзюкін В. В.,  
ілюстрації, 2016  
© Хлистун В. В., фотографії, 2016  
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2021

## ***Дорогі друзі!***

Ви продовжуєте подорож світом фізики разом із надійним помічником — підручником.

Як і раніше, ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття.

*Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!*

У підручнику використано позначки, які допоможуть вам орієнтуватися в поданому матеріалі:



Підбиваємо підсумки



Завдання на повторення



Контрольні запитання



Експериментальне завдання



Вправа



Інтернет-підтримка

## Частина 2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

### § 23. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

Напевне, багато школярів на запитання «Що б ви взяли із собою на безлюдний острів?» швидко дадуть відповідь: «Мобільний телефон і комп'ютер», — проте через деякий час, звичайно, збагнуть: «Ой, там же немає електрики!..»

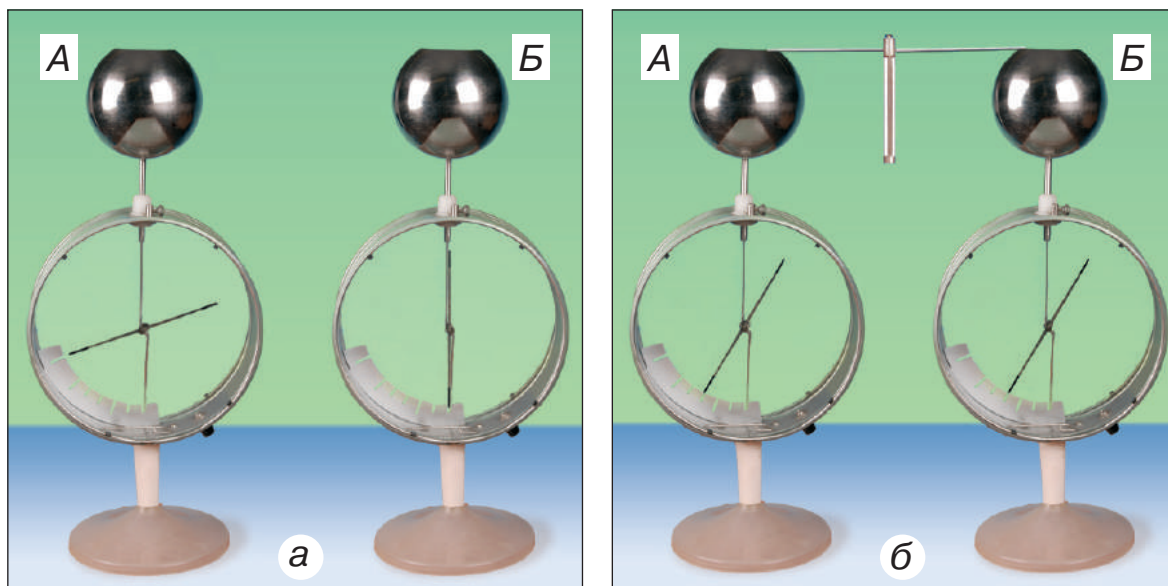
#### 1. Даємо означення електричного струму

Сьогодні кожна людина назве не менш ніж десять електричних побутових приладів, без яких нам уже складно уявити своє життя: пральна машина, лампа, телевізор тощо. Ці прилади називають електричними, адже їхня робота заснована на дії електричного струму.

А що таке електричний струм?

Проведемо дослід. Поставимо на столі два електрометри (А і Б) і зарядимо один із них, наприклад електрометр А (рис. 23.1, а). З'єднаємо кондуктори електрометрів металевим стрижнем, закріпленим на пластмасовій ручці. За відхиленням стрілок електрометрів видно, що заряд електрометра А зменшився, а незаряджений електрометр Б отримав заряд (рис. 23.1, б). Це означає, що певна кількість заряджених частинок (у цьому випадку електронів) перейшла стрижнем від одного приладу до іншого. Кажуть, що у стрижні існував *електричний струм*.

**Електричний струм** — це напрямлений рух заряджених частинок.



**Рис. 23.1.** Якщо заряджений електрометр з'єднати з незарядженим за допомогою провідника, частина заряду перейде на незаряджений електрометр

## 2. З'ясуємо умови виникнення та існування електричного струму

З огляду на означення електричного струму сформулюємо першу умову для його виникнення та існування в середовищі: *у середовищі повинні бути заряджені частинки, які можуть вільно переміщатися.* Такі частинки ще називають *носіями струму.*

Однак цієї умови недостатньо для того, щоб у середовищі існував електричний струм. Для створення та підтримування напрямленого руху вільних заряджених частинок необхідна також *наявність електричного поля.* Саме завдяки дії електричного поля рух заряджених частинок набуде впорядкованого (направленого) характеру, що й означатиме появу в даному середовищі електричного струму.

### 3. Учимся розрізняти провідники, діелектрики та напівпровідники

Знаючи умови виникнення та існування електричного струму, неважко здогадатися, що *електрична провідність* — здатність проводити електричний струм — у різних речовин є різною. Залежно від цієї здатності всі речовини й матеріали поділяють на *провідники*, *діелектрики* та *напівпровідники* (про провідники та діелектрики вже йшлося в § 21).

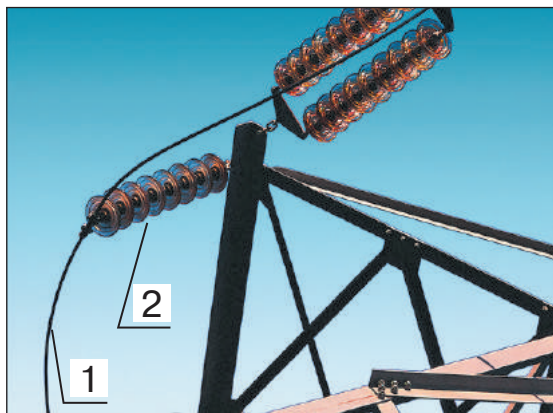
**Провідники** — речовини та матеріали, які добре проводять електричний струм.

Провідниками є метали (як у твердому, так і в рідкому станах), графіт, водні розчини солей (наприклад, кухонної солі), кислот і лугів. Висока електрична провідність провідників пояснюється наявністю в них великої кількості вільних заряджених частинок. Так, у металевому провіднику частина електронів, залишивши атоми, вільно «мандрує» по всьому його об'єму, і кількість таких електронів сягає  $10^{23}$  в кубічному сантиметрі.

Волога земля, тіло людини або тварини добре проводять електричний струм, бо містять речовини, що є провідниками.

**Діелектрики** — речовини та матеріали, які погано проводять електричний струм.

Діелектриками є багато твердих речовин (ебоніт, порцеляна, гума, скло та ін.), рідин (дистильована вода, гас, спирт, бензин та ін.), газів (кисень, водень, азот, вуглекислий газ та ін.). У діелектриках майже відсутні вільні заряджені частинки.



**Рис. 23.2.** У лініях електропередачі використовують провідники (1) і діелектрики (2)



**Рис. 23.3.** Напівпровідники використовують для виготовлення сонячних батарей

Провідники й діелектрики широко застосовують у промисловості, побуті, техніці. Так, проводи, якими підводять електричний струм від електростанцій до споживачів, виготовляють із металів — чудових провідників. При цьому на опорах проводи розташовують на ізоляторах, — це запобігає стіканню електричного заряду в землю (рис. 23.2).

**?** Як ви вважаєте, чому проводи, які прокладають у землі, вкривають шаром діелектрика?

Існує багато речовин (наприклад, германій, кремній, арсен), які називають **напівпровідниками**. Зазвичай вони погано проводять електричний струм і їх можна віднести до діелектриків. Однак якщо підвищити температуру або збільшити освітленість, або додати домішки, у напівпровідниках з'являється достатня кількість вільних заряджених частинок і напівпровідники стають провідниками. Напівпровідники використовують для виготовлення радіоелектронної апаратури, сонячних батарей (рис. 23.3) тощо.



### Підбиваємо підсумки

Електричний струм — це напрямлений рух заряджених частинок. Для виникнення й існування електричного струму необхідна наявність вільних заряджених частинок та електричного поля, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух.

Залежно від електричної провідності всі речовини умовно поділяють на провідники (речовини, які добре проводять електричний струм), діелектрики (речовини, які погано проводять електричний струм) і напівпровідники.



### Контрольні запитання

1. Що таке електричний струм?
2. Сформулюйте умови виникнення та існування електричного струму.
3. Які речовини відносять до провідників, діелектриків, напівпровідників? Наведіть приклади.
4. Чому метали добре проводять електричний струм?
5. Наведіть приклади використання провідників і діелектриків.



### Вправа № 23

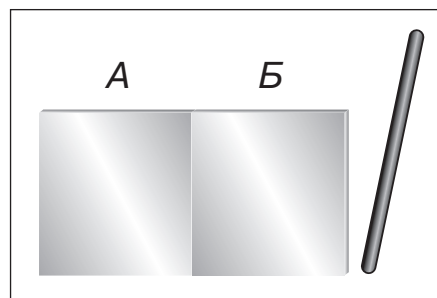
1. Запишіть назви кількох предметів, виготовлених із речовин, які є: а) провідниками; б) діелектриками.
2. Яким вимогам має відповідати матеріал для виготовлення корпусів розеток і вимикачів?
3. Чому важко, іноді майже неможливо зарядити електроскоп у приміщенні з високою вологістю повітря?
4. Чому в досліді (п. 1 § 23) кондуктори електрометрів з'єднували металевим стрижнем (див. [рис. 23.1](#))? Для чого стрижень був закріплений на пластмасовій ручці? Як зміняться результати дослідів, якщо замість металевого стрижня скористатися пластмасовим?



5. Чи рухаються вільні заряджені частинки в провіднику, коли в ньому немає струму? Поясніть.
6. Скористайтесь додатковими джерелами інформації та дізнайтесь, які речовини є найкращими діелектриками і де їх застосовують.
7. До двох з'єднаних металевих пластин *A* і *B* піднесли наелектризовану об вовну ебонітову паличку (див. рисунок).



- 1) Якого заряду набуде пластина *A*? пластина *B*?
- 2) Чи залишаться пластини зарядженими, якщо:
  - а) роз'єднати пластини, не прибираючи палички?
  - б) прибрати паличку, а потім роз'єднати пластини?



## § 24. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Ви вже знаєте, що електричним струмом називають процес напрямленого руху частинок, які мають електричний заряд. Але як з'ясувати, чи тече в провіднику електричний струм? Про наявність електричного струму ми дізнаємося завдяки його діям. Саме про різні дії електричного струму йтиметься в цьому параграфі.

### 1. Дізнаємося про теплову та світлову дії електричного струму

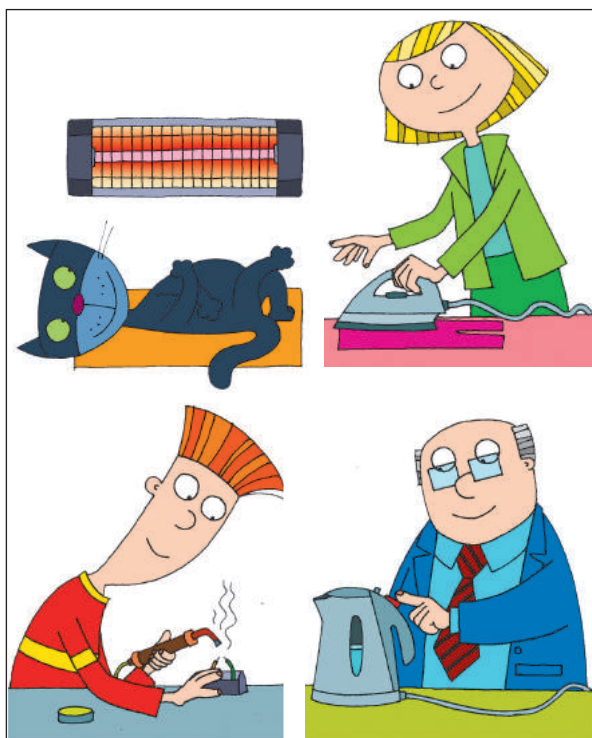
*Теплова дія електричного струму* виявляється в нагріванні провідника, в якому тече струм. Так, коли ви прасуєте, припаюєте деталь електричним паяльником,



готуєте на електричній плиті або користується електрочайником, обігріваєте кімнату електричним нагрівником, то використовуєте побутові прилади, функціонування яких ґрунтується на тепловій дії електричного струму (рис. 24.1).

Теплову дію електричного струму широко використовують також у промисловості (зварювання, різання, плавлення металів) і сільському господарстві (обігрів теплиць та інкубаторів, сушіння зерна, сінажу).

Прояв теплової дії струму можна спостерігати й у природі: енергія, що виділяється під час удару блискавки, може спричинити лісову пожежу (рис. 24.2).



**Рис. 24.1.** Функціонування багатьох побутових пристроїв ґрунтується на тепловій дії електричного струму



**Рис. 24.2.** Досить часто лісові пожежі спричиняються блискавкою



**Рис. 24.3.** Електричні лампи — пристрої, в яких електрична енергія частково перетворюється на енергію світла: *а* — лампа розжарення (ККД — 5 %); *б* — люмінесцентна лампа (ККД — 10–20 %); *в* — світлодіодна лампа (ККД — 50 %)

**?** Пожежа внаслідок удару блискавки є прикладом, коли теплова дія струму є шкідливою. Наведіть інші приклади шкідливої теплової дії струму.

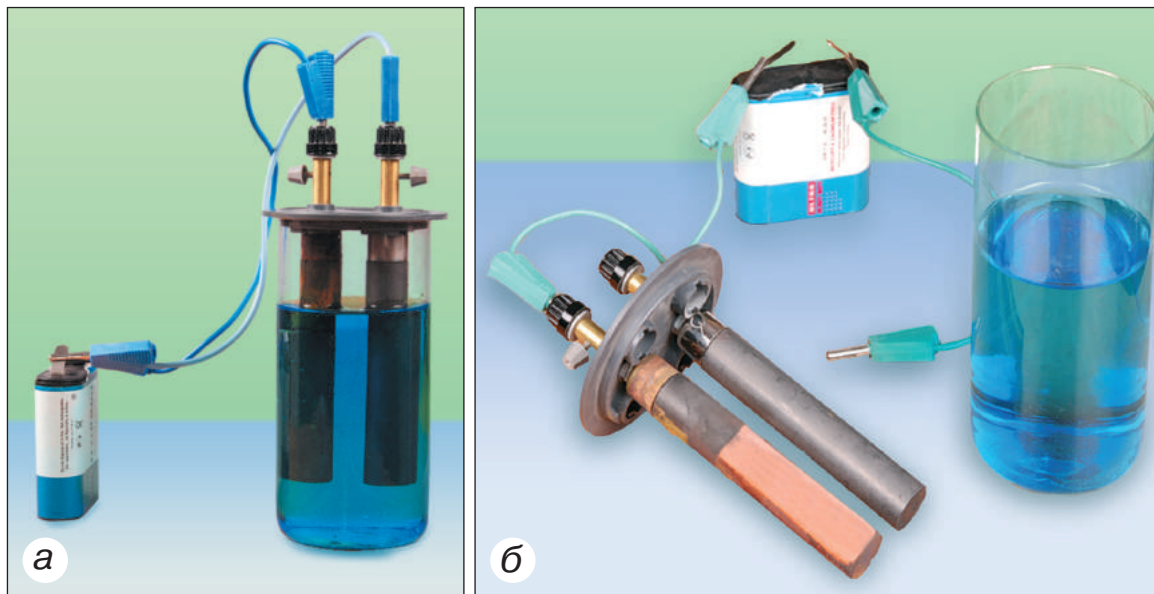
Якщо в коло ввімкнути лампу розжарення, її нитка нагріється і почне випромінювати світло. У цьому випадку водночас із тепловою дією ми спостерігаємо *світлову дію електричного струму*. До речі, в лампі розжарення на світло перетворюється лише 5 % електричної енергії (рис. 24.3, *а*). Останнім часом широко застосовують *енергозберезувальні лампи* — у них на світло перетворюється до 50 % електричної енергії (рис. 24.3, *б, в*).

**?** Наведіть приклади світлової дії струму в природі.

## 2. Спостерігаємо хімічну дію електричного струму

Коли через розчини солей, кислот, лугів проходить струм, то на електродах, занурених у розчин, відбуваються хімічні реакції. У такому випадку ми маємо справу з *хімічною дією електричного струму*.

Так, якщо в посудину з водним розчином сульфату міді ( $\text{CuSO}_4$ ) опустити два вугільні електроди й про-



**Рис. 24.4.** Дослід (хімічна дія електричного струму): якщо протягом деякого часу пропускати струм через водний розчин сульфату міді (а), на одному з електродів з'явиться тонкий шар міді (б)

пустити крізь розчин електричний струм (рис. 24.4, а), через деякий час один з електродів вкриється тонким шаром чистої міді (рис. 24.4, б).

Наприкінці цього розділу ви ознайомитеся з різними випадками хімічного розкладення речовин унаслідок дії електричного струму, а також дізнаєтеся про застосування цього явища.

Слід зазначити, що *хімічна дія струму виявляється не завжди*. Пропустивши струм, наприклад, через метали, ми не виявимо жодних хімічних змін.

### 3. Знайомимося з магнітною дією електричного струму

Провідник, у якому тече електричний струм, набуває магнітних властивостей. Переконатися в цьому можна за допомогою звичайного залізного цвяха. Намотаємо на

цвях ізольований провід і пропустимо по проводу струм. Цвях почне притягувати до себе залізні предмети, тобто виявить *магнітні властивості* (рис. 24.5).

Робота різноманітних електродвигунів, електровимірювальних приладів можлива тільки завдяки *магнітній дії електричного струму* (рис. 24.6). Докладніше про магнітну дію струму ви дізнаєтесь у 9 класі, вивчаючи магнітні явища.

Розглядаючи різні дії електричного струму, слід звернути увагу на те, що найчастіше кілька дій виявляються одночасно. Наприклад, під час досліду щодо



**Рис. 24.5.** Під час пропускання струму цвях стає магнітом і притягує до себе залізні ошурки



**Рис. 24.6.** Робота більшості електровимірювальних приладів і електричних двигунів ґрунтується на магнітній дії струму



спостереження хімічної дії струму (див. [рис. 24.4](#)) температура розчину сульфату міді поступово збільшується, а якщо біля посудини помістити магнітну стрілку, вона відхилиться.

#### **4. Дізнаємося про дію електричного струму на організми**

Електричний струм чинить теплову, хімічну, магнітну дію на живі організми, у тому числі на людину. Напевно, деякі з вас відвідували в поліклініці кабінет фізіотерапії. Багато приладів, що є в цьому кабінеті, призначені для *електролікування*: теплову дію електричного струму використовують для прогрівання частин тіла, хімічну й магнітну — для стимулювання діяльності органів, поліпшення обміну речовин тощо.

Слід, однак, пам'ятати, що далеко не завжди електричний струм діє на організм людини цілюще. Струм може викликати опік, судоми й навіть спричинити смерть. Тому перед тим, як користуватися будь-яким електроприладом чи пристроєм, слід уважно вивчити інструкцію до нього та неухильно її дотримуватися.



#### **Підбиваємо підсумки**

Під час проходження в провіднику електричний струм чинить теплову дію (нагрівання провідника), магнітну дію (відхилення магнітної стрілки, намагнічування заліза), може чинити хімічну дію (хімічне розкладення речовин) і світлову дію (світіння лампи). Дуже часто різні дії електричного струму виявляються одночасно.

Електричний струм чинить теплову, хімічну та магнітну дію на живі організми, у тому числі на людину.

**Контрольні запитання**

1. Як дізнатися, чи проходить у провіднику струм?
2. Перелічіть дії електричного струму.
3. Доведіть, що електричний струм чинить теплову дію; може чинити світлову дію.
4. Опишіть дослід, який підтверджує, що електричний струм чинить хімічну дію.
5. Чи завжди виявляється хімічна дія струму?
6. Що слід зробити, щоб намагнітити залізний цвях?
7. Наведіть приклади на підтвердження того, що електричний струм діє на організм людини. Як ця дія виявляється? Де її використовують?

**Вправа № 24**

1. Наведіть не згадані в § 24 приклади побутових технічних пристроїв, робота яких ґрунтується на тепловій дії струму.
2. Чому користування електричними приладами та пристроями вимагає особливої обережності?
3. Чому спалах блискавки супроводжується громом?
4. Деякі риби, наприклад електричний скат і електричний вугор, використовують дію електричного струму для захисту, полювання, орієнтації в просторі. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про таких риб більше.
5. Електрообігрівач, який працює в кімнаті, виділяє протягом доби 81 МДж теплоти. Скільки дров потрібно спалити в каміні, щоб передати кімнаті ту саму кількість теплоти? ККД каміна — 45 %.



## § 25. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Багатьом знайома ситуація: необхідно терміново зателефонувати, ви берете мобільний телефон і з прикрістю виявляєте, що батарея акумуляторів розрядилась. Те саме може статись і з акумуляторами фотоапарата, плеєра, ліхтарика, годинника. Що таке акумулятор, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

### 1. Знайомимося з джерелами електричного струму

Зрозуміло, що будь-який справний електротехнічний пристрій працюватиме тільки тоді, коли виконані умови існування електричного струму: наявність вільних заряджених частинок і наявність електричного поля. За створення електричного поля «відповідають» *джерела струму*.

У джерелах електричного струму електричне поле створюється й підтримується завдяки розділенню різнойменних електричних зарядів. У результаті на одному полюсі джерела накопичуються частинки, що мають позитивний заряд, а на другому — частинки, що мають негативний заряд. Між полюсами виникає електричне поле.

Однак розділити різнойменні заряди не так просто, адже між ними існують сили притягання. Для розділення різнойменних зарядів, а отже, для створення електричного поля необхідно виконати роботу. І виконати її можна за рахунок механічної, хімічної, теплової та інших видів енергії.

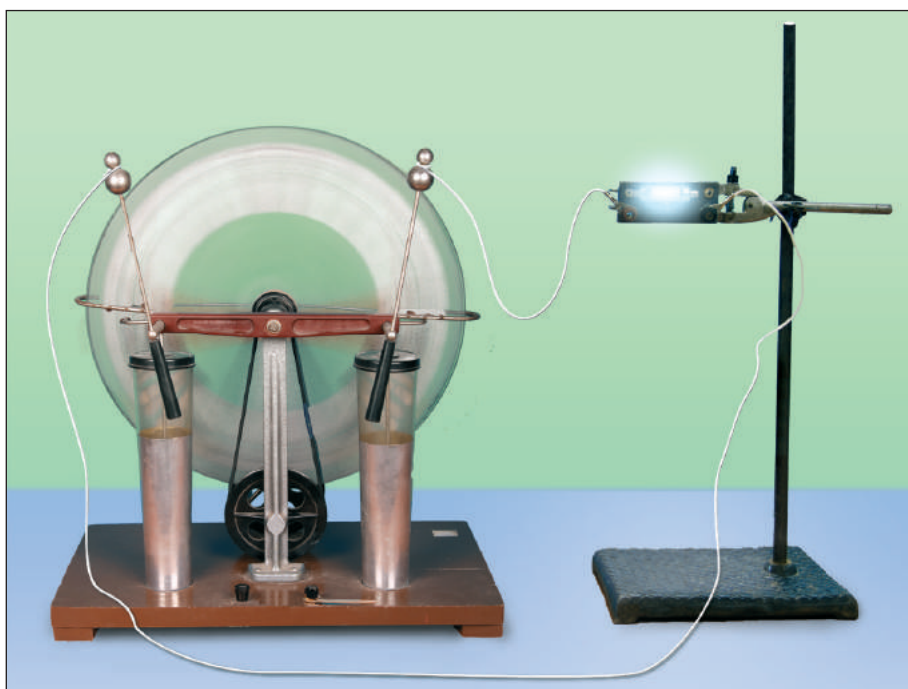
**Джерела електричного струму** — пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію.

## 2. Види джерел електричного струму

Усі джерела електричного струму можна умовно розділити на фізичні і хімічні.

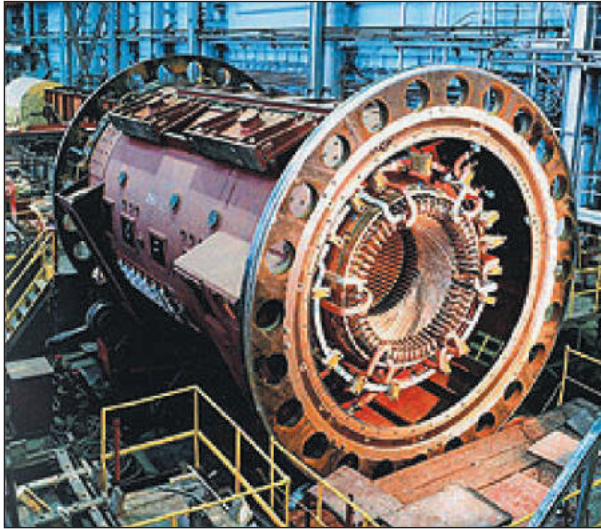
До *фізичних джерел електричного струму* прийнято відносити пристрої, в яких розділення зарядів відбувається за рахунок механічної, світлової або теплової енергії. Прикладами таких джерел струму можуть бути електрофорна машина (рис. 25.1), турбогенератори електростанцій (рис. 25.2), фото- і термоелементи (рис. 25.3, 25.4) тощо.

**?** Який вид енергії перетворюється на електричну енергію в динамо-генераторі велосипеда? у вітровому генераторі?



**Рис. 25.1.** Якщо різнойменно заряджені кондуктори електрофорної машини з'єднати з електричною лампою, у лампі виникне електричний струм. Лампа світлитиметься, поки обертаються диски машини, — у цьому випадку механічна енергія перетворюється на електричну

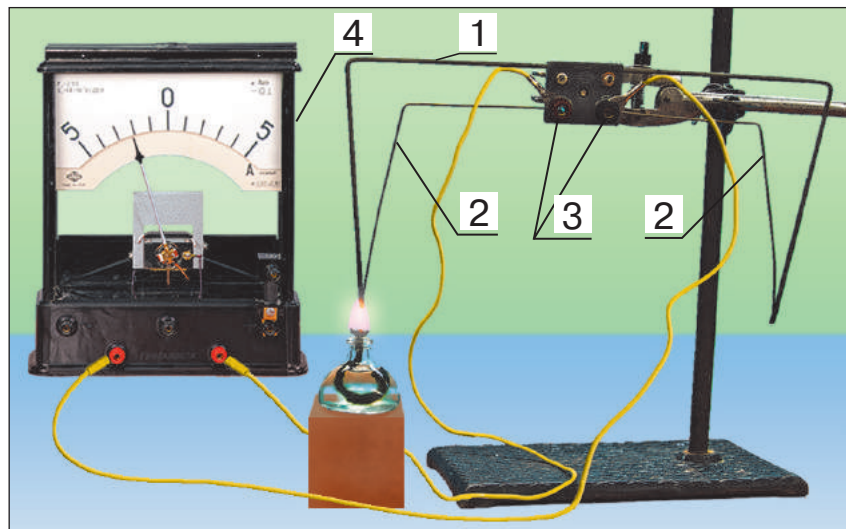




**Рис. 25.2.** Турбогенератори перетворюють механічну енергію обертання турбін на енергію електричного струму: так виробляють 80% електроенергії у світі



**Рис. 25.3.** Сонячні батареї супутника Землі постачають електроенергію для всієї дослідницької апаратури.



**Рис. 25.4.** Термопара — пристрій для перетворення теплової енергії на електричну. До кінців константанового дроту (1) припаяно два залізні дроти (2), вільні кінці яких (3) з'єднані з гальванометром (4). Якщо нагріти місце спаю, гальванометр зафіксує наявність струму

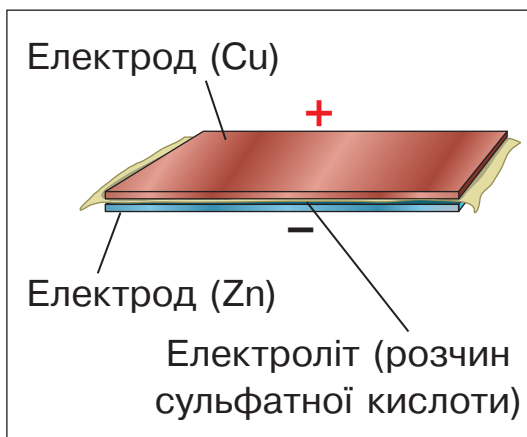
Хімічними джерелами електричного струму називають пристрої, в яких розподіл зарядів відбувається за рахунок енергії, що виділяється внаслідок хімічних реакцій. До хімічних джерел струму належать *гальванічні елементи* й *акумулятори*.

### 3. Створюємо гальванічний елемент

Візьмемо мідну й цинкову пластинки та очистимо їхні поверхні. Між пластинками покладемо тканину, змочену в слабкому розчині сульфатної кислоти. Отримали найпростіший *гальванічний елемент* (рис. 25.5). Якщо з'єднати пластинки через *гальванометр\**, то прилад зафіксує наявність струму.

Гальванічний елемент створив італійський учений *А. Вольта* (рис. 25.6); він назвав його на честь свого співвітчизника — анатома і фізіолога *Луїджі Гальвані* (1737–1798). Досліди, описані

\* *Гальванометр* — чутливий електровимірювальний прилад, який часто використовують як індикатор наявності слабого електричного струму.



**Рис. 25.5.** Найпростіший гальванічний елемент



**Рис. 25.6.** Алессандро Вольта (1745–1827) — італійський фізик, винахідник батареї гальванічних елементів

Гальвані, підказали А. Вольті ідею створення хімічного джерела струму.

Будь-який гальванічний елемент складається з *двох електродів та електроліту*.

Між електродами й електролітом відбуваються хімічні реакції, у результаті яких один із електродів набуває позитивного заряду, а інший електрод — негативного заряду. Коли запас речовин, що беруть участь у реакціях, виснажується, гальванічний елемент припиняє роботу.

#### **4. Вивчаємо акумулятори**

Із часом гальванічні елементи стають непридатними до роботи і їх не можна використати вдруге. А от інший вид хімічних джерел електричного струму — *електричні акумулятори* — можна використовувати багаторазово.

Акумулятори, як і гальванічні елементи, складаються з двох електродів, поміщених в електроліт. Так, свинцевий акумулятор, використовуваний в автомобілях, має один електрод зі свинцю, а другий — з оксиду свинцю (плюмбум діоксиду); електролітом слугує водний розчин сульфатної кислоти. Якщо електроди (полюси) зарядженого акумулятора під'єднати, наприклад, до електричної лампи розжарення, то в її нитці потече струм. Усередині ж акумулятора відбуватимуться хімічні реакції, у результаті яких електрод зі свинцю весь час буде заряджений негативно, а електрод з оксиду свинцю — позитивно. При цьому сульфатна кислота перетворюватиметься на воду. Коли концентрація сульфатної кислоти зменшиться до певного граничного значення, акумулятор розрядиться — припинить роботу. Однак його можна знову зарядити. Під час заряджання

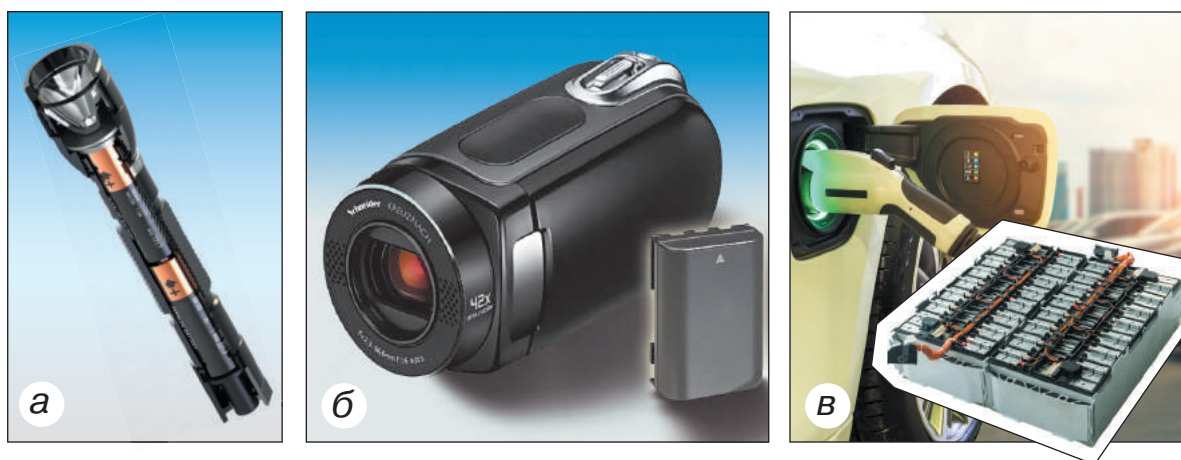
аккумулятора хімічні реакції йдуть у зворотному напрямку і концентрація сульфатної кислоти відновлюється.

## 5. Застосовуємо хімічні джерела електричного струму

Акумулятори, як і гальванічні елементи, зазвичай об'єднують й одержують відповідно *аккумуляторну батарею* і *батарею гальванічних елементів* (рис. 25.7).

За принципом дії сучасні хімічні джерела струму майже не відрізняються від тих, що були створені близько двох століть тому. При цьому нині існує велика кількість різноманітних видів гальванічних елементів і акумуляторів та здійснюється активна розробка нових. Один від одного вони відрізняються розмірами, масою, енергоємністю, терміном роботи, надійністю, безпекою, вартістю тощо.

Вибір того чи іншого хімічного джерела струму про-диктований сферою його застосування. Так, в автомобі-лях доцільно використовувати відносно дешеві кислотні



**Рис. 25.7.** Широко використовувані хімічні джерела електричного струму: батарея гальванічних елементів (а); акумуляторні батареї (б, в)



акумуляторні батареї, і те, що вони досить важкі, не є вирішальним. А от джерела струму для мобільних телефонів мають бути легкими та безпечними, тому в них варто використовувати, наприклад, літій-іонні батареї, хоча вони є порівняно дорогими.



### Підбиваємо підсумки

Пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію, називають джерелами електричного струму.

У джерелах електричного струму відбувається розділення різнойменних електричних зарядів, у результаті чого на одному полюсі джерела накопичується позитивний заряд, на другому — негативний, а отже, створюється електричне поле.

У джерелах електричного струму робота з розділення різнойменних зарядів виконується за рахунок механічної, хімічної, теплової та інших видів енергії.

До хімічних джерел електричного струму належать гальванічні елементи й акумулятори. Гальванічний елемент — хімічне джерело електричного струму одноразового використання. Акумулятор — хімічне джерело електричного струму багаторазового використання.



### Контрольні запитання

**1.** Які пристрої називають джерелами електричного струму? Які процеси в них відбуваються? **2.** Чому для розділення різнойменних зарядів необхідно виконати роботу? **3.** За рахунок якої енергії може здійснюватися розділення різнойменних зарядів у джерелі електричного струму? **4.** Наведіть приклади джерел електричного струму та їх використання.

**Вправа № 25**

1. Які перетворення енергії відбуваються: а) під час заряджання акумулятора? б) під час роботи акумулятора?
2. Як на двох електроскопах, які з'єднані металевим провідником (див. рис. 23.1, б), підтримувати протилежні за знаком електричні заряди?
3. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи гідроелектростанції?
4. Чи працюватиме найпростіший гальванічний елемент (див. рис. 25.5), якщо для його виготовлення взяти пластинки з однакового металу?
5. Скористайтесь додатковими джерелами інформації та дізнайтесь, які спостереження та досліди Л. Гальвані підштовхнули А. Вольту до створення хімічного джерела електричного струму.
6. Загальна потужність генераторів Дністровської гідроелектростанції дорівнює 702 МВт, ККД — 92 %; висота падіння води — 54 м. Визначте масу води, що падає з греблі за хвилину.

**Експериментальне завдання**

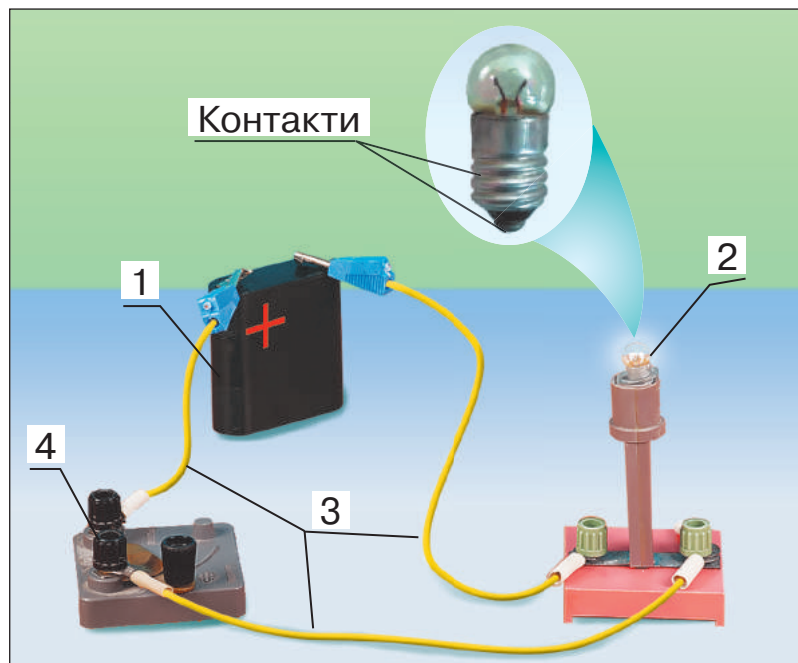
«Фруктова батарејка». Візьміть лимон, мідну монету (або дріт), залізний цвях і виготовте із цих предметів гальванічний елемент. Намалюйте його будову, зазначте назви основних елементів. Принесіть ваш пристрій до школи та разом з учителем перевірте його за допомогою гальванометра. Поміркуйте, яким фруктом або овочем можна замінити лимон.

## § 26. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТИ

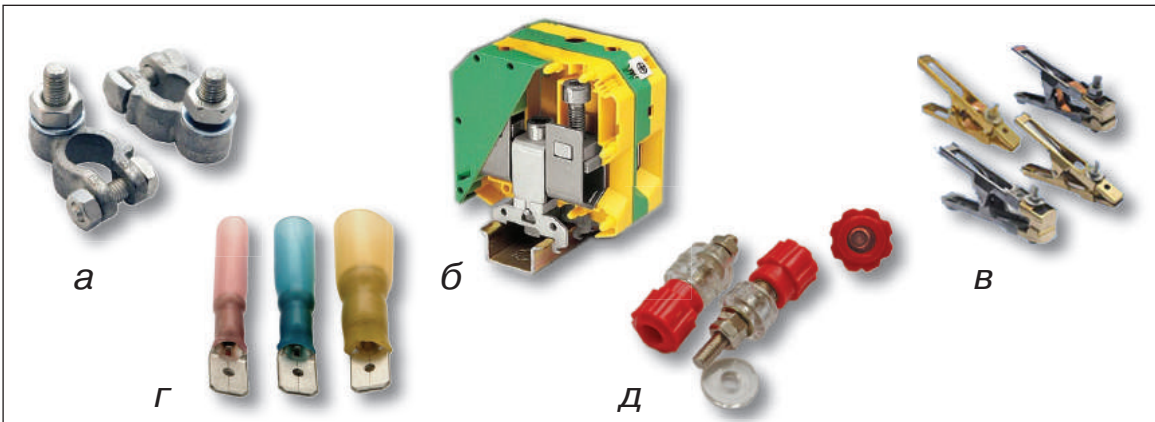
Щоб розібратися в будові електричного пристрою або усунути несправність електропроводки в оселі, передусім необхідно мати схему відповідного електричного кола. Про те, що таке електричне коло, із чого воно складається і як на його схемі зображують деякі електричні пристрої, ви дізнаєтеся, вивчивши матеріал цього параграфу.

### 1. Знайомимося з електричним колом

Будь-який електричний пристрій має певний набір обов'язкових елементів. Щоб виділити ці обов'язкові елементи та зрозуміти їхнє призначення, створимо модель найпростішого електричного пристрою — кишенькового ліхтарика (рис. 26.1).



**Рис. 26.1.** Модель кишенькового ліхтарика: 1 — джерело струму — батарея гальванічних елементів; 2 — споживач електричної енергії — лампа; 3 — з'єднувальні проводи; 4 — ключ



**Рис. 26.2.** Різні затискачі (клеми) для з'єднання провідників: акумуляторні (а); високовольтні (б); заземлення (в); ножові (г); приладні (д)

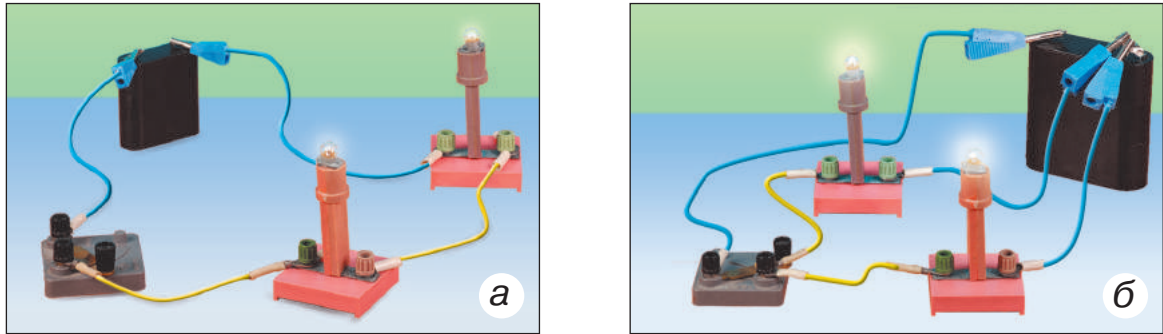
Щоб електричний пристрій працював, передусім необхідне *джерело струму*. У поданій моделі джерелом струму є батарея гальванічних елементів (1). Батарея має два виводи (полюси). Вивід батареї, на якому накопичується надлишковий позитивний заряд, позначений знаком «+».

Другий обов'язковий елемент — *споживач електричної енергії*. У поданій моделі — це електрична лампа (2). Будь-який споживач теж має два виводи (у лампі вони розташовані на цоколі — металевому циліндрі з нарізкою, що з'єднаний зі скляним балоном).

Джерело струму та споживач з'єднані за допомогою *з'єднувальних елементів* — провідів\* (3). Для кріплення провідів використовують спеціальні пристрої (рис. 26.2), паяння або зварювання.

\* На рис. 26.1 довжину з'єднувальних провідів зроблено надмірною. На практиці максимально зменшують усі «зайві» елементи. Так, в електричному ліхтарику роль одного проводу часто виконує металевий корпус, а один із виводів джерела струму безпосередньо контактує з виводом лампи.





**Рис. 26.3.** Два способи з'єднання ламп в електричному колі: а — послідовне; б — паралельне

І, нарешті, останній елемент. Щоб було зручно вмикати й вимикати споживачі, використовують різноманітні *замикальні (розмикальні) пристрої*: ключ, рубильник, механічний або електронний вимикач, кнопку, розетку, реле. У моделі, що розглядається (див. [рис. 26.1](#)), таким пристроєм є ключ (4).

З'єднані провідниками в певному порядку джерело струму, споживачі, *замикальні (розмикальні) пристрої* складають **електричне коло**.

*Зверніть увагу:* у реальному пристрої важливим є певний порядок з'єднання елементів електричного кола.

На [рис. 26.3](#) зображено два найпростіші електричні кола, які містять однакові елементи. При цьому спосіб з'єднання деяких елементів (ламп) є різним. На [рис. 26.3, а](#) лампи з'єднані *послідовно*, на [рис. 26.3, б](#) — *паралельно*.

## 2. Знайомимося з механічним аналогом електричного кола

Щоб краще зрозуміти призначення елементів електричного кола, розглянемо його механічний аналог.



**Рис. 26.4.** Механічний аналог електричного кола, поданого на [рис. 26.1](#). Відповідність елементів можна простежити за цифрами, якими вони позначені на рисунках

Механічна модель ([рис. 26.4](#)) складається з двох наповнених водою посудин ( $\Pi+$  і  $\Pi-$ ), трубки (3), вертушки (2) і... вашого товариша (1), завданням якого буде безперервне переливання води з посудини  $\Pi-$  до посудини  $\Pi+$ . Зануливши один кінець трубки в посудину з більш високим рівнем води ( $\Pi+$ ), створимо «водяний струм», який спричинятиме обертання вертушки.

Щоб вертушка не зупинялася, необхідно безперервно підтримувати «водяний струм». А він буде існувати, допоки існує різниця рівнів води в посудинах, тобто допоки ваш товариш переливатиме воду. І так само електричний струм

буде існувати в колі, допоки працює джерело струму. Безперервно «перетягуючи» заряди з одного полюса на другий, джерело струму створює та підтримує електричне поле. Ви, напевно, здогадалися: «водяний струм» у механічній моделі є аналогом електричного струму.

**?** Механічним аналогом якого елемента електричного кола є трубка з водою?

Ми можемо закрити трубку корком і таким чином зупинити потік води. Отже, у цьому випадку корок є механічним аналогом ключа в електричному колі.

Якщо заморозити воду в трубці, «водяний струм» зупиниться. Таким чином, умовою безперервного плину є наявність «субстанції», яка може вільно пересуватися. Для електричного кола такою «субстанцією» є вільні заряджені частинки (наприклад, електрони в металах або йони в рідинах).

Зверніть увагу на те, що зовсім не обов'язково бачити плин води в трубці. Його наявність можна зафіксувати, спостерігаючи, наприклад, за обертанням вертушки. Так само висновок про наявність електричного струму ми робимо, коли спостерігаємо за його діями.

### 3. Знайомимося з електричними схемами

Щоб показати, які саме електричні пристрої необхідні для одержання певного електричного кола і як їх потрібно з'єднувати, використовують *електричні схеми* (часто їх називають просто *схемами*).

**Електрична схема** — це креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою.

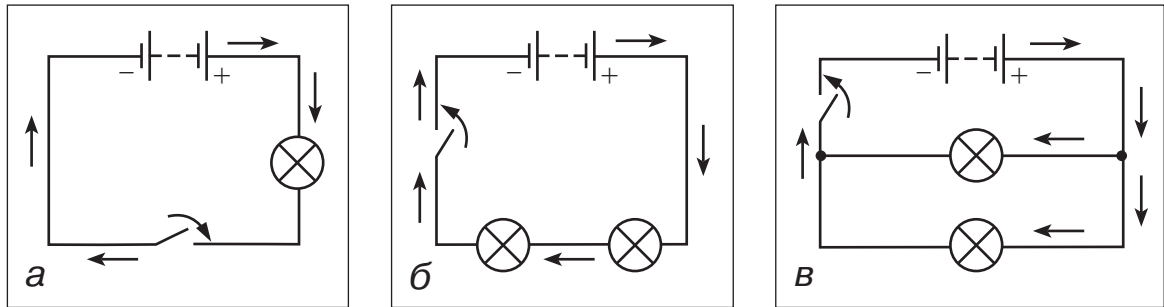
Умовні позначення деяких елементів електричного кола наведено в таблиці на с. 29. Зверніть увагу на позначення джерел струму (гальванічного елемента або акумулятора та батареї гальванічних елементів або акумуляторів): прийнято, що довга риска позначає позитивний полюс джерела струму, а коротка — негативний. Напрямок струму показують на схемах стрілкою.

*Деякі умовні позначення,  
застосовувані на схемах*

Елемент електричного кола	Умовне позначення
Гальванічний елемент або акумулятор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів	
Резистор	
Електричний дзвінок	
Штепсельна розетка	
З'єднання проводів	
Перетин проводів (без з'єднання)	
Затискачі для під'єднання чого-небудь	
Ключ	
Електрична лампа	
Нагрівальний елемент	
Запобіжник	

*За напрямом струму в колі прийнято напрямом, у якому рухалися б по колу частинки, що мають позитивний заряд, тобто напрямом від позитивного полюса джерела струму до негативного.*

*Зверніть увагу: у металевому провіднику електрони під дією електричного поля джерела струму рухаються від негативного полюса до позитивного, тобто напрямом руху електронів є протилежним прийнятому напрямку струму.*

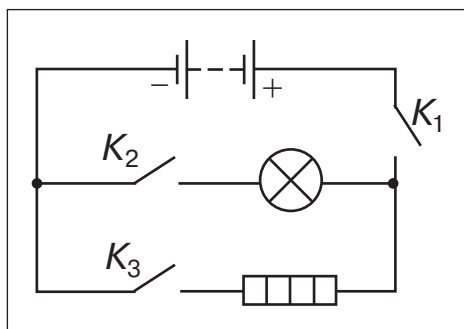


**Рис. 26.5.** Схеми деяких електричних кіл: *a* — схема електричного кола вмикання лампи (див. [рис. 26.1](#)); *б* — схема послідовного з'єднання двох ламп (див. [рис. 26.3, а](#)); *в* — схема паралельного з'єднання двох ламп (див. [рис. 26.3, б](#)). Стрілками позначено напрямок струму в разі замкнення ключа

На [рис. 26.5](#) наведено схеми електричних кіл, зображених на [рис. 26.1](#), [26.3](#), та показано напрямок струму в них.

Розглянемо схему складнішого електричного кола ([рис. 26.6](#)). Коло має три вимикачі (ключі), два споживачі струму (електричну лампу та електрообігрівач) і джерело струму (аккумуляторну батарею).

Якщо замкнути ключі  $K_1$  і  $K_2$ , а ключ  $K_3$  розімкнути, то коло, споживачем у якому є лампа, буде замкнене на джерело струму — і лампа світитиметься.



**Рис. 26.6.** Схема вмикання електричної лампи та обігрівача

Якщо замкнути ключі  $K_1$  і  $K_3$ , а ключ  $K_2$  розімкнути, то працюватиме електрообігрівач, а лампа світитися не буде.

Якщо ж замкнути всі три ключі, то одночасно світитиметься лампа і працюватиме електрообігрівач.



Чи буде працювати хоча б один споживач, якщо розімкнути тільки ключ  $K_1$ ? якщо замкнути тільки ключ  $K_1$ ? Якщо буде, то який?



### Підбиваємо підсумки

З'єднані провідниками джерело струму, споживач електричної енергії, вмикач (вимикач) утворюють найпростіше електричне коло.

Креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою, називають електричною схемою.

За напрямок струму в колі умовно прийнято напрямок, у якому б рухалися по колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного.



### Контрольні запитання

1. Назвіть основні елементи електричного кола.
2. Використовуючи механічну аналогію, поясніть призначення кожного елемента електричного кола.
3. Наведіть приклади споживачів електричної енергії.
4. З якою метою в електричних колах використовують ключ?
5. Що називають електричною схемою?
6. Як на електричних схемах зображують гальванічний елемент? батарею гальванічних елементів? електричний дзвінок? ключ?
7. Який напрямок прийнято за напрямок струму в електричному колі?



## Вправа № 26

1. На рис. 1 зображено схему електричного кола. Перенесіть схему до зошита, знаками «+» і «-» позначте полюси джерела струму, стрілками покажіть напрямок електричного струму. Підпишіть назву кожного елемента кола.
2. Накресліть схему електричного кола (рис. 2), стрілками покажіть напрямок струму в колі.

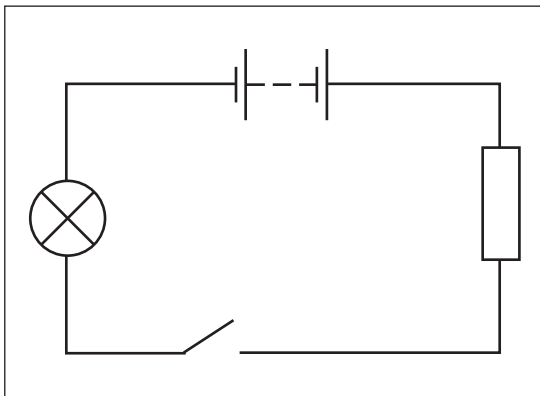


Рис. 1

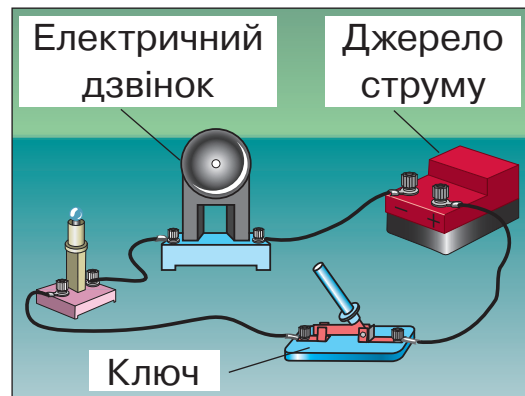


Рис. 2

3. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, двох ключів, дзвінка та лампи, причому один ключ може вмикати тільки лампу, а другий — тільки дзвінок. Накресліть схему електричного кола.
4. Накресліть схему електричного кола, яке містить два дзвінки, що вмикаються одночасно одним ключем, і батарею гальванічних елементів. (Зверніть увагу: завдання можна виконати двома способами.) Де можна застосувати таке з'єднання?
5. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, дзвінка, ключа та лампи, причому лампа світиться весь час, а дзвінок вмикається тільки в разі замкнення ключа. Накресліть схему цього кола.



## 6. Заповніть таблицю.



Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця в СІ
Час		
Сила		
Електричний заряд		
Механічна робота		



## ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

**Інститут електродинаміки НАН України** (Київ) — провідний науковий заклад у галузі енергетики, електротехніки й енергетичного машинобудування України.

Інститут електродинаміки був створений у 1947 р. на базі електротехнічного відділу Інституту енергетики АН УРСР і спочатку називався Інститутом електротехніки. Фундатором і першим директором інституту був академік *Сергій Олексійович Лебедев*, під керівництвом якого в 1950 р. було створено першу на євразійському континенті *Малу електронно-обчислювальну машину* («МЕОМ»).

Основні наукові напрями роботи Інституту електродинаміки: перетворення і стабілізація параметрів електромагнітної енергії; підвищення ефективності та надійності процесів електромеханічного перетворення енергії; аналіз, оптимізація й автоматизація режимів електроенергетичних систем; інформаційно-вимірювальні системи і метрологічне забезпечення в електроенергетиці; комплексні енергетичні системи з відновлювальними джерелами енергії.

У різні роки Інститут електродинаміки очолювали видатні вчені: члени-кореспонденти АН УРСР *А. Д. Нестеренко* і *О. М. Мілях*, академік НАН України *А. К. Шидловський*.



## § 27. СИЛА СТРУМУ. ОДИНИЦЯ СИЛИ СТРУМУ. АМПЕРМЕТР

Ви вже знаєте, що для кількісного опису фізичних явищ, властивостей тіл і речовин фізики використовують фізичні величини. А за допомогою яких фізичних величин можна кількісно описати процес проходження електричного струму в провіднику? Про одну з них ви дізнаєтесь із цього параграфа.

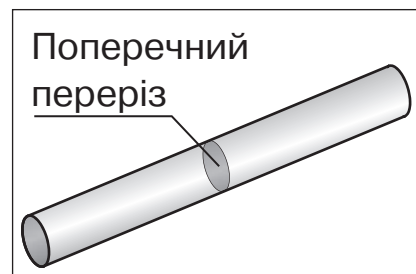
### 1. З'ясовуємо, що називають силою струму

У металевому стрижні є велика кількість носіїв струму — вільних заряджених частинок, а саме електронів.

Коли в стрижні не тече струм, рух електронів у ньому хаотичний. Тому можна вважати, що кількість електронів, які за одну секунду проходять через поперечний переріз стрижня (рис. 27.1) зліва направо, дорівнює кількості електронів, що проходять через нього справа наліво.

Якщо приєднати стрижень до джерела струму, у провіднику виникне електричне поле, внаслідок дії якого електрони почнуть рухатися напрямлено і кількість електронів, які проходять за певний час через поперечний переріз в одному напрямку, істотно збільшиться. Отже, у цьому напрямку через поперечний переріз стрижня буде перенесено певний заряд  $q$ .

**Сила струму** — це фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.



**Рис. 27.1.** Уявно розрізавши стрижень, одержуємо його поперечний переріз

Силу струму позначають символом  $I$  та визначають за формулою:

$$I = \frac{q}{t},$$

де  $q$  — заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час  $t$ .

Щоб краще усвідомити суть уведеної фізичної величини, знову звернемося до механічної моделі електричного кола (див. рис. 26.4). Механічним аналогом сили струму є маса води, що проходить через поперечний переріз трубки за 1 с.

## 2. Одиниця сили струму

Одиниця сили струму в СІ — **ампер**:

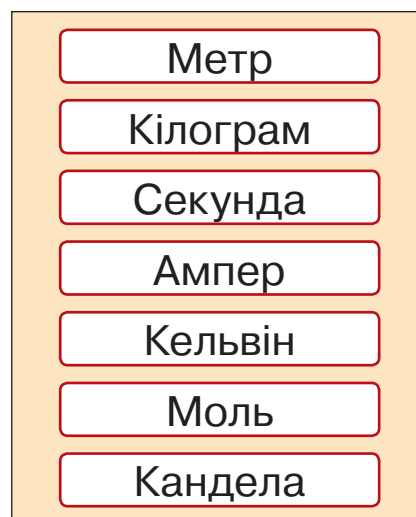
$$[I] = 1 \text{ А.}$$

Ця одиниця названа на честь французького вченого *А. Ампера* (рис. 27.2). Ампер — одна з основних одиниць СІ (рис. 27.3).

Крім ампера, на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці сили струму. Так, для вимірювання малої сили струму використовують *міліампери* (мА) і *мікроампери* (мкА), великої сили струму — *кілоампери* (кА).



**Рис. 27.2.** Андре Марі Ампер (1775–1836) — французький учений, один із засновників учення про електромагнітні явища. Він першим увів у фізику поняття електричного струму



**Рис. 27.3.** Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць (СІ)

Щоб уявити, що означає велика чи мала сила струму, розглянемо декілька прикладів. Сила струму в каналі блискавки сягає 500 кА, сила струму в аксоні під час передачі нервового імпульсу становить лише 0,004 мкА, а середня сила струму під час лікування електрофорезом — 0,8 мА.

**?** Згадайте, яким множникам відповідають префікси кіло-, мікро-, мілі- та подайте наведені значення сили струму в амперах.



**Рис. 27.4.** Значення сили струму в деяких пристроях

Значення сили струму в деяких електротехнічних пристроях наведено на рис. 27.4.

Сила струму, що проходить через тіло людини, вважається безпечною, якщо її значення не перевищує 1 мА; сила струму 100 мА може призвести до серйозних уражень. Тому, щоб не наражатися на смертельну небезпеку під час роботи з електротехнічними приладами й пристроями, необхідно суворо дотримуватися правил безпеки. Загальну інструкцію з безпеки подано на форзаці підручника. Ми ж зупинимось на головних моментах, які слід пам'ятати всім, хто має справу з електрикою.

#### НЕ МОЖНА:

- торкатись оголеного проводу, особливо стоячи на землі, сирій підлозі тощо;
- користуватися несправними електротехнічними пристроями;
- збирати, розбирати, ремонтувати електротехнічні пристрої, не від'єднавши їх від джерела струму.

### 3. Даємо означення одиниці електричного заряду

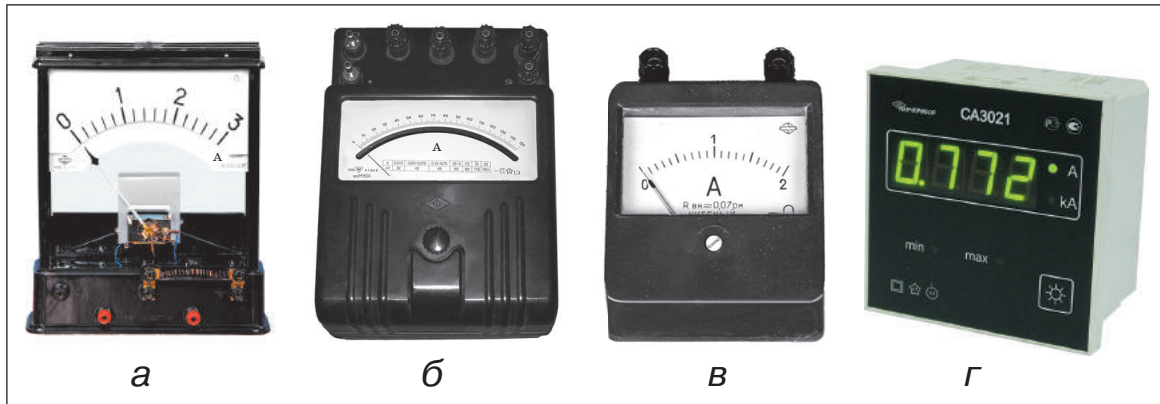
Знаючи одиницю сили струму, легко одержати означення одиниці електричного заряду в СІ. Оскільки  $I = \frac{q}{t}$ , то  $q = It$ . Отже:

$$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

1 Кл — це заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за 1 с при силі струму в провіднику 1 А.

#### 4. Вимірюємо силу струму

Для вимірювання сили струму використовують прилад, який називається **амперметр** (рис. 27.5).



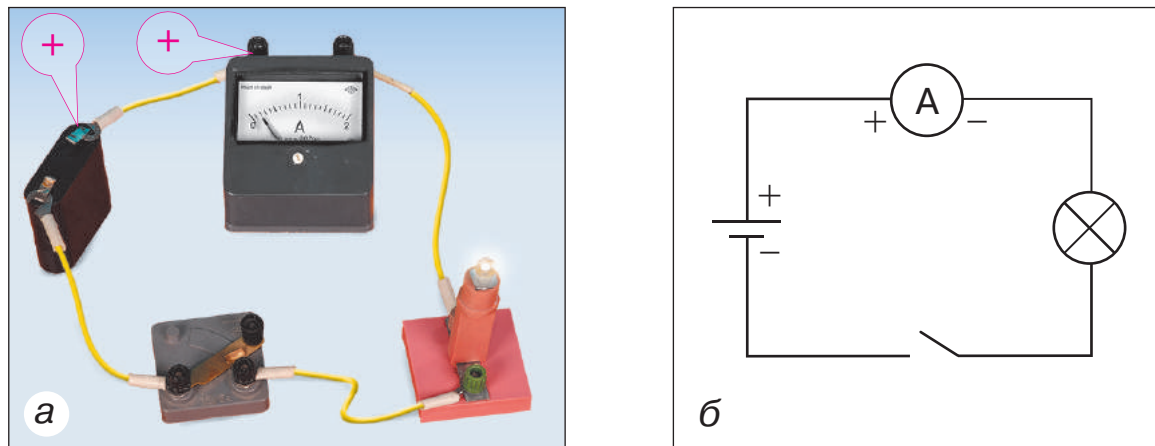
**Рис. 27.5.** Деякі види амперметрів: *а* — демонстраційний; *б* — лабораторний із дзеркальною шкалою; *в* — шкільний лабораторний; *г* — електронний

Ⓐ — умовне позначення амперметра на електричних схемах.

Як і будь-який вимірювальний прилад, амперметр не має впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр сконструйований таким чином, що в разі приєднання його до електричного кола значення сили струму в колі практично не змінюється.

#### *Правила вимірювання сили струму амперметром*

1. Амперметр вмикають у коло послідовно з тим споживачем, у якому необхідно виміряти силу струму (рис. 27.6).
2. Клему амперметра, біля якої стоїть знак «+», потрібно з'єднувати з проводом, що йде від позитивного полюса джерела струму, клему зі знаком «-» — із проводом, що йде від негативного полюса.



**Рис. 27.6.** Вимірювання амперметром сили струму, який проходить через нитку розжарення лампи: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема

3. Не можна приєднувати амперметр до кола, в якому відсутній споживач струму, — це може призвести до псування обладнання або пожежі.

### 5. Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Скільки електронів пройде через поперечний переріз нитки розжарення лампи за 2 с, якщо сила струму в нитці становить 0,32 А?

*Аналіз фізичної проблеми.* Щоб визначити кількість  $N$  електронів, необхідно знати загальний заряд  $q$ , перенесений за 2 с, і заряд  $e$  одного електрона. Загальний заряд знайдемо з означення сили струму; заряд одного електрона дорівнює  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

*Дано:*

$$t = 2 \text{ с}$$

$$I = 0,32 \text{ А}$$

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

$$N = ?$$

*Розв'язання*

За означенням:  $I = \frac{q}{t}$ , тому  $q = It$ .

Знаючи загальний заряд, знайдемо кількість електронів:  $N = \frac{q}{|e|} = \frac{It}{|e|}$ .



Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1; \quad N = \frac{0,32 \cdot 2}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}.$$

Відповідь:  $N = 4 \cdot 10^{18}$  електронів.



### Підбиваємо підсумки

Сила струму  $I$  — фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду  $q$ , який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Одиниця сили струму в СІ — ампер (А). Ампер — це одна з основних одиниць СІ. 1 Кл — це заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за 1 с, коли сила струму в провіднику становить 1 А.

Силу струму вимірюють амперметром. Амперметр приєднують до електричного кола послідовно зі споживачем, у якому вимірюють силу струму.



### Контрольні запитання

1. Що називають силою струму?
2. За якою формулою визначають силу струму?
3. Яка одиниця сили струму? На честь кого її названо?
4. Яке значення сили струму безпечне для людини?
5. Яких основних правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з електротехнічними пристроями?
6. Дайте означення кулона.
7. Яким приладом вимірюють силу струму?
8. Які правила необхідно виконувати, вимірюючи силу струму?



## Вправа № 27

1. Перенесіть схему електричного кола (рис. 1) до зошита. Покажіть на схемі, де можна приєднати амперметр, щоб виміряти силу струму в лампах. Знаками «+» і «-» позначте полярність клем амперметра.

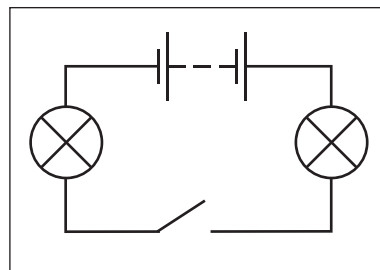


Рис. 1

2. Сила струму в провіднику 200 мА. Протягом якого часу через поперечний переріз провідника проходить заряд, що дорівнює 24 Кл?
3. Накресліть схему електричного кола (рис. 2), позначте на ній полярність клем амперметра. Як, на вашу думку, зміниться показ амперметра, якщо одна з ламп перегорить?
4. На рис. 3 показано вимірювання сили струму в електричному колі. Накресліть схему електричного кола, позначте полярність клем амперметра. Визначте заряд, який проходить через поперечний переріз нитки розжарення лампи за 10 хв.
5. Чому дорівнює сила струму в провіднику, якщо за 10 с через його поперечний переріз проходить  $2 \cdot 10^{20}$  електронів?

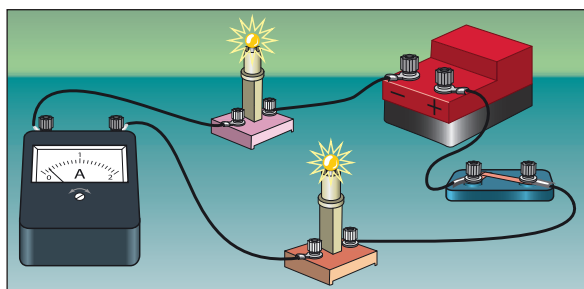


Рис. 2

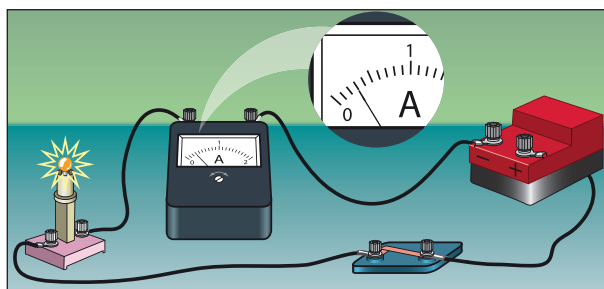


Рис. 3

## § 28. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА. ОДИНИЦЯ НАПРУГИ. ВОЛЬТМЕТР

Кожний, напевно, чув застережливе «Не підходь — там висока напруга!», обурене «Знову впала напруга в мережі!», запитальне «На яку напругу розрахований цей прилад?». Із цього параграфу ви дізнаєтеся, що таке напруга і чому на всіх електротехнічних пристроях наводять її значення.

### 1. Даємо означення електричної напруги

У § 23 було доведено, що напрямлений рух вільних заряджених частинок (електричний струм) можливий завдяки дії на ці частинки сили з боку електричного поля. А з курсу фізики 7 класу вам відомо, що коли тіло рухається внаслідок дії певної сили і напрямок руху тіла збігається з напрямком дії цієї сили, то сила виконує роботу. Отже, коли в певній ділянці кола існує струм, то електричне поле виконує роботу. Цю роботу прийнято називати *роботою струму*. Робота, яку може виконати або виконує електричне поле, переміщуючи заряд по даній ділянці кола, визначається *електричною напругою*.

**Електрична напруга** на ділянці кола — це фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по цій ділянці.

Напругу позначають символом  $U$  і в загальному випадку визначають за формулою:

$$U = \frac{A}{q},$$

де  $A$  — робота, яку виконує (може виконати) електричне поле з переміщення заряду  $q$  по даній ділянці кола.

Одиниця напруги в СІ — **вольт** (названа на честь італійського вченого А. Вольти):

$$[U] = 1 \text{ В.}$$


1 В — це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд, що дорівнює 1 Кл:

$$1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

Крім вольта, на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці напруги: мікровольт (мкВ), мілівольт (мВ), кіловольт (кВ):

$$1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}; 1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}; 1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}.$$

Так, електрична напруга на клітинній мембрані або мікрочіпі становить кілька мікровольтів, а між хмарами під час грози — сотні кіловольтів.

 А чи знаєте ви, яка напруга подається у ваш будинок? на акумулятор вашого мобільного телефона під час його заряджання?

## 2. Проводимо аналогію

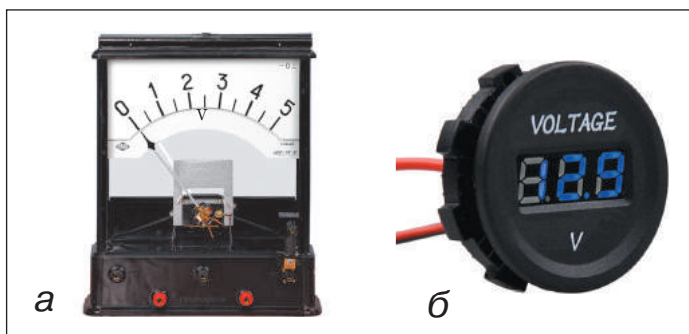
Звернувшись до аналогії між електричним струмом і плином води (див. § 26), можна визначити, що напруга аналогічна різниці рівнів води в посудинах. Якщо рівні води в посудинах однакові, то вода не переливатиметься. Аналогічно, якщо на ділянці електричного кола відсутня напруга, то струму в ділянці не буде.

Чим більшою є різниця рівнів води в посудинах, тим більшу роботу виконає сила тяжіння під час падіння води

масою 1 кг. Відповідно чим більшою є напруга на ділянці кола, тим більшу роботу виконає електрична сила під час переміщення цієї ділянкою заряду 1 Кл.

### 3. Вимірюємо напругу, знайомимося з вольтметром

Для вимірювання напруги використовують прилад, який називається **вольтметр** (рис. 28.1). Вольтметр дуже схожий на амперметр — і зовні, і за принципом дії.

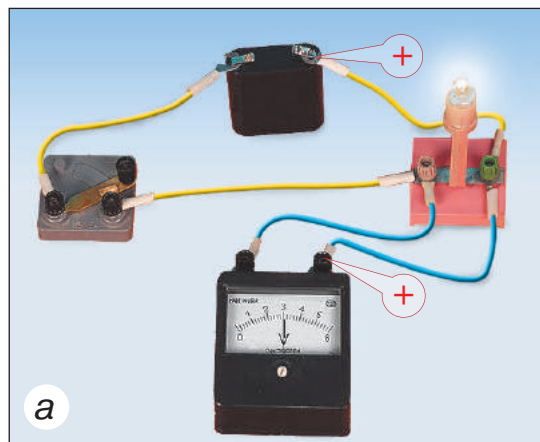


**Рис. 28.1.** Деякі види вольтметрів: а — шкільний демонстраційний; б — цифровий автомобільний

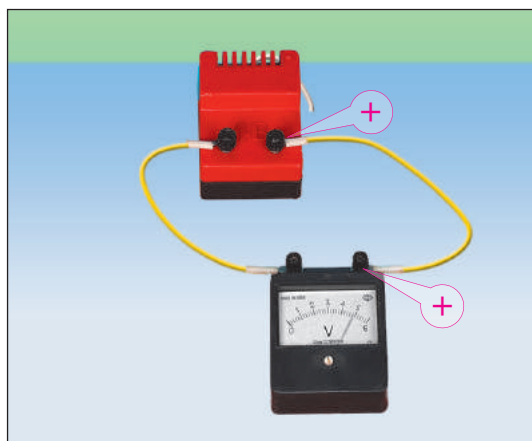
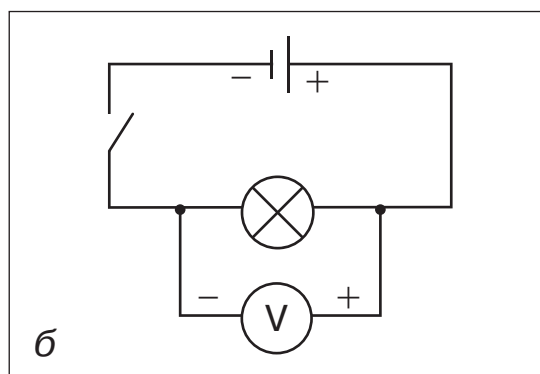
Ⓥ — умовне позначення вольтметра на електричних схемах. Як і будь-який вимірювальний прилад, вольтметр не має впливати на значення вимірюваної величини. У разі паралельного приєднання вольтметра до певної ділянки кола значення напруги на цій ділянці практично не змінюється.

#### *Правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги вольтметром*

1. Вольтметр приєднують паралельно до тієї ділянки кола, на якій необхідно виміряти напругу (рис. 28.2).
2. Клему вольтметра, біля якої стоїть знак «+», слід з'єднувати з проводом, який іде від позитивного полюса джерела струму; клему зі знаком «-» — із проводом, який іде від негативного полюса.



**Рис. 28.2.** Вимірювання вольтметром напруги на лампі: а — загальний вигляд; б — схема електричного кола



**Рис. 28.3.** Вимірювання вольтметром напруги на виході джерела струму

- Для вимірювання напруги на виході джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до полюсів джерела (рис. 28.3).

#### 4. Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Напруга на клеммах автомобільного акумулятора становить 12 В. З якої висоти має впасти вантаж масою 36 кг, щоб сила тяжіння виконала ту саму роботу, яку виконує електричне поле, переміщуючи заряд 300 Кл по одному з електричних кіл автомобіля?

*Аналіз фізичної проблеми.* За умовою робота сили тяжіння дорівнює роботі електричного струму:  $A = A_{\text{струму}}$ . Записавши формули для визначення роботи сили тяжіння та роботи струму, визначимо висоту падіння вантажу.



Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$m = 36 \text{ кг}$$

$$A = A_{\text{струму}}$$

$$q = 300 \text{ Кл}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$h$  — ?

Пошук математичної моделі,  
розв'язання

За означенням напруги  $U = \frac{A_{\text{струму}}}{q}$ ,  
отже,  $A_{\text{струму}} = Uq$ .

За означенням механічної роботи  
 $A = Fl$ , де  $F = F_{\text{тяж}} = mg$ , а  $l = h$ .

Отже,  $A = mgh$ .

Оскільки  $A_{\text{струму}} = A$ , то  $Uq = mgh$ ;  
звідси  $h = \frac{Uq}{mg}$ .

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[h] = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл}}{\text{Н}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$h = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10 \text{ (м)}.$$

Відповідь:  $h = 10 \text{ м}$ .



### Підбиваємо підсумки

Фізичну величину, яка чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по певній ділянці кола, називають електричною напругою на цій ділянці кола. Напругу позначають символом  $U$  і визначають за формулою  $U = \frac{A}{q}$ , де  $A$  — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле для переміщення заряду  $q$  по даній ділянці кола.

Одиниця напруги в СІ — вольт (В). Один вольт — це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд, що дорівнює 1 Кл  $\left(1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}\right)$ .

Прилад для вимірювання напруги називають вольтметром. Вольтметр приєднують паралельно тій ділянці кола, напругу на якій необхідно виміряти.



### Контрольні запитання

**1.** Доведіть, що, коли в провіднику тече струм, електричне поле виконує роботу. **2.** Що називають напругою на деякій ділянці кола? **3.** За якою формулою визначають електричну напругу? **4.** У яких одиницях вимірюють напругу? **5.** Дайте означення одиниці напруги. **6.** Який прилад використовують для вимірювання напруги? Яких правил необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги?



### Вправа № 28

**1.** На рис. 1 зображено шкали різних вольтметрів. Визначте ціну поділки кожної шкали і напругу на кожному вольтметрі.

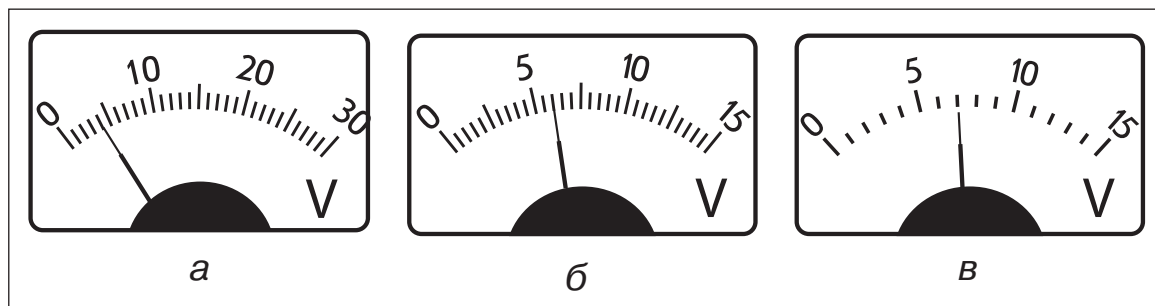


Рис. 1

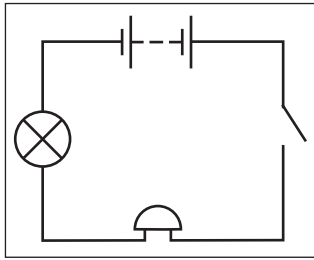


Рис. 2

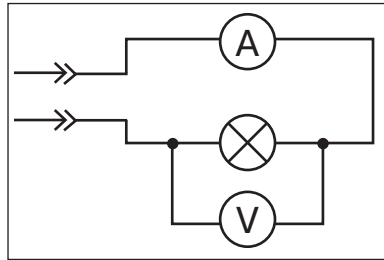


Рис. 3

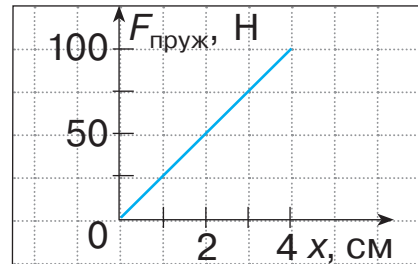


Рис. 4

- 2.** На рис. 2 зображено схему електричного кола. Перенесіть схему до зошита і покажіть на ній, де потрібно приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на лампі. Позначте полярність клем вольтметра.
- 3.** Під час переміщення по ділянці кола заряду, що дорівнює 3 Кл, електричне поле виконало роботу 0,12 кДж. Визначте напругу на ділянці кола.
- 4.** Електричне поле, переміщуючи ділянкою кола заряд 60 Кл, виконує ту саму роботу, яку виконує сила тяжіння під час падіння тіла масою 200 г з висоти 360 м. Чому дорівнює напруга на ділянці?
- 5.** На рис. 3 зображено схему електричного кола. Визначте роботу електричного струму в лампі за 1 год, якщо покази амперметра і вольтметра становлять 0,5 А і 220 В відповідно.
- 6.** Скориставшись додатковими джерелами інформації, складіть задачу на визначення роботи електричного струму в певному електротехнічному пристрої.
- 7.** За графіком залежності сили пружності ( $F_{\text{пруж}}$ ) від видовження ( $x$ ) пружини визначте жорсткість ( $k$ ) пружини (рис. 4). Чи залежить жорсткість пружини від сили пружності? від видовження?

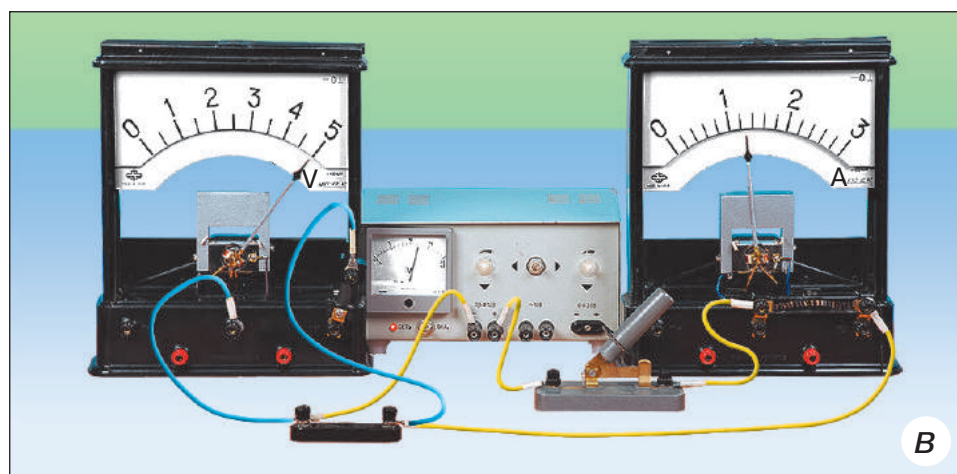
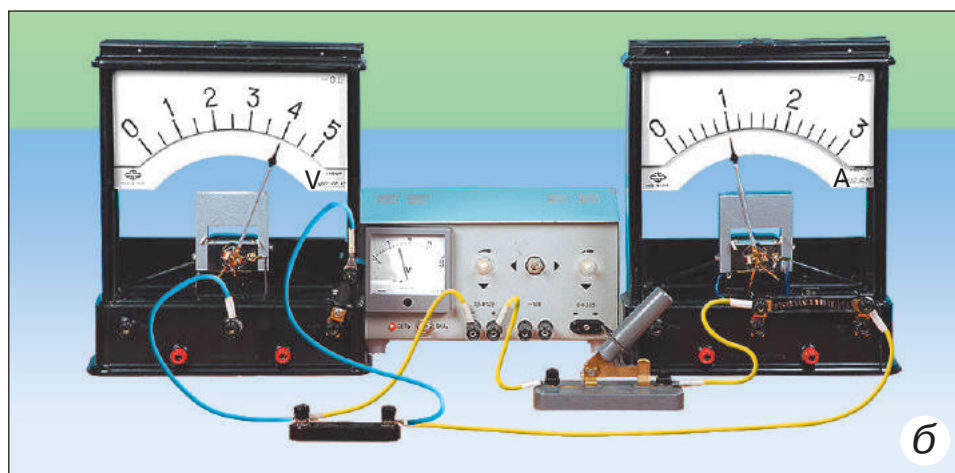
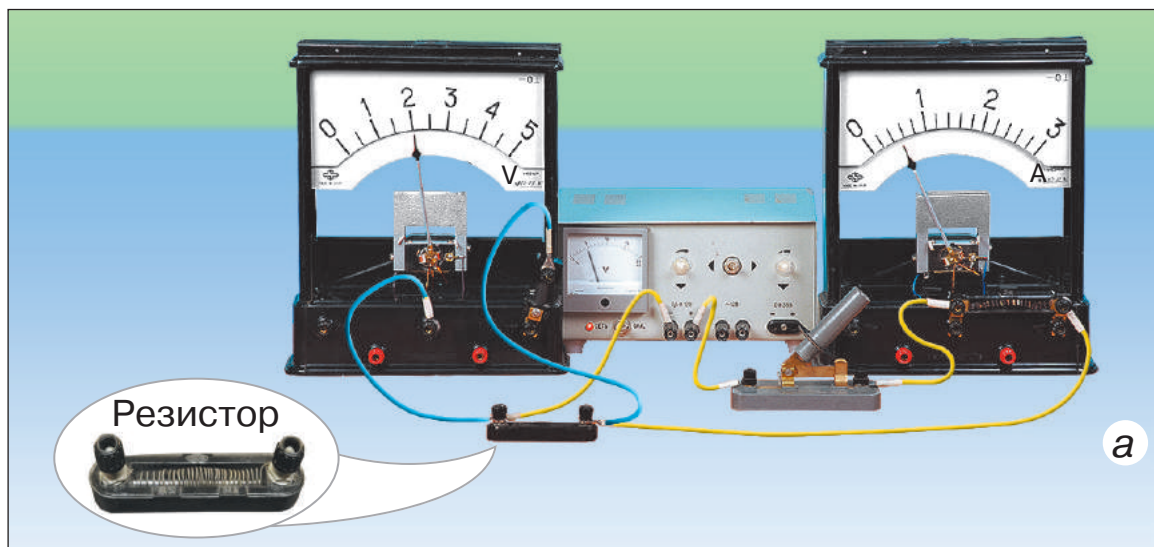
## § 29. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР. ЗАКОН ОМА

Згадайте механічний аналог електричного кола, запропонований у § 26 (див. [рис. 26.4](#)). А тепер уявіть, що досить тривалий час саме ви будете «черпальником», тобто маєте підтримувати обертання вертушки. Як це зробити з найменшими зусиллями?

### 1. Переконаємося, що сила струму в провіднику залежить від напруги на його кінцях

Згадайте, що різниця рівнів води — аналог напруги, а кількість води, що пройшла через трубку за 1 с, — аналог сили струму. Отже, можна припустити, що сила струму в провіднику зменшується в разі зменшення напруги і залежить від провідних властивостей провідника. Перевіримо ці припущення. Складемо електричне коло, споживачем у якому буде металевий провідник (резистор), а джерелом струму — пристрій, на виході якого можна змінювати напругу. Для вимірювання сили струму в провіднику та напруги на його кінцях використаємо амперметр і вольтметр ([рис. 29.1, а](#)).

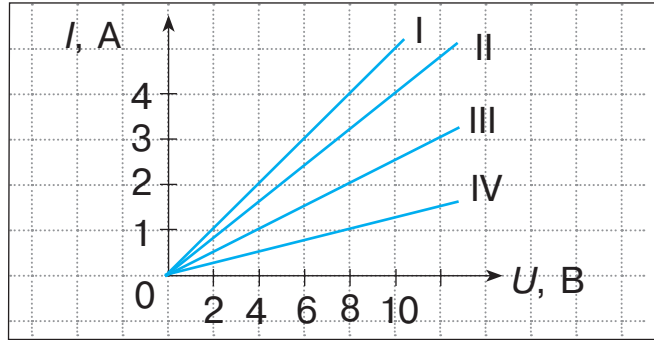
Дослід покаже, що в разі збільшення напруги на кінцях провідника у 2 рази сила струму в провіднику так само зростає у 2 рази ([рис. 29.1, б](#)); збільшення напруги у 2,5 разу приведе до зростання сили струму також у 2,5 разу ([рис. 29.1, в](#)) і т. д. Таким чином, у скільки разів збільшується напруга на кінцях провідника, у стільки ж разів зростає в провіднику сила струму. Інакше кажучи, *сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника*. Цю залежність першим експериментально встановив німецький учений *Г. Ом* ([рис. 29.2](#)) у 1826 р.



**Рис. 29.1.** Дослід, який демонструє залежність сили струму в провіднику від поданої на провідник напруги



**Рис. 29.2.** Георг Сімон Ом (1787–1854) — німецький фізик



**Рис. 29.3.** Графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях — пряма лінія. I, II, III, IV — графіки для різних провідників

Вам відомо, що таку залежність можна передати формулою  $I = kU$ , де  $k$  — коефіцієнт пропорційності, а також у вигляді графіка, який являє собою пряму, що проходить через початок координат (рис. 29.3).

Залежність сили струму в провіднику від напруги на його кінцях називають **вольт-амперною характеристикою провідника**.

## 2. Дізнаємося про електричний опір

Провівши дослід, описаний у пункті 1, з іншими провідниками, побачимо, що в кожному провіднику сила струму є прямо пропорційною напрузі на його кінцях ( $I = kU$ ), а от коефіцієнт пропорційності буде різним, про що свідчать різні кути нахилу графіків (рис. 29.3). Отже, *сила струму в провіднику залежить не тільки від напруги на його кінцях, але й від властивостей самого провідника.*



На практиці залежність  $I = kU$  записують у вигляді  $I = \frac{1}{R} \cdot U^*$  або  $I = \frac{U}{R}$ , де  $R$  — *електричний опір провідника*.

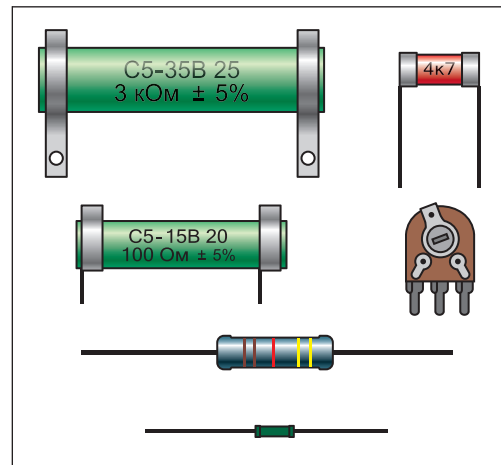
Сила струму менша в тому провіднику, який має більший опір. Тобто чим більшим є опір провідника, тим сильніше провідник протидіє проходженню струму — *створює йому опір*. (При цьому частина електричної енергії перетворюється на внутрішню енергію провідника.)

**Електричний опір** — це фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.

Одиниця електричного опору в СІ — **ом**:  $[R] = 1 \text{ Ом}$ .  
1 Ом — це опір такого провідника, в якому за напруги на кінцях 1 В сила струму дорівнює 1 А:

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Більшість радіоелектронних пристроїв неможливо уявити без *резисторів* — деталей, що забезпечують певні опори (рис. 29.4).



**Рис. 29.4.** Різні типи резисторів, які використовують в електротехніці.

\* Величину  $\frac{1}{R}$  у фізиці називають *провідністю*. Одиниця провідності в СІ — *сименс* (См), названа так на честь німецького фізика й електротехніка *Ернста Вернера фон Сіменса* (1816–1892), засновника відомого концерну «Siemens». 1 См — електрична провідність провідника, який має опір 1 Ом.

### 3. Формулюємо закон Ома для ділянки кола

Усе те, що ви дізналися про залежність сили струму в провіднику від напруги на його кінцях, справджується і для ділянки кола, яка містить будь-яку кількість провідників. Отже, **закон Ома для ділянки кола**:

Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки кола.

Математичним записом закону Ома є формула:

$$I = \frac{U}{R},$$

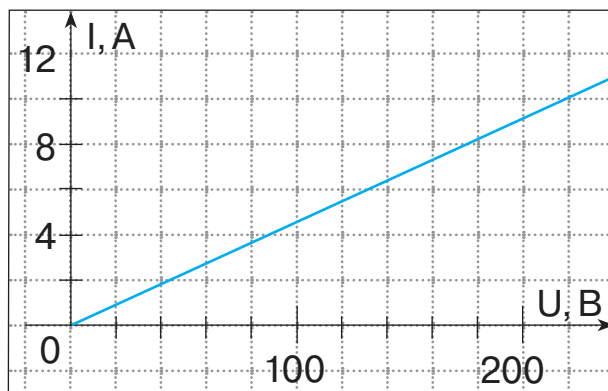
де  $R$  — опір ділянки кола; він залежить тільки від властивостей провідників, що складають ділянку.

Закон Ома — один із найважливіших фізичних законів, і переважна більшість розрахунків електричних кіл ґрунтується саме на ньому.

**?** Скориставшись законом Ома, отримайте формулу для розрахунку опору провідника; для розрахунку напруги на кінцях провідника.

### 4. Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** На рисунку подано вольт-амперну характеристику металевого провідника. Визначте опір цього провідника.



*Аналіз фізичної проблеми.* Графік залежності  $I(U)$  — пряма, тому для визначення опору скористаємося координатами будь-якої точки графіка та законом Ома.

**Дано:**

$I = 10 \text{ А}$

$U = 220 \text{ В}$

**Знайти:**

$R = ?$

*Пошук математичної моделі,  
розв'язання*

Із графіка бачимо, що, наприклад, за напруги 220 В сила струму в провіднику дорівнює 10 А.

Відповідно до закону Ома  $I = \frac{U}{R}$ ,  
отже,  $R = \frac{U}{I}$ .

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}; R = \frac{220}{10} = 22 \text{ (Ом)}.$$

**Відповідь:**  $R = 22 \text{ Ом}$ .**Підбиваємо підсумки**

Сила струму  $I$  в ділянці кола прямо пропорційна напрузі  $U$  на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна електричному опору  $R$  даної ділянки кола. Цю закономірність називають законом Ома для ділянки кола та записують формулою  $I = \frac{U}{R}$ .

Електричний опір — це фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.

Одиниця опору в СІ — ом; 1 Ом — це опір такого провідника, в якому тече струм силою 1 А за напруги на кінцях провідника 1 В ( $1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$ ).

**Контрольні запитання**

1. Опишіть дослід, який демонструє, що сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на

його кінцях. **2.** Опишіть дослід, який демонструє, що сила струму в провіднику залежить від властивостей провідника. **3.** Дайте означення опору провідника. **4.** Що таке 1 Ом? **5.** Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.



### Вправа № 29

- 1.** Користуючись показами приладів (рис. 1), визначте опір електричної лампи.

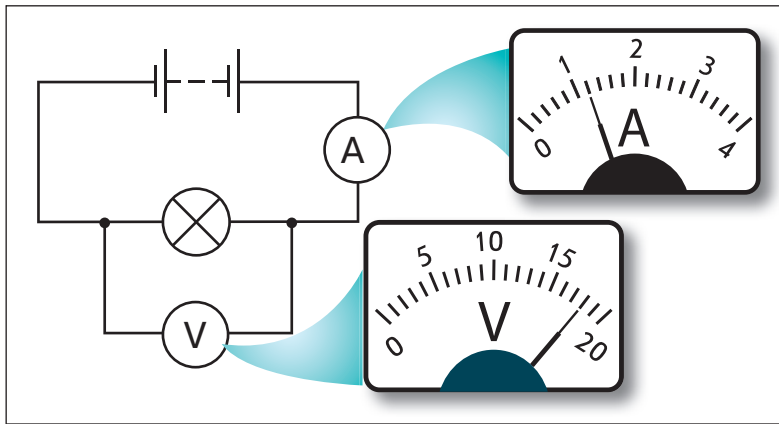


Рис. 1

- 2.** На рис. 29.3 подано вольт-амперні характеристики кількох провідників. Визначте опори цих провідників.
- 3.** Сила струму, який тече в спіралі кип'ятильника, дорівнює 1,5 А. Визначте напругу на спіралі, якщо її опір становить 150 Ом.
- 4.** Опір провідника дорівнює 2 Ом. Подайте вольт-амперну характеристику цього провідника у вигляді графіка.
- 5.** У провіднику, до кінців якого прикладено напругу 12 В, протягом 5 хв пройшов заряд 60 Кл. Визначте опір провідника.

6. Якщо в електричному колі (рис. 2) замкнути ключ, то стрілка амперметра розміститься так, як показано на рисунку. Визначте ціну поділки шкали амперметра.

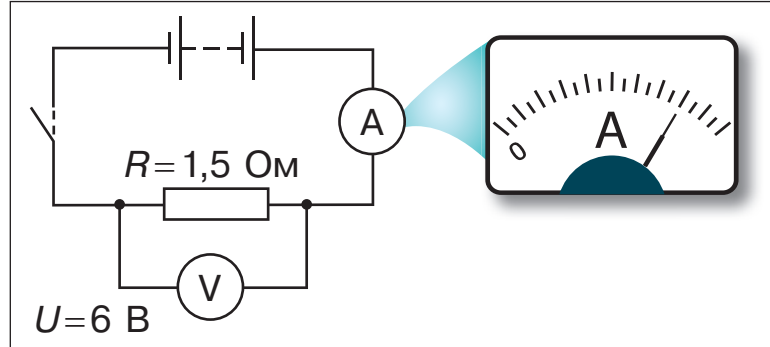


Рис. 2

7. Чи залежить опір провідника від сили струму в ньому? від напруги на його кінцях? Поясніть свою відповідь.
8. З мідного дроту, площа поперечного перерізу якого дорівнює  $10 \text{ мм}^2$ , виготовлено кільце діаметром 10 см. Визначте масу кільця.

## § 30. РОЗРАХУНОК ОПОРУ ПРОВІДНИКА. ПИТОМИЙ ОПІР. РЕОСТАТИ

Ми так звикли до різноманітних технічних пристроїв, що часто не замислюємося, як вони працюють. Наприклад, кожен із вас збільшував гучність звуку плеєра чи телевізора. Але чи ставили ви собі запитання: як це вдається? Спробуємо розібратися.

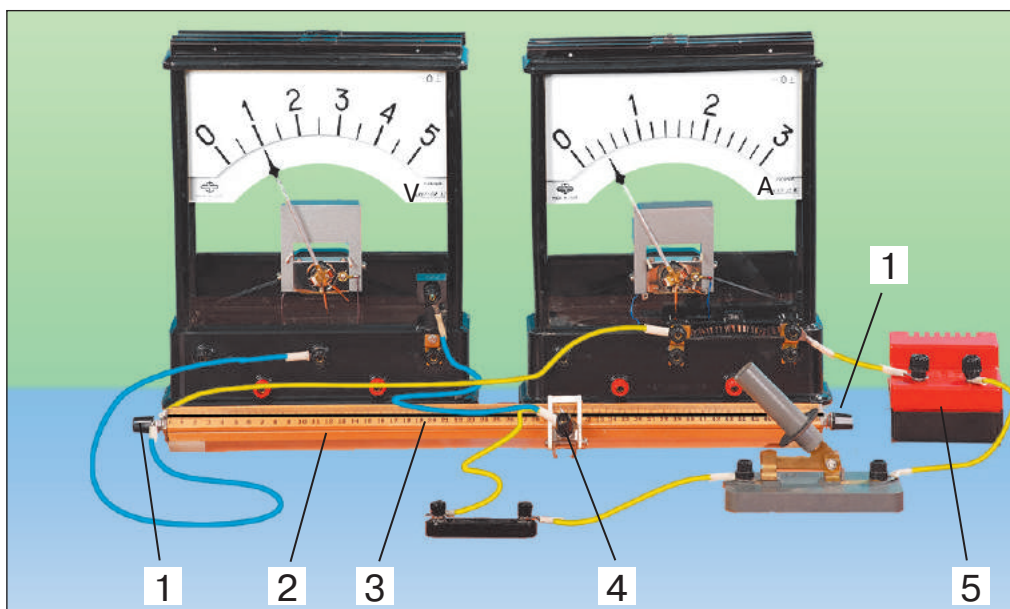
### 1. З'ясуємо, від чого залежить опір провідника

Коли в металевому провіднику йде струм, вільні електрони, рухаючись напрямлено, зіштовхуються з йонами кристалічної ґратки металу — провідник чинить опір

електричному струмові. *Опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, а також від речовини, з якої виготовлений провідник.*

Переконаємося в цьому за допомогою дослідів, змінюючи кожного разу тільки один із зазначених параметрів. Опір провідника будемо визначати, користуючись законом Ома: вимірявши амперметром силу струму  $I$  в провіднику, а вольтметром — напругу  $U$  на його кінцях, обчислимо опір за формулою  $R = \frac{U}{I}$ .

Спочатку з'ясуємо, як опір провідника залежить від його довжини. Для цього складемо електричне коло (див. [рис. 30.1](#)), яке містить джерело струму, ключ, резистор і ніхромовий дріт, натягнутий на дерев'яну лінійку з двома клемми. Довжину ділянки дроту, в якій тече струм, змінюватимемо за допомогою повзунка —



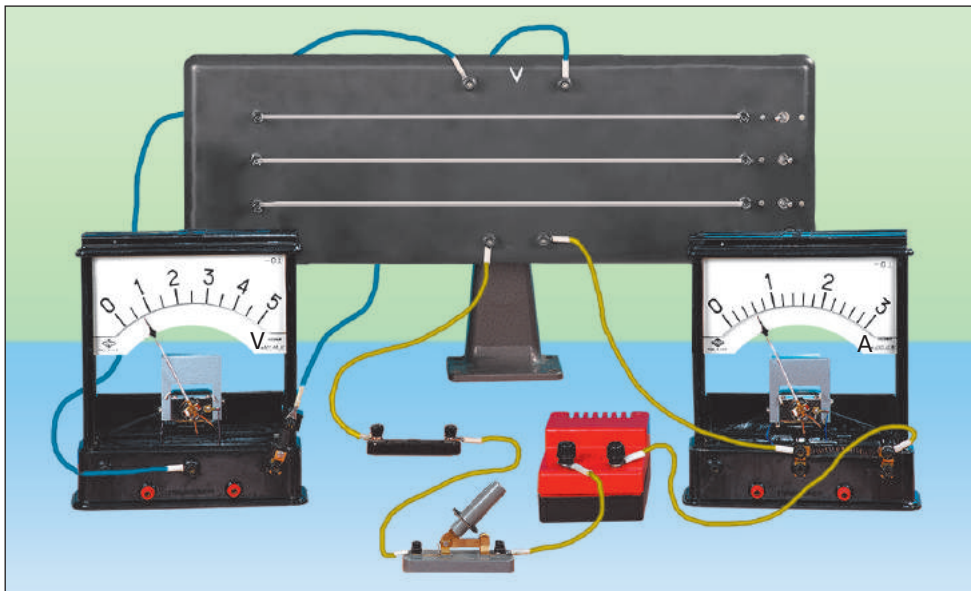
**Рис. 30.1.** Дослід, який доводить, що опір провідника прямо пропорційний його довжині. На рисунку: 1 — клемми; 2 — лінійка; 3 — ніхромовий дріт (провідник); 4 — повзунок; 5 — джерело струму



спеціального затискача, який можна легко пересувати вздовж провідника. Щоб вимірювати силу струму та напругу, до кола приєднаємо амперметр і вольтметр.

Провівши відповідні дослідження, переконаємося, що в разі зміни довжини провідника його опір також змінюється. Причому в скільки разів збільшується (зменшується) довжина провідника, у стільки ж разів збільшується (зменшується) його опір. Отже, *опір провідника прямо пропорційний його довжині*.

Щоб з'ясувати, як залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу, використаємо кілька закріплених на панелі ніхромових провідників, однакових за довжиною, але різних за площею поперечного перерізу (рис. 30.2). Дослід показує, що збільшення вдвічі площі поперечного перерізу провідника спричиняє дворазове зменшення його опору, тобто *опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу*.



**Рис. 30.2.** Дослід, який доводить, що опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу

Провівши досліди з провідниками, однаковими за довжиною і площею поперечного перерізу, але виготовленими з різних матеріалів (наприклад, міді, алюмінію, ніхрому), переконаємося, що *опір провідника залежить від речовини, з якої виготовлений провідник*.

Підсумовуючи результати дослідів, можна записати формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де  $R$  — опір провідника;  $l$  — довжина провідника;  $S$  — площа поперечного перерізу провідника;  $\rho$  — коефіцієнт пропорційності, що залежить від речовини (матеріалу), з якої виготовлений провідник. Цей коефіцієнт називають *питомим опором речовини*.

## 2. Даємо означення питомого опору речовини

Звернемося до формули для обчислення опору провідника:  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Із формули випливає, що  $\rho = \frac{RS}{l}$ . Якщо  $l = 1$  м, а  $S = 1$  м<sup>2</sup>, то  $\rho$  чисельно дорівнює  $R$ .

**Питомий опір речовини** — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.

Одиниця питомого опору в  $SI$  — **ом-метр**:


$$[\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

На практиці здебільшого мають справу з провідниками, площі поперечних перерізів яких досить малі.

Тому часто як одиницю питомого опору речовини використовують  $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$ . Оскільки  $1\text{ мм}^2 = 1\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ , то

$$1 \frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}} = 1\cdot 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Питомі опори речовин визначають дослідним шляхом і заносять у таблиці (див. табл. 1 Додатка). Значення питомого опору істотно залежить від температури речовини, тому в таблицях обов'язково зазначають температуру, за якої справджуються подані значення.

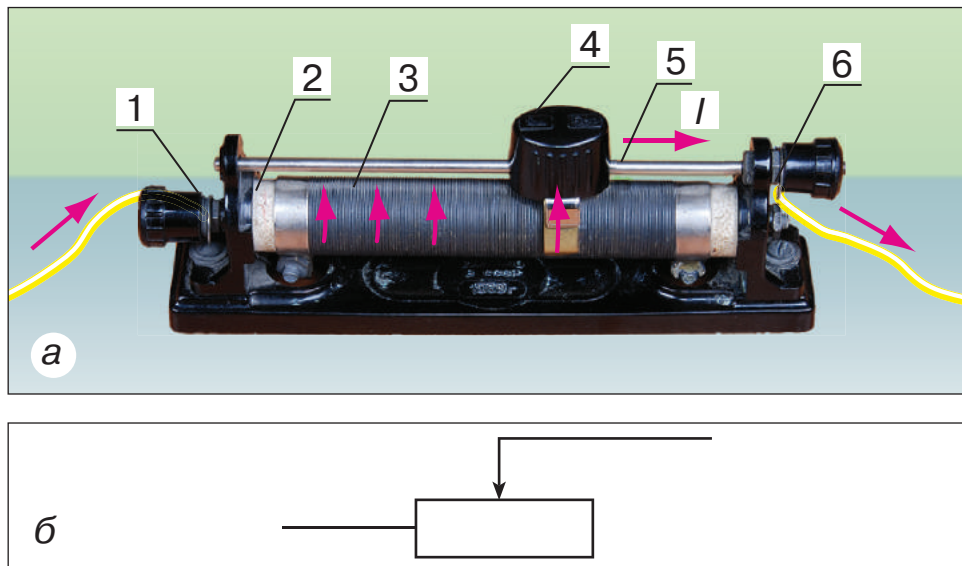
 Скориставшись даними табл. 1 Додатка, поясніть, чому для виготовлення електропроводки в приміщеннях зазвичай використовують алюміній і мідь, а не значно дешевшу сталь. Чому гуму, склопластик, кераміку застосовують в електротехніці як ізолятори?

### 3. Знайомимося з реостатами

На тому факті, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, базується принцип дії *реостатів*.

**Реостат** — це пристрій зі змінним опором, призначений для регулювання сили струму в електричному колі.

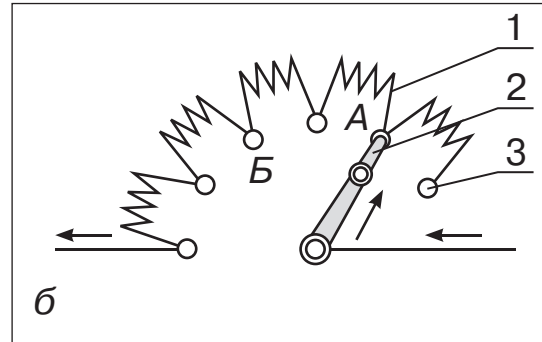
Якщо реостат ввести в електричне коло, то, змінюючи опір реостата, можна відповідно змінювати силу струму в колі  $\left(I = \frac{U}{R}\right)$ , а отже, настроювати гучність звуку радіоприймача, регулювати яскравість світіння лампи тощо. З найпростішим реостатом ви вже зустрічалися, коли з'ясовували залежність опору провідника



**Рис. 30.3.** Двоконтактний повзунковий реостат: а — загальний вигляд; б — умовне позначення на схемах

від його довжини (див. [рис. 30.1](#)). Звичайно, реостати, які застосовують на практиці, зручніші. Розглянемо *двоконтактний повзунковий реостат* ([рис. 30.3](#)). Металевий дріт (3) намотують на керамічний циліндр (2) і таким чином зменшують габарити реостата. Над обмоткою закріплюють металевий стрижень (5), на якому розташовують повзунок (4). Реостат має дві клеми (два контакти), одна з яких (1) з'єднана з обмоткою, а інша (6) — зі стрижнем. Коли реостат приєднаний до кола, електричний струм проходить від однієї клеми до іншої (у даному випадку — від клеми (1) до клеми (6), тобто спочатку у витках обмотки до повзунка, а потім у стрижні).

Пересуваючи повзунок уздовж стрижня, змінюють довжину  $l$  ділянки обмотки, в якій проходить струм. Оскільки  $R = \rho \frac{l}{S}$ , то опір реостата так само змінюється, а це приводить до зміни сили струму.



**Рис. 30.4.** Важільний (секційний) реостат: *а* — загальний вигляд; *б* — схема: 1 — металевий дріт; 2 — важіль; 3 — контакт; стрілками показано напрямок струму

На практиці крім повзункових реостатів використовують й інші типи реостатів, наприклад *важільні (секційні) реостати* (рис. 30.4). На відміну від повзункових, опір важільних реостатів змінюється стрибками, відповідно стрибками змінюється й сила струму. Важільні реостати застосовують для вмикання і вимикання електродвигунів.

**?** Розгляньте рис. 30.4, б і дізнайтесь, у скільки разів зменшиться опір секційного реостата, якщо важіль перемкнути з контакту *А* на контакт *Б*.

Кожний реостат розрахований на певну напругу. Максимальний опір реостата й найбільша можлива напруга на ньому зазначені в спеціальній таблиці на корпусі пристрою. Обмотки реостатів зазвичай виготовляють із металів (сплавів) з високим питомим опором (константан, манганін, ніхром, фехраль).

#### 4. Учимся розв'язувати задачі

**Задача 1.** Обчисліть силу струму в мідному дроті, який має довжину 10 м і площу поперечного перерізу 0,5 мм<sup>2</sup>; напруга на кінцях дроту становить 34 мВ.

*Аналіз фізичної проблеми.* Силу струму можна визначити за законом Ома. А для цього необхідно обчислити опір провідника. Скористаємося формулою для розрахунку опору провідника; питомий опір міді знайдемо у відповідній таблиці.

Дано:

$$l = 10 \text{ м}$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$U = 0,034 \text{ В}$$

$$\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

Знайти:

$$I = ?$$

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Відповідно до закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}.$$

Опір дроту визначимо за формулою

$$R = \frac{\rho l}{S}. \text{ Отже, маємо:}$$

$$\frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S} \Rightarrow US = I\rho l \Rightarrow I = \frac{US}{\rho l}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

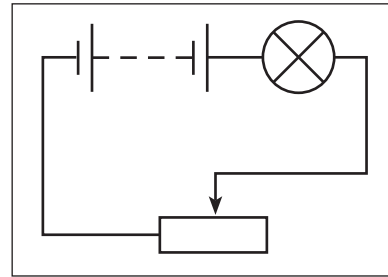
$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \text{А};$$

$$I = \frac{0,034 \cdot 0,5}{0,017 \cdot 10} = 0,1 \text{ (А)}.$$

**Відповідь:**  $I = 0,1 \text{ А}$ .



**Задача 2.** На рисунку зображено схему електричного кола, яке складається з джерела струму, електричної лампи та реостата. Як зміниться сила струму в лампі, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?



*Аналіз фізичної проблеми, розв'язання.* Якщо пересунути повзунок реостата праворуч, то довжина обмотки, в якій тече струм, збільшиться ( $l \uparrow$ ). Опір реостата теж збільшиться ( $R_{\text{реост}} \uparrow$ ). Відповідно збільшиться і загальний опір ділянки кола ( $R \uparrow$ ).

За законом Ома  $I = \frac{U}{R}$ . Напряга на ділянці кола не змінюється ( $U = \text{const}$ ), а опір ділянки збільшиться, тому сила струму в ділянці, а отже, і в лампі, зменшиться ( $I \downarrow$ ).  
*Відповідь:* сила струму в лампі зменшиться.



### Підбиваємо підсумки

Опір  $R$  провідника прямо пропорційний його довжині  $l$ , обернено пропорційний площі  $S$  його поперечного перерізу й залежить від речовини, з якої виготовлений провідник:  $R = \rho \frac{l}{S}$ , де  $\rho$  — питомий опір речовини.

Питомий опір речовини — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.

Для регулювання сили струму в колі застосовують реостати — пристрої, опір яких можна змінювати. На практиці застосовують повзункові, важільні (секційні) та інші реостати.



## Контрольні запитання

1. Доведіть, що провідник чинить опір електричному струмові.
2. Як довести, що опір провідника прямо пропорційний його довжині?
3. Як залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу?
4. За якою формулою обчислюють опір провідника?
5. Що таке питомий опір речовини?
6. Якими властивостями речовини визначається можливість її використання для виготовлення електропроводки?
7. Що таке реостат?
8. Які типи реостатів ви знаєте?
9. Опишіть будову та принцип дії повзункового реостата. Як його позначають на схемі?



## Вправа № 30

1. На рис. 1 зображено провідники, що мають однакову площу поперечного перерізу, але виготовлені з різних речовин (заліза, міді, свинцю). Визначте, з якої речовини виготовлений кожний провідник, якщо відомо, що їхні опори однакові.



Рис. 1

2. Обчисліть опір мідного дроту завдовжки 2 м, якщо площа його поперечного перерізу становить  $6,8 \text{ мм}^2$ .
3. Яким має бути завдовжки ніхромовий дріт із площею поперечного перерізу  $0,2 \text{ мм}^2$ , щоб за напруги на його кінцях 4,4 В сила струму в ньому становила 0,4 А?

4. Як зміняться опір реостата і сила струму в колі (рис. 2), якщо повзунок реостата пересунути праворуч?

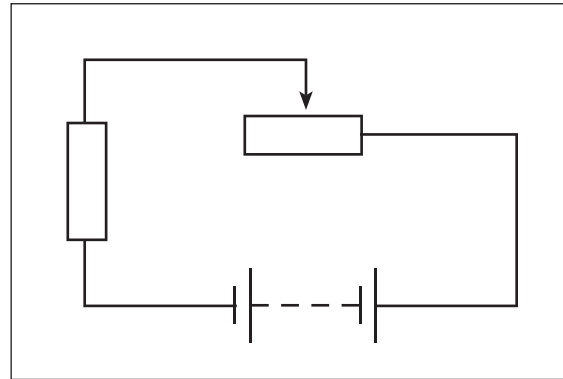


Рис. 2

5. Дріт, що має опір 25 Ом, розрізали навпіл і половини звили. Як і в скільки разів змінився опір дроту? Поясніть свою відповідь.

6. Під час проходження електричного струму в алюмінієвому дроті завдовжки 100 м напруга на кінцях дроту становить 7 В. Чому дорівнює маса дроту, якщо сила струму в ньому 10 А?

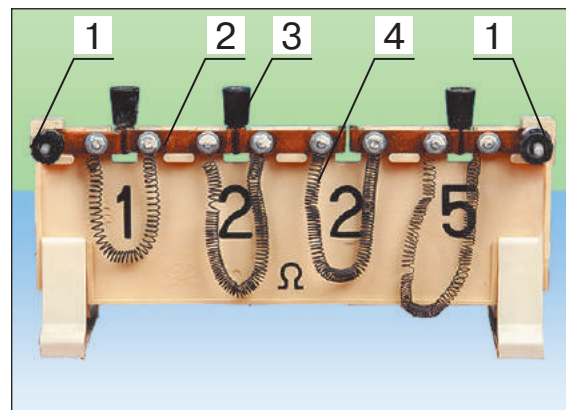


Рис. 3. Штепсельний реостат (магазин опорів): 1 — затискачі; 2 — мідна пластина; 3 — штепсель; 4 — спіраль

7. Skorистavшись рис. 3, опишіть принцип дії штепсельного реостата.



### Експериментальне завдання

Виготовте з металевого дроту резистор, що має опір 0,2 Ом. Опишіть свої дії. Зазначте діаметр і довжину використаного дроту, метал, з якого він виготовлений.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**Тема.** Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра та вольтметра.

**Мета:** навчитися визначати опір провідника за допомогою амперметра та вольтметра; переконатися на досліді в тому, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому та напруги на його кінцях.

**Обладнання:** джерело струму, резистор, повзунковий реостат, амперметр, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.



### Вказівки до роботи



#### Підготовка до експерименту

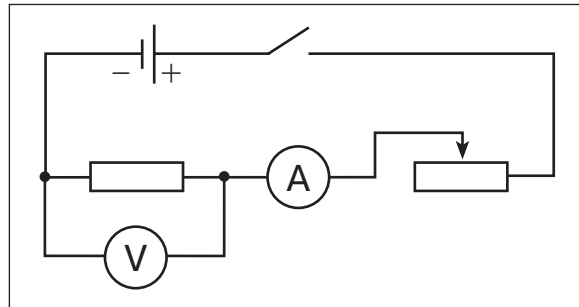
1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
  - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
  - 2) правила, яких необхідно дотримуватися, здійснюючи вимірювання за допомогою амперметра та вольтметра.
2. Визначте ціну поділки шкал амперметра та вольтметра.

### ▶ Експеримент

Суворо дотримуйтеся інструкції з безпеки (див. форзац частини 1 підручника).

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Складіть електричне коло за поданою схемою.



2. Розташуйте повзунок реостата на середині обмотки.
3. Замкніть коло і виміряйте напругу на резисторі та силу струму в ньому.
4. Плавно пересуваючи повзунок реостата, збільшіть силу струму в резисторі. Запишіть покази вольтметра та амперметра.
5. Пересуваючи повзунок реостата у протилежний бік, ще двічі виміряйте напругу на резисторі та силу струму в ньому.

### ▶▶ Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть опір резистора для кожного випадку.
2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліджу	Сила струму $I$ , А	Напруга $U$ , В	Опір $R$ , Ом
1			

### ■ Аналіз експерименту та його результатів

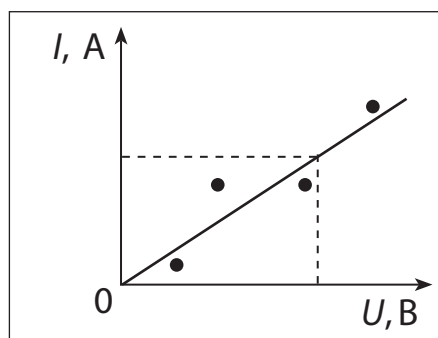
Проаналізувавши експеримент та його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) яку фізичну величину і за допомогою яких приладів ви навчилися вимірювати;
- 2) чи залежить вимірювана величина від сили струму в резисторі та напруги на ньому;
- 3) які чинники вплинули на точність вимірювання.

### + Творче завдання

За отриманими в ході експерименту даними побудуйте графік — вольт-амперну характеристику резистора. За графіком визначте значення опору резистора.

*Зверніть увагу:* через похибку вимірювання точки можуть не належати одній прямій, що проходить через початок координат ( $U=0, I=0$ ). Будуйте графік так, щоб він проходив через точку  $(0, 0)$  і щоб з обох боків від графіка була приблизно однакова кількість експериментальних точок (див. рисунок).



### \* Завдання «із зірочкою»

Вважаючи, що абсолютні похибки вимірювання сили струму та напруги дорівнюють цінні поділки шкали відповідного приладу, визначте для досліду 1:

$$1) \text{ відносну похибку вимірювання сили струму } \varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I};$$

$$\text{напруги } \varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U}; \text{ опору } \varepsilon_R = \varepsilon_I + \varepsilon_U;$$

$$2) \text{ абсолютну похибку вимірювання опору: } \Delta R = \varepsilon_R \cdot R.$$

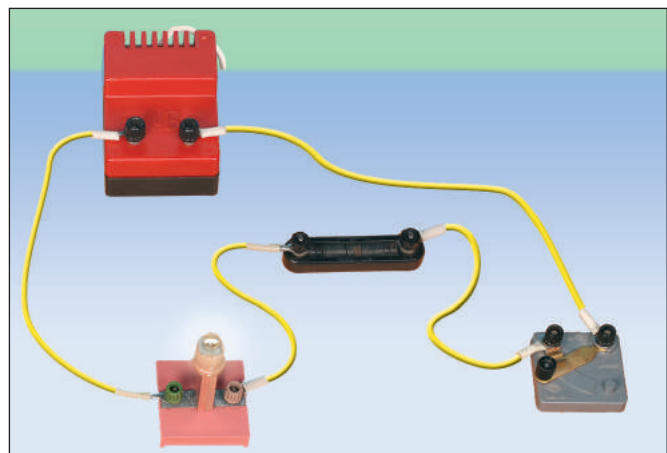


## § 31. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Уявіть плеєр без кнопки «ввімкнути/вимкнути», тобто такий, який можна, наприклад, вимкнути, тільки витягнувши з його корпусу акумулятор. Дуже незручно, правда? Але відсутність вимикача — це тільки незручності в користуванні, а от неправильне підключення вимикача до електричного кола може призвести до серйозних наслідків (плеєр може вийти з ладу). Про те, як потрібно підключати вимикачі до пристроїв та приладів і які особливості має таке з'єднання, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

### 1. Властивості кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників

Електричне коло, подане на рис. 31.1, не має розгалужень: елементи кола розташовані послідовно один за одним. Таке з'єднання провідників називають *послідовним*. З послідовним з'єднанням ви вже зустрічалися (див. рис. 26.3, 27.6), тепер розглянемо його детальніше. *Зверніть увагу*: якщо один із послідовно з'єднаних провідників вийде з ладу, то в решті струм теж іти не буде, бо коло буде розімкненим.



**Рис. 31.1.** Послідовне з'єднання кількох провідників

Оскільки коло з послідовним з'єднанням провідників не має розгалужень, то заряд, який за певний час  $t$  проходить через поперечний переріз кожного з провідників, є однаковим:

$$q = q_1 = q_2,$$

де  $q$  — загальний заряд, який пройшов через коло;  $q_1$  — заряд, який пройшов через поперечний переріз спіралі резистора;  $q_2$  — заряд, який пройшов через поперечний переріз нитки розжарення лампи.

Поділивши цей вираз на  $t$ , отримаємо:  $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$ .

За означенням сили струму:  $\frac{q}{t} = I$ , тобто:  $I = I_1 = I_2$ .

У разі послідовного з'єднання провідників загальна сила струму в колі та сила струму в кожному провіднику однакові:

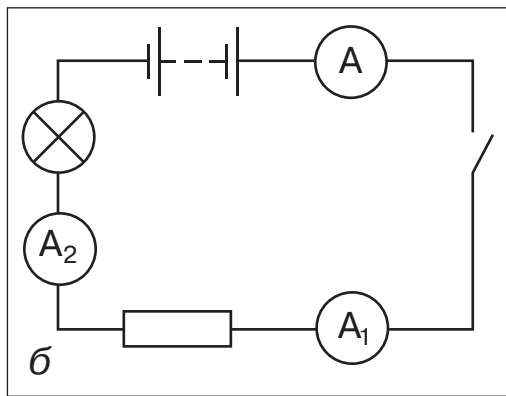
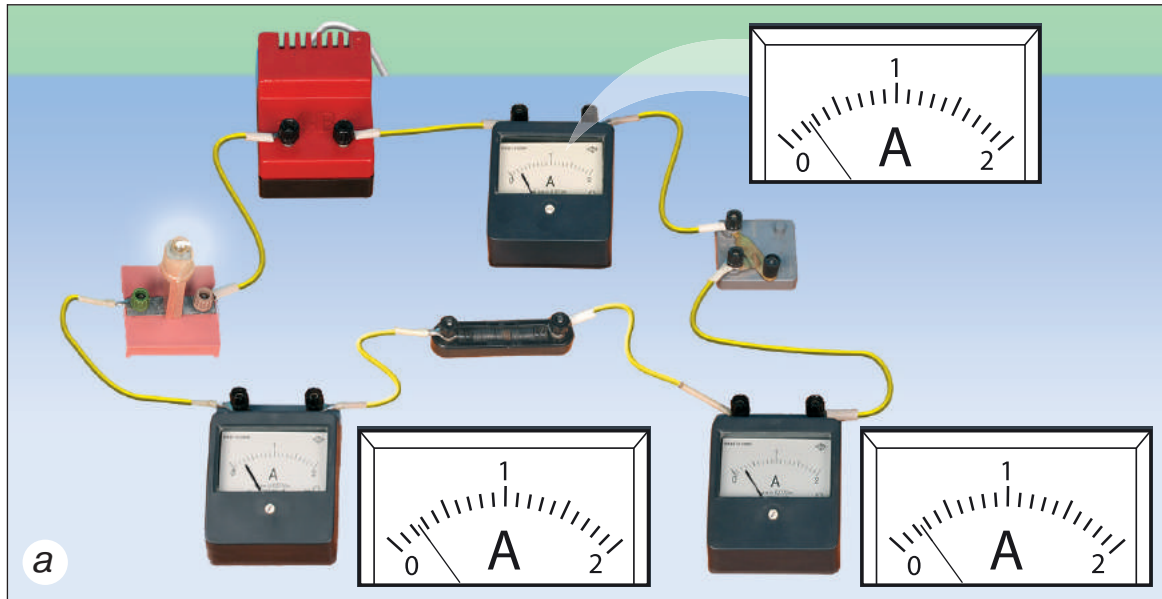
$$I = I_1 = I_2$$

Наші теоретичні дослідження легко перевірити за допомогою експерименту (рис. 31.2).

Щоб з'ясувати, яким співвідношенням пов'язані загальна напруга  $U$  на двох послідовно з'єднаних провідниках та напруги  $U_1$  і  $U_2$  на першому та другому провідниках відповідно, згадаємо формулу для обчислення напруги:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Якщо електричне поле виконує роботу  $A_1$  з переміщення заряду  $q$  в першому провіднику і роботу  $A_2$  — у другому провіднику, то зрозуміло, що для переміщення заряду через обидва провідники має бути виконана



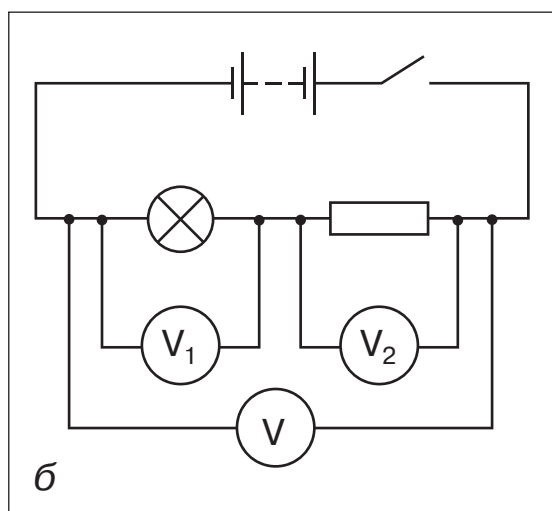
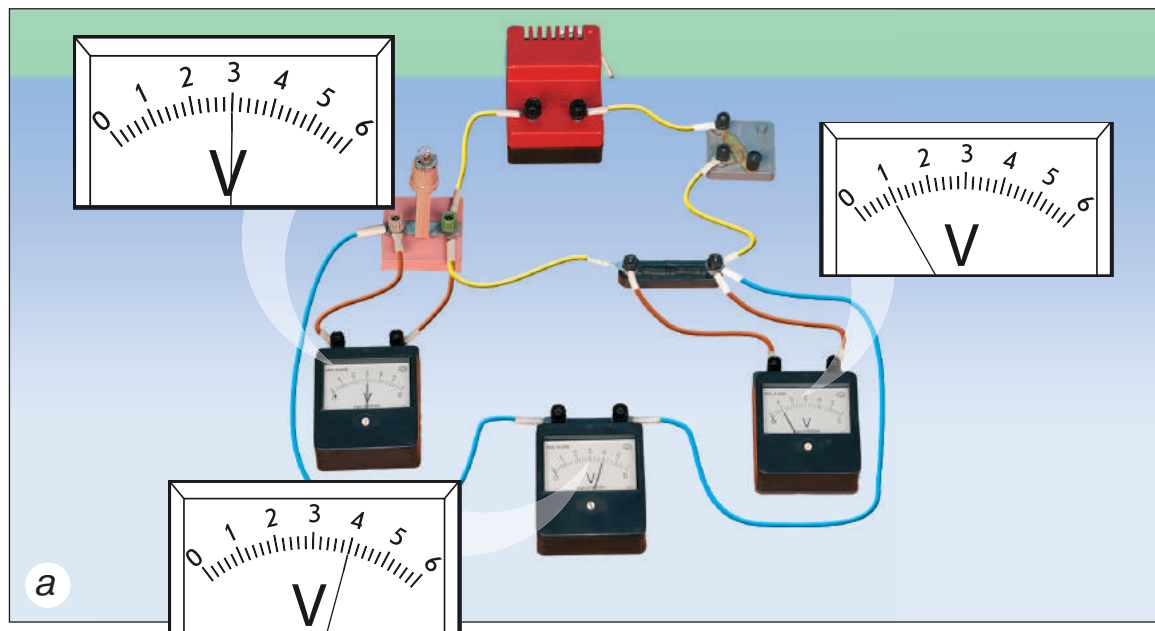
**Рис. 31.2.** Вимірювання сили струму в різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема. Сила струму в усіх провідниках однакова

робота  $A = A_1 + A_2$ . Поділивши обидві частини рівності на  $q$ , одержимо:  $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$ . За означенням напруги  $\frac{A}{q} = U$ , отже,  $U = U_1 + U_2$ .

Загальна напруга  $U$  на двох послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруги  $U_1$  на першому провіднику та напруги  $U_2$  на другому провіднику:

$$U = U_1 + U_2$$

Одержаний висновок можна перевірити експериментально (рис. 31.3).



**Рис. 31.3.** Вимірювання напруги на різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема. Загальна напруга на ділянці кола, яка містить послідовно з'єднані лампу та резистор, дорівнює сумі напруги на лампі та напруги на резисторі

Одержані співвідношення для сили струму та напруги справджуються для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n ;$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n ,$$

де  $n$  — кількість провідників.

**?** Щоб краще зрозуміти властивості послідовного з'єднання провідників, скористайтеся механічною аналогією (рис. 31.4); відповідні паралелі проведіть самостійно.

## 2. Виводимо формулу для розрахунку опору

Для обчислення загального опору  $R$  ділянки кола, яка складається з двох послідовно з'єднаних провідників опорами  $R_1$  і  $R_2$ , скористаємося співвідношенням  $U = U_1 + U_2$ .

Застосувавши закон Ома, можемо переписати це співвідношення так:  $IR = I_1 R_1 + I_2 R_2$ .

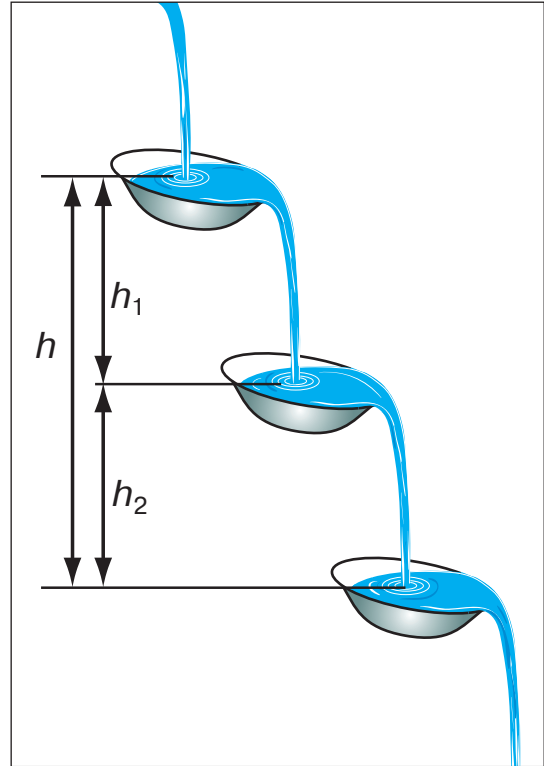
Оскільки в разі послідовного з'єднання  $I_1 = I_2 = I$ , то одержимо:  $IR = IR_1 + IR_2$ , або  $IR = I(R_1 + R_2)$ . Після скорочення на  $I$  остаточно маємо:

$$R = R_1 + R_2$$

Якщо ділянка кола складається з кількох послідовно з'єднаних провідників, загальний опір ділянки дорівнює сумі опорів окремих провідників:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

де  $n$  — кількість провідників.



**Рис. 31.4.** Механічна модель послідовного з'єднання провідників

Проаналізувавши останню формулу, можна зробити такі висновки:

- загальний опір послідовно з'єднаних провідників більший за опір кожного із цих провідників;
- загальний опір послідовно з'єднаних провідників, які мають однаковий опір, можна розрахувати за формулою:

$$R = n \cdot R_0,$$

де  $n$  — кількість провідників;  $R_0$  — опір кожного провідника.

### 3. Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Три резистори з опороми 2 Ом, 3 Ом і 7 Ом з'єднані послідовно. Яким є опір цієї ділянки кола? Визначте напругу на кожному резисторі та силу струму в ділянці, якщо на ділянку подано напругу 36 В. Опором проводів знехтуйте.

*Аналіз фізичної проблеми.* В умові задачі подано опір кожного резистора, тому можемо знайти загальний опір ділянки кола. Скориставшись законом Ома, знайдемо силу струму в колі. Знаючи, що сила струму в ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників, всюди однакова, обчислимо напругу на кожному резисторі.

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 7 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

$$R - ?; U_1 - ?;$$

$$U_2 - ?; U_3 - ?;$$

$$I - ?$$

*Пошук математичної моделі, розв'язання*  
 $R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 7 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}.$

Відповідно до закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{36 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

$I_1 = I_2 = I_3 = I$ , тому  $I_1 = 3 \text{ А}$ ;  $I_2 = 3 \text{ А}$ ;  $I_3 = 3 \text{ А}.$



$$U_1 = I_1 R_1 = 3 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}; \quad U_2 = I_2 R_2 = 3 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 9 \text{ В};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \text{ А} \cdot 7 \text{ Ом} = 21 \text{ В}.$$

*Аналіз результатів.* Загальна напруга на ділянці кола:  $U = U_1 + U_2 + U_3 = 6 \text{ В} + 9 \text{ В} + 21 \text{ В} = 36 \text{ В}$ . Одержаний результат збігається зі значенням напруги, поданим в умові задачі, отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:*  $R = 12 \text{ Ом}; \quad U_1 = 6 \text{ В}; \quad U_2 = 9 \text{ В}; \quad U_3 = 21 \text{ В};$   
 $I = 3 \text{ А}.$



### Підбиваємо підсумки

Електричне коло, яке складається з послідовно з'єднаних провідників, не має розгалужень. Провідники приєднуються до кола послідовно, один за одним. Вимкнення одного зі споживачів приведе до розмикання кола.

Якщо ділянка кола складається з  $n$  послідовно з'єднаних провідників, то справджуються такі співвідношення:

- сила струму в усій ділянці кола та в кожному провіднику однакова:  $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ ;
- загальна напруга на всій ділянці кола дорівнює сумі напруг на окремих провідниках:  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ ;
- загальний опір ділянки кола є більшим за опір кожного провідника та обчислюється за формулою  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .
- загальний опір ділянки кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників однакового опору, можна розрахувати за формулою  $R = n \cdot R_0$ , де  $R$  — загальний опір ділянки;  $R_0$  — опір кожного з  $n$  провідників.



## Контрольні запитання

- 1.** Яку особливість має електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників?
- 2.** Поясніть, чому вимикач завжди з'єднують зі споживачем послідовно.
- 3.** Ділянка кола складається з послідовно з'єднаних провідників. Яким є співвідношення між загальною силою струму в ділянці та силою струму в кожному провіднику? між загальною напругою на ділянці та напругою на кожному провіднику?
- 4.** Як обчислити загальний опір кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників?
- 5.** Як зміниться загальний опір ділянки кола, якщо до неї послідовно приєднати ще один провідник?



## Вправа № 31

*Виконуючи завдання, опором проводів знехтуйте.*

- 1.** Ділянка кола містить два послідовно з'єднаних резистори з опором 2 Ом кожен. Який опір ділянки? Яку напругу подано на ділянку, якщо сила струму в ній 0,5 А? Якою є напруга на кожному резисторі?
- 2.** Загальний опір двох ламп і реостата, з'єднаних послідовно, дорівнює 65 Ом. Накресліть електричну схему цієї ділянки кола. Визначте опір реостата, якщо опір кожної лампи дорівнює 15 Ом.
- 3.** Опір одного з двох послідовно з'єднаних резисторів становить 650 Ом. Знайдіть опір іншого резистора, якщо сила струму в ньому 80 мА, а загальна напруга на обох резисторах дорівнює 72 В.

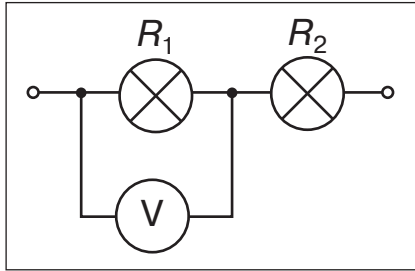


Рис. 1

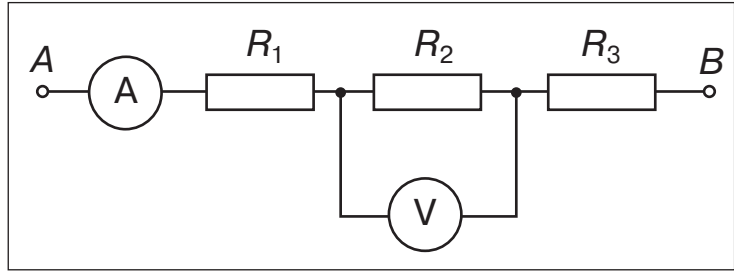


Рис. 2

4. Ділянка кола (рис. 1) містить дві послідовно з'єднані електричні лампи, опір яких становить:  $R_1 = 120$  Ом;  $R_2 = 130$  Ом. Яким є показ вольтметра, якщо напруга на ділянці дорівнює 100 В?
5. Ділянка кола (рис. 2) містить три резистори, опір яких становить:  $R_1 = 5$  Ом;  $R_2 = 8$  Ом;  $R_3 = 15$  Ом. Яким є показ амперметра і чому дорівнює напруга між точками A і B, якщо вольтметр показує 1,6 В?
6. Чи можна лампу для кишенькового ліхтарика, яка розрахована на силу струму 0,3 А, увімкнути в освітлювальну мережу послідовно з лампою, яка розрахована на напругу 220 В і має опір 1100 Ом? Поясніть свою відповідь.
7. Будь-який вольтметр розрахований на вимірювання напруги, що не перевищує певної межі. Але якщо до вольтметра послідовно приєднати певний *додатковий опір* ( $R_d$ ) — резистор (рис. 3), то межа вимірювання вольтметра збільшиться, тому що вимірювана напруга  $U$  ділиться на дві частини: одна частина ( $U_V$ ) припадає на вольтметр, а друга ( $U_d$ ) — на резистор:  $U = U_V + U_d$ . Визначте, резистор якого опору необхідно послідовно приєднати до шкільного вольтметра опором 900 Ом,

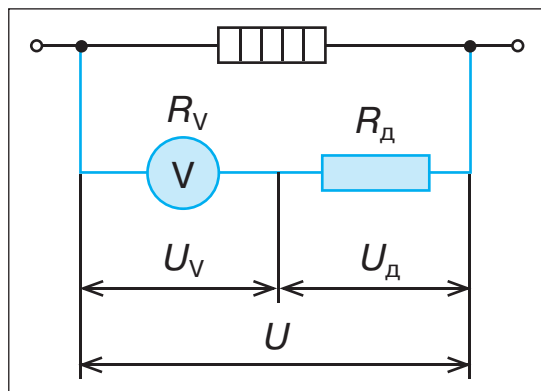


Рис. 3

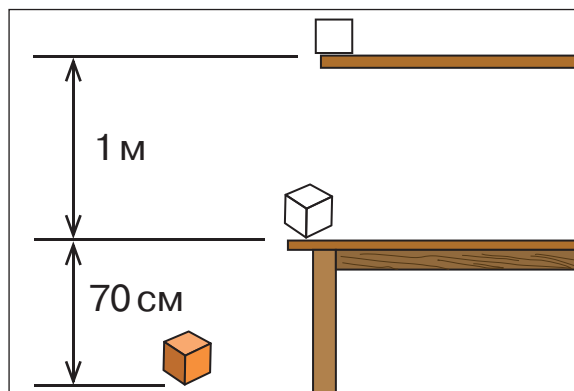


Рис. 4

щоб збільшити межу його вимірювання в 5 разів. (Наприклад, вольтметр показує 6 В, а напруга на нагрівачі 30 В.) Поміркуйте, де вам можуть знадобитися вміння, набуті під час розв'язування цієї задачі.

8. Кубик масою 240 г упав з полиці шафи спочатку на стіл, а потім на підлогу (рис. 4). Як змінювалась енергія кубика в ході падіння? Яку роботу виконала сила тяжіння на кожному етапі падіння? за весь час?



### Експериментальне завдання

Виготовте пристрій, призначений для перевірки знань (рис. 5). Для цього виконайте такі дії.

1. На аркуш цупкого картону наклейте у два стовпчики 10–16 прямокутних смужок із паперу.
2. На смужках, розташованих у лівому стовпчику, напишіть запитання.

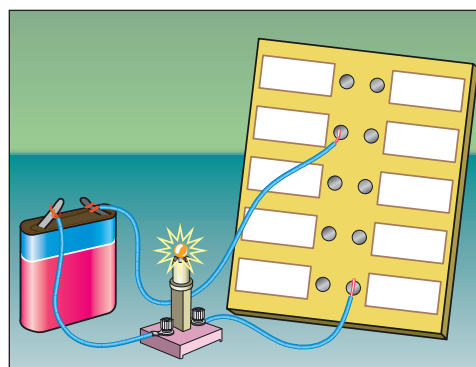


Рис. 5

3. На смужках у правому стовпчику напишіть відповіді, причому так, щоб пара «запитання — правильна відповідь» не становила один рядок.
4. Поряд із кожним прямокутником вставте в картон кнопку з довгим вістря.
5. За допомогою проводів з'єднайте кнопки на звороті картону, щоб утворилися пари «запитання — правильна відповідь» (рис. 6), складіть електричне коло.
6. Торкніться вільними кінцями проводів до клеми із запитанням і клеми з відповіддю. Якщо відповідь правильна, то лампа має засвітитися.

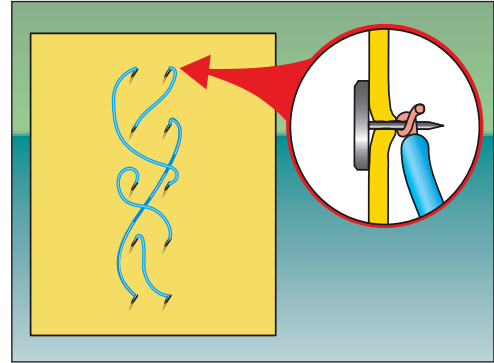


Рис. 6

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

**Тема.** Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників.

**Мета:** експериментально перевірити, що в разі послідовного з'єднання двох провідників справджуються співвідношення:  $I = I_1 = I_2$ ;  $U = U_1 + U_2$ ;  $R = R_1 + R_2$ .

**Обладнання:** джерело струму, вольтметр, амперметр, ключ, два резистори, з'єднувальні проводи.



## Вказівки до роботи



### Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Накресліть схему електричного кола, яке складається із джерела струму, двох резисторів і ключа, з'єднаних послідовно.
3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагаєтеся, то скористайтесь планом, наведеним нижче.



### Експеримент

Суворо дотримуйтеся інструкції з безпеки (див. форзац частини 1 підручника).

**Дослід 1.** Порівняння сили струму в різних ділянках кола, яке містить тільки послідовне з'єднання провідників.

1. Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.
2. Виміряйте силу струму, увімкнувши амперметр спочатку між джерелом струму і першим резистором ( $I_1$ ), потім між ключем і другим резистором ( $I_2$ ), а потім між ключем і джерелом струму ( $I$ ). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
3. Результати вимірювань занесіть до табл. 1 і зробіть висновок.

Таблиця 1

$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I$ , А	Висновок



**Дослід 2.** Порівняння загальної напруги на ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних резисторів, і суми напруг на окремих резисторах.

1. У колі, складеному для проведення досліду 1, виміряйте напругу спочатку на першому резисторі ( $U_1$ ), потім на другому резисторі ( $U_2$ ), а потім на обох резисторах ( $U$ ). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
2. Результати вимірювань занесіть до табл. 2. Закінчіть заповнення таблиці та зробіть висновок.

Таблиця 2

$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U$ , В	$(U_1 + U_2)$ , В	Висновок

### Опрацювання результатів експерименту

1. Використовуючи результати дослідів 1 і 2, обчисліть опір першого резистора ( $R_1$ ), другого резистора ( $R_2$ ) та опір ділянки кола, яка містить обидва резистори ( $R$ ).
2. Результати обчислень занесіть до табл. 3. Закінчіть заповнення таблиці, зробіть висновок.

Таблиця 3

$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R$ , Ом	$(R_1 + R_2)$ , Ом	Висновок

### ■ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) які співвідношення для послідовно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати одержали;
- 2) які чинники могли вплинути на точність отриманих вами результатів.

### + Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту, за допомогою якого можна визначити опір резистора, якщо ви маєте вольтметр, джерело струму, резистор відомого опору та з'єднувальні проводи. Проведіть відповідний експеримент.

### \* Завдання «із зірочкою»

Вважаючи, що абсолютна похибка вимірювання напруги дорівнює цінні поділки шкали вольтметра, визначте для досліду 2:

- 1) відносну похибку вимірювання напруги на першому резисторі:

$$\varepsilon_{U_1} = \frac{\Delta U}{U_1};$$

- 2) відносну похибку вимірювання загальної напруги:

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U};$$

- 3) відносну похибку експерименту:

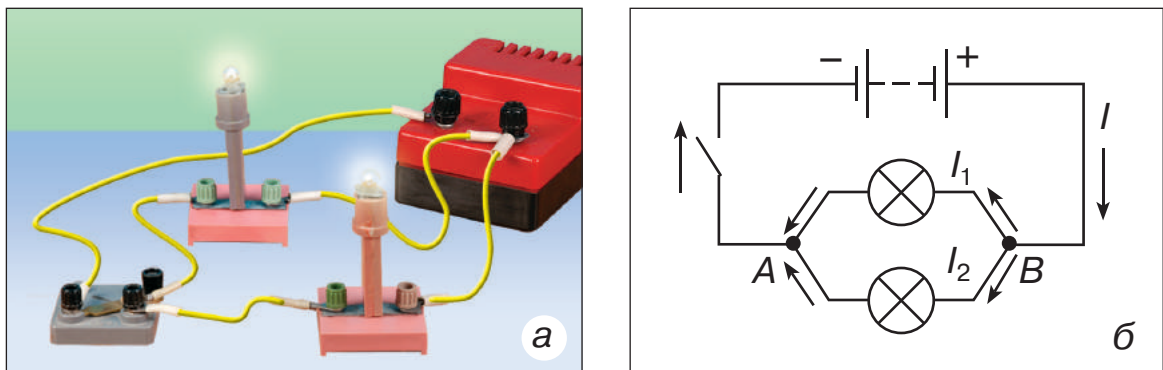
$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{U_1 + U_2}{U} \right| \cdot 100 \%$$

## § 32. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

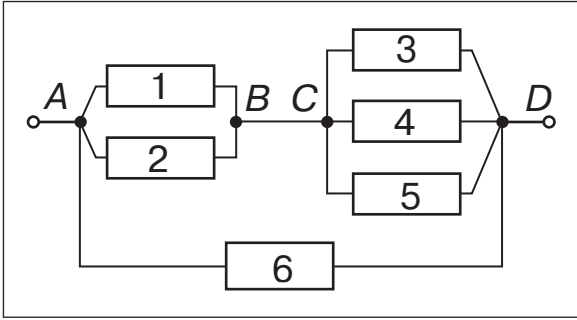
На практиці до електричного кола часто доводиться приєднувати відразу кілька споживачів. Так, електричне коло освітлення шкільного кабінету обов'язково містить декілька ламп, і при цьому вихід із ладу однієї лампи не приведе до відключення решти. Фізики в такому випадку кажуть, що лампи з'єднані паралельно. А як обчислити силу струму, напругу та опір за умови паралельного з'єднання провідників?

### 1. Вивчаємо коло, яке містить паралельно з'єднані провідники

Розглянемо електричне коло, яке містить дві паралельно з'єднані лампи (рис. 32.1, а). Звернувшись до схеми цього кола (рис. 32.1, б), бачимо: по-перше, для проходження струму в колі є два шляхи — дві *вітки*, кожна з яких містить одну лампу; по-друге, обидві вітки мають спільну пару точок — *A* і *B*. Такі точки називають



**Рис. 32.1.** Паралельне з'єднання кількох споживачів струму: а — загальний вигляд; б — схема; стрілками показано напрямки струму



**Рис. 32.2.** Схема ділянки кола, яка містить паралельне з'єднання провідників. З'єднані паралельно: резистори 1 і 2 (вузли A і B), резистори 3, 4 і 5 (вузли C і D); резистор 6 приєднаний паралельно ділянці AD (вузли A і D)

вузловими точками (вузлами)\*. У вузлових точках відбувається розгалуження кола. Розгалуження є характерною ознакою кола з паралельним з'єднанням провідників. Схема кола може містити не одну, а кілька пар вузлових точок. При цьому всі провідники, які приєднані до певної пари вузлових точок, вважаються з'єднаними паралельно (рис. 32.2).

## 2. З'ясуємо, як розрахувати силу струму та напругу в разі паралельного з'єднання провідників

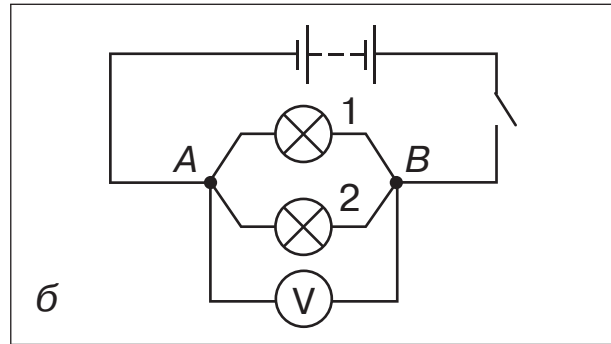
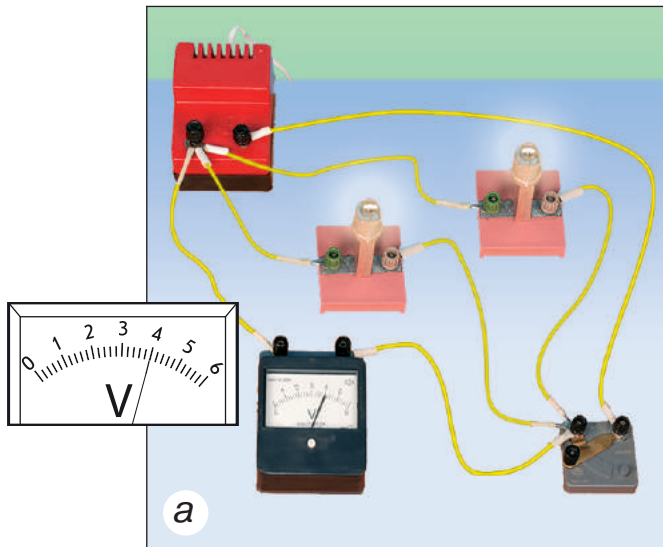
Щоб визначити напругу на кожному з паралельно з'єднаних провідників, достатньо виміряти напругу між вузловими точками. Так, приєднавши вольтметр до пари вузлових точок A і B (рис. 32.3), одразу виміряємо напругу і на ділянці AB, і на кожній лампі.

Загальна напруга на ділянці та напруга на кожному з паралельно з'єднаних провідників є однаковою:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n ,$$

де  $n$  — кількість провідників.

\* Вузловою точкою (вузлом) на електричній схемі кола називають таку точку, у якій з'єднуються не менш ніж три проводи.



**Рис. 32.3.** Вимірювання напру-  
ги в разі паралельного з'єднання  
провідників: *а* — загальний ви-  
гляд; *б* — схема. Вольтметр по-  
казує напругу на лампі 1, лампі 2  
і на всій ділянці *AB*

У разі паралельного з'єднання провідників (див. рис. 32.1, *б*) струм, дійшовши до розгалуження (вузлова точка *B*), розтікається по двох вітках. Оскільки заряд у вузловій точці не накопичується, то заряд  $q$ , який «надійшов» у вузол за певний час  $t$ , дорівнює сумі зарядів ( $q_1 + q_2$ ), які «вийшли» із цього вузла за той самий час:  $q = q_1 + q_2$ . Поділивши обидві частини рівності на  $t$ , одержимо:  $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$ . Оскільки  $\frac{q}{t} = I$ , маємо:

$$I = I_1 + I_2$$

Це співвідношення справджується для будь-якої кількості паралельно з'єднаних провідників.

У разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):

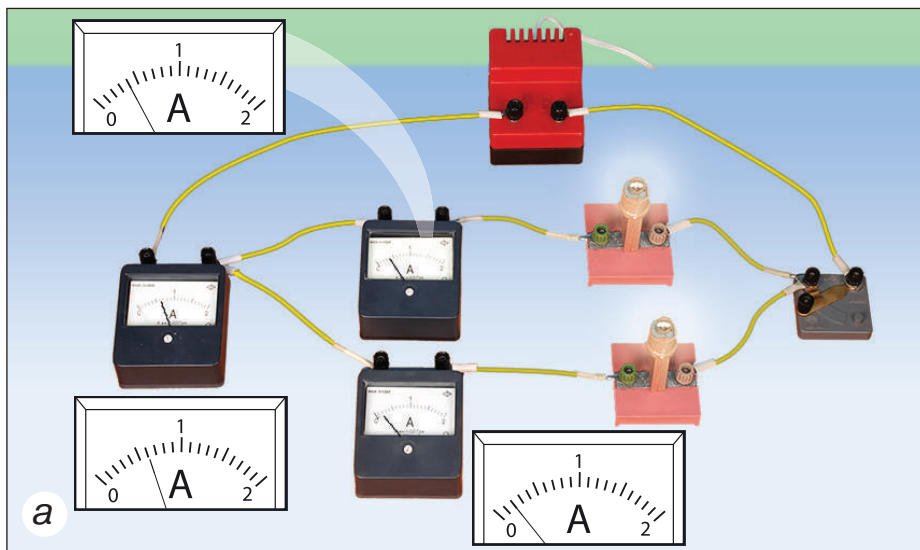
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

де  $n$  — кількість провідників.

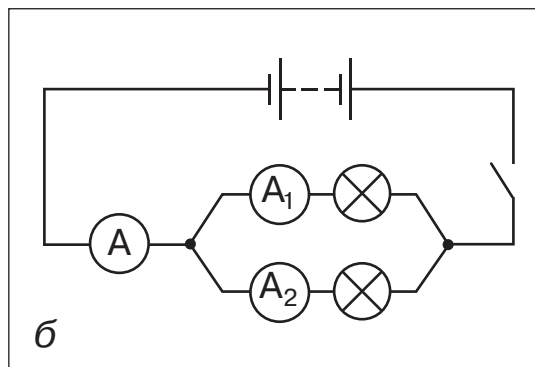
Це твердження можна довести експериментально, підключивши в електричне коло, зображене на рис. 32.1, три амперметри: один ( $A$ ) у нерозгалужену частину кола, а два інші ( $A_1$  і  $A_2$ ) — у кожне відгалуження (рис. 32.4).

*Зверніть увагу:* якщо одна з паралельно з'єднаних ламп вийде з ладу, то інша продовжить світитися, оскільки через її нитку розжарення все одно буде проходити струм.

**?** А чи зможете ви тепер пояснити, чому споживачі електричної енергії у вашій оселі з'єднані паралельно?



**Рис. 32.4.** Вимірювання сили струму в разі паралельного з'єднання провідників: сила струму в нерозгалуженій ділянці кола, яка вимірюється амперметром  $A$ , дорівнює сумі сил струмів, які вимірюються в кожній вітці розгалуження амперметрами  $A_1$  і  $A_2$



### 3. Загальний опір ділянки кола з паралельним з'єднанням провідників

Щоб обчислити загальний опір  $R$  ділянки кола  $AB$  (див. [рис. 32.1](#)), яка складається з двох паралельно з'єднаних ламп, скористаємося співвідношенням:

$$I = I_1 + I_2.$$

Позначивши опори ламп як  $R_1$  і  $R_2$  та застосувавши закон Ома, можемо переписати це співвідношення у вигляді:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}.$$

Оскільки в разі паралельного з'єднання провідників  $U_1 = U_2 = U$ , одержимо:  $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$ . Після скорочення на  $U$  остаточно маємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

З останнього виразу отримуємо формулу для розрахунку опору ділянки кола, яка складається із двох паралельно з'єднаних провідників:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

У загальному випадку опір  $R$  ділянки кола, яка складається з  $n$  паралельно з'єднаних провідників, можна обчислити, скориставшись формулою:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

З останньої формули зробимо такі висновки:

- загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного із цих провідників;



— загальний опір паралельно з'єднаних провідників, які мають однаковий опір, можна розрахувати за формулою:

$$R = \frac{R_0}{n},$$

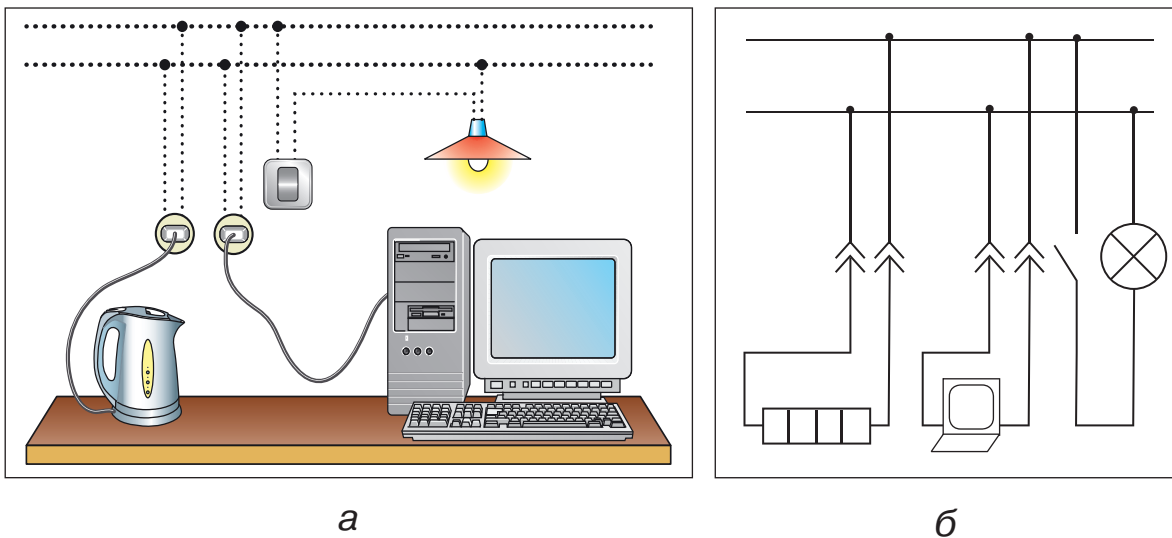
де  $R_0$  — опір кожного провідника;  $n$  — кількість провідників.

**?** Знайдіть опір ділянки кола, що містить п'ять провідників опором 15 кОм кожний, які з'єднані: паралельно; послідовно. Якою є сила струму в кожному провіднику, якщо на ділянку подано напругу 300 В?

#### 4. Дізнаємося про деякі важливі факти

Сподіваємось, що ви правильно відповіли на запитання в пункті 2 цього параграфа і дійшли ось якого висновку. Різноманітні побутові електричні пристрої вмикають в електричну мережу паралельно, оскільки:

- 1) тільки в разі такого підключення на кожному пристрої



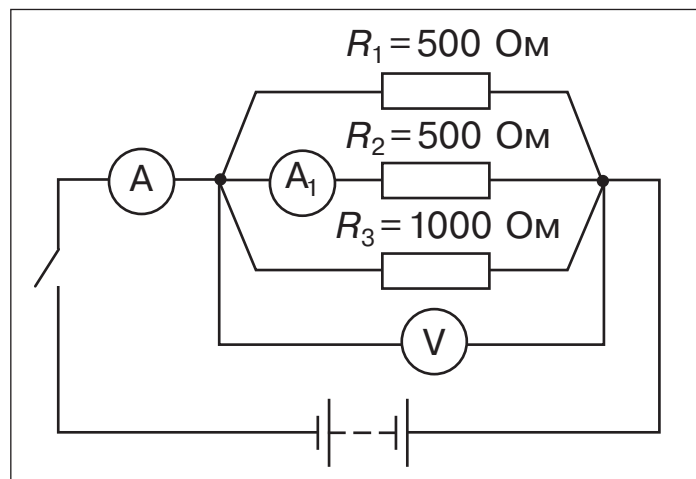
**Рис. 32.5.** Частина електричної проводки у квартирі: а — загальний вигляд; б — схематичне зображення.

буде та напруга, на яку він розрахований, а саме 220 В;  
2) вимкнення одного зі споживачів не приведе до відключення решти.

На рис. 32.5 зображено частину електричної проводки у квартирі. Горизонтальні лінії — проводи електромережі. Ці вмонтовані в стіни проводи охоплюють усю квартиру. Напруга між проводами становить 220 В.

## 5. Учимся розв'язувати задачі

**Задача 1.** На рисунку наведено схему електричного кола. Визначте покази амперметрів, якщо показ вольтметра 12 В. Опори резисторів зазначено на рисунку.



*Аналіз фізичної проблеми.* Бачимо, що коло має два розгалуження, отже, містить паралельне з'єднання провідників. Амперметр А ввімкнений перед розгалуженням, а амперметр А<sub>1</sub> — у відгалуження, яке містить резистор 2. Таким чином, необхідно знайти загальну силу струму в колі та силу струму в резисторі 2. Значення шуканих величин визначимо, скориставшись законом Ома та формулами для розрахунку сили струму й напруги в разі паралельного з'єднання провідників.

*Дано:*

$$U = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 1000 \text{ Ом}$$

*Знайти:*

$$I - ? \quad I_2 - ?$$

*Пошук математичної моделі,  
розв'язання*У разі паралельного з'єднання провідників  $U_1 = U_2 = U_3 = U$ 

$$U_1 = U_2 = U_3 = U, \text{ тому } U_1 = 12 \text{ В};$$

$$U_2 = 12 \text{ В}; \quad U_3 = 12 \text{ В}.$$

Відповідно до закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,012 \text{ А}.$$

Сила струму в нерозгалуженій частині кола:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,024 \text{ А} + 0,024 \text{ А} + 0,012 \text{ А} = 0,06 \text{ А}.$$

*Аналіз результатів.* Із закону Ома загальний опір кола:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,06 \text{ А}} = \frac{1200 \text{ В}}{6 \text{ А}} = 200 \text{ Ом}.$$

У разі паралельного з'єднання провідників:

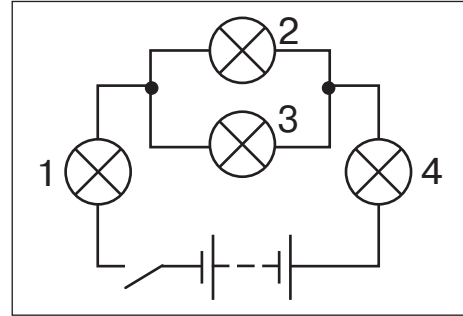
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \text{ Ом}} + \frac{1}{500 \text{ Ом}} + \frac{1}{1000 \text{ Ом}} = \frac{5}{1000 \text{ Ом}}.$$

$$\text{Звідси } R = \frac{1000 \text{ Ом}}{5} = 200 \text{ Ом}.$$

Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:* показ амперметра А — 60 мА; показ амперметра А<sub>1</sub> — 24 мА.

**Задача 2.** Чотири однакові лампи з'єднані так, як показано на рисунку, і підключені до джерела постійної напруги. Визначте силу струму в кожній лампі, якщо напруга на джерелі 30 В, а опір кожної лампи — 6 Ом.



*Аналіз фізичної проблеми.* Коло містить **змішане з'єднання провідників**: лампи 2 і 3 з'єднані паралельно; лампи 1 і 4 — послідовно з ділянкою кола, що складається з ламп 2 і 3. Скориставшись законом Ома й співвідношеннями для сили струму, напруги та опору для послідовного і для паралельного з'єднань провідників, знайдемо значення шуканих величин.

*Дано:*

$$U = 30 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = \\ = R_4 = 6 \text{ Ом}$$

*Знайти:*

$$I_1 \text{ — ? } I_2 \text{ — ?}$$

$$I_3 \text{ — ? } I_4 \text{ — ?}$$

*Розв'язання*

Лампи 2 і 3 з'єднані паралельно і мають однаковий опір, тому

$$R_{2,3} = \frac{R_2}{2} = \frac{6 \text{ Ом}}{2} = 3 \text{ Ом.}$$

Загальний опір кола:

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 15 \text{ Ом.}$$

За законом Ома загальна сила струму:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ В}}{15 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Оскільки  $I_1 = I_{2,3} = I_4 = I$ , то  $I_1 = 2 \text{ А}$ ;  $I_{2,3} = 2 \text{ А}$ ;  $I_4 = 2 \text{ А}$ .

$$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 6 \text{ В.}$$

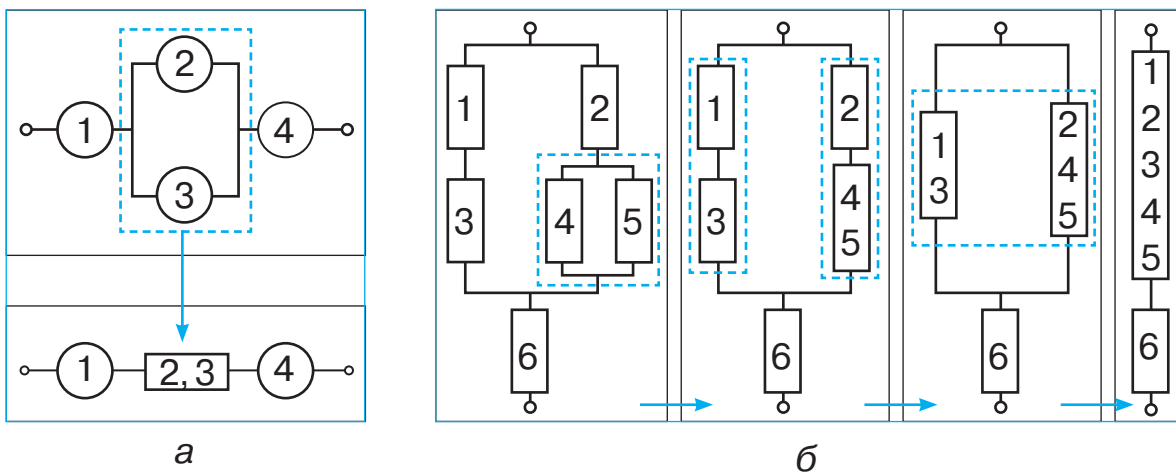
$$U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6 \text{ В}; U_3 = 6 \text{ В.}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

*Аналіз результатів.* З одного боку, загальна сила струму на ділянці, що складається з ламп 2 і 3, дорівнює 2 А, з іншого боку,  $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1 \text{ А} + 1 \text{ А} = 2 \text{ А}$ . Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:*  $I_1 = I_4 = 2 \text{ А}$ ;  $I_2 = I_3 = 1 \text{ А}$ .

*Зверніть увагу:* у випадку розрахунку складних кіл зі змішаним з'єднанням провідників зручно покроково спрощувати схему. Так, у задачі 2 таке покрокове спрощення матиме вигляд, поданий на [рис. 32.6, а](#). Покрокове спрощення більш складної схеми подано на [рис. 32.6, б](#).



**Рис. 32.6.** Покрокове спрощення електричної схеми



### Підбиваємо підсумки

Ділянка кола, яка складається з паралельно з'єднаних провідників, обов'язково має розгалуження. Провідники вважаються з'єднаними паралельно, якщо вони приєднані до пари вузлових точок.

Вимкнення одного з паралельно з'єднаних провідників практично не впливає на роботу решти.

Якщо ділянка кола складається з  $n$  провідників, з'єднаних тільки паралельно, то справджуються такі твердження:

- напруга на кожному провіднику і на всій ділянці є однаковою:  $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ ;
- сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях:  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ ;
- загальний опір ділянки кола можна обчислити, скориставшись формулою  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ .



### Контрольні запитання

**1.** Назвіть характерну ознаку кола, яке містить паралельне з'єднання провідників. **2.** Порівняйте напругу на ділянці кола, яка складається з паралельно з'єднаних провідників, і напруги на кожному провіднику. **3.** Яким є співвідношення між силами струму в нерозгалуженій частині кола і в кожній вітці розгалуження? **4.** За допомогою якої формули можна обчислити опір ділянки кола з кількох паралельно з'єднаних провідників? **5.** Чому споживачі електроенергії у вашій оселі з'єднано паралельно?



### Вправа № 32

- 1.** Електричне коло складається з акумулятора та трьох з'єднаних паралельно електричних ламп. Накресліть схему цього кола.
- 2.** На рис. 1 зображено схему ділянки електричного кола. Відомо, що опір  $R_1$  становить 100 Ом, опір  $R_2$  — 150 Ом, показ амперметра — 2,4 А. Визначте напругу на ділянці.

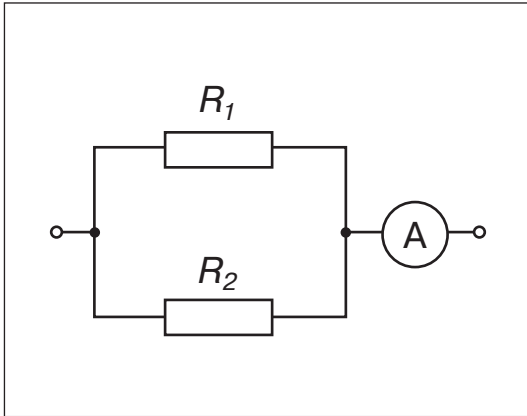


Рис. 1

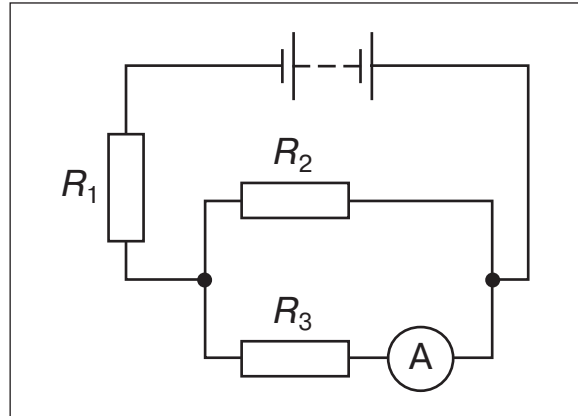


Рис. 2

- 3.** Дві електричні лампи з'єднали паралельно й приєднали до джерела струму, напруга на якому становить 120 В. Визначте силу струму в кожній лампі й у нерозгалуженій частині кола, якщо опір однієї лампи дорівнює 200 Ом, а іншої — 300 Ом.
- 4.** Однакові за довжиною та поперечним перерізом дроти — залізний, мідний і срібний — з'єднали паралельно та підключили до джерела струму. У якому дроті сила струму буде найбільшою?
- 5.** Визначте загальний опір ділянки кола, зображеної на рис. 32.6, б, якщо  $R_1 = R_6 = 7$  Ом;  $R_2 = 1$  Ом;  $R_3 = 5$  Ом;  $R_4 = 12$  Ом;  $R_5 = 4$  Ом. Якою буде загальна сила струму в ділянці кола, якщо до неї прикласти напругу 4 В?
- 6.** Чому дорівнює напруга на полюсах джерела струму, яке живить коло (рис. 2), якщо  $R_1 = 3$  Ом;  $R_2 = 2$  Ом;  $R_3 = 8$  Ом? Показ амперметра — 0,1 А.
- 7.** Ви маєте 4 резистори з опором  $R_0$  кожний. Скільки різних опорів і які саме ви можете отримати, використовуючи всі резистори одночасно?



**8.** До ділянки кола прикладено постійну напругу;  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 5$  Ом (рис. 3). Який ключ потрібно замкнути, щоб показ амперметра  $A_2$  був нижчим від показу амперметра  $A_1$ ? Яке значення сили струму буде показувати амперметр  $A_1$ , якщо замкнути тільки ключ  $K_1$ ? Відомо, що амперметр  $A_2$  показує 300 мА, якщо всі ключі розімкнені.

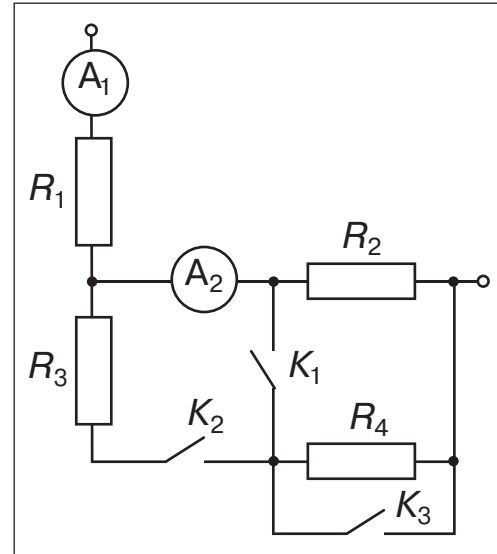


Рис. 3

**9.** Щоб виміряти силу струму, більшу за ту, на яку розрахований амперметр, паралельно амперметру слід під'єднати резистор — шунт (рис. 4). У разі застосування шунта струм ділиться на дві частини: одна йде через амперметр, а інша — через шунт:  $I = I_A + I_{\text{ш}}$ .

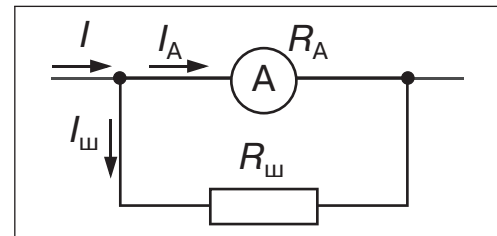


Рис. 4

Шунт якого опору слід під'єднати паралельно амперметру опором 0,07 Ом, щоб збільшити межу вимірювання амперметра від 2 до 10 А?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

**Тема.** Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників.

**Мета:** експериментально перевірити, що сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях; довести, що загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з них.

**Обладнання:** джерело струму, вольтметр, амперметр, ключ, дві електричні лампи на підставках, з'єднувальні проводи.

## Вказівки до роботи

### II Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Накресліть схему електричного кола, яке складається з двох паралельно з'єднаних ламп, що через ключ з'єднані з джерелом струму.
3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагаєтеся, скористайтеся наведеним планом.

### ▶ Експеримент

*Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац частини 1 підручника).*

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.
2. Під'єднавши амперметр до відповідної ділянки кола, виміряйте силу струму  $I$ , який проходить у нерозгалуженій частині кола, потім силу струму  $I_1$ , який тече в лампі 1, і силу струму  $I_2$ , який тече в лампі 2.
3. Виміряйте напругу  $U$  на лампах.
4. Накресліть схеми відповідних електричних кіл.

### ▶▶ Опрацювання результатів експерименту

За результатами вимірювань обчисліть опір  $R_1$  нитки розжарення лампи 1; опір  $R_2$  нитки розжарення

лампи 2; опір  $R$  ділянки кола, яка містить обидві лампи. Результати обчислень занесіть до таблиці.

$I$ , А	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$U$ , В	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R$ , Ом

### ■ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) які співвідношення для паралельно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати отримали;
- 2) які чинники могли вплинути на точність отриманих результатів.

### + Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту, за допомогою якого можна визначити опір резистора, якщо наявні амперметр, джерело струму, резистор відомого опору та з'єднувальні проводи. Проведіть відповідний експеримент.

### \* Завдання «із зірочкою»

Вважаючи, що під час виконання лабораторної роботи абсолютна похибка вимірювання сили струму дорівнювала цінні поділки шкали амперметра, визначте:

- 1) відносну похибку вимірювання загальної сили струму:  $\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I}$ ; сили струму в лампі 1:  $\varepsilon_{I_1} = \frac{\Delta I_1}{I_1}$ ;
- 2) відносну похибку експерименту:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{I_1 + I_2}{I} \right| \cdot 100 \% .$$

# ЧАСТИНА 3. РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

## § 33. РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Кожен із вас бачив електролічильник, а дехто навіть знімав його покази. А як ви гадаєте, яку фізичну величину вимірює цей прилад? Щоб перевірити свої припущення, ознайомтеся зі змістом цього параграфа.

### 1. З'ясуємо, значення якої фізичної величини визначають за допомогою електролічильника

На рис. 33.1 показано *електролічильник*. Запишемо цифри, зафіксовані на датчику приладу (рис. 33.1, а), інакше кажучи, *зніmemo показ лічильника*. Ці цифри означають числове значення якоїсь фізичної величини. А якої?

Для початку визначимо одиниці цієї величини. Поряд із цифровим табло написано: кВт·год. Отже, фізична величина, значення



**Рис. 33.1.** Зняття показів лічильника: а — початкові дані (382 кВт·год); б — дані після деякого часу роботи електрообігрівача (385 кВт·год). За цей час використано електроенергії:  $385 - 382 = 3$  (кВт·год)

якої показує електролічильник, вимірюється в кіловат-годинах. Відомо, що  $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$  і  $1 \text{ год} = 3600 \text{ с}$ , а  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ . Таким чином,  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$ , або  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ . Одна із фізичних величин, що вимірюються в джоулях, — це робота. Отже, можна припустити, що електролічильником вимірюють *роботу струму*. Приєднаємо до кола електролічильника електрообігрівач. Через деякий час знову знімемо показ лічильника (рис. 33.1, б). Бачимо, що він збільшився. Електричний струм, проходячи спіраллю електрообігрівача, виконав роботу, яку зафіксував електролічильник.

**Електролічильник** — це прилад для прямого вимірювання роботи струму.

(Установлену вартість одиниці роботи струму називають тарифом на електроенергію.)

## 2. Обчислюємо роботу струму

З'ясуємо, чи можна роботу струму виміряти в інший спосіб, не використовуючи електролічильник.

Із § 28 ви дізналися, що електрична напруга  $U$  на кінцях ділянки електричного кола визначається за формулою  $U = \frac{A}{q}$ . Отже, роботу  $A$  електричного струму з переміщення електричного заряду  $q$  на певній ділянці кола можна знайти за формулою  $A = Uq$ . Подавши заряд  $q$  через силу струму  $I$  та час  $t$  його проходження:  $q = It$ , — отримаємо формулу для розрахунку роботи електричного струму на даній ділянці кола:

$$A = UIt$$

Щоб визначити роботу, яку виконує струм у певному споживачі (на певній ділянці електричного кола), достатньо виміряти силу струму в споживачі, напругу, яку подано на нього, і час проходження струму (рис. 33.2). Нагадаємо: такі вимірювання називають *непрямими*.

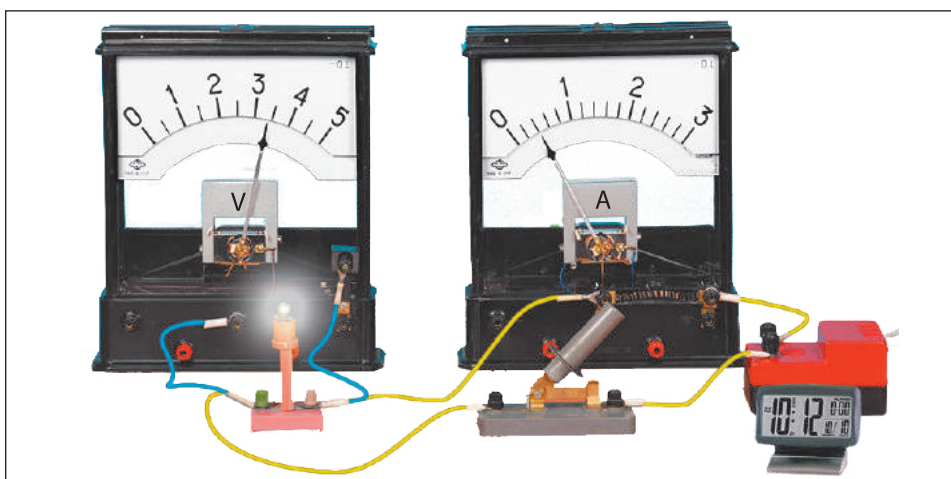
**?** Скориставшись рис. 33.2, виміряйте роботу електричного струму в лампі за 30 с.

*Зверніть увагу:* із формули для розрахунку роботи електричного струму випливає, що  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ , — це співвідношення стане вам у пригоді для перевірки одиниць у ході розв'язування задач.

### 3. Обчислюємо потужність струму

**Потужність електричного струму** — фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи й дорівнює відношенню роботи струму до часу, за який цю роботу виконано:

$$P = \frac{A}{t}$$



**Рис. 33.2.** Для вимірювання роботи струму можна скористатися амперметром, вольтметром і годинником

У цій формулі  $P$  — потужність електричного струму;  $A$  — робота струму за час  $t$ .

Оскільки  $A = UIt$ , то

$$P = UI$$

Одиниця потужності в СІ — **ват**:  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ .

Із формули для розрахунку потужності струму випливає:  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$ ;

$1 \text{ Вт}$  — це потужність струму силою  $1 \text{ А}$  на ділянці кола з напругою  $1 \text{ В}$ . Ват — порівняно невелика одиниця потужності. На практиці частіше використовують кратні одиниці потужності: *кіловат* ( $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$ ), *мегават* ( $1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$ ), *гігават* ( $1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$ ).

#### 4. Учимся розрізняти номінальну і фактичну потужності

Звернувшись до формули розрахунку потужності струму ( $P = UI$ ), побачимо, що потужність струму можна визначити, скориставшись амперметром і вольтметром (знявши покази приладів, перемножити значення напруги та сили струму). Існують також прилади для *прямого вимірювання* потужності електричного струму — *ватметри*.

Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його **фактичну потужність**. Потужність, яку зазначено в паспорті електропристрою (або на пристрої), називають **номінальною потужністю**.

У паспорті електропристрою зазначають також напругу, на яку пристрій розрахований. Проте напруга в мережі може трохи змінюватися. Наприклад, вона може збільшитися — відповідно збільшиться й сила струму. Збільшення сили струму й напруги приведе до

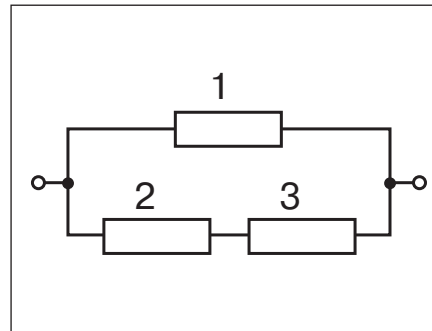


збільшення потужності струму в споживачі. Тобто *значення фактичної та номінальної потужностей споживача можуть відрізнятися*. Якщо коло складається з кількох споживачів, то, розраховуючи їхню фактичну потужність, слід пам'ятати, що *за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів*.

Завершуючи знайомство з потужністю електричного струму, знову звернемося до [рис. 33.1](#). На лічильнику є значення ще двох фізичних величин: 220 В; 15 А. Перша показує, у коло з якою напругою слід вмикати цей лічильник, друга — максимально допустиму силу струму в ньому. Перемноживши ці значення, одержимо *максимально допустиму потужність споживачів, які можна підключити через цей електролічильник* ( $UI = P_{\max}$ ).

## 5. Учимося розв'язувати задачі

**Задача 1.** Ділянка електричного кола складається з трьох однакових резисторів ([рисунок](#)). Визначте загальну потужність, яку споживають резистори, якщо опір кожного з них дорівнює 5 Ом, а напруга на ділянці становить 10 В.



*Аналіз фізичної проблеми.*

Розв'язати задачу можна двома способами:

- 1) обчислити потужність, яку споживає кожний резистор, а потім знайти суму одержаних потужностей;
- 2) визначити загальну силу струму в ділянці й, знаючи загальну напругу, обчислити загальну потужність усіх резисторів.

*Дано:*

$$R_1 = R_2 = R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$U = 10 \text{ В}$$

*Знайти:* $P$  — ?*Пошук математичної моделі, розв'язання**Спосіб 1*

Ділянка кола, яка містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, тому  $U_1 = U_{2,3} = U = 10 \text{ В}$ . За законом Ома

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 20 \text{ Вт.}$$

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом};$$

$$I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 1 \text{ А.}$$

Використавши закон Ома, знайдемо напругу на резисторах 2 і 3 та обчислимо потужності, які вони споживають:

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_2 = U_2 I_2 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_3 = U_3 I_3 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт.}$$

Таким чином,  $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} = 30 \text{ Вт}$ .

*Спосіб 2*

Спочатку знайдемо загальний опір  $R$  ділянки кола.

Резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, тому:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом.}$$

Ділянка кола, яка містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, отже:

$$R = \frac{R_{2,3} \cdot R_1}{R_{2,3} + R_1} = \frac{10 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ Ом}}{15 \text{ Ом}} = \frac{10}{3} \text{ Ом.}$$

За законом Ома  $I = \frac{U}{R} = 10 \text{ В} : \frac{10}{3} \text{ Ом} = 3 \text{ А}$ . Відповідно до формули для розрахунку потужності:  $P = UI = 10 \text{ В} \cdot 3 \text{ А} = 30 \text{ Вт}$ .

*Аналіз результату.* Розв'язуючи задачу різними способами, одержали однакове значення потужності, отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:*  $P = 30 \text{ Вт}$ .

**Задача 2.** Електровоз рухається рівномірно зі швидкістю 16 м/с. Двигун розвиває силу тяги 300 кН. Визначте ККД двигуна, якщо напруга в електромережі 3 кВ, сила струму, яку споживає двигун, — 2 кА.

*Аналіз фізичної проблеми.* ККД показує, яку частину роботи, виконуваної струмом, що тече в обмотці електродвигуна, становить корисна робота. ККД знайдемо, використавши формулу для розрахунку механічної роботи і роботи струму.

*Дано:*

$$v = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$U = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$I = 2 \cdot 10^3 \text{ А}$$

*Знайти:*

$\eta$  — ?

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

За означенням ККД  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$ .

$A_{\text{кор}} = Fl$  — механічна робота з переміщення електровоза на відстань  $l$ .

Електровоз рухається рівномірно, тому  $l = vt$ . Таким чином,  $A_{\text{кор}} = Fvt$ .

Робота струму у двигуні електровоза:  $A_{\text{повна}} = Ult$ . Підставивши вирази для  $A_{\text{кор}}$  і  $A_{\text{повна}}$  у формулу для розрахунку ККД,

одержимо:  $\eta = \frac{Fvt}{Ult} = \frac{Fv}{UI}$ .

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1; \quad \eta = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,8.$$

*Аналіз результату.* ККД дорівнює 80% — для електричних двигунів результат реальний.

*Відповідь:*  $\eta = 80\%$ .



### Підбиваємо підсумки

На ділянці кола електричний струм виконує роботу, значення якої дорівнює добутку напруги  $U$ , сили струму  $I$  і часу  $t$  проходження струму в колі:  $A = UIt$ .

Одиницею роботи електричного струму в СІ є джоуль (Дж):  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ . В електротехніці використовують позасистемну одиницю роботи струму — кіловат-годину (кВт·год);  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

Прилади для прямого вимірювання роботи струму називають лічильниками електричної енергії.

Фізичну величину, яка характеризує швидкість виконання струмом роботи, називають потужністю електричного струму. Потужність електричного струму обчислюють за формулою  $P = UI$ . Одиниця потужності електричного струму в СІ — ват (Вт):  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Потужність, на яку розрахований електричний пристрій, називають номінальною потужністю. Зазвичай номінальну потужність зазначають у паспорті електричного пристрою. Реальну потужність струму в пристрої називають фактичною потужністю.



### Контрольні запитання

**1.** За якою формулою обчислюють роботу електричного струму? **2.** Назвіть відомі вам одиниці роботи електричного струму. **3.** Доведіть, що  $1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ . **4.** Як вимірюють роботу електричного струму? **5.** Що називають потужністю електричного струму? **6.** За якою формулою можна обчислити потужність струму? **7.** Що називають номінальною потужністю електричного пристрою? **8.** Що таке фактична потужність електричного пристрою?



### Вправа № 33

**1.** Користуючись показами електролічильника (див. рисунок), визначте витрачену електроенергію та обчисліть її вартість за тарифом 1,68 грн за 1 кВт·год.

**2.** Згідно з Державним стандартом якості електричної енергії в Україні, зміна номінальної напруги в оселях не повинна перевищувати  $\pm 10\%$  від напруги 220 В. У яких межах має бути напруга у вашій оселі?

**3.** Доведіть, що  $1 \text{ В}\cdot\text{А}\cdot\text{с} = 1 \text{ Дж}$ .

**4.** Обчисліть роботу, яку виконає струм за 15 хв роботи електродвигуна дитячої іграшки, якщо напруга на ньому становить 10 В, а сила струму в обмотці — 0,8 А.

**5.** Два провідники опорами 10 і 25 Ом увімкнено до мережі, напруга в якій дорівнює 100 В. Визначте, яку роботу виконає електричний струм у кожному провіднику за 5 хв, якщо провідники з'єднати: а) паралельно; б) послідовно.



- 6.** Визначте силу струму, яку споживає електродвигун підйомального крана, якщо вантаж масою 1 т кран підіймає на висоту 19 м за 50 с. ККД електродвигуна становить 80 %, напруга на клеммах — 380 В.
- 7.** Дві електропечі, спіралі яких мають однакові опори, спочатку ввімкнули в мережу послідовно, а потім паралельно. У якому випадку електропечі споживали більшу потужність і в скільки разів?
- 8.** З'ясуйте потужність кількох споживачів електроенергії у вашій оселі. Обчисліть вартість електроенергії, яку споживатиме кожний пристрій, якщо працюватиме 20 хв. Перенесіть таблицю до зошита та заповніть її.

Пристрій	Потужність $P$ , Вт	Робота струму $A$		Вартість, грн
		Дж	кВт·год	

- 9.** Установіть відповідність між фізичною ситуацією та формулою, яка її описує.



**1** Працює тепловий двигун.

**A**  $Q = cm\Delta t$

**2** У бойлері нагрівається вода.

**Б**  $E_k = \frac{mv^2}{2}$

**3** Калюжа вкрилася льодом.

**В**  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$

**Г**  $Q = \lambda m$



### Експериментальне завдання

«Сумлінний господар». Протягом тижня спостерігайте за споживанням електроенергії у вашій оселі. Для цього щодня, в той самий час, слід записувати показ лічильника електроенергії та обчислювати, скільки електроенергії спожила ваша родина за добу.

За результатами вимірювань та обчислень побудуйте графік споживання електроенергії протягом тижня. Дайте відповіді на такі запитання.

- 1) У який день тижня витрати електроенергії були найбільшими? Чому?
- 2) Чи були ввімкнені споживачі електроенергії без потреби?
- 3) Як можна заощадити витрати електроенергії вашою родиною?
- 4) Як заощадила б (або заощаджує) кошти ваша родина, використовуючи двозонний лічильник електроенергії? (Такі лічильники рахують споживання електроенергії вдень і вночі окремо.)



## ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

**Інститут термоелектрики НАН України і МОН України** (Чернівці) створений у 1990 р. Організатор створення інституту — академік НАН України *Лук'ян Іванович Анатичук*.

Інститут є світовим лідером у галузі вивчення та практичного застосування термоелектрики — одного з найбільш перспективних напрямів сучасної фізики.

На основі розвитку узагальненої теорії термоелектричного перетворення енергії в інституті створено низку нових термоелементів. Розробки інституту використовують не тільки в Україні, а й за кордоном. Створено надійні модулі охолодження для європейської космічної системи мікрогравітації та модулі охолодження чутливих сенсорів для систем орієнтації європейських супутників Землі. Розроблено ефективні блоки для побутових холодильників як альтернативу фреоновим компресорним агрегатам.

Інститут є базою для кафедри термоелектрики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.



## § 34. ТЕПЛОВА ДІЯ СТРУМУ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА

Із власного досвіду вам добре відомо, що під час проходження електричного струму нитка лампи розжарення нагрівається настільки, що починає випромінювати видиме світло. Завдяки дії електричного струму нагріваються праска й електрична плита. А от вентилятор і пилосос нагріваються незначно, так само не стають дуже гарячими і підвідні проводи. Про те, від чого залежить теплова дія струму, ви дізнаєтеся із цього параграфа.

### 1. Розмірковуємо про теплову дію струму

Уже йшлося про те, що проходження струму завжди супроводжується виділенням теплоти. Цей факт неважко пояснити.

Коли в провіднику йде струм, то вільні заряджені частинки, рухаючись під дією електричного поля, зіштовхуються з іншими частинками і передають їм частину своєї енергії. Електрони в металах зіштовхуються з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки, йони в електролітах — з іншими йонами, атомами або молекулами. У результаті середня швидкість хаотичного (теплого) руху частинок речовини збільшується — провідник нагрівається. Це означає, що кінетична енергія, набута вільними зарядженими частинками в результаті дії електричного поля, частково перетворилася на внутрішню енергію провідника.

Очевидно: чим частіше зіштовхуються частинки, тобто чим більший опір провідника, тим більше енергії передається провіднику і тим більше він нагрівається. Таким чином, *за незмінної сили струму в провіднику*

*кількість теплоти, яка виділяється в ньому під час проходження струму, прямо пропорційна опору провідника.*

Крім того, зі збільшенням у провіднику сили струму кількість теплоти, що виділяється, теж збільшується. Адже чим більше частинок проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, тим більше зіткнень частинок відбувається.

## 2. Дізнаємося про закон Джоуля — Ленца

Теплову дію струму вивчали на дослідах англійський учений *Дж. Джоуль* (рис. 34.1) і російський учений німецького походження *Е. Х. Ленц* (рис. 34.2). Незалежно один від одного вони дійшли однакового висновку, який згодом отримав назву **закон Джоуля — Ленца**.

**Рис. 34.2.** Емілій Християнович Ленц (1804–1865) — російський фізик німецького походження, професор Петербурзького університету. Незалежно від Дж. Джоуля в 1842 р. встановив закон теплової дії електричного струму



**Рис. 34.1.** Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — англійський фізик, один із засновників сучасної теорії теплових явищ. У 1841 р. установив залежність кількості теплоти, яка виділяється в провіднику зі струмом, від сили струму та опору провідника



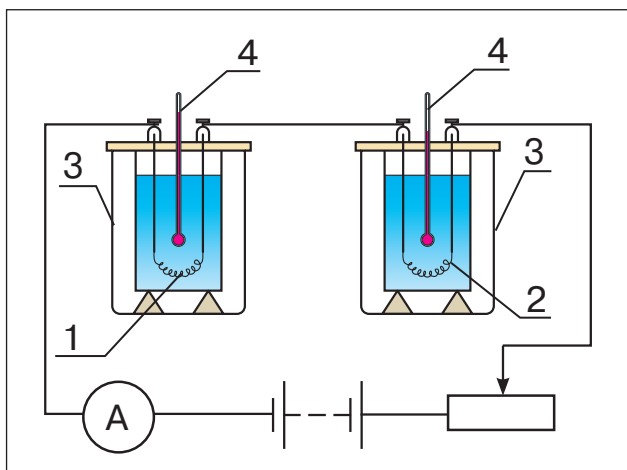
Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму:

$$Q = I^2 R t$$

**?** На рис. 34.3 зображено схему досліду, який доводить закон Джоуля — Ленца. Спробуйте описати цей дослід самостійно.

Закон Джоуля — Ленца був установлений експериментально. Тепер, знаючи формулу для розрахунку роботи струму ( $A = U I t$ ), цей закон можна вивести за допомогою простих математичних викладень.

Якщо на ділянці кола, в якій тече струм, не виконується механічна робота й не відбуваються хімічні реакції, результатом роботи електричного струму буде тільки нагрівання провідника. Нагрітий провідник шляхом теплопередачі віддає отриману енергію навколишнім тілам. Отже, у цьому випадку згідно із законом збереження енергії кількість виділеної теплоти  $Q$  дорівнюватиме роботі  $A$  струму:  $Q = A$ . Оскільки  $A = U I t$ , а  $U = I R$ , маємо:  $Q = U I t = I R I t = I^2 R t$ .



**Рис. 34.3.** Схема досліду, який доводить закон Джоуля — Ленца: 1, 2 — електричні нагрівники (опір нагрівника 1 більший за опір нагрівника 2); 3 — калориметри з однаковою кількістю води; 4 — термометри

### 3. Звертаємо увагу на деякі особливості обчислення кількості теплоти

Для одержання математичного виразу закону Джоуля—Ленца ми скористалися деякими припущеннями. Дослідження показали, що *в будь-якому випадку кількість теплоти, яка виділяється в ділянці кола внаслідок проходження струму, можна обчислити за формулою  $Q = I^2 R t$* . Виникає запитання: що робити, якщо сила струму невідома, а відомою є напруга на кінцях ділянки кола? Здавалося б, можна скористатися законом Ома.

Справді,  $Q = I^2 R t$ , а  $I = \frac{U}{R}$ . Тоді  $Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R t = \frac{U^2}{R} R t$ .

Після скорочення на  $R$  одержимо:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Однак цією формулою, втім як і формулою  $Q = U I t$ , **можна користуватися** тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання.

Якщо ж на ділянці кола є споживачі енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, формулами  $Q = \frac{U^2}{R} t$  і  $Q = U I t$  **користуватися не можна**. У таких випадках застосовують більш складні математичні вирази, які враховують усю сукупність явищ.

### 4. Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Визначте опір нагрівника, за допомогою якого можна за 5 хв довести до кипіння 1,5 кг води, взятої за температури 12 °С. Напруга в мережі дорівнює 220 В, ККД нагрівника — 84 %.

*Аналіз фізичної проблеми.* Коли в нагрівнику проходить електричний струм, виділяється кількість теплоти  $Q_{\text{повна}}$ . Частина її ( $Q_{\text{кор}}$ ) витрачається на нагрівання води до кипіння, тобто до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

Подавши  $Q_{\text{повна}}$  і  $Q_{\text{кор}}$  через зазначені в умові задачі величини, знайдемо шукану величину. Значення питомої теплоємності  $c$  води знайдемо у відповідній таблиці (див. табл. 1 Додатка в частині 1 підручника).

*Дано:*

$$\tau = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 12\text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100\text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 84\% = 0,84$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

*Знайти:*

$$R - ?$$

*Пошук математичної моделі,*

*розв'язання*

За означенням ККД нагрівника ма-

$$\text{ємо: } \eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}.$$

$$\text{Тут } Q_{\text{кор}} = cm(t_2 - t_1); Q_{\text{повна}} = \frac{U^2 \cdot \tau}{R}.$$

Підставимо вирази для  $Q_{\text{кор}}$  і  $Q_{\text{повна}}$  у формулу ККД:

$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)}{\frac{U^2 \cdot \tau}{R}}, \text{ або } \eta = \frac{cm(t_2 - t_1) \cdot R}{U^2 \cdot \tau}.$$

З останнього виразу знайдемо  $R$ :

$$\eta U^2 \cdot \tau = cm(t_2 - t_1) \cdot R \Rightarrow R = \frac{\eta U^2 \cdot \tau}{cm(t_2 - t_1)}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом};$$

$$R = \frac{0,84 \cdot 220^2 \cdot 300}{4200 \cdot 1,5 \cdot (100 - 12)} = \frac{84 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 3}{420 \cdot 15 \cdot 88} = 22 \text{ (Ом)}.$$

Відповідь:  $R = 22 \text{ Ом}$ .



### Підбиваємо підсумки

Проходження струму в провіднику супроводжується виділенням теплоти. Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника та часу проходження струму:  $Q = I^2 R t$  (закон Джоуля — Ленца). Існують ще дві формули для розрахунку кількості теплоти:  $Q = \frac{U^2 t}{R}$  і  $Q = U I t$ , — однак цими формулами можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія йде на нагрівання.









### Контрольні запитання

**1.** Чому нагріваються провідники, в яких тече електричний струм? **2.** Сформулюйте закон Джоуля — Ленца. Чому він має таку назву? **3.** Як математично записують закон Джоуля — Ленца? **4.** Які формули для розрахунку кількості теплоти, що виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, ви знаєте? Чи завжди можна ними користуватися?



### Вправа № 34

**1.** Скільки теплоти виділиться за 10 хв в електропечі, якщо опір нагрівального елемента печі становить 30 Ом, а сила струму в ньому дорівнює 4 А?

-  2. Два провідники опорами 10 і 20 Ом увімкнуті в мережу, що має напругу 100 В. Яка кількість теплоти виділиться за 5 с у кожному провіднику, якщо вони з'єднані паралельно?
-  3. Чому електричні проводи, якими подається напруга до електричної лампи розжарення, не нагріваються, а нитка розжарення лампи нагрівається та яскраво світиться?
-  4. Електрокип'ятильник, в обмотці якого тече струм силою 2 А, за 5 хв нагріває 0,2 кг води від 14 °С до кипіння. Визначте напругу, подану на електрокип'ятильник. Втратами енергії знехтуйте.
-  5. У кожний із двох калориметрів налили 200 г води за температури 20 °С. У перший калориметр помістили нагрівач опором 24 Ом, у другий — опором 12 Ом. Нагрівачі з'єднали послідовно і підключили до джерела струму (див. [рис. 34.3](#)). Якою буде температура води в кожному калориметрі, якщо нагрівання триватиме 7 хв, а сила струму в колі весь час буде незмінною і становитиме 1,5 А? Втратами енергії знехтуйте.
-  6. Якої довжини ніхромовий дріт треба взяти, щоб виготовити електричний камін, який працюватиме за напруги 120 В і виділятиме 1 МДж теплоти за годину? Діаметр дроту 0,5 мм.
-  7. Порівняйте кількості теплоти, які необхідно витратити, щоб розплавити мідний і свинцевий дроти, якщо ці дроти мають однакову масу й узяті за температури 27 °С.




## § 35. ЕЛЕКТРИЧНІ НАГРІВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ЗАПОБІЖНИКИ

Статистичні дані свідчать про те, що серед причин виникнення пожеж друге місце після необережного поводження з вогнем посідає загоряння проводки внаслідок короткого замикання. Про те, що таке коротке замикання і як убезпечитися від загоряння проводів, якщо замикання все ж таки відбулося, ви дізнаєтеся із цього параграфа.

### 1. Вивчаємо електронагрівальні пристрої

Електричні нагрівальні пристрої широко застосовують у сільському господарстві, промисловості, на транспорті, у побуті тощо.

 Наведіть приклади застосування електричних нагрівальних пристроїв у різних галузях.

Незважаючи на зовнішнє різноманіття, усі електронагрівники, використовувані на практиці, мають спільні риси.

По-перше, робота всіх електричних нагрівників *ґрунтується на тепловій дії струму*: у таких пристроях енергія електричного струму перетворюється на внутрішню енергію нагрівника, який, у свою чергу, віддає енергію довкіллю шляхом теплопередачі (рис. 35.1).

По-друге, основною частиною будь-якого електронагрівника є *нагрівальний*



**Рис. 35.1.** Щоб збільшити тепловіддачу, поверхню обігрівача роблять ребристою, а нагрівальну поверхню електроплити виготовляють із темних металів



**Рис. 35.2.** Основна частина будь-якого електричного нагрівального пристрою — нагрівальний елемент



**Рис. 35.3.** Нагрівальний елемент лампи розжарення виготовляють із вольфраму (температура плавлення  $3387^{\circ}\text{C}$ ). Нагріваючись до температури  $3000^{\circ}\text{C}$ , тонка вольфрамова нитка яскраво світиться

*елемент* — провідник, який нагрівається в разі проходження струму (рис. 35.2). Нагрівальні елементи мають витримувати дуже високу температуру, тому їх виготовляють із тугоплавких матеріалів (рис. 35.3). Щоб уникнути ураження струмом, нагрівальний елемент ізолюють від корпусу нагрівального пристрою.

За законом Джоуля—Ленца кількість теплоти  $Q$ , що виділяється в нагрівальному елементі, обчислюється за формулою  $Q = I^2 R t$ , отже, змінюючи час нагрівання або силу струму в нагрівальному елементі, можна регулювати температуру нагрівника (рис. 35.4).

Підвідні проводи та нагрівальний елемент з'єднані послідовно, тому сила струму в них є однаковою. При цьому підвідні проводи нагріваються набагато менше, ніж нагрівальний елемент. Це означає, що опір підвідних проводів у багато разів менший від опору нагрівального

елемента. Зазвичай *нагрівальні елементи виготовляють із речовин з великим питомим опором, а відповідні проводи — із речовин з малим питомим опором.*

## 2. З'ясовуємо причини різкого збільшення сили струму в колі

Опір підвідних проводів досить малий, проте в разі значного збільшення сили струму вони дуже нагріваються, і це може стати причиною пожежі.

З'ясуємо, з яких причин може різко збільшитися сила струму в електричному колі звичайної квартири. Для цього згадаємо закон Ома:  $I = \frac{U}{R}$ . Оскільки напруга в мережі є незмінною, збільшення сили струму можливе тільки за умови зменшення загального опору кола. Споживачі струму в квартирі з'єднані паралельно, тому, якщо ввімкнути одразу кілька потужних споживачів, загальний опір кола суттєво зменшиться, відповідно сила струму в колі значно збільшиться.


Різко збільшується сила струму в колі й у випадку *короткого замикання* — з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором даної ділянки. Так, коротке замикання може виникнути в разі порушення ізоляції проводів або під час ремонту елементів електричного кола, які перебувають під напругою (нагадаємо, що це є смертельно небезпечним!).



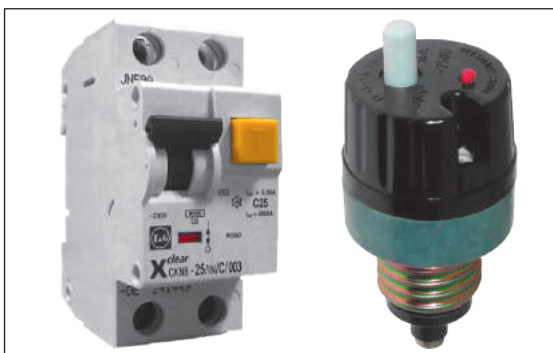
**Рис. 35.4.** Повертаючи тумблер праски, ми налаштуємо праску на певний температурний режим

### 3. Застосовуємо запобіжники

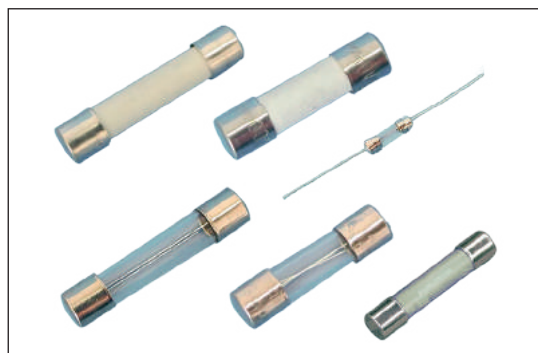
Щоб уникнути пожежі у випадку короткого замикання або перевантаження електричного кола, а також не допустити псування споживачів електричної енергії під час небезпечного збільшення сили струму, використовують *запобіжники* — пристрої, які розмикають коло, якщо сила струму в ньому збільшиться понад норму (рис. 35.5, 35.6). В автоматичних запобіжниках у разі збільшення сили струму понад норму біметалева пластина вигинається, у результаті чого коло розмикається. Після охолодження запобіжник знову можна повернути в робочий стан. У плавких запобіжниках усередині скляної або керамічної трубочки з металевими наконечниками натягнутий тонкий дріт із легкоплавкого матеріалу

 Поясніть, як працюють плавкі запобіжники (рис. 35.6).

**Увага!** Дуже небезпечно застосовувати несправні запобіжники або саморобні запобіжні пристрої. Якщо в разі збільшення сили струму понад норму коло своєчасно не розімкнеться, виникне пожежа.



**Рис. 35.5.** Автоматичні запобіжники. Робоча частина автоматичного запобіжника — біметалева пластина.



**Рис. 35.6.** Плавкі запобіжники, які застосовують у радіотехніці.

#### 4. Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Автоматичний запобіжник у квартирному електролічильнику розрахований на силу струму 10 А. Чи спрацює запобіжник, якщо одночасно ввімкнути лампу споживною потужністю 200 Вт, пральну машину потужністю 800 Вт, електричний чайник потужністю 1400 Вт? Напруга в мережі 220 В.

*Аналіз фізичної проблеми.* Для розв'язання задачі слід визначити загальну потужність  $P_{\text{заг}}$  увімкнених споживачів. Якщо  $P_{\text{заг}}$  споживачів менша від максимально можливої потужності струму  $P_{\text{max}}$ , на яку розрахований запобіжник, то запобіжник не спрацює, якщо більша — він розімкне коло.

*Дано:*  
 $I_{\text{max}} = 10 \text{ А}$   
 $P_1 = 200 \text{ Вт}$   
 $P_2 = 800 \text{ Вт}$   
 $P_3 = 1400 \text{ Вт}$   
 $U = 220 \text{ В}$

*Знайти:*  
 $P_{\text{max}} — ?$   
 $P_{\text{заг}} — ?$

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

За будь-якого з'єднання споживачів їхня загальна потужність дорівнює сумі потужностей окремих споживачів:

$$P_{\text{заг}} = P_1 + P_2 + P_3.$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_{\text{max}} = UI_{\text{max}}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканих величин:

$$[P] = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт};$$

$$P_{\text{max}} = 220 \cdot 10 = 2200 \text{ (Вт)};$$

$$P_{\text{заг}} = 200 + 800 + 1400 = 2400 \text{ (Вт)}.$$

*Аналіз результату.* Порівнявши загальну потужність увімкнених споживачів ( $P_{\text{заг}}=2400$  Вт) і потужність, на яку розрахований запобіжник ( $P_{\text{max}}=2200$  Вт), бачимо, що навантаження в колі перевищило максимально можливе значення. Отже, запобіжник спрацює, коло розімкнеться.

*Відповідь:* запобіжник розімкне коло.



### Підбиваємо підсумки

Робота різноманітних електронагрівальних пристроїв ґрунтується на тепловій дії струму. Під час роботи електронагрівальних пристроїв певна кількість теплоти виділяється і в підвідних проводах. Значне нагрівання проводів може стати причиною пожежі, тому, якщо є небезпека надмірного збільшення сили струму, до електричного кола приєднують запобіжник — пристрій, який розмикає електричне коло в разі, якщо сила струму перевищить значення, допустиме для цього кола.



### Контрольні запитання

1. Які перетворення енергії відбуваються всередині електронагрівника в разі його ввімкнення в електричне коло?
2. Які властивості повинен мати метал, із якого виготовляють нагрівальний елемент?
3. Чому нагрівальний елемент має бути ізольований від корпусу нагрівального приладу?
4. Що може стати причиною надмірного збільшення сили струму в електричному колі? До чого це може призвести?
5. Що таке коротке замикання? 6. З якою метою застосовують запобіжники?
7. Поясніть принцип дії автоматичного запобіжника.





### Вправа № 35

1. Якою є максимально допустима потужність струму в пристрої, якщо його плавкий запобіжник розрахований на максимальний струм 6 А за напруги 220 В?
2. Чому для запобігання займанню електропроводки особливу увагу слід приділяти якісному з'єднанню дротів один з одним та з приладами, які ввімкнено в мережу?
3. Яким вимогам має відповідати речовина, з якої виготовляють дріт для плавкого запобіжника?
4. Для приєднання зварювального апарата, який споживає струм силою 100 А, молодий робітник вирішив скористатися освітлювальним шнуром. Чому ви, знаючи фізику, ніколи цього не зробите?
5. Праска — один із найпоширеніших нагрівальних пристроїв, здавна використовуваних людиною. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про історію створення праски та підготуйте коротке повідомлення.
6. Які з поданих тверджень є істинними?



- а) Атом складається з ядра та розташованих навколо нього електронів.
- б) Розмір ядра атома майже в 10 разів менший, ніж розмір атома.
- в) У нейтральному атомі кількість електронів дорівнює кількості протонів.
- г) Унаслідок дії електричного поля вільні електрони в металах прямують до позитивного полюса джерела струму, а протони — до негативного.





### Експериментальне завдання

За паспортами й інструкціями до різних споживачів струму у вашій оселі з'ясуйте їхню потужність. Дізнайтеся в батьків, на яку силу струму розраховані запобіжники, що встановлені в електролічильнику. Визначте, скільки споживачів і які саме можна одночасно ввімкнути в одне відгалуження проводки.



### ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Історія **Львівського національного університету ім. Івана Франка** починається в XVII ст.: у 1661 р. польський король підписав диплом, що надавав єзуїтській колегії у Львові «гідність академії і титул університету». У 1773 р. орден єзуїтів було заборонено, а університет закрито. У 1784 р. імператор Йосиф II відновив роботу університету з латинською мовою викладання.

За століття, що минули з того часу, університет став одним із найпрестіжніших освітніх закладів України, здобув високий міжнародний авторитет, став потужним науковим осередком. Сьогодні в університеті працює 19 факультетів, серед яких особливо популярні факультети електроніки, механіко-математичний, прикладної математики та інформатики, фізичний.

Основу наукового потенціалу університету складають відомі в Україні та світі наукові школи: фізика твердого тіла, теоретична фізика, фізико-хімія полімерів, кристалохімія, біоенергетика й електрофізіологія секреторних клітин, мінералогічна школа академіка *Є. К. Лазаренка*.

## § 36. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ

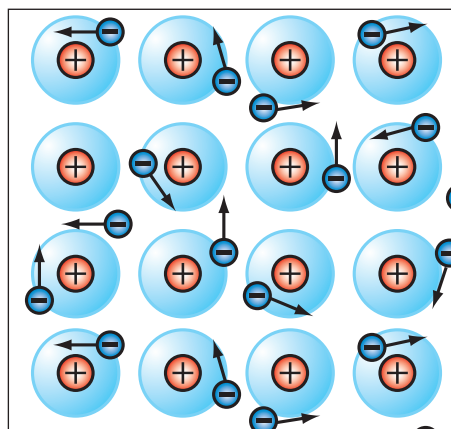
Електричний струм можуть проводити рідини й тверді речовини, за певних умов електричний струм проводять і гази.

### 1. З'ясовуємо природу електричного струму в металах

Вивчення електричного струму в різних середовищах почнемо з вивчення струму в металах. По-перше, усі без винятку метали добре проводять електричний струм, а по-друге, саме з провідністю металів пов'язане широке застосування електричної енергії в житті людини.

Із курсу хімії ви знаєте, що валентні електрони в металах легко залишають «свій» атом і стають вільними, а у вузлах кристалічної ґратки металу залишаються позитивні йони.

За відсутності електричного поля вільні електрони всередині металевого провідника рухаються хаотично. Цей рух нагадує рух молекул газу, саме тому вільні електрони в металах ще називають *електронним газом* (рис. 36.1). Якщо ж у провіднику створено електричне поле, то електрони, не припиняючи хаотичного руху, починають зміщуватись у бік позитивного полюса джерела струму. Рух електронів стає напрямленим — у металі виникне електричний струм.



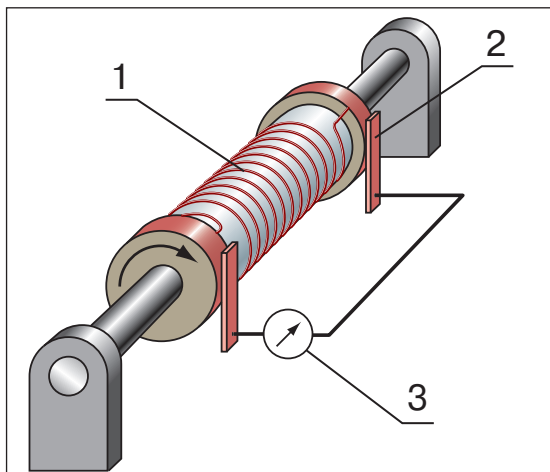
**Рис. 36.1.** Вільні електрони в металах за відсутності електричного поля рухаються хаотично

**Електричний струм у металах** являє собою напрямлений рух вільних електронів.

Природа струму в металах була експериментально встановлена російськими вченими *Л. І. Мандельштамом* і *М. Д. Папалексі* (1913 р.) під час роботи в Страсбурзькому університеті; методику дослідів удосконалили американські фізики *Р. Толмен* і *Т. Стюарт* (1916 р.).

Учені розмірковували приблизно так. Якщо металевому дроту надати швидкого руху (рис. 36.2), а потім різко зупинити, то вільні заряджені частинки в дроті рухатимуться за інерцією (саме так у випадку різкої зупинки транспорту в ньому продовжують рух незакріплені предмети). У результаті в дроті виникне короточасний струм — його зафіксує гальванометр; за напрямком відхилення стрілки гальванометра можна з'ясувати знак заряду частинок, рух яких спричинив появу струму. За допомогою більш складних дослідів учені дізналися, що електричний струм у металевому дроті створюють електрони.

**?** За рис. 36.2 визначте напрямок руху електронів після зупинки котушки та напрямок короточасного електричного струму, який при цьому виникає.



**Рис. 36.2.** Схема пристрою для вивчення природи електричного струму в металах: 1 — котушка з металевим дротом; 2 — ковзні контакти; 3 — чутливий гальванометр. Котушці надають швидкого обертання й різко зупиняють. У результаті в колі виникає електричний струм, який реєструється гальванометром

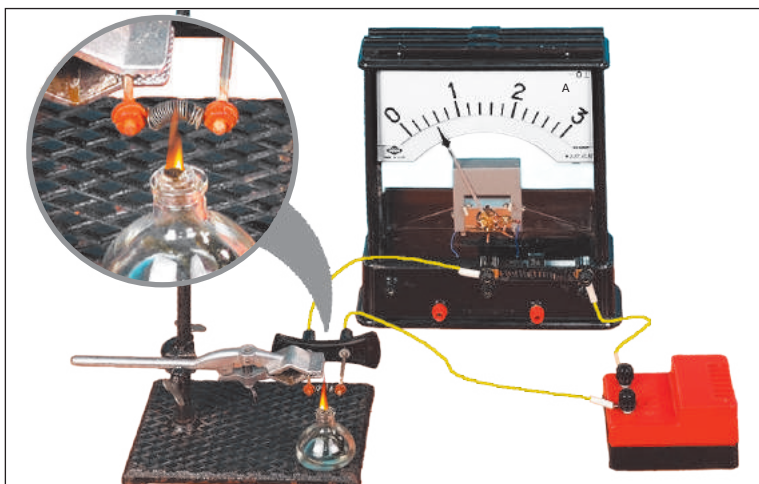
## 2. Дізнаємося, як опір металів залежить від температури

Проведемо такий дослід. З'єднаємо сталеву спіраль із джерелом струму й підігріватимемо спіраль у полум'ї спиртівки (рис. 36.3). При цьому напругу будемо підтримувати незмінною. Дослід демонструє: у міру нагрівання спіралі сила струму в ній зменшується, а це означає, що опір спіралі зростає.

Якщо провести подібні досліді зі спіралями, виготовленими з інших металів, можна переконаватися, що зі збільшенням температури опір цих спіралей також збільшується, але зміна опору кожного разу буде іншою.

*Опір металевого провідника збільшується в разі підвищення температури та зменшується в разі її зниження. Зміна опору залежить від матеріалу, з якого виготовлений провідник.*

Знаючи, як залежить опір металевого провідника від температури, можна, вимірявши опір провідника,



**Рис. 36.3.** Дослід, що демонструє залежність опору металів від температури. У процесі нагрівання спіралі сила струму в ній зменшується, отже, опір спіралі зростає

визначити його температуру. Цей факт покладено в основу роботи так званих *термометрів опору* (рис. 36.4).

### 3. Знайомимося з явищем надпровідності

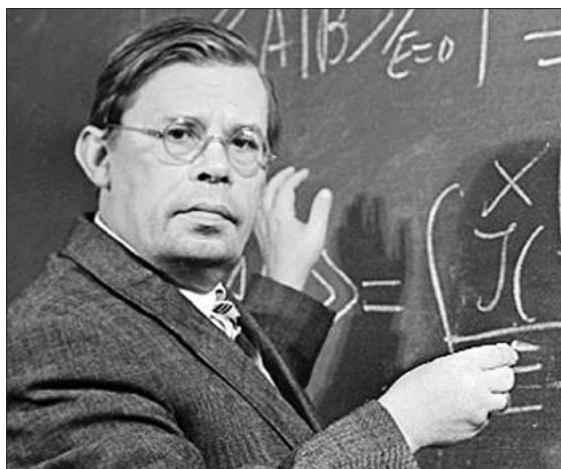
У 1911 р. нідерландський учений *Г. Камерлінг-Оннес* (1853–1926), досліджуючи, як поводить ся ртуть за температур, близьких до абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), помітив дивне явище: у разі зниження температури ртуті до  $4,15\text{ K}$  ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) її питомий опір стрибком падає до нуля. Подібне відбувалося з оловом, свинцем та іншими металами. Це явище назвали *надпровідністю*. Надпровідність неможливо пояснити з погляду елементарної електронної теорії провідності металів. У 1957 р. група американських учених (рис. 36.5) і незалежно від них радянський учений *М. М. Боголюбов* (рис. 36.6) розробили квантову теорію надпровідності.



**Рис. 36.4.** Зовнішній вигляд і схематичне позначення термометра опору (а); будова датчика термометра (б). Датчик розміщують у середовищі, температуру якого вимірюють. За вимірним опором визначають температуру. На практиці шкалу приладу відразу градуюють в одиницях температури



**Рис. 36.5.** Джон Бардін (1908–1991), Леон Ніл Купер (нар. 1930 р.), Джон Роберт Шріффер (1931–2019) — лауреати Нобелівської премії з фізики (1972 р.) за розробку квантової теорії надпровідності



**Рис. 36.6.** Боголюбов Микола Миколайович (1909–1992) — видатний фізик-теоретик і математик. У 1929–1973 рр. працював в Академії наук України. Засновник наукових шкіл у галузі нелінійної механіки, статистичної фізики і квантової теорії поля



### Підбиваємо підсумки

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів. За відсутності електричного поля вільні електрони в металах рухаються хаотично. Якщо ж у металевому провіднику створити електричне поле, то вільні електрони, не припиняючи свого хаотичного руху, починають рухатися напрямлено.

Опір металевих провідників залежить від температури. На цьому основано роботу термометрів опору.



У разі зменшення температури деяких металів до температур, близьких до абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), їхній опір стрибком падає до нуля. Це явище називають надпровідністю.



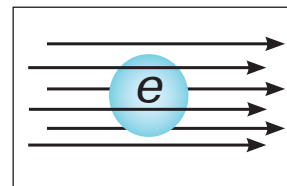
### Контрольні запитання

1. Опишіть рух вільних електронів у металах за відсутності електричного поля; за наявності електричного поля.
2. Що являє собою електричний струм у металах?
3. Опишіть суть досліду з виявлення природи електричного струму в металах.
4. Чи залежить опір металів від температури? Якщо залежить, то як?
5. У чому полягає явище надпровідності?



### Вправа № 36

1. Електрон розташований в електричному полі, силові лінії якого зображено на рисунку. Як напрямлена сила, з якою це поле діє на електрон?



2. Яке твердження з наведених є істинним?
  - а) Зі збільшенням температури опір металів збільшується.
  - б) Зі збільшенням температури опір металів зменшується.
  - в) Напрямок електричного струму в металевому провіднику збігається з напрямком руху електронів.
3. Металева нитка розжарення електричної лампи поступово тоншає через випаровування металу з її поверхні та врешті-решт перегоряє. Поясніть, чому нитка перегоряє в найтоншому місці й найчастіше в той момент, коли лампу вмикають.



4. У металевому провіднику завдовжки 10 см із площею поперечного перерізу  $0,4 \text{ см}^2$  тече струм силою 80 А. Якою є середня швидкість напрямленого руху електронів у провіднику, якщо в кожному кубічному сантиметрі провідника міститься  $2,5 \cdot 10^{22}$  вільних електронів?
5. Визначте значення і знак заряду отриманого йона, якщо: а) нейтральний атом міді втратив два електрони; б) нейтральний атом хлору приєднав один електрон.



## ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

**Лев Васильович Шубников** (1901–1937) — видатний фізик-експериментатор зі світовим ім'ям. Значну частину свого короткого життя Л. В. Шубников мешкав у Харкові, де очолював створену ним лабораторію низьких температур при Харківському фізико-технічному інституті. Лев Васильович започаткував дослідження металів у надпровідному стані, коли електричний опір матеріалу дорівнює нулю. Також важливе значення мали експерименти з отримання зріджених газів, зокрема водню, азоту та кисню.

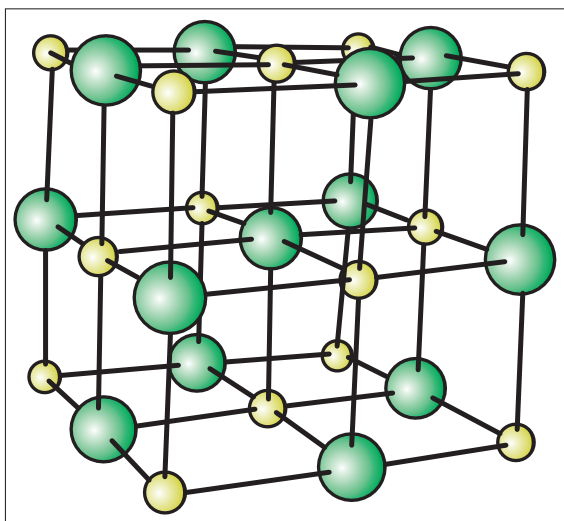
Найвища нагорода для вченого — це використання його прізвища для назви відкритого ним явища. «Ефект Шубникова — де Гааза», «фаза Шубникова», «метод Обреїмова — Шубникова» — це лише декілька прикладів внеску видатного вченого в сучасну фізику.

У 2001 р. на честь Л. В. Шубникова було названо наукову премію НАН України за видатні наукові роботи в галузі експериментальної фізики.

## § 37. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В ЕЛЕКТРОЛІТАХ

Дистильована вода — діелектрик, адже в ній майже немає вільних заряджених частинок; діелектриком є і кухонна сіль. Однак якщо дрібку кухонної солі кинути в дистильовану воду, то отриманий розчин добре проводитиме струм. Чому це так?

### 1. Знайомимося з електролітами



**Рис. 37.1.** Модель кристалічної ґратки кухонної солі ( $\text{NaCl}$ ): позитивні йони натрію ( $\text{Na}^+$ ) — жовті кульки; негативні йони хлору ( $\text{Cl}^-$ ) — зелені кульки

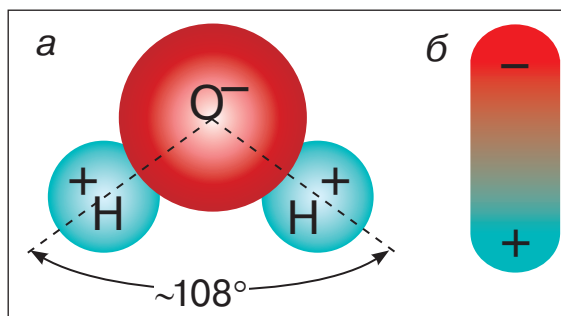
Багато кристалічних речовин являють собою позитивні і негативні йони, з'єднані в одне ціле силою електричного притягання. Так, кристали хлориду натрію — кухонної солі ( $\text{NaCl}$ ) складаються з позитивних йонів натрію ( $\text{Na}^+$ ) і негативних йонів хлору ( $\text{Cl}^-$ ) (рис. 37.1), кристали сульфату міді ( $\text{CuSO}_4$ ) — з позитивних йонів міді ( $\text{Cu}^{2+}$ ) і негативних йонів сульфату ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Якщо такі речовини розчинити у воді, вони можуть розпастися на окремі йони.

Розглянемо процес розпаду речовин на йони на прикладі розпаду кухонної солі ( $\text{NaCl}$ ) у воді ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Як ви вже знаєте з курсу хімії, молекули води є *полярними*: атоми водню й атом кисню в молекулі води розташовані несиметрично, тому з одного боку молекули домінує

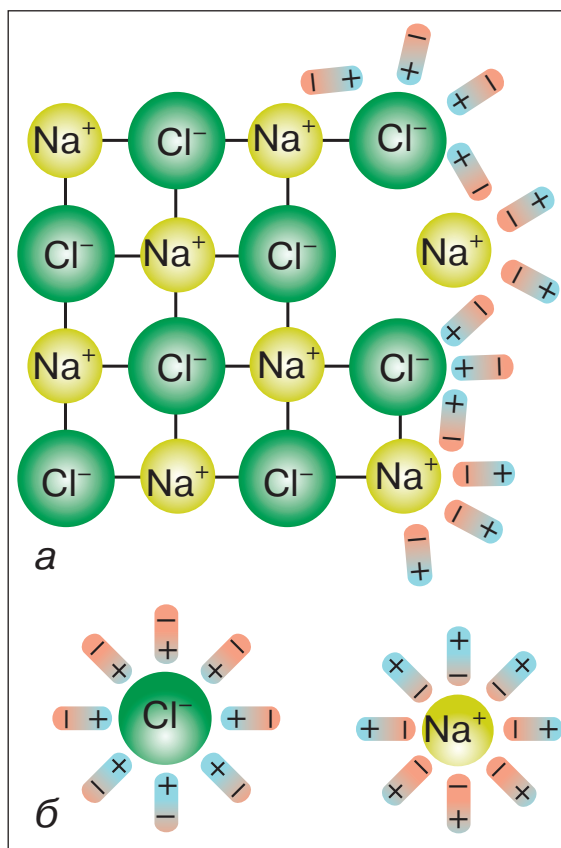
позитивний заряд, а з іншого боку — такий самий негативний (рис. 37.2, а). Отже, молекулу води можна уявити як *електричний диполь\** (рис. 37.2, б).

Коли кристалик солі (NaCl) потрапляє у воду, диполі води оточують йони натрію та йони хлору, орієнтуючись певним чином (рис. 37.3, а). Деякі диполі води потрапляють у проміжки між йонами та значно послаблюють силу їх притягання. Унаслідок цього процесу і внаслідок теплового руху молекул води йони натрію і хлору відокремлюються від кристалика солі (рис. 37.3, б).

Розпад речовин на йони внаслідок дії полярних молекул розчинника називають **електролітичною дисоціацією** (від латин. *dissociatio* — роз'єднання).



**Рис. 37.2.** Схематичне зображення молекули води



**Рис. 37.3.** Механізм електролітичної дисоціації кухонної солі

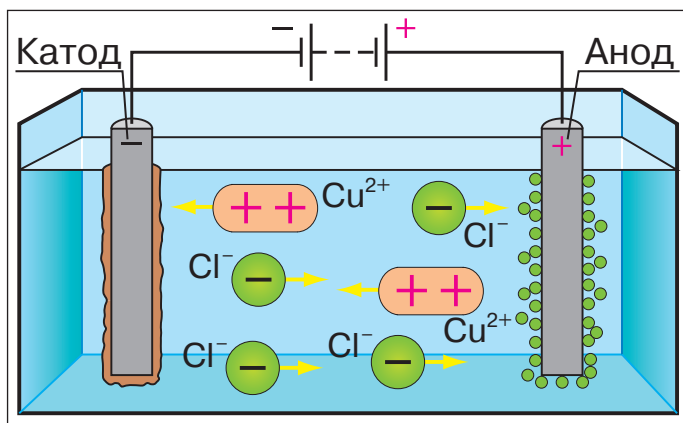
\* *Електричний диполь* — сукупність двох однакових за значенням різнойменних зарядів, які розташовані на певній відстані один від одного.

У результаті електролітичної дисоціації в розчині з'являються вільні заряджені частинки — позитивні й негативні йони, тому розчин починає проводити струм.

Досліди показують, що розпад речовин на йони може бути спричинений не тільки розчинником. Деякі солі та оксиди металів можуть розпадатися на йони внаслідок значного збільшення температури. Тому розплави цих речовин теж проводять електричний струм. Розчини й розплави, які проводять електричний струм, відносять до **електролітів**.

## 2. Природа електричного струму в електролітах

Візьмемо два вугільні електроди та з'єднаємо їх із полюсами джерела струму (рис. 37.4). Електрод, з'єднаний із позитивним полюсом джерела, називають **анодом**, а електрод, з'єднаний із негативним полюсом, — **катодом**. Опустимо електроди в посудину з електролітом, наприклад із водним розчином хлориду міді ( $\text{CuCl}_2$ ), і замкнемо коло. У розчині виникне електричне поле, через дію якого позитивні йони міді ( $\text{Cu}^{2+}$ ) попрямують до катода, а негативні йони хлору ( $\text{Cl}^-$ ) — до анода (рис. 37.4). Отже, в розчині виникне напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм.



**Рис. 37.4.** Схема дослідження електричного струму в рідинах. У ванну з розчином електроліту ( $\text{CuCl}_2$ ) занурені катод і анод.

■ **Електричний струм в електролітах** являє собою напрямлений рух позитивних і негативних йонів.

Йонний механізм провідності мають не тільки деякі розчини та розплави, а й деякі тверді речовини, наприклад йодид срібла ( $\text{AgI}$ ), йодид калію ( $\text{KI}$ ), сульфід срібла ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ). У твердих речовинах із йонною провідністю переміщуються йони тільки одного знаку — або тільки позитивні, або тільки негативні.

■ **Електроліти** — це тверді або рідкі речовини, які мають йонну провідність.

Зазначимо, що зі збільшенням температури кількість йонів у електролітах збільшується, відповідно збільшується й сила струму. Це означає, що *зі збільшенням температури опір електролітів зменшується.*

### ■ 3. Даємо означення електролізу

У процесі проходження електричного струму через електроліт (на відміну від проходження струму через метал) відбувається перенесення хімічних складових електроліту й ті виділяються на електродах — у вигляді твердого шару або в газоподібному стані. Якщо через водний розчин  $\text{CuCl}_2$  протягом кількох хвилин пропускати струм, то поверхню катода вкриє тонкий шар міді (рис. 37.5), а на аноді виділиться



**Рис. 37.5.** Унаслідок пропускання струму через розчин хлориду міді поверхню катода вкриє тонкий шар міді

газоподібний хлор. Наявність хлору можна виявити за характерним запахом.

Пояснимо, чому так відбувається. Під час проходження струму вільні позитивні йони міді ( $\text{Cu}^{2+}$ ) прямують до катода, а вільні негативні йони хлору ( $\text{Cl}^-$ ) — до анода (див. [рис. 37.4](#)). Досягши катода, катіони міді «беруть» з його поверхні електрони, яких їм «бракує», тобто відбувається *хімічна реакція відновлення*. Унаслідок цієї реакції йони міді перетворюються на нейтральні атоми; на поверхні катода осідає мідь. Водночас негативні йони хлору, досягши поверхні анода, навпаки, «віддають» йому «надлишкові» електрони — відбувається *хімічна реакція окиснення*; на аноді виділяється хлор.

Процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму, називають **електролізом**.

#### 4. Дізнаємося про перший закон Фарадея

Уперше явище електролізу докладно вивчив англійський фізик *М. Фарадей* ([рис. 37.6](#)). Він сформулював



**Рис. 37.6.** Майкл Фарадей (1791–1867) — англійський фізик, засновник учення про електромагнітне поле. Виявив хімічну дію електричного струму, установив закони електролізу і здійснив чимало інших видатних відкриттів



закон, який згодом назвали **законом електролізу**, або **першим законом Фарадея**:

Маса речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна заряду, який пройшов через електроліт:

$$m = kq,$$

де  $m$  — маса речовини;  $k$  — коефіцієнт пропорційності, який називають *електрохімічним еквівалентом*;  $q$  — значення електричного заряду.

**Електрохімічний еквівалент** чисельно дорівнює масі певної речовини, яка виділяється на електроді внаслідок проходження через електроліт заряду 1 Кл.

Одиниця електрохімічного еквіваленту в СІ — **кілограм на кулон**:

$$[k] = 1 \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}.$$

Електрохімічні еквіваленти в мільйони разів менші від  $1 \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}$ , тому в таблицях (див. табл. 2 Додатка) їх частіше подають у міліграмах на кулон:  $1 \frac{\text{Мг}}{\text{Кл}} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}$ . Так, елек-

трохімічний еквівалент срібла ( $\text{Ag}^+$ ) дорівнює  $1,12 \frac{\text{Мг}}{\text{Кл}}$ ,

а електрохімічний еквівалент алюмінію ( $\text{Al}^{3+}$ ) —  $0,09 \frac{\text{Мг}}{\text{Кл}}$ .

*Зверніть увагу:* перший закон електролізу можна також записати в такому вигляді:

$$m = klt,$$

де  $m$  — маса речовини;  $k$  — електрохімічний еквівалент;  $I$  — сила струму в електроліті;  $t$  — час електролізу.

 Доведіть ідентичність формул  $m = kq$  і  $m = kIt$ .



## 5. Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Щоб визначити електрохімічний еквівалент міді, через розчин сульфату міді протягом 30 хв пропустили струм силою 0,5 А. Яке значення електрохімічного еквівалента отримали, якщо маса катода до початку досліду була 75,20 г, а після досліду — 75,47 г?

*Аналіз фізичної проблеми.* Скористаємося законом електролізу. Масу міді, яка виділилася на катоді, знайдемо як різницю мас катода після досліду й до нього. Електрохімічні еквіваленти найчастіше подають у міліграмах на кулон, тому маси катода подамо в міліграмах.

*Дано:*

$$t = 1800 \text{ с}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$m_1 = 75\,200 \text{ мг}$$

$$m_2 = 75\,470 \text{ мг}$$

*Знайти:*

$k$  — ?

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Відповідно до першого закону Фара-

дея маємо:  $m = kIt \Rightarrow k = \frac{m}{It}$ ; при цьому

$m = m_2 - m_1$ . Одержуємо:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It}$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}; \quad k = \frac{75470 - 75200}{0,5 \cdot 1800} = \frac{270}{900} = 0,30 \left( \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} \right).$$

*Аналіз результату.* Зіставивши одержане значення електрохімічного еквівалента міді з табличним  $\left( k = 0,33 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} \right)$ , бачимо, що результати практично збіглися.

Похибка могла виникнути, наприклад, через неточність вимірювання маси. Отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:*  $k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ .



### Підбиваємо підсумки

Електроліти — це тверді та рідкі речовини, які мають йонну провідність. Розпад електролітів на йони внаслідок дії полярних молекул розчинника називають електролітичною дисоціацією. У результаті дисоціації в розчині з'являються вільні заряджені частинки — позитивні й негативні йони.

Електричний струм в електролітах — це напрямлений рух позитивних і негативних іонів.

Під час проходження електричного струму через електроліт хімічні складові електроліту осідають на електродах або виділяються в газоподібному стані. Це явище називають електролізом. Електроліз — це процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму.

Для електролізу справджується перший закон Фарадея (закон електролізу): маса  $m$  речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна заряду  $q$ , що пройшов через електроліт:  $m = kq$ , або  $m = kIt$ . Коефіцієнт пропорційності  $k$  називають електрохімічним еквівалентом.



### Контрольні запитання

1. У чому полягає явище електролітичної дисоціації? Наведіть приклади.
2. Що таке електроліт?
3. Що являє собою електричний струм в електролітах?
4. Опишіть процес електролізу.
5. Сформулюйте перший закон Фарадея.
6. Яким є фізичний зміст електрохімічного еквівалента?



### Вправа № 37

1. Skorистavshis'ya zakonom elektrolizu, vivedit' odynitsu elektrokhimichnogo ekvivalenta v Cl.
2. Distil'ovana voda ne є providnikom. A chomu vodoprovidna voda, richkova y mors'ka voda provodyat' elektrichnyy strum?
3. Chomu rozchin soli u vodi dobre provodyt' elektrichnyy strum, a rozchin cukru u vodi — pogano?
4. Pid chas elektrolizu, de elektrolitom був rozchin nitratu sribla, na katodi vidililoся 25 g sribla. Skil'ky chasu trivav elektroliz, yakcho sila strumu була nezminnoyu y dorivnyovala 0,5 A?
5. Cherez rozchin nitratu sribla protyagom 2 god propuskali elektrichnyy strum. Viznachte masu sribla, яке vidililoся na katodi, yakcho napruha na elektrodakh була 2 V, a opir rozchynu — 0,4 Om.
6. Pid chas elektrolizu, de elektrolitom був rozchin sulfatnoyi kisloty, za 50 khv vidililoся 3 g vodnyu. Viznachte vtрати potuzhnosti na nagrivan'nya elektrolitu, yakcho yogo opir stanoviv 0,4 Om.
7. Sin kovalya y uchень paliturnyka Maykl Faradey zmig stati vidatnym uchynim svogo chasu. Skoristайтеся dodatkovymi dzhерелами інформації та дізнайтеся про життя М. Фарадея та історію його відкриттів.
8. Pid chas sriblen'nya stalеvoyi lozhyki na її povirhnyu було nanesheno tonkyy шар sribla zavtovsyky 55 mkm. Viznachte masu sribla, yakcho plosha povirhni lozhyki dorivnyue 40 cm<sup>2</sup>.

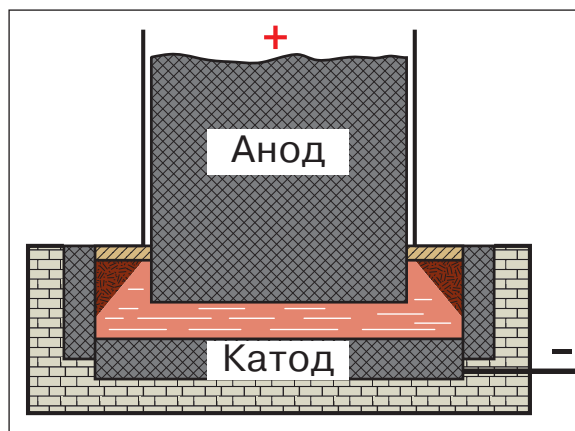


## § 38. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Існує легенда, що наприкінці XVIII ст. король Англії надіслав у подарунок російській імператриці Єкатерині II... алюмінієвий кухоль. У ті часи алюміній був дуже рідкісним і коштував у кілька разів дорожче від золота. Згодом завдяки застосуванню електролізу алюміній став загальнодоступним і досить недорогим. Про те, як за допомогою електролізу одержують метали і де ще застосовують електроліз, ітиметься в цьому параграфі.

### 1. Застосовуємо електроліз для одержування металів

Електроліз широко застосовують у промисловості. За допомогою електролізу із солей і оксидів одержують багато металів: мідь, нікель, алюміній та ін. Наприклад, щоб одержати алюміній, як електроліт використовують оксид алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), розчинений у розплавленому кріоліті ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) за температури  $950^\circ\text{C}$ . Розчин поміщають у спеціальні електролітичні ванни; катодом зазвичай слугують дно та стінки ванни, викладені графітом, а анодом — занурені в електроліт вугільні блоки. Під час пропускання струму через електроліт на катоді виділяється алюміній (рис. 38.1).



**Рис. 38.1.** Виробництво алюмінію (схема промислового пристрою). Дно та стінки ванни слугують катодом; алюміній збирається на дні ванни. Вугільний блок слугує анодом, на ньому виділяється кисень

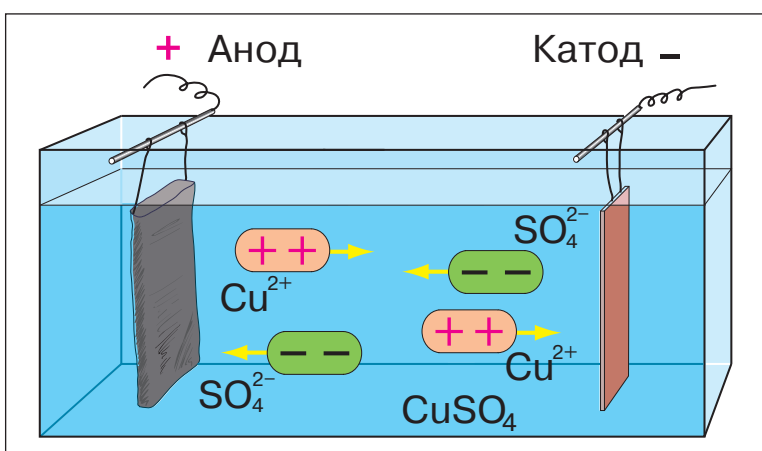
## 2. Одержуємо чисті метали

Метали, отримані шляхом електролізу (або іншим способом), зазвичай містять деяку кількість домішок. Так, у розплаві завжди наявні солі й оксиди інших металів, які так само можуть виділятися на катоді. Для очищення металів від домішок можна знову використати електроліз.

Спосіб очищення металів за допомогою електролізу називають **рафінуванням**.

У такий спосіб очищують мідь, алюміній, свинець, срібло та деякі інші метали. Розглянемо очищення міді.

У ванну з розчином сульфату міді ( $\text{CuSO}_4$ ) занурюють два електроди. Анодом слугує товста пластинка неочищеної міді, а катодом — тонка пластинка чистої міді (рис. 38.2). У розчині сульфат міді розпадається на йони міді ( $\text{Cu}^{2+}$ ) та йони сульфату ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Йони міді прямують до катода й осідають на ньому. Йони сульфату рухаються до анода та «забирають» у нього йони міді. Відтворений



**Рис. 38.2.** Рафінування міді: тонка пластинка чистої міді є катодом, товста пластинка неочищеної міді — анодом; ванна наповнена водним розчином сульфату міді

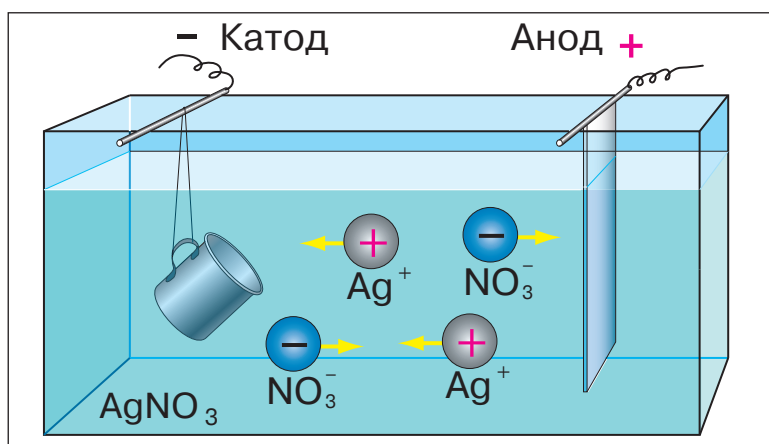
таким чином сульфат міді опиняється в розчині й там розпадається. Урешті-решт чиста мідь переноситься з анода на катод. Анод при цьому розчиняється, а домішки осідають на дні або залишаються в розчині.

### 3. Знайомимося з гальваностегією

За допомогою електролізу можна наносити тонкий шар металу на поверхню виробу — робити сріблення, золочення, нікелювання, хромування тощо. Такий шар може захищати від корозії, збільшувати міцність виробу або просто ставати його прикрасою.

Електролітичний спосіб покриття виробу тонким шаром металів називають **гальваностегією**.

Виріб, який бажають покрити шаром металу, занурюють у ванну з розчином електроліту, до складу якого входить цей метал. Виріб слугує катодом, а пластинка металу, яким покривають виріб, — анодом. Під час пропускання струму метал осідає на виробі (катоді), а анодна пластинка поступово розчиняється (рис. 38.3).

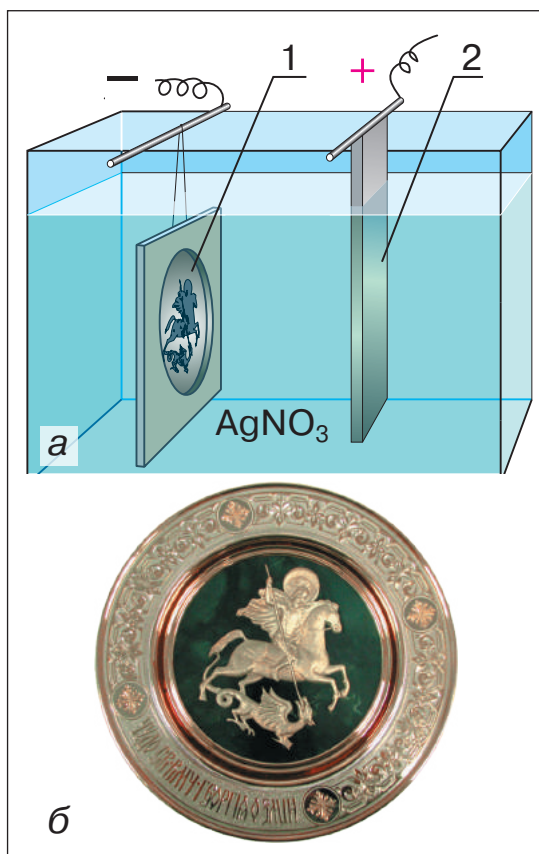


**Рис. 38.3.** Гальванічне сріблення. Ванна наповнена розчином нітрату срібла

## 4. Вивчаємо гальванопластику

**Гальванопластика** — це отримання за допомогою електролізу точних копій рельєфних виробів.

Спочатку з воску або іншого пластичного матеріалу роблять зліпок рельєфного виробу. Щоб поверхня зліпка проводила струм, її покривають тонким шаром графіту. Потім зліпок поміщують у ванну з розчином електро-



літу; зліпок слугуватиме катодом. Анодом буде пластинка металу. Під час електролізу на зліпку нарощується досить товстий шар металу, що заповнює всі нерівності зліпка. Після припинення електролізу восковий зліпок відділяють від шару металу і в результаті отримують точну копію виробу (рис. 38.4).

Зрозуміло, що застосування електролізу в сучасній техніці не обмежене розглянутими прикладами. За допомогою електролізу можна здійснити полірування поверхні анода; електроліз лежить в основі зарядження та розрядження кислотних і лужних акумуляторів тощо.

**Рис. 38.4.** Отримання рельєфних копій за допомогою електролізу: а — схема пристрою: 1 — катод, 2 — анод (срібна пластинка); ванна наповнена розчином нітрату срібла; б — одержана копія



## 5. Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Під час нікелювання на кожний 1 дм<sup>2</sup> поверхні виробу, який нікелюють, подають силу струму 0,4 А. За який час на виріб буде нанесено шар нікелю завтовшки 0,02 мм?

*Аналіз фізичної проблеми.* Час перебігу електролізу визначимо, скориставшись першим законом Фарадея; масу речовини, що виділилася на катоді, подамо через густину та об'єм шару нікелю. Електрохімічний еквівалент і густину нікелю знайдемо відповідно в табл. 2 і 3 Додатка. Розв'язуючи задачу, густину зручно подати в грамах на кубічний сантиметр, а отже, товщину шару — в сантиметрах, площу поверхні — у квадратних сантиметрах, а електрохімічний еквівалент — у грамах на кулон.

*Дано:*

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$d = 0,002 \text{ см}$$

$$\rho = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} =$$

$$= 0,0003 \frac{\text{г}}{\text{Кл}}$$

*Знайти:*

$t$  — ?

*Розв'язання*

Згідно із законом Фарадея:  $m = kIt$ .

Оскільки  $m = \rho V$ , а  $V = Sd$ , то  $m = \rho Sd$ .

Підставивши вираз для  $m$  у закон Фарадея, маємо:  $\rho Sd = kIt$ . Звідси  $t = \frac{\rho Sd}{kI}$ .

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}}{\frac{\text{г}}{\text{Кл}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{г} \cdot \text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{А}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{с};$$

$$t = \frac{8,9 \cdot 100 \cdot 0,002}{0,0003 \cdot 0,4} \approx 14\,800 \text{ (с);}$$

$$t = 14\,800 \text{ с} \approx 4 \text{ год } 7 \text{ хв.}$$

*Відповідь:*  $t \approx 4 \text{ год } 7 \text{ хв.}$



### Підбиваємо підсумки

Електроліз широко застосовують у промисловості. За допомогою електролізу одержують багато металів із солей і оксидів (мідь, нікель, алюміній та ін.), а також очищують їх. Спосіб очищення металів за допомогою електролізу називають рафінуванням.

За допомогою електролізу можна нанести тонкий шар металу на поверхню виробу (здійснити сріблення, золочення, нікелювання, хромування тощо), виготовити точні копії рельєфних виробів. Електролітичний спосіб покриття виробу тонким шаром металу називають гальваностегією, а отримання за допомогою електролізу точних копій рельєфних виробів — гальванопластикою.



### Контрольні запитання

1. Наведіть приклади застосування електролізу.
2. Опишіть процес отримання алюмінію за допомогою електролізу.
3. Як можна очистити метали від домішок?
4. Для чого поверхню металів покривають тонким шаром іншого металу?
5. Що таке гальваностегія? гальванопластика?



### Вправа № 38

1. На рис. 1 наведено схематичне зображення електричного кола.
  - 1) Назвіть основні складові кола.
  - 2) Який електрод слугує катодом, а який — анодом?
  - 3) На якому електроді виділяється срібло?
  - 4) Якою є сила струму в колі? За який час на електроді утвориться шар срібла масою 784 мг?
  - 5) Яку енергію буде витрачено під час сріблення, якщо напруга на електродах становить 11 В?

2. На рис. 2 наведено схематичне зображення електричного кола, до складу якого входить посудина з водним розчином сульфату цинку. За даними рисунка обчисліть товщину шару цинку, що утвориться на катоді в результаті електролізу.

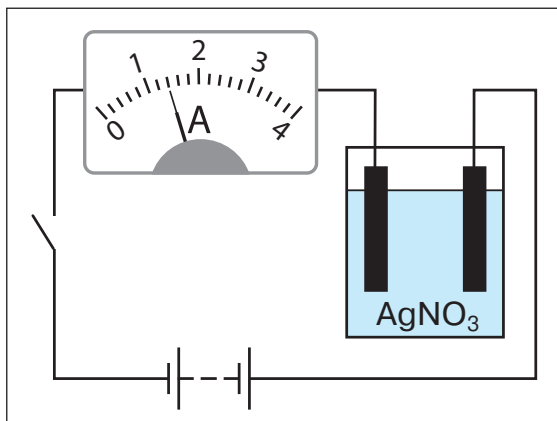


Рис. 1

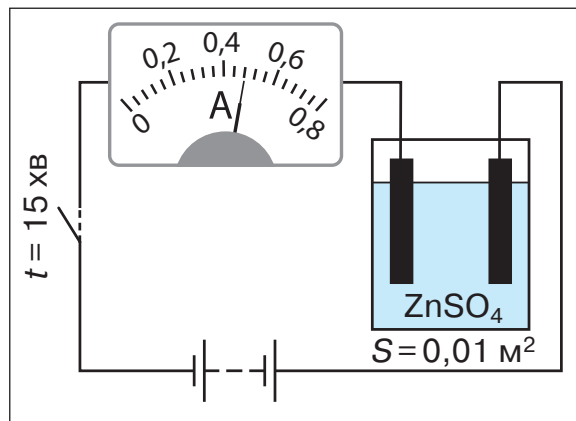


Рис. 2

3. Для сріблення ложок через розчин нітрату срібла пропускали струм силою 1,8 А. Катодом слугували 12 ложок, кожна з яких мала площу поверхні  $50 \text{ cm}^2$ . Скільки часу тривав електроліз, якщо на ложках утворився шар срібла завтовшки  $58 \text{ mkm}$ ?
4. Під час рафінування міді анодом слугує пластина неочищеної міді масою 2 кг, яка має 12 % домішок. Скільки енергії необхідно витратити для очищення цієї міді, якщо процес відбувається за напруги 6 В?
5. З наведених речовин і матеріалів виберіть ті, які є провідниками, і ті, які є діелектриками: 1) дистильована вода; 2) мідь; 3) повітря; 4) морська вода; 5) золото; 6) ртуть; 7) гума; 8) порцеляна.

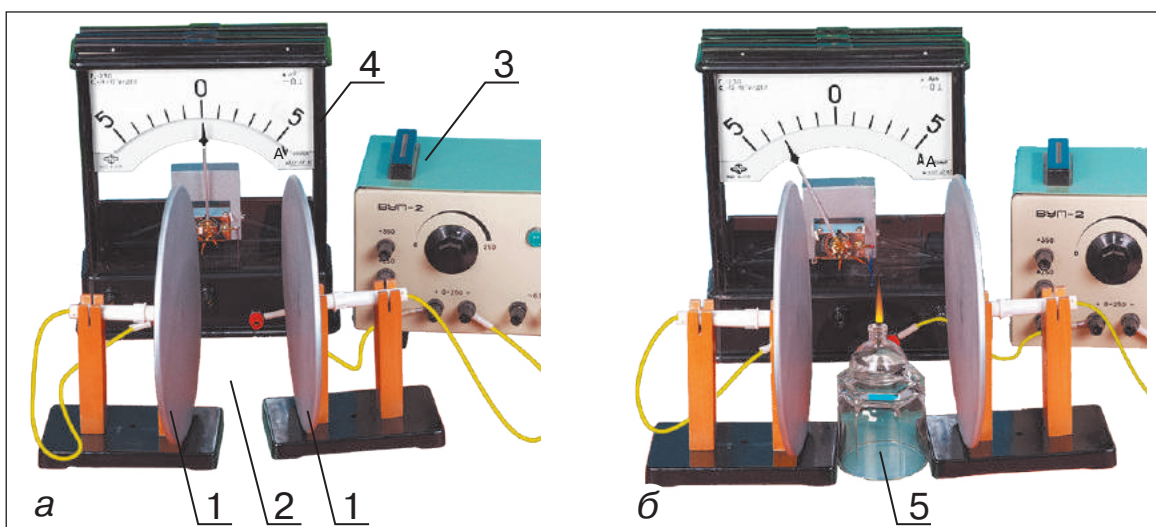


## § 39. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ

На початку розділу ми вивчали, що гази є діелектриками, а це означає, що в них немає вільних заряджених частинок. Тож про який електричний струм може бути мова? Існують умови, за яких гази можуть ставати провідниками. Про те, коли це відбувається і що собою являє електричний струм у газах, ітиметься в цьому параграфі.

### 1. Проводимо експеримент

Складемо електричне коло з *потужного* джерела струму, гальванометра та двох металевих пластин, розділених повітряним проміжком. Замкнувши коло, побачимо, що стрілка гальванометра не відхиляється (рис. 39.1, а). А це означає, що в колі немає електричного струму або струм такий слабкий, що навіть чутливий гальванометр його не реєструє. Отже, зробимо висновок: *за звичайних умов у повітрі майже немає вільних заряджених частинок і воно не проводить електричний струм.*



**Рис. 39.1.** Експеримент із вивчення провідності газів: 1 — металеві пластини; 2 — повітряний проміжок; 3 — потужне джерело струму; 4 — гальванометр; 5 — спиртівка.

Помістимо між металевими пластинами запалену спиртівку (рис. 39.1, б) — стрілка гальванометра відхилиться. Це означає, що в повітрі з'явилися вільні заряджені частинки і воно почало проводити електричний струм. З'ясуємо, що це за частинки, звідки і як вони з'явилися.

## 2. Знайомимося з механізмом провідності газів

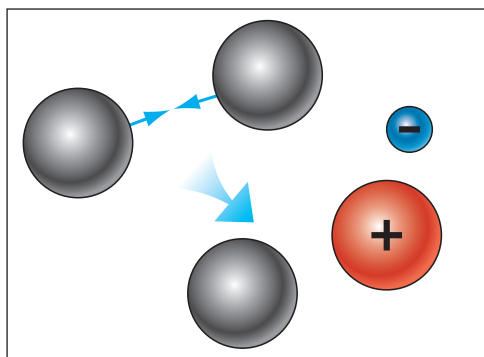
На відміну від металів та електролітів гази складаються з електрично нейтральних частинок (атомів і молекул), тому за звичайних умов повітря є ізолятором.

Коли полум'я спиртівки нагріває повітря, кінетична енергія теплового руху частинок повітря збільшується настільки, що в разі їх зіткнення від частинки може відірватися електрон і стати вільним. Втративши електрон, молекула (або атом) стає позитивним йоном (рис. 39.2).

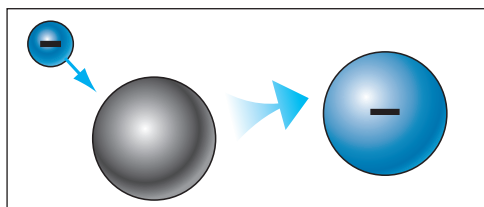
Здійснюючи тепловий рух, електрон може зіткнутися з нейтральною частинкою і вона його захопить — утвориться негативний йон (рис. 39.3).

Процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів із молекул (атомів) газу називають **йонізацією**.

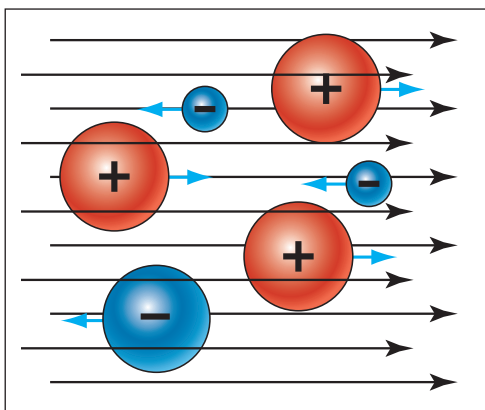
Якщо *йонізований* газ помістити в електричне поле,



**Рис. 39.2.** Схема йонізації молекули газу. Втративши в результаті зіткнення електрон, молекула стає позитивним йоном



**Рис. 39.3.** Схема утворення негативних йонів у газі: електрон захоплюється нейтральною молекулою



**Рис. 39.4.** У йонізованому газі за наявності електричного поля виникає напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм

то внаслідок дії цього поля позитивні йони рухатимуться в напрямку силових ліній поля, а електрони та негативні йони — у протилежному напрямку (рис. 39.4). У газі виникне електричний струм.

**Електричний струм у газах** являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Електричний струм у газах інакше називають **газовим розрядом**. Слід звернути увагу на той факт, що газ може

стати йонізованим не тільки в результаті підвищення його температури, але й внаслідок впливу інших чинників. Наприклад, верхні шари атмосфери Землі йонізуються під дією космічних променів; сильний йонізаційний вплив на газ мають рентгенівські промені й т. д.

### 3. Даємо означення несамостійного газового розряду

Досліди показують: якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело рентгенівського випромінювання тощо), то газовий розряд зазвичай припиняється.

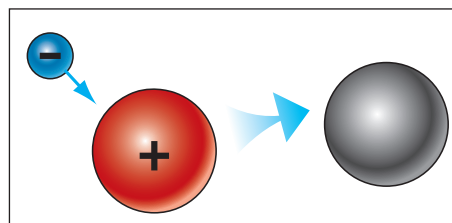
Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають **несамостійним газовим розрядом**.

З'ясуємо, чому після закінчення дії йонізатора газовий розряд припиняється.

По-перше, у процесі теплового руху електронів і позитивних йонів може відбутися *рекомбінація* — об'єднання їх у нейтральну молекулу (атом) (рис. 39.5).

По-друге, внаслідок дії поля вільні електрони рухаються до позитивного електрода (анода) і поглинаються ним; негативні йони рухаються до катода, «віддають» йому «зайві» електрони і перетворюються на нейтральні частинки; позитивні йони, досягши негативного електрода (катода), «забирають» у нього електрони і теж перетворюються на нейтральні частинки. Нейтральні молекули й атоми повертаються в газ.

Отже, якщо йонізатор «працює», у газі безперервно з'являються нові йони; після припинення дії йонізатора кількість вільних заряджених частинок у газі швидко зменшується і газ перестає проводити струм.



**Рис. 39.5.** Схема рекомбінації молекул газу

#### 4. Дізнаємося про йонізацію електронним ударом

За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора.

Газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають **самостійним газовим розрядом**.

Розглянемо, як відбувається самостійний газовий розряд.



Під час руху в електричному полі швидкість електрона поступово збільшується. Проте це збільшення не може відбуватися нескінченно, оскільки електрон стикається з частинками газу. Якщо між зіткненнями електрон устигне набути великої швидкості, то, зіткнувшись із нейтральним атомом чи молекулою, він може вибити з них електрон, іншими словами, може їх *йонізувати*. У результаті йонізації утворюються позитивний йон і ще один електрон. Послідовність таких зіткнень приводить до створення *електронної лавини* (рис. 39.6). Вільний електрон, прискорений електричним полем, йонізує молекулу або атом і звільняє ще один електрон. Розігнавшись, два електрони звільняють ще два. До анода летять уже чотири електрони і т. д. Число вільних електронів збільшується лавиноподібно доти, доки вони не досягнуть анода. Описаний процес називають **ударною йонізацією** або **йонізацією електронним ударом**.

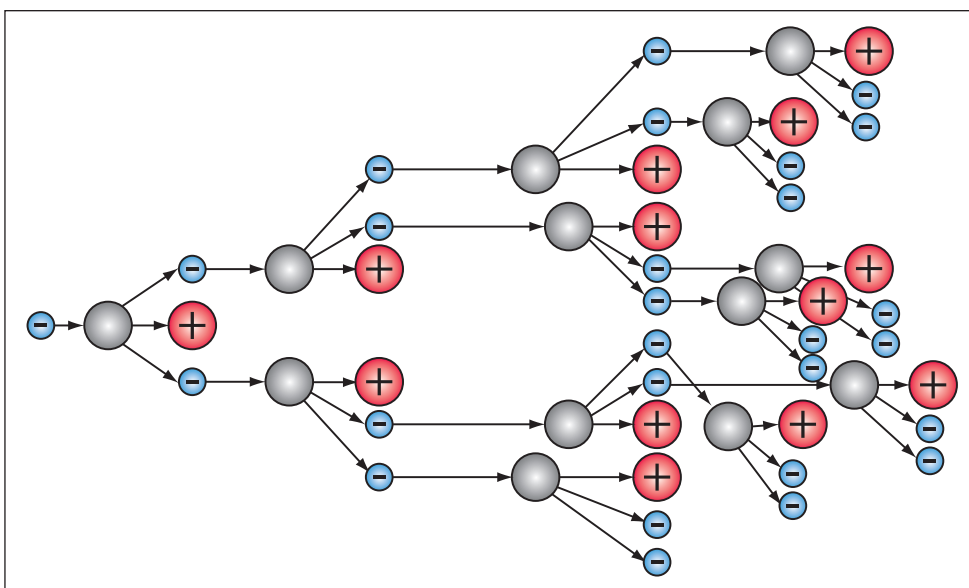


Рис. 39.6. Схема розвитку електронної лавини

Електрони, що утворилися внаслідок ударної йонізації, прямують до анода і в решті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд не припиниться, якщо в ньому будуть з'являтися нові електрони. Одним із джерел нових електронів може бути поверхня катода. Річ у тім, що позитивні йони прямують до катода й вибивають із нього нові електрони. Іншими словами, внаслідок бомбардування катода позитивними йонами відбувається *емісія (випускання)* електронів з поверхні катода.

Таким чином, *самостійний газовий розряд підтримується за рахунок ударної йонізації та за рахунок емісії електронів із поверхні катода.*

## **5. З'ясовуємо, за яких умов можлива йонізація електронним ударом**

Щоб електрон зміг у разі зіткнення вибити електрон із нейтральних атома чи молекули, він має набути достатньої кінетичної енергії. Це може відбутися у двох випадках: якщо електрон буде дуже довго розганятись або якщо він буде розганятись дуже швидко.

За нормального тиску ( $p \approx p_{\text{атм}}$ ) електрони в газах дуже часто стикаються з атомами і молекулами газу, тому *електричне поле*, в якому рухається електрон, має бути *досить сильним*, щоб електрон до зіткнення встиг набути енергії, необхідної для йонізації.

Якщо ж тиск газу малий ( $p < 0,1p_{\text{атм}}$ ), тобто *газ є досить розрідженим*, то час між зіткненнями значно збільшується й електрон може набути енергії, необхідної для йонізації молекули (атома), у слабшому полі.



### Підбиваємо підсумки

За звичайних умов газ практично не містить вільних заряджених частинок, тому не проводить електричного струму. Щоб газ почав проводити струм, його необхідно йонізувати. Йонізацією газу називають процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів із електрично нейтральних атомів і молекул.

Електричний струм у газах являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають несамостійним газовим розрядом. Розряд у газі, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають самостійним газовим розрядом — він можливий завдяки йонізації електронним ударом і завдяки емісії електронів з поверхні катода.



### Контрольні запитання

**1.** Чому за звичайних умов газ не проводить електричний струм? **2.** Який газ називають йонізованим? **3.** Що таке йонізація? **4.** Який розряд у газі називають несамостійним? **5.** Чому після закінчення дії йонізатора несамостійний газовий розряд швидко припиняється? **6.** Дайте означення самостійного газового розряду. **7.** Опишіть механізм ударної йонізації. **8.** Яким ще шляхом, крім йонізації електронним ударом, поповнюється нестача вільних електронів у випадку самостійного газового розряду?



### Вправа № 39

1. В електричному полі, створеному двома різнойменно зарядженими пластинами (рис. 1), міститься йонізований газ. Перенесіть рисунок до зошита. Зобразіть силові лінії електричного поля між пластинами. Покажіть напрямок руху електронів і йонів. Яким буде рух нейтральних частинок?

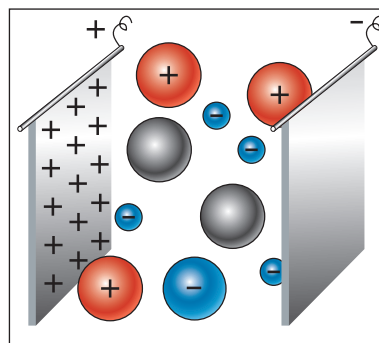


Рис. 1

2. Чому в разі охолодження газів їхня провідність падає?

3. Чим йонізація газів відрізняється від електролітичної дисоціації?

4. Що спільного і в чому різниця між електричним струмом у газах, рідинах і металах?

5. Цікавим прикладом несамоствійного газового розряду є газовий розряд у плазмовій кулі (рис. 2). Розріджений газ у кулі йонізується електричним струмом дуже високої частоти. Якщо кулі торкнутися рукою, то промені притягуються до руки. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, чому це відбувається, що є спільним між цим явищем і роботою сенсорного екрана, хто був винахідником плазмової кулі та ін.



Рис. 2

6. Перенесіть таблицю до зошита та заповніть її. У кожному стовпчику наведіть не менш ніж п'ять прикладів фізичних величин.

Фізичні величини, які характеризують:		
певну речовину	певне фізичне тіло	певний фізичний процес



## ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

### Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (Київ)

Практично кожного дня ми зустрічаємося з явищем дугового розряду або наслідками його дії. Це і маленькі «сонця», які палають у руках робітників на будмайданчиках, і звичайні петлі, приварені до вхідних дверей вашої оселі. Саме завдяки зварюванню дуговий розряд набув такого поширення. Безперечний світовий авторитет України в цій галузі забезпечили роботи вчених Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона. Світове визнання інститут здобув завдяки новітній для свого часу технології зварювання під флюсом, яку розробив засновник і перший директор інституту академік *Євген Оскарович Патон* (1870–1953).

Під керівництвом академіка *Бориса Євгеновича Патона* (1918–2020), який очолював Інститут електрозварювання в 1953–2020 рр., розроблені не тільки традиційні засоби зварювання для промисловості, а й новітні технології, які застосовують у космосі й навіть для зварювання живих тканин.

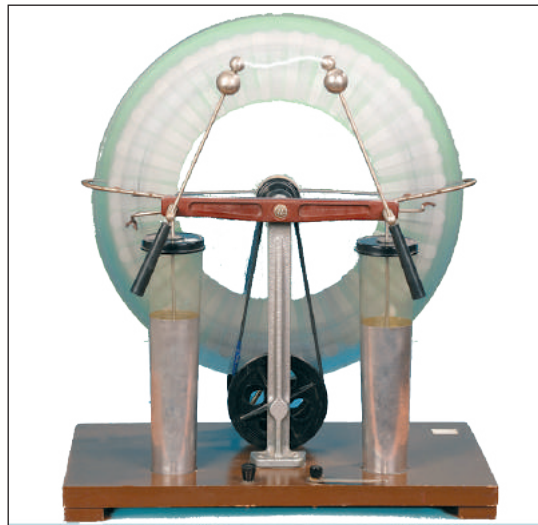
## § 40. ВИДИ САМОСТІЙНИХ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ

Яскраві (а іноді й небезпечні) явища: блискавка, полярне сяйво, різнобарвне світіння газорозрядних трубок, сліпуче світло під час зварювання металу — усе це приклади різних самостійних газових розрядів. Від чого залежить і як виникає той чи інший електричний розряд у газах, ви дізнаєтесь із цього параграфу.

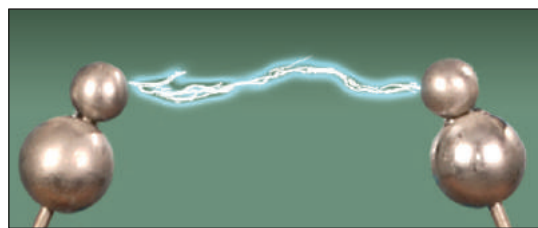
### 1. Дізнаємося про іскровий газовий розряд

За атмосферного тиску та великої напруги між електродами виникає **іскровий газовий розряд**. Іскорки, які з'являються, коли ви знімаєте синтетичний светр; блискавка під час грози; іскра, що виникає між зарядженими кондукторами електрофорної машини (рис. 40.1), — усе це приклади іскрового розряду.

Іскровий розряд має вигляд яскравих зиг'загоподібних смужок, що розгалужуються (рис. 40.2). Він триває всього кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується характерними звуковими ефектами (потріскування, тріск, грім



**Рис. 40.1.** Іскровий розряд між зарядженими кондукторами електрофорної машини



**Рис. 40.2.** Вигляд іскрового газового розряду



тощо). Річ у тім, що температура газу, а отже, й тиск у ділянці розряду різко підвищуються, у результаті повітря швидко розширюється і виникає ударна хвиля, яку



**Рис. 40.3.** Електрична напруга між електродами запальної свічки становить 12–15 тис. вольтів

ми сприймаємо як звук. У техніці іскровий розряд використовують, наприклад, у запальних свічках бензинових двигунів (рис. 40.3), для обробки особливо міцних металів. Прикладом грандіозного іскрового розряду в природі є *блискавка*.

У результаті наукових досліджень було встановлено, що під час грози відбувається перерозподіл зарядів у грозовій хмарі, тому різні частини хмари заряджаються зарядами протилежних знаків. Зазвичай нижні шари хмари мають негативний заряд, а верхні — позитивний.

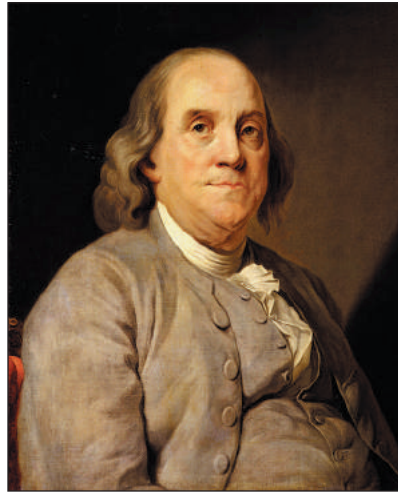
Напруга між двома хмарами, зверненими одна до одної різнойменно зарядженими частинами, або напруга між хмарою і Землею сягають кількох сотень мільйонів вольтів. Завдяки ударній йонізації, а далі — йонізації випромінюванням, яке супроводжує розряд, в електричному полі між хмарами з'являються лавини вільних йонів і електронів, тобто виникає короточасний самостійний газовий розряд — *блискавка*. Сила струму в каналі блискавки сягає сотень тисяч амперів.

Електричні властивості блискавки першими почали вивчати незалежно один від одного російський учений *М. В. Ломоносов* (рис. 40.4) і американський дослідник *Б. Франклін* (рис. 40.5).





**Рис. 40.4.** Михайло Васильович Ломоносов (1711–1765) — видатний російський учений; один із засновників фізичної хімії; поет, художник, історик



**Рис. 40.5.** Бенджамін Франклін (1706–1790) — американський учений, державний діяч. Один із перших дослідників атмосферної електрики; винахідник блискавковідводу

## 2. Бережемося від удару блискавки

Підраховано, що в атмосфері земної кулі щосекунди проскакує близько 100 блискавок, і кожна двадцята з них ударяє в землю. Удар блискавки може викликати лісові пожежі, вивести з ладу лінії електропередачі та навіть призвести до загибелі людей. Щоб не стати жертвою удару блискавки, слід пам'ятати, що блискавка частіше вдаряє у відносно високі предмети. Під час грози слід дотримуватися таких **правил**.

- Опинившись під час грози в полі, не можна бігти ним, — навпаки, потрібно лягти, щоб не вивищуватися над місцевістю.
- Під час грози в лісі не можна ховатися під високими деревами, а в полі — під поодиноким деревом, копицею сіна тощо.

- Під час грози не можна купатись у відкритих водоймах, а перебуваючи високо в горах, краще ховатися в печері або під глибоким уступом.
- Якщо гроза застала в автомобілі, не треба виходити з нього; слід зачинити вікна і двері та перечекати негоду.
- Під час грози не можна запускати повітряного змія: мокра мотузка стає провідником електрики, й блискавка може вдарити в змія. При цьому заряди пройдуть через руку й тіло людини в землю. До речі, саме так під час експерименту загинув друг і колега М. В. Ломоносова російський учений *Георг Ріхман* (1711–1753).

### 3. Дізнаємося про коронний газовий розряд

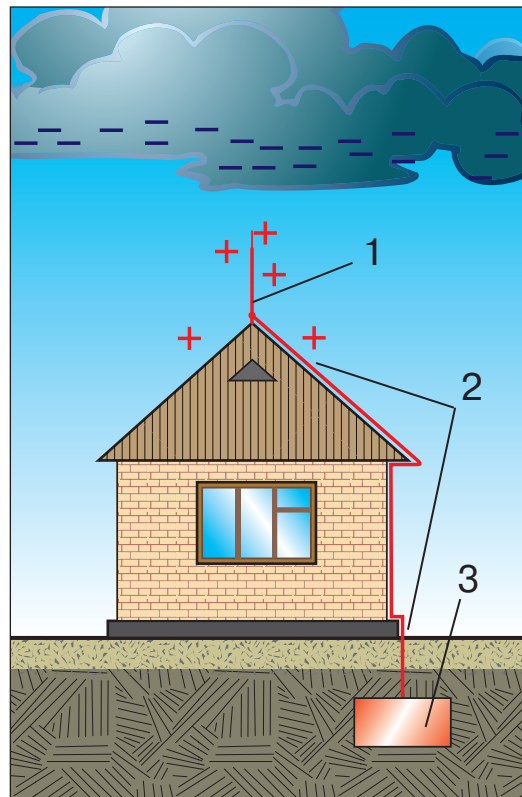


Перед грозою або під час грози біля гострих виступів предметів іноді можна спостерігати слабке фіолетове світіння у вигляді корони, що охоплює вістря. Дослідження показують, що причиною цього явища є самостійний газовий розряд, який називають коронним (рис. 40.6). З'ясуємо, чому і як виникає **коронний газовий розряд**.

**Рис. 40.6.** «Вогні святого Ельма» — коронний розряд біля гострих кінців корабельних щогл — багато століть сповнювали жахом мореплавців, які не могли правильно пояснити їхню природу

На поверхні Землі під дією електричного поля грозової хмари накопичуються (індукуються) заряди, за знаком протилежні заряду хмари. Особливо щільно такі заряди розташовані на гострих частинах предметів. У результаті електричне поле біля вістря виявляється настільки сильним, що заряд стікає із загостреного предмета, йонізуючи довколишнє повітря. Оскільки поле є досить сильним тільки навколо вістря, то коронні розряди спостерігаються лише біля гострих частин предметів.

На виникненні коронного розряду ґрунтується дія *блискавковідводу*. Блискавковідвід являє собою загострений металевий стрижень, з'єднаний товстим провідником із металевим предметом (див. [рис. 40.7](#)). Стрижень установлюють вище за найвищу точку будинку, який захищають, а металевий предмет закопують глибоко в землю (на рівні ґрунтових вод). Під час грози на кінці блискавковідводу виникає коронний розряд. У результаті заряд не накопичується на будинку, а стікає з вістря блискавковідводу. Подібні конструкції існували і в давні часи. Наприклад,

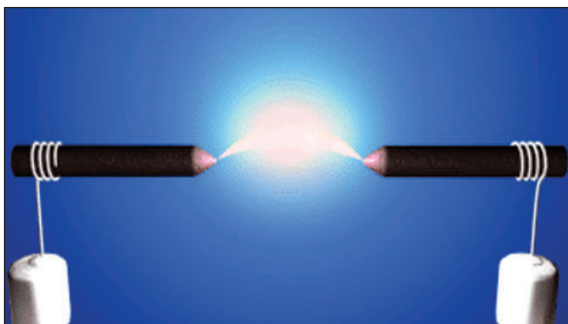


**Рис. 40.7.** Блискавковідвід (гromовідвід): 1 — загострений металевий стрижень; 2 — провідник — товстий з'єднувальний провід; 3 — металевий предмет, закопаний глибоко в землю

щоб захиститися від блискавки, моряки Давньої Греції прив'язували мотузку до леза меча, меч прикріплювали до щогли, а кінець мотузки опускали в море.

#### 4. Спостерігаємо дуговий газовий розряд

У 1802 р. російський фізик *Василь Володимирович Петров* (1761–1834) провів такий дослід. Він приєднав два вугільні електроди до полюсів великої електричної батареї, з'єднав електроди один з одним, а потім трохи розсунув. Між кінчиками електродів учений спостерігав яскраве дугоподібне полум'я, а самі кінчики розжарювалися, випромінюючи сліпуче біле світло. Так



**Рис. 40.8.** Дуговий газовий розряд

було отримано ще один вид самостійного газового розряду — **дуговий газовий розряд (електрична дуга)** (рис. 40.8). З'ясуємо причину його виникнення.

Коли електроди з'єднані, електричне коло є замкненим і в ньому йде досить сильний електричний струм. У місці з'єднання опір кола найбільший, отже, саме тут відповідно до закону Джоуля — Ленца виділяється найбільша кількість теплоти. Кінці електродів розжарюються до 4000–7000 °С, і з поверхні катода починають вилітати електрони (відбувається термоелектронна емісія).

Тепер, навіть якщо електроди розвести, через газовий проміжок між ними проходить струм, оскільки в газі між електродами буде достатня кількість вільних

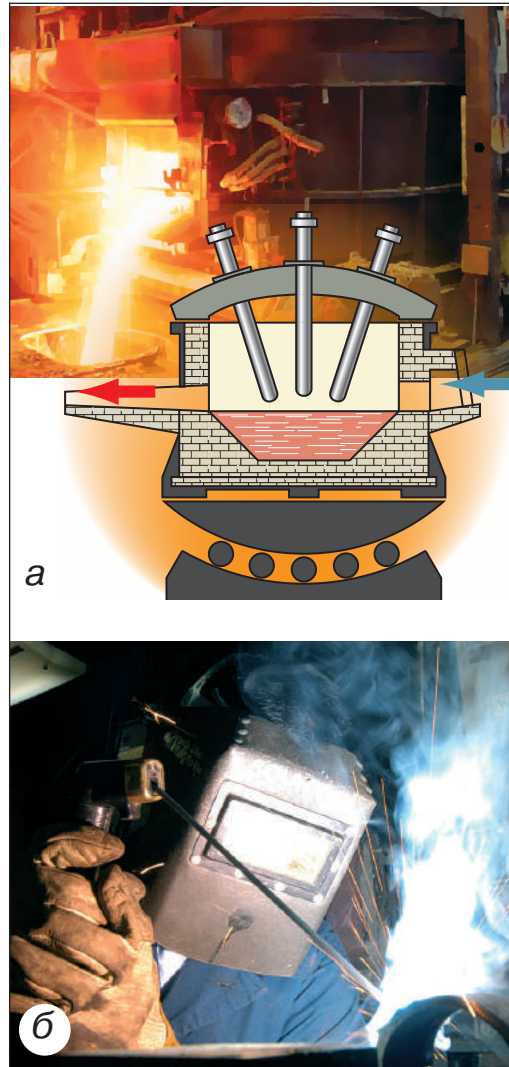


заряджених частинок (вільні електрони, що «випарувалися» з катода, а також вільні електрони та йони, що з'явилися внаслідок йонізації газу через високу температуру). Надалі висока температура катода й анода підтримується бомбардуванням електродів позитивними і негативними йонами та електронами, прискореними електричним полем.

Висока температура йонізованого газу у випадку дугового розряду, а також випромінювання світла, яке супроводжує такий розряд, забезпечили широке застосування електричної дуги в науці, техніці, промисловості. Електрична дуга «працює» в електропечах у металургії; як потужне джерело світла в прожекторах; жаром електричної дуги зварюють метали тощо (рис. 40.9).

### 5. З'ясовуємо умови виникнення тліючого газового розряду

За *низького тиску*, що становить близько 5 мм рт. ст., можна спостерігати світіння розрідженого газу — **тліючий газовий розряд**. Нагадаємо, що за низького



**Рис. 40.9.** Застосування дугового газового розряду для плавлення (а) та зварювання (б) металів

тиску відстань між частинками є настільки великою, що навіть у слабкому електричному полі електрони встигають за час між зіткненнями з атомами і молекулами газу набути енергії, достатньої для ударної йонізації.

Тліючий розряд використовують у лампах денного світла (люмінесцентних трубках), у квантових джерелах світла — газових лазерах. Крім того, його застосовують у кольорових газорозрядних трубках: колір світіння у випадку тліючого розряду визначається природою газу, а отже, може бути різним.

### НЕБЕЗПЕЧНО

наближатися до високовольтних пристроїв (напругою тисячі й десятки тисяч вольтів), адже повітря, особливо вологе, може проводити електричний струм: залежно від напруги й умов, у яких перебувають обладнання та людина, ураження може відбутися на відстані в кілька десятків сантиметрів.



### Підбиваємо підсумки

Розрізняють чотири основні види самостійних газових розрядів.

Іскровий газовий розряд виникає за атмосферного тиску та великої напруги між електродами. Він являє собою яскраві розглужені зигзагоподібні смужки. Прикладом гігантського іскрового розряду є блискавка. Удар блискавки може призвести до загибелі, тому під час грози необхідно суворо дотримуватися правил безпеки.

Самостійний газовий розряд, що виникає в сильному електричному полі біля гострих виступів предметів, називають коронним газовим розрядом.

За температури між електродами 4000–7000 °С, розведеними на невелику відстань, виникає газовий розряд, що супроводжується дуже яскравим світінням у формі дуги, — дуговий газовий розряд.

За низького тиску (близко 5 мм рт. ст.) можна спостерігати світіння розрідженого газу внаслідок тліючого розряду.



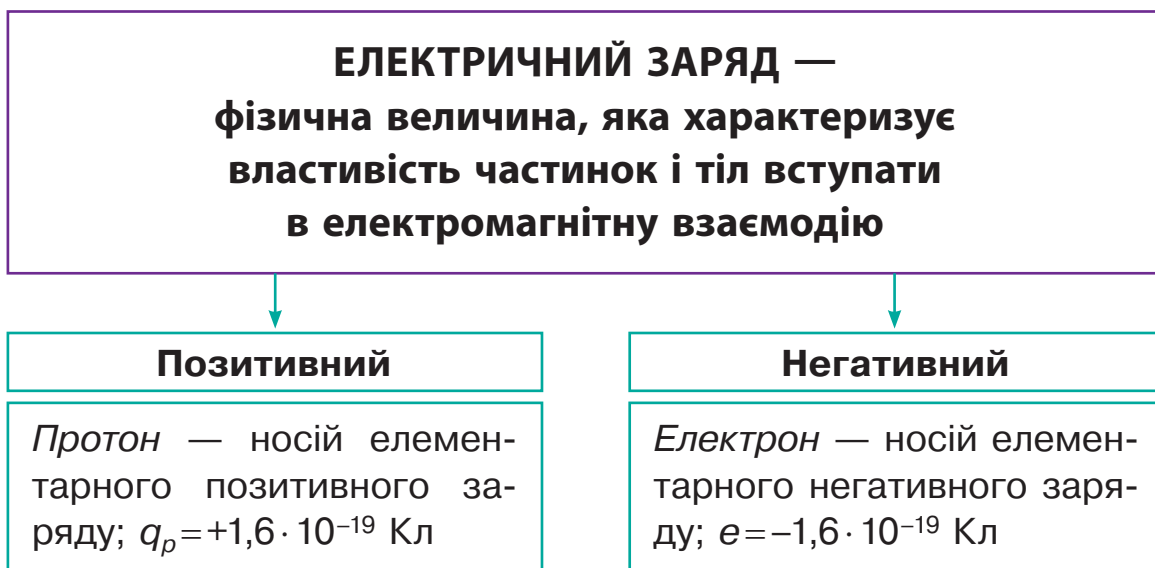
### Контрольні запитання

1. Назвіть основні види самостійних газових розрядів.
2. Наведіть приклади іскрового газового розряду. За яких умов він виникає?
3. Що таке блискавка? Коли й чому вона виникає?
4. Назвіть основні правила безпеки, яких слід дотримуватися під час грози.
5. Що являє собою коронний розряд?
6. Які особливості дугового розряду забезпечили його широке застосування?
7. Де застосовують електричну дугу?
8. За яких умов виникає тліючий розряд? Де його використовують?

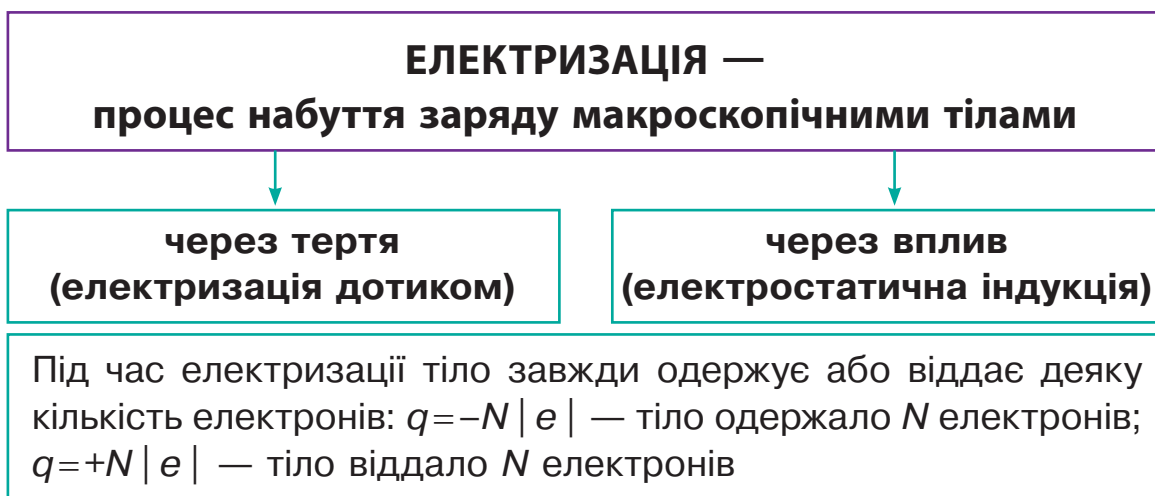


## Підбиваємо підсумки розділу II «Електричні явища. Електричний струм»

1. У розділі II ви ознайомилися з новими для вас фізичними величинами, зокрема з *електричним зарядом*.



2. Ви з'ясували, що таке *електризація* та як *наелектризувати тіло*.



3. Ви дізналися, що *заряджений об'єкт є джерелом електричного поля.*

**ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ —**  
**вид матерії, що існує навколо заряджених частинок і тіл та діє з певною силою на інші частинки й тіла, які мають електричний заряд**

4. Ви вивчили *основні закони електростатики.*

**ОСНОВНІ ЗАКОНИ  
ЕЛЕКТРОСТАТИКИ**

*Закон Кулона:*

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \text{ —}$$

якщо заряди нерухомі  
точкові

*Закон збереження  
електричного заряду:*

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}, \text{ —}$$

якщо система зарядів  
замкнена

5. Ви довідалися про *електричний струм і умови його існування.*

**ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ —**  
**направлений рух частинок, які мають електричний заряд**

## УМОВИ ІСНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ



**6.** Ви вивчили фізичні величини, які характеризують проходження струму в ділянці кола, і простежили зв'язок між ними.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця в СІ	Формула для визначення	Прилад для вимірювання
Сила струму	$I$	А (ампер)	$I = q/t$	Амперметр
Напруга	$U$	В (вольт)	$U = A/q$	Вольтметр
Опір	$R$	Ом (ом)	$R = \rho l/S$	Омметр

**ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА:  $I = U/R$**

**7.** Ви ознайомилися з різними *видами з'єднання провідників*.

Фізична величина	Вид з'єднання провідників	
	Послідовне	Паралельне
Сила струму	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Напруга	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Опір	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

**8.** Ви спостерігали дію електричного струму та дізналися, як *визначити роботу і потужність струму; кількість теплоти*.

$$\text{Робота струму: } A = Ult$$

$$\text{Потужність струму: } P = UI$$

*Кількість теплоти, яка виділяється за час проходження струму (закон Джоуля — Ленца):*

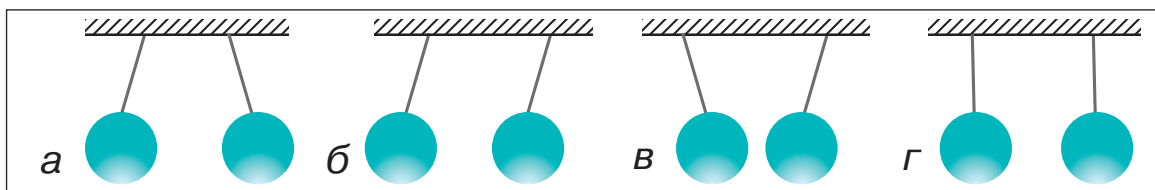
$$Q = I^2Rt$$

## Завдання для самоперевірки до розділу II «Електричні явища. Електричний струм»

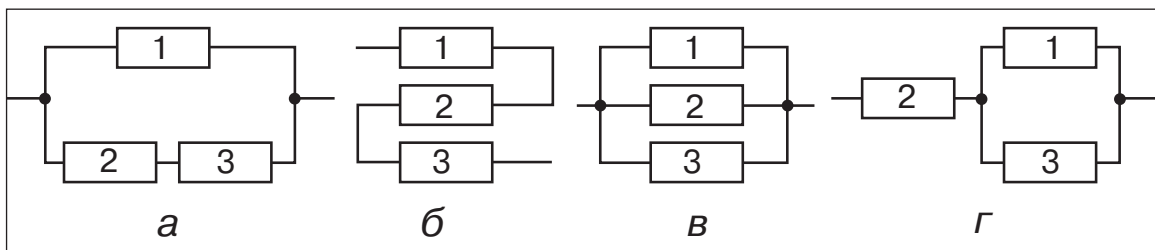
Частина 1. Електричний заряд. Електричне поле.

Частина 2. Електричний струм

1. (1 бал) На рисунку зображено чотири пари кульок, підвішених на шовкових нитках. На якому рисунку кульки заряджені однойменними зарядами?



2. (1 бал) На якому рисунку резистори 1 і 2 з'єднані послідовно?



3. (1 бал) На рис. 1 зображено силові лінії електричного поля, створеного двома зарядженими кульками. Яке твердження істинне?

- Обидві кульки мають позитивний заряд.
- Кулька 1 заряджена негативно, кулька 2 — позитивно.
- Обидві кульки мають негативний заряд.
- Заряд кульки 1 більший за заряд кульки 2.

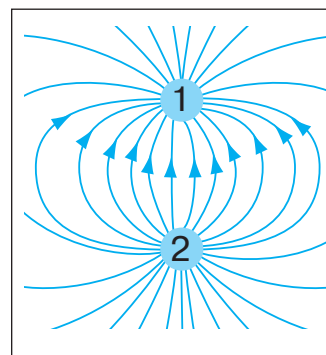
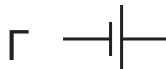


Рис. 1

4. (1 бал) Установіть відповідність між елементом електричного кола та його позначенням на схемі.
- 1 Нагрівальний елемент    3 Ключ  
2 Лампа    4 Гальванічний елемент



5. (2 бали) Установіть відповідність між приладом і фізичною величиною, яку ним вимірюють.

1 Амперметр

3 Омметр

2 Вольтметр

4 Динамометр

А Сила

В Опір

Д Напруга

Б Сила струму

Г Густина

6. (2 бали) На цоколі електричної лампи ліхтарика написано: «4,4 В; 0,22 А». Яким є опір нитки розжарення лампи під час світіння?

а) 0,05 Ом;    б) 0,968 Ом;    в) 4,18 Ом;    г) 20 Ом.

7. (2 бали) Яким є опір ніхромового дроту завдовжки 20 см із площею поперечного перерізу 2 мм<sup>2</sup>?

8. (2 бали) Установіть відповідність між перетворенням енергії і назвою пристрою.

1 Хімічна енергія перетворюється на електричну.

А Фотоелемент

2 Електрична енергія перетворюється на механічну.

Б Акумулятор

В Електродвигун

3 Електрична енергія перетворюється на теплову.

Г Нагрівач

Д Термопара

4 Світлова енергія перетворюється на електричну.

- 9.** (3 бали) Протягом 10 с через ділянку кола пройшов електричний заряд 15 Кл, при цьому електричне поле на ділянці виконало роботу 315 Дж. Установіть відповідність між фізичними величинами та їхніми значеннями в одиницях СІ.
- 1 Напруга на ділянці
  - 2 Сила струму в ділянці
  - 3 Опір ділянки
- А 1,5      Б 14      В 21      Г 31,5
- 10.** (3 бали) Як за допомогою позитивно зарядженої провідної кульки 1 зарядити негативно таку саму, але незаряджену кульку 2, не збільшуючи й не зменшуючи заряду кульки 1?
- 11.** (3 бали) Як змінилася відстань між двома точковими зарядами, якщо сила їхньої взаємодії зменшилась у 16 разів?
- 12.** (3 бали) Резистори з опороми 3 і 6 Ом з'єднані послідовно. Визначте силу струму в колі та напругу на кожному резисторі, якщо загальна напруга на резисторах 1,8 В.
- 13.** (3 бали) Три резистори з опором 9 Ом кожний з'єднані паралельно і приєднані до джерела струму, напруга на затискачах якого 12 В. Якою є сила струму в колі?
- 14.** (4 бали) Невелика провідна кулька із зарядом  $6 \cdot 10^{-9}$  Кл торкнулася такої самої, але незарядженої кульки. З якою силою взаємодіють кульки після дотику, якщо вони розійшлися на відстань 9 см?



15. (4 бали) За рис. 2 визначте показ вольтметра і загальну напругу на ділянці.

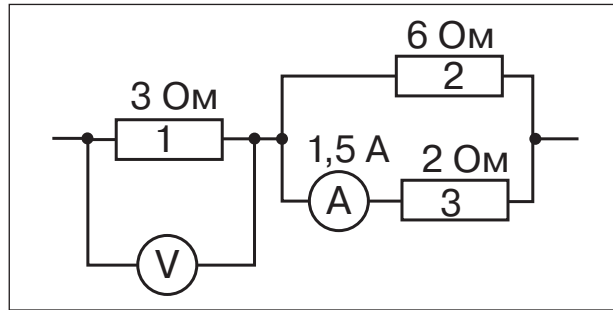


Рис. 2

16. (4 бали) Як зміняться покази приладів (рис. 3), якщо повзунок реостата перемістити ліворуч?

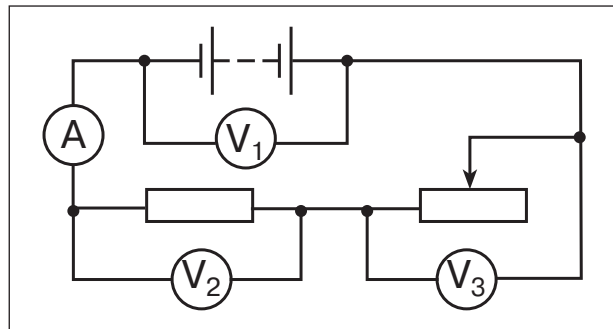


Рис. 3

*Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.*



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

Частина 3. Робота і потужність електричного струму. Електричний струм у різних середовищах  
*У завданнях 1, 2 визначте правильне закінчення речення.*

- **1.** (1 бал) У газах вільні заряджені частинки можуть з'явитися в результаті...
- а) електролітичної дисоціації
  - б) поляризації молекул газу
  - в) дії зовнішнього йонізатора
  - г) рекомбінації молекул газу
- **2.** (1 бал) Очищення металів за допомогою електролізу називають...
- а) гальваностегія
  - б) гальванопластика
  - в) електролітична дисоціація
  - г) рафінування
- **3.** (2 бали) Установіть відповідність між видом самостійного газового розряду, який лежить в основі дії технічного пристрою, та назвою пристрою.
- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 1 Дуговий розряд  | А Блискавковідвід     |
| 2 Іскровий розряд | Б Запальна свічка     |
| 3 Коронний розряд | В Газорозрядна лампа  |
| 4 Тліючий розряд  | Г Лампа розжарення    |
|                   | Д Зварювальний апарат |
- **4.** (2 бали) На рис. 1 схематично зображено три дроти, які виготовлені з різних матеріалів і приєднані до джерела струму.



Рис. 1

Довжини дротів, а також площі їхніх поперечних перерізів однакові. У якому дроті виділяється найбільша кількість теплоти?

- а) у сталевому;      в) ніхромовому;  
б) мідному;      г) у всіх однакова.

5. (2 бали) У провіднику протягом 10 с протікав електричний струм силою 0,3 А. Яку роботу виконав струм, якщо напруга на кінцях провідника була 4 В?

- а) 0,12 Дж;    б) 0,74 Дж;    в) 3,6 Дж;    г) 12 Дж.

6. (2 бали) Сила струму в нагрівальному елементі електричної праски становить 5 А, опір елемента — 40 Ом. Яка кількість теплоти виділяється в нагрівальному елементі протягом 5 хв?

- а) 2 Дж;      б) 200 Дж;      в) 300 кДж;    г) 5 кДж.

7. (2 бали) Якою є сила струму в нитці розжарення електричної лампи (рис. 2) за номінальної напруги?

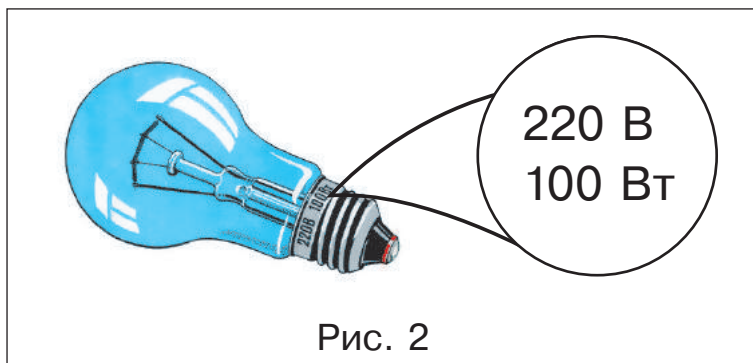


Рис. 2

- а) близько 0,45 А;    в) 22 кА;  
б) 2,2 А;      г) визначити неможливо.

8. (2 бали) Під час сріблення виробу протягом 1 год на катоді виділилося 2 г срібла. Якою приблизно була сила струму в процесі сріблення?

- а) 0,3 А;      б) 0,4 А;      в) 0,5 А;      г) 0,6 А.



- **13.** (4 бали) Три резистори з'єднані так, як показано на рис. 4, і підключені до батареї гальванічних елементів. Напруга на затискачах батареї становить 12 В, опір кожного резистора дорівнює 6 Ом. Визначте потужність, яку споживає кожний резистор.

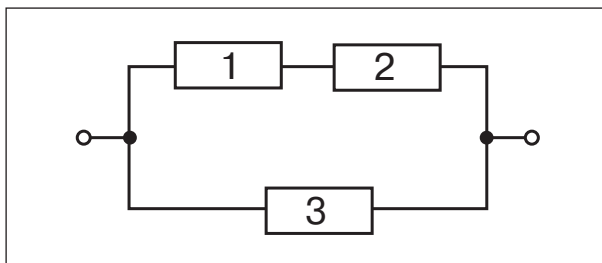


Рис. 4

- **14.** (4 бали) Нікелювання металевої пластини здійснювалося за сили струму 0,89 А й тривало 1 год 36 хв. Визначте товщину шару нікелю, що вкрив пластину, якщо площа поверхні пластини становить 96 см<sup>2</sup>.

*Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.*



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

## ЕНЦИКЛОПЕДИЧНА СТОРІНКА

### Від лейденських банок до суперконденсаторів

На XVIII–XIX ст. припадає низка винаходів, які в модернізованому вигляді дійшли до нашого часу. Так, англійський учений *Майкл Фарадей* створив клітку у вигляді куба з ребром 4 м, покрити її стінки провідним матеріалом, та ізолював клітку від землі. На думку вченого, ця споруда повинна була надійно захищати дослідника від впливу електричного поля. Для перевірки ефективності пристрою вчений узяв надчутливий електроскоп і зайшов з ним до клітки. Ззовні асистенти створювали потужні електричні розряди, але електроскоп не зареєстрував наявності електричного заряду в клітці. Пристрій одержав назву *клітка Фарадея*, і зараз її аналог використовують для захисту від дії електромагнітних полів.

Кліткою Фарадея «навпаки» користується більшість із нас, розігріваючи їжу в мікрохвильовій печі. Металевий

корпус печі та сітка, нанесена на скло дверцят, «не випускають» електромагнітні хвилі назовні.

Електричний заряд і пов'язана з ним енергія мають один дуже вагомий недолік — їх важко накопичувати. Ми всі знаємо «ємності для електрики» — батареї та акумулятори. Ще один пристрій для накопичення електричного заряду — *лейденська банка* (рис. 1), яка була створена



Рис. 1

в середині XVIII ст. у місті Лейден (Голландія). Пристрій являє собою скляну банку, обклеєну зсередини й ззовні металевою фольгою. З'єднання із внутрішньою оболонкою здійснюється за допомогою металевого стрижня, закріпленого всередині банки. Щоб зарядити лейденську банку, слід торкнутися стрижня зарядженим тілом (при цьому банку необхідно тримати в руці — так зовнішня оболонка банки з'єднується із землею). Якщо здійснити це кілька разів, можна накопичити значний заряд (рис. 2).

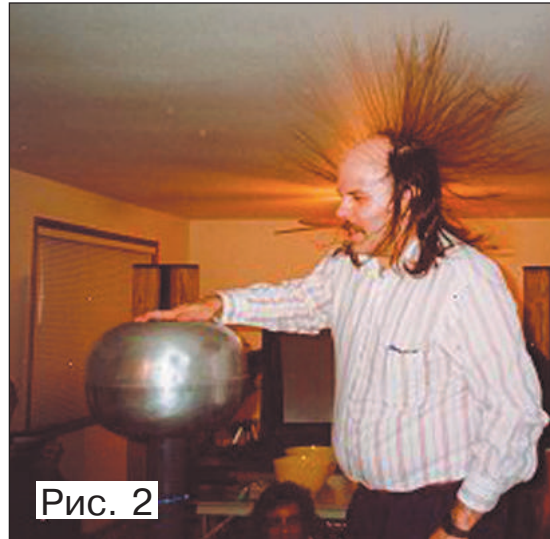


Рис. 2

Принцип дії лейденської банки покладено в основу конструкції, яка за ім'ям винахідника одержала назву *генератор Ван де Граафа* (рис. 3). Цей пристрій працює так. Усередину ізолюваної кулі (1), виготовленої з провідника, введено стрічку (2) транспортера, яка перебуває в безперервному русі.

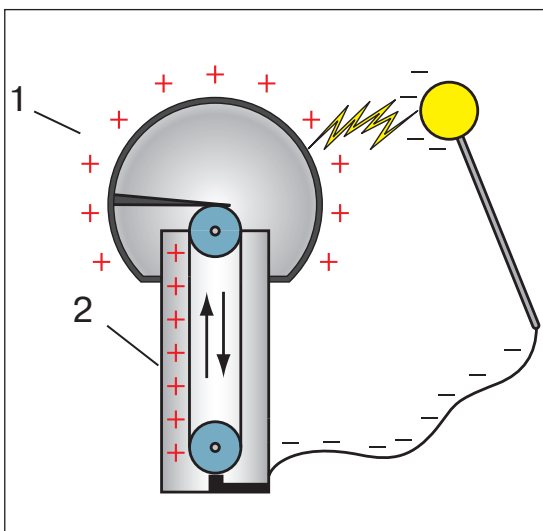


Рис. 3

Рухаючись, стрічка заряджається і передає заряд на кулю. Генератор Ван де Граафа є «серцем» деяких сучасних прискорювачів, які використовують для вивчення мікросвіту (рис. 4).

А чи може лейденська банка стати в пригоді в повсякденному житті? Виявляється, так!





Рис. 4

Відомо, що вага автомобільного акумулятора становить понад десять кілограмів, причому цей важкий пристрій працює на повну потужність усього кілька секунд — коли потрібно завести двигун. Інші потреби електричної системи автомобіля задовольняє генератор,



Рис. 5

а для живлення ламп на паркінгу досить і маленької батареї. Навіщо ж возити зайві кілограми? Таке запитання поставили собі й інженери. На сьогодні вони вже винайшли спосіб суттєво зменшити розміри акумулятора, застосувавши *сучасний аналог лейденської банки* — *суперконденсатор* (рис. 5), енергія якого використовується тільки під час запускання двигуна. Розміри й вага суперконденсатора набагато менші від автомобільного акумулятора. Погодьтеся, різниця вражає!

## Орієнтовні теми проєктів

1. Електрика в житті людини.
2. Сучасні побутові та промислові електричні пристрої.
3. Застосування електролізу в практичній діяльності людини.
4. Застосування струму в газах у практичній діяльності людини.
5. Вплив електричного струму на організм людини.

## Теми рефератів і повідомлень

1. З історії вивчення електричних явищ.
2. Статична електрика в нашому житті та в живій природі.
3. Електросмог навколо нас.
4. Георг Сімон Ом: історія життя.
5. Сучасні джерела живлення для електронних пристроїв.
6. Джерела електричного струму для космічних досліджень.
7. Застосування електрики в медицині.
8. Дія електричного струму на клітини рослин, живих істот.
9. Історія електричної лампи.
10. Азбука Морзе й електричний телеграф.
11. Основні правила монтажу освітлювальної та силової мереж.
12. Надпровідність: історія відкриття та перспективи застосування.
13. Історія електролізу.
14. Внесок українських учених у розвиток електрозварювання.

15. Як працює сенсорний екран.
16. Електричний струм у напівпровідниках.
17. Як було винайдено блискавковідвід.

## Теми експериментальних досліджень

---

1. Створення електроскопа та дослідження електро-статичних явищ.
2. Цікаві досліди з електростатики.
3. Візуалізація силових ліній електричного поля за допомогою солом'яних «стрілок», манної крупи, насіння фенхелю.
4. Створення різноманітних джерел живлення.
5. Вплив електричного поля на якість насіння та врожайність.
6. Дослідження електропровідності різних рідин.
7. Дослідження електропостачання квартири.

*Перед початком роботи над проектом, рефератом, проведенням експериментального дослідження уважно ознайомтеся з порадами в інтернет-підтримці підручника.*

## ДОДАТОК

**Таблиця 1. Питомий електричний опір  $\rho$  деяких речовин (за температури 20 °С)**

Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюміній	0,028	Золото	0,024
Вольфрам	0,055	Константан (сплав)	0,50
Латунь (сплав)	0,07–0,08	Вода дистильована	$10^9 - 10^{10}$
Мідь	0,017	Вода морська	$3 \cdot 10^5$
Нікелін (сплав)	0,42	Гума	$10^{17} - 10^{18}$
Ніхром (сплав)	1,1	Деревина суха	$10^{15} - 10^{16}$
Олово	0,12	Ебоніт	$10^{18} - 10^{20}$
Платина	0,10	Повітря	$10^{21} - 10^{24}$
Свинець	0,21	Порцеляна	$10^{19}$
Срібло	0,016	Скло	$10^{15} - 10^{19}$
Сталь	0,10–0,13	Слюда	$10^{17} - 10^{21}$
Залізо	0,10		

**Таблиця 2. Електрохімічні еквіваленти  $k, \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$**

Алюміній $\text{Al}^{3+}$	0,09	Мідь $\text{Cu}^+$	0,66	Срібло $\text{Ag}^+$	1,12
Водень $\text{H}^+$	0,01	Мідь $\text{Cu}^{2+}$	0,33	Хлор $\text{Cl}^-$	0,37
Залізо $\text{Fe}^{3+}$	0,19	Натрій $\text{Na}^+$	0,24	Хром $\text{Cr}^{3+}$	0,18
Кисень $\text{O}^{2-}$	0,08	Нікель $\text{Ni}^{2+}$	0,30	Цинк $\text{Zn}^{2+}$	0,34

**Таблиця 3. Густина  $\rho$  деяких речовин  
(за температури 15–20 °С)**

Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Алюміній	2700	2,70	Нікель	8900	8,90
Бензин	710	0,71	Олія	900	0,90
Вода чиста	1000	1,00	Олово	7300	7,30
Гас	800	0,80	Парафін	900	0,90
Дизельне паливо	840	0,84	Платина	21 500	21,50
Залізо	7800	7,80	Порцеляна	2300	2,30
Золото	19 300	19,30	Ртуть	13 600	13,60
Іридій	22 400	22,40	Свинець	11 300	11,30
Латунь	8500	8,50	Скло	2500	2,50
Лід	900	0,90	Сосна суха	440	0,44
Мармур	2700	2,70	Спирт	800	0,80
Мастило	900	0,90	Срібло	10 500	10,50
Мед	1420	1,42	Сталь	7800	7,80
Мідь	8900	8,90	Цинк	7100	7,10
Нафта	800	0,80	Чавун	7000	7,00

**Таблиця 4. Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць**

Префікс	Символ	Множник	Префікс	Символ	Множник
тера-	Т	10 <sup>12</sup>	санті-	с	10 <sup>-2</sup>
гіга-	Г	10 <sup>9</sup>	мілі-	м	10 <sup>-3</sup>
мега-	М	10 <sup>6</sup>	мікро-	мк	10 <sup>-6</sup>
кіло-	к	10 <sup>3</sup>	нано-	н	10 <sup>-9</sup>
гекто-	г	10 <sup>2</sup>	піко-	п	10 <sup>-12</sup>
деци-	д	10 <sup>-1</sup>	фемто-	ф	10 <sup>-15</sup>

## Визначаємо абсолютну та відносну похибки результату вимірювання

**Абсолютна похибка результату вимірювання** — це відхилення результату вимірювання від істинного значення фізичної величини.

Абсолютна похибка результату вимірювання показує, на скільки якнайбільше може помилитися дослідник, правильно вимірюючи фізичну величину.

Визначити абсолютну похибку результату вимірювання непросто. Тому поки що домовимося: під час одного прямого вимірювання абсолютна похибка дорівнюватиме ціні поділки шкали вимірювального приладу.

Для запису значення абсолютної похибки використовують символ  $\Delta$  (дельта), поряд наводять символ вимірюваної фізичної величини. Наприклад, запис  $\Delta V = 2 \text{ см}^3$  означає, що абсолютна похибка результату вимірювання об'єму становить  $2 \text{ см}^3$ .

**Відносна похибка результату вимірювання** дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини.

Відносну похибку позначають символом  $\varepsilon$  (епсилон) і найчастіше подають у відсотках. Наприклад, у результаті вимірювання довжини олівця учнівською лінійкою (ціна поділки 1 мм) отримали результат 122 мм. У цьому випадку відносна похибка результату вимірювання довжини олівця становить:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \% = \frac{1 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \cdot 100 \% \approx 0,8 \%$$

Іноді відносну похибку експериментальної перевірки рівності типу  $X = Y$  розраховують за формулою

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{X}{Y} \right| \cdot 100 \%$$

## ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

### Частина 2. Електричний струм

**№ 23.** 2. Має бути діелектриком. 3. Вологе повітря є провідником. 4. Метал є провідником; щоб заряд не перетікав на руку дослідника; другий електроскоп залишиться незарядженим. 5. Рухаються хаотично. 7. 1) А — негативного, Б — позитивного; 2) а) залишаться, б) не залишаться. **№ 24.** 3. Повітря в каналі блискавки нагрівається (струм чинить теплову дію) і різко розширюється. 5. 18 кг. **№ 25.** 1. а) Електрична енергія → хімічна енергія; б) хімічна енергія → електрична енергія. 2. З'єднати один електроскоп із негативним полюсом джерела струму, а інший — з позитивним. 3. Механічна енергія → електрична енергія. 4. Ні. 6.  $\approx 84,8$  тис. т. **№ 26.** 6. Час,  $t$ , секунда (с); сила,  $F$ , ньютон (Н); електричний заряд,  $q$ , кулон (Кл); механічна робота,  $A$ , джоуль (Дж). **№ 27.** 2. 2 хв. 3. Струму не буде;  $I=0$ . 4. 180 Кл. 5. 3,2 А. **№ 28.** 1. а) 1 В, 4 В; б) 0,5 В, 6 В; в) 1 В, 7 В. 3. 40 В. 4. 12 В. 5. 396 кДж. 7. 2,5 кН/м; не залежить. **№ 29.** 1. 15 Ом. 2.  $R_1=2$  Ом;  $R_2=2,5$  Ом;  $R_3=4$  Ом;  $R_4=8$  Ом. 3. 225 В. 5. 60 Ом. 6. 0,25 А. 7. Не залежить. 8. 28 г. **№ 30.** 1. 1 — з міді, 2 — із заліза, 3 — зі свинцю. 2. 5 мОм. 3. 2 м. 4. Опір ↓; сила струму ↑. 5. ↓ в 4 рази. 6. 1,08 кг. **№ 31.** 1. 4 Ом; 2 В; 1 В, 1 В. 2. 35 Ом. 3. 250 Ом. 4. 48 В. 5. 0,2 А; 5,6 В. 6. Можна. 7. 3,6 кОм. 8. Потенціальна енергія → кінетична, внутрішня енергії; 2,4 Дж, 1,68 Дж; 4,08 Дж. **№ 32.** 2. 144 В. 3. 0,6 А; 0,4 А; 1 А. 4. У срібному. 5. 10 Ом; 0,4 А. 6. 2,3 В. 7. 9 опорів



(10 різних з'єднань):  $4R_0$ ;  $R_0/4$ ;  $R_0$ ;  $4R_0/3$ ;  $3R_0/4$ ;  $5R_0/2$ ;  $2R_0/5$ ;  $5R_0/3$ ;  $3R_0/5$ . **8.**  $K_2$ ; 0,4 А. **9.** 17,5 мОм.

*Частина 3. Робота і потужність електричного струму.  
Електричний струм у різних середовищах*

**№ 33. 1.** 876 кВт·год; 1471 грн 68 к. **4.** 7,2 кДж. **5.** а) 300 кДж, 120 кДж; б) 24,5 кДж,  $\approx 61,2$  кДж. **6.** 12,5 А. **7.** Під час паралельного з'єднання; в 4 рази. **9.** 1–В, 2–А, 3–Г.

**№ 34. 1.** 288 кДж. **2.** 5 кДж; 2,5 кДж. **3.** Опір проводів значно менший за опір нитки розжарення, а сила струму в нитці та підвідних проводах є однаковою. **4.** 120,4 В. **5.** 47 °С; 33,5 °С. **6.**  $\approx 9,25$  м. **7.**  $Q_M/Q_{CB} = 9,5$ .

**№ 35. 1.** 1,32 кВт. **2.** У місцях з'єднання найбільший опір, тому (за законом Джоуля — Ленца) виділяється найбільша кількість теплоти. **3.** Має бути легкоплавкою, мати малу питому теплоту плавлення. **4.** Площа поперечного перерізу дроту в освітлюваному шнурі є малою (шнур розрахований на невелику силу струму), тому опір досить великий. За сили струму 100 А в шнурі виділиться величезна кількість теплоти й шнур займеться. **6.** а, в. **№ 36. 1.** Протилежно напрямку силових ліній поля. **2.** а. **3.** Зі зменшенням площі поперечного перерізу збільшується опір і (за законом Джоуля — Ленца) виділяється більша кількість теплоти; тонке місце нагрівається й видовжується швидше. У момент увімкнення опір нитки розжарення найнижчий, тому за тієї самої напруги виділяється найбільша кількість теплоти. **4.** 0,5 мм/с. **5.** а)  $+3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл; б)  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. **№ 37. 2.** У звичайній воді багато домішок, які розпадаються на йони. **3.** Сіль має йонну кристалічну ґратку, а цукор — ні. **4.** 12 год 24 хв. **5.** 40,32 г. **6.** 4 кВт.

**8.** 2,31 г. **№ 38. 1.** 1) Електролітична ванна з розчином  $\text{AgNO}_3$ , два електроди, амперметр, батарея акумуляторів, ключ, з'єднувальні проводи; 2) праворуч — анод, ліворуч катод; 3) на катоді; 4) 1,4 А; 8 хв 20 с; 5) 24,75 кДж. **2.** 2 мкм. **3.** 5 год. **4.** 32 МДж. **5.** Провідники: 2, 4, 5, 6; діелектрики: 1, 3, 7, 8. **№ 39. 1.** Силові лінії поля починаються на позитивно зарядженій пластині, закінчуються на негативно зарядженій; електрони та негативні йони рухаються до позитивно зарядженої пластини, позитивні йони — до негативно зарядженої; рух нейтральних частинок хаотичний. **2.** Рекомбінація буде відбуватися частіше, йонізація — рідше. **3.** Електролітична дисоціація не супроводжується виникненням вільних електронів, для її протікання не потрібен йонізатор; речовина розпадається на йони різних елементів. **4.** Струм у металах не супроводжується хімічними реакціями; носії заряду — вільні електрони, а не йони.

### Завдання для самоперевірки до розділу II

#### Частина 1, 2

**1.** а. **2.** б. **3.** б. **4.** 1–В, 2–А, 3–Д, 4–Г. **5.** 1–Б, 2–Д, 3–В, 4–А. **6.** г. **7.** 0,11 Ом. **8.** 1–Б, 2–В, 3–Г, 4–А. **9.** 1–В, 2–А, 3–Б. **10.** Заземлити незаряджену кульку та наблизити її до зарядженої. **11.**  $\uparrow$  у 4 рази. **12.** 0,2 А; 0,6 В; 1,2 В. **13.** 4 А. **14.** 10 мкН. **15.** 6 В; 9 В. **16.** Показ вольтметра  $V_1$  не зміниться;  $V_2$  —  $\uparrow$ ;  $V_3$  —  $\downarrow$ ; показ амперметра А  $\uparrow$ .

#### Частина 3

**1.** в. **2.** г. **3.** 1–Д, 2–Б, 3–А, 4–В. **4.** в. **5.** г. **6.** в. **7.** а. **8.** в. **9.** в. **10.** 24 Вт; 48 Вт; 72 Вт. **11.** 1,75 А. **12.** На 1,1 °С. **13.** 6 Вт; 6 Вт; 24 Вт. **14.** 18 мкм.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** Ампер 35  
Амперметр 38  
Анод 134
- В** Вольт 43  
Вольт-амперна характеристика 51  
Вольтметр 44
- Г** Газовий розряд 150  
— несамоствійний 150  
— самоствійний 151  
Гальванічний елемент 19  
Гальванометр 19  
Гальванопластика 144  
Гальваностегія 143
- Д** Джерела електричного струму 16  
Діелектрики 6
- Е** Електрична схема 28  
Електричне коло 26  
Електричний струм 4  
Електроліз 136  
Електроліти 135  
Електролітична дисоціація 133  
Електрохімічний еквівалент 137, 183
- З** Закон  
— Джоуля — Ленца 112  
— Ома для ділянки кола 53  
— Фарадея для електролізу 137  
Запобіжник 120  
З'єднання провідників  
— мішане 92  
— паралельне 85  
— послідовне 70
- Й** Йонізація 149
- К** Катод 134  
Кулон 37
- Н** Надпровідність 128  
Напруга електрична 42
- О** Ом 52  
Опір електричний 52
- П** Питомий опір 59  
Потужність струму 101  
Провідники 6
- Р** Рафінування 142  
Реостат 60  
Робота струму 100
- С** Сила струму 34

# ЗМІСТ

Передмова . . . . . 3

## **Частина 2. Електричний струм**

§ 23. Електричний струм. Електрична провідність матеріалів . . . . . 4

§ 24. Дії електричного струму . . . . . 9

§ 25. Джерела електричного струму . . . . . 16

§ 26. Електричне коло та його елементи. . . . . 24

§ 27. Сила струму. Одиниця сили струму.  
Амперметр . . . . . 34

§ 28. Електрична напруга. Одиниця напруги.  
Вольтметр . . . . . 42

§ 29. Електричний опір. Закон Ома . . . . . 49

§ 30. Розрахунок опору провідника. Питомий опір.  
Реостати . . . . . 56

*Лабораторна робота № 3* . . . . . 67

§ 31. Послідовне з'єднання провідників . . . . . 70

*Лабораторна робота № 4* . . . . . 80

§ 32. Паралельне з'єднання провідників . . . . . 84

*Лабораторна робота № 5* . . . . . 96

## **Частина 3. Робота і потужність електричного струму. Електричний струм у різних середовищах**

§ 33. Робота і потужність електричного струму . . . . . 99

§ 34. Теплова дія струму. Закон Джоуля—Ленца . . . 110

§ 35. Електричні нагрівальні пристрої. Запобіжники. . . 117

§ 36. Електричний струм у металах . . . . . 125

§ 37. Електричний струм в електролітах . . . . . 132

§ 38. Застосування електролізу . . . . . 141

§ 39. Електричний струм у газах . . . . .	148
§ 40. Види самостійних газових розрядів . . . . .	157
Підбиваємо підсумки розділу II . . . . .	166
Завдання для самоперевірки до розділу II . . . . .	170
Енциклопедична сторінка . . . . .	178
Орієнтовні теми проєктів. Теми рефератів і повідомлень. Теми експериментальних досліджень . . . . .	181
Додаток . . . . .	183
Відповіді до вправ, завдань для самоперевірки . . .	186
Алфавітний покажчик . . . . .	189

*Рубрика «Фізика і техніка в Україні»:* Інститут електродинаміки НАНУ (33), Інститут термоелектрики НАНУ і МОНУ (109), Львівський національний університет ім. Івана Франка (124), Л. В. Шубников (131), Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ (156).

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

*Навчальне видання*

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович  
 ДОВГИЙ Станіслав Олексійович  
 БОЖИНОВА Фаїна Яківна  
 КІРЮХІНА Олена Олександрівна

**«ФІЗИКА»**

**Підручник для осіб з особливими освітніми потребами**

**(Н 54.1 — Н 54.2)**

**8 клас**

**(у 2-х частинах)**

За редакцією Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

**(Частина 2)**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Адаптовано за виданням: Фізика : підруч. для 8 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.] ; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — 2-ге вид., перероб. — Харків : Вид-во «Ранок», 2021. — 240 с. : іл., фот.

Провідний редактор *І. Л. Морєва*. Редактор *С. В. Русінова*.  
 Художнє оформлення *В. І. Труфєна*. Технічний редактор *С. О. Петрачков*.  
 Комп'ютерна верстка *С. В. Яшиша*. Коректор *В. П. Нестерчук*

Підписано до друку 03.09.2021 р. Формат 84×108/16. Папір офсетний.  
 Гарнітура Прагматика. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 20,16. Обл.-вид. арк. 13,00.  
 Наклад 1712 пр. Зам. 6509-2021.

ТОВ Видавництво «Ранок»,  
 вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.  
 Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.  
 Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків 61165.  
 E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 701-11-22, тел./факс (057) 719-58-67.

Підручник надруковано на папері українського виробництва

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,  
 пров. Сімферопольський, 6, Харків 61052.  
 Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.  
 Тел. +38 (057) 712-20-00. E-mail: sale@triada.kharkov.ua

## ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

### Про фізичне явище і процес

- 1) зовнішні ознаки, умови, за яких воно (він) відбувається;
- 2) зв'язок з іншими явищами і процесами;
- 3) фізичні величини, які його характеризують;
- 4) можливості практичного застосування, способи запобігання шкідливим наслідкам

### Про фізичний закон

- 1) формулювання; зв'язок між якими явищами і процесами встановлює закон;
- 2) математичний вираз;
- 3) досліді, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливість;
- 4) межі застосування

### Про прилад або пристрій

- 1) призначення;
- 2) будова;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування;
- 5) правила користування

### Про фізичну величину

- 1) символ для позначення;
- 2) властивість, яку характеризує фізична величина;
- 3) означення (дефініція);
- 4) формула, покладена в основу означення; зв'язок з іншими фізичними величинами;
- 5) одиниці;
- 6) способи вимірювання



## ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

**Сила струму, А** →  $I = \frac{q}{t}$  ← **Час, с**

**Електрична напруга, В** →  $U = \frac{A}{q}$  ← **Робота струму, Дж**

**Питомий опір, Ом·м** →  $R = \rho \frac{l}{S}$  ← **Довжина, м**

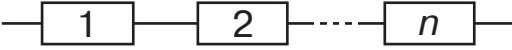
**Опір, Ом** →  $R = \rho \frac{l}{S}$  ← **Площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>**

**Закон Ома** →  $I = \frac{U}{R}$  ← **Напруга, В**

**Сила струму, А** →  $I = \frac{U}{R}$  ← **Опір, Ом**

## ВИДИ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

**Послідовне**

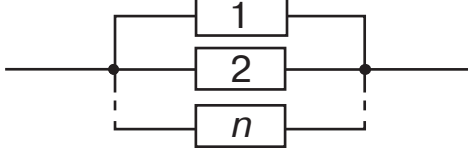


$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

**Паралельне**



$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

**Закон Фарадея** →  $m = kIt = kq$  ← **Електрохімічний еквівалент,  $\frac{кг}{Кл}$**

**Маса речовини, кг** →  $m = kIt = kq$  ← **Електричний заряд, Кл**

**Сила струму, А**    **Час електролізу, с**

**Робота струму, Дж** →  $A = UIt$  ← **Напруга, В**

**Сила струму, А**    **Час проходження струму, с**

**Потужність струму, Вт** →  $P = UI$  ← **Напруга, В**

**Сила струму, А**

**Закон Джоуля – Ленца** →  $Q = I^2Rt$  ← **Кількість теплоти, Дж**

**Час, с**

**Опір, Ом**

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повн}}} \cdot 100\%$$

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

### Підручник відрізняє наявність таких матеріалів:

- Тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- Алгоритми розв'язування основних типів фізичних задач
- Завдання для самоперевірки
- Домашні експериментальні завдання
- Покрокові описи лабораторних робіт
- Тематичне узагальнення і систематизація матеріалу
- Приклади практичного застосування фізики
- Відомості про досягнення фізики і техніки в Україні



Інтернет-підтримка



### Інтернет-підтримка дозволить:

- здійснити інтерактивне онлайн-тестування за кожною темою
- дізнатися про життя і діяльність видатних учених
- унаочнити фізичний дослід або процес



ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**