

Вступ

Розвиток науки про електрику і магнетизм від античності до початку XX сторіччя

Історію природничих наук, цю історію війни та звитяги морально-духовних сил у протистоянні страхів, зарозумілості, вайлуватості, забобонові і дурості, слід оповідати так, аби кожним, хто її почує, неунікнено опанувало прагнення до духовно-тілесного здоров'я і процвітання, почуття радості від того, що він є спадкоємцем і продовжувачем людського, і все благородніша потреба в дії.

Фрідріх Ніцше

Вивчаючи різні науки, не тільки корисно, але і необхідно знати історію їх розвитку, основні етапи виникнення ключових ідей і уявлень. І річ не тільки у бажаному широкому кругозорі інженера, вченого чи необхідності віддати належне історичним постатям, які цю науку створювали. Дослідник, який добре ознайомлений з історією своєї та суміжних галузей науки, знає про помилкові і тупикові напрями досліджень, які з часом були відкинуті. Давно відомо, що природничі науки розвиваються передусім завдяки допущеним помилкам, їх переосмисленню і подальшому виправленню. Влучно і доречно на цю тему висловився французький філософ Етьєн Кондільяк: “Для кожного, хто хоче досягти успіху у відшуканні істини, важливо знати промахи тих, хто думав, ніби відкрив шлях до неї. Досвід філософа, як і дослід керманіча, полягає у знанні підводних каменів, на які наштовхнулися інші; а без такого знання жоден компас не може вказати йому дорогу.”

☑ Найдавніші відомості про електричні та магнітні явища. Прояви електричних і магнітних явищ були знайомі людям з давніх-давен. Яких-небудь достовірних відомостей про зацікавленість магнітами і практичне використання їх давніми цивілізаціями до нас не дійшло, хоча вже у ті далекі часи люди мали справу із залізом, найчастіше метеоритного походження. Невідома навіть приблизна дата, коли людство навчилося отримувати залізо із руди, поклади якої на Землі є доволі значними. Археологічні знахідки вказують, що приблизно 1400 р. до нашої ери це вже вміли хети – народ, що проживав на частині території Малої Азії – теперішньої Туреччини.

Найдавніші письмові свідчення про магніти походять із Китаю. Понад 2000 років тому китайський історик Сума Тзян зібрав доволі надійні уривки давніх літописів, у яких описано застосування природних постійних магнітів. За різними джерелами вже у III ст. до н. е. у Китаї використовували магнітні компаси. В арабському світі компас був відомий у VIII ст, а у Європу він потрапив через арабських мореплавців Середземного моря у XII ст. Відтоді магнітні компаси, суміщені із сонячними годинниками, стали незамінними приладами у мореплаванні.



Рис. 1. Стародавній китайський компас, виготовлений у формі ложки. Витупклою поверхнею ложка спирається на плоску поверхню. Під впливом магнітного поля Землі ложка повертається, вказуючи ручкою напрямком на Південь

Найперша письмова згадка про компас у Європі належить перу англійського гуманіста, письменника-енциклопедиста О. Неккама (1157–1217 рр.). У своєму трактаті “Хвала божественній мудрості”, скорочений варіант якого відомий за назвою “Про природу речей”, Неккам описав будову і принцип застосування компасу.

✍ **Антична наука про електричні і магнітні явища.** З магнітами та їхніми основними властивостями людство було знайоме з давніх-давен. Властивості магніту викликали подив і захоплення. Платон писав про “божественну силу магніту”, яка “передається від заліза до заліза подібно тому, як натхнення передається через поета і декламатору, і слухачу”. Немає потреби докладно цитувати висловлювання стародавніх філософів, бо їх міркування не містять жодного раціонального зерна у розумінні справжньої фізичної природи магнетизму. Наприклад, у правилах мореплавання античності і раннього середньовіччя стверджувалося, що цибуля і часник знищують дію магніту, тому стерновим на суднах категорично забороняли вживати їх у їжу. Варто згадати про окремі ранні уявлення античних філософів, які значно вплинули на наступні покоління дослідників.

Грецькі філософи Фалес, Анаксагор, Діоген, Епікур, Демокріт та інші у своїх працях і поетичних творах приділяли значну увагу чудесним властивостям магнітів і робили перші спроби їх пояснити.

Римляни перейняли міркування про магніти та їхні властивості переважно від греків і майже нічого не додали до здобутків попередників. Відомий римський поет I ст. до н. е. Тіт Лукрецій Кар, який присвятив свою знамениту поему “Про природу речей” тлумаченню вчення давньогрецького мислителя Епікура, в останній шостій книзі поеми описує магніт

та пояснює його унікальні властивості. З рядків поеми (переклад з латинської Андрія Содомори)

Врешті ще й те поясню, за яким це законом природи
Може залізо до себе притягувати той знаменитий
Камінь, що греки магнітом його недарма йменували,
Бо як гадають, походить він саме з вітчизни магнетів

бачимо, що навіть греки достеменно не знали походження назви магніту. А ось як пояснює поет властивості магнітів:

Ось що, по-перше, скажу тобі: з каменя мусять роями
Тільця злітати, які геть розганяють собою повітря,
Що заповнює простір між каменем тим і залізом.
Тільки-но звільниться весь отой проміжок, тільки-но пуста
Там запанує на мить, – як одразу в юрбу позбивавшись,
Первоначатки заліза туди стрімголов усі ринуть.
Ну, а за ними – й кільце поривається всім своїм тілом.

У середні віки головною науковою парадигмою була алхімія. Якихось систематичних досліджень магнітних явищ у цей період не відбувалося. Зрідка згадували про магнетизм заліза у загальному алхімічному трактуванні властивостей металів, їх облагородження, трансмутатії тощо. Зокрема, було виявлено деякі нові магнітні явища. Арабський вчений Джабір ібн Хайан (721–815 рр.) (латинізоване ім'я Гебер) виявив явище старіння магнітів. Він писав: “У мене був магніт, який піднімав 100 драхм заліза. Я дав йому полежати деякий час і підніс до нього інший шматок заліза. Магніт його не підняв. У шматку виявилося 80 драхм. Отже, сила магніту ослабла”.

Починаючи від XIII століття, почасти завдяки хрестовим походам, спостерігається пожвавлення світського життя, поступовий розвиток наук, мистецтв, що згодом переросло в епоху Відродження. У це століття, крім Роджера Бекона, жили і працювали такі видатні особистості, як Альберт Великий, Фома Аквінський, Вільгельм Оккам, Вітелло та інші. З-поміж них помітною особистістю є Петро Перегрин (Петро із Марикура) – французький вчений та інженер. Його перу належить невеликий за обсягом науковий трактат “Послання про магніт”, який датують 1269 р. На фоні тодішніх фантастичних уявлень про властивості магнітів твір Петра Перегринна треба розцінювати як перше серйозне експериментальне дослідження властивостей магнітів.

У своїх експериментах П. Перегрин виявив, що магніт має два полюси, описав метод встановлення північного і південного полюса, сформулював правило, що однойменні полюси відштовхуються, а різнойменні притягуються. Експериментально він також встановив, що кожний шматок магнетиту є повноцінним магнітом. У трактаті Петро Перегрин описує конструкцію магнітного інструмента, за допомогою якого визначають азимут Сонця, Місяця і будь-якої зірки. До речі,

Перегрин описав перший проект “вічного двигуна” з магнітом, яким започаткував цілу низку такого типу “проектів”.

У наступні три століття після Перегринна не було опубліковано скільки-небудь важливого дослідження магнітів – принаймні до нашого часу такі твори не збереглися. Однак це ще не свідчить, що тоді магнітам та їх практичним використанням не надавали жодної уваги. Геніальний винахідник і природознавець середньовіччя Леонардо да Вінчі відверто визнав свою та своїх попередників безпорадність у розумінні магнітних явищ, заявляючи, що “не бачить способу, яким би розум людський міг пояснити це явище”.

Впродовж тисячоліть накопичилося доволі багато експериментальних фактів про магніти та їхні основні властивості. Окрім сумнівного використання для ворожіння, в магічних ритуалах тощо магніти набули практичного використання. Нарешті 1600 р. англійський вчений Вільям Гільберт опублікував монументальну працю “Про магніт, магнітні тіла та великий магніт – Землю”. Цей науковий трактат В. Гільберта унікальний у багатьох аспектах, зокрема як перша в історії науки книга, яку можна вважати прототипом сучасних монографій, присвячених комплексному і всебічному вивченню окремих наукових проблем. Стиль написання пізніших монументальних творів Ньютона, Ампера, Фарадея, Максвелла та інших дослідників значною мірою наслідує стиль Гільберта з його лаконічністю, логічною послідовністю, точністю висловлювань, чіткою аргументацією висновків.

Вільям ГІЛЬБЕРТ (1544–1603 рр.)



Англійський лікар і природодослідник, засновник науки про електрику та магнетизм. Народився у м. Колчестер (графство Ессекс) у сім'ї високопоставленого чиновника. Після завершення навчання у місцевій класичній школі 1588 р. навчається в Кембриджі. 1560 р. він отримує ступінь бакалавра, а 1564 р. – магістра філософії. 1569 р. він стає доктором медицини.

Декілька років Гільберт подорожував Європою, а потім оселився в м. Лондоні. Там 1573 р. він стає членом Королівського медичного коледжу. Завдяки значним успіхам у практичній медицині королева Єлизавета I призначила його своїм лейб-медиком. Заняття медициною поєднував із

науковими дослідженнями. Основним науковим досягненням Гільберта стала видана 1600 р. книга “Про магніт, магнітні тіла та великий магніт – Землю”. Публікація цього монументального твору стала знаковою подією в історії науки.

Все, що було відомо про магніти до 1600 р., зібрав, систематизував і докладно проаналізував В. Гільберт у цій книзі. Тут наведено понад 600 дослідів із магнітами, причому значну частину дослідів розробив і власноручно провів автор. Аналізуючи досліди із різними магнітними тілами, зокрема і кулястої форми (Гільберт назвав такі магніти “гереллю”, що з латинської можна перекласти як “землиця”), він дійшов правильного висновку, що Земля являє собою великий магніт. До Гільберта про магнетизм Землі навіть і не підозрювали. Повертання стрілки магніту у бік Північного полюса в середні віки пояснювали дією північних полярних зірок. Наприклад, вважали, що під хвостом Великої Ведмедиці знаходиться великий магніт, який і притягує стрілку компаса.

Природа магнетизму для Гільберта так і залишилася таємничою. Він, як і його попередники, вірили в існування у магніті душі. Деяку ясність у трактування природи магнетизму намагався внести французький фізик і філософ Рене Декарт (1596–1650). Його гіпотеза про існування особливої магнітної субстанції, відповідальної за магнітні властивості, була впродовж багатьох років доволі популярною і поширеною, проте все-таки виявилася хибною. Що ж стосується електромагнетизму, то Гільберт не вважав, що електричні і магнітні явища пов'язані між собою, не вбачав спільної природи у цих фізичних феноменах.

Має повну рацію Е. Уїттекер, коли пише, що “...*відкриття в галузі магнетизму Петра Перегрина, Вільяма Гільберта, а також гіпотеза магнітної субстанції Рене Декарта до середини XVII сторіччя піднесли магнетизм до рангу окремої науки*”. Правда, друга половина XVII ст. та перша половина наступного не внесли у розуміння природи магнетизму нічого нового. Тільки 1759 р. Франц Епінус звернув увагу на певну схожість електрики і магнетизму, що дало йому підстави висунути гіпотезу про існування двох типів магнітних рідин, відповідальних за магнітні властивості. Цю гіпотезу розвинув шведський вчений Джон Вільке (1778 р.) та голландський дослідник Антон Бругманс.

Що стосується електрики, то успіхи у цій галузі довгий час були доволі скромними. Тільки 1650 р. відомий винахідник повітряного насоса, бургомістр Магдебурга *Отто фон Геріке* (1602–1686 рр.) виготовив кулю із сірки і насадив її на металеву вісь, прикріплену до дерев'яного штатива. За допомогою ручки кулю обертали і натирали долонями рук або сукном, яке притискалося до кулі руками. Це була перша електростатична машина. Геріке вдалося зауважити слабе свічення кулі у темноті під час електризації. Окрім того, Геріке вперше зауважив, що предмети, притягнуті наелектризованою кулею, через деякий час відштовхуються від неї. Це явище довгий час не мало фізичного пояснення.



Марка, випущена в НДР, присвячена Отто фон Геріке. Поруч з портретом дослідника зображено півсфери, які він використовував для демонстрації тиску атмосфери

З листа німецького вченого Г. В. Лейбніца до Геріке від 1672 р. відомо, що Лейбніц, користуючись електростатичною машиною, спостерігав електричну іскру. Це була перша історична згадка про це загадкове явище.

Впродовж першої половини XVIII сторіччя електростатичні машини були суттєво удосконалені: кулю із сірки замінили скляною, а згодом замість куль і циліндрів стали застосовувати скляні диски. Для натирання використовували шкіряні подушечки, які покривали попередньо амальгальною (сплав ртуті із металами) і притискали пружинами до рухомих частин електростатичної машини. Винайдення електростатичних машин мало важливе значення для подальших досліджень статичної електрики. Вони стали незамінними атрибутами кожної дослідницької лабораторії, використовувалися не тільки вченими, але й аматорами.

У 1729 р. Шарль Дюфе встановив, що у природі існують два типи зарядів, які він назвав “скляними” та “смоляними”. Перші виникали на склі, натертому шовком, а другі – під час натирання бурштину хутром. Американський



фізик і громадський діяч Бенджамін Франклін (1706–1790 рр.) запропонував називати їх, відповідно, **додатними** та **від’ємними**. Того самого року англійський фізик Стефан Греї (1666–1736 рр.) повідомив науковому співтовариству про своє відкриття, яке показало, що електричний заряд скляної трубки може передаватися іншим тілам і надавати їм такої самої властивості притягати або відштовхувати легкі тіла. Це був надзвичайно важливий на ту пору результат, який дав змогу краще зрозуміти природу електрики.

Продовжуючи дослідження Грея, англійський фізик Джон Теофіл Деагаюльє (1683–1744 рр.)

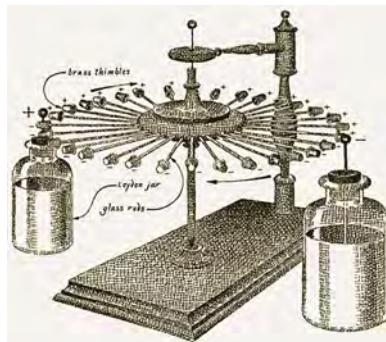
запровадив поняття про клас речовин, які він назвав провідниками, до яких насамперед належать метали. До речі, С. Греї зробив ще одне відкриття, експериментально показавши, що електричний заряд розподіляється по поверхні зарядженого тіла. Для цього він виготовив два однакові за формою тіла, одне з яких було пустотілим. Якщо ці тіла однаково наелектризувати, то вони чинять однакову дію.

Описані вище відкриття дали підстави запровадити поняття про специфічну субстанцію – *електричну рідину*. Продовжуючи досліди Дюфе, аббат Жан Антуан Нолле (1700–1770 рр.) пояснював електричні явища рухом у протилежних напрямках двох потоків специфічної рідини, присутніх у всіх тілах за будь-яких умов. Б. Франклін висунув кардинально іншу теорію електричних явищ. Він стверджував, що існує тільки один тип електричних зарядів – спеціальна безмасова субстанція (флюїд), який у нейтральному стані у певній кількості містить кожна речовина. Якщо цього флюїду не вистачає, то тіло буде від'ємно зарядженим. Надлишок електричного флюїду – ознака додатно зарядженого тіла. За теорією Франкліна однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменні заряджені – притягуються. Електричний флюїд може перетікати під час безпосереднього контакту від одного тіла до іншого, що наочно спостерігається під час явища розрядів.

Уявлення про електрику як специфічні флюїди не було чимось принципово новим для тодішньої фізики. Адже теорія теплоти також ґрунтувалася на уявленнях про специфічну невагому рідину – теплець. Тоді вже було розроблено аналітичну теорію теплопередачі, що, своєю чергою, відкривало добрі перспективи для побудови теорії електричних явищ.

Франклін досліджував атмосферну електрику. На картині англо-американського художника Бенджаміна Веста “Бенджамін Франклін досліджує атмосферну електрику”, 1816 р. (Філадельфія, Музей мистецтв) в алегоричній формі зображено його досліди. Найважливішим результатом досліджень Франкліном атмосферної електрики стало винайдення ним 1749 р. блискавковідводу.

Франклін спостеріг цікаве явище. Якщо до зарядженої кулі близько піднести гострий заземлений предмет, наприклад, вістря кинджалу, то куля розряджається на вістря, причому під час цього процесу у темноті можна було спостерігати помітне свічення вістря. Ґрунтовне дослідження цього феномену призвело до побудови 1748 р. Франкліном “електричного колеса”, яке



оберталося завдяки “електричній силі” двох протилежно заряджених лейденських банок. Поруч наведено оригінальний рисунок з роботи Франкліна, де описано принцип роботи електричного колеса. Цей винахід став прототипом багатьох пізніших конструкцій так званих *електростатичних двигунів*, які аж до сьогодні є предметом досліджень і мають добрі перспективи застосувань у окремих галузях техніки і науки.

Утвердження у науковому світі кардинальної ідеї про “флюїдну” природу електрики спонукало дослідників електричних явищ до спроби “накопичити” електричні заряди у посудині, де вони могли б зберігатися. Серед багатьох фізиків, які зайнялися подібними експериментами, найбільшого успіху досяг голландець Пітер Мушенброк, який займав посаду професора університету м. Лейдена. Знаючи, що скло не проводить електрику, він 1746 р. взяв скляну колбу з водою, опустив у неї мідний дріт, під’єднаний до електричної машини, і спробував наповнити колбу електрикою. При цьому він правильно припустив, що заряди, які надходили з електростатичної машини, будуть накопичуватися у скляній банці.



Під час необережного від’єднання дроту від ковби Мушенброк отримав дуже сильний удар. Так було винайдено **лейденську банку** (за назвою м. Лейдена). Заради об’єктивності варто зазначити, що незалежно від П. Мушенброка дещо швидше (1745 р.), подібний до лейденської банки пристрій створив німецький релігійний діяч і фізик-аматор Евальд Клейст. Англійський фізик та історик науки Джозеф Прістлі назвав лейденські дослідження найважливішим відкриттям у галузі електрики у XVII ст.

Досліди Мушенброка справили справжню сенсацію не тільки серед фізиків, а й багатьох фізиків-аматорів, які цікавилися електричними дослідженнями. Експериментували з лейденською банкою фізики різних країн. Особливо докладні дослідження провів Бенджамін Франклін. Він задумався над питанням, де власне “сидять заряди у лейденській банці”. Франклін зробив висновок, що заряд накопичувався у склі. Насправді це твердження – помилкове. Тільки 1922 р. фізик Дж. Адденброк довів, що заряди у лейденській банці накопичуються на тонкій водяній плівці, яка за стандартних умов завжди є на поверхні скла.

Найважливішим наслідком винаходу лейденської банки стало встановлення впливу електричних розрядів на організм людини, що призвело до зародження електромедицини. Це було перше порівняно широке практичне застосування електрики, що сприяло поглибленому вивченню

електричних явищ. Завдяки лейденській банці вдалося вперше отримати штучну електричну іскру.

Поступово конструкцію лейденської банки вдосконалювали: воду замінили дробом, а зовнішню поверхню покрили тонкими свинцевими пластинами; пізніше внутрішню і зовнішню поверхні почали покривати олов'яною фольгою, і банка набула сучасного вигляду.

Під час досліджень з банкою 1746 р. англієць Б. Вільсон встановив, що кількість електрики, яка накопичується в ній, пропорційна розміру обкладок і обернено пропорційна до товщини ізоляційного шару. Незабаром металеві пластини почали розділяти не склом, а повітряним проміжком – так з'явився найпростіший повітряний конденсатор.

☑ **Встановлення закону взаємодії зарядів.** Математичний закон взаємодії заряджених тіл експериментально встановив французький фізик Шарль Кулон 1785 р. Правда, ще до нього було зроблено частково вдалі спроби з'ясувати кількісні співвідношення у характері взаємодії зарядів (Ф. Епінус, Дж. Прістлі), але точних експериментальних вимірювань вони не провели і не сформулювали чітких заключних висновків. Найточніше формулювання закону взаємодії зарядів дав англійський природодослідник *Генрі Кавендіш* (1731–1810 рр.). Для цього він провів низку оригінальних кількісних дослідів із зарядженими металевими сферами. Основний заключний висновок Кавендіша сформулював так: *“Таким чином, ми можемо зробити висновок, що електричне притягання (або відштовхування) має бути обернено пропорційне відстані у степені у межах $2-1/50$ і $2+1/50$ і немає підстав вважати, що закон відрізняється від закону “обернених квадратів”*. Така впевненість Кавендіша ґрунтувалася на поширенішому у наукових колах того часу переконанні про можливу спільну природу гравітаційної і електростатичної взаємодій.

Дослідження Кавендіша з електрики не були відомі широкому колу вчених, бо тільки 1879 р. Дж. Максвелл опрацював і опублікував окремим томом усі праці Кавендіша. Швидше за все не знав про роботу Кавендіша з електростатики і Ш. Кулон, коли розпочав свої експерименти. Але навіть коли б він і знав про дослідження Кавендіша, вимірювання сили електричної взаємодії мало сенс з двох причин. По-перше, фундаментальний фізичний закон повинен мати строге математичне формулювання без припущень, гіпотез чи здогадок. По-друге, Кавендіш не оперував поняттям величини електричного заряду як кількісної характеристики зарядженого тіла. Власне Ш. Кулон утверджує у фізиці поняття про електричний заряд як *притаманну матеріальним тілам кількісну фізичну величину, яка характеризує здатність тіл вступати у електромагнітну взаємодію*.

Шарль Огюстен де КУЛОН (1736–1806 рр.)



Видатний французький інженер і фізик, один із засновників електростатики. Починав діяльність як військовий інженер. Від 1770 р. займався науковими дослідженнями. Публікував роботи з технічної механіки. Вивчав статичку споруд, розробляв актуальну на той час теорію вітрових млинів. Дослідив деформацію кручення пружних ниток. Встановив закони сухого тертя. Від 1785 до 1789 р. опублікував сім книг, у яких сформулював закон взаємодії електричних зарядів та магнітних тіл. Сформулював закономірність розподілу електричних зарядів по поверхні провідника. Вперше ввів у фізику поняття магнітного моменту та поляризації зарядів.

Заряд, разом із масою, належить до найважливіших характеристик фізичних тіл. Важливо зазначити, що заряд завжди пов'язаний із матеріальним тілом. Виявилось, що уявлення про заряд як специфічну безмасову субстанцію (флюїд), що може перетікати від тіла до тіла під час їхнього безпосереднього контакту, не відповідає дійсності.

Успіх Кулона насамперед зумовлений тим, що він сконструював і виготовив для дослідження взаємодії зарядів спеціальні крутильні терези. Адже до цього Кулон ґрунтовно вивчав пружні кручення ниток і встановив формулу, що сила закручування нитки пропорційна куту закручування, четвертому степеню діаметра нитки й обернено пропорційна довжині нитки. Ця властивість пружних ниток давала можливість доволі точно вимірювати невідомі сили, порівнюючи їх із силою закручування нитки. Власне, цю ідею і реалізував Кулон у крутильних терезах.

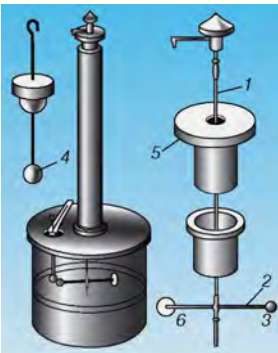


Рис. 2. Крутильні терези Кулона. Легке кварцове коромисло 2, підвішене на пружній тонкій нитці 1, закінчується з одного боку металевою кулькою 3, а з іншого — протилежною 6. Через отвір у кришці можна вносити всередину наелектризовану кульку 4, однакову за розміром з кулькою 3. Кулон торкався кулькою 4 до кульки 3. При цьому заряд перерозподілявся між цими кульками, і вони відштовхувалися одна від одної. Коромисло поверталось і закручувало нитку доти, доки сила пружності, що виникла в нитці, не врівноважувала силу електричної взаємодії