

§ 3. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСКОП



Рис. 3.1. Вільям Ґільберт (1544–1603) — англійський фізик і лікар, засновник науки про електрику



Вважають, що систематичне вивчення електромагнітних явищ розпочав англійський учений *Вільям Ґільберт* (рис. 3.1). Однак пояснити електризацію тіл змогли більше ніж через три сторіччя — після відкриття електрона. Фізики з'ясували, що частина електронів може порівняно легко відриватися від атома або приєднуватися до нього. Частинку, яка утворюється при цьому, ви добре знаєте з курсу хімії. Це — *йон*. Очевидно, що йон є зарядженою частинкою. А от як відбувається електризація макроскопічних тіл і як відрізняються речовини за електричними властивостями, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Розглядаємо електризацію тертям

Озброївшись знаннями про будову атома, розглянемо процес *електризації тертям*. Візьмемо ебонітову паличку і потremo її об вовну. У цьому випадку, як ви вже знаєте, паличка набуває негативного заряду. З'ясуємо, що спричинило виникнення цього заряду.

Перед натиранням і паличка, і вовна є електрично нейтральними. А от у разі щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів,

частина електронів переходить з одного тіла на інше. Відстані, на які при цьому переміщуються електрони, не перевищують міжатомних відстаней. Якщо після контакту тіла роз'єднати, то вони виявляться зарядженими: тіло, яке віддало частину своїх електронів, буде заряджене позитивно, а тіло, яке їх одержало, — негативно. Вовна втримує свої електрони менш міцно, ніж ебоніт, тому при контакті електрони в основному переходять з вовни на ебонітову паличку, а не навпаки. Отже, після роз'єднання паличка виявляється негативно зарядженим фізичним тілом, а вовна — позитивно зарядженим. Аналогічного результату можна досягти, якщо розчесати сухе волосся пластмасовим гребінцем (рис. 3.2).

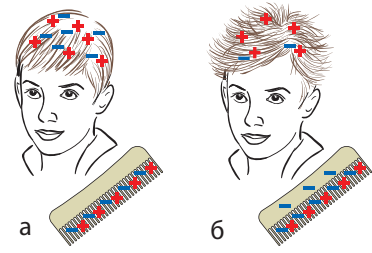


Рис. 3.2. Перед розчісуванням кількість позитивних зарядів на волоссі й гребінці дорівнює кількості негативних (а); під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець, у результаті чого волосся зарядиться позитивно, а гребінець — негативно (б)

Слід зазначити, що загальноприйнятий вираз «електризація тертям» є не зовсім точним, правильніше було б говорити про «електризацію дотиком», тому що ми тремо тіла одне об одне тільки для того, щоб збільшити кількість ділянок їхнього щільного контакту.

2 Формулюємо закон збереження електричного заряду

Якщо в досліді, описаному в п. 1 цього параграфа, паличка і вовна перед початком тертя були не заряджені, то після контакту їхні заряди стануть рівними за модулем і протилежними за знаком. Тобто їхній сумарний заряд, як і раніше, дорівнюватиме нулю. У результаті численних дослідів фізики з'ясували, що *під час електризації відбувається перерозподіл наявних електричних зарядів, а не створення нових*. Отже, виконується **закон збереження електричного заряду**:

Повний заряд замкнутої системи тіл або частинок **залишається незмінним** під час усіх взаємодій, які відбуваються в цій системі:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const},$$

де q_1, q_2, \dots, q_n — заряди тіл або частинок, що створюють замкнену систему (n — кількість таких тіл або частинок).

При цьому під замкнутою системою розуміють таку систему тіл або частинок, які взаємодіють тільки одне з одним, тобто не взаємодіють з іншими тілами або частинками.

3 Заземлюємо прилади та пристрої. Розрізняємо провідники та діелектрики

Якщо спробувати наелектризувати тертям металевий стрижень, утримуючи його в руці, то виявиться, що це майже неможливо. Річ у тім, що метали — це речовини з безліччю так званих *вільних електронів*,

які легко переміщуються по всьому фізичному тілу. Такі речовини прийнято називати *провідниками*. Спроба наелектризувати тертям металевий стрижень, тримаючи його в руці, приведе до того, що надлишкові електрони дуже швидко «втечуть», а стрижень залишиться незарядженим. «Дорогою для втечі» електронів є сам дослідник, адже вимірювання показали, що тіло людини — це провідник*. Зазвичай «кінцевий пункт» для електронів — Земля, яка також є провідником. Розміри її величезні, тому будь-яке заряджене тіло, якщо його з'єднати провідником із землею, через деякий час стане практично електронейтральним (незарядженим). Тіла, заряджені позитивно, одержать деяку кількість електронів від землі, а з тіл, заряджених негативно, надлишкова кількість електронів піде в землю.

Технічний прийом, що дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом його з'єднання із Землею, називається *заземленням*.

У деяких випадках, наприклад, щоб надати заряд провіднику або зберегти на ньому заряд, заземлення слід уникати. Для цього використовують тіла, виготовлені з *діелектриків*. У діелектриках (їх ще називають ізоляторами) вільні електрони практично відсутні; щоб електрони залишили атом і стали вільними, їм потрібно надати додаткової енергії. Якщо між землею і зарядженим тілом поставити бар'єр у вигляді ізолятора, то вільні електрони не зможуть покинути провідник (або потрапити на нього) і провідник залишиться зарядженим.

Скло, оргскло, ебоніт, бурштин, гума, папір — діелектрики, тому в дослідах з електростатики їх легко наелектризувати — заряд з них не стікає. (Докладніше про провідники та діелектрики ви дізнаєтеся, вивчаючи розділ 2.)

4

Дізнаємося про електризацію через вплив

Проведемо дослід. Візьмемо негативно заряджену ебонітову паличку й наблизимо її до незарядженої металевої сфери, розташованої на ізольованій підставці. Потім на короткий час торкнемося рукою до частини сфери, віддаленої від зарядженого тіла (рис. 3.3, а). Після цього приберемо заряджену паличку. Відхилення позитивно зарядженої легкої кульки покаже, що сфера набула заряду (рис. 3.3, б). Зверніть увагу: знак заряду сфери є протилежним до знака заряду ебонітової палички.

Оскільки в цьому випадку не було безпосереднього контакту між зарядженим і незарядженим тілами, описаний процес називають *електризацією через вплив* або *електростатичною індукцією*.

Пояснюється цей вид електризації так. Під дією електричного поля негативно зарядженої палички вільні електрони на металевій сфері перерозподіляються по її поверхні. Оскільки електрони мають негативний заряд, вони відштовхуються від однойменно зарядженої

* Через те що тіло людини є провідником, окремі досліди з електрикою можуть виявитися небезпечними для їх учасників!

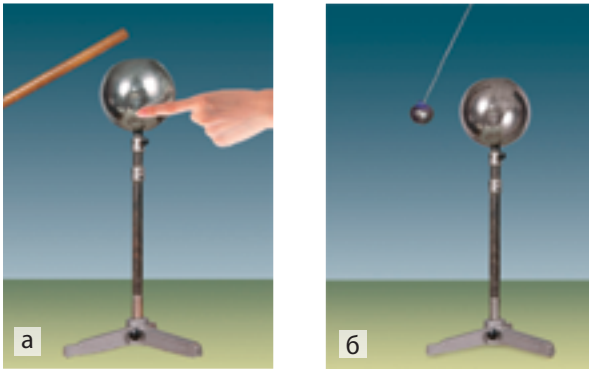


Рис. 3.3. Електризація сфери через вплив (а); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена повітряна кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера теж заряджена позитивно (б)

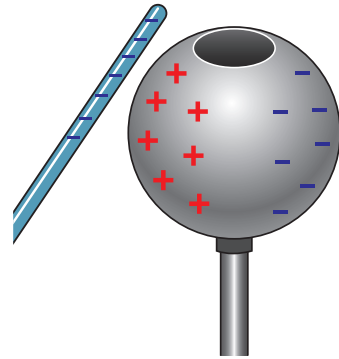


Рис. 3.4. Під дію електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина металеві сфери набуває позитивного заряду

палички, і тому їх стає надлишок на дальшій від палички частині сфери і бракує на ближчій (рис. 3.4). Якщо доторкнутися до сфери рукою, то деяка кількість вільних електронів перейде зі сфери на тіло дослідника. Таким чином, на сфері виникає брак електронів, і вона стає позитивно зарядженою.

З'ясувавши механізм електризації через вплив, вам, напевне, неважко буде пояснити, чому незаряджене металеве тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд.

Складніше пояснити притягання до наелектризованої палички клаптиків паперу. Як відомо, папір є діелектриком, тому на ньому практично немає вільних електронів. Проте електричне поле зарядженої палички діє на зв'язані електрони атомів, із яких складається папір, унаслідок чого змінюється форма електронної хмари — вона стає витягнутою (рис. 3.5). У результаті на ближчій до палички частині клаптика паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір притягується до палички.

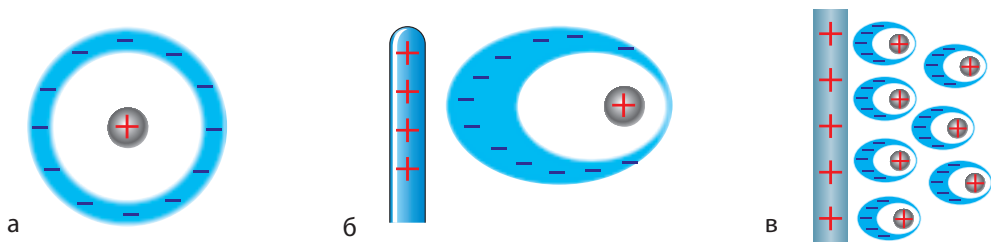


Рис. 3.5. Під дію зовнішнього електричного поля форма електронної хмари змінюється. Форма електронної хмари: при відсутності дії поля (а); за наявності дії поля (б). На частині паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (в)

5 Конструюємо електроскоп і знайомимося з електрометром

Дотепер для вивчення електричних явищ ви використовували підручні засоби. Однак ваших знань уже достатньо, щоб зрозуміти принцип дії приладів, які дозволяють вивчати не тільки якісні, але й кількісні характеристики заряджених тіл.

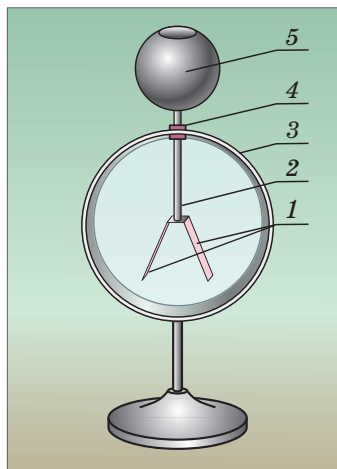


Рис. 3.6. Будова електро-
скопа: 1 — індикатор (папе-
рові смужки); 2 — металевий
стрижень; 3 — корпус; 4 —
діелектрик у місці кріплення
стрижня; 5 — кондуктор

Здавна для визначення наявності у тіла електричного заряду використовують *електроскоп*. Зовнішній вигляд цього приладу подано на рис. 3.6. Пояснимо його будову.

Будь-які електричні явища нерозривно пов'язані з електричним полем. У § 2 йшлося про те, що електричне поле можна виявити за відхиленням легкої зарядженої кульки. Проте кулька — це не дуже зручний індикатор, тому краще використати дві смужки тонкого паперу (1). Після дотику до них зарядженого тіла частина заряду потрапить на кожну смужку. Однойменно заряджені тіла відштовхуються, і тому нижні кінці паперових смужок розійдуться в різні боки.

Щоб зробити прилад якомога чутливішим, для смужок доцільно обрати найтонший папір, але тоді на точність вимірювання можуть вплинути протяги або навіть дихання спостерігача. Для захисту індикатор розташовують у корпусі (3) з прозорими бічними стінками.

А от щоб донести до індикатора заряд, використовують провідники: до одного кінця металевого стрижня (2) прикріплюють індикатор, а другий кінець виводять назовні. Таким чином одержують можливість передавати заряд усередину корпусу. А щоб електричний заряд не стікав зі стрижня на корпус, у місці їхнього стикання встановлюють бар'єр із діелектрика (4).

Нарешті, останній елемент конструкції електроскопа — кондуктор (5) — металева порожниста куля, яка прикріплена до верхнього кінця стрижня.

Отже, якщо до кондуктора електроскопа доторкнутися досліджуваним зарядженим тілом, то частина заряду цього тіла потрапить на паперові смужки і вони розійдуться (рис. 3.7).

Зверніть увагу, що кут між смужками залежить від значення одержаного ними заряду. Цей кут тим більший, чим більший одержаний заряд. Така залежність дозволяє модернізувати електроскоп і пристосувати його не тільки для якісних, але й для кількісних вимірювань. Для цього на передній стінці корпусу розміщують шкалу, яка відбиває величину переданого на електроскоп заряду, а паперові смужки замінюють легкою металевою стрілкою. Такий прилад називають *електрометром* (рис. 3.8).

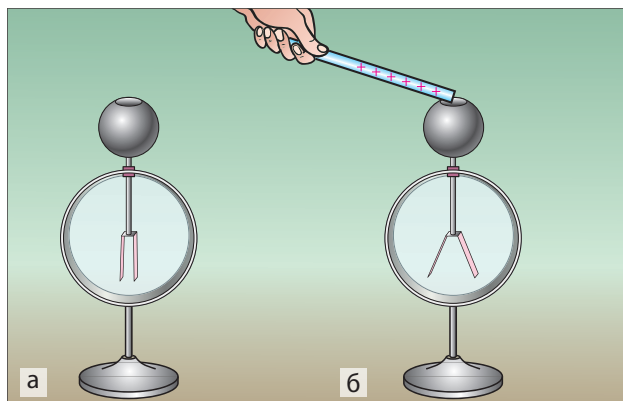


Рис. 3.7. Якщо електроскоп незаряджений, то смужки паперу розташовані вертикально (а); після дотику зарядженого тіла до кондуктора електроскопа смужки розходяться (б)

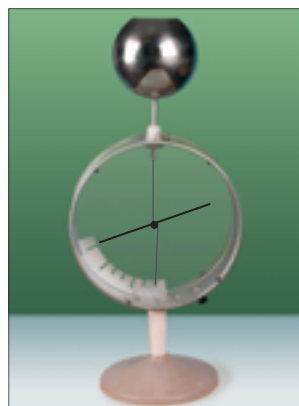


Рис. 3.8. Електрометр

! Підбиваємо підсумки

Якщо тіло, що не має заряду, тобто є електронейтральним, віддає частину своїх електронів, то воно стає зарядженим позитивно, а якщо одержує електрони, то стає зарядженим негативно.

Під час електризації тіл відбувається перерозподіл наявних в них електричних зарядів, а не створення нових. Для ізолюваної системи тіл або частинок виконується закон збереження електричного заряду: повний заряд замкнутої системи тіл або частинок залишається незмінним під час усіх взаємодій, які відбуваються в системі.

За електричними властивостями речовини поділяють на провідники і діелектрики. Технічний прийом, що дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом його з'єднання за допомогою провідника із землею, називається заземленням.

Електризацію, при якій немає безпосереднього контакту між тілами, називають електризацією через вплив або електростатичною індукцією.

Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.

? Контрольні запитання

1. Що відбувається під час щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів?
2. Якщо електронейтральне тіло віддасть частину своїх електронів, заряд якого знака воно матиме?
3. Чому під час тертя ебонітової палички об вовну електризуються обидва тіла?
4. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
5. У чому полягає відмінність провідників і діелектриків?
6. Що називають заземленням?
7. Як можна наелектризувати шматок металу? Яких умов слід дотримуватися?
8. Як за допомогою негативно зарядженого тіла зарядити інше тіло позитивно?
9. Поясніть, чому будь-яке незаряджене тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд.
10. Для чого застосовують електроскоп? Як він сконструйований і яким є принцип його дії?
11. Чим електрометр відрізняється від електроскопа?



Вправа № 3

1. Чи відрізняється маса незарядженої палички з оргскла від маси тієї самої палички, зарядженої позитивно? Якщо відрізняється, то як?
2. Чи може статися так, що після дотику до кондуктора зарядженого електроскопа якимось тілом електроскоп виявиться незарядженим? Поясніть свою відповідь.
3. Електроскопу передали позитивний заряд (рис. 1, а). Потім до електроскопа піднесли іншу заряджену паличку (рис. 1, б). Визначте знак заряду цієї палички.
4. Поясніть принцип дії побутового засобу, який використовують, щоб запобігти електризації одягу.
5. Дві однакові провідні заряджені кульки торкнулися одна одної і відразу ж розійшлися. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику, якщо перед дотиком заряд першої кульки становив $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл, другої — $9 \cdot 10^{-9}$ Кл.
6. Машиніст потяга розповідає, що під час перевезення бензину завжди існує небезпека пожежі й тому всі залізничні цистерни оснащені сталевими ланцюгами, нижні кінці яких кількома ланками торкаються землі. Що в розповіді машиніста правдоподібне, а що ні? Обґрунтуйте свою відповідь.
7. Незаряджена гільза з фольги висить на шовковій нитці. До неї наближають заряджену паличку. Опишіть і поясніть подальшу поведінку гільзи.
- 8*. Як за допомогою негативно зарядженої металевої кульки, не зменшуючи її заряду, негативно зарядити іншу таку саму кульку?

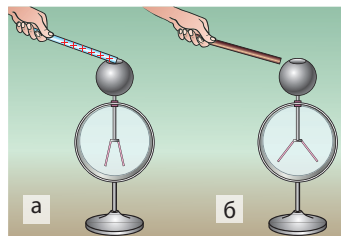


Рис. 1



Експериментальні завдання

1. Зі скляної банки з капроною кришкою виготовте електроскоп (рис. 2). Як стрижень електроскопа можна використати спицю для плетіння, а замість смужок паперу — вузькі смужки фольги. Випробуйте дію виготовленого вами електроскопа.
2. До слабкого струменя води з водопровідного крана піднесіть наелектризовану лінійку (або наелектризований гребінець). Опишіть і поясніть спостережуване явище.



Рис. 2