

Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна

ФІЗИКА

9

Підручник для загальноосвітніх
навчальних закладів

РЕКОМЕНДОВАНО МІНІСТЕРСТВОМ
ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харків
ВИДАВНИЦТВО
РАНОК
2009

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б76

Підручник виданий за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 02.02.2009 р. № 56)

Відповідальні за підготовку підручника до видання:
О. В. Хоменко, головний спеціаліст МОН України;
Г. А. Юрчук, методист вищої категорії
Інституту інноваційних технологій і змісту освіти

Незалежні експерти:

- В. Г. Бар'яхтар*, директор Інституту магнетизму НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор, академік НАН України;
І. І. Бродин, доц. кафедри фізики твердого тіла Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника, канд. фіз.-мат. наук;
М. В. Головки, заст. директора Інституту педагогіки АПН України, канд. пед. наук;
О. М. Дума, вчитель фізики гімназії № 4 м. Одеси, учитель-методист;
В. М. Карпова, вчитель фізики гімназії № 28 м. Запоріжжя, учитель-методист;
З. Я. Євтушик, методист міського методичного кабінету Ковельського міського управління освіти;
О. М. Хоренко, методист Київського обласного інституту педагогічної освіти педагогічних кадрів, учитель-методист

Рецензенти:

- С. В. Каплун*, зав. кафедри методики природн.-мат. освіти Харківського обласного науково-методичного інституту безперервної освіти, канд. пед. наук, доцент;
Ю. Є. Крот, професор кафедри фізики Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури, канд. техн. наук;
В. М. Ятвецький, методист Одеського регіонального центру оцінювання якості освіти;
Л. І. Ятвецька, завідувачка науково-методичної лабораторії природничих дисциплін Одеського обласного інституту вдосконалення вчителів

Божина Ф. Я.

Б76 Фізика. 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів /
Ф. Я. Божина, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. — Х.: Видавництво
«Ранок», 2009. — 224 с.: іл.

ISBN 978-966-672-874-9

Пропонований підручник є складовою частиною навчально-методичного комплексу «Фізика-9», який включає також плани-конспекти всіх уроків, збірник задач, зошит для лабораторних робіт та комплексний зошит для контролю знань.

Основна мета підручника — сприяти формуванню базових фізичних знань, показати їхню необхідність для розуміння навколишнього світу.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721

- © Ф. Я. Божина, М. М. Кірюхін,
О. О. Кірюхіна, 2009
© В. В. Зюзюкін, В. В. Хлестун, іл., 2009
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2009

ISBN 978-966-672-874-9

Дорогі друзі!

Ви вивчаєте фізику вже третій рік. Сподіваємося, ви зуміли оцінити достоїнства цієї дивовижної науки про природу, більш того — намагаєтесь, використовуючи набуті знання, усвідомлювати й пояснювати процеси, що відбуваються навколо.

Комусь із вас цікавіше дивитися на світ очима фахівця-оптика, комусь — механіка, комусь — термодинаміка. Проте, навіть досконало володіючи знаннями лише про оптичні, механічні або теплові явища, неможливо зрозуміти, наприклад, принцип роботи ксерокса чи розібратися в електричній схемі найпростішого ліхтарика, а тим більш усвідомити, що саме вимірюють лічильником Вейгера—Мюллера або як працює атомний реактор. Річ у тім, що робота всіх зазначених пристроїв ґрунтується або на законах електромагнетизму, або на законах ядерної фізики. Саме з ними на вас очікує знайомство у курсі фізики 9-го класу.

Із розділу «**Електричне поле**» ви дізнаєтесь про світ нерухомих частинок, що мають електричний заряд. Вивченням таких частинок займається електростатика — наука про властивості та взаємодію нерухомих електричних зарядів.

Напрявлений рух електричних зарядів вивчатиметься в розділі «**Електричний струм**». Ви довідаєтесь, за яких умов електричний струм існує, як він виникає, а головне — де його застосовують.

Розділ «**Магнітні явища**» нерозривно пов'язаний із попереднім, адже магнітні явища є результатом руху заряджених частинок.

У розділі «**Атомне ядро. Ядерна енергетика**» ви почнете знайомство із сильною ядерною взаємодією. Ви «зазирнете» углиб ядра, дізнаєтесь, що таке радіоактивність, коли слід боятися радіоактивного випромінювання, а коли воно є корисним. Ви довідаєтесь, що слугує «паливом» для атомних електростанцій і як вони працюють.

Ясна річ, що без ваших зусиль зрозуміти й полюбити фізику не вийде. Учитися означає учити себе. Учитель і підручник тільки допоможуть вам в одержанні знань: донесуть необхідну інформацію, розшифрують складні поняття, покажуть стежку крізь нетрі фізичних задач. Тому уважно вивчайте зміст кожного параграфу. Зверніть увагу, що параграфи (або пункти в них), позначені зірочкою (*), — для тих, хто прагне дізнатися більше.

Параграфи завершуються рубриками «**Підбиваємо підсумки**», «**Контрольні запитання**», «**Вправа**».



Завдяки рубриці «**Підбиваємо підсумки**» ви маєте можливість ще раз виділити основне у вивченому матеріалі й повторити його.



З'ясувати, як ви зрозуміли вивчене, допоможе рубрика «**Контрольні запитання**». Якщо ви зможете відповісти на всі запитання, то все гаразд, якщо ж на деякі з них ви не знаєте відповіді, знову зверніться до тексту параграфу.



Рубрика «**Вправа**» дозволить вам застосувати отримані знання на практиці. Завдання цієї рубрики під силу кожному, однак доведеться подумати й виявити кмітливості. Завдання, позначені зірочкою (*), — підвищеної складності.



Фізика — наука експериментальна, тому в підручнику на вас очікують **лабораторні роботи** й **експериментальні завдання**. Обов'язково виконуйте їх, і ви почнете краще розуміти та любити фізику.

У ході підготовки до контрольних робіт буде корисною рубрика «**Завдання для самоперевірки**», а рубрика «**Підбиваємо підсумки розділу**» допоможе систематизувати отримані знання й «побачити» весь матеріал розділу в цілому.

Ті ж з вас, хто хоче більше довідатися про розвиток фізичної науки та техніки або планує пов'язати своє майбутнє з фізикою, знайдуть чимало корисного й цікавого у рубриках «**Фізика та техніка в Україні**» і «**Енциклопедична сторінка**».

Жівакої подорожі світом фізики, нехай вам астить!

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

§ 1. ЗАРЯД І ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ВЗАЄМОДІЯ



З курсу фізики 7-го класу ви, напевне, пам'ятаєте про «таємничу» електромагнітну взаємодію. Таємничу — оскільки тоді було лише зазначено, що ця взаємодія визначає більшість процесів і явищ навколо нас (рис. 1.1). Тепер прийшов час познайомитися з електромагнітними явищами докладніше. Для цього насамперед слід дізнатися, що таке електричний заряд (до речі, властивості та взаємодію нерухомих електричних зарядів вивчає *електростатика* — окремий розділ фізики). Відомо, що гірські інженери та військові називають зарядом вибухівку; інколи слово «заряд» використовують для визначення «запасу почуттів» (заряд бадьорості). А що ж таке заряд у фізиці? Про це ви дізнаєтеся з даного параграфа.



Рис. 1.1. Дія багатьох пристроїв, без яких неможливо уявити життя сучасної людини, заснована на електромагнітній взаємодії

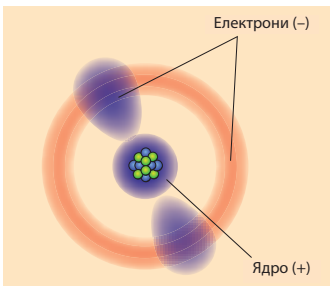


Рис. 1.2. Модель будови атома: електрони ніби «розмазані» по орбіталях — деяких частинах простору, що оточує ядро

1 Знайомимося з електромагнітною взаємодією

Будову атома — елементарного складника будь-якої речовини — ви вже вивчали в курсах природознавства, фізики, хімії*. Отже, згадаємо, що атом будь-якої речовини складається з ядра, навколо якого рухаються електрони. Дещо спрощену будову атома зображено на рис. 1.2. Слід зауважити, що цей рисунок лише приблизно відображає сучасний рівень знань. Проте для курсу фізики 9-го класу подана модель є цілком достатньою.

Електрони в атомі завжди перебувають поблизу ядра. Це означає, що ядро та електрони притягуються одне до одного. Можна було б припустити, що таке притягання обумовлене гравітаційною взаємодією. Але це не так: електрони та ядро занадто легкі, а гравітаційна взаємодія відчутна тільки в тому випадку, коли хоча б одне з тіл, що взаємодіють, має велику масу, наприклад, таку, яку має зоря чи планета. Насправді атом не розпадається завдяки взаємодії іншого типу — вона має назву *електромагнітної*.

Але ж ядро й електрони, з яких складається атом, відкриті порівняно недавно, менш

* У розділі 4 підручника ми повернемося до будови атома, і ви дізнаєтеся, яким чином її вивчали фізики.

ніж 150 років тому. Невже науковці не знали про існування електромагнітної взаємодії раніше? Звичайно ж, знали.

Понад двадцять п'ять сторіч тому грецький філософ *Фалес* із міста Мілета натирав хутром бурштин 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 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 ворсинки, клаптики паперу, волосся. Аналогічної властивості набуває ебонітова паличка в результаті тертя об вовну або паличка з оргскла, якщо її потерти об шовк чи папір (рис. 1.3).

Дехто з вас, імовірно, здивований: чи має відношення взаємодія наелектризованих гребінця, палички чи бурштину і різних дрібних предметів до взаємодії електрона та ядра атома? Виявляється, що в усіх випадках ми маємо справу з електромагнітною взаємодією. Чому так? Давайте розбиратися.

2 Дізнаємося про електричний заряд

Досліди показують, що наелектризовані тіла притягують не тільки ворсинки, соломинки, клаптики паперу, але й металеві предмети, грудочки землі й навіть тоненькі струмені води або масла. Зверніть увагу, що інтенсивність електромагнітної взаємодії, наприклад, наелектризованої палички і води може бути різною: у досліді, зображеному на рис. 1.4, *а*, струмінь води відхилився більше, ніж у досліді, зображеному на рис. 1.4, *б*.

Щоб мати можливість кількісно визначати інтенсивність електромагнітної взаємодії, ввели фізичну величину *електричний заряд*.



Рис. 1.3. Щоб наелектризувати паличку з оргскла, достатньо потерти її аркушем паперу (*а*). Після нетривалого тертя паличка починає притягувати до себе різні дрібні предмети (*б*)



Рис. 1.4. Інтенсивність електромагнітної взаємодії наелектризованої палички та струменя води може бути різною



Рис. 1.5. Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французький фізик і військовий інженер. У 1785 р. сформулював основний закон електростатики, пізніше названий його ім'ям

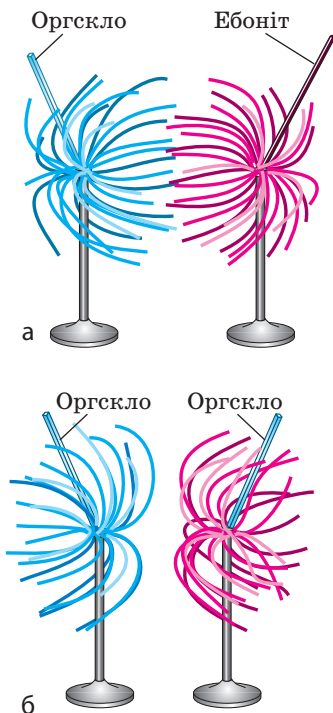


Рис. 1.6. Різнойменно заряджені паперові смужки притягуються (а); однойменно заряджені — відштовхуються (б)

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

Одиницею електричного заряду в СІ є **кулон** (Кл); вона названа так на честь французького вченого *Ш. Кулона* (рис. 1.5). Ця одиниця є похідною від основних одиниць СІ (визначення кулона буде надано пізніше, у розділі 2 підручника).

Позначають електричний заряд символом q .

Про наелектризоване тіло говорять, що *тілу надано електричний заряд*. Отже, **електризація** — це процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

3 Вивчаємо основні властивості електричного заряду

1. Існує два роди зарядів — *позитивні та негативні заряди*. 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 з оргскла, потертій об папір, — позитивним.

2. Тіла, що мають заряди одного знака, *відштовхуються*; тіла, що мають заряди протилежних знаків, — *притягуються* (рис. 1.6).

3. *Носієм електричного заряду є частинка* — електричний заряд не існує окремо від неї. Тобто під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість частинок, що мають електричний заряд. Одною з частинок, які мають негативний заряд, є *електрон*, а з частинок, що мають позитивний заряд, — *протон* (ця частинка входить 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*. Носієм найменшого негативного заряду є електрон. Цей заряд зазвичай позначають символом e , а значення записують так: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Носієм найменшого позитивного заряду є протон, його заряд за модулем дорівнює заряду електрона. Таким

чином, модуль заряду q будь-якого тіла дорівнює: $|q| = N|e|$, де N — ціле число. Отже, мікрочастинок або макроскопічних тіл із зарядом, наприклад, $37,5e$ або $-17,7e$ не існує, оскільки значення цих зарядів не є кратними заряду електрона (протона).

5. *І мікрочастинок, і макроскопічні тіла можуть мати заряд (позитивний або негативний), а можуть бути нейтральними.* Наприклад, нейтральними 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. Це пов'язане з тим, що в атомі кількість електронів збігається з кількістю протонів. Якщо атом віддає один чи кілька електронів, то він перетворюється на позитивний йон, а якщо приймає — на негативний йон.



Підбиваємо підсумки

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

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 та негативні заряди. Однойменно заряджені тіла (частинки) 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.



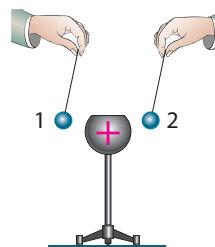
Контрольні запитання

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 з оргскла, потерта об шовк? 5. Як взаємодіють тіла, що мають заряди одного знака? протилежних знаків? 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? 10. У якому випадку атом перетворюється на позитивний йон? негативний йон?



Вправа № 1

1. На рисунку зображені позитивно заряджена куля й підвішені на нитках кульки, що мають заряди невідомих знаків. Визначте знаки зарядів кульок.
2. На тонкій шовковій нитці висить заряджена паперова кулька. Як, маючи ебонітову паличку та шматок вовни, можна визначити знак електричного заряду кульки?
3. Атом, ядро якого має 12 протонів, утратив 2 електрони. Скільки електронів залишилося?
4. Атом Літію перетворився на позитивний йон Літію. Які зміни відбулися в атомі?





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 ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України (Жарків) концентрує свої зусилля на підвищенні ефективності потужного енергетичного устаткування. Досліджуючи процеси роботи, скажімо, турбін, учені знаходять «вузькі місця», що заважають обладнанню ефективно працювати, а потім, базуючись на законах фізики, винаходять засоби вирішення відповідних проблем. Так, у робочому середовищі парових турбін співробітники інституту першими у світі виявили факт наявності електричних зарядів, які негативно впливають на потужність. Скориставшись «*ефектом вістря*» (цей ефект описаний в Енциклопедичній сторінці до розділу 1 підручника), учені винайшли методи нейтралізації «шкідливих» зарядів. Такі вдосконалені турбіни працюють, наприклад, на Жарківській ТЕЦ-5 і ТЕЦ-2 у селищі Есхар Жарківської області (див. фото).

§ 2. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯД-ЕНИХ ТІЛ



Згадайте, як під час розчісування сухе й чисте волосся «тягнеться» за пластмасовим гребінцем. Зрозуміло, що в цьому випадку відбувається електризація тертям: і волосся, і гребінець стають зарядженими. А ось чому волосся навіть на відстані повторює рух гребінця (немов кобра за дудкою індійського факіра), ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Спостерігаємо взаємодію заряджених тіл

Із § 1 ви дізналися, що заряджене тіло, наприклад наелектризована паличка, притягує незаряджені клаптики паперу. Якщо ви проводили відповідний експеримент, то, напевне, звернули увагу на те, що клаптики паперу «відчували» наближення палички заздалегідь, іще до того, як паличка їх торкалася. Тобто заряджена паличка діє на інші об'єкти на відстані! З'ясуємо, чому це відбувається.

Нам знадобляться натерта графітом маленька повітряна кулька, підвішена на нитці, ебонітова паличка, шматок вовняної тканини, аркуш паперу та пластина з оргскла.

Наелектризуємо ебонітову паличку, потерши її об вовну. Потім доторкнемося наелектризованою 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 куль-

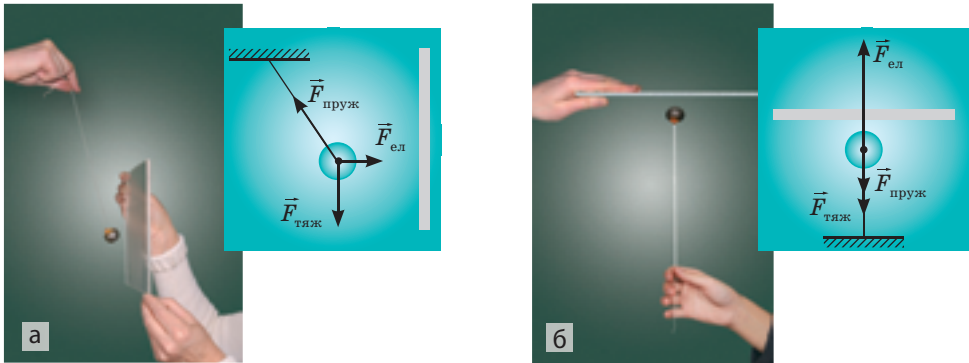


Рис. 2.1. Негативно заряджена кулька притягується до позитивно зарядженої пластини з оргскла. Кулька перебуватиме в спокої, коли сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ і сила натягу нитки $\vec{F}_{\text{пруж}}$ будуть скомпенсовані силою $\vec{F}_{\text{ел}}$, що діє на кульку з боку наелектризованої пластини (а, б). Кулька не падає вниз під дією $\vec{F}_{\text{тяж}}$, тому що на неї діє сила $\vec{F}_{\text{ел}}$ (б)

ка, почне відхилятися від вертикалі. Якщо ж зупинити зближування, то кулька так і залишиться неприродно відхиленою (рис. 2.1, а). Понад те, піднявши пластину над кулькою, ми можемо змусити останню завмерти в ще більш не природному для неї положенні (рис. 2.1, б). Що ж відбувається? Чому кулька не повертається у початкове положення? Висновок очевидний: на кульку, крім сили тяжіння та сили натягу нитки, з боку наелектризованої пластини діє третя сила ($F_{\text{ел}}$).

2 Даємо визначення електричного поля

З описаного вище експерименту можна зробити висновок про те, що *наелектризована пластина спричинює певні зміни в просторі навколо себе*. А саме: простір змінюється таким чином, що на заряджену кульку, внесену в нього, 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, у результаті чого кулька відхиляється.

Слід мати на увазі, що не тільки заряджена пластина своїм електричним полем діє на заряджену кульку, — кулька своїм електричним полем теж діє на пластину. (Спробуйте пояснити, чому пластина при цьому не відхиляється.)

Той факт, що електричне поле діє з деякою силою на заряджені частинки й тіла, учені використали, щоб визначити заряд електрона.



Рис. 2.2. Роберт Ендрус Міллікен (1868–1953) — американський фізик-експериментатор. За точне вимірювання заряду електрона отримав Нобелівську премію (1923 р.)

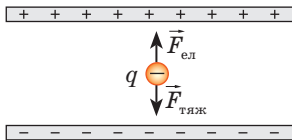


Рис. 2.3. Схема досліду Р. Міллікена з визначення заряду електрона

3 З'ясуємо, як було виміряно заряд електрона

Метод, за допомогою якого американський фізик Р. Міллікен (рис. 2.2) визначив заряд електрона, був розроблений ним на початку ХХ ст. Схему досліду подано на рис. 2.3. У простір між різнойменно зарядженими пластинами, заряд на яких можна було плавно зменшувати або збільшувати, за допомогою спеціального пульверизатора вчений впорскував масло. При впорскуванні утворювалися дуже маленькі краплинки, частина з яких несла негативний заряд. Кожного разу вчений спостерігав за окремою негативно зарядженою краплею. Оскільки краплі дуже маленькі, спостереження велися за допомогою мікроскопа.

На краплю, що потрапила в простір між пластинами, діють дві сили: сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і сила $F_{\text{ел}}$ з боку електричного поля, створеного зарядженими пластинами; причому сила $F_{\text{ел}}$ напрямлена вгору, а сила $F_{\text{тяж}}$ — униз. Плавно збільшуючи чи зменшуючи заряд пластин, Міллікен домагався зупинки краплі. Зрозуміло, що це відбувалося тоді, коли сила з боку електричного поля пластин зрівноважувала силу тяжіння ($F_{\text{ел}} = F_{\text{тяж}}$). Враховуючи рівність сил і те, що сила $F_{\text{ел}}$, яка діє на краплю, пропорційна її заряду, учений обчислював заряд краплі.

Багато разів повторюючи вимірювання (історики стверджують, що досліди тривали майже 4 роки), Міллікен з'ясував, що кожного разу заряд q краплі був кратним деякому найменшому заряду

ду $e = -1,60210 \cdot 10^{-19}$ Кл. Тобто $q = Ne$, де N — ціле число.

Досліджувані краплі масла були заряджені негативно, тобто мали надлишкову кількість електронів. Тому вчений зробив висновок, що найменший заряд є зарядом електрона.

Незалежно від Міллікена такі самі вимірювання проводив російський фізик А. Ф. Йоффе (рис. 2.4), тільки замість крапель масла він використовував металевий пил.

Важливим результатом робіт цих учених є не тільки точне вимірювання заряду електрона, а й доведення дискретної природи електричного заряду.

4 Дізнаємося про вплив електричного поля на організми

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 використовуює людина.

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

Отже, ми живемо у справжньому павутинні, зітканому з величезної кількості електричних полів, і довгий час вважалося, що вони не впливають на організми. Проте вплив зовнішнього електричного поля на клітини й тканини організмів, особливо тривалий, призводить до негативних наслідків.

Так, під час роботи комп'ютера на екрані монітора накопичується електричний заряд, який утворює електричне поле. До виникнення електричного поля причетні також клавіатура і комп'ютерна миша, що електризуються від тертя. Під впливом цих електричних полів навіть унаслідок короткочасної роботи в користувача змінюються гормональний стан і біоструми мозку, що спричиняє погіршення пам'яті, підвищену стомлюваність та ін. Ці перші симптоми зі збільшенням тривалості роботи за комп'ютером можуть перетворитися на захворювання нервової, серцево-судинної, імунної та інших систем організму.

Що ж робити? Адже зовсім відмовитися від роботи за комп'ютером, перегляду телевізора, використання будь-якої побутової техніки, яка теж є джерелом електричних полів, дуже важко. Розв'язати проблему можна, послабивши електричне поле, наприклад, шляхом підвищення вологості повітря або застосування антистатиків. Ефективніший, але й дорожчий вихід — штучна йонізація повітря, насичення його легкими негативними йонами. Із цією метою застосовують генератори негативних йонів повітря — їх ще називають йонізаторами повітря (аеройонізаторами).



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.

Той факт, що електричне поле діє з певною силою на заряджені частинки й тіла, був використаний Р. Міллікеном і А. Ф. Йоффе для визначення заряду електрона ($e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) і доведення дискретності електричного заряду.



Рис. 2.4. Абрам Федорович Іоффе (1880–1960) — російський, радянський фізик; народився в Україні. Зробив значний внесок у розвиток фізики діелектриків і напівпровідників; ініціював створення фізико-технічних інститутів у Харкові та Дніпропетровську

Від впливу зовнішніх електричних полів залежать загальне самопочуття, увага, працездатність, функціональний стан основних життєзабезпечувальних систем людини.



Контрольні запитання

1. Як експериментально довести, що тіла, які мають електричний заряд, взаємодіють навіть на відстані? 2. Що таке електричне поле? 3. Як дізнатися, що в даній точці простору існує електричне поле? 4. Що вперше виміряв заряд електрона? 5. Опишіть експеримент, який доводить, що електричний заряд є дискретним. 6. Який вплив на організм людини чинять електричні поля, створювані різними електротехнічними пристроями?



Вправа № 2

1. Чи може частинка мати електричний заряд, який дорівнює $8 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-2,4 \cdot 10^{-19}$ Кл? $2,4 \cdot 10^{-18}$ Кл? Чому?
2. Якій кількості елементарних зарядів відповідає заряд, що дорівнює 1 Кл?
3. З якою силою взаємодіяли крапелька масла і заряджені пластини в досліді Р. Міллікена, якщо маса крапельки становила 0,3 мг?



Експериментальне завдання

1. Запропонуйте кілька індикаторів електричного поля, випробуйте їх.
2. Приготуйте розпушений шматочок вати діаметром не більше 1 см. Наелектризуйте пластмасову лінійку й помістіть на неї цей шматочок. Різко струснувши лінійку, доможіться, щоб шматочок почав «плавати» над нею в повітрі. Поясніть спостережуване явище. Виконайте рисунок, на якому зазначте сили, що діють на шматочок вати.

§ 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 частинка електронів може порівняно легко відірватися від атома або приєднатися 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).

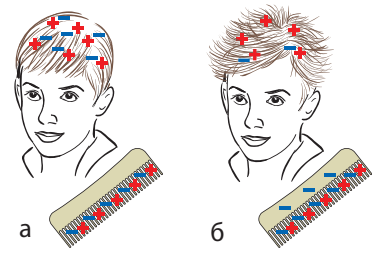


Рис. 3.2. Перед розчісуванням кількість позитивних зарядів на волоссі й гребінці дорівнює кількості негативних (а); під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець, у результаті чого волосся зарядиться позитивно, а гребінець — негативно (б)

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 параграфу, 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 замкненої 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 замкненою 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 металеві 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!

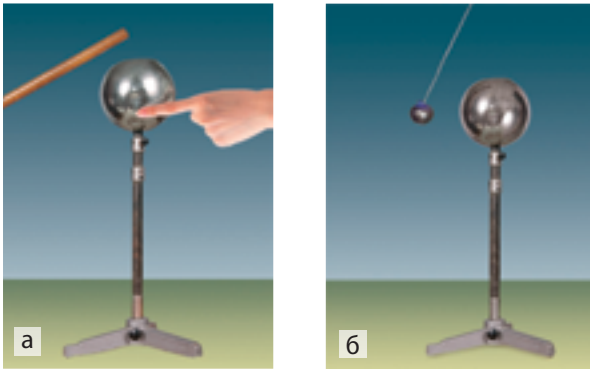


Рис. 3.3. Електризація сфери через вплив (а); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена повітряна кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера теж заряджена позитивно (б)

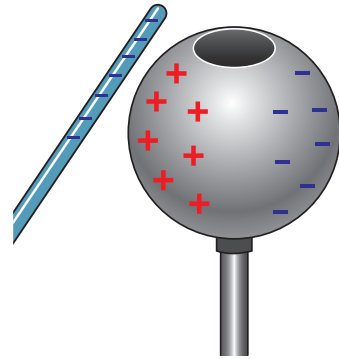


Рис. 3.4. Під дію електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина металеві сфери набуває позитивного заряду

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.

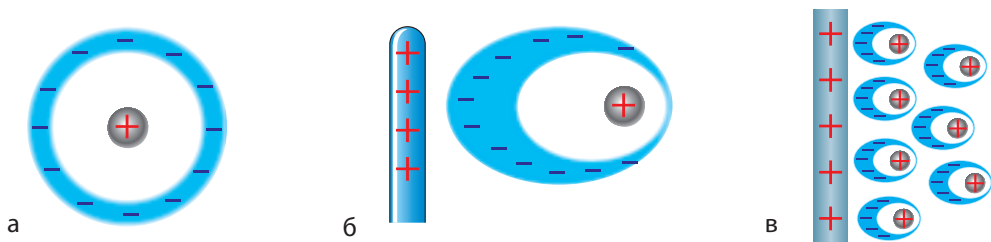


Рис. 3.5. Під дію зовнішнього електричного поля форма електронної хмари змінюється. Форма електронної хмари: при відсутності дії поля (а); за наявності дії поля (б). На частині паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (в)

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.

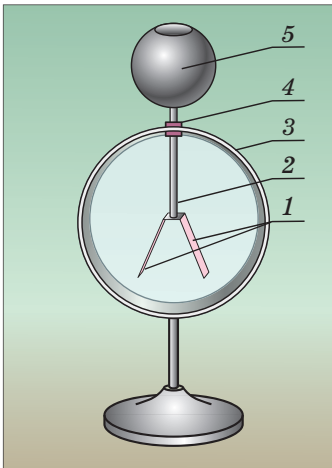


Рис. 3.6. Будова електро-скопа: 1 — індикатор (паперові смужки); 2 — металевий стрижень; 3 — корпус; 4 — діелектрик у місці кріплення стрижня; 5 — кондуктор

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 кожен смужку. Одноименно 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).

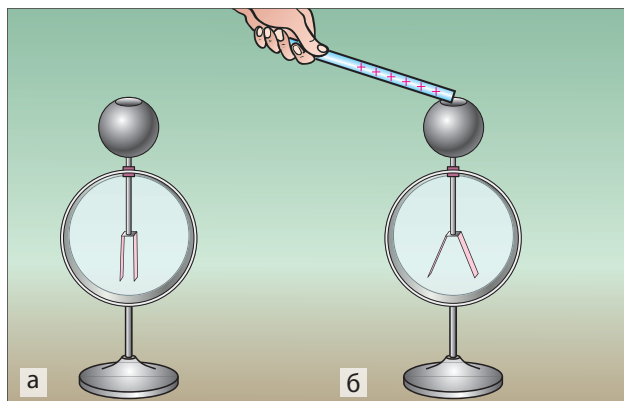


Рис. 3.7. Якщо електроскоп незаряджений, то смужки паперу розташовані вертикально (а); після дотикання зарядженого тіла до кондуктора електроскопа смужки розходяться (б)

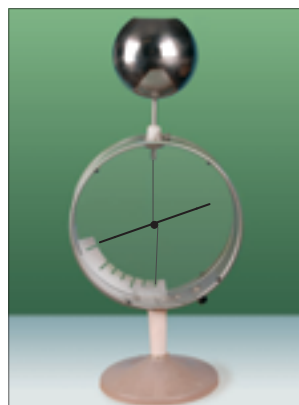


Рис. 3.8. Електрометр

! 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 замкненої 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 електрометр? 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?

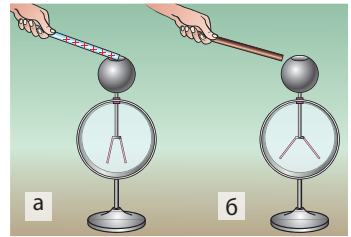


Рис. 1



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.

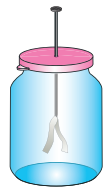


Рис. 2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1



Тема. Досліджування взаємодії заряджених тіл.

Мета: дослідити характер взаємодії двох заряджених тіл; зарядженого та незарядженого тіл.

Обладнання: дві повітряні кулі, шовкові нитки, дві ебонітові палички, дві палички з оргскла, шматок натурального хутра або вовняної тканини, аркуш, дрібно нарізаний папір, штатив із муфтами та лапками.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - Що називають електризацією?
 - Заряд із яким знаком має ебонітова паличка, потерта об вовну?
 - Заряд із яким знаком має паличка з оргскла, потерта об папір?
- Прив'яжіть шовкові нитки до одної палички з оргскла та одної ебонітової палички і закріпіть нитки в лапках штатива.

▶ Експеримент

- Дослідіть взаємодію заряджених тіл. Для цього виконайте такі дії.
 - Зарядіть обидві ебонітові палички, потерши їх об вовну чи хутро. Повільно піднесіть ебонітову паличку до ебонітової палички, підвешеної на нитці. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - Зарядіть обидві палички з оргскла, потерши їх об папір. Повільно піднесіть паличку з оргскла до такої ж палички, підвешеної на нитці. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - Повільно піднесіть до зарядженої палички з оргскла, підвешеної на нитці, заряджену ебонітову паличку. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - Наелектризуйте надуті повітряні кулі тертям об вовну чи хутро.
 - Візьміть кулі за нитки, розташуйте їх на одному рівні. Повільно піднесіть кулі одна до одної. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
- Дослідіть взаємодію зарядженого і незарядженого тіл. Для цього виконайте такі дії.
 - Піднесіть заряджену повітряну кулю до дрібно нарізаного паперу. Поясніть спостережуване явище.
 - Легенько притисніть до стінки заряджену кулю і відпустіть. Поясніть спостережуване явище.

□ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте результати експерименту, зробіть висновок про характер взаємодії однойменно та різнойменно заряджених тіл, а також зарядженого та незарядженого тіл.

+ Творче завдання

Дослідіть залежність сили взаємодії заряджених тіл від модулів їхніх зарядів. Скористайтеся двома невеликими кульками діаметром близько 2 см, виготовленими зі шматочків повітряної кулі й натертими графітовою стружкою до металевого блиску. Запишіть план проведення досліду.

§ 4. ЗАКОН КҰЛОНА



Щоб завести механічний годинник, закручують пружину його механізму; щоб менше трясло в автомобілі, застосовують спеціальні пристрої — торсіони. «Стривайте,— скажете ви,— ми ж вивчаємо електрику, а пружини — це механіка». Не кваптеся робити висновки. Із цього параграфа ви дізнаєтеся, як вивчення пружних властивостей дроту допомогло встановити один із фундаментальних законів електростатики.



Вводимо поняття точкового заряду

До кінця XVIII ст. електричні явища вивчалися тільки якісно. Наприклад, електричні машини в основному виконували роль іграшок для розваг аристократії. Перехід до кількісних характеристик, а потім і до практичного застосування електрики став можливим тільки після того, як французький дослідник Ш. Кулон (див. рис. 1.5) у 1785 р. встановив *закон взаємодії точкових зарядів*. Після встановлення цього закону вчення про електрику перетворилося на точну науку.

До того як вивчати сам закон, слід розібратися з терміном «точковий заряд». Скористаємося аналогією з механікою, адже поняття «точковий заряд» подібне до поняття «матеріальна точка». Згадайте торішній курс фізики. Наприклад, потяг «Київ–Львів» можна розглядати як матеріальну точку, якщо будувати графік його руху на маршруті між двома містами. А от мурахи не можна розглядати як матеріальну точку, якщо, припустимо, розв'язувати задачу про траєкторію руху її передньої лапки.

За аналогією з матеріальною точкою *точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються*.

Виходячи з цього визначення у досліді Р. Міллікена (див. п. 3 § 2) крапельку масла можна розглядати як точковий заряд, а от заряджені пластини — не можна.

Таким чином, точковий заряд, так само як матеріальна точка і точкове джерело світла, є не реальним об'єктом, а фізичною моделлю. Необхідність уведення такої моделі спричинена тим, що в загальному випадку взаємодія заряджених тіл залежить від багатьох чинників, отже, не існує єдиної простої формули, яка описує електричну взаємодію для будь-якого довільного випадку.



Знайомимося з будовою крутильних терезів

Військовий інженер Ш. Кулон почав проводити свої дослідження в галузі, вельми далекій від електростатики. Він виявляв закономірності пружного крутіння ниток і встановив залежність сили пружності від кута закручування. Отримані дані дозволили Кулону сконструювати надзвичайно чутливий прилад, який він назвав *крутильними терезами* (їхню будову подано на рис. 4.1, а).

Саме крутильні терези учений пізніше використав для вимірювання сили взаємодії точкових зарядів.

3* Дізнаємося, від чого залежить сила взаємодії двох точкових зарядів

У своїх дослідах Кулон спостерігав взаємодію заряджених кульок. Умови дослідів дозволяли вважати ці кульки точковими зарядами. Досліди вчений проводив так. У скляний циліндр на спеціальному тримачі було поміщено заряджену кульку C (рис. 4.1, б). Обертаючи верхню кришку циліндра, дослідник домагався, щоб кульки A і C доторкнулись і частина заряду з кульки C перейшла на кульку A . Однойменні заряди відштовхуються, тому кульки розходились на деяку відстань. За кутом закручування дроту Кулон визначав силу взаємодії зарядів.

Потім, обертаючи верхню кришку циліндра, дослідник змінював відстань між кульками A і C та знову визначав силу їхньої взаємодії. Виявилось, що при зменшенні відстані у два, три, чотири рази сила взаємодії кульок збільшувалася відповідно в чотири, дев'ять і шістнадцять разів.

Провівши чимало подібних дослідів, Кулон зробив висновок, що сила F взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані R між ними:

$$F \sim \frac{1}{R^2}.$$

А як залежить сила F від значення самих зарядів? На той час не існувало методу для вимірювання заряду, і Кулон застосував такий прийом. Спочатку вчений вимірював силу взаємодії двох однакових кульок — A і C , кожна з яких мала певний заряд q . Потім на мить торкався однієї з цих кульок, наприклад, кульки C , кулькою D — такою самою, як кульки A і C , тільки незарядженою. Розміри кульок були однаковими, тому заряд розподілявся між кульками C і D

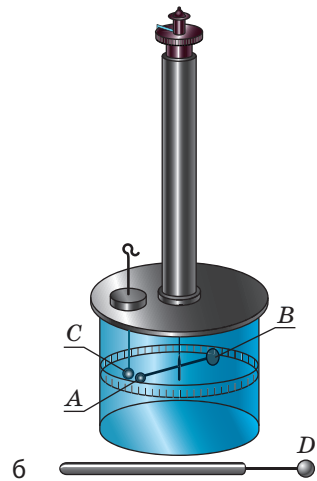
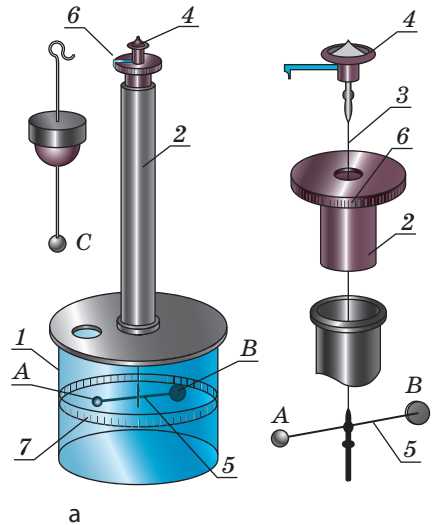


Рис. 4.1. а — будова крутильних терезів. Прилад змонтований у скляному циліндрі (1). До верхньої кришки циліндра прикріплена трубка (2), усередині якої розташований пружний дріт (3), прикріплений до головки (4), що обертається. До нижнього кінця дроту підвішене коромисло (5), на кінцях якого розміщують досліджуваний об'єкт (кулька A) і протипагу (B). Крізь отвір у кришці опускають кульку C . Кути закручування визначають за допомогою двох шкал із градусними поділками: перша (6) — на верхній кришці, що обертається, друга (7) — на бічній поверхні скляного циліндра; б — крутильні терези під час досліду Кулона

порівню. Отже, на кульці C залишався заряд $\frac{q}{2}$. Після цього Кулон вимірював силу взаємодії зарядів q і $\frac{q}{2}$.

Аналогічно роблячи й далі, учений переконався, що сила F взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 пропорційна добутку цих зарядів:

$$F \sim q_1 q_2.$$

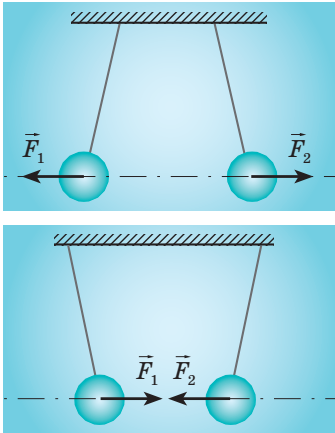


Рис. 4.2. Сили електричної взаємодії (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) напрямлені вздовж умовної прямої, що з'єднує точкові заряди

4 Формулюємо закон Кулона

На підставі проведених дослідів Кулон установив закон, що згодом отримав його ім'я — **закон Кулона**:

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані R між ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

де k — коефіцієнт пропорційності. Якщо $q_1 = q_2 = 1$ Кл, а $R = 1$ м, то $\{F\} = \{k\}$. Тобто *коефіцієнт пропорційності чисельно дорівнює силі, з якою взаємодіють два точкові заряди по 1 Кл кожний, розташовані у вакуумі* на відстані 1 м один від одного*. Було встановлено, що при взаємодії точкових зарядів у вакуумі $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Зверніть увагу, що в законі Кулона йдеться про добуток модулів зарядів, оскільки знаки зарядів впливають лише на напрямок сили.

Сили, з якими взаємодіють два точкові заряди, ще називають **силами Кулона**.

Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди, що взаємодіють (рис. 4.2).

Маючи кількісне значення коефіцієнта k , можемо оцінити силу, з якою два заряди по 1 Кл кожний взаємодіють на відстані 1 м. Це дуже велика сила! Вона дорівнює, наприклад, силі тяжіння, що діє на великий корабель (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Якби на днищі судна й на відстані 1 м під його днищем можна було розмістити однойменні заряди по 1 Кл кожний, то вдалося б перебороти сили земного тяжіння й без жодних спеціальних пристроїв підняти судно

* У багатьох середовищах ця сила буде значно меншою, ніж у вакуумі. Порівняно з вакуумом у повітрі вона зменшується незначно.

5 **✎** **чимось розв'язувати задачі**

Задача. Дві невеличкі негативно заряджені кульки розташовані в повітрі на відстані 30 см одна від одної. Сила їхньої взаємодії дорівнює 0,32 Н. Обчисліть кількість надлишкових електронів на другій кульці, якщо заряд першої кульки $4 \cdot 10^{-6}$ Кл. Кульки вважати точковими зарядами.

Дано:

$$R = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 0,32 \text{ Н}$$

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

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

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

 N_2 — ?*Аналіз фізичної проблеми*

Щоб визначити кількість надлишкових електронів, згадаємо, що електричний заряд є дискретним: $|q| = N|e|$, де N — кількість надлишкових електронів, а $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Для визначення заряду q скористаємося законом Кулона.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}. \text{ Отже, } |q_2| = \frac{FR^2}{k|q_1|} \quad (1).$$

$$\text{Оскільки } |q_2| = N_2|e|, \text{ то } N_2 = \frac{|q_2|}{|e|} \quad (2).$$

Після підстановки (2) в (1) маємо:

$$N_2 = \frac{FR^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[N_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1;$$

$$\{N_2\} = \frac{0,32 \cdot 0,09}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{12}.$$

Відповідь: на другій кульці $5 \cdot 10^{12}$ надлишкових електронів.

! **Підбиваємо підсумки**

Точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.

Для двох нерухомих точкових зарядів виконується закон Кулона: сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

Ш. Кулон вимірював силу взаємодії точкових зарядів за допомогою спеціально сконструйованих крутильних терезів.



Контрольні запитання

1. Який заряд називається точковим? Порівняйте поняття «точковий заряд» і «матеріальна точка». 2*. Опишіть будову та принцип дії крутильних терезів. 3*. Як ϵ_0 . Кулон довів, що сила взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані між ними? 4*. Опишіть прийом, який застосував ϵ_0 . Кулон, щоб з'ясувати залежність сили взаємодії двох точкових зарядів від значення модулів зарядів. 5. Сформулюйте закон Кулона. 6. Чому, формулюючи закон Кулона, слід обов'язково користуватися поняттям «точковий заряд»?



Вправа № 4

(*ід час розв'язання задачі і її вправи вважайте, ϵ_0 ома те справ непер ϵ_0 мими точковими арядами.*)

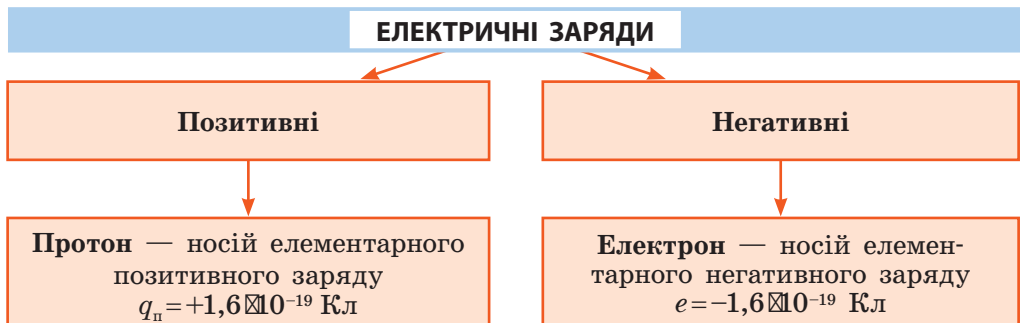
- З якою силою взаємодіятимуть два заряди по $1 \cdot 10^{-4}$ Кл кожний, якщо їх розташувати у вакуумі на відстані 1 м один від одного?
- Як зміниться сила взаємодії двох зарядів, якщо збільшити кожний із них у 2 рази, а відстань між ними — у 4 рази?
- Як змінилася відстань між двома зарядами, якщо відомо, що сила їхньої взаємодії збільшилася в 9 разів?
- Дві кульки, розташовані на відстані 10 см одна від одної, мають однакові негативні заряди. Визначте силу взаємодії кульок, якщо відомо, що на кожній із них є $1 \cdot 10^{11}$ надлишкових електронів.
- Дві однакові металеві кульки заряджені так, що заряд однієї з них у 5 разів більший, ніж заряд другої. Кульки змусили доторкнутись одну до одної й розвели на початкову відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії кульок, якщо вони були заряджені одноіменно? різнойменно?

ПІДБИВАЄМО ПІДСМІМКИ РОЗДІЛУ 1 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

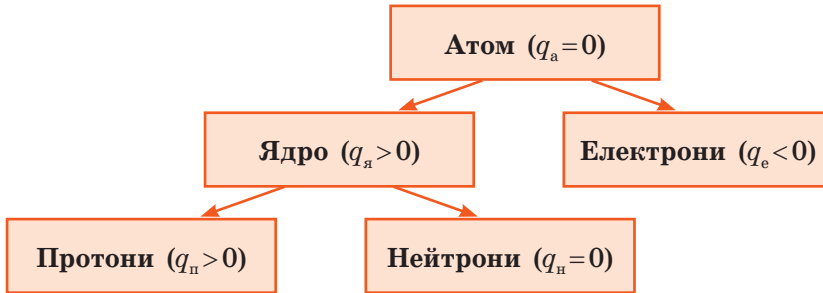
- У розділі 1 ви познайомилися з новою фізичною величиною — *електричним зарядом*.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД — це фізична величина, що характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітну взаємодію

- Ви дізналися, що існує *два роди електричних зарядів*.

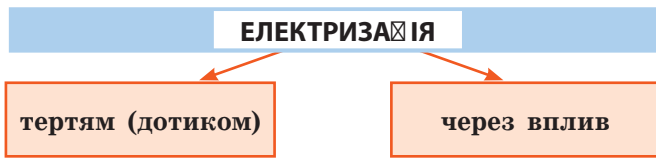


3. Ви згадали будову атома.



Якщо атом віддає один або декілька електронів, він перетворюється на позитивний йон, а якщо отримує — на негативний йон.

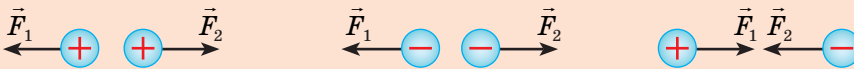
4. Ви з'ясували, що процес набуття заряду макроскопічними тілами називають електризацією. Під час електризації тіло завжди одержує чи віддає певну кількість електронів.



5. Ви дізналися, що будь-який наелектризований об'єкт є джерелом електричного поля.

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

6. Ви довели, що взаємодія наелектризованих тіл здійснюється через електричне поле.



7. Ви вивчили основні закони електростатики.

ОСНОВНІ ЗАКОНИ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Закон Кулона

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

якщо заряди нерухомі точкові

Закон збереження заряду

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

якщо система замкнена

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

- (1 бал) Які частинки, що входять до складу атомного ядра, мають позитивний заряд?
 - тільки протони;
 - тільки електрони;
 - тільки нейтрони;
 - протони й нейтрони.
- (1 бал) У якому випадку нейтральний атом перетворюється на позитивний йон?
 - якщо атом втрачає один або кілька протонів;
 - приєднує один або кілька нейтронів;
 - приєднує один або кілька електронів;
 - втрачає один або кілька електронів.
- (1 бал) На рис. 1–3 зображено три пари легких кульок, підвішених на шовкових нитках. На якому з рисунків зображено кульки, заряджені однойменними зарядами?
 - 1; б) 2; в) 3; г) такого рисунка немає.

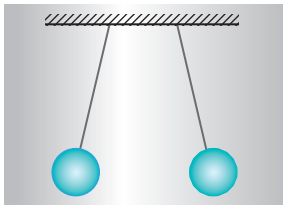


Рис. 1

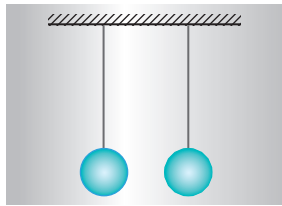


Рис. 2

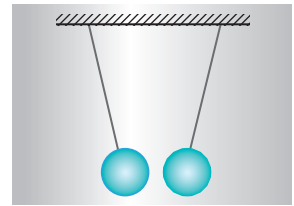


Рис. 3

- (1 бал) У ядрі атома Літію втримується 7 частинок, навколо ядра рухаються 3 електрони. Скільки в ядрі цього атома протонів і нейтронів?
 - 3 протони та 4 нейтрони;
 - 4 протони та 3 нейтрони;
 - тільки 7 протонів;
 - тільки 7 нейтронів.
- (1 бал) Ебонітова паличка, потерта об натуральне хутро, заряджається негативно й починає притягувати легкі клаптики паперу. Чим це пояснюється?
 - клаптики паперу заряджаються негативно;
 - клаптики паперу заряджаються позитивно;
 - під дією електричного поля на ближчих до палички частинах клаптиків паперу утворюється позитивний заряд;

- г) під дією електричного поля на ближчих до палички частинах клаптиків паперу утворюється негативний заряд.
6. (2 бали) Чому дрібні крапельки одеколону, який розприскується пультверизатором, виявляються наелектризованими?
 7. (2 бали) Чому розряджається електроскоп, якщо доторкнутися рукою до його кондуктора?
 8. (2 бали) Чи можна під час електризації тертям зарядити тільки одне зі стичних тіл? Відповідь обґрунтуйте.
 9. (2 бали) На тонких шовкових нитках підвішені дві однакові легенькі паперові гільзи. Одна з них заряджена, а друга — ні. Як визначити, яка з гільз є зарядженою?
 10. (2 бали) Як за допомогою позитивно зарядженої металевої кульки зарядити негативно таку саму кульку, не збільшуючи та не зменшуючи заряду першої кульки?

(У завданнях 11–15 електричні заряди вважати нерухожими точковими.)

11. (3 бали) При зміні відстані між двома електричними зарядами сила їхньої взаємодії зменшилася в 16 разів. Як змінилася відстань між зарядами?
12. (3 бали) Як зміниться сила взаємодії двох електричних зарядів при збільшенні модуля кожного з них у 3 рази?
13. (4 бали) Дві позитивно заряджені кульки взаємодіють у вакуумі із силою 0,1 Н. Відстань між ними дорівнює 6 см. Заряд одної з кульок становить $2 \cdot 10^{-5}$ Кл. Обчисліть заряд іншої.
14. (5 балів) Два негативно заряджених тіла відштовхуються із силою 0,9 Н. Відстань між тілами дорівнює 8 см. Визначте кількість надлишкових електронів в одному з тіл, якщо заряд іншого становить -4 мкКл.
15. (6 балів) Кульку, що є провідником і несе заряд $1,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, одночасно привели у дотик з двома такими самими кульками, одна з яких має заряд $-0,3 \cdot 10^{-8}$ Кл, а друга є незарядженою. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику. З якою силою взаємодіятимуть після дотику дві з цих кульок на відстані 5 см одна від одної?

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ВІД «КОЛЕСА ФРАНКЛІНА» ДО ПЛОСКИХ ЕКРАНІВ

Вивчивши розділ 1 підручника, ви дізналися, що електричне поле, яке існує навколо будь-якого зарядженого тіла, залежить від значення заряду цього тіла та відстані до нього. Крім того, детальними дослідженнями було встановлено, що електричне поле залежить ще й від форми тіла. Наприклад, при однакових зарядах голки та кондуктора електроскопа електричне поле поблизу кінця голки є в мільйони разів сильнішим, ніж поле поблизу кондуктора. Поле може бути настільки сильним, що під його дією вістря почне випускати електрони і ті з великою швидкістю летітимуть геть від вістря,— створиться так званий «*електричний вітер*». Такий «вітер» у змозі обертати легеньку металеву вертушку — «*колесо Франкліна*» (рис. 1). Ця проста іграшка була винайдена ще у XVIII ст. американським ученим Бенджаміном Франкліном (1706–1790) та дозволила йому запропонувати спосіб захисту від руйнівного впливу блискавки (про це йтиметься в розділі 2 підручника).

Зрозуміло, що застосування *автоелектронної емісії* — явища випускання електронів провідними твердими речовинами та рідинами під дією сильного електричного поля — не обмежується «колесом Франкліна» та блискавковідводом. Сучасні вчені знайшли інші сфери використання цього явища.

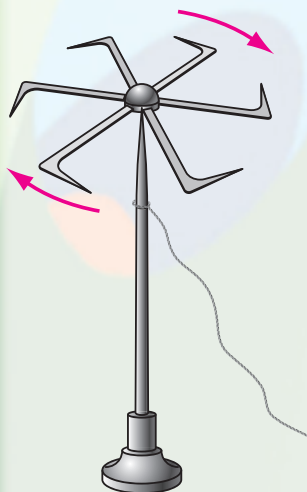


Рис. 1. «Колесо Франкліна». «Електричний вітер» від зарядженого вістря голки може навіть обертати легку вертушку

Електрони, які вилетіли з вістря голки, відштовхуватимуться один від одного і, якщо не застосовувати спеціальні засоби, рухатимуться у вигляді розбіжного пучка (конуса). Так, електрони, що вилітають з ділянки, розмір якої менше за мікромметр, подолавши певну дистанцію, являють собою пучок діаметром кілька сантиметрів. І кожний електрон пучка несе певну інформацію про поверхню вістря. Якщо, наприклад, на частині поверхні є оксидна плівка, то виліт електронів з цієї ділянки буде утрудненим. У той же час ділянка чистого металу емітує більшу кількість електронів. Якщо на шляху електронів поставити екран, що світиться в разі попадання в нього електронів, неоднорідне світіння екрана проінформує дослідника про те, який саме має вигляд мікроструктура матеріалу на поверхні вістря. Тож вістря голки «колеса Франкліна» в сучасних умовах може перетворюватися на своєрідне «збільшувальне скло». Наведений метод вивчення мікроструктури поверхні тіла одержав назву «*автоелектронна мікроскопія*».

Рис. 2. Мікрофотографія поверхні металу, отримана за допомогою автоелектронної мікроскопії

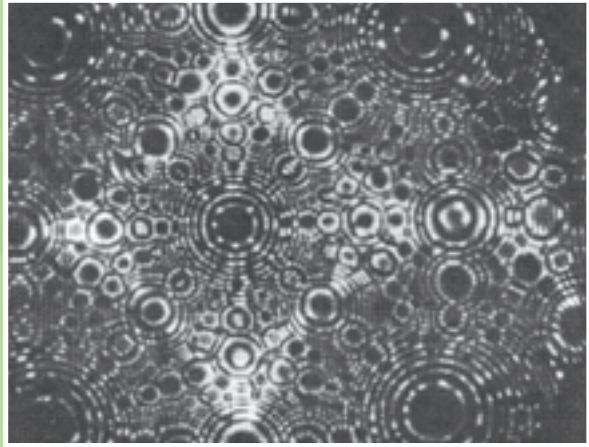


Рис. 3. Зовнішній вигляд FED-дисплеїв, дія яких ґрунтується на явищі автоелектронної емісії

Він дозволяє одержати інформацію не лише про частини поверхні вістря, але й про окремі атоми (рис. 2).

Явище автоелектронної емісії застосовують також у джерелах струму для вакуумних приладів, зокрема для прискорювачів заряджених частинок (див. розділ 4 підручника).

Використовуючи явище автоелектронної емісії, сучасні інженери створили новий тип плоских екранів. У англійській літературі автоелектронна емісія — *field emission*, відповідно плоскі екрани одержали назву «*field emission display*»; скорочено українською — «*FED-дисплеї*» (рис. 3).

Практично в кожній оселі є телевізори з електронно-променевою трубкою — кінескопом. Принципи, застосовувані у FED-дисплеях, у певному розумінні схожі на ті, що використовують для одержання зображення в кінескопа. У звичайному телевізорі потік електронів із так званої електронної пушки кінескопа послідовно сканує весь великий екран. На відміну від «великого» кінескопа, що має тільки одне джерело електронів, FED-дисплей передбачає наявність великої кількості малих «кінескопчиків», кожний із яких складається з випромінювача та розташованого навпроти нього маленького «персонального» екрана. У таких «кінескопчиках» відхиляти потік електронів на велику відстань не треба, тому товщина FED-дисплеїв становить усього кілька міліметрів.

Розділ 1. Електричне поле

| | |
|--|----|
| § 1. Заряд і електромагнітна взаємодія | 4 |
| § 2. Електричне поле. Взаємодія заряджених тіл. | 8 |
| § 3. Механізм електризації. Електроскоп | 12 |
| <i>Лабораторна робота № 1</i> | 18 |
| § 4. Закон Кулона | 20 |
| Підбиваємо підсумки розділу 1 «Електричне поле» | 24 |
| Завдання для самоперевірки за розділом 1 «Електричне поле» | 26 |
| Енциклопедична сторінка. | 28 |

Розділ 2. Електричний струм

| | |
|--|-----|
| § 5. Електричний струм. Електрична провідність матеріалів | 30 |
| § 6. Дії електричного струму | 33 |
| § 7. Джерела електричного струму. Гальванічні елементи й акумулятори. | 36 |
| § 8. Електричне коло та його елементи | 40 |
| § 9. Сила струму. Одиниця сили струму. Амперметр. | 46 |
| <i>Лабораторна робота № 2</i> | 51 |
| § 10. Електрична напруга. Одиниця напруги. Вольтметр | 52 |
| <i>Лабораторна робота № 3</i> | 56 |
| § 11. Електричний опір. Закон Ома | 57 |
| § 12. Питомий опір речовини. Розрахунок опору провідника. Реостати | 61 |
| <i>Лабораторна робота № 4</i> | 67 |
| <i>Лабораторна робота № 5</i> | 69 |
| § 13. Послідовне з'єднання провідників | 71 |
| <i>Лабораторна робота № 6</i> | 77 |
| § 14. Паралельне з'єднання провідників. | 79 |
| <i>Лабораторна робота № 7</i> | 85 |
| § 15. Робота й потужність електричного струму. | 87 |
| <i>Лабораторна робота № 8</i> | 93 |
| § 16. Теплова дія струму. Закон Джоуля–Ленца | 94 |
| § 17. Електричні нагрівальні пристрої. Запобіжники | 98 |
| § 18. Електричний струм у металах. | 102 |
| § 19. Електричний струм у рідинах | 105 |
| § 20. Застосування електролізу | 110 |
| <i>Лабораторна робота № 9</i> | 114 |
| § 21. Електричний струм у газах | 116 |
| § 22. Види самостійних газових розрядів | 120 |
| § 23. Електричний струм у напівпровідниках | 125 |
| Підбиваємо підсумки розділу 2 «Електричний струм» | 130 |
| Завдання для самоперевірки за розділом 2 «Електричний струм». | 132 |
| Енциклопедична сторінка. | 136 |

Розділ 3. Магнітне поле

| | |
|---|-----|
| § 24. Постійні магніти. Магнітне поле. Лінії магнітної індукції | 138 |
| § 25. Магнітне поле Землі | 142 |
| § 26. Магнітна дія струму. Магнітне поле провідника зі струмом | 145 |
| § 27. Електромагніти та їх застосування | 149 |
| <i>Лабораторна робота № 10</i> | 153 |
| § 28. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Правило лівої руки. Електричні двигуни. | 154 |
| § 29. Електровимірювальні прилади. Гучномовець | 160 |
| § 30. Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції. | 164 |
| Підбиваємо підсумки розділу 3 «Магнітне поле» | 168 |
| Завдання для самоперевірки за розділом 3 «Магнітне поле» | 170 |
| Енциклопедична сторінка. | 172 |

Розділ 4. Атомне ядро. Ядерна енергетика

| | |
|---|-----|
| § 31. Атом і атомне ядро | 174 |
| § 32. Радіоактивне випромінювання | 179 |
| § 33. Активність радіонукліда. Правила зміщення | 184 |
| § 34. Поглинута та еквівалентна дози йонізуючого випромінювання | 189 |
| § 35*. Отримання та використання радіоактивних ізотопів | 194 |
| § 36*. Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор | 198 |
| § 37. Екологічні проблеми атомної енергетики | 201 |
| <i>Лабораторна робота № 11</i> | 205 |
| Підбиваємо підсумки розділу 4 «Атомне ядро. Ядерна енергетика» | 208 |
| Завдання для самоперевірки за розділом 4 «Атомне ядро. Ядерна енергетика». | 210 |
| Енциклопедична сторінка. | 212 |
| Фізика та науково-технічний прогрес. | 214 |
| Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки | 220 |
| Алфавітний покажчик | 221 |

Навчальне видання

*БОЖИНОВА Файна Яківна,
КІРЮХІН Микола Михайлович,
КІРЮХІНА Олена Олександрівна*

ФІЗИКА. 9 клас

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів

Фаховий редактор *Г. Ю. Венрік*
Редактор *І. Л. Морєва*
Технічний редактор *А. П. Твердохліб*
Художник *В. В. Зюзюкін*
Фотографії *В. В. Хлисту*
Коректор *Н. В. Красна*

Підписано до друку 19.06.09. Формат 70×100/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна.

Друк офсетний. Ум. друк. арк. 18,2. Обл.-вид. арк. 21,84.

Наклад 118 542 прим. (1-й завод 1—50 000 прим.)

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008.

61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а.

Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355.

E-mail: office@ranok.kharkov.ua

www.ranok.com.ua

Надруковано в друкарні ім. Фрунзе. м. Харків, вул. Донець-Захаржевського, 6/8.
Тел. 731-36-96. Зам. 5707-09