

ЧАСТИНА 1. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 19. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ВЗАЄМОДІЯ

Гірничі інженери та військові називають зарядом вибухівку; інколи слово «заряд» використовують для визначення «запасу почуттів» (заряд бадьорості). А що таке електричний заряд?

1 Знайомимося з електромагнітною взаємодією

Будову атома — елементарного складника будь-якої речовини — ви вже вивчали в курсах природознавства, фізики, хімії. Отже, згадаємо: атом будь-якої речовини складається з ядра, навколо якого розташовані електрони.

Зрозуміло, що без взаємного притягання електронів і ядра атом розпався б. Можна було б припустити, що таке притягання зумовлене гравітаційною взаємодією. Але це не так: електрони та ядро занадто легкі, і гравітаційна взаємодія між ними дуже слабка і є недостатньою для того, щоб утримати електрони біля ядра. Доведено, що атом не розпадається завдяки взаємодії іншого типу — її називають **електромагнітною взаємодією**.

Але ж ядро й електрони, з яких складається атом, відкриті порівняно недавно, близько 100 років тому. Невже науковці не знали про існування електромагнітної взаємодії раніше? Звичайно ж, знали.

Понад двадцять п'ять сторіч тому давньогрецький філософ, математик, дослідник природи *Фалес* (бл. 625 — бл. 547 до н. е.) із міста Мілета натирав хустром шматок бурштину і спостерігав, як після цього бурштин починав притягувати до себе пір'я птахів, пух, соломинки, сухе листя. Саме від грецької назви бурштину — *електрон* — процес, у результаті якого тіла набувають властивості притягувати до себе інші тіла, назвали *електризацією* тіл, а тіла, що мають цю властивість, — *наелектризованими*.

З повсякденного життя ми добре знаємо, що після розчісування сухого волосся пластмасовим гребінцем останній набуває властивості притягувати до себе волосся, ворсинки, клаптики паперу тощо. Аналогічної властивості набуває ебонітова паличка в результаті тертя об вовну або паличка з оргскла, якщо її потерти об шовк чи папір (рис. 19.1).

2 Дізнаємося про електричний заряд

Досліди показують, що наелектризовані тіла притягують не тільки легкі ворсинки, соломинки, класики паперу, але й металеві предмети, грудочки землі й навіть тоненькі струмені води або олії. Зверніть увагу, що інтенсивність електромагнітної взаємодії може бути різною. Так, у досліді, зображеному на рис. 19.2, а, струмінь води відхиляється більше, ніж у досліді на рис. 19.2, б.

? Проведіть подібні досліди. Замість палички зручно використати пластмасовий гребінець, наелектризувавши його розчісуванням волосся.

Щоб мати можливість кількісно визначати інтенсивність електромагнітної взаємодії, було введено фізичну величину — *електричний заряд*.

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

Електричний заряд позначають символом q . *Одиниця електричного заряду в СІ — кулон* (названа на честь французького фізика *Шарля Кулона*): $[q] = 1$ Кл.

Ця одиниця — похідна від основних одиниць СІ (визначення кулона подано в § 27).

Про наелектризоване тіло говорять, що *тілу надано електричний заряд* — *тіло заряджене*.

Електризація — це процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

3 Вивчаємо основні властивості електричного заряду

1. Існують *два роди електричних зарядів* — *позитивні і негативні*. Електричний заряд такого роду, як заряд, отриманий на бурштині або ебонітовій паличці, потертих об вовну, прийнято називати негативним, а такого роду, як заряд, отриманий на паличці зі скла, потертій об шовк або папір, — позитивним.



Рис. 19.1. Щоб наелектризувати паличку з оргскла, достатньо потерти її аркушем паперу (а). Після нетривалого тертя паличка починає притягувати до себе різні дрібні предмети (б)



Рис. 19.2. Інтенсивність електромагнітної взаємодії наелектризованої палички та струменя води може бути різною

2. Тіла, що мають *заряди одного знака, відштовхуються*; тіла, що мають *заряди протилежних знаків, притягуються* (рис. 19.3).

3. Носієм електричного заряду є частинка — *електричний заряд не існує окремо від частинки*. Під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість частинок, що мають електричний заряд*. Однією з негативно заряджених частинок є *електрон*, а однією з позитивно заряджених — *протон* (протони входять до складу атомного ядра).

Зазвичай під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість електронів.

4. Електричний заряд є дискретним, тобто електричні заряди фізичних тіл кратні певному найменшому (елементарному) заряду:

$$|q| = N|e|,$$

де q — заряд фізичного тіла; N — натуральне число; e — елементарний заряд.

Носієм елементарного негативного заряду є електрон. Цей заряд позначають символом e , а значення записують так: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл**.

Носієм елементарного позитивного заряду є протон. Заряд протона за модулем дорівнює заряду електрона: $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



Як ви вважаєте, чи може фізичне тіло мати заряд $0,5e$? $-17,7e$? $198e$?

5. І мікрочастинки, і макроскопічні тіла *можуть мати заряд* (позитивний або негативний), а *можуть бути нейтральними*. Наприклад, нейтральними частинками — частинками, заряд яких дорівнює нулю, — є *нейтрони* (вони разом із протонами складають ядро атома). До складу атомів входять протони та електрони, які мають заряд, проте самі атоми є нейтральними, оскільки в них кількість електронів збігається з кількістю протонів.



Підбиваємо підсумки

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію. Заряд позначають символом q і вимірюють у кулонах (Кл).

* Далі частинки, які мають електричний заряд, називатимемо *зарядженими частинками*.

** $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — це приблизне значення елементарного заряду, округлене до десятих. На сьогоднішній день за допомогою сучасних приладів значення елементарного заряду визначено з більшою точністю.

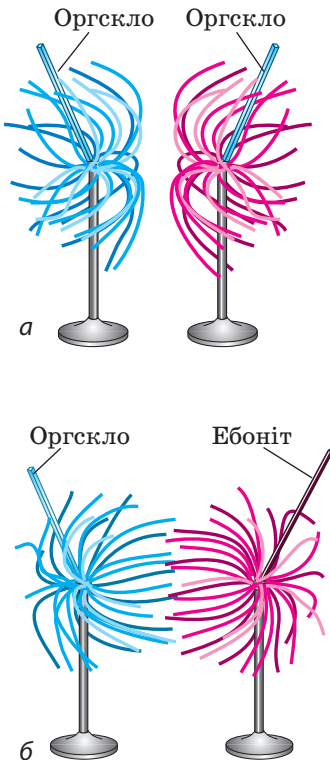


Рис. 19.3. Однойменно заряджені паперові смужки відштовхуються (а); різнойменно заряджені — притягуються (б)

Процес набуття електричного заряду макроскопічними тілами називають електризацією. Під час електризації тіло зазвичай приймає або віддає деяку кількість електронів.

Розрізняють два роди електричних зарядів: позитивні і негативні. Однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються.

Електричний заряд є дискретним: існує мінімальний (елементарний) електричний заряд, якому кратні всі електричні заряди тіл і частинок. Електричний заряд не існує окремо від частинки; носієм елементарного негативного заряду є електрон, позитивного — протон.

Контрольні запитання

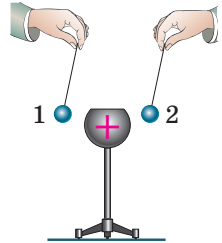


1. Що називають електричним зарядом?
2. Назвіть одиницю електричного заряду.
3. Які роди зарядів існують?
4. Який рід заряду має ебонітова паличка, потерта об вовну? паличка зі скла, потерта об шовк?
5. Як взаємодіють тіла, що мають однойменні заряди? різнойменні заряди?
6. З яких частинок складається атом?
7. Які частинки входять до складу атомного ядра?
8. Яка частинка має найменший негативний заряд? найменший позитивний заряд?
9. Як ви розумієте твердження, що електричний заряд є дискретним?

Вправа № 19



1. На рисунку зображено позитивно заряджене тіло й підвішені на нитках кульки 1 і 2, що мають заряди невідомих знаків. Визначте знаки зарядів кульок 1 і 2.
2. На тонкій шовковій нитці висить заряджена паперова кулька. Як, маючи ебонітову паличку та шматок вовни, визначити знак електричного заряду кульки?
3. Атом, ядро якого має 12 протонів, утратив 2 електрони. Скільки електронів залишилося в атомі?
4. Скільки надлишкових електронів має бути передано тілу, щоб воно отримало заряд, який дорівнює -1 Кл?
5. Скориставшись додатковими джерелами інформації або власним досвідом, наведіть декілька цікавих прикладів взаємодії заряджених тіл.
6. Визначте силу, з якою тіло масою 5 г притягується до Землі. Яку назву має ця сила? Виконайте схематичний рисунок, на якому зазначте напрямок дії та точку прикладання цієї сили.



Експериментальне завдання



Складіть план дослідження характеру взаємодії заряджених тіл. Як об'єкти для дослідження візьміть паперову та поліетиленову смужки розміром близько 4×15 см, поліетиленову смужку розміром 2×3 см, підвішену на нитці, пластмасову ручку. Проведіть відповідний експеримент.

Фізика і техніка в Україні



Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (ХНУ), заснований у листопаді 1804 р., — один із найстаріших університетів Східної Європи. Історія ХНУ є невід’ємною частиною інтелектуальної, культурної та духовної історії нашої країни. З Харківським університетом пов’язані імена таких усесвітньо відомих науковців та просвітителів, як *П. П. Гулак-Артемівський, О. М. Ляпунов, М. І. Костомаров, М. П. Барабашов, М. М. Бекетов, Д. І. Багалій,*

А. М. Краснов, М. В. Остроградський, В. А. Стеклов, О. О. Потєбня, О. В. Погорєлов та багато інших. Харківський університет — єдиний в Україні, де навчалися або працювали три лауреати Нобелівської премії — біолог *І. І. Мечников*, фізик *Л. Д. Ландау*, економіст *Саймон Кузнець*.

i

§ 20. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Згадайте, як під час розчісування сухе й чисте волосся «тягнеться» за пластмасовим гребінцем. У цьому випадку відбувається електризація: і волосся, і гребінець набувають електричного заряду. А ось чому волосся навіть на відстані повторює рухи гребінця (немов кобра — рухи дудки індійського факіра), ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1

Спостерігаємо взаємодію заряджених тіл

Із § 19 ви довідалися, що заряджена паличка притягує незаряджені клаптики паперу. Якщо ви проводили відповідний експеримент, то, напевно, звернули увагу на те, що клаптики паперу «відчували» наближення палички заздалегідь, ще до того, як паличка їх торкалася. Тобто заряджена паличка діє на інші об’єкти на відстані!

Проведемо ще один експеримент. Нам знадобляться натерта графітом маленька повітряна кулька*, підвішена на шовковій нитці, ебонітова паличка, шматок вовняної тканини, аркуш паперу та пластина з оргскла.

Наелектризуємо ебонітову паличку, потерши її об вовну. Потім торкнемося паличкою до підвішеної на нитці кульки — кулька отримає негативний заряд. Потремо пластину з оргскла папером — пластина набуде позитивного заряду. Почнемо повільно підносити пластину до кульки. У міру її наближення нитка, на якій підвішена кулька, почне відхилятися від вертикалі. Якщо ж зупинити зближування, то кулька так

* Дуже м’яким простим олівцем замалюйте клаптик паперу і натріть цим клаптиком кульку.

і залишиться неприродно відхиленою (рис. 20.1, а). Понад те, піднявши пластину над кулькою, ми можемо змусити кульку завмерти в ще більш неприродному для неї положенні (рис. 20.1, б). Що ж відбувається? Чому кулька так поводить? Висновок очевидний: на кульку — крім сили тяжіння та сили натягу нитки — з боку наелектризованої пластини діє третя сила (на рисунку — $\vec{F}_{\text{ел}}$).

2 Даємо означення електричного поля

З описаного вище експерименту можна зробити висновок про те, що *наелектризована пластина викликає певні зміни в просторі навколо себе*. А саме: стан простору змінюється таким чином, що на заряджену кульку починає діяти деяка сила. У цьому випадку кажуть, що *в просторі існує електричне поле*.

Електричне поле — це особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші частинки або тіла, які мають електричний заряд.

Таким чином, електрична взаємодія наелектризованої пластини й зарядженої кульки здійснюється за допомогою електричного поля. Коли заряджена кулька потрапляє в електричне поле наелектризованої пластини, це поле починає діяти на кульку з деякою силою, в результаті чого кулька відхиляється.

Силу, з якою електричне поле діє на заряджені частинки або тіла, називають *електричною силою* $\vec{F}_{\text{ел}}$.

Слід мати на увазі, що не тільки заряджена пластина своїм електричним полем діє на заряджену кульку, — кулька своїм електричним полем теж діє на пластину.

? Поясніть, чому пластина при цьому не відхиляється.

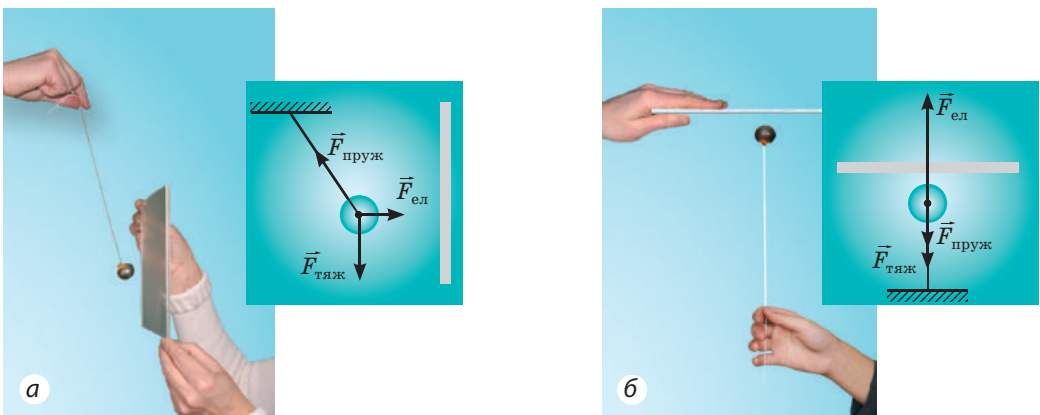


Рис. 20.1. Негативно заряджена кулька притягується до позитивно зарядженої пластини з оргскла. Кулька перебуватиме в спокої, коли сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ і сила натягу нитки $\vec{F}_{\text{пруж}}$ будуть скомпенсовані силою $\vec{F}_{\text{ел}}$, що діє на кульку з боку наелектризованої пластини

3 Характеризуємо електричне поле

Органи чуттів людини не сприймають електричне поле зарядженого тіла — ми не можемо це поле побачити, почути, відчутти на дотик. А як же дізнатися, які властивості воно має? Сподіваємося, ви вже здогадалися: вивчати електричне поле можна за його дією на заряджені частинки або тіла.

Саме ця дія підтверджує той факт, що *електричне поле є матеріальним*, адже, по-перше, воно діє на матеріальні об'єкти (заряджену кульку, клаптик паперу, струмінь води) і, по-друге, діє незалежно від людини.

Проведемо дослід, скориставшись металевою сферою, розташованою на пластмасовій підставці. Ретельно наелектризуємо скляну паличку, потерши її об папір, і торкнемося паличкою сфери. Сфера набуде позитивного заряду (рис. 20.2). Простір навколо сфери зміниться — біля неї існуватиме електричне поле. Будемо вивчати це поле за допомогою натертої графітом повітряної кульки, зарядженої позитивно (рис. 20.3).

Дослід продемонструє, що, по-перше, *електричне поле існує в будь-якій точці простору, що оточує заряд* (заряджену сферу); по-друге, *з віддаленням від заряду поле стає слабшим*. Ми можемо також стверджувати, що *електричне поле має енергію*, адже через роботу поля кулька набуває руху, відхиляючись на деякий кут.

Ми виявили лише деякі властивості електричного поля. Детальніше про нього ви дізнаєтеся в старших класах, а поки що звернемо увагу ось на що: *електричне поле може існувати будь-де, навіть у вакуумі*.

4 Зображуємо електричне поле графічно

Коли ви хочете якнайкраще розповісти про місце, в якому побували, або про нового друга, то що ви, скоріш за все, зробите? Напевно, багато хто відповість: «Покажу фотографії».

На жаль, електричне поле сфотографувати неможливо. Англійський фізик *Майкл Фарадей* запропонував зображувати електричне поле

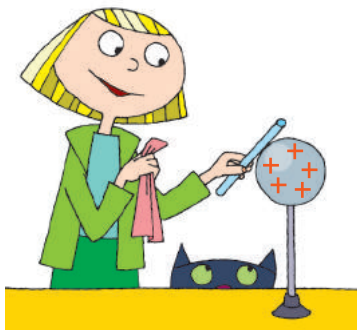


Рис. 20.2. Під час дотику до сфери позитивно зарядженої палички сфера набуває позитивного заряду

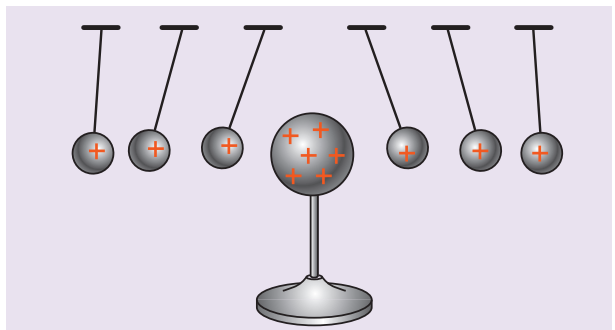


Рис. 20.3. Дослідження електричного поля зарядженої сфери: електричне поле сфери діє на заряджену кульку в будь-якій точці поблизу сфери; зі збільшенням відстані від сфери сила, що діє на кульку з боку електричного поля сфери, зменшується

графічно за допомогою *силових ліній* і таким чином візуалізувати його.

Силові лінії електричного поля, — це умовні лінії, уздовж дотичних до яких на заряджене тіло діє сила з боку електричного поля.

За напрямком силових ліній можна визначити напрямок, у якому електричне поле діє на електричний заряд. Щільність силових ліній на рисунку показує, наскільки сильним є електричне поле: чим сильніше електричне поле, тим щільніше розташовані лінії.

Розглянемо рис. 20.4, на якому графічно зображено електричне поле, створене двома різнойменними зарядами. Визначимо, куди напрямлена сила $\vec{F}_{\text{ел}}$, що діє на позитивний заряд, поміщений у точку A поля. Для цього проведемо дотичну до силової лінії в цій точці. Сила $\vec{F}_{\text{ел}}$ буде діяти вздовж цієї дотичної в напрямку силової лінії. Якщо в точку A помістити негативний заряд, то напрямок сили буде протилежним напрямку сили $\vec{F}_{\text{ел}}$.

? Спробуйте визначити, куди буде напрямлена сила, що діє на негативний заряд, поміщений у точку B (див. рис. 20.4), і дізнатися, в якій точці (A чи B) електричне поле є сильнішим.

У загальному випадку лінії електричного поля є кривими, але можуть бути й прямими. Наприклад, силові лінії електричного поля рівномірно зарядженої кульки, віддаленої від інших заряджених тіл, — прямі лінії (рис. 20.5, а, б). Прямими є і силові лінії електричного поля між двома паралельними пластинами, що мають однакові за значенням і протилежні за знаками заряди (рис. 20.5, в).

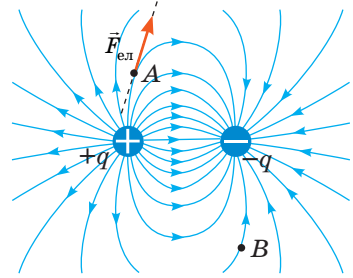


Рис. 20.4. Картина силових ліній електричного поля, створеного системою двох однакових за модулем різнойменних зарядів ($+q$ і $-q$). $\vec{F}_{\text{ел}}$ — сила, з якою це електричне поле діє на позитивний заряд, розташований у точці A

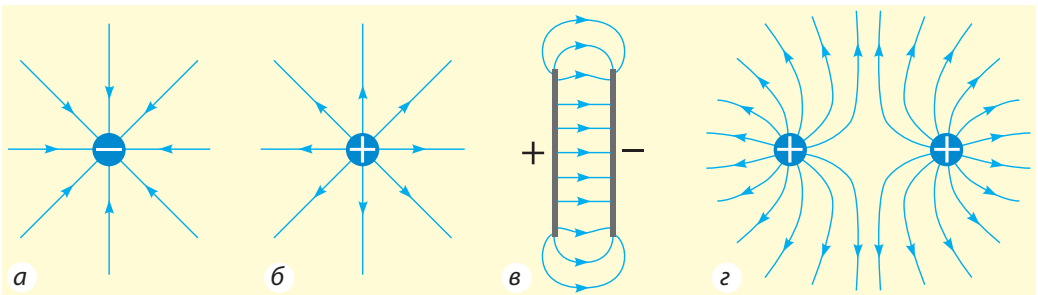


Рис. 20.5. Картини силових ліній електричних полів, створених: *а* — негативно зарядженою кулькою; *б* — позитивно зарядженою кулькою; *в* — системою двох паралельних пластин, заряди яких однакові за модулем і протилежні за знаком; *г* — системою двох кульок, що мають однакові позитивні заряди

Зверніть увагу: силові лінії електричного поля починаються на позитивному заряді й закінчуються на негативному (див., наприклад, рис. 20.4, 20.5).

5 Дізнаємося про вплив електричного поля на організм людини

Експериментально доведено, що поверхня Землі заряджена негативно, а верхні шари атмосфери — позитивно, отже, в атмосфері Землі існує електричне поле. З розвитком цивілізації це природне поле доповнилось електричними полями, створюваними різними електротехнічними пристроями, що їх використовує людина.

Сьогодні відомо, що клітини й тканини організму людини також створюють навколо себе електричні поля. Реєстрацію та вимірювання цих полів широко застосовують для діагностування різних захворювань (електроенцефалографія, електрокардіографія, електроретинографія та ін.).

Ми живемо у справжньому павутинні, зітканому з величезної кількості електричних полів. Довгий час вважалося, що вони не впливають на людей, проте зараз з'ясовано, що дія зовнішнього електричного поля на клітини й тканини організму людини, особливо тривала, призводить до негативних наслідків.

Так, під час роботи комп'ютера на екрані монітора накопичується електричний заряд, який і утворює електричне поле. Клавіатура й комп'ютерна миша також електризуються в результаті тертя. Під впливом цих електричних полів у користувача змінюються гормональний стан і біоструми мозку, що може спричинити погіршення пам'яті, підвищену стомлюваність та ін.



Чому для здоров'я людини краще носити одяг, виготовлений з натуральних тканин, наприклад із бавовни, а не синтетичний?

Що ж робити? Адже зовсім відмовитися від роботи за комп'ютером, перегляду телевізора, використання побутової техніки, яка теж є джерелом електричних полів, досить важко. Так само нелегко зовсім відмовитися від синтетичних тканин. Розв'язати проблему можна, послабивши електричне поле, наприклад, шляхом підвищення вологості повітря або застосування антистатиків. Ефективніший, але й дорожчий спосіб — штучна йонізація повітря, насичення його легкими негативними йонами. Із цією метою застосовують *аеройонізатори* — генератори негативних йонів повітря.



Підбиваємо підсумки

Якщо в просторі виявляється дія сил на електричні заряди, то кажуть, що в просторі існує електричне поле.

Електричне поле — це особлива форма матерії, яка існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з певною силою на інші частинки або тіла, що мають електричний заряд.

Існує зручний спосіб наочного опису електричних полів, а саме їх графічне зображення за допомогою силових ліній електричного поля — умовних ліній, уздовж дотичних до яких на заряджене тіло діє сила з боку електричного поля. За напрямком силових ліній можна визначити напрямок, у якому електричне поле діє на електричний заряд.

Від впливу зовнішніх електричних полів залежать загальне самопочуття людини, функціональний стан основних систем організму.



Контрольні запитання

1. Як експериментально довести, що тіла, які мають електричний заряд, взаємодіють навіть на відстані?
2. Що таке електричне поле?
3. Як визначити, чи існує в певній точці простору електричне поле?
4. Назвіть основні властивості електричного поля.
5. Дайте означення силових ліній електричного поля.
6. Як напрямлені силові лінії електричного поля?
7. Який вигляд має картина силових ліній електричного поля позитивно зарядженої сфери? негативно зарядженої сфери?
8. Який вплив на організм людини чинять електричні поля, створювані різними електротехнічними пристроями?



Вправа № 20

1. На рис. 1 зображено силові лінії електричного поля між двома парами заряджених пластин. Електричне поле між якими пластинами є більш інтенсивним? Визначте знак заряду кожної пластини.
2. На рис. 2 зображено лінії електричних полів, створених двома різними за модулем зарядами. Для кожного випадку визначте: 1) напрямок силових ліній; 2) який заряд більший за модулем; 3) напрямок сили, що діє на позитивний заряд, розташований у точці *A*; 4) напрямок сили, що діє на негативний заряд, розташований у точці *B*.

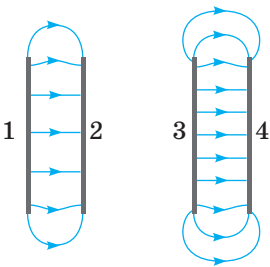


Рис. 1

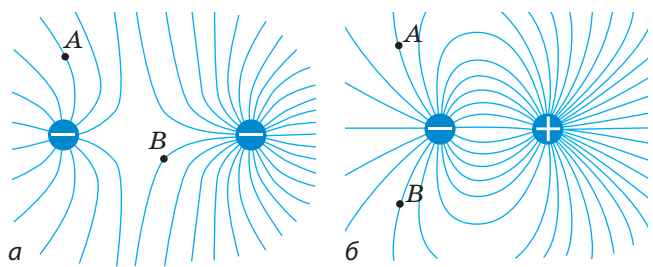


Рис. 2

3. Між двома різноіменно зарядженими пластинами зависла негативно заряджена крапелька олії масою 3,2 мг (рис. 3). Визначте напрямок і значення сили, яка діє на крапельку з боку електричного поля пластин, а також знак заряду кожної пластини.
4. Визначте силу натягу нитки (див. рис. 20.1, б), якщо електричне поле діє на кульку із силою 56 мН, об'єм кульки — 4 см³, середня густина — 0,6 г/см³.



Рис. 3

5. Один із перших аеройонізаторів, який використовується й сьогодні, — люстра Чижевського. Прилад генерує негативні йони — «електричні вітаміни», як називав їх винахідник приладу *Олександр Леонідович Чижевський*. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про цей винахід і його автора.
6. Чи може частинка мати електричний заряд, що дорівнює $8 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-2,4 \cdot 10^{-19}$ Кл? $2,4 \cdot 10^{-18}$ Кл? Поясніть свою відповідь.



Експериментальні завдання

- Запропонуйте кілька індикаторів електричного поля, випробуйте їх.
- «Летюча вата». Приготуйте розпушений шматочок вати діаметром не більш ніж 1 см і помістіть його на наелектризовану пластмасову лінійку. Різко струснувши лінійку, доможіться, щоб шматочок почав «плавати» над нею в повітрі. Поясніть спостережуване явище. Виконайте рисунок, на якому зазначте сили, що діють на вату.

§ 21. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ. ЕЛЕКТРОСКОП



Рис. 21.1. Вільям Гільберт (1544–1603) — англійський фізик і лікар, засновник науки про електрику

Вважають, що систематичне вивчення електромагнітних явищ розпочав англійський учений *Вільям Гільберт* (рис. 21.1). Однак пояснити електризацію тіл змогли понад три століття потому. Після відкриття електрона фізики з'ясували, що певні електрони можуть порівняно легко відриватися від атома або приєднуватися до нього, перетворюючи нейтральний атом на заряджену частинку — *йон*. А от як відбувається електризація макроскопічних тіл, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1

Розглядаємо електризацію тертям

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

Перед натиранням і паличка, і вовна є електрично нейтральними (незарядженими). А от у разі щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів, частина електронів переходить з одного тіла на інше. 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 під час контакту електрони в основному переходять з вовняної тканини на ебонітову паличку, а не навпаки. У результаті

після роз'єднання паличка виявляється негативно зарядженою, а тканина — позитивно. Аналогічного результату можна досягти, якщо розчесати сухе волосся пластмасовим гребінцем (рис. 21.2).

Зазначимо, що загальноприйнятий вираз «*електризація тертям*» є не зовсім точним, правильніше було б говорити про *електризацію через дотик*, адже тертя тіл одне об одне потрібно тільки для того, щоб збільшити кількість ділянок їх щільного контакту.

2 Формулюємо закон збереження електричного заряду

Якщо перед дослідом, описаним у пункті 1 цього параграфу, паличка і вовняна тканина були не заряджені, то після контакту вони виявляться зарядженими, причому їхні заряди будуть рівні за модулем і протилежні за знаком. Тобто їхній сумарний заряд, як і перед дослідом, 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 електрично замкнутої системи тіл 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, що створюють електрично замкнену систему (n — кількість таких тіл).

Під електрично замкнутою системою тіл розуміють таку систему, у яку не проникають заряджені частинки ззовні і яка не втрачає «власних» заряджених частинок.

3 Заземлюємо прилади та пристрої. Розрізняємо провідники і діелектрики

Якщо спробувати наелектризувати тертям металевий стрижень, утримуючи його в руці, то виявиться, що це неможливо. Річ у тім, що метали — це речовини з безліччю *вільних електронів*, які легко переміщуються по всьому об'єму металевого тіла. Такі речовини називають *провідниками*. Спроба наелектризувати металевий стрижень, тримаючи його в руці, приведе до того, що надлишкові електрони дуже швидко «втечуть» зі стрижня і він залишиться незарядженим. «Дорогою для втечі» електронів є сам дослідник,

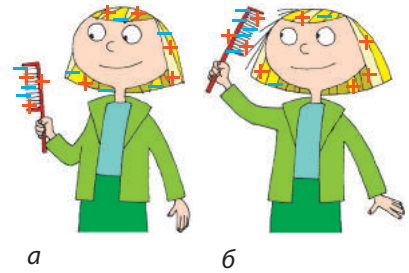


Рис. 21.2. Перед розчісуванням кількість позитивних зарядів на волоссі й гребінці дорівнює кількості негативних (а). Під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець, у результаті чого гребінець зарядиться негативно, а волосся — позитивно (б)



Рис. 21.3. Електризація сфери через вплив (а); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена повітряна кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера (на відміну від палички) заряджена позитивно (б)

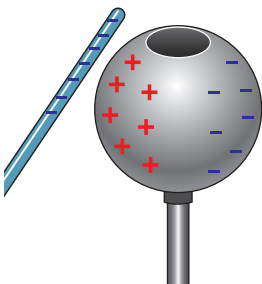


Рис. 21.4. Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина металеві сфери набуває позитивного заряду

адже тіло людини — це провідник*. Зазвичай «кінцевий пункт» для електронів — Земля, яка також є провідником. Розміри її величезні, і якщо будь-яке заряджене тіло з'єднати провідником із Землею, то воно стає практично електронейтральним (незарядженим). Адже тіла, заряджені позитивно, одержать деяку кількість електронів від землі, а з тіл, заряджених негативно, надлишкова кількість електронів піде в землю.

Технічний прийом, який дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом з'єднання цього тіла провідником із Землею, називають **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 заряджені частинки практично відсутні. Тому якщо між землею і зарядженим тілом поставити бар'єр у вигляді ізолятора, вільні заряджені частинки не зможуть ані покинути провідник, ані 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.

4 Дізнаємося про електризацію через вплив

Проведемо дослід. Наблизимо не торкаючись негативно заряджену ебонітову паличку до незарядженої металеві сфери, розташованої на ізольованій підставці. На мить торкнемося рукою до частини сфери, віддаленої від зарядженого тіла (рис. 21.3, а), а потім приберемо заряджену паличку. Відхилення позитивно зарядженої легкої кульки покаже, що сфера набула позитивного заряду (рис. 21.3, б). *Зверніть увагу:* знак заряду сфери є протилежним до знака заряду ебонітової палички.

Оскільки в цьому випадку безпосереднього контакту між зарядженим і незарядженим

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

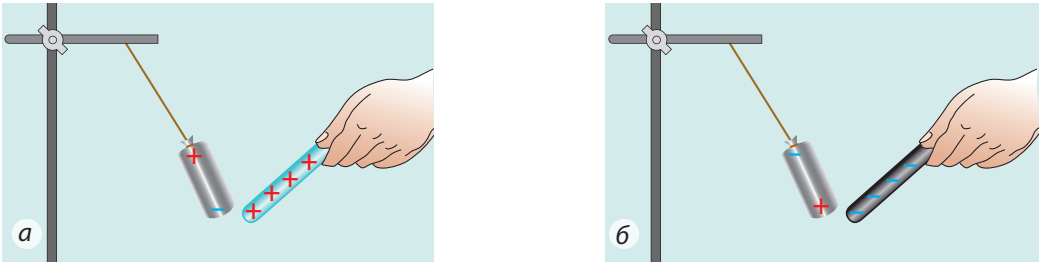


Рис. 21.5. До запитання в § 21

тілами не було, описаний процес називають *електризацією через вплив* або **електростатичною індукцією**.

Пояснюється цей вид електризації так. Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички вільні електрони перерозподіляються по поверхні металевої сфери. Електрони мають негативний заряд, тому вони відштовхуються від негативно зарядженої палички. У результаті кількість електронів стане надлишковою на віддаленій від палички частині сфери і недостатньою — на ближчій (рис. 21.4). 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, ви, сподіваємось, зможете пояснити, чому незаряджене металеве тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд. Наприклад, поясніть, чому гільза, виготовлена з металевої фольги, притягується як до скляної палички, що має позитивний заряд (рис. 21.5, а), так і до ебонітової палички, заряд якої є негативним (рис. 21.5, б). Що відбудеться, якщо гільза торкнеться палички?

Складніше пояснити притягання до наелектризованої палички клаптиків паперу, адже відомо, що папір є діелектриком і тому практично не містить вільних електронів. Річ у тім, що електричне поле зарядженої палички діє на зв'язані електрони атомів, із яких складається папір,

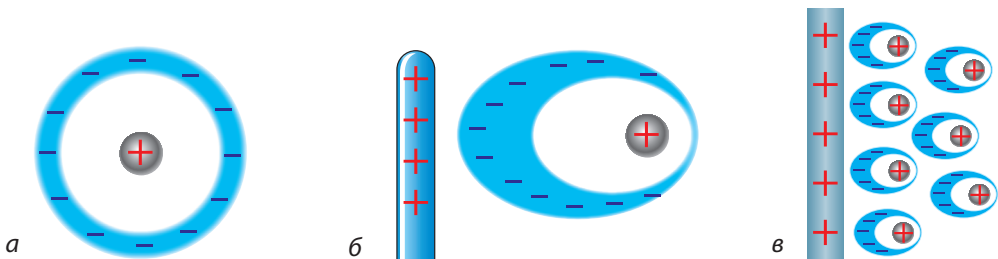


Рис. 21.6. Унаслідок дії зовнішнього електричного поля форма електронної хмари змінюється. Форма електронної хмари: за відсутності поля (а); за наявності поля (б). На поверхні паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (в)

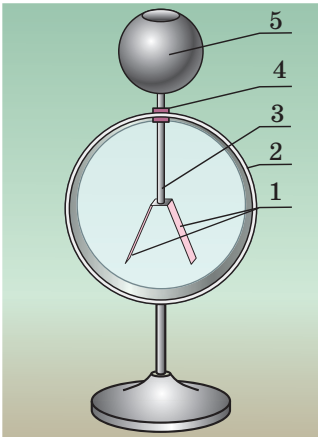


Рис. 21.7. Будова електро-
скопа: 1 — індикатор
(паперові смужки);
2 — корпус; 3 — металевий
стрижень; 4 — діелектрик;
5 — кондуктор

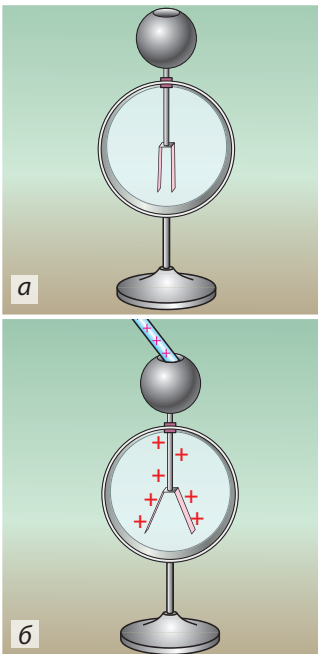


Рис. 21.8. Електроскоп
незаряджений, і смужки
паперу розташовані верти-
кально (а); після дотикання
зарядженого тіла до кондук-
тора електроскопа смужки
розходяться (б)

унаслідок чого змінюється форма електронної хмари — вона стає витягнутою (рис. 21.6). У результаті на ближчій до палички поверхні паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір починає притягуватися до палички. Описаний процес називають **поляризацією діелектрика**.

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.

Здавна для виявлення наявності в тіла електричного заряду, визначення знаку заряду тіла та оцінювання значення заряду використовують **електроскоп** (рис. 21.7). Пояснимо його будову.

Будь-які електричні явища нерозривно пов'язані з електричним полем. Ви вже знаєте, що електричне поле можна виявити за відхиленням легкої зарядженої кульки. Проте кулька — це не дуже зручний індикатор, краще використати дві смужки тонкого паперу (1). Після надання смужкам однойменного заряду вони почнуть відштовхуватися і їхні вільні кінці (внизу) розійдуться в різні боки.

Щоб зробити прилад якомога чутливішим, для індикатора (смужок) доцільно обрати найтонший папір, але тоді на точність вимірювання можуть вплинути протяги або навіть дихання спостерігача. Для захисту смужки розташовують у корпусі (2) з прозорими бічними стінками.

Щоб донести до смужок заряд, використовують провідник — металевий стрижень (3). 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.

Якщо до кондуктора електроскопа доторкнутися досліджуваным зарядженим тілом, то частина заряду цього тіла потрапить на

паперові смужки і вони розійдуться (рис. 21.8). *Зверніть увагу:* кут між смужками залежить від значення одержаного ними заряду. Цей кут тим більший, чим більший одержаний заряд.

Для виявлення й оцінювання електричного заряду застосовують також **електрометр** (рис. 21.9). На відміну від електроскопа, електрометр обов'язково має металевий корпус, шкалу, завдяки якій можна точніше оцінити значення переданого на електрометр заряду, та легку металеву стрілку (замість паперових смужок).



Рис. 21.9. Електрометр



Підбиваємо підсумки

Якщо електронейтральне тіло (тобто таке, що не має заряду) віддає частину своїх електронів, то воно стає зарядженим позитивно, а якщо одержує електрони, то стає зарядженим негативно.

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

Технічний прийом, який дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом з'єднання цього тіла провідником із Землею, називають заземленням.

Під час дії електричного поля на провідник відбувається процес перерозподілу електричних зарядів усередині провідника — електростатична індукція. Під час дії електричного поля на діелектрик відбувається поляризація діелектрика.

Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.



Контрольні запитання

1. Що і чому відбувається під час щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів?
2. Чому під час тертя ебонітової палички об вовняну тканину електризуються обидва тіла?
3. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
4. У чому полягає відмінність провідників і діелектриків?
5. Що називають заземленням?
6. Як за допомогою негативно зарядженого тіла зарядити інше тіло позитивно?
7. Поясніть, чому будь-яке електрично ізольоване незаряджене тіло завжди притягується до тіла, яке має електричний заряд.
8. Для чого застосовують електроскоп? Як він сконструйований і яким є принцип його дії?
9. Чим електрометр відрізняється від електроскопа?



Вправа № 21

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 електро- скопа якимось тілом електроскоп ви- явиться незарядженим? Поясніть свою відповідь.
3. Електроскопу передали позитивний за- ряд (рис. 1, а). Потім до нього піднесли не торкаючись іншу заряджену паличку (рис. 1, б). Визначте знак заряду палички.
4. Дві однакові провідні заряджені кульки торкнулися одна одної й від- разу ж розійшлися. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику, якщо перед дотиком заряд першої кульки дорівнював $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл, а заряд другої кульки становив $9 \cdot 10^{-9}$ Кл.
5. Як за допомогою негативно зарядженої металевої кульки, не змен- шуючи її заряду, позитивно зарядити таку саму, але незаряджену кульку? негативно зарядити таку саму кульку?
6. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся, для чого використовують антистатик і як він «працює».

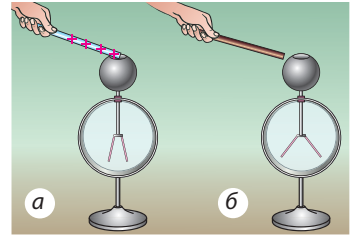


Рис. 1



Експериментальні завдання

1. Зі скляної банки з капроною кришкою виготовте елек- троскоп (рис. 2). Як стрижень електроскопа можна вико- ристати металеву спицю для плетіння, а замість смужок паперу — вузькі смужки фольги. Випробуйте виготовле- ний вами електроскоп.
2. Виготовте з легкого паперу маленькі човники та опустіть їх на воду. За допомогою наелектризованого гребінця змусьте вашу «флотилію» рухатися.



Рис. 2

Фізика і техніка в Україні



Національний технічний університет Украї- ни «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ) — найбільший вищий навчальний заклад країни — було створено на- прикінці XIX ст. Тоді на чотирьох відділеннях ін- ституту навчалось лише 360 студентів. Сьогодні КПІ, якому в 1995 р. надано статус Національного технічного, а в 2007 р. — статус дослідницького університету, налічує понад 40 тис. студентів, що здобувають знання на 19 факультетах. Протягом

XX ст. з інститутом були тісно пов'язані життя та діяльність усесвітньо відомих учених й інженерів: Д. І. Менделєєва, М. Є. Жуковського, К. А. Тімірязєва, І. І. Сікорського, С. П. Ко- рольова, С. П. Тимошенка, Є. О. Патона, Б. Є. Патона та багатьох інших.