

Міністерство освіти і науки України  
Волинський національний університет імені Лесі Українки  
Навчально- науковий фізико- технологічний інститут  
Кафедра експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій

**Григорій Кобель, Ніна Головіна, Олександр Мартинюк,  
Валентин Савош**

## **ІСТОРІЯ ФІЗИКИ**

(конспект лекцій для студентів фізичних спеціальностей  
університетів)

Вежа-Друк

Луцьк – 2024

УДК 53(091)(07)

I-89

*Рекомендовано науково-методичною радою Волинського  
національного університету імені Лесі Українки  
Протокол № 7 від 27.03.2024 р.*

*Рецензент:*

**Шигорін П. П.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського Волинського національного університету імені Лесі Українки.

**Кобель Г.П., Головіна Н.А., Мартинюк О.С., Савош В.О.**

I-89 Історія фізики: конспект лекцій для студентів фізичних спеціальностей. Луцьк: Вежа-Друк, 2024. 132 с.

Конспект лекцій розрахований для студентів фізичних спеціальностей університетів, які вивчають курс історії фізики. Видання корисне студентам при вивченні загальної фізики, а також вчителям фізики закладів освіти різного типу.

УДК 53(091)(07)

© Кобель Г. П., Головіна Н. А., Мартинюк О.С., Савош В.О. 2024

© Волинський національний університету імені Лесі Українки, 2024

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Зародження фізичних уявлень .....	5
2. Фізичні концепції епохи античності .....	5
2.1. Специфіка перших систем теоретичного фізичного знання.....	5
2.2. Концепція атомістики.....	7
2.3. Фізичне вчення Платона .....	8
2.4. Фізика Арістотеля –“батька фізики” .....	8
2.5. Статика і гідростатика Архімеда .....	10
2.6. Оптика Евкліда і Птолемея .....	12
3. Фізика епохи феодалізму .....	13
4. Епоха Відродження. Виникнення наукової революції. М. Коперник. Дж. Бруно і Г. Галілей. Повалення схоластичного світогляду. Ф. Бекон і Р. Декарт.....	18
4.1. Вплив потреб практики та інженерії на розвиток фізики .....	21
4.2. Експериментальні фізичні дослідження Леонардо да Вінчі.....	21
4.3. Вплив геліоцентричної концепції М. Коперника на розвиток фізики .....	23
5. Розвиток фізики в XVII ст. Ісаак Ньютон .....	25
6. Зародження термодинаміки (Саді Карно).....	38
7. Електрика і магнетизм .....	49
8. Виникнення і розвиток теорії електромагнітного поля.....	59
9. Термодинаміка випромінювання.....	68
10. Створення класичної електронної теорії .....	85
11. Дослідження у галузі атомної фізики .....	91
12. Дослідження в галузі фізики атомного ядра .....	101
13. Фізика у XXI столітті .....	113
Додатки .....	126

## ВСТУП

Метою курсу історії фізики є розкриття, становлення і розвитку фізики від зародження до сучасного часу: висвітлення основних фізичних понять і законів у їх історичному розвитку, сприяння поглибленню знань студентів з фізики та розвитку їх діалектичного мислення.

Для досягнення мети передбачається:

- ознайомитися з методами пізнання природних явищ та структурою пізнавального процесу;
- висвітлити різні підходи до періодизації розвитку фізичної науки;
- ознайомитися з еволюцією фізичних картин світу;
- показати роль особистості в історії фізичної науки;
- розкрити особливості організації наукових досліджень на сучасному етапі розвитку суспільства;
- висвітлити можливості використання історичного матеріалу у навчально-виховній роботі в школі з метою поглиблення знань учнів з фізики, розвитку пізнавального інтересу до предмету, розвитку наукового світогляду та ін.;
- після вивчення предмету студенти повинні одержати знання: про розвиток фізики у стародавні часи, про значення античної і середньовічної науки в історії культури; про розвиток експериментальної науки і наукового світогляду в епоху відродження; про становлення фізики як науки та розвиток її основних галузей у XVII, XVIII, XIX, XX, XXI століттях; про видатних учених різних часів, які своїми працями формували і розвивали фізику на різних етапах існування людського суспільства; про еволюцію фізичних картин світу та закони пізнання природи.

## **1. ЗАРОДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ УЯВЛЕНЬ**

Від ранніх цивілізацій, що виникли на берегах Тигру, Євфрату і Нілу (Вавилон, Ассирія, Єгипет), не залишилося ніяких свідчень про досягнення в галузі фізичних знань, за винятком знань, упередметнених в архітектурних спорудах, побутових виробах і т.п. Зводячи різного роду споруди і виготовляючи предмети побуту, зброї і т. д., люди використовували певні результати численних фізичних спостережень, технічних дослідів, їх узагальнень. Можна сказати, що існували певні емпіричні фізичні знання, але не було системи фізичних знань.

Фізичні уявлення у Древньому Китаї з'явилися також на основі різного роду технічної діяльності, у процесі якої вироблялися різноманітні технологічні рецепти. Природно, що насамперед вироблялися механічні уявлення. Так, китайці мали уявлення про силу (те, що змушує рухатися), протидію, (те, що зупиняє рух), важелі, блоки, порівняння ваг (зіставленні з еталоном). У галузі оптики китайці мали уявлення про утворення оберненого зображення в "camera obscura". Вже у VI до н.е. вони знали явище магнетизму – притягання заліза магнітом, на основі чого був створений компас. У галузі акустики їм були відомі закони гармонії, явища резонансу. Але це були ще емпіричні уявлення, що не мали теоретичного пояснення.

У Древній Індії основу натурфілософських уявлень складають учення про п'ять елементів - землю, воду, вогонь, повітря й ефір. Існував також здогад про атомну будову речовини. Були розроблені своєрідні уявлення про такі властивості матерії, як тяжкість, плинність, в'язкість, пружність і т.д., про рух і причини, що його зумовлюють. До VI ст. до н.е. емпіричні фізичні уявлення в деяких галузях виявляють тенденцію переходу у своєрідні теоретичні побудови (в оптику, акустику).

## **2. ФІЗИЧНІ КОНЦЕПЦІЇ ЕПОХИ АНТИЧНОСТІ**

### **2.1. Специфіка перших систем теоретичного фізичного знання**

У світлі сучасних історико-наукових досліджень вважається, що основи теоретичного фізичного знання закладалися в епоху античності у Древній Греції та інших країнах Середземномор'я. Державний устрій типу рабовласницької демократії, відносна терпимість до вибору релігійних вірувань дозволяли обговорювати проблеми природознавства і здійснювати розмежування науки і релігії при

вирішенні цих проблем. Це сприяло появі спочатку різних натурфілософських концепцій на основі спостережень і експериментів, потім розробці теоретичних фізичних концепцій. У силу низького рівня розвитку техніки, недооцінки кількісних розрахунків і відмежованості потреб рабовласницького виробництва від досягнень науки, експеримент в епоху античності не став ні методом систематичної перевірки одержуваних знань, ні основним джерелом емпіричних знань. Але поступово на зміну міфологічним поясненням явищ дійсності стали приходити спроби їхнього наукового обґрунтування.

Основне питання, що займало мислителів у цей час було питання про співвідношення єдиного і множинного (інакше кажучи, з якого початку утворилася множина речей, що нас оточує).

Родоначальником першої грецької філософської школи, яка дістала назву іонійської, був Фалес з Мілета (624 – 547 р. до н.е.). Від Фалеса беруть початок наші знання з електрики та магнетизму. Він описує властивості натертого бурштину притягувати легкі предмети і властивості магніту притягувати залізо.

**Фалес**, висловив думку про те, що всі речі розвинулися з води. Він по суті зробив революційний переворот у світогляді, що означав відмову від міфологічного пояснення явищ дійсності на користь уявлень про них як про перетворення речовин. Значення цього перевороту в культурі суспільства важко переоцінити, тому що по суті своєї сучасні уявлення про дійсність укладаються в цю парадигму (розуміється в конкретизованому вигляді). Слідом за Фалесом цим шляхом пішли Геракліт(544 – 470р. до н.е.), що висловив ідею про вогонь, як першооснову всього існуючого, Анаксимандр (610 – 546р.до н.е.) – апейрон – деяка першоматерія, Анаксагор (б. 500 – 428р. до н.е.) – гомемерії – прообрази атомів (кожна річ складається із дрібних, невидимих для ока, подібних до самої речі частин - кістка складається із малесеньких кісточок), Анаксімен(б. 585–525 р.до н.е.) - повітрі. Емпедокл (490–430р. до н.е.) - чотирьох стихіях (вогні, повітрі, воді і землі). Таким чином, іонійські натурфілософські концепції стверджували ідею про дійсність як безупинний процес перетворення матеріальних елементів (газоподібних, рідких, твердих).

Картина світу, побудована на основі даних концепцій, не мала потреби у божественному втручанні, але її слабкістю був чисто описовий характер, що не допускав кількісних змін. Дана картина була доповнена Піфагором(б.580–500 р. до н.е.), що вніс ідею пояснення

явищ реальності на основі математичної закономірності. Але в галузі фізичних явищ дослідне пізнання підмінювалося містикою чисел. Ідеалом пізнання піфагорійців було пасивне споглядання, а не активний експеримент. Разом з тим для розвитку фізичних концепцій була важливою, встановлена піфагорійцями, можливість операцій з фізичними величинами, зведенням їх до міри і числа, що розширювало можливості людини у перетворенні природи. Таким чином, безсумнівно зміцнювалася ідея про природний характер розвитку дійсності, що здобувала усе більш конкретні обриси і вилилася в атомістичну концепцію, що зіграла величезну роль у розвитку науки.

## **2.2. Концепція атомістики**

Попередні концепції не допускали існування порожнечі. А раз у світі усе заповнено, то рух неможливий – даний принцип стверджувався Парменідом і обґрунтовувався Зеноном Елейським (V ст. до н.е.). Атомістична концепція, початок який було покладено Левкіппом і Демокрітом (б. 460–370р. до н.е.), виходила з визнання порожнечі й атомів, що рухаються в ній - незліченних неподільних часток (що відрізняються один від одного розміром і формою), різні сполучення яких утворюють безліч навколишніх речей. За Демокрітом, атоми нескінченні в числі і різні за формою, а відмінність між предметами залежить від відмінностей між їхніми атомами. Крім визнання порожнечі для атомістичної концепції характерно також визнання принципів збереження матерії (ніщо не може виникнути з нічого) і збереження форм матерії (природа усе розкладає на тіла й у ніщо нічого не переводить, тобто в природі повторюються постійно ті самі форми матерії). Наявність порожнечі (вакууму) було необхідно для існування руху, тому що у заповненому світі речам рухатися нікуди. Епікур (341–270р. до н.е.), на відміну від Демокріта, що виходив з панування необхідності у світі атомів, привніс в атомістику ідею випадкового відхилення атомів від закономірних траєкторій, завдяки чому вони можуть зіштовхуватися й утворювати тіла. Оскільки в поясненнях Демокріта і Епікура відсутні уявлення про взаємне притягання атомів, то з'єднання їх у цілісність при утворенні речей обумовлювалося наявністю в атомів гачечків. Лукрецій Кар (1 ст. до н.е.) вибірковість атомів при об'єднанні в тіла пояснював на основі принципу "подібний прагне до подібного". У поемі "Про природу речей" Лукрецій у поетичній формі виклав основні положення атомістичної концепції. Важливою є ідея про обмін тіл

своїми "витіканнями" - своєрідному прообразі далекодіючих сил притягання. Ідея атомістики виявилася настільки плідної, що проіснувала дотепер.

Концепція атомістики в період античності не могла спиратися на експериментальний доказ існування атомів. Вона спиралася на факти спостереження типу "сходінки палаців поступово стираються", "запахи переносяться", "поблизу моря одяг зволожується" і т.д., що дозволило припустити існування невидимих часток, з яких складається все різноманіття речей.

### **2.3. Фізичне вчення Платона**

Своєрідне фізичне учення викладене Платоном (427–347р. до н.е.) у діалозі "Тімей". Запозичивши у своїх попередників уявлення про чотири види матерії (земля, вода, повітря і вогонь), він зображує їх взаємно перетворюваними. Ці види матерії є проявом первинної матерії. Частки (свого роду молекули) різних видів матерії різняться геометричною фігурою і розмірами. Платон, спираючись на розроблену Теететом Афінським геометрію правильних багатогранників, пояснював властивість видів матерії – твердість, плавкість, повітряподібність, вогнеподібність – геометрією багатогранників. З п'яти видів правильних багатогранників тільки в тетраедра, октаедра і ікосаедра всі грані однакові – вони являють собою рівносторонні трикутники, кожний з яких може бути розбитий на шість прямокутних рівнобедрених трикутників. У додекаедра п'ятикутні грані на однакові трикутники не розділяються. Куб і додекаедр не можуть перетворюватися у такі фігури, у тому числі і один в одного. Оскільки з існуючих видів матерії найбільш стійким і найменш рухливим є Земля, то їй відповідає чотирикутна площина куба, що найкраще забезпечує цю стійкість. Властивість інших видів матерії забезпечуються відповідними багатогранниками.

### **2.4. Фізика Арістотеля –“ батька фізики ”**

Фізичне вчення Арістотеля (384 – 322р. до н.е.) відрізнялося від відповідних Демокріта і Платона своєю "антиатомістичністю". Вважаючи досвід джерелом знань, Арістотель виступав у своїй "Фізиці" проти тлумачення чуттєво сприйманих тіл на основі недоступних спостереженню атомів. Відкидає він і існування порожнечі. Досвід свідчить про те, що чим щільніше середовище, тим більше воно чинить опір руху. У нескінченно розрідженому просторі



опору руху немає, тому рух тіл був би в ньому нескінченним, що неможливо. Фізичний світ Арістотеля базується на принципі природності: кожне тіло знає своє місце. Природний рух виникає тоді, коли тіло прагне зайняти своє природне місце (падаючий камінь прагне вниз, до землі, іскри летять нагору, до небесних вогнів і т.д.). Тобто усі тіла в силу важкості чи легкості прагнуть до центра світу або від нього. Так, у повітрі дерево прагне до центра, а у воді - від нього. В інших випадках, коли немає природних причин руху, він може здійснюватися лише примусово, тобто під дією зовнішніх сил. Таким чином, природний рух можливо під дією тяжкості, у всіх інших випадках - під дією сили. Живі істоти у своєму русі реалізують своє природне призначення (птаха літають, риби плавають і т.д.).

Для пояснення всього існуючого Арістотель використовував чотири первинні якості (причини): матеріальну причину (матерію - те, з чого що-небудь виникає); формальну причину (форму - те, що в пасивній матерії існує як можливість, перетворює в дійсність), що рухає причину (дія - те, що рухає), цільову причину (ціль - те, заради чого що-небудь здійснюється). Матеріальна причина була виділена представниками Мілетської школи (Фалесом, Гераклітом і ін.), формальна причина - Платоном, що рухає причиною - займалися Анаксагор і Емпедокл (у першого дія викликала Нусом, у другого - ворожнечею і дружбою). Родоначальником цільової причини Арістотель вважав себе. За словами Д. Бернала, "ця теорія була бичем для науки в силу того, що вона забезпечувала легкий спосіб пояснення будь-якого явища за допомогою постулювання відповідної мети для нього, не намагаючись виявити те, як воно діє".

Джерелом усякого руху Арістотель вважав нерухомий першодвигун (бога) чи першоформу (що була по суті, планом світу). Рух розумівся Арістотелем як перехід чого-небудь з можливості в дійсність, при цьому він розрізняв такі види руху, як якісний (зміна), кількісний (збільшення і зменшення), переміщення (рух у просторі), виникнення і знищення. Для Арістотеля навколишній світ складався з чуттєво сприйманих взаємоперетворюваних первинних якостей - тепле і холодне, вологе і сухе. Їх комбінації утворюють основні елементи світу (первинні стихії): землю (холодне і сухе), воду (холодне і вологе), повітря (тепле і вологе), вогонь (тепле і сухе). Ці елементи й утворюють усю різноманітність речей навколишнього світу. За природою ці елементи мають властивості тяжкості і легкості. Оскільки Земля важка, то вона перебуває у центрі Всесвіту, над нею

вода, далі повітря і ще далі вогонь. Подібне пояснення не свідчило про сутнісне розуміння законів руху неживої матерії, тобто не вносило в пізнання світу власне фізичного змісту. Тому фізичну концепцію Арістотеля часто називають феноменологічною. Відмовившись від атомістичної концепції, Арістотель не міг об'єктивно сприяти прогресу в розвитку цієї плідної фізичної ідеї. Але його безсумнівною заслугою було створення раціональної, усеосяжної, цілісної, упорядкованої на основі його логіки системи знань, що зробила величезний вплив на розвиток арабської і європейської середньовічної думки.

### **2.5. Статика і гідростатика Архімеда**

Епоха еллінізму характеризувалася найбільшим внеском у розвиток фізики з боку механіки. Потреби в створенні різного роду технічних пристроїв (будівельних, військових і т.д.) висували на перший план питання статичності. Архімед (287–212р. до н.е.), створивши теорію важеля, заклав основи статичності. Будівельна і військова техніка ґрунтувалася на важелі, що дозволяв переміщати в просторі тіла великої ваги при відносно невеликих зусиллях. Проблема важеля з'явилася узагальненням емпірично освоєних прийомів його використання в різних галузях діяльності. У своїх працях "Про рівновагу плоских тіл і центри тяжкості плоских фігур", "Про важелі" Архімед виклав основні постулати теорії важеля:

- рівні ваги на рівних довжинах врівноважуються, на нерівних же довжинах не врівноважуються, але переважає вага на більшій довжині;

- якщо при рівновазі ваг на яких-небудь довжинах до однієї з ваг буде щось додане, то вони не будуть врівноважуватися, але переважить та вага, до якої було додано;

- точно так само, якщо від однієї з ваг буде відняте що-небудь, то вони не будуть врівноважуватися, але переважить та вага, від якої не було віднято;

- якщо дві величини врівноважуються на яких-небудь довжинах, то на тих же самих довжинах будуть врівноважуватися і рівні їм.

Виходячи з цих, багаторазово перевірених на практиці, постулатів, Архімед формулює закон важеля у вигляді наступних теорем:

- співвимірні величини врівноважуються на довжинах, обернено пропорційних вагам;

- якщо величини непорівнянні, то вони точно так само

зрівноважаться на важелях, що обернено пропорційні цим величинам.

Давши визначення центру ваги тіла як розташованої усередині його точки, при підвішуванні за яку воно залишиться в спокої і збереже початкове положення, Архімед визначив центри ваги трикутника, паралелограма, трапеції й інших фігур.

Архімед став також основоположником і гідростатики, законів плаваючих тіл. Цьому був присвячена його праця "Про тіла, що плавають". Гідростатика використовувалася при визначенні густини тіл шляхом зважування їх у воді і при визначенні вантажопідйомності корабля. Логічна схема обґрунтування законів гідростатики відрізнялася від схеми обґрунтування закону важеля. Спочатку Архімед формулює припущення про внутрішню структуру рідини, а потім формулює ряд теоретичних наслідків, що випливають з даного припущення. Архімед виходить з того, що поверхня всякої нерухомо сталої рідини буде мати форму кулі, центр якої збігається з центром Землі, і що рідина по своїй природі така, що з її часток, розташованих на однаковому рівні і прилягаючих одна до одної, менш здавлені виштовхуються більш здавленими і що кожна з її часток здавлюється рідиною, що знаходиться над нею по виску, якщо тільки рідина не перебуває в якій-небудь посудині і не здавлюється ще чимось іншим. Наслідки з цієї гіпотези, виведені математично, такі:

- тіло, рівноважке з рідиною, будучи опущено в цю рідину, занурюється так, що ніяка її частина не виступає над поверхнею рідини, і не буде рухатися вниз;

- тіло, більш легке, ніж рідина, будучи опущено в цю рідину, не занурюється цілком і деяка його частина залишається над поверхнею рідини;

- тіло, більш легке, ніж рідина, будучи опущено в цю рідину, занурюється настільки, щоб об'єм рідини, що відповідає зануреній частині тіла, мав вагу, рівну вазі всього тіла;

- тіло, більш легке, ніж рідина, опущена в цю рідину силою, буде виштовхуватися нагору із силою, рівною тій вазі, на яку рідина, що має рівний об'єм з тілом, буде важча від цього тіла;

- тіло, більш важке, ніж рідина, опущене в цю рідину, буде занурюватися, поки не дійде до самого низу, і в рідині полегшає на величину ваги рідини в об'ємі, рівному об'єму зануреного тіла.

У більш короткому вигляді закон Архімеда формулюється в наступному вигляді: на всяке тіло, занурене в рідину, діє сила, що виштовхує, спрямована нагору і рівна вазі витиснутої ним рідини.

Даний закон виявився справедливим і для газу. Одним з перших випадків практичного застосування даного закону була перевірка складу корони, виготовленої для сіракузького царя Гієрона. На основі того, що короною витіснялася більша кількість води, ніж золотим злитком Архімед установив, що корона складається не з чистого золота, а зі сплаву.

## 2.6. Оптика Евкліда і Птолемея

В епоху античності в галузі оптики насамперед необхідно відзначити роботи з геометричної оптики і перспективи. До їхнього числа належать "Оптика" і "Катоптрика" Евкліда (III ст. до н.е.). Евклід у галузі оптики спирався на розроблену атомістами концепцію зорових променів, відповідно до якої від речей відокремлюються образи, що викликають в оці зорові відчуття. Він геометрично вивів закони перспективи з чотирнадцяти вихідних положень, що були результатом оптичних спостережень. Найбільш важливі з них:

- промені, що виходять з ока, поширюються прямолінійно і розходяться в нескінченність;
- фігура, охоплювана сукупністю зорових променів, є конус, вершина якого розташована в оці, а основа - на поверхні видимих предметів;
- видимі ті предмети, на які падають зорові промені, і невидимі ті, на які зорові промені не падають;
- предмети, видимі під великими кутами, здаються більшими, видимі під меншими кутами здаються меншими, а видимі під рівними кутами здаються однаковими;
- предмети, видимі під великими кутами, розпізнаються більш чітко;
- усі промені мають однакову швидкість;
- промінь є пряма лінія, середні ділянки якої з'єднують кінці;
- усе, що видиме, видиме в прямолінійному напрямку.

Зорові промені розглядаються як лінії поширення світла. Евклідом уперше формулюється закон поширення світла, що є основою геометричної оптики. Архімед у концепцію "променів зору" увів поправки, які базувалися на впливі розміру зіниці на результат виміру. Герон Олександрійський чітко розрізняє оптику (учення про бачення, про природу світла), діоптрику (учення про візирування, візирні інструменти) і катоптрику (учення про відбиття). Розглядаючи відбиття світла від дзеркала він довів, що при рівності кута падіння і кута відбиття сума довжин шляхів, що проходить падаючий промінь

від ока до дзеркала і відбитий промінь від дзеркала до об'єкта, є найменшою відстанню з усіх можливих.

Найбільш повне дослідження заломлення світла здійснене Клавдієм Птолемеєм у його "Оптиці", де описані результати експерименти по заломленню світла в склі і воді, зведені в таблиці, що були дуже точні для свого часу. Він прагнув виявити причину того, що при відбиванні кути падіння і відбивання рівні, а при заломленні кути падіння нерівні кутам заломлення. Він вважав кут заломлення пропорційний куту падіння. Закон переломлення повинен був ще чекати свого відкриття Снелліусом у XVII столітті.

### **3. Фізика епохи феодалізму**

Останні роки до нашої ери і початок нашої ери характеризуються різким загостренням суперечностей, властивих рабовласницькому ладу. Зубожіння широких мас привело до кількох великих соціальних вибухів, серед них найбільший – повстання рабів під керівництвом Спартака, яке відбулося в 72 р. до н. е. Підірвана внутрішніми повстаннями і систематичними нападами варварських племен, Римська імперія, яка об'єднувала під своєю владою весь стародавній світ, на початку нашої ери почала розвалюватися. З падінням імперії на зміну рабовласницькому ладу прийшов новий лад – феодалський. Християнство прибрало до своїх рук функції офіційної державної релігії і зайняло непримиренну позицію щодо античної науки і культури. З самого початку воно виступило проти «язичеської» науки і культури. Так, у 390 р. н. е. християни, керовані александрійським єпископом Феоділом, знищили Александрійську бібліотеку з усіма її стародавніми пам'ятками науки. У 529 р. н. е. імператор Східної Римської імперії Юстиніан розігнав останню філософську школу в Афінах. Християнство за допомогою вогню і меча стає панівною ідеологією, якій протягом тривалого періоду в історії будуть підпорядковані освіта, наука, філософія і т. д. Будь-який прояв вільної думки, що не погоджувався з догмами церкви, зазнавав нещадного знищення. Церква висловила свою повну зневагу до природничих наук, а знайомство з творами стародавніх мислителів і вчених вважала великим злочином. Римський папа Григорій I спеціальною постановою заборонив займатися математикою, філософією та іншими науками, заборонив знайомитися з досягненнями стародавньої науки й культури. І тому зовсім не дивно, що в Західній Європі знання про природу повернулись у цілому ряді питань до рівня, що відповідав

догрецькій науці і філософії.

Епоху феодалізму можна поділити на дві фази: від VI до кінця XI ст. і від XII до кінця XIV ст. Характерною рисою першої фази феодалізму є політична роздрібненість, густа сітка напівсамостійних феодальних володінь з примітивним натуральним господарством і майже цілковита відсутність товарообміну. Церква, яка об'єднала роздрібнені осередки феодального суспільства, сама стає найбільшим феодалом і тримає в своїх руках не тільки ідеологію, а й державну владу. Освіта стає монополією церкви – існували в той час лише так звані монастирські школи, а релігійне мислення було основною формою ідеологічного життя середньовіччя. У другій фазі феодалізму вже існує певний поділ праці між містом і селом, зростають продуктивні сили, інтенсивнішає торговельний обмін, розпочинається гонитва за ринками збуту. Однією з форм завоювання нових ринків були так звані хрестові походи. Вони, незважаючи на всі негативні сторони, мали й позитивне значення: сприяли розширенню кругозору середньовічної людини. Почалося зближення і знайомство європейської та східної наук і культур, нагромаджується науково-природничий матеріал.

Поряд з цим розвиток торгівлі зустрів опір усталених феодальних відносин, а численні невдачі хрестових походів підривали авторитет пануючої церкви – з'явилися єресі. Недостатня богословська підготовка вищих церковних кадрів змусила Інокентія III в 1208 р. відкрити Паризький університет з основним теологічним факультетом і підготовчим факультетом – «факультетом мистецтв». Було відкрито також медичний і юридичний факультети. Основне завдання середньовічних університетів – підготовка вищих богословських кадрів. Навчання в університетах мало схоластичний характер і було повністю присвячене читанню і коментуванню релігійних авторитетів. Поряд з цим у процесі народжуваних богословських суперечок у стінах університетів починає виникати філософська боротьба. Виникають дві філософські течії: реалісти, які вважали, що речі – це привиди, а реальними є поняття, а також номіналісти, які стверджували, що речі конкретні, реальні, а загальними є поняття, імена людей, тобто визнавали первинність предмета і вторинність поняття. Аналіз цих двох філософських течій показує, що «номіналізм був одним з головних елементів у *англійських* матеріалістів і взагалі є *першим виразом* матеріалізму». Номіналісти не тільки намагалися звільнити наукову думку від гніту схоластики, мракобісся, богослов'я,

а й одні з перших виявили тенденції до визнання об'єктивного існування речей.

В університети проникає вчення Геракліта, Демокріта, Епікура, збуджується інтерес до античної науки та культури взагалі. Поряд з розквітом у той час таких псевдонаук, як астрологія, алхімія, магія, з'являються перші паростки нової науки про природу, які вже ґрунтуються не на догмах церкви, а на дослідному вивченні явищ. Цьому сприяло і те, що рівень продуктивних сил наприкінці другої фази феодалізму значно зріс, удосконалились гірничі і металургійні промисловість, народжується оптичне виробництво, зокрема в кінці XIII ст. почато виготовлення окулярів. У Європу проникають винаходи з Китаю та Індії, зокрема компас, порох тощо. Наприкінці XIV ст. було розроблено спосіб виготовлення паперу, а в 1440 р. винайдено книгодрукування.

Велике значення в розвитку середньовічної культури і науки мала Київська Русь, яка перевищувала за рівнем розвитку багато європейських країн. Про це свідчать такі шедеври староруського письменства, як «Слово о полку Ігоровім», «Життя і ходіння Даниїла», «Слово про закон і благодать», «Повість временних літ» та ін. І хоч пізніше розвиток культури Київської Русі був різко загальмований монголо-татарською навалою, саме Русь зупинила завойовників і дала змогу розвиватися європейській науці і культурі.

У XIII ст. з'явився провісник нової експериментальної науки, видатний борець проти середньовічної схоластики англійський філософ Роджер Бекон (1214 – 1294). Вихованець Оксфордського університету, Р. Бекон глибоко вивчив античні й арабські рукописи. Він не тільки рішуче боровся проти схоластики, теології, проти сліпого схиляння перед авторитетами, за що був звинувачений в ересі і заточений інквізицією до в'язниці, але й вперше проголосив нові принципи наукового знання. Бекон стверджував, що авторитет не стане джерелом знань, коли він не підтверджується розумом (аргументом), а розум не підтверджується дослідом. Він учив, що істинне знання здобувається дослідно; сам багато експериментував, зокрема винайшов склад пороху, досліджував властивості пари, знайшов способи діставати в чистому вигляді фосфор, магній, вісмут тощо.

Хоч великого поширення вчення Бекона не набуло, але воно свідчило, що в середньовічній науці намітився новий етап, який характеризувався поступовим переходом до дослідного

природознавства.

Якщо аналізувати досягнення середньовічної фізики, то передусім треба спинитися на дослідженнях арабських учених, учених Сходу, які ґрунтовно опанували античну спадщину, приєднавши до неї індійську і китайську культури з їхніми досягненнями в галузі астрономії, фізики і особливо оптики. Араби широко практикували переклади і писали коментарі до творів стародавніх грецьких учених, завдяки чому багато творів Арістотеля, Архімеда, Птолемея та інших вчених і мислителів дійшли до нас арабською мовою.

Одним з найвидатніших арабських астрономів був Аль-Баттані (858–929), який виправив ряд неточностей в системі Птолемея, зокрема точніше визначив величину випередження рівнодень, величину ексцентриситету сонячної системи; визначив тривалість року, яка виявилася лише на 2 хв. 22 с. меншою від справжньої. Для точнішої обробки астрономічних спостережень Аль-Баттані вперше застосував в астрономії тригонометричні функції. Широко використовував тригонометричні функції для вимірювання різних типів трикутників Абу-Ль-Вафа (940–998). Він виклав основи сферичної тригонометрії і зробив важливі вдосконалення в астрономічних дослідженнях.

Особливо значний вплив на розвиток арабської математики й астрономії мали узбецькі вчені Біруні (973–1048) і Хорезмі (IX ст.). Хорезмі – один з перших засновників алгебри, склав найповніші для того часу астрономічні таблиці, що широко використовувалися наукою, і запровадив запозичену в Індії десяткову систему цифрових знаків. У своїх працях Біруні вимагав відокремити науку від релігії і надати науці самостійності. Він висловив критичні зауваження щодо Птолемеєвої системи, склав правила для визначення питомих ваг мінералів. Не відкидаючи існування бога, Біруні визнавав матерію основою природи: «... всі дії належать матерії. Матерія сама ув'язує і змінює форму речей. Отже, це матерія є творець».

Найважливіші оптичні дослідження серед арабських учених належать Ібн аль-Хайсаму, або Альгазену (965–1039). Альгазен остаточно пориває з теорією зорових променів і, вперше зацікавившись питаннями фізіології зору, сформулював дуже близьку до сучасної теорію про будову ока. Найважливіша частина ока, за Альгазеном, – кришталік. Він правильно пояснює бінокулярність зору – те, що зір обома очима дає одне зображення предмета пояснюється сполученням обох зорових вражень в одне за допомогою спільного



зорового нерва. Дає один з перших описів камери-обскури і доповнює закон заломлення Птолемея, вказуючи на те, що кут падіння і кут заломлення лежать в одній площині. Вводить поняття про кут зору, чим-пояснює збільшення розмірів Сонця та Місяця при наближенні їх до горизонту (заходу й сходу). Саме в цьому випадку земні предмети, що є між оком і світилом, створюють враження збільшення відстані і, отже, збільшення предмета. Цікаві думки Альгазена про швидкість світла.

Грунтовні дослідження в галузі механіки були зроблені Альгаціні в його праці «Книга про терези мудрості» (1121–1122) У цій книзі про терези з рівноплечим коромислом і шальками описано досить точні методи визначення питомої ваги різних тіл. Альгаціні вперше відкрив залежність питомої ваги від температури і вказав на справедливість закону Архімеда для повітря. Він запровадив поняття про кількість речовини і висловив думку, що вага тіла пропорційна кількості речовини в ньому.

Працями Альгаціні та інших арабських вчених було значно піднято техніку вимірювання різних фізичних величин. І хоча з початком ХІІст. арабська наука і культура втрачає свою провідну роль, але значна кількість наукових праць арабів була успішно продовжена. Це, зокрема, можна сказати про оптичні дослідження Альгазена, які набули плідного розвитку в працях Роджера Бекона. Р. Бекон досяг особливо помітних результатів у галузі геометричної оптики. Досліджуючи дію сферичних дзеркал, він помітив, що промені, відбиті цими дзеркалами, не збираються в одній точці, тобто відкрив явище сферичної аберації. Він багато уваги приділив вивченню фізіології зору, виконав перші вимірювання фокусних відстаней лінз і вперше запропонував використовувати окуляри. Цікаві праці виконано ним з дослідження запалювальної здатності дзеркал, довівши, що найбільшу таку здатність мають параболічні дзеркала. Думки Бекона з приводу виникнення веселки при заломленні світла в дощових краплях, набули свого розвитку в працях Теодоріка, який у своєму трактаті з оптики вперше подав теорію веселки.

Інші галузі фізики в період феодалізму не розвивались, а початок ХVст. збігся з початком розкладу феодального суспільства внаслідок зростання продуктивних сил і товарообороту. Народжувалась нова епоха – так звана епоха Відродження, яка відкрила нову сторінку в розвитку науки.

#### **4. Епоха Відродження. Виникнення наукової революції.**

**М. Коперник. Дж. Бруно і Г. Галілей.**

**Повалення схоластичного світогляду. Ф. Бекон і Р. Декарт**

«Сучасне природознавство, – єдине, про яке може йти мова як про науку, на протилежність геніальним догадкам греків і спорадичним, не зв'язаним між собою дослідженням арабів, – починається з тієї грандіозної епохи, коли бюргерство зламало міць феодалізму, з тієї епохи, яка створила в Європі великі монархії, зламала духовну диктатуру папи, воскресила грецьку древність і разом з нею викликала до життя величезний розвиток мистецтва в новий час, яка розбила межі старого “світу” і вперше, власне кажучи, відкрила Землю.

Це була найбільша з революцій, які доти пережила Земля, сучасне дослідження природи, як і вся нова історія, веде своє літочислення з тієї великої епохи, яку німці, називали. – Реформацією, французи – Ренесансом, а італійці – Чінквеченто і зміст якої не вичерпується жодною з цих назв. Ми називаємо цю епоху, що починається з другої половини XV ст., епохою Відродження.

Після великого застою, характерного для епохи середньовіччя, починається швидкий розвиток науки і культури. Нечуваного розквіту в Італії досягає мистецтво. В країнах Заходу виникає сучасна література. Цілком зрозуміло, що великий ріст знярядь виробництва і виникнення нових виробничих відносин були однією з вирішальних рушійних сил розвитку науки й культури. В цей період було зламано духовну диктатуру церкви, вкорінювалося життєрадісне вільнодумство, що підготувало матеріалізм XVIII ст.

Це був найбільший прогресивний переворот з усіх, що пережило до того людство, епоха, яка потребувала титанів науки й яка їх породила. Одним із таких був **Дрогобич Юрій – Котермак**.

Український вчений-просвітянин, географ, астроном, лікар, філософ, астролог і мандрівник, чие справжнє ім'я Юрій Котермак. Дрогобич - це друге прізвище, яке збігається з назвою рідного міста Юрія, уродженця Галичини, або ж, як у XV столітті, та й пізніше, часто писали - Руського князівства. Достатньо навести лише два промовисті факти: перед нами - ректор (1481 - 1482 рр.) Болонського університету, одного з найславетніших і найдавніших навчальних закладів Європи того часу! Його називали - «пан магістр Георгіус з Русі» ще перед обранням на «майже недосяжну» ректорську посаду. Другий факт говорить про те, що Юрій Дрогобич був автором першої

написаної українцем друкованої книжки, випущеної в Європі в 1483 році. Надрукована в Римі в типографії Еухаріуса Зільбера книга носила назву «Прогностична оцінка поточного року магістром Юрієм Дрогобичем з Русі, доктором мистецтв і медицини Болонського університету». Для орієнтації в «історичному просторі»: відомий Іван Федоров народився через 37 років...

Дослідники вважають, що Юрій Котермак-Дрогобич народився приблизно між 1448 та 1452 роками. Він був ровесником одного доленосного для європейської цивілізації винаходу - заснування книгодрукарства Йоганном Гутенбергом та одного з найвідоміших мандрівників у історії людства - Христофора Колумба (1451 року народження). І це глибоко символічно. Бо Юрій Дрогобич жив у дивовижну, виняткову епоху, коли перед мужніми, сміливими, підприємливими та, в кращому сенсі слова, честолюбними людьми відкривалися воістину безмежні обрії і дорога до слави. Хочеш - ставай великим мандрівником або відомим вченим, або уславленим живописцем, або могутнім міністром, або підкорювачем далеких земель Америки з її незліченним золотом. Головне - мати талант і прагнути перемогти, нехтуючи своїм життям, здоров'ям та кар'єрою.

Народився Юрій Котермак у сім'ї бідного дрогобицького ремісника. Мати померла, коли майбутній ректор і доктор мистецтв та медицини був ще зовсім малим. Доволі рано Юрко втратив і батька. Але жадібне прагнення вчитися і мандрувати не давало йому спокою. Ще підлітком Юрій разом із групою купців здійснив подорож до Криму - через Буковину, молдавські землі, далі морем. А 1469 року наполегливий юнак, який вже добре володів латиною, польською та давньогрецькою мовами, записується до Краківського університету - найближчого до України. Оскільки Юрій не міг сплатити повної суми внеску за навчання, було дозволено знизити оплату.

Краківський університет, як і всі університети того часу, складався з чотирьох факультетів: богословського, юридичного, медичного та артистичного, де вивчали сім «вільних мистецтв» - граматику, логіку, риторику, арифметику, геометрію, музику та філософію. За чотири роки студіювання у Кракові Юрій Котермак отримує почесний ступінь магістра. А що далі? Подумки молодий магістр мріяв про Італію, а надто про, можливо, найвідоміший тоді навчальний заклад цієї країни - Болонський університет. Щоби втілити у життя свою заповітну мрію, майбутній уславлений вчений пішки (!) подолав відстань від Кракова до Болоньї

- через Кошице (Словаччина), Буду (Угорщина), Венецію, Падую. Бо не мав грошей, щоб купити або найняти коней...

15 жовтня 1478 року Юрію Дрогобичу було присвоєно звання «доктора вільних мистецтв» - доктора філософії. Невдовзі молодий доктор уже читав в університеті курс астрономії. Згідно з традиціями того часу, ця наука була якнайтісніше пов'язана з астрологією і Юрій теж вельми швидко опанував мистецтво складати астрологічні прогнози. Водночас він почав відвідувати університетські лекції з медицини, маючи намір за чотири роки здобути звання доктора і в цій галузі. І це було ним здійснено.

А найголовнішим здобутком життя Юрія Дрогобича - «пана Георгіуса з Русі» - стало його обрання 24 березня 1481 року ректором Болонського університету медицини і вільних мистецтв. В історію університету він увійшов під іменем «Джорджо да Леополі» - Юрій зі Львова.

Дивовижно, але ця ще зовсім молода людина (близько 30 років) здобула своєю освіченістю, відданістю науці й викладацькому хисту такий авторитет у Болоньї, що за Юрія проголосували не лише студенти, а й такі відомі в Італії та за її межами професори, як астроном Джілорамо Манфреді, медик Габріеле Джербі, філософ Несторе Моранді, викладач поезії та риторики Галеотто Марціо...

А потім ще три роки він жив у Неаполі, Феррарі, Римі. Саме у «вічному місті» й була видана його книжка - збірник астрологічних прогнозів на наступний 1483 рік, географічних та медичних наукових відомостей, до речі, цілком достовірних. Є вагомі підстави вважати, що це – перше, випущене в Європі, друковане видання, автором якого був українець. А ще він лікував людей на високому професійному рівні, корегував географічні карти, як міг допомагав бідним і знедоленим.

Помер Юрій Дрогобич у лютому 1494 року у віці близько 45 років. Останні роки недовгого життя Юрія Котермака минули у Кракові, де він був одним із найшанованіших викладачів місцевої *alma mater*, звідки, власне, і почався його шлях у широке життя й науку.

Серед учнів Юрія був славний польський астроном Микола Коперник. Роботи Дрогобича відомі в багатьох країнах Європи. В його рідному місті Дрогобич встановлено пам'ятник Юрію Котермаку. Поза сумнівом, ця людина заслуговує на вдячну пам'ять нашого народу.

Така була історична обстановка, в якій виникло нове

природознавство. Значним поштовхом для розвитку науки й культури XV–XVI ст. були великі географічні подорожі: Колумба в 1492 р., який відкрив Америку, Васко да Гама, який у 1497–1498 рр., об'їхавши Африку, досягає Індії, нарешті, Магеллана, що здійснив першу кругосвітню подорож у 1519-1522рр.

#### **4.1. Вплив потреб практики та інженерії на розвиток фізики**

Розвиток нових суспільних відносин у XV-XVI ст. супроводжувалося посиленням інтересу до експериментального і математичного природознавства. Зміни в технічних прийомах випереджало їхнє теоретичне осмислення. У XVI столітті винаходяться гідравлічні насоси, греблі, прес для карбування монет, в'язальна машина і т.д. Ці технічні винаходи демонстрували, з одного боку, роль інженерії, а з іншого боку – ставили перед природознавством нові проблеми, що вимагали фізичного експерименту (проблема тертя в машинах, проблема надійності інженерних споруд і т.д.). Таким чином, матеріальні потреби капіталістичного економічного розвитку вели до удосконалювання технічних прийомів (у гірській і військовій справі, мореплаванні і т.д.). Це обумовлювало використання нових матеріалів і процесів, що, у свою чергу ставило проблеми, які попередня наука, розв'язати не могла. Мореплавання, що розвивалося, розсовувало обрії колишнього досліду і підсилювало потребу в його розширенні і збагаченні. Поєднання соціально-економічних і технічних факторів викликало зрушення у свідомості, підсилювало потребу у виробленні нової філософії, що заперечувала роль авторитету (як релігійних доктрин, так і античних учень) і утверджувала пріоритет наукового доведення. Під впливом змін, що відбуваються, схоластика поступово здає свої позиції, йде процес нагромадження знань про властивості реальних об'єктів. У рамках фізичного знання найбільший розвиток отримують механіка й оптика.

#### **4.2. Експериментальні фізичні дослідження Леонардо да Вінчі**

Експериментальні дослідження даного часу значною мірою зв'язуються з ім'ям Леонардо да Вінчі. Дослідники його творчості думають, що нічого істотно нового в розвиток теоретичної механіки він не вніс. Його сила полягала в різноманітній експериментальній діяльності. При цьому важливими виявлялися не стільки результати експериментів, скільки сама націленість на експеримент як головне джерело знання і техніку постановки експерименту. Важливі експерименти були поставлені ним із проблем падіння тіл, впливу

руху тіла на силу удару, випробуванню на розрив, тертю тіл. У галузі дослідження тертя між твердими поверхнями йому належить заслуга виведення з поставлених ним експериментів закону тертя, який твердив: "Кожним важким тілом долається опір тертя ваги, рівна четвертій частині цієї ваги". Відкриття цього закону було важливим внеском у розвиток експериментальної механіки. Історики науки цілком справедливо схильні вбачати важливість відкриття цього закону насамперед у тім, що вперше закон був відкритий у результаті фізичного експерименту – і в цьому сенсі Леонардо значно випереджав свій час не стільки результатами дослідження, скільки розумінням задач, що виникали під впливом бурхливого розвитку техніки. Сама постановка подібних експериментів, що демонструвала їхні величезні можливості, стимулювала інтерес до експериментальної фізики.

Протиставивши схоластиці дослідне знання, Леонардо, таким чином, заклав основи експериментального методу природознавства, що відкриває широкі перспективи для використання математики. "Мудрість є справа досліду" і "немає вірогідності в науках, що не використовують математики" - ці проголошені ним принципи є двома сторонами його методу. І в цьому смислі Леонардо справедливо розглядається як попередник сучасного природознавства.

Використання свого методу дозволило Леонардо сформулювати важливі положення. Арістотелева фізика виходила з того, що рух для свого збереження вимагає сили. Леонардо на противагу цьому свідчить, що всякий рух прагне до свого збереження, тобто тіло, що рухається, рухається доти, поки в ньому зберігається сила його руху. Це твердження вже означало істотне просування в розумінні природи руху від Арістотелевих положень до відкриття закону інерції – Леонардо устанавлює факт існування інерції, інерційного руху. Причиною руху є сила, причиною сили виступає рух. Сила народжується при раптовому збільшенні тіла (так при пострілі з гармати виштовхується ядро), а також шляхом скручування і згинання тіл усупереч їхньому природному стану (на цьому ґрунтується робота балісти, лука). На думку академіка С.І. Вавілова, Леонардо є зачинателем фотометрії як точної вимірjuвальної науки. Численні дослідні спостереження Леонардо мали принципово важливе значення для наступних теоретичних розробок (принцип суперпозиції, телескопічний ефект і т.д.), але вони не були використані повною мірою його сучасниками. Той факт, що його записи велися

зашифрованим способом, а також те, що в рамках потреб практики того часу багато його ідей не могли бути реалізовані. Дж. Бернал охарактеризував долю ідей Леонардо: "Вивчення незліченної кількості механічних апаратів, запропонованих і замальованих Леонардо, починаючи від прокатних станів до рухомих землерийних машин, розкриває інший аспект трагедії його генія. Він міг винаходити машини ледве чи не для будь-якої мети і малювати їх незрівнянно добре, однак майже жодна з них не змогла б працювати, навіть якби він зумів знайти досить грошей, щоб їх зробити. Без кількісного знання статичної і динамічної, без використання первинного двигуна типу парової машини інженер епохи Відродження фактично не міг навіть вийти за межі, установлені традиційною практикою. Заслуга його полягає не стільки в тому, що він зробив для розвитку машин, скільки у розвитку ідеї про те, що явища природи можуть бути пояснені за допомогою механіки."

#### **4.3. Вплив геліоцентричної концепції М. Коперника на розвиток фізики**

Дослідження в галузі механіки в епоху Відродження були зв'язані насамперед з астрономією. Справа в тому, що неможливо розвивати механіку без аналізу закономірностей руху небесних світил, які постійно повторювалися століттями, і в тому, що розвивати астрономію поза механікою руху цих небесних світил було неможливо. Саме астрономії було призначено здійснити переворот в античному стилі мислення. І цей переворот був здійснений М. Коперником, який поставив проблему відповідності між сутністю руху і його сприйняттям. В основу вирішення проблеми він проклав тезу, що у даний час називають "принципом відносності сприйняття". Суть його полягає в тому, що усяка видима зміна положення відбувається внаслідок руху або предмета, що спостерігається, або спостерігача, чи внаслідок неоднакового переміщення їх обох (оскільки при рівному переміщенні що спостерігається і спостерігача в одну сторону рух буде непомітним). Описова астрономія до цього часу нагромадив досить спостережень і мала у своєму розпорядженні досить точні математичні методи, що дозволяють перевіряти гіпотези за допомогою обчислень.

Основний задум Коперника полягав у тому, щоб побудувати механічну модель Сонячної системи, яка узгоджується зі спостереженнями і дає цілісне уявлення про Всесвіт. Ситуацію з видимим обертання Всесвіту навколо Землі для спостерігача, що

знаходиться на Землі, він порівнює з аналогічною ситуацією, коли спостерігачу, що знаходиться на кораблі, здається, що він знаходиться в стані спокою, а всі предмети поза кораблем рухаються.

Таким чином, критичний дух, внесений Коперніком в астрономію, дозволив йому відкинути точку зору здорового глузду, що здавалося саме собою зрозумілим, а саме той факт, що Земля нерухома, а навколо неї рухаються небесні світила. У його праці "Про обертання небесних сфер" висловлена думка про необхідність відрізнити гіпотези, що відбивають справжню дійсність, від помилкових гіпотез. Саме це дозволило Коперніку не тільки обґрунтувати геліоцентричну систему, але і науковий метод побудови і перевірки гіпотез.

Геліоцентрична концепція Коперніка виявилася важливою науково-дослідною програмою, що поставила цілий ряд проблем. Насамперед виявилася необхідність перевірити дану концепцію на предмет її відповідності фактам, тобто треба було установити відповідність результатів спостереження тим положенням, що висувала концепція. Для цього треба було мати досконалу спостережну й обчислювальну техніку - її треба було створювати, тому що традиційні спостереження неозброєним оком за допомогою візирів, кутомірів невисокої точності і т.д. і звичайна арифметична техніка (без десяткових дробів і логарифмів) не відповідали даній задачі. Крім того, необхідно було виявити фізичні причини руху небесних тіл. Традиційна статика вирішення цієї задачі не забезпечувала, тому виникла потреба в розвитку динаміки і відповідного математичного апарату. Треба було також спростувати заперечення, що висувалися проти геліоцентричної концепції, особливо заперечення проти обертання Землі (у числі її супротивників були Ф. Бекон, Тіхо Браге). Але насамперед важливо було забезпечити міцне входження даної концепції в науку, чому противилася церква. Цьому значною мірою сприяв Д. Бруно. У своїх діалогах "Бенкет на попелі" і "Про нескінченність Всесвіту у світах" середньовічним уявленням про скінчений Всесвіт він протиставив концепцію нескінченного Всесвіту.

Копернік дотримувався Арістотелевої концепції щодо відмінності "природного" руху Землі і насильницьких" рухів на її поверхні. Бруно виходить з того, що не існує розподілу рухів на "природні" і "примусові" – усі тіла, що знаходяться на Землі належать до однієї механічної системи, усі вони рухаються разом із Землею. В



іншому випадку було б неможливо, наприклад, підстрибнути і після цього повернутися на попереднє місце. Арістотелеві фізичні заперечення проти існування порожнечі також були відкинуті Бруно - він виходив з того, що рух у нескінченному порожньому космосі не має ніяких перешкод. У силу нескінченності космосу, за Бруно, у нього не може бути центру, центром може бути визнана будь-яка точка космосу.

Отже, підсумовуючи огляд розвитку фізичних концепцій епохи Відродження, можна сказати, що в цей час була розтрощена Арістотелева фізична картина світу, поставлена задача вироблення уявлень, які відображають реальні властивості, а потреби технічного прогресу призвели до формування основ фізичного експерименту.

## **5. Розвиток фізики в XVII ст. Ісаак Ньютон**

Якщо звернутися до розгляду конкретних досягнень фізики у цю епоху, то слід відмітити, що цей період (XVI–XVII ст.) характеризується не тільки розвитком механіки, де зокрема завершуються дослідження в галузі статички, а й розвитком інших галузей фізики – оптики, електрики, магнетизму тощо. Характерно, що всі ці розділи фізики розвивалися тоді відокремлено, ізольовано один від одного.

Відомо, що в античній статистиці ще залишились нерозв'язаними питання про похилу площину і рівновагу косоного важеля (важеля довільної форми). Ці задачі були розв'язані голландським вченим С. Стевіном (1548– 1620) і Г. Галілеєм. Стевін у трактаті «Початки статички» (1587) і Г. Галілей у праці «Бесіди і математичні докази, що стосуються двох нових галузей науки» запропонували удосконалене доведення закону важеля, дане Архімедом.

Питання про рівновагу тягарців на похилій площині вперше дослідив С. Стевін. Керівним принципом у його роботах із статички був принцип неможливості побудови вічного двигуна (висловлений Леонардо да Вінчі). Як вчений нового типу, Стевін свої математичні розрахунки перевіряє на досліді. Він робить висновок, що сила, яка скочує тіло з похилої площини, не дорівнює вазі, а в стільки разів менша від неї, у скільки висота площини менша за її довжину. Стевіну належить позначення сил стрілками, і він перший формулює правило рівноваги трьох сил, що сходяться у вигляді замкнутого трикутника.

Важливі узагальнення «золотого правила механіки», згідно з яким скільки виграється в силі, стільки програється в шляху або часі,

запропонованого ще Героном Олександрійським, були зроблені Галілеєм. Він не тільки користувався цим правилом механіки, як загальним принципом статички, але дав йому нове формулювання і з успіхом застосував його до простих машин – важеля, блоків, похилої площини тощо.

Слід сказати, що XVII ст. стало кульмінаційним пунктом формування нової науки. Саме в цей період на зміну схоластиці з'явився новий світогляд, намітилася програма і були розроблені методи експериментальної науки, були знайдені нові форми організації науки і міжнародних наукових зв'язків.

В XVII ст. була доведена помилковість аристотелевої думки, що природа боїться пустоти, було відкрито атмосферний тиск. У цьому ж столітті були закладені основи акустики, значно розвинулась прикладна оптика і механіка, були досягнуті перші наукові результати у і вивченні теплових, електричних і магнітних явищ. Великою мірою сприяли розвитку фізики і особливо механіки грандіозні успіхи математики. В 1614 р. шотландський математик Д. Непер (1550–1617) відкрив логарифми, про які йдеться у роботі «Опис дивної таблиці логарифмів» (1614). Німецький математик Г. В. Лейбніц (1646– 1716) в роботі «Новий метод максимумів і мінімумів, а також дотичних, для якого не є перешкодою ні дробові, ні ірраціональні величини, і особливий для цього рід обчислення» (1684) і І. Ньютон в роботі «Математичні начала натуральної філософії» (1687) розробили поняття функціонального аналізу і методи інтегрального та диференціального числення. В роботах Р. Декарта був покладений початок розвитку аналітичної геометрії. Народжувана експериментальна наука могла успішно розвиватися лише колективними зусиллями вчених. Для експериментів потрібні були кошти, матеріально-технічна база, час. А деякі проблеми експериментального характеру взагалі були не під силу окремим особам. Ось чому в XVII ст. широкого розвитку набуло утворення і наукових товариств, або академій – організаційних осередків нової науки. Зокрема, в 1657 р. організовується Флорентійська Академія досліду, в 1660 р.– Лондонське Королівське товариство, в 1666 р.– Паризька Академія наук, у 1724 р. – Петербурзька Академія наук. Створення академій сприяло початку широкого листування, між вченими різних країн, обміну науковою літературою і досвідом наукової діяльності.

У галузі механіки основна увага в XVII ст. була звернута на

розробку таких трьох питань, як маятник, удар, тяжіння.

Питання про маятник пов'язане з ім'ям нідерландського вченого – механіка, математика і фізика – Х. Гюйгенса (1629–1695), який в 1658р. у праці «Маятникові годинники» описав сконструйований ним перший маятниковий годинник, йому ж належить ідея про те, що за допомогою маятника можна вимірювати прискорення сили земного тяжіння –  $g$ .

У 1668 р. Лондонське Королівське товариство оголосило конкурс для розробки теорії удару і майже одночасно ця теорія була створена математиком Валлісом (1616–1703), архітектором Реном (1632–1723) і Гюйгенсом. Валліс розробив математичну теорію непружного удару і зазначив, що сума кількостей руху до і після удару є величиною сталою. Рен і Гюйгенс проаналізували пружний удар. Рен дослідив його експериментально, а Гюйгенс розробив теорію цього удару. Зокрема, він встановив, що при пружному ударі сума добутків мас на квадрати швидкостей ( $mv^2$ ) співударних тіл зберігається. Пізніше Ньютон пов'язав питання про сталість суми  $mv^2$  з третім законом динаміки. Найважливішим результатом теорії удару Гюйгенса було встановлення принципу збереження живих сил для пружного удару у замкнених системах:

$m_1v_1^2 + m_2v_2^2 = m_1u_1^2 + m_2u_2^2$ , де  $v_1, v_2, u_1, u_2$  – швидкості співударних тіл, а  $m_1$  і  $m_2$  – їх маси.

Гюйгенс застосував у своїй теорії принцип відносності і підкреслив, що швидкість рівномірного та прямолінійного руху системи, в якій розглядається удар, не впливає на процес співудару. Одночасно він дав формулювання закону інерції і визначив постулат, згідно з яким співударні пружні кулі однакової маси з протилежними швидкостями обмінюються своїми швидкостями, а кулі неоднакової маси і неоднакових швидкостей після удару віддаляються одна від одної з попередніми швидкостями.

Встановленням теорії удару завершувались передумови обґрунтування механіки, що згодом і здійснив І. Ньютон. Вивчаючи сили тяжіння, Галілей висловив ідею про намагання частин тіла до з'єднання і довів незалежність прискорення сили земного тяжіння  $g$  від маси  $m$ . Наступні важливі дослідження з теорії тяжіння належать видатному німецькому астроному Йоганну Кеплеру (1571–1630). У 1597р. він опублікував працю «Попереднє космографічне дослідження, яке містить космографічну таємницю», в якій намагався охопити математичною формулою сонячну систему, вважаючи, що

планети рухаються навколо Сонця по описаних колах навколо складних математичних фігур тетраедра, дванадцятигранника, двадцятигранника тощо. В 1600 р. він прийняв пропозицію видатного данського астронома Тіхо Браге (1546–1601) і переїхав працювати до нього в Прагу. Після смерті Браге Кеплер дістав у своє розпорядження великі експериментальні матеріали довготривалих астрономічних спостережень Браге і на їх основі встановив три знамениті закони руху планет. Перші два, які визначили форму траєкторії руху планет навколо Сонця і рівність площ, що описуються радіусами-векторами за однакові проміжки часу, були сформульовані Кеплером у праці «Нова астрономія» (1609), а третій, згідно з яким квадрати часів обертання планет навколо Сонця відносяться між собою як куби великих півосей описуваних ними еліпсів, – в «Гармонії світу» (1619).

Вперше ідею про всесвітнє тяжіння в 1643 р. висловив французький математик Ж. Роберваль (1602–1675), а італійський вчений Д. Бореллі (1608–1679) не тільки висловлює в своєму трактаті «Теорія планет Медічі» (1667) ідею про динамічну рівновагу рухомих планет, але і якісно розв'язує цю задачу. Важливе значення в підготовчій стадії встановлення закону всесвітнього тяжіння мали сформульовані Гюйгенсом положення про доцентрову і відцентрову силу, зокрема про доцентрове прискорення, і його математична формула в другому, доповненому виданні «Маятникових годинників» (1673). Цими дослідженнями готувався ґрунт для наступного наукового стрибка, здійсненого І. Ньютоном, який встановив закон всесвітнього тяжіння і завершив математичну розробку системи механіки неба.

У галузі гідростатики дослідження в XVII ст. були виконані С. Стевіном, учнем Галілея, італійським фізиком і математиком Е. Торрічеллі (1608–1647) та французьким фізиком і математиком Б. Паскалем (1623–1662).

Працюючи наглядачем водяних споруд у Голландії, Стевін приділив багато уваги розв'язанню гідростатичних проблем. Зокрема, він теоретично обґрунтував і експериментально довів гідростатичний парадокс, згідно з яким тиск на дно посудини залежить не від форми посудини, а від площі дна і висоти рівня рідини в цій посудині; встановив наявність у рідинах напрямленого угору тиску. Досліджуючи умови плавання тіл, Стевін показав, що центр ваги тіла, яке плаває, і центр ваги витісненої рідини розташовані на одній вертикалі, причому рівновага тіла, що плаває, буде тим стійкішою,

чим нижче лежить центр його ваги щодо центра ваги витісненої рідини. Дальший розвиток вчення про умови плавання тіл дістало в праці Галілея «Міркування про тіла, що перебувають у воді, і тих, які в ній рухаються» (1612), де було застосовано принцип рівних моментів до виводу умов рівноваги в рідких тілах.

У «Трактаті про рівновагу рідин» (1653) Б. Паскаль завершив вчення про гідростатику. Тут він описує закон всебічної передачі тиску в рідинах, що дістав назву закону Паскаля, гідростатичний парадокс, закон сполучених посудин і принцип дії гідростатичного преса. Характерно, що він один з перших вказав на спільність законів рівноваги рідин і газів.

Ідеї гідродинаміки були вже висловлені в трактаті Е. Торрічеллі «Про рух рідин», у якому він вивів також формулу для швидкості витікання рідини. Торрічеллі довів, що струмінь рідини, яка витікає з бічного отвору посудини, має форму параболи, і, крім цього, провів фізичні спостереження над розпадом на краплі струменя рідини і впливом опору повітря.

З ім'ям Торрічеллі пов'язане і відкриття атмосферного тиску та доведення можливості утворення вакууму. Продовжуючи досліді свого вчителя Галілея, який не дав відповіді, чому насоси піднімають воду не вище 10 м, Торрічеллі знаходить правильне пояснення спостережуваним фактам і підкреслює, що вода в насосі колодязя піднімається під тиском повітря, який дорівнює вазі десятиметрового стовпа води. За пропозицією Торрічеллі В. Вівіані (1622–1703) замінив в 1643 р. водяний стовп ртутним і помітив, що висота ртутного стовпа приблизно в 13,5 рази менша від водяного, і над ним утворився вакуум – так звана «торрічеллева пустота». Згодом Торрічеллі, повторюючи ці досліді, помітив коливання висоти ртутного стовпа, що свідчило про коливання вагового тиску повітря, або атмосферного тиску. Цей факт і поклав Торрічеллі в основу виготовлення першого барометра.

Дізнавшись про ці досліді Торрічеллі, під керівництвом Паскаля були проведені експерименти з барометром при підніманні на гору Пюї-де-Дом (заввишки близько 1300 м). На основі цих експериментів Паскаль вперше довів, що з висотою атмосферний тиск зменшується. Праці Паскаля з теорії повітряного тиску, зокрема його «Трактат про вагу маси повітря» (1653), мали важливе значення для метеорології.

Досліді, в яких демонструвалась сила атмосферного тиску за допомогою так званих «магдебурзьких півкуль», були виконані О. Геріке (1602–1686) і описані в його праці «Нові магдебурзькі

досліди про пустий простір» (1672). Геріке належить і одна з перших конструкцій повітряного насоса.

Паралельно з Геріке повітряний насос сконструював англійський фізик і хімік Р. Бойль (1627–1691). Він описав цей прилад і досліди з ним у праці «Нові фізико-механічні досліди над пружністю повітря» (1660). Разом із своїм учнем Р. Тоунлеєм Бойль встановив обернену залежність зміни об'єму повітря від тиску. Цю залежність він висвітлив у роботі «Захист доктрини, що стосується пружності й ваги повітря» (1662). У 1676 р. на основі численних дослідів, здійснених при різних тисках, до цієї залежності прийшов і французький фізик Е. Маріотт (1620–1684) і описав її в тому ж році в трактаті «Дослід про природу повітря». Маріотт досліджував також причини утворення вітрів і висловив важливі думки про залежність між висотою місцевості і величиною атмосферного тиску. Ці дослідження завершив англійський астроном і геофізик Е. Галлей (1656–1742), який у 1686 р. вивів відому барометричну формулу.

Слід зауважити, що в XVII ст. було здійснено перші спроби в конструюванні термометра і висловлено ідеї про природу теплоти. Мабуть, один з перших, хто усвідомив потребу нанесення сталих точок на термометрі, був О. Геріке. Хоч, правда, його сталі точки (середня температура заморозків і вища літня температура в Магдебурзі) були досить непевними. Поряд із здійсненими в 1660 р. спільними роботами Р. Гука і Х. Гюйгенса, які вперше встановили нині прийняті постійні точки термометра (точку танення льоду і точку кипіння води), ці дослідження привели до вдосконалення термометра у XVIII ст. Перші правильні спроби розв'язати питання про природу тепла зробили в XVII ст. англійські вчені.

Про досягнення в галузі електрики і магнетизму доньютонівської фізики можна судити з праці англійського фізика У. Гільберта (1540–1603), опублікованої в 1600 р. під назвою «Про магніт, магнітні тіла і про великий магніт–Землю...». Гільберт вперше застосовує до вивчення електричних і магнітних явищ експериментальний метод. Вказує на різну притягальну силу магніту в різних місцях і про максимальне її значення на полюсах. Він підкреслює, що сталь зберігає магнітні властивості після намагнічування і відкриває факт невіддільності магнітних полюсів, а також явище магнітної індукції. Гільберт відзначає що Земля є великим магнітом, але помилково вважає, що магнітні полюси Землі збігаються з географічними.

Досліджуючи деякі електричні явища, Гільберт дійшов висновку,

що при терті може наелектризуватися і виявити властивості притягання не тільки бурштин, а й інші тіла (алмаз, аметист, гірський кристаль, сапфір, сірка, смоли та ін.). Порівняння електричних і магнітних явищ привело Гільберта до переконання в глибокій їх відмінності. Це він доводив тим, що електрику одержують при терті, а магнетизм – природна властивість; що електрика лише притягує (про існування електричних відштовхувань Гільберт не знав), а магнетизм і притягує, і відштовхує.

Дальшого розвитку вчення Гільберта набуло в роботах О. Геріке, який для вивчення властивостей електрики створив (близько 1650 р.) одну з перших електростатичних машин, яка складається з обертової сірчаної кулі, що електризувалася тертям об руку. За допомогою цієї машини Геріке експериментально виявив явище електричного відштовхування, що відіграло важливу роль для вивчення природи електрики, і встановив існування електричного світіння.

Важливі ідеї по дослідженню земного магнетизму були висловлені в 1625 р. Г. Геллібрандом, який відкрив варіацію магнітного схилення, і Е. Галлеєм, який в 1683 р. запропонував теорію земного магнетизму і гіпотезу про магнітне походження полярного сьйва, а в 1701 р. опублікував першу карту магнітних схилень.

Важливими успіхами в XVII ст. характеризується розвиток оптики, яка в кінці століття перетворилася в могутню галузь фізичної науки. Швидкому прогресу оптичних досліджень сприяв розвиток в Голландії оптотехніки – винайдення підзорної труби, мікроскопа (1590, З. Янсен), створення Й. Кеплером теорії камери-обскури, яку він разом з новим формулюванням закону заломлення світла описав у трактаті з оптики «Доповнення до Вітелло» (1604).

Великим кроком уперед була розроблена Кеплером теорія зору, де він підкреслив особливе значення кристалика, зміна кривизни якого призводить до короткозорості чи далекозорості. Вперше досить чітко пояснив явище акомодатії ока, підкресливши, що акомодатія досягається або наближенням сітківки до кристалика, або стиском і розширенням його. У своїй знаменитій «Діоптриці» (1611) Кеплер подав проект нової конструкції підзорної труби, яка складається з двох двоопуклих лінз, і приходиться до важливого висновку про існування повного внутрішнього відбивання. У цьому ж 1611 р. вийшов з друку і оптичний трактат М. Домініса (1566–1624). В ньому висвітлено явище веселки і дисперсії світла у призмі. Однак пояснення до одержаних в цьому явищі кольорів було далеко неповним.

Закон заломлення світла в сучасній формі був сформульований голландським математиком і астрономом В. Снелліусом (1580–1626) і Р. Декартом у його «Діоптриці» (1637). Видатний французький математик П. Ферма (1601–1665) встановив основний принцип геометричної оптики, так званий принцип найменшого часу для світлового шляху (принцип Ферма), і, застосувавши його до заломлення, записав цей закон у такому вигляді:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2} \text{ де } i \text{ – кут падіння; } r \text{ – заломлення; } c_1 \text{ і } c_2 \text{ – швидкості}$$

світла в 1 і 2-му середовищах.

Відкриття закону заломлення світла дало змогу перейти до розрахунків оптичних систем. Зокрема в «Оптичних і геометричних лекціях» англійського математика І. Барроу (1630–1677), які вийшли в світ у 1669–1670 рр., були дані формули лінз для різних випадків, а в 1693 р. Е. Галлей дав уже загальну формулу лінзи.

Одним з найважливіших досягнень з оптики у XVII ст. було визначення швидкості світла, дане в 1676 р. данським астрономом О. Ремером (1644 –1710). Ремер, відмічаючи час затемнення супутників Юпітера, встановив існування відхилень від правильної періодичності цих затемнень в моменти, коли Земля перебуває на мінімальній і максимальній відстані від Юпітера. На основі цих даних він дійшов висновку, що світлу потрібно 22 хвилини, щоб пройти діаметр земної орбіти (сучасні дані – 16 хв 36 с), тобто встановив швидкість світла рівною 215000 км/с.

У XVII ст. були також відкриті основні явища хвильової оптики, а саме явища інтерференції і дифракції світла. Перші ідеї про дифракцію світла сформульовані в роботах італійського фізика і астронома Ф. Грімальді (1618–1663). Його основна праця «Фізико-математичний трактат про світло, кольори і райдугу» вийшла в 1665 р. Грімальді помилково вважав світло деякою рідиною, що рухається швидко через прозорі тіла, а дифракцію пояснював появою хвиль у світловій рідині при ударі об краї перешкоди. Йому належить опис досліду, за яким тінь палиці була ширшою, ніж це повинно бути за корпускулярною теорією, і що ця тінь була оточена кольоровими смугами.

Важливі ідеї хвильової природи світла належать видатному англійському вченому – досліднику пружних властивостей тіл – Р. Гуку (1635–1703), який вперше в своєму творі «Мікрографія» (1665) описує явище інтерференції і дифракції світла. Йому ж належить і



думка, що гра кольорів на тонкій пластинці зумовлюється відбиванням світла від передньої і задньої поверхні, інакше кажучи, пояснюється додаванням світлових імпульсів, відбитих від передньої і задньої поверхні пластинки, в результаті чого змінюється напрям їх коливань, а отже, і колір. Р. Гук поширення світла від джерела уявляв подібним до колових хвиль на поверхні води від відкинутого каменя і підкреслював, що в білому світлі коливання поперечні.

Основи хвильової природи світла розробив видатний голландський фізик Х. Гюйгенс (14.04. 1629–08.07. 1695) і виклав у знаменитому «Трактаті про світло» (1690). Це була перша теоретична робота з хвильової оптики. В ній Гюйгенс детально описав з хвильової точки зору явища відбиття і заломлення за допомогою сформульованого ним принципу поширення хвильового фронту, відомого і тепер під назвою «принцип Гюйгенса». Гюйгенс застосував цей принцип і до поширення світла в ісландському шпаті. В п'ятому розділі свого трактату розглянув явище подвійного заломлення світла, відкрите в 1669 р. датським ученим Е. Бартоліном (1625–1698), та описав явище поляризації (не вживаючи цього терміну) променів.

Отже, у XVII ст. значно розвинулися майже всі галузі фізики: механіка, теплота, електрика, магнетизм і оптика.

### **Ісаак Ньютон**

Перед наукою постало велике завдання – узагальнити ці результати і на їх основі завершити грандіозну роботу по створенню фундаменту нової науки. Це завдання успішно здійснив великий англійський фізик і математик, астроном і механік І. Ньютон, якого справедливо називають родоначальником класичної фізики. Він визначив мету і метод цієї галузі природознавства і розробив її програму. Ньютон не тільки сформулював, а й привів у єдину систему основні закони класичної механіки. Він відкрив закон всесвітнього тяжіння, закони розкладання білого світла на монохроматичні промені і, поряд з Г. Лейбніцем, розробив диференціальне та інтегральне числення.

І. Ньютон (04.01. 1643–31.03. 1727) народився в сім'ї дрібного фермера-арендатора у невеликому с. Вулсторп (графство Лінкольн). В 1665р. закінчив Кембриджський університет з ступенем бакалавра, в 1668 р. керував фізико-математичною кафедрою Кембриджського університету. В 1672 р. обраний членом Лондонського Королівського товариства, а з 1703 р. до смерті був президентом цього товариства. В 1699 р. обраний членом Паризької Академії наук. В 1688 р. І. Ньютона

обирають членом англійського парламенту. З 1695р. – наглядчач, а в 1699–1703 рр.– директор Монетного двору Англії.

Ньютон прожив самотньо близько 85 років і помер як великий загальноновизнаний вчений. Поховано його у Вестмінстерському абатстві – усипальні англійських королів, і напис на його пам'ятнику закінчується такими словами: «Нехай смертні радіють, що існувала така прикраса людського роду».

I. Ньютон завершив перший етап розвитку експериментального природознавства в галузі дослідження неорганічної природи. Він не тільки узагальнив результати наукової діяльності в галузі механіки і астрономії таких видатних вчених, як Г. Галілей, Й. Кеплер, Х. Гюйгенс, Дж. Бореллі, Р. Гук та ін., а й своїми власними дослідженнями проблем земної і небесної механіки створив грандіозну працю «Математичні начала натуральної філософії», яка вийшла в світ у 1687р.

У передмові до «Начал» Ньютон відмічає основну тенденцію сучасного йому природознавства – підпорядкувати явища природи законам математики, саме це і є завданням його твору. Він підкреслює, що твір цей подається, як математичні основи фізики. Вся трудність фізики полягає в тому, щоб за явищами руху розпізнати сили природи. У цій книзі Ньютон сформулював основні поняття і принципи класичної механіки, розробив її систему. Своє дослідження Ньютон починає з вивчення маси, кількості руху і сили. «Кількість матерії (маса) є міра її, яка встановлюється пропорційно густині та об'ємові її». За Ньютоном, густина визначається кількістю частинок в одиниці об'єму. На досліді, підкреслює Ньютон, маса визначається через вагу тіла, бо вона пропорційна вазі, що перевірено ним дослідями над маятниками. Для характеристики взаємодії тіл Ньютон ввів поняття сили, як причини, що змінює рух тіл і цим самим звів завдання механіки до знаходження діючих сил за рухами. Це було важливим кроком уперед, бо після цього механіка перетворилася в науку про одну лише механічну форму матерії. Цим самим були викриті псевдонаукові спроби послідовників Декарта – картезіанців, що намагалися за допомогою механіки пояснити весь світ.

Визнавши силу, як «дію», що виконується над тілом, щоб змінити його стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, Ньютон вказав на зовнішній щодо тіла характер цієї дії. Він підкреслює, що сила може бути спричинена ударом, тиском і, нарешті, деяким силовим центром.

Визнаючи об'єктивне існування простору і часу, Ньютон стояв на матеріалістичних позиціях. Але в цих фундаментальних питаннях пізнання природи він виявився непослідовним і допускав існування абсолютного простору і часу, відірваних від реальних речей і процесів. За Ньютоном, абсолютний простір і час – не форми існування матерії, а вмістилище і тривалість для матерії, їх властивості не залежать від матерії і не доступні нашим органам чуття. Метафізичність Ньютона проявилась і в тому, що він помилково вважав, що матерія інертна і не здатна сама до руху, а джерелом руху є сила.

Сформулювавши основні поняття механіки, Ньютон в «Началах» дав визначення основних її законів:

1. Всяке тіло продовжує утримуватися у своєму стані спокою або рівномірно прямолінійного руху, поки і оскільки воно не спонукується прикладеними силами змінити цей стан.

2. Зміна кількості руху пропорційна прикладеній рушійній силі і відбувається в напрямі тієї прямої, по якій діє ця сила.

3. Дії завжди є рівна і протилежна протидія, інакше – взаємодії двох тіл одного на одне рівні і спрямовані в протилежні сторони.

Основою ньютонівської динаміки є другий закон, який записується так:  $F = \frac{d(mv)}{dt}$

Цей закон дав загальний метод розв'язання механічних задач. Третій закон, вперше сформульований Ньютоном, був ним перевірений на численних експериментах. На основі другого і третього закону Ньютон вивів закон збереження кількості руху для замкненої системи і встановив важливе для динаміки твердження, що поступальну кількість руху окремого тіла або системи тіл (при відсутності зовнішніх дій і перешкод) треба завжди розраховувати за рухом центра ваги.

У «Началах» викладене вчення Ньютона про всесвітнє тяжіння. Спираючись на закони Й. Кеплера, дослідження Д. Бореллі, Х. Гюйгенса, Е. Галлея, спостереження засновника Грінвічської обсерваторії Флемстида за рухом Місяця Ньютон приходять до висновку, що планети рухаються під впливом центральних сил і що ці сили обернено пропорційні квадратам віддалей між ними. Так, Місяць утримується на своїй орбіті дією земного тяжіння, ослабленою порівняно з її значенням на земній поверхні у стільки разів, у скільки квадрат віддалі Місяця від центра Землі більший від квадрата радіуса Землі. Зроблені в 1669–1670 рр. французьким астрономом Ж. Пікаром (1620–1682) точні вимірювання радіуса Землі дали змогу Ньютону

чисельно підтвердити закон тяжіння. Дальший крок полягав у тому, щоб поширити цей закон на сонячну систему. І. Ньютон прийшов до висновку, що силою, яка втримує планети на орбітах навколо Сонця є сила взаємного притягання, яка зменшується обернено пропорційно квадратові віддалі. Він розробив теорію руху планет і супутників, які становлять сонячну систему, і показав, що закон руху планет поширюється і на комети, що траєкторія тіл, які рухаються під впливом центральних сил, не тільки частковий випадок конічних перерізів – еліпс, а конічні перерізи взагалі.

Ці досить складні математичні розрахунки привели Ньютона до результатів, які добре узгоджуються з астрономічними даними, і дали йому змогу зробити останній крок – узагальнити знайдену залежність як всеосяжний закон природи, що охоплює взаємодії всіх матеріальних тіл. Як відомо, цей закон записується так:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маси будь-яких двох тіл, що перебувають на віддалі  $r$ ;  $G$  – гравітаційна стала;  $F$  – сила їх взаємного притягання.

У «Началах» Ньютон також розглянув теорію припливів і відпливів, ряд задач з теорії притягання суцільних мас, заклав основи теорії подібності, виклав теорію форми Землі і висвітлив деякі питання гідростатики й гідродинаміки тощо.

І. Ньютон зробив ґрунтовні дослідження в галузі оптики. Він відкрив явище дисперсії світла, висловив гіпотезу про корпускулярну природу світла, по суті вперше виміряв довжину світлової хвилі, сконструював дзеркальні (відбивні) телескопи тощо.

Для усунення недоліків оптичних систем Ньютон з 1666 р. виконав серію дослідів з пропусканням білого світла через тригранну призму і виявив, що сонячне світло – це суміш різних променів, які відрізняються один від одного заломлюючою здатністю, тобто відкрив явище дисперсії світла. Ньютон правильно пояснив, що різниця в заломлюючій здатності світлових променів залежить від їх кольору. За допомогою дослідів він встановив, що червоні промені заломлюються найменше, а фіолетові – найбільше. З відкриттям дисперсії світла Ньютон зробив практичний висновок для побудови телескопа. Він показав, що однією з причин нечіткого зображення у телескопах є саме ця відмінність у заломленні складових променів білого світла при його проходженні через лінзу телескопа (так звана хроматична аберація, яку він помилково вважав неусувною).

Ньютон виконав ряд досліджень по відокремленню

монохроматичного пучка, сконструювавши, таким чином, перший монохроматор. Він встановив, що роздільна здатність спектральної установки підвищується при збільшенні заломлюючого кута призми і при зменшенні розмірів джерела світла (щілини). Коментуючи у своєму перекладі праці І. Ньютона «Оптика» (написаної ним близько 1687 р. і опублікованої в 1704 р.) опис спектральної установки Ньютона, С. І. Вавилов зазначав, що в ній застосовано принципи коліматорної будови. Він висловив здивування, як такий тонкий спостерігач, як Ньютон, не відкрив фраунгоферових ліній, тобто ліній поглинання в сонячному спектрі. Відомо, що їх вперше відкрив у 1802 р. англійський природодослідник У. Волластон (1766–1828) і пояснив у 1814 р. німецький фізик Й. Фраунгофер (1787–1826).

Ньютон досліджував не тільки дисперсію світла, але й явища інтерференції, дифракції, подвійного променезаломлення.

Вивчаючи питання про колір світла, Ньютон не міг не досліджувати явищ, які спостерігали в тонких пластинках і до нього вивчали Р. Бойль, Ф. Грімальді і Р. Гук. Але на відміну від своїх попередників Ньютон переходить від якісних, поверхових спостережень до глибокого кількісного аналізу цих явищ. Маючи намір вивчити знайдений ще Р. Гуком зв'язок між забарвленням пластинки і її товщиною, Ньютон у 1675 р. винаходить оптичну систему, яка відома тепер під назвою кілець Ньютона. Він встановив, що одержувані інтерференційні кільця були помітні в прохідному і відбитому світлі. Ньютон встановив залежність радіуса кільця від товщини шару і нахилу променів, що падали на тонку пластинку, відкрив періодичність світла і виміряв довжину світлової хвилі, точніше просторовий інтервал, що відповідає чверті довжини хвилі (зрозуміло, що про довжину хвилі Ньютон не говорив). На противагу Декарту, Ньютон вперше висловив правильну думку про те, що швидкість світла  $c$  має скінчений розмір.

Ньютон був стихійним матеріалістом. Він був переконаний в об'єктивному існуванні матерії, простору й часу, в існуванні об'єктивних законів Всесвіту, доступних людському пізнанню. Але непослідовність Ньютона проявилась у тому, що він, відриваючи простір і час від матерії і матеріальних процесів, перетворив їх у метафізичні надматеріальні сутності. Більше того, він вважав матерію інертною і нездатною до саморуху.

Непослідовність Ньютона проявилась також і в питанні про роль гіпотез. Відомо, що він приділяв належне місце науковим гіпотезам,

хоч і неодноразово висловлювався, що він «не вигадує гіпотез». Ці слова його послідовники - ньютоніанці прийняли як лозунг для боротьби з гіпотезами взагалі, як заклик до формального опису явищ. Це призвело до приниження теоретичного мислення в природознавстві, завдало великої шкоди прогресу фізики.

Підсумовуючи сказане, зауважимо, що Ньютону належить велика роль в історії фізики. Він завершив період створення фізики як самостійної науки, остаточно відокремив її від натурфілософії, сформулював новий метод фізичного дослідження, що базувався на досліді, експерименті, і визначив напрям дальшого розвитку всієї фізичної науки.

## **6. ЗАРОДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ (Саді Карно)**

Відкриття закону збереження і перетворення енергії (Г. Гесс. Ю. Майер, Е. Ленц, Дж. Джоуль. Г. Гельмгольц). Значення цього закону в розвитку фізики. Відкриття II закону термодинаміки (Саді Карно, Р Клаузіус. У. Томсон). Статистичне і феноменологічне обґрунтування II закону термодинаміки (Л.Больцман, М. Пирогов. М. Смолуховський, М. Окатов, М. Шиллер.)

До початку другої половини XVIII ст. вчені розробили питання термометрії і калориметрії, а М. В. Ломоносов створив теоретичні основи теплоти.

Але теоретичні знання про теплоту ще не вирішували процесу вивчення теплоти до кінця. Треба було знайти практичне застосування для цих теоретичних даних. Тобто потрібно було побудувати таку теплову машину, яка перетворювала б теплоту в корисну механічну енергію.

Потреба в такій машині зумовлюється тим, що відносно прогресивний на першій стадії свого розвитку капіталістичний спосіб виробництва вимагав створення такої машини, робота якої не залежала б ні від вітру, ні від води. З всіх відомих на той час видів енергії тільки теплота могла бути безпосередньо використана для розв'язання цього завдання. Створені в кінці XVII – на початку XVIII ст., а саме: в 1690 р. французьким фізиком Д. Папеном (1647–1714), у 1698 р. англійським інженером Т. Севері (1650–1712) і, нарешті, у 1705 р. англійським винахідником Т. Ньюкоменом (1663–1729), «вогнедіючі» пароатмосферні машини не могли задовольнити цієї потреби суспільства через свою технічну недосконалість. В цих машинах парові двигуни були в комбінації з водяними колесами, які

відігравали роль передаточного механізму; машини були надто громіздкі, неекономічні і використовувалися лише для відкачування води з шахт.

Першу парову машину універсальної дії, яка дала практичне застосування теплоти для механічних потреб, сконструював видатний російський теплотехнік І. І. Ползунов (1728–1766).

І. І. Ползунов народився на Уралі, в 1738 р. закінчив «словесну» школу в Єкатеринбурзі, а в 1742 р. – «арифметичну» школу і з цього року був зарахований учнем головного механіка уральських заводів. У 1748 р. дістав посаду техника з виплавляння металу в м. Барнаулі. В Барнаульській бібліотеці І. І. Ползунов ґрунтовно ознайомився з тогочасною теплотехнікою, зокрема з будовою установок Д. Папена, Т. Севері, Т. Ньюкомена, глибоко вивчив теорію теплоти М.В. Ломоносова. На основі цього в квітні 1763 р. він розробив проект нової універсальної парової машини потужністю 1,8 к. с. і подав його начальнику Коливано-Воскресенських заводів. Це був перший у світі проект теплового поршневого двигуна, безперервність роботи якого забезпечувалась двома циліндрами. В наступному році І. І. Ползунов розробив другий проект парової машини потужністю 35 к. с. і приступив до її побудови. В грудні 1765 р. машина була закінчена і пройшла успішне випробування. Надзвичайно важкі умови при будівництві цієї машини – відсутність необхідного обладнання, навчених кадрів, належного досвіду – підірвали здоров'я І. І. Ползунова. 27 червня 1766 р. він помер від швидкоплинного туберкульозу. В серпні 1766 р. машина була запущена і, незважаючи на недовготривалість її дії (близько 1,5 місяця), вона дала прибутку понад 12000 крб.

Аналогічну універсальну парову машину сконструював у 1784 р. англійський винахідник Д. Уатт (1736– 1819), який вперше в ній запровадив відцентровий регулятор з дросельною заслінкою для підтримування - сталої кількості обертів вала. Універсальна машина Уатта, завдяки значній економічності, набула великого поширення.

Виникнення термодинаміки було тісно пов'язане з практичними вимогами знайти раціональні основи для будівництва теплових двигунів. Цим і був зумовлений розвиток двох напрямів у термодинаміці, а саме: а) вивчення робочих циклів теплових машин, що привело до встановлення першого і другого начал термодинаміки; б) вивчення властивостей газів і парів, що привело до встановлення рівнянь стану, які визначають основні властивості конкретних

реальних речовин. Ці два напрями в термодинаміці розвивалися у взаємозв'язку, бо застосування першого і другого начал для розв'язання конкретних задач можливе тільки при наявності рівнянь стану.

Вивчення робочих циклів теплових машин бере свій початок з двадцятих років XIX ст., тобто з часу виходу в світ теоретичної праці молодого французького інженера С. Карно «Міркування про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу» (1824).

С. Карно (1796–1832) в цій праці вперше дав теорію колового процесу, яка являла собою схематичне наближення основних принципів дії теплової машини. Аналізуючи коловий процес, названий пізніше циклом Карно, він показав для ідеального випадку, що к. к. д. теплової машини не залежить від природи робочого тіла і повністю визначається граничними температурами, між якими машина працює, тобто:  $\eta_{io} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ , де  $T_1$  і  $T_2$  – температура нагрівника і охолоджувача, а  $Q_1$  і  $Q_2$  – кількість теплоти, одержаної робочим тілом від нагрівника, і кількість теплоти, відданої робочим тілом охолоджувачу. Це твердження є елементарним математичним виразом другого начала термодинаміки. Карно вперше звернув увагу на те, що тільки при переході теплоти від тіла більш нагрітого до тіла менш нагрітого можна одержати корисну роботу; і навпаки, щоб перевести теплоту від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, треба затратити роботу. Цю фізичну закономірність він встановив на основі розглянутого ним циклу. Але причинний зв'язок зазначених явищ Карно пояснив неправильно, бо він в той час ще дотримувався хибного погляду на теплоту, як на теплець (теплород). Оскільки теплець не зникає, а переходить з одного місця на друге, Карно вважав, що кількість теплоти, яку речовина віддає під час колового процесу навколишнім тілам, повинна дорівнювати кількості теплоти, що надходить ззовні: виграв у роботі маємо тому, що утворюється низхідний потік теплоти від більш високої температури до нижчої, подібно до того, як виконується робота при падінні води з вищого рівня на нижчий.

Праця С. Карно відіграла важливу роль у розвитку наукових основ теплотехніки. Стало ясно, що для підвищення к. к. д. теплових машин важливо йти по шляху розширення температурних границь, між якими проходить цикл робочого тіла, тоді як заміна одного робочого тіла іншим сама по собі не може дати ніякої користі.



Розглядаючи теплоту як особливу гіпотетичну речовину – теплець (теплород), Карно не зміг узагальнити елементарне формулювання другого начала термодинаміки на довільний зворотний коловий процес. Це зробили пізніше Р. Клаузіус (1822–1888) і У. Томсон (1824–1907). Важливо підкреслити, що пізніше, зокрема на початку 30-х років, Карно відмовився від теорії теплецю, визнав взаємну перетворюваність теплоти і механічної роботи, наближено обчислив механічний еквівалент теплоти і висловив у загальній формі закон збереження енергії. Вперше праця С. Карно дістала гідну оцінку і була продовжена в 1834 р. французьким інженером та фізиком П. Клапейроном (1799–1864), який протягом тривалого часу працював у Петербурзькому інституті інженерів шляхів сполучення і в 1830 р. був обраний членом-кореспондентом Петербурзької Академії наук, а в 1858 р. – членом Паризької академії.

Аналізуючи працю С. Карно, яка стала вихідним пунктом для встановлення другого начала термодинаміки, Клапейрон вперше в науці застосував графічний метод – так званий метод індикаторних діаграм для графічного зображення робочих циклів. У тому ж 1834 р. Клапейрон вивів рівняння стану ідеального газу у вигляді:  $pV = VT$ , де  $p$  – тиск;  $V$  – об'єм;  $T$  – абсолютна температура газу;  $V$  – стала величина для даної маси газу. Це рівняння узагальнив у 1874 р. Д. І. Менделєєв, який ввів поняття універсальної газової сталої  $R$ , розкрив її фізичний зміст і записав рівняння стану ідеального газу для будь-якої маси  $m$

газу так:  $pV = \frac{m}{M} RT$ ,

де  $p$  – тиск;  $V$  – об'єм;  $M$  – молярна маса газу;  $T$  – абсолютна температура газу. Це рівняння було назване рівнянням Менделєєва – Клапейрона.

Слід зауважити, що ще в першій чверті ХІХ ст. були встановлені, переважно дослідно, основні газові закони і запроваджені такі важливі поняття, як газова стала, питомі теплоємності газів, парціальний тиск газу тощо. Слідом за законом Бойля–Маріотта, в 1802 р. французький фізик Ж. Гей-Люссак (1778–1850), незалежно від англійського хіміка і фізика Д. Дальтона (1766–1844), відкрив закон, згідно з яким коефіцієнт об'ємного розширення для всіх газів при сталому тиску однаковий і дорівнює  $\frac{1}{273}$  град<sup>-1</sup>. Цей закон Гей-Люссак поширив також на пару і показав, що енергія пари однакова як у пустоті, так і в газових сумішах. Д. Дальтон в цей час відкрив закон, згідно з яким

загальний тиск суміші газів дорівнює сумі їх парціальних тисків. Це відіграло досить важливу роль у процесі вивчення властивостей газів.

Паралельно з цими дослідженнями французький фізик Ж. Шарль (1746–1823) установив зв'язок між тиском газу, який займає постійний об'єм, і його температурою, причому і тут виявилось, що термічний коефіцієнт тиску однаковий для всіх газів і дорівнює  $\frac{1}{273}$  град<sup>-1</sup>.

Із закону Шарля не важко встановити існування температури, при якій майже припиняється рух молекул і яка дістала назву «абсолютного нуля». Абсолютний нуль, як відомо, лежить на 273,16° нижче від 0 °С за шкалою Цельсія, і на його основі запроваджено нову шкалу температур, так звану абсолютну термодинамічну шкалу (Кельвіна).

У 1811 р. італійський фізик А. Авогадро (1776–1856) сформулював важливе для фізики положення, яке було назване законом Авогадро. Згідно з ним, при однакових температурі і тиску, в однакових об'ємах усіх газів міститься та сама кількість молекул  $N=6,025 \cdot 10^{26}$  кмоль<sup>-1</sup>.

Початок вивченню адіабатичного процесу в газах поклав своїми дослідженнями Гей-Люссак, який у 1807 р. встановив, що при швидкій зміні тиску газу відбувається різка зміна його температури і газ інтенсивно нагрівається (адіабатичний стиск) або інтенсивно охолоджується (адіабатичне розширення).

П. Лаплас, а дещо пізніше, в 1819 р. Н. Клеман (1779–1841) і Ш. Дезорм (1777–1839) запропонували метод для визначення відношення питомої теплоємності при сталому тиску до питомої теплоємності при сталому об'ємі, заснований на адіабатичній зміні тиску і температури повітря. Клеман і Дезорм вже дослідили, що для повітря  $\gamma=1,41$ , і тим самим довели, що  $C_p$  більше, ніж  $C_v$ . Нарешті, в 1823 р. французький учений С. Пуассон (1781–1840) в результаті теоретичних досліджень змін температури і густини газу при адіабатичному процесі знайшов рівняння адіабатичного процесу:

$pV^\gamma = const$ , де  $p$  – тиск;  $V$  – об'єм; а  $\gamma$  – коефіцієнт Пуассона, який дорівнює відношенню  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ . Це рівняння названо рівнянням Пуассона.

Сорокові роки ХІХ ст. займають особливе місце в розвитку термодинаміки: вони ознаменовані цілим рядом фундаментальних досліджень, які привели до остаточного встановлення першого начала

термодинаміки. Саме в 1840 р. член Петербурзької Академії наук Г. І. Гесс (1802–1850) встановив важливий закон, згідно з яким тепловий ефект будь-якої хімічної реакції не залежить від шляху (проміжних стадій), а залежить тільки від вихідного і кінцевого станів системи. Цей закон Гесса являв собою окрему часткову форму першого начала термодинаміки для випадку хімічних реакцій.

Першими дослідженнями, в яких був сформульований принцип еквівалентності теплоти і роботи в зв'язку з загальною ідеєю про взаємоперетворюваність різних форм енергії в сталих співвідношеннях, були праці німецького вченого Р. Майєра (1814–1878) «Про кількісне і якісне визначення сил» (1841) та «Замітки про сили неживої природи» (1842).

Причиною, що наштотувала Р. Майєра на виконання цих важливих досліджень, були його власні спостереження під час подорожі на о. Яву. Працюючи лікарем, Майєр помітив, що в людей тропічного поясу венозна кров набагато світліша, ніж у жителів помірної пояси, і прийшов до думки, що в людському організмі повинен існувати прямий зв'язок між споживанням продуктів і утворенням теплоти і що при виконанні фізичної роботи в крові з'являються сполуки з киснем, тобто продукти горіння. Аналізуючи ці спостереження, Майєр прийшов до встановлення принципу еквівалентності тепла і роботи в зв'язку з загальною ідеєю про взаємоперетворюваність різних форм руху. На основі знайденого співвідношення між теплоємностями при сталому тиску і сталому об'ємі (відомим тепер під назвою рівняння Майєра) він теоретично обчислив значення механічного еквівалента теплоти (знайдене ним  $I = 367 \text{ кГ} \cdot \text{м/ккал}$  було заниженим внаслідок того, що кількісні значення теплоємностей в той час були визначені ще не досить точно).

У роботі «Органічний рух у зв'язку з обміном речовин» (1845) Майєр продовжив розвивати свій принцип і чітко підкреслив, що рух, теплота, електрика, хімічні процеси і т. п. є якісно різні форми «сил» (у термін «сила» він вкладав поняття енергії), що перетворюються одна в одну при незмінних кількісних співвідношеннях. В цьому і полягає закон збереження і перетворення енергії, сформульований Майєром. На основі цих досліджень Майєр різко виступив проти псевдонаукової теорії теплецю та інших невагомих матерій.

У 1843 р. російський фізик Е. Х. Ленц опублікував працю «Про закони виділення теплоти гальванічним струмом» та англійський фізик Д. Джоуль (1818–1889) – працю «Про тепловий ефект

електромагнетизму і величину роботи теплоти», в яких було встановлено закон теплової дії електричного струму. Д. Джоуль у 1843–1850 рр. здійснив серію експериментів для визначення механічного еквівалента теплоти за допомогою механічної роботи сил тертя і визначив його числове значення – 436,5 кГ·м/ккал. Ці дослідження були продовжені Г. Гірном (1815–1890), який у 1860–1861 рр., досліджуючи співударяння двох свинцевих тіл, одержав значення механічного еквівалента теплоти, яке дорівнювало 425 кГ·м/ккал; нарешті, в 1880 р. Г. Роуланд (1848–1901), використовуючи метод Джоуля, знайшов загальноприйняте і тепер значення механічного еквівалента теплоти  $I = 427$  кГ·м/ккал.

У 1847 р. видатний німецький природодослідник Г. Гельмгольц (1821 –1894) написав працю «Про збереження сили», в якій закон збереження і перетворення енергії набув строгої математичної форми. Гельмгольц проаналізував більшість відомих на той час фізичних явищ і показав, що всі вони підпорядковані закону збереження енергії, цим самим підкресливши його загальність. Разом з цим він довів, що процеси, які відбуваються в живих організмах, теж підпорядковуються закону збереження енергії. Це було найвагомим аргументом проти концепції особливої «життєвої сили», що начебто керує живими організмами, проти концепції віталізму.

Але Гельмгольц звернув особливу увагу лише на кількісну сторону закону, знехтувавши найважливішою його якісною стороною. Наголошуючи тільки на фактичному збереженні енергії в еквівалентних кількостях при різних фізичних процесах, Гельмгольц ігнорував основне – якісне перетворення форм енергії. Причиною цього була метафізичність його уявлень про матерію, яку він розглядав як якісно однорідну сукупність незмінних частинок, між якими діють центральні сили, які залежать тільки від відстані. Для Гельмгольца була чужою ідея якісної зміни форм руху матерії при їх перетвореннях.

Отже, дослідженнями багатьох учених, в першу чергу Р. Майєра, Г. Гельмгольца і інших, в сорокових роках ХІХ ст. було остаточно встановлено закон збереження й перетворення енергії і дано йому математичний вираз.

П'ятдесяті роки ХІХ ст. характеризуються появою ряду важливих робіт, присвячених другому началу термодинаміки. Саме в 1850 р. з'являється робота «Про рушійну силу тепла» німецького фізика Р. Клаузіуса, в якій він повертається до ідей С. Карно, тобто до

вивчення проблеми особливих властивостей передачі енергії в тепловій формі, до проблеми другого начала термодинаміки, розвиваючи і узагальнюючи її вже в світлі першого начала. Користуючись уявленням про необоротність реальних процесів і запровадивши поняття зведених теплот, він обґрунтував специфічні особливості теплового руху і дав формулювання другому началу: **теплота не може сама собою перейти від менше нагрітого тіла до більш теплого**. Разом з цим Клаузіус підкреслив, що друге начало хоч є і самостійний закон, але в той же час це необхідне доповнення до першого начала.

У 1851–1852 рр. вийшли в світ перші роботи англійського фізика У. Томсона (Кельвіна) під загальною назвою «Про динамічну теорію тепла», також присвячені другому началу. В цих роботах Томсон узагальнив принцип С. Карно для процесів, що відбуваються в теплових машинах, на довільні явища, пов'язані з тепловим рухом у макроскопічних тілах. Розглядаючи друге начало як загальний закон природи, Томсон в 1854 р. показав, що воно дає змогу побудувати абсолютну шкалу температур, принципово незалежну від вибору термометричної речовини.

У наступне десятиліття, працюючи паралельно і незалежно, Томсон і особливо Клаузіус завершили створення класичної теорії другого начала, надавши йому сучасної математичної форми і здійснивши його елементарне обґрунтування. При цьому Клаузіус у 1865 р. ввів фундаментальне поняття ентропії –  $S$ , за допомогою якого він прийшов до загального аналітичного формулювання другого начала, а саме:  $dS \geq \frac{dQ}{T}$ , де  $dS$  – приріст ентропії;  $dQ$  – приріст кількості теплоти;  $T$  – абсолютна температура. Поряд з цим, уточнивши в 1864 р. поняття внутрішньої енергії –  $U$  і позначивши приріст механічної роботи через  $d'W$ , він дістав остаточний аналітичний вираз першого начала у вигляді:

$$d'Q = dU + d'W$$

і в 1866 р. об'єднав ці закони в основному рівнянні термодинаміки, яке для квазістатичних процесів має такий вигляд:

$$TdS = dU + d'W.$$

Роботи Р. Клаузіуса, У. Томсона завершили формування першого етапу феноменологічної термодинаміки і перетворили її в самостійну фізичну науку з цілком характерним методом дослідження – методом циклів, з міцно закладеними загальнофізичними основами, які зумовили внутрішні закономірності її наступного розвитку і швидке

розширення кола її застосувань.

Другий етап розвитку термодинаміки, що сформувався в сімдесятих роках XIX ст., характеризується двома важливими обставинами. По-перше, протягом цього періоду поглиблюється і узагальнюється не тільки обґрунтування, а й саме трактування основних положень термодинаміки і насамперед другого начала. По-друге, завдяки великій загальності, якої на той час досягає термодинамічний метод, дуже швидко розширюється коло фізико-хімічних і хімічних явищ, які вивчаються термодинамікою. Зокрема, в цей період зароджується термодинаміка фазових перетворень і розчинів, виникає термодинаміка електромагнітних процесів, в тому числі випромінювання. А в 1906 р. дослідженнями німецького фізика В. Нернста (1864–1941) була встановлена за допомогою узагальнення дослідних фактів, що стосуються галузі низьких температур і тісно зв'язані з важливою проблемою хімічної спорідненості, загальна теорема, яка характеризує поведінку ентропії конденсованих систем поблизу абсолютного нуля, а також дає можливість зробити висновки про ряд інших важливих властивостей тіл при низьких температурах. Ця теорема, яку називають третім началом термодинаміки, поширена М. Планком в 1911 р. на довільні системи і сформульована ним у вигляді постулату, що поблизу абсолютного нуля ентропія кожного тіла прямує до нуля, є основою термодинаміки низьких температур.

Слід зауважити, що однією з головних проблем розвитку термодинаміки в середині другої половини XIX ст. було обґрунтування другого начала. Чому постало це питання? Відповідь проста. В той час обґрунтування першого начала термодинаміки було в основному завершено. Цей закон природи був перевірений численними дослідженнями. Але обґрунтування другого начала залишалось не завершеним. Обґрунтування його, дане Р. Клаузіусом і У. Томсоном, було недосконалим. Принциповим недоліком класичних праць цих вчених було те, що вся теорія розроблялася ними описово і друге начало термодинаміки формулювалось як безпосереднє узагальнення досліду. При цьому не був досліджений зв'язок загального математичного формулювання другого начала з основними властивостями таких термодинамічних величин, як кількість тепла, температура тощо.

Такий підхід в дослідженнях найважливіших фізичних законів значною мірою зумовив істотні методологічні недоліки в працях Р. Клаузіуса і У. Томсона, що, зокрема, привело до формулювання

ними антинаукової гіпотези про так звану «теплову смерть» **Всесвіту.**

Нищівній критиці гіпотеза «теплової смерті» була піддана в працях одного з основоположників статистичної фізики австрійського фізика Л. Больцмана (1844–1906), який вперше дав статистичне доведення другого начала термодинаміки, з'ясував суто статистичну природу теплових явищ і довів неабсолютний характер термодинамічної необоротності, виходячи з основ загальної теорії флуктуації, розробленої ним. При цьому Больцман показав, що мікроскопічні процеси, які лежать в основі всіх термодинамічних явищ, є оборотними і аналітично виразив ці ідеї в 1877 р. в своєму принципі, який встановив прямий зв'язок між ентропією системи та ймовірністю її стану. Пізніше один з основоположників статистичної фізики, американський фізик Д. Гіббс (1839–1903) у своїй роботі «Елементарні принципи статистичної механіки, розроблені стосовно до раціонального обґрунтування термодинаміки» (1902) встановив найбільш універсальний статистичний розподіл – розподіл Гіббса і показав, що всі термодинамічні закономірності можуть бути безпосередньо виведені з основних положень статистичної фізики. В цій же роботі він дав загальну теорію флуктуації і розробив систему статистичної механіки, що дає змогу тлумачити запроваджені ним термодинамічні функції на основі атомістичного вчення.

Статистична фізика встановила точні межі застосування другого начала термодинаміки. Один з її основоположників, автор класичних праць з теорії флуктуацій, які привели до молекулярно-кінетичного обґрунтування другого начала термодинаміки, польський фізик М. Смолуховський (1872–1917) так писав про ці межі: «Точно сформульовані в попередніх розділах поняття часу дають дійсні критерії для меж застосування закону ентропії. Чи уявляється нам будь-який (залежний від одного параметра) процес оборотним чи необоротним, а це і є основним пунктом всього питання, залежить не від ходу процесу, а тільки від початкового стану і тривалості спостереження, причому все може бути виражено простим правилом: процес уявляється нам оборотним (необоротним), якщо розглядуваний стан володіє тривалим (коротким) часом повернення (або часом чекання) порівняно з тривалістю спостереження».

В якому б вигляді не виступало перед нами друге положення Клаузіуса і т. д., у всякому разі, згідно з ним, енергія втрачається, якщо не кількісно, то якісно. Ентропія не може знищуватись

природним шляхом, але зате може створюватись. Світовий годинник спочатку повинен бути заведений, потім він йде, поки не прийде в стан рівноваги, і тільки чудо може вивести його з цього стану і знов пустити в хід. Витрачена на заведення годинника енергія зникла, принаймні в якісному відношенні, і може бути відновлена тільки через поштовх ззовні. Значить, поштовх ззовні був необхідний також і на початку; значить, кількість руху, або енергії, що є у всесвіті, не завжди однакова; значить, енергія повинна була бути створена; значить, вона створима; значить, вона знищима.

Слід зауважити, що поряд з статистичним обґрунтуванням другого начала термодинаміки, великі заслуги в обґрунтуванні його в межах феноменологічного методу належать російським фізикам М. Ф. Окатову (1829–1901) і М. М. Шіллеру (1848–1910). У праці «Термостатика» (1871) Окатов поряд з розглядом цілого ряду проблем вперше здійснив спробу поглибленого обґрунтування другого начала для ідеальних газів. Проаналізувавши різноманітні оборотні процеси, він прийшов до висновку, що для ідеальних газів вони мають важливу особливість, а саме: величина  $d'Q$  стає через помноження на множник  $\frac{1}{T}$  повним диференціалом деякої функції  $S$  двох незалежних аргументів, що визначають стан газу, тобто  $dQ = TdS$ . Довівши друге начало термодинаміки для ідеальних газів, М. Ф. Окатов висловив думку, що воно повинне бути справедливим для будь-якого термодинамічного тіла. З приводу цього він писав: «...при оборотній зміні будь-якого тіла (не тільки ідеального газу) кількість  $dU + dW$  стає при поділі на абсолютну температуру  $T$  повним диференціалом деякої функції  $S$  незалежних аргументів, які визначають стан тіла».

Так, вперше в науці М. Ф. Окатов довів важливе для обґрунтування другого начала термодинаміки положення, що величина, обернена до абсолютної температури  $T$ , принципово відіграє роль інтегруючого множника.

Важливою віхою в розвитку термодинаміки став період 1897–1902 рр., коли були опубліковані праці М. М. Шіллера «Про другий закон термодинаміки і про одне нове його формулювання», «Походження і розвиток понять про «температуру» і «теплоту», «Основні закони термодинаміки» та ін. В цих працях Шіллер, розвиваючи ідеї М. Ф. Окатова, на основі всебічного аналізу загальних властивостей адіабатних процесів прийшов до обґрунтування другого начала термодинаміки для довільних систем. При цьому він зробив ґрунтовний аналіз основних понять термодинаміки – ентропії,



температури, кількості тепла, термічної рівноваги тощо.

Аналогічні ідеї в обґрунтуванні другого начала термодинаміки за допомогою інтегруючого множника, щоправда в більш загальній математичній формі, були висловлені уже в 1909 р. німецьким математиком К. Каратеодорі (1873–1950) і блискуче розвинуті російською дослідницею Т. А. Афанасьєвою-Еренфест (1876–1964) у праці «Необоротність, однобічність і друге начало термодинаміки (1928), де вона сформулювала для повного обґрунтування другого начала термодинаміки чотири аксіоми і тим самим завершила цілий етап у розвитку феноменологічної термодинаміки.

## 7. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

Дослідження в галузі електрики (У.Гільберт, О.Геріке, Ф.Епінус, Г.Ріхман, М.Ломоносов, Б.Франклін). Теорія електрики Б. Франкліна. Досліди Шарля Кулона. Відкриття гальванізму (Л.Гальвані, А.Вольта). Дослідження В.Петрова. Відкриття електромагнетизму (Х.Ерстед, Ж.Біо, Ф.Саварр, О. Лаплас). Роботи Ампера. Наукова діяльність М.Фарадея. Закони електролізу. Роботи Фарадея в галузі електромагнетизму. Дослідження Ленца. Конструювання перших електричних машин. Винайдення гальванопластики (Б.Якобі). Відкриття законів електричного струму (Г.Ом, Є.Ленц, Дж.Джоуль, Г. Кірхгоф). Винайдення електромагнітного телеграфу (Шилінг, Морзе, Якобі).

Історія вчення про електрику і магнетизм у XVIII і в першій половині XIX ст. характеризується цілою серією важливих відкриттів і винаходів. Перші дослідження природи атмосферної електрики, були виконані М. В. Ломоносовим, Г. В. Ріхманом і Б. Франкліним. Зазначимо, що протягом цього періоду було визначено основні закони взаємодії електричних зарядів і магнітів, висловлено ідею про тісний зв'язок між електричними й магнітними явищами, відкрито існування двох видів електрики, винайдено джерела електричної енергії і досліджено їхню хімічну, теплову і магнітну дії, встановлено закони постійного електричного струму. У цей час народилась нова галузь вчення про електрику і магнетизм - електродинаміка, було відкрито електромагнітну індукцію і встановлено її закономірності тощо.

Уже в 1729 р. Стефан Грей (1670–1736), експериментально досліджуючи властивості різних тіл на електричну провідність, прийшов до висновку, що всі тіла поділяються на «провідники» і «непровідники». Розвиваючи ці дослідження, французький фізик

Ш. Дюфе (1698– 1739) вперше встановив два різних види електрики. Той вид, що виникав на склі, він назвав «скляним», а той, що виникав на бурштині – «смоляним». Він же встановив і правило, що однорідні електрики відштовхуються, а різнорідні – взаємно притягуються.



*Демонстрація лейденської банки з дерева. XIX ст.*

Важливим етапом у галузі вивчення електрики було винайдення в 1745р. німецьким фізиком Е. Клейстом і голландським фізиком Пітером ван Мушенбруком (1692–1761) лейденської банки і здійснення з нею великої серії дослідів. Зокрема досліди, які виконав у 1756–1757 рр. академік Петербурзької Академії наук Ф Епінус (1724–1802), привели до відкриття електрофора. В 1759 р. Епінус опублікував працю «Опыт теории электричества и магнетизма», яка була першою спробою математичного трактування електричних і магнітних явищ. Він встановив і пояснив явище електростатичної індукції, дуже близько підійшов до поняття про потенціал та електроємність і передбачив коливний характер розряду конденсатора. Епінус по суті розглянув всі основні явища, що склали основи магнітостатики, зокрема дослідив сили притягання і відштовхування в магнітах, явище індуктивного намагнічення, дав методи виготовлення штучних магнітів, пояснив утворення магнітних спектрів із залізних ошурок. Досліджуючи питання про розмір сили, що діє між електричними зарядами або магнітами, він висловив припущення, що ці сили, подібно до сил тяжіння, повинні бути обернено пропорційні квадрату відстані. З цього приводу він писав: «Коли б була потреба зробити вибір між різними функціями, то я охоче стверджував би, що ці величини (сили) змінюються обернено пропорційно квадратам віддалей».

Ці ідеї Епінуса експериментально підтвердилися в дослідженнях французького фізика Ш. Кулона (1736 – 1806), який за допомогою

сконструйованих ним крутильних терезів у 1785 р. відкрив основний закон електростатики - закон Кулона. Цей закон формулюється так: сила взаємодії між двома точковими зарядами прямо пропорційна добуткові величини зарядів і обернено пропорційна квадратові віддалі між ними, тобто  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , де  $k$  – коефіцієнт пропорційності. Слід зауважити, що ще в 1771 р. англійський фізик і хімік Г. Кавендіш (1731 –1810) серією експериментів встановив цей основний закон електростатики і, крім того, вперше відкрив вплив середовища, на ємність конденсатора і знайшов значення діелектричних проникностей для деяких речовин, але, на жаль, ці дослідження були вперше опубліковані аж через століття – у 1879 р.

Наприкінці XVIII ст. були відкриті перші джерела електричної енергії. Це здійснили італійські вчені Л. Гальвані (1737–1798) і А. Вольта (1745–1827). Гальвані, професор анатомії і медицини Болонського університету, перший звернув увагу на фізіологічну дію електричного струму – сіпання лапки препарованої жаби при електричному розряді – і зацікавився впливом електрики на діяльності живого організму. У 1791 р. він опублікував «Трактат про сили електрики при м'язовому русі», де описав здатність мертвого препарату (жаби) проявляти життєві скорочення як під впливом електрофорної машини, так і при введенні в препарат мідної голки, коли другим електродом є залізо. Так, Гальвані відкрив прототип гальванічного елемента, склав перші електричні кола з провідників металів і препаратів жаби, хоч і не зрозумів того, що, суттю відкритих ним явищ є контактна різниця потенціалів, а вважав, що існує «тваринна електрика». Цими дослідженнями Гальвані зацікавилася багато вчених і насамперед А. Вольта, який не тільки підтвердив результати дослідів Гальвані, а й зробив новий крок в дослідженні та вивченні відкритого ним явища, сконструювавши перші джерела постійного електричного струму, які дістали назву гальванічних елементів. Ще в 1775 р. Вольта винайшов смоляний електрофор – прилад, що став прообразом електрофорної машини, а в 1781 р. сконструював чутливий електроскоп з соломинками і запровадив його в практику точних вимірювань.

Ставлячись спочатку прихильно до існування «тваринної» електрики, Вольта на основі власних спостережень і експериментів, виконаних у 1792–1794 рр., прийшов до висновку, що явища, які спостерігав Гальвані, пов'язані з наявністю кола з двох різнорідних металів і рідини. В 1799 р. він винайшов перше джерело електричної

енергії, яке створює постійний струм (так званий «вольтів стовп»). Досліджуючи різні метали, він встановив контактну різницю потенціалів і склав ряд (цинк, свинець, олово, залізо, мідь, срібло, золото, графіт), сучасний ряд активності металів: (алюміній, цинк, свинець, олово, ртуть, залізо, срібло, золото, платина і т. д.), в якому кожний попередній метал у місці контакту з наступним наелектризується позитивно, а кожний наступний - негативно і чим далі один від одного знаходяться в ряду два метали, тим більше значення контактної різниці потенціалів.

Винайдення «вольтового стовпа» сприяло початку широкого експериментування з електричним струмом, народжувались основи нової галузі знань – електротехніки, основоположником якої став російський учений В. В. Петров.

В. В. Петров (1761–1834) народився в м. Обояні (тепер Курська область). Освіту одержав у Харкові, а потім вчився в учительській гімназії в Петербурзі. З 1788 р. працював учителем в м. Барнаулі, а з 1791 р. викладав фізику і математику спочатку в інженерному училищі (до 1793 р.), а потім (до 1833 р.) в Головному медичному училищі, яке в 1795 р. було перетворено в Медико-хірургічну академію.

В своїй першій праці «Зібрання фізико-хімічних нових дослідів і спостережень» (1801) він різко виступив проти теорії теплецю, захищаючи передову теорію Ломоносова – Лавуаз'є, згідно з якою процес горіння – це процес сполучення з киснем. Довідавшись про досліди Гальвані і Вольти, В.В. Петров споруджує в лабораторії Петербурзької медико-хірургічної академії найбільшу в світі гальвано-вольтівську батарею, що складалась з 2100 мідно-цинкових елементів, електрорушійна сила якої становила близько 1700 вольт. Він дослідив властивості цієї батареї як джерела електричної енергії і показав, що її дія базується на хімічних процесах між металами та електролітом. У 1802 р. за допомогою цієї батареї Петров відкрив явище електричної дуги, дослідив електричний розряд у розрідженому повітрі, а також встановив залежність сили струму від площі поперечного перерізу провідника. Ці відкриття він описав у праці «Вісті про Гальвані – Вольтові досліди», що вийшла в світ у 1803 р. В цьому розділі цієї книги розповідається про відкриття електричної дуги. Зокрема, Петров пише, що якщо на скляну плитку або на ослінчик із скляними ніжками будуть покладені дві або три деревні вуглини, здатні до утворення світлоносних явищ за допомогою Гальвані-Вольтової рідини, і якщо

потім металевими, ізольованими напрямниками, з'єднаними з обома полюсами величезної батареї, наближати їх один до одного на віддалі від однієї до трьох ліній (1 лінія = 10 точкам=2,54 мм), то між ними з'являється дуже яскраве білого кольору світло або полум'я, від якого ці вуглини швидше або повільніше загоряються, і від якого темний покій досить яскраво освітлений бути може.

Тут же Петров описує також виконані ним досліди електричного плавлення металів, спалювання різних речовин і, таким чином, майже на десятиліття раніше від англійського хіміка і фізика Г. Деві (1778–1829), робить ці відкриття. Поряд з цим, у цій праці Петров продовжує розвивати сформульовану в 1800 р. Г. Деві електрохімічну теорію, зокрема описує виконаний за допомогою електричної батареї хімічний аналіз рідин, досліджує явище електролізу, робить висновок про напрям електричного струму. Ці дослідження в 1803 р. були продовжені шведським хіміком І. Берцеліусом (1779–1848). Розкладаючи за допомогою електричного струму водні розчини солей, він помітив, що кислота виділяється на позитивному полюсі, а основа – на негативному, і на основі цього прийшов до думки про електричну природу хімічної спорідненості. У 1804 р. вийшла в світ праця В. В. Петрова «Нові електричні досліди», в якій він описав експериментальні дослідження електризації тіл, зробив правильні висновки про нестійкість явища електризації, про вплив стану поверхні тіл, їх розмірів і температури, а також вологості навколишнього повітря на інтенсивність електризації, описав електростатичні машини власної конструкції тощо. Важливе місце в працях В. В. Петрова належить дослідженням явищ люмінесценції, зокрема явищ хемілюмінесценції, фотолюмінесценції тощо. За ці наукові дослідження В. В. Петрова було обрано в 1815 р. академіком Петербурзької Академії наук, в якій він реорганізував і значно розширив фізичний кабінет і виконав важливі метеорологічні дослідження.

Якщо до початку XIX ст. електричні і магнітні явища розглядалися як дві цілком відокремлені галузі фізики і лише деякі вчені (наприклад, Епінус) висловлювали думку, що при всіх відмінностях електричні і магнітні явища якимось чином взаємозв'язані між собою, то вже В. В. Петров, а за ним і Г. Деві звернули увагу на те, що електрична дуга, яка виникає між вугільними електродами, притягується чи відштовхується сильним магнітом.

Логічно було допустити думку про зворотну дію електричного

струму на рухомий магніт. Це ідея, яка набула на початку XIX ст. великого поширення серед фізиків, була вперше успішно розв'язана данським фізиком, Х. Ерстедом (1777–1851). Він у 1819 р. в результаті численних дослідів встановив, що коли над магнітною стрілкою помістити прямолінійний провідник, орієнтований вздовж магнітного меридіану, з'єднати його кінці з джерелом електричної енергії і пропустити через нього струм, то магнітна стрілка відхиляється. Це відкриття Ерстеда, опубліковане ним у 1820 р. в праці «Досліди, що стосуються дій електричного конфлікту на магнітну стрілку», викликало великий інтерес і, зрештою, привело до формування електродинаміки і практичного використання електромагнетизму.

У тому ж 1820 р. французький фізик Д. Араго (1786 – 1853) експериментально виявив факт намагнічення залізних ошурків електричним струмом, а німецький фізик Т. Зеєбек (1770–1831), який у 1821 р. відкрив явище термоелектрики, вперше використав залізні ошурки для визначення форми силових ліній магнітного поля навколо провідників із струмом різної форми. Тоді ж французькі фізики Ж. Біо (1774–1862) і Ф. Савар (1791– 1841) експериментально виміряли магнітне поле прямого електричного струму і тим самим установили один із законів електродинаміки – закон Біо – Савара, що визначає величину напруженості магнітного поля, створюваного електричним струмом.

У 1820 р. розпочалися дослідження явищ електромагнетизму французьким фізиком, одним з основоположників сучасної електродинаміки, А. Ампером (1775–1836). Повторивши досліди Ерстеда, він встановив так зване «правило плавця» для визначення напрямку відхилення магнітної стрілки магнітним полем електричного струму (правило Ампера або правої руки). Воно формулювалося так: спостерігач, розмістившись обличчям до провідника електричного струму так, щоб струм був спрямований від ніг до голови, бачить лінії магнітного поля спрямованими зліва направо. Ґрунтовні експериментальні і теоретичні дослідження взаємодії струму й магніту привели Ампера до відкриття правил взаємодії електричних струмів, до формування теорії магнетизму, в основу якої він поклав гіпотезу, згідно з якою магнітні взаємодії – це взаємодії колових електричних струмів, тим самим встановивши тісний взаємозв'язок між електрикою і магнетизмом.

Відкривши явище взаємодії струмів, він встановив у 1823 р. основний закон електродинаміки – так званий закон Ампера, який

записується так:

$dF = IBdl \sin(\vec{dl}, \vec{B})$ , де  $dF$  – приріст сили, яка діє на прямолінійний провідник з струмом;  $I$  – сила струму;  $B$  – магнітна індукція;  $dl$  – елемент довжини провідника;  $(dl, B)$  – кут між напрямом струму і вектором  $B$ . Вивід цього закону він опублікував у 1826 р. у своїй основній праці «Теорія електродинамічних явищ, виведена виключно з досліду». У ній він виклав свої електродинамічні дослідження і, зокрема, запропонував розділити вчення про електромагнетизм на електростатику і електродинаміку. Уже в 1820 р. Ампер довів, що магнітна дія електрики може бути використана для вимірювання сили струму, і тим самим підтвердив один з найважливіших наслідків відкриття Ерстеда про початок кількісних досліджень електричного струму. До цього висновку дійшов і німецький фізик, основоположник одного з провідних фізичних журналів «Annalen der Physik» (1824) І. Поггендорф (1796–1877), який побудував у 1821 р. один з перших гальванометрів, що давав кількісні вимірювання, а в 1826 р. запровадив дзеркальний відлік в електровимірювальних приладах.

Важливі експериментальні дослідження законів кола постійного електричного струму здійснив у 1825 р. німецький фізик Г. Ом (1787–1854). На основі цих досліджень він зробив висновок про однаковість сили струму в різних ділянках кола, з'єднаних послідовно, про залежність її від довжини провідників, площі поперечного перерізу і про залежність значення сили струму від матеріалів, з яких виготовлені провідники. У 1826 р. Ом сформулював основний закон електричного кола, що пов'язує опір кола, електрорушійну силу і силу струму в колі, який називається законом Ома, і описав його в праці «Гальванічне коло, розроблене математично д-ром Г. С. Омом» (1827). Визнання цього закону дещо затяглося. Лише після проведення рядом фізиків більш досконалих методів вимірювання, які підтвердили висновки Ома, закон Ома дістав загальне визнання. Особлива заслуга в цьому належить німецькому фізику Г. Кірхгофу (1824–1887), який протягом 1845–1849 рр. теоретично досліджував проходження електричного струму по провідниках різної конфігурації і розгалужених колах. Кірхгоф відкинув неправильне розуміння Омом електричного потенціалу і, скориставшись теорією потенціалу, розробленою англійським математиком Д. Грінем (1793–1841), який у 1828 р. в праці «Досвід застосування математичного аналізу до теорії електрики і магнетизму» ввів поняття потенціалу, і спираючись на роботи М. В. Остроградського (1801–1861), який відкрив ряд теорем

про потенціал, та на дослідження інших вчених, запровадив в теорію електрики сучасне поняття про потенціал і в більш загальній формі сформулював закон Ома. Це дало йому можливість у 1847 р. встановити закономірності проходження електричного струму в розгалужених колах, так звані правила Кірхгофа. Перше з них, що стосується вузлових точок, формулюється так: алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0,$$

де  $n$  – кількість провідників із струмами у вузлі;  $I_k$  – сили струмів у них. Друге правило Кірхгофа стосується замкнутого контура і формулюється так: у будь-якому замкнутому контурі, довільно вибраному в розгалуженому електричному колі, алгебраїчна сума добутків сил струмів  $I_k$  на опори  $R_k$  відповідних ділянок кола дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил, що діють у цьому контурі.

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_k$$

Правила Кірхгофа тепер широко використовуються при послідовному і паралельному сполученні резисторів, шунтуванні, послідовному і паралельному сполученні джерел електричної енергії тощо. Новий важливий етап у розвитку електродинаміки пов'язаний з ім'ям видатного англійського фізика М. Фарадея (1791–1867), який здійснив фундаментальні відкриття в галузі електрики та магнетизму і відіграв значну роль у їх практичному застосуванні.

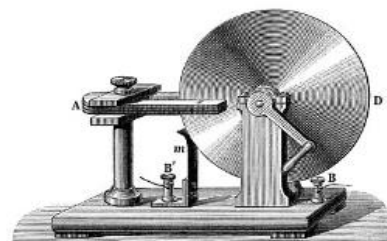
«Я люблю відвідувати тутешні кузні... – писав у 1841 р. Фарадей у своєму щоденнику (під час відпочинку у Швейцарії), – ...батько мій був ковалем». Народився Фарадей у передмісті Лондона в робітничій сім'ї, яка виховувала в дітей любов до праці, чесність, гордість. Не маючи можливості, через матеріальні умови, закінчити навіть початкової школи, він у дванадцятирічному віці почав працювати в палітурній майстерні книжкової крамниці, де мав змогу читати книжки і цим самим, як і відвідуванням недільних лекцій, заповнювати прогалини в своїй освіті. Слухаючи і захоплюючись лекціями відомого англійського вченого, професора Королівського інституту Г. Деві, Фарадей звернувся до нього з проханням прийняти його на роботу в інститут. В 1813 р. Деві взяв Фарадея в інститут, і тут пройшла вся його наукова діяльність. Перші досліди Фарадея були присвячені хімії. Він вперше добув рідкий хлор і виконав ряд важливих праць по зрідженню газів, а в 1825 р. одержав бензол, його наукова популярність швидко зростала. В 1824 р. його обирають



членом Лондонського Королівського товариства, а в 1825 р. він очолив лабораторію Королівського інституту.

Уже в 1821 р. Фарадей, виходячи з діалектичної ідеї про двосторонній зв'язок між електрикою і магнетизмом, поставив перед собою завдання знайти електродинамічний аналог електростатичній індукції – «перетворити магнетизм в електрику». Десятирічна напружена праця увінчалась успіхом. У серпні 1831 р. Фарадей здійснив одне з найблискучіших своїх відкриттів – відкрив електромагнітну індукцію, тобто одержав індукційний струм у вторинній обмотці при замиканні й розмиканні струму в первинній обмотці. В цьому ж році була надрукована перша серія його знаменитих «Експериментальних досліджень з електрики», а остання, тридцята, вийшла в світ у 1855 р. В цих серіях, які складаються з 3000 параграфів, відбиті погляди, думки й результати наукових експериментів майже двадцятип'ятирічної дослідницької діяльності Фарадея, протягом якої він детально дослідив явище електромагнітної індукції, вивів закони, що визначають електрорушійну силу індукції, вперше дослідив відкрите ним явище самоіндукції і струмів замикання й розмикання, висловив передбачення, що електричні і магнітні дії не безпосередньо передаються від тіла до тіла, а переносяться через діелектричне середовище, що лежить між ними, і що це середовище істотно впливає на перебіг у ньому електричного явища.

Диск Фарадея був першим електричним генератором. Підково подібний магніт (А) створював магнітне поле, яке пронизувало диск (D). При обертанні диска виникав радіальний електричний струм. Струм проходить пружинний контакт (m) по зовнішньому колу і назад у центр диска через вісь.



*Один із дискових електричних генераторів Фарадея 1831 року.*

Слід зауважити, що відкриття електромагнітної індукції відразу ж набуло великого наукового і практичного значення і сприяло швидкій побудові перших електромагнітних генераторів електричного струму, здійснених російським фізиком Е. Х. Ленцем і Б. С. Якобі.

Фарадей вперше довів, що всі види електрики, відомі в той час, – термоелектрика, гальванічна, статична й індукційна – мають єдину природу, якісно тотожні між собою і відрізняються тільки кількістю та інтенсивністю. Досліджуючи питання природи електричного струму,

механізму провідності електричного струму в різних тілах, Фарадей, вперше висловив думку про те, що електрика зовсім не рідина, а форма руху, і дав уже правильне пояснення пересування атомів, яке відбувається в рідині, і встановив, що кількість електрики вимірюється кількістю електролітичного продукту.

При встановленні законів електролізу (1833–1834) Фарадей запровадив і основну термінологію цього явища. Він вперше вводить поняття електричного та магнітного поля і формулює поняття про електричні й магнітні силові лінії, вважаючи їх реально існуючими. Особливо детально він дослідив характер магнітних силових ліній, підкреслюючи, що вони наявні в кожному магнітному полі, як деякі ниткоподібні елементи магнітного потоку.

У 1845 р. Фарадей відкрив діамагнетизм і парамагнетизм, а в 1846 р. вперше спостерігає безпосередню дію магнітного поля на світло – відкриває магнітне обертання площини поляризації. Останнє стало важливою віхою у наступному формулюванні електромагнітної теорії світла Дж. Максвеллом.

Велику роль у дослідженні явищ електромагнетизму, у розробці законів електромагнітної індукції відіграв академік Петербурзької Академії наук Е. Х. Ленц (1804–1865). Розпочаті ним з початку 30-х років XIX ст. в фізичній лабораторії Академії наук дослідження з електрики і магнетизму привели його в 1833 р. до встановлення правила, що визначає напрям індукційних струмів і формулюється так: напрям індукційного струму завжди такий, що його магнітне поле протидіє тій причині, яка його зумовила. Це правило Ленца, сформульоване ним у вигляді динамічного закону, відіграло принципову роль при конструюванні перших електричних машин, здійснених Е. Х. Ленцом разом з російським фізиком і електротехніком, академіком Петербурзької Академії наук Б. С. Якобі (1802–1874). В кінці 30-х років XIX ст. вони не тільки створили кілька конструкцій діючих електродвигунів (один з яких був установлений на човні-«електроході» і випробуваний у вересні 1838 р. на р. Неві), але і вперше дали методи розрахунку електромагнітів в електричних машинах. Ці фундаментальні дослідження електромагнітів були ними викладені в двох частинах спільної праці «Про закони електромагнітів», які вийшли в світ у 1838 р. і 1844 р. Разом з цим Ленц, досліджуючи вплив швидкості обертання на величину індукційних струмів в магнітоелектричних машинах, встановив існування явища «реакції якоря». В 1850 р. Б. С. Якобі опублікував

написану ним ще в 1840 р. працю «Про теорію електромагнітних машин», яка була першою в світі спробою теоретичного аналізу роботи електричних двигунів. В ній було виведено формули для магніторушійної сили, співвідношення струмів у гальмівному і робочому режимах, а також показано, що певної величини механічна потужність на валу двигуна може бути одержана тільки внаслідок витрати пропорційної кількості електричної енергії.

У 1842 р. Е. Х. Ленц на основі численних експериментів встановлює (паралельно з англійським фізиком Д. Джоулем) закон теплової дії електричного струму, згідно з яким кількість теплоти, що виділяється при проходженні струму по провіднику, пропорційна квадрату величини струму, опору провідника і часу проходження струму. Закон Джоуля-Ленца відіграв істотну роль у встановленні закону збереження і перетворення енергії і з успіхом застосовується в багатьох практичних розрахунках.

Роботами Фарадея, Ленца та інших учених в галузі електромагнетизму була підготовлена та ланка в розвитку науки, на базі якої дослідженнями англійського фізика Д. Максвелла була завершена теоретична розробка класичної електродинаміки.

## **8. ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ**

Роль Д. Максвелла в формуванні ідеї поля. Відкриття основних рівнянь електромагнітного поля і зв'язку між електромагнітними та оптичними явищами. „Трактат електрики і магнетизму” Дж. Максвелла. Вчення Умова про рух енергії. Експериментальне підтвердження електромагнітної теорії в роботах О. Столетова та його учнів М. Шіллера та П. Зилова. Відкриття і експериментальне дослідження властивостей електромагнітних хвиль Г. Герцем. Відкриття радіо О. Поповим.

Фундаментальні дослідження М. Фарадея, Е. Х. Ленца та інших вчених у галузі електромагнетизму, ідеї Фарадея про зв'язок між електричними і магнітними полями, його теорія – модель електромагнітного поля були тією необхідною ланкою в розвитку науки, на основі якої була завершена теоретична розробка класичної електродинаміки, створена теорія електромагнітного поля і сформульована електромагнітна теорія світла. Це здійснив англійський фізик Д. Максвелл (1831 – 1879). Уже в першій роботі

«Про фарадеївські силові лінії», написаний у 1855–1856 рр., Максвелл зробив спробу викласти уявлення Фарадея за допомогою математики і розглянути за допомогою - методу силових трубок Фарадея електричні й магнітні взаємодії. У 1861 – 1862 рр. надруковано ряд статей Максвелла, які увійшли до його другої праці з теорії електромагнетизму «Про фізичні силові лінії», де він розвиває свої висновки з першої роботи і показує, що електротонічний стан, запропонований Фарадеєм, є не що інше, як магнітне поле. У створеній новій теорії Максвелл висунув на перший план роль середовища і поставив перед собою мету знайти механічну модель, яка розкривала б поведінку цього середовища у магнітних взаємодіях. За допомогою побудованої ним моделі він приходив до знаменитих рівнянь. Система рівнянь Максвелла узагальнила ідеї Фарадея і розкрила взаємозв'язок електричних та магнітних полів. З рівнянь Максвелла випливав надзвичайно важливий висновок, передбачений ще Фарадеєм: змінне електромагнітне поле поширюється зі скінченною швидкістю, яка дорівнює швидкості світла у вакуумі. Отже, це свідчило про існування електромагнітних хвиль з усіма науковими й технічними наслідками цього відкриття.

У 1873 р. вийшла в світ знаменита праця Д. Максвелла «Трактат з електрики і магнетизму», в якому він, підсумувавши свої дослідження в галузі електромагнітного поля, показав, що світло є не що інше, як електромагнітні хвилі, відмітив тісний зв'язок між оптичними й електромагнітними властивостями середовища, вперше запровадив поняття про струм зміщення. При цьому він зазначив, що струм зміщення, який виникає в діелектрику між обкладинками конденсатора, утворює магнітне поле. Слід зауважити, що основну ідею про електромагнітну природу світла висловив Максвелл ще в 1865 р. До заслуг Максвелла слід віднести і те, що він перший дослідив залежність показника заломлення світла від діелектричної проникності середовища, тобто вивів співвідношення  $\epsilon\mu = n^2$ , а також установив наявність обертання площини поляризації світла в електромагнітному полі.

Теорію Максвелла, яка завершила розробку класичної електродинаміки, створила наукові основи електромагнітного поля і відкрила електромагнітну природу світла, фізики спочатку зустріли недовірливо, і остання чверть ХІХ ст. пройшла по суті під лозунгом експериментальної й теоретичної перевірки теорії Максвелла. Становище ускладнювалось ще й тим, що основні посилення і

висновки теорії не були достатньою мірою підтверджені експериментально.

Одна з перших проблем, яка впливала з теорії Максвелла і стверджувала, що коли є нерозривний зв'язок між електричними і магнітними явищами, то повинен бути такий самий зв'язок між електростатичними і електромагнітними системами одиниць, тобто що електродинамічна стала (відношення електростатичних і електромагнітних одиниць) повинна дорівнювати швидкості світла у вакуумі, вимагала своєї експериментальної перевірки. Важливі попередні дослідні результати по визначенню сталої  $c$  в рівняннях Максвелла належать О. Г. Столетову, який розробив досить точний метод визначення відношення цих одиниць і вперше встановив, що воно дорівнює швидкості світла  $c$ . Це було чи не одне з перших доведень справедливості теорії Максвелла. За це дослідження в 1881 р. О. Г. Столетову на Міжнародному конгресі електриків у Парижі був присуджений почесний диплом.

Велике значення для розв'язання питання про рух і поширення енергії електричного та магнітного полів, про перенесення цієї енергії від однієї точки середовища до іншої мала докторська дисертація М. О. Умова (1846–1915) під назвою «Рівняння руху енергії в тілах», опублікована в рік виходу «Трактату про електрику і магнетизм» Д. Максвелла.

Вихованець Московського університету, М. О. Умов з 1871 р. працював доцентом, а з 1875 р. – професором Новоросійського (тепер Одеського) університету. У 1893 р. він повернувся у Московський університет, де й очолив після О. Г. Столетова кафедру фізики.

Своєю працею «Рівняння руху енергії в тілах», яка була результатом узагальнення і дальшого розвитку його попередніх робіт, М. О. Умов зробив важливий крок у напрямі поглиблення теорії поля, запровадивши поняття про рух і потік енергії. Виходячи із закону збереження енергії, він вивів рівняння руху енергії в середовищі.

Математичний вивід теореми Умова – Пойнтінга і її застосування до випадку перетворення енергії в провіднику, то якому тече струм, і до випадку електромагнітної хвилі увійшли в підручники з електрики, а вектор Умова – Пойнтінга тепер загальноприйнятий.

В експериментальному підтвердженні теорії електромагнітного поля, розробленої Д. Максвеллом, видатні праці належали М. М. Шіллеру. Проведені експериментальні роботи по дослідженню електричних коливань М. М. Шіллер в 1874 р. описав у магістерській

дисертації «Експериментальне дослідження електричних коливань». У ній для перевірки формули  $\epsilon\mu=n^2$ , що випливає з теорії Максвелла, він вперше застосував метод електричних коливань до визначення діелектричних коефіцієнтів ряду твердих діелектриків, а також вперше виявив залежність діелектричної проникності від частоти електромагнітних коливань. Паралельно, удосконаливши метод Гельмгольца для визначення періоду коливань, М. М. Шіллер експериментально довів справедливості формули У. Томсона, одержаної в 1853 р., що встановлювала залежність періоду власних коливань контуру від його ємності та індуктивності.

Слід сказати, що Д. Максвелл у своїй останній праці «Електрика в елементарній обробці» (1881), яка була дальшим розвитком теорії електромагнітного поля, наводить результати робіт М. М. Шіллера, Л. Больцмана і П. О. Зилова (1850–1921) по визначенню діелектричної проникності різних речовин. Зокрема він зупиняється на експериментальних дослідженнях Л. Больцмана з визначення діелектричних проникностей газів і кристалічних твердих тіл, на роботах М. М. Шіллера по вимірюванню діелектричної проникності твердих тіл у змінних полях і особливо на дослідженнях П. О. Зилова, який у 1877 р. розробив оригінальний метод для визначення діелектричних проникностей рідин і в 1877–1880 рр. експериментально підтвердив висновки теорії електромагнітного поля щодо ролі середовища в електродинамічних взаємодіях.

Важливо відмітити, що дослідам Г. Герца передувала також серія експериментальних і теоретичних досліджень електричних коливань. Вперше про електричний процес коливного характеру згадує в 1842 р. в «Працях Американського філософського товариства» американський фізик Д. Генрі (1797–1878), який, досліджуючи розрядну дію лейденських банок, прийшов до висновку, що розряд лейденської банки складається не з одного переходу електрики з однієї обкладки на другу, а з цілої серії швидкозатухаючих коливань. До цього ж висновку прийшов у 1847 р. і Г. Гельмгольц, який у праці «Про збереження сили» довів, що індукція електричних струмів може бути математично виведена з електромагнітних явищ Ерстеда і електродинамічних явищ Ампера, при врахуванні закону збереження енергії. У своїй теоретичній праці «Про перехідні електричні струми» (1853) У. Томсон доповнив теорію Г. Гельмгольца і вивів з теорії потенціалу формулу Томсона, згідно з якою період коливань осцилюючого розряду пропорційний квадратному кореню з добутку

ємності конденсатора на його коефіцієнт самоіндукції.

До 80-х років XIX ст., тобто до часу, коли німецький фізик Г.Герц (1857–1894) приступив до своїх знаменитих експериментальних досліджень для підтвердження електромагнітної теорії поля, у фізиці не тільки було завершено класичну електродинаміку, сформульовано електромагнітну теорію поля і встановлено електромагнітну природу світла, а й виконано експериментальні дослідження для підтвердження деяких висновків і положень електромагнітної теорії. І все ж тільки досліди, виконані Г.Герцом у 1886–1889 рр., експериментально довели існування електромагнітних хвиль, підтвердили висновки максвеллівської теорії про те, що швидкість електромагнітних хвиль дорівнює швидкості світла, довели повну тотожність основних властивостей електромагнітних та світлових хвиль і тим самим підвели дослідну основу до теорії Максвелла. Будучи прибічником поглядів М. Фарадея і Д. Максвелла, які відкидали дію на відстані, Г. Герц з 1887 р., повторюючи досліди свого вчителя Г. Гельмгольца з двома індукційними котушками, на основі рівнянь Максвелла, вперше розробив теорію відкритого вібратора, що випромінює електромагнітні хвилі. За допомогою «вібратора» і «приймача» він показав, що коливний розряд викликає в просторі хвилі, які складаються з двох коливань – електричного і магнітного, поляризованих перпендикулярно одне до одного. Герц установив відбивання, заломлення, інтерференцію і поляризацію цих хвиль і показав, що всі дослідні факти повністю пояснюються теорією Максвелла.

Досліджуючи поширення хвиль у провідниках, Г. Герц розробив класичний спосіб вимірювання швидкості хвиль у прямолінійному провіднику. У 1890 р. він опублікував дві праці: «Основні рівняння електродинаміки тіл, що перебувають у стані спокою» і «Основні рівняння електродинаміки рухомих тіл». Перша була присвячена рівнянням електродинаміки Максвелла, яким Г. Герц надав чіткої симетричної форми, що добре виявляє повну взаємність між електричними і магнітними діями. У другій праці він намагався сформулювати основні положення електродинаміки рухомих середовищ, виходячи з гіпотези, що ефір повністю захоплюється рухомими тілами. Розроблена ним електродинаміка суперечила багатьом дослідним фактам і зрештою була замінена електронною теорією, створеною нідерландським фізиком Г. Лоренцом (1853–

1928). Слід сказати, що Г. Герц перший з успіхом застосував вектор Умова – Пойнтінга для обчислення потоку енергії, що випромінюється диполем у навколишній простір, і показав, що кількість енергії, яка передається вібратором, буде прямо пропорційна квадрату довжини диполя і обернено пропорційна кубу довжини хвилі, що генерується диполем. Це були відправні міркування в теорії антен і початки теоретичних основ радіотехніки.

Важливість дослідних результатів Г. Герца була підкреслена ним самим в таких словах: «Метою цих дослідів була перевірка основних гіпотез Фарадея – Максвелла, а результат дослідів є підтвердження основних гіпотез цієї теорії».

Дослідження Г. Герца відкрили існування вільного електромагнітного поля, і першочерговим завданням фізиків стала потреба генерувати це поле, виявляти його і керувати ним. Насамперед потрібно було створити нові типи генераторів, щоб з їх допомогою збуджувати електромагнітні хвилі все менших і менших довжин. Сам Г. Герц користувався хвилями  $\lambda = 66$  см. Наступний крок у цьому напрямі зробив А. Рігі (1850–1920), який у 1893 р. одержав хвилі довжиною 10,6 см за допомогою створеного ним нового типу генератора. На ньому він перший одержав подвійне променезаломлення електромагнітних хвиль. Ці результати він опублікував у праці «Оптика електричних коливань» (1897). За допомогою власноручно сконструйованих мініатюрних вібратора і резонатора П. М. Лебедев у 1894 р. на IX з'їзді російських природодослідників вперше в світі продемонстрував досліди на одержання електромагнітних хвиль довжиною 6 мм. Використовуючи їх, він не тільки повторив усі досліди Г. Герца на відбивання, заломлення, дифракції, інтерференції, а й одержав явище подвійного заломлення цих хвиль у кристалічній сірці та поляризаційні явища. Отже, на початку 90-х років XIX ст. був доведений синтез електромагнетизму і оптики, повна тотожність електромагнітних і світлових хвиль. Перед наукою виникла нова проблема – використання електромагнітних хвиль для потреб телеграфії. Відомо, що сам Герц не вбачав у цій проблемі ніякого прогресу.

Розв'язати фундаментальне завдання – використання електромагнітних хвиль для передачі сигналів на відстань – вперше вдалося російському вченому О. С. Попову (1859–1906). Після появи у грудні 1888 р. в «Протоколах Берлінської Академії наук» роботи Г. Герца «Про промені електричної сили», в якій були описані його



експерименти з електромагнітними хвилями, О. С. Попов приступив до відтворення цих експериментів і в наступному році виступив в Кронштадті з лекцією на тему «Найновіші дослідження про співвідношення між світловими і електричними явищами», в якій вперше висловив думку про можливість використання електромагнітних хвиль для передачі сигналів на віддалі. Ця ідея стала провідною в науковій творчості О. С. Попова, який протягом 1890 – 1893 рр. не тільки неодноразово виступав з цією темою перед широкою науковою аудиторією Кронштадта, Петербурга, а й невтомно працював над питаннями виявлення електромагнітних хвиль. Скориставшись відкритою французьким фізиком Е. Бранлі властивістю металевих порошків проводити електричний струм під час дії на нього електромагнітних коливань і повідомленням англійського вченого О. Лоджа про застосування ним когерера Бранлі (трубка з насипаними в неї металевими ошурками) як покажчика електромагнітних хвиль, О. С. Попов у 1894 р. зайнявся удосконаленням когерера для підвищення його чутливості. Детально дослідивши властивості різних металевих порошків, він створив досконаліші конструкції когерерів і для надання більшої чутливості й автоматичності в роботі приймальної установки застосував дзвінкове пристосування для автоматичного струшування когерера і реле.

Одержавши спочатку радіус дії створеного ним приймального апарата порядку кількох метрів, О. С. Попов дуже швидко збільшив його до 80 м. При цьому, виконуючи численні експерименти з цим приладом, він знайшов, що дальність його дії значно збільшується, якщо приєднати до когерера мідний дріт. Так була створена перша в світі приймальна антена, яка принципово змінила умови дії всієї схеми приймального апарата О. С. Попова.

Під час проведення експериментів О. С. Попов та його найближчий помічник П. М. Рибкін звернули увагу на те, що приймальний пристрій реагує на грозові розряди. Це навело О. С. Попова на думку приєднати до приймача самописний апарат, після чого він одержав діаграму грозових розрядів, накреслену на папері. Так з'явився новий прилад, що реєстрував розряди на значних віддальях, – знаменитий грозовідмітник О. С. Попова – перша в світі приймальна радіостанція. У червні 1899 р. П. М. Рибкін замінив когерер телеграфним апаратом, що дало можливість йому разом з О. С. Поповим розробити метод радіоприймання телеграфних сигналів на слух, який дістав широке застосування.

7 травня 1895 р. Попов виступив з доповіддю «Про відношення металевих порошоків до електричних коливань» і продемонстрував дію грозовідмітника на засіданні Російського фізико-хімічного товариства.

На закінчення доповіді він висловив надію, що його прилад при дальшому вдосконаленні може бути застосований для передачі сигналів на віддаль за допомогою електричних коливань, при умові, що буде знайдено джерело цих коливань з достатньою енергією.

Грозовідмітник О. С. Попова почав широко використовуватися на метеорологічних станціях для відмітки наближення грози, і в 1896р. О.С. Попов був за нього нагороджений дипломом «За винайдення нового і оригінального інструмента для дослідження грози».

У січневому номері «Журналу Російського фізико-хімічного товариства» за 1896р. було опубліковано статтю О. С. Попова «Прилад для виявлення і реєстрування електричних коливань», в якій була наведена схема і докладний опис принципу дії першого в світі радіоприймача. 24 березня 1896 р. О.С. Попов вдруге виступив на засіданні Російського фізико-хімічного товариства, де вперше продемонстрував передачу сигналів без проводів на віддаль 250 м і передав першу в світі радіограму, що складалася з двох слів «Генріх Герц», увічнивши цим славу великого німецького експериментатора. Заслуги О. С. Попова у винайденні радіо офіційно були відзначені в 1900 р. присудженням йому почесного диплома і золотої медалі на четвертому Всесвітньому електротехнічному конгресі в Парижі.

То хто ж є винахідником радіо?

Досі точаться запеклі дискусії про те, хто винайшов радіо. Достеменно відомо, що 2 червня 1896 року радіо було запатентоване італійським інженером Гульєльмо Марконі. Росіяни, як завжди, наполягають, що це сталося саме в їхній країні, адже російський фізик створив перший примітивний радіоприймач — датчик блискавок. Також в цей час подібні відкриття зробили Нікола Тесла, Генріх Герц, Ернест Резерфорд. І хоч важлива робота та відкриття кожного вченого, у світі технологій пріоритет надають Марконі.

Проте насправді відкриття радіо пов'язане не з окремим вченим, а з низкою досліджень електромагнітних хвиль у XIX столітті та вдосконаленням винаходів для передачі сигналів. І щоб зрозуміти вклад основних науковців, слід звернутися до короткої історії радіо.

### **Історія радіо**

Важливими для відкриття радіо були дослідження та експерименти **Фарадея**, а потім і **Максвелла**. Якщо говорити просто,

ці вчені запропонували теорію існування електромагнітних хвиль. Фарадею належить теорія електрики й магнетизму. А Максвелл розвинув цю теорію та усунув суперечності. На додаток, його робота дала можливість сформулювати рівняння для електричних і магнітних полів.

Німецькому науковцю **Генріху Герцу** вдалося експериментально підтвердити теорію Максвелла. Одним з його найбільших досягнень є створення генератора (випромінювача) та резонатора (приймача) електромагнітних хвиль. Проте проблемою залишалася невелика відстань (кілька метрів), на яку вдавалося передавати сигнал. Прилад потребував вдосконалення. Смерть Генріха Герца в 1894 році обірвала його дослідження. Проте його робота стала ключем до винайдення радіо.

Надалі одночасно декілька вчених зробили вдосконалення приладу Генріха Герца, що і дозволило створити радіо. Запатентував виріб, як ми вже згадували, Гульєльмо Марконі.

Що відомо про “батька” радіо — Марконі? Він народився в Болоньї у 1874 році. Навчався в технічному інституті в Ліворно. Був учнем професора фізики Аугусто Рігі, адже хлопця цікавила природа електромагнітних хвиль. Багато досліджень проводив вдома і так в 1895 році йому вдалося послати бездротовий сигнал на відстань 3 км — з власного саду в поле. В цьому ж році вперше спробував запатентувати відкриття, але отримав відмову.

Через рік Марконі відправився до Великобританії, де теж показав можливості свого винаходу, пославши сигнал з лондонського поштамту на відстань 1,5 кілометра. Тоді науковцем зацікавився директор британської пошти й телеграфу В.Г. Пріс. Після вдосконалень, доопрацювань та демонстрацій Марконі вдалося запатентувати винахід в 1897 р. До заслуг Г. Марконі слід віднести успіхи в здійсненні практичної радіотелеграфії, зокрема в 1901 р. він здійснив перший радіозв'язок з Америкою через Атлантичний океан.

Нікола Тесла (1856–1943) – сербський вчений і винахідник у галузі електротехніки та радіотехніки. Відомий винахідник, який на той час жив у США та досліджував атмосферну електрику, раніше за інших наблизився до створення приймача електромагнітних хвиль. Ще в 1890 році він описав прилад, який дозволить на відстані слухати будь-що — виступи політичних лідерів, музику, пісні чи проповідь священника. В 1896–1899 рр. Н. Тесла займався питанням розробки антенних пристроїв. В 1893-1895 роках вчений створив приймач та

передавач радіохвиль власної конструкції. Прилад Тесли міг переводити радіосигнали в акустичні звуки, так само як сучасні радіоприлади. Але, за задумом Тесли, радіосигнал був лише проміжною ланкою в грандіозному плані передавати за допомогою гігантського резонатора по всьому світу електричний струм, не використовуючи дроти. Наскільки реальною була ця ідея, судити важко, адже, на жаль, Тесла не встиг втілити її в життя.

Хоч дискусії про винахідника радіо не припиняються й досі, можемо точно сказати: Україна не пасла задніх. Саме історія українського радіо нас цікавить найбільше.

Цікава подія трапилася 25 березня 1898 року. Цього дня український вчений **Микола Пильчиков** прочитав в Одесі лекцію про бездротову телеграфію та продемонстрував кілька дослідів, пов'язаних з радіокеруванням (керування “крізь стіни”). Серед предметів дослідів був годинник, що керувався за допомогою радіосигналу, модель маяка з керованими сигналами тощо. Важливо сказати, що вчений використовував і розробки інших винахідників, і власні напрацювання. Також відомо, що Пильчиков пропонував військовому міністру запровадити у радіокерування у військовій сфері — телеграфний захищений зв'язок, керовані міни, мінні човни та міноносці без екіпажу. Вченому дозволили проводити дослідження і надали відповідне фінансування та обладнання.

Передбачені Фарадеєм і Максвеллом, експериментально підтверджені Герцем електромагнітні хвилі вийшли з стін лабораторії. Радіо відкрило нову сторінку в науці і техніці, породило радіофізику і радіотехніку з їх численними практичними застосуваннями майже в усіх галузях людської діяльності.

## 9. ТЕРМОДИНАМІКА ВИПРОМІНЮВАННЯ

Термодинаміка випромінювання та виникнення гіпотези квантів (Г. Кірхгоф, Й. Стефан, Л. Больцман, Б. Голіцин, В. Міхельсон, Р. Він, С. Релей, М. Планк та ін.) Подальший розвиток квантової теорії А. Ейнштейном. Досліди П. Лебедева з тиску світла.

У розвитку термодинамічної науки другої половини XIX ст. особливе місце займає термодинаміка променистої енергії — термодинаміка теплового випромінювання, яка являє собою галузь оптики, що розглядає світлові явища з термодинамічного боку. Ця галузь науки стала одним з найактуальніших і провідних напрямів

усієї тогочасної фізики. І цілком природно, що її теоретичною, розробкою зайнялися видатні фізики різних країн.

Перші зародки вчення про теплову радіацію припадають ще на кінець XVII –початок XVIII ст. Але систематичне вивчення цього питання розпочалося після досліджень німецьких учених – фізика Г. Кірхгофа і хіміка Р. Бунзена (1811 –1899), які своїми працями заклали в 1859 р. основу новому розділу природознавства - спектральному аналізу, який швидко утвердився в фізиці та хімії і ліг в основу нової науки– астрофізики.

Велике практичне значення спектрального аналізу висунуло проблему дальшого теоретичного дослідження законів випромінювання.

У тому ж 1859 р. Г. Кірхгоф, застосувавши друге начало термодинаміки до проблеми променистої енергії, відкрив один з основних законів теплового випромінювання. Як відомо, цей закон Кірхгофа стверджує, що відношення випромінювальної і поглинальної здатності будь-якого тіла є величиною однаковою для всіх тіл і дорівнює випромінювальній здатності абсолютно чорного тіла – універсальній функції температури і довжини хвилі. Аналітично закон Кірхгофа має вигляд:

$$\frac{E_{\lambda,T}}{A_{\lambda,T}} = \varepsilon_{\lambda,T}, \text{ де } \varepsilon_{\lambda,T} \text{ універсальна функція.}$$

Знання цієї функції має-велике наукове і практичне значення, оскільки дає змогу визначати випромінювальну здатність будь-якого тіла, а поглинальна здатність легко визначається експериментально.

Перед наукою постало досить важливе і складне завдання – визначити вид цієї функції. До цього спонукали також потреби астрофізики, спектрального аналізу та інших суміжних галузей науки і практики, зокрема й потреби застосування теплових джерел світла у вигляді електричних ламп розжарювання, винайдених в 1870– 1880 рр. П. М. Яблочковим, О.М. Лодигіним, Т. Едісоном тощо.

1879 р. знаменує собою появу експериментально відкритого австрійським фізиком Й. Стефаном (1835–1893) закону про пропорційність сумарної енергії абсолютно чорного тіла четвертому степеню абсолютної температури. У 1884 р. Л. Больцман на основі другого начала термодинаміки вивів цей закон теоретично. Закон Стефана– Больцмана, будучи інтегральним законом, ще не дав розв'язку задачі про вигляд функції Кірхгофа  $\varepsilon_{\lambda,T}$ , оскільки остання вимагає встановлення закону про розподіл енергії випромінювання

чорного тіла і за довжинами хвиль.

В наступний період у процесі вивчення цієї функції було встановлено цілий ряд термодинамічних закономірностей, що належать до теплового випромінювання. Все це, зрештою, і привело до того, що наприкінці ХІХ ст. весь комплекс питань, пов'язаних з теоретичним вивченням теплового випромінювання, виділився в окрему самостійну галузь термодинамічної науки—термодинаміку випромінювання. А наступне органічне поєднання термодинамічного методу з статистичним привело до відкриття нової ери у розвитку всієї фізики, а саме до створення сучасної квантової теорії.

Першим ґрунтовним дослідженням у наукових пошуках універсального закону випромінювання абсолютно чорного тіла була робота «Досвід теоретичного пояснення розподілу енергії в спектрі твердого тіла», опублікована майже одночасно в 1887 р. у російських і зарубіжних журналах. Автором її був В.О.Міхельсон (народився 18 (30) червня 1860, Тульчин, Подільської губернії (нині Вінницької області—1927), перу якого належать праці з багатьох інших галузей фізики. До виходу цієї роботи в науці вже були відомі деякі теоретичні і практичні припущення про вид функції  $\varepsilon_{\lambda,T}$ . Так, ще Г.Кірхгоф зазначав, що при низьких температурах ця функція дорівнює нулю для видимих променів і відмінна від нуля для довгих хвиль, а при високих температурах вона має певні значення і для видимих променів. У 1886 р. американський фізик С. Ленглі (1834—1906) здійснив перші експериментальні дослідження характеру зміни функції  $\varepsilon_{\lambda,T}$  за допомогою сконструйованого ним чутливого термометра – спектро-болометра– і знайшов розподіл енергії в спектрі випромінювання сажі для кількох різних температур.

Але тільки В. О. Міхельсон вперше зробив спробу теоретично визначити вид функції  $\varepsilon_{\lambda,T}$ , і в цьому його заслуга, бо він перший дав поштовх у розробці одного з найважливіших питань фізики.

В. О. Міхельсон запропонував найбільш загальне розв'язання цієї проблеми на основі застосування методів статистичної фізики до великої кількості елементарних випромінювачів, яким є нагріте тверде тіло. Він поставив перед собою завдання по-перше, показати можливість застосування теорії ймовірностей до молекулярної оптики і, по-друге, виявити, що на началах цієї теорії можна навіть при найпростіших і найзагальніших припущеннях про рух атомів у твердому тілі одержати результати, які досить детально характеризували б розподіл енергії в спектрі твердого тіла з якісного

боку.

На основі теорії ймовірностей В. О. Міхельсон прийшов до важливого висновку, що в спектрі для кожної температури є лише один максимум інтенсивності і що положення цього максимуму залежать від температури тіла, яке світиться, при тому так, що із зміною температури довжина хвилі, яка відповідає найбільшій яскравості, змінюється обернено пропорційно квадратному кореню з абсолютної температури тіла, яке світиться. В.О. Міхельсон одержав вираз  $\lambda_{\max}^2 T = const$ , тобто близько підійшов до закону зміщення  $\lambda_{\max} T = const$ , хоч і не вивів його.

Основна причина неточності кількісних співвідношень, одержаних В.О. Міхельсоном при аналізі законів розподілу енергії за спектром випромінювання абсолютно чорного тіла, була результатом або, як він підкреслював, неминучим наслідком неповноти тодішніх знань. Незважаючи на неточність кількісних результатів Міхельсона, якісний бік цих досліджень був глибокий, а основні ідеї роботи пізніше набули великого поширення в науці. Слідом за роботою В.О.Міхельсона в галузі термодинаміки випромінювання з'являється праця «Про променисту енергію» російського фізика Б. Б. Голіцина, яка була опублікована в 47 томі журналу «Annalen der Physik und Chemie» за 1892 р. і увійшла як друга частина до його магістерської дисертації «Дослідження з математичної фізики» (1893). За своєю значимістю і актуальністю робота Б. Б. Голіцина стала дальшим етапом у розвитку цієї нової галузі термодинамічної науки.

Ця робота, подана в Московський університет навесні 1893р. як магістерська дисертація, була хибно оцінена офіційними опонентами О.Г. Столетовим і А. П. Соколовим. Це пояснюється великою новизною порушених Б. Б. Голіциним питань. Рецензенти не зрозуміли важливості ідей та висновків особливо другої частини дисертації, які пізніше мали велике значення для розвитку всієї термодинаміки випромінювання. Тому цілком природно, що П.П.Лазарев дав таку оцінку цим рецензіям: «Цю критику ми повинні визнати несправедливою. В числі противників Голіцина в цей час потрібно назвати Столетова, який, безсумнівно, не зрозумів і не оцінив роботи Голіцина» .

Зрозуміло, що робота Б. Б. Голіцина була новою віхою в розвитку термодинаміки випромінювання після досліджень Г.Кірхгофа, Л. Больцмана, В. О. Міхельсона. В ній він не тільки перший високо оцінив значення проблеми світлового тиску,

розроблюваної Д. Максвеллом, Л. Больцманом, в теоретичних дослідженнях П. М. Лебедева, а й розкрив принципове значення світлового тиску для експериментального підтвердження всієї термодинаміки випромінювання. Б. Б. Голіцин показав внутрішній зв'язок другого начала термодинаміки з світловим тиском і вивів формулу для світлового тиску, яка була повністю підтверджена експериментальними дослідженнями П. М. Лебедева.

Б. Б. Голіцин вперше запровадив у термодинаміку випромінювання такі основні поняття, як температура випромінювання, термодинамічні функції випромінювання, і – що найголовніше – глибоко проаналізував і вказав шляхи розв'язання проблеми розподілу енергії в спектрі абсолютно чорного тіла. Визначення температури випромінювання Голіцин сформулював так: «Абсолютна температура зумовлюється сукупністю всіх електричних зміщень, а саме, четвертий степінь абсолютної температури пропорційний сумі квадратів усіх електричних зміщень, віднесених до порожнечі».

Ідеї Б. Б. Голіцина знайшли своє втілення в роботах дослідників термодинаміки випромінювання. Так, уже в роботах німецького фізика В. Віна (1864–1928), виконаних у 1893–1896 рр., була знайдена в 1894 р. загальна формула  $\rho_\nu = \rho(\nu, T)\nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right)$ ,

де  $\nu$  – частота;  $T$  – абсолютна температура;  $\rho_\nu$  – універсальна функція. Згідно з цією формулою, задача знаходження функції двох змінних  $\rho(\nu, T)$  зводилась до визначення функції  $f\left(\frac{\nu}{T}\right)$  однієї змінної –

відношення частоти до температури. Це значно полегшувало дальший розвиток теорії. Причому, оскільки формула Віна ґрунтується на феноменологічній теорії, яка є завідомо достовірною, то порівняння з цією формулою результатів, одержуваних при застосуванні різних гіпотез про механізм випромінювання, є найкращою перевіркою цих гіпотез. З другого боку, зведення спектрального розподілу до функції однієї змінної дає змогу при її знанні для даної температури легко її перерахувати для кожної іншої температури.

З формули Віна закон Стефана – Больцмана ( $\epsilon = \sigma T^4$ ) і закон зміщення Віна ( $\lambda_{\max} T = \text{const}$ ) впливали як безпосередні наслідки. Проте хоч розглядувана формула Віна і визначила загальний характер функції спектрального розподілу енергії випромінювання, але остаточний вираз цієї функції не можна було знайти без прямого



розгляду внутрішньої будови речовини, тобто залишаючись в межах феноменологічної термодинаміки.

Більше того, класична статистика виявилась також недостатньою для остаточного вирішення проблеми випромінювання. Саме на цій проблемі виявилась вся обмеженість класичної фізики взагалі, що і привело до виникнення нових теорій.

Треба зазначити, що В. Він підтримував тісний особистий контакт з В. О. Міхельсоном і весь час обмінювався з ним науковою інформацією. Все це мало значний вплив на основний напрям його досліджень. Виконуючи свої дослідження кількома роками пізніше від В. О. Міхельсона, який в той період майже повністю припинив наукову діяльність через тяжку хворобу, В. Він мав у своєму розпорядженні набагато більший і точніший експериментальний матеріал.

У 1896 р. В. Він знайшов другу формулу для визначення виду функції випромінювання абсолютно чорного тіла. Одержана ним формула мала вигляд:  $\varepsilon_{\lambda,T} = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі;  $T$  – абсолютна температура; а  $C_1$  і  $C_2$  – сталі. При її виведенні В. Він використав гіпотезу Міхельсона про те, що розподіл енергії за частотами (хвилями) аналогічний максвеллівському розподілу молекул за швидкостями. Одержана В. Віном за допомогою класичної статистики друга формула, якою і тепер широко користуються в тих випадках, коли треба знаходити розподіл енергії при високих частотах і невеликих температурах, не підтвердилась експериментальне для високих температур і великих довжин хвиль.

Інша формула розподілу енергії при абсолютно чорному випромінюванні, сформульована в липні 1900 р. англійським фізиком С. Релеєм (1842–1919) у статті «Зауваження про закон чорного випромінювання» на основі класичної електродинаміки і бездоганної, з точки зору класичної статистики, аргументації і незалежно від нього в 1905 р: «узагальнена англійським фізиком Д. Джінсом (1877–1946),

мала вигляд:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = C_1 \lambda^{-5} \lambda T e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

Ця формула виявилась правильною лише в граничному випадку малих частот. Для великих частот вона приводила до так званої «ультрафіолетової катастрофи», тобто давала безмежну енергію випромінювання.

Але важливе принципове значення формул Віна і Релея – Джінса полягало в тому, що вони вперше довели недостатність уявлень

класичної фізики, які до цього вважалися безпомилковими, показали їх повну неспроможність для розв'язання таких проблем, як випромінювання абсолютно чорного тіла тощо. Численні спроби знайти на основі класичних уявлень закон розподілу енергії за спектром випромінювання абсолютно чорного тіла не принесли задовільних результатів; вони приводили лише до окремих формул, які застосовувалися і були правильні лише для ділянок спектра, а не для всього спектра.

І тільки висунута в 1900 р. німецьким фізиком М. Планком (1858–1947) принципово нова ідея квантового (перервного) характеру поглинання і випромінювання світлової енергії дала йому можливість вперше знайти точний закон розподілу енергії у спектрі абсолютно чорного тіла.

І ось Планку прийшла в голову смілива думка, що це якраз і неправильно, що промениста енергія випромінюється і поглинається не безперервним струменем, а окремими кількостями цілком певної величини, ніби окремими порціями чи краплями...».

М. Планк, теоретично досліджуючи протягом 1896 – 1900 рр. проблему випромінювання абсолютно чорного тіла, знайшов спочатку чисто емпірично, інтерполюючи формули Віна і Релея – Джінса, свою відому формулу, яка мала такий вигляд:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

і повністю відповідала даним експерименту по всьому спектру. Планк не обмежився лише емпіричним запровадженням формули і в кінці 1900 р. у доповіді на Берлінському фізичному товаристві довів, що його формула може бути виведена теоретично, якщо допустити, що величина енергії осцилятора завжди є цілою кратною величині  $h\nu$ , де  $\nu$  - частота випромінювання, а  $h$  – нова фізична стала, названа пізніше сталою Планка.

Виведена М. Планком формула для порції енергії була першим теоретичним відкриттям квантів світла.

Наступним кроком у цьому напрямі були роботи А. Ейнштейна (1879 – 1955), який у 1905 р., продовжуючи дослідження М. Планка, створив фотонну теорію світла і вперше показав, що світлове поле являє собою сукупність елементарних світлових полів, фотонів чи квантів світла, що їх тіла незалежно випромінюють і незалежно поглинають. А. Ейнштейн запровадив уявлення про дискретну

квантову структуру поля випромінювання і на цій основі відразу дав пояснення цілому ряду фізичних явищ, зокрема явищам фотоефекту, люмінесценції тощо.

Закінчуючи розгляд теоретичних положень термодинаміки випромінювання, зауважимо, що будь-яка фізична теорія стає загальноновизнаною тільки тоді, коли вона підтверджується експериментально.

Таким безпосереднім доведенням і обґрунтуванням всієї термодинаміки випромінювання стали всевітньо відомі досліди над світловим тиском, здійснені П. М. Лебедевим (1866 – 1912) у Московському університеті. Як відомо, світловий тиск відіграв принципову роль при виведенні закону Стефана – Больцмана, який відкрив шлях до всієї термодинаміки випромінювання. Він мав важливе значення і в наступний період розвитку цієї галузі науки.

Теоретичні передбачення світлового тиску були відомі ще з часів Й. Кеплера. Але всі спроби вчених, які намагались експериментально підтвердити існування цього тиску, закінчувались безрезультатно.

Тому історична заслуга П. М. Лебедева і полягає в тому, що він перший експериментально підтвердив існування тиску світла не тільки на тверді тіла, а й на газу. Невдачі попередників Лебедева пояснюються тим, що значення тиску світла навіть для найсильніших джерел, дуже мале і маскується такими побічними явищами, як конвекційні струми і радіометричні сили. І тільки експериментаторський талант П. М. Лебедева і виготовлені ним особисто спеціальні прилади дали можливість не тільки усунути вплив цих побічних явищ, а й визначити розмір світлового тиску.

Проблемою світлового тиску П. М. Лебедев почав займатися на початку 90-х років XIX ст., тобто в той час, коли уже були відомі теоретичні праці з світлового тиску багатьох учених як чисто електродинамічного, так і термодинамічного напрямів, починаючи від Д. Максвелла і закінчуючи Б. Б. Голіциним. В 1891 р. П. М. Лебедев опублікував одну з перших своїх робіт «Про відштовхувальну силу випромінювальних тіл», в якій показав універсальну роль механічної дії випромінювання як для космічних процесів, так і молекулярних взаємодій, і, зокрема, вперше кількісно обґрунтував ідею про вирішальне значення світлового тиску в утворенні кометних хвостів. Наприкінці своєї праці він звернув особливу увагу на те, що промениста взаємодія повинна враховуватися при аналізі міжмолекулярних сил. З приводу цього він писав, що взаємодію

молекул можна розглядати як більш складний випадок, як дію резонаторів один з одним.

Намічаючи наступний план робіт про сили хвильового тиску і розглядаючи світловий тиск як окремий випадок хвильового руху і як окремий випадок взаємодії резонаторів між собою, П. М. Лебедев вирішив розпочати з дослідження останньої взаємодії. Внаслідок цього з'явилася серія робіт, що вийшли під загальною назвою «Експериментальне дослідження пондеромоторної дії хвиль на резонатори». В першій статті, опублікованій у 1894 р., П. М. Лебедев описав дослідження електромагнітних резонаторів, у другій (1896) – гідродинамічних резонаторів, у третій (1897) – акустичних резонаторів. У перших двох працях він установив загальні для коливань різної фізичної природи закони взаємодії осциляторів при віддальх значно менших від довжини хвиль. Виявилось, що коли частота вібратора наближається до частоти резонатора або стає вищою за неї, то збільшується притягання між ними; при рівності частот вібратора і резонатора, тобто при переході через резонанс, притягання змінюється відштовхуванням.

У дослідах з акустичними резонаторами, розміщеними на віддалі, більшій, ніж довжина хвилі. П. М. Лебедев дістав інший результат: при всіх різницях частот діяли тільки відштовхувальні сили, що досягали максимуму при резонансі. Побачивши у відштовхувальних силах аналогію до сил світлового тиску, П. М. Лебедев обчислив силу тиску з боку плоскої електромагнітної хвилі на осцилятор. Це, в свою чергу, відіграло велику роль у підготовці ним дослідів з тиску світла на газу.

Закінчивши дослідження взаємодії резонаторів. П. М. Лебедев приступив до своєї основної роботи – експериментального доведення існування сил світлового тиску.

Виконавши глибокий і всебічний аналіз явищ конвекційних струмів і радіометричних сил, які були основними перешкодами при експериментальному доведенні світлового тиску, П. М. Лебедев зумів як при побудові свого мініатюрного радіометра, так і при проведенні самих експериментів усунути їх вплив і вперше в історії науки експериментально довести реальність світлового тиску та виміряти його значення. Про це П.М. Лебедев спочатку доповів у травні 1899 р. в Росії, а потім у серпні 1900 р. на Першому Інтернаціональному фізичному конгресі у Парижі. Остаточні результати експериментальних досліджень світлового тиску на тверді тіла були

опубліковані в 1901 р. в «Журналі Російського фізико-хімічного товариства» і в багатьох зарубіжних фізичних журналах під назвою «Експериментальне дослідження світлового тиску». Цю роботу П.М. Лебедев закінчив такими словами:

1. Падаючий пучок світла тисне як на поглинальні, так і на відбивні поверхні; ці пондеромоторні сили не пов'язані з уже відомими вторинними конвекційними і радіометричними силами, що викликаються нагріванням.

2. Сили тиску світла прямо пропорційні енергії падаючого променя і не залежать від кольору.

3. Спостережувані сили тиску світла в межах похибок спостережень кількісно дорівнюють максвелло – бартолієвим силам тиску променистої енергії.

Дослідження П. М. Лебедева мали в усьому науковому світі великий і заслужений успіх. Видатні зарубіжні фізики високо оцінювали їх значення. Наприклад, видатний фізик-експериментатор В. Він у листі до В.О. Міхельсона писав, що П. М. Лебедев володів «...майстерністю експериментування в такій мірі, як, мабуть, ніхто...».

Кульмінаційним моментом блискучих дослідів П. М. Лебедева були його дослідження, проведені на початку ХХ ст., які експериментально підтвердили існування світлового тиску на газі.

Для вимірювання тиску світла на газі він сконструював більше двадцяти пристроїв, поки не зупинився на приладі, що повністю задовольняв основний принцип вибраного ним методу: «...промені світла, тиснучи на окремі молекули, повинні примусити всю масу газу рухатися в напрямі поширення світла. Оскільки коефіцієнти поглинання у газів дуже незначні, то й сили, з якими світло рухає газ, дуже малі і навіть при найбільш вигідних умовах досліду ледве досягають сотої частки того тиску, який той же пучок світла робив би на чорну поверхню.

Щоб мати можливість виміряти ці малі сили, дослід проводився так, щоб газ міг вільно переміщатися в напрямі променів, які його пронизують, і тиснув на дуже чутливий поршневий апарат, на який промені світла безпосередньо діяти не могли.

Одержані П. М. Лебедевим під дією сил світлового тиску слабкі газові потоки приводили в рух легенький поршень, підвішений до коромисла крутильних терезів, відхилення якого і давало можливість виміряти як чисельну величину тиску світла на газі, так і показати реальність існування самого світлового тиску. В 1907 р. на Першому

менделєєвському з'їзді П.М. Лебедев зробив повідомлення про відкриття ним тиску світла на гази, результати якого були викладені в праці «Експериментальне дослідження тиску світла на гази», опублікованій одночасно в багатьох наукових журналах в 1910 р.

Основне значення для розвитку термодинаміки випромінювання розглядуваних робіт П. М. Лебедева полягало в тому, що вони вичерпали проблему експериментального обґрунтування всієї термодинаміки випромінювання. Дослідами П. М. Лебедева було експериментально доведено наявність механічного імпульсу у світлового променя. Тим фактом, що механічний імпульс безпосередньо зв'язаний з інертною масою світла, була встановлена спільність важливих властивостей для двох форм існування матерії: речовини і світла. С. І. Вавилов з цього приводу говорив: «З цього моменту... світло з повною підставою стало для фізика однією з форм рухомої матерії і протиставлення світла матерії назавжди зникло в цьому синтезі». Нарешті, підкреслимо, що ефект світлового тиску використовується для наочного виведення співвідношення між масою і енергією. Отже, досліди П.М. Лебедева залишили глибокий слід у розвитку світової науки і в цьому їх неоціненне історичне значення.

### **ПЛАНК Макс**

**23 квітня 1858 р. – 4 жовтня 1947 р.**

**Нобелівська премія у галузі фізики, 1918 р.**

Німецький фізик Макс Карл Ернст Людвіг Планк народився у м. Кілі (що належав тоді Пруссії), у родині професора цивільного права Йоганна Юліуса Вільгельма фон Планка, професора цивільного права, і Емми (у дівоцтві Патциг) Планк. У дитинстві хлопчик учився грати на фортепіано й органі, виявляючи неабиякі музичні здібності. У 1867 р. родина переїхала в Мюнхен, і там Планк вступив у Королівську Максиміліанівську класичну гімназію, де чудовий викладач математики вперше розбудив у ньому інтерес до природничих і точних наук. По закінченні гімназії в 1874 р. він збирався було вивчати класичну філологію, пробував свої сили в музичній композиції, але потім віддав перевагу фізиці.

Протягом трьох років Планк вивчав математику і фізику в Мюнхенському і рік – у Берлінському університетах. Один з його професорів у Мюнхені, фізик-експериментатор Філіп фон Жоллі, виявився поганим пророком, коли порадив молодому Планку обрати іншу професію, тому що, за його словами, у фізиці не залишилося нічого принципово нового, що можна було б відкрити. Ця точка зору,

широко поширена в той час, виникла під впливом надзвичайних успіхів, яких досягли вчені XIX ст. у збільшенні наших знань про фізичні і хімічні процеси.

Під час свого перебування в Берліні Планк набув більш широких знань з фізики завдяки публікаціям видатних фізиків Германа фон Гельмгольца і Густава Кірхгофа, а також статтям Рудольфа Клаузіуса. Знайомство з їхніми працями сприяло тому, що наукові інтереси Планка надовго зосереджувалися на термодинаміці – області фізики, у якій на основі невеликого числа фундаментальних законів вивчаються явища теплоти, механічної енергії і перетворення енергії. Учений ступінь доктора Планк одержав у 1879 р., захистивши в Мюнхенському університеті дисертацію про другий закон термодинаміки, що затверджує, що жоден безупинний процес, що самостійно підтримується, не може переносити тепло від більш холодного тіла до більш теплого.

На наступний рік Планк написав ще одну роботу з термодинаміки, що принесла йому посаду молодшого асистента фізичного факультету Мюнхенського університету. У 1885 р. він став ад'юнкт-професором Кільського університету, що усталило його незалежність, зміцнило фінансове становище і надало більше часу для наукових досліджень. Роботи Планка з термодинаміки і її додатках до фізичної хімії й електрохімії забезпечили йому міжнародне визнання. У 1888 р. він став ад'юнкт-професором Берлінського університету і директором Інституту теоретичної фізики (посада директора була створена спеціально для нього). Дійсним професором він став у 1892р.

З 1896 р. Планк зацікавився вимірами, що проводилися у Державному фізико-технічному інституті в Берліні, а також проблемами теплового випромінювання тіл. Будь-яке тіло, що містить тепло, випускає електромагнітне випромінювання. Якщо тіло достатнє гаряче, то це випромінювання стає видимим. При підвищенні температури тіло спочатку розжарюється до червоного кольору, потім стає оранжево-жовтим і, нарешті, білим. Випромінювання випускає суміш частот (у видимому діапазоні частота випромінювання відповідає кольору). Однак випромінювання тіла залежить не тільки від температури, але і до деякої міри від таких характеристик поверхні, як колір і структура.

Як ідеальний еталон для вимірювань і теоретичних досліджень у фізиці прийняли уявлюване абсолютне чорне тіло. За визначенням, абсолютно чорним називається тіло, що поглинає все падаюче на

нього випромінювання і нічого не відбиває. Випромінювання, що випускається абсолютно чорним тілом, залежить тільки від його температури. Хоча такого ідеального тіла не існує, деяким наближенням до нього може служити замкнута оболонка з невеликим отвором (наприклад, належним чином сконструйована піч, стінки і вміст якої знаходяться у рівновазі при одній і тій же температурі).

Один з доказів чорнотільних характеристик такої оболонки зводиться до наступного. Випромінювання, що падає на отвір, попадає в порожнину і, відбиваючись від стінок, частково відбивається і частково поглинається. Оскільки імовірність того, що випромінювання в результаті численних відбивань вийде через отвір назовні, дуже мала, воно практично цілком поглинається. Випромінювання, що бере початок у порожнині і виходить з отвору, прийнято вважати еквівалентним випромінюванню, що випускається площадкою розміром з отвір на поверхні абсолютно чорного тіла при температурі порожнини й оболонки. Готуючи власні дослідження, Планк прочитав роботу Кірхгофа про властивості такої оболонки з отвором.

Як показали експерименти з чорним тілом, графік залежності енергії (яскравості) від частоти чи довжини хвилі є характеристичною кривою. При низьких частотах (великих довжинах хвиль) вона притискається до осі частот, потім на деякій проміжній частоті досягає максимуму (пік з округлою вершиною), а потім при більш високих частотах (коротких довжинах хвиль) спадає. При підвищенні температури крива зберігає свою форму, але зміщується у бік більш високих частот. Були встановлені емпіричні співвідношення між температурою і частотою піка на кривій випромінювання чорного тіла (закон зміщення Віна, названий так на честь Вільгельма Віна) і між температурою і усією випроміненою енергією (закон Стефана – Больцмана, названий так на честь австрійських фізиків Йозефа Стефана і Людвіга Больцмана), але нікому не удавалося вивести криву випромінювання чорного тіла з основних принципів, відомих у той час.

Віну удалося одержати напівемпіричну формулу, яку можна підігнати так, що вона добре описує криву при високих частотах, але невірно передає її хід при низьких частотах. Дж. У. Стрет (лорд Релей) і англійський фізик Джеймс Джинс застосували принцип рівного розподілу енергії по частотах коливань осциляторів, укладених у просторі чорного тіла, і прийшли до іншої формули (формулі Релея –



Джинса). Вона добре відтворювала криву випромінювання чорного тіла при низьких частотах, але розходилася з нею на високих частотах.

Планк під впливом теорії електромагнітної природи світла Джеймса Клерка Максвелла (опублікованої в 1873 р. і підтвердженої експериментально Генріхом Герцом у 1887 р.) підійшов до проблеми чорного тіла з погляду розподілу енергії між елементарними електричними осциляторами, фізична форма яких ніяк не конкретизується. Хоча на перший погляд може показатися, що обраний ним метод нагадує вивід Релея – Джинса, Планк відкинув деякі з прийнятих ними наукові припущення.

У 1900 р., після тривалих і наполегливих спроб створити теорію, що задовільно пояснювала б експериментальну дані, Планку удалось вивести формулу, що, як перевірили фізики-експериментатори з Державного фізико-технічного інституту, узгоджувалася з результатами вимірів з чудовою точністю. Закони Він і Стефана – Больцмана також впливали з формули Планка. Однак для виводу своєї формули йому довелося ввести радикальне поняття, що йде врозріз із усіма установленими принципами. Енергія планківських осциляторів змінюється не безупинно, як впливало із класичної фізики, а може приймати тільки дискретні значення, що збільшуються (чи зменшуються) порціями. Кожна порція енергії дорівнює  $\varepsilon = h\nu$ , де  $h$  – стала, яка нині називається постійною Планка),  $\nu$  - частота. Дискретні порції енергії згодом одержали назва квантів. Уведена Планком гіпотеза ознаменувала народження квантової теорії, що зробила справжню революцію у фізиці. Класична фізика на протигагу сучасній фізиці нині означає «фізика до Планка».

Планк аж ніяк не був революціонером, і ні він сам, ні інші фізики не усвідомлювали глибокого значення поняття «квант». Для Планка квант був усього лише засобом, що дозволив вивести формулу, що дає задовільно узгоджується з кривою випромінювання абсолютно чорного тіла. Він неодноразово намагався розв'язати цю проблему у рамках класичної фізики, але безуспішно. Разом з тим він із задоволенням відзначав перші успіхи квантової теорії, що відбулися майже негайно. Його нова теорія містила в собі, крім постійної Планка, і інші фундаментальні величини, такі, як швидкість світла і число, відоме під назвою постійної Больцмана. У 1901 р., спираючись на експериментальні дані по випромінюванню чорного тіла, Планк обчислив числове значення постійної Больцмана і, використовуючи іншу відому інформацію, одержав число Авогадро (число атомів в

одному молі елемента). Виходячи з числа Авогадро, Планк зумів з чудовою точністю знайти електричний заряд електрона.

Позиції квантової теорії зміцнилися в 1905 р., коли Альберт Ейнштейн скористався поняттям фотона – кванта електромагнітного випромінювання – для пояснення фотоелектричного ефекту (випускання електронів поверхнею металу, освітлюваної ультрафіолетовим випромінюванням). Ейнштейн припустив, що світло має двоїсту природу: воно може поводитися і як хвиля (у чому нас переконує вся попередня фізика), і як частинка (про що свідчить фотоелектричний ефект). У 1907 р. Ейнштейн ще більш укріпив становище квантової теорії, скориставшись поняттям кванта для пояснення загадкових розбіжностей між гіпотезами теорії й експериментальних вимірів питомої теплоємності тіл – кількості тепла, необхідного для того, щоб підняти на один градус температуру одиниці маси твердого тіла.

Ще одне підтвердження істинності введеної Планком новації поступило в 1913 р. від Нільса Бора, що застосував квантову теорію до будови атома. У моделі Бора електрони в атомі могли знаходитися тільки на певних енергетичних рівнях, обумовлених квантовими обмеженнями. Перехід електронів з одного рівня на інший супроводжується виділенням різниці енергій у виді фотона випромінювання з частотою, яка рівна енергії фотона, діленої на постійну Планка. Тим самим одержували квантове пояснення характеристичні спектри випромінювання, що випускаються збудженими атомами.

У 1919 р. Планк був визнаний гідним Нобелівської премії з фізики за 1918 р. «у знак визнання його заслуг у справі розвитку фізики завдяки відкриттю квантів енергії». Як заявив А.Г. Екstrand, член Шведської королівської академії наук, на церемонії вручення премії, «теорія випромінювання Планка – сама яскрава з дороговказних зірок сучасного фізичного дослідження, і пройде, наскільки можна судити, ще чимало часу, перш ніж вичерпаються скарби, що були здобуті його генієм». У Нобелівській лекції, прочитаній в 1920 р., Планк підбив підсумок своєї роботи і визнав, що «уведення кванта ще не привело до створення справжньої квантової теорії».

20-і роки стали свідками розвитку Ервіном Шредінгером, Вернером Гейзенбергом, Максом Планком, Діраком та іншими квантової механіки – оснащеної складним математичним апаратом

квантової теорії. Планку припала не до душі нова імовірнісна інтерпретація квантової механіки, і, подібно Ейнштейну, він намагався примирити гіпотези, засновані на принципі імовірності, із класичними ідеями причинності. Його сподіванням не призначено було збутися: імовірнісний підхід встояв.

Внесок Планка в сучасну фізику не вичерпується відкриттям кванта і постійної, що носить нині його ім'я. Сильне враження на нього зробила спеціальна теорія відносності Ейнштейна, опублікована в 1905 р. Повна підтримка Планком нової теорії, у чималій мірі сприяла прийняттю спеціальної теорії відносності фізиками. До числа інших його досягнень належить запропонований ним вивід рівняння Фоккера – Планка, що описує поведження системи часток під дією невеликих випадкових імпульсів (Адріан Фоккер – нідерландський фізик, що удосконалив метод, уперше використаний Ейнштейном для опису броунівського руху – хаотичного зигзагоподібного руху дрібних часток, завислих у рідині). У 1928 р. у віці сімдесяти років Планк вийшов в обов'язкову формальну відставку, але не порвав зв'язків з Товариством фундаментальних наук кайзера Вільгельма, президентом якого він став у 1930 р. І на порозі восьмого десятиліття він продовжував дослідницьку діяльність.

Особисте життя Планка було відзначене трагедією. Його перша дружина, уроджена Марія Мерхнув, з якою він одружився у 1885 р. і яка народила йому двох синів і двох дочок-близнят, померла в 1909 р. Двома роками пізніше він одружився на своїй племінниці Марге фон Хесслін, від якої у нього також народився син. Старший син Планка загинув у першу світову війну, а в наступні роки обидві його дочки померли при пологах. Другий син від першого шлюбу був страчений у 1944 р. за участь у невдалій змові проти Гітлера.

Як людина сформованих поглядів і релігійних переконань, та й просто як справедлива людина, Планк після приходу в 1933 р. Гітлера до влади привселюдно виступав у захист єврейських учених, вигнаних зі своїх посад і змушених емігрувати. На науковій конференції він вітав Ейнштейна, підданого анафемі нацистами. Коли Планк як президент Товариства фундаментальних наук кайзера Вільгельма наносив офіційний візит Гітлерові, він скористався цим випадком, щоб спробувати припинити переслідування вчених-євреїв. У відповідь Гітлер вибухнув тирадою проти євреїв узагалі. Надалі Планк став більш стриманим і зберігав мовчання, хоча нацисти, безсумнівно, знали про його погляди.

Як патріот, що любить батьківщину, він міг тільки молитися про те, щоб німецька нація знову знайшла нормальне життя. Він продовжував служити в різних німецьких наукових товариствах у надії зберегти хоч якусь малість німецької науки й освіти від повного знищення. Після того як його будинок і особиста бібліотека загинули під час повітряного нальоту на Берлін, Планк і його дружина намагалися знайти притулок у маєтку Рогоц неподалік від Магдебурга, де виявилися між відступаючими німецькими військами і наступаючими силами союзних військ. Зрештою подружжя Планк були виявлені американськими частинами і доставлені в безпечний тоді Геттінген.

Помер Планк у Геттінгені 4 жовтня 1947 р., за шість місяців до свого 90-річчя. На його могильній плиті вибиті тільки ім'я прізвище і числове значення постійної Планка.

Подібно Бору й Ейнштейну, Планк глибоко цікавився філософськими проблемами, зв'язаними з причинністю, етикою і людськими свободами, і виступав на ці теми у пресі і перед професійними і непрофесійними аудиторіями. Виконуючи обов'язки пастора (але не мав священникового сану) у Берліні, Планк був глибоко переконаний у тім, що наука доповнює релігію й учить правдивості і поважності.

Через усе своє життя Планк проніс любов до музики, що спалахнула в ньому ще в раннім дитинстві. Чудовий піаніст, він часто грав камерні твори зі своїм другом Ейнштейном, поки той не залишив Німеччину. Планк був також захопленим альпіністом і майже кожен свою відпустку проводив в Альпах.

Крім Нобелівської премії, Планк був визнаний гідним медалі Коплі Лондонського королівського товариства (1928) і премії Гете м. Франкфурта-на-Майні (1946). Німецьке фізичне товариство назвало на його честь свою вищу нагороду медаллю Планка, і сам Планк першим був удостоєний цієї почесної нагороди. На честь його 80-річчя одна з малих планет була названа Планкіаною, а після закінчення другої світової війни Товариство фундаментальних наук кайзера Вільгельма було перейменовано в Товариство Макса Планка. Він був членом Німецької й Австрійської академій наук, а також наукових товариств і академій Англії, Данії, Ірландії, Фінляндії, Греції, Нідерландів, Угорщини, Італії, Радянського Союзу, Швеції, України і Сполучених Штатів.

## 10. СТВОРЕННЯ КЛАСИЧНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕОРІЇ

Дослідження катодних променів, явища фотоелектричного ефекту. Відкриття електрона. Виникнення теорії відносності

Розвиток вчення про електрику не міг зупинитися на теорії Д.Максвелла, незважаючи на її величезні успіхи. Відомо, що в теорії Д.Максвелла не розглядається внутрішній механізм процесів у середовищі, які зумовлюють появу електричних і магнітних полів. Тому обмеженість теорії Максвелла, як феноменологічної теорії електромагнітного поля, полягала в тому, що вона не розглянула зв'язку зарядів з речовиною, не змогла пояснити залежність діелектричної і магнітної проникності, питомої електропровідності від частоти коливань поля, густини, температури середовища тощо. Це значною мірою стало причиною того, що в кінці ХІХст. були закладені основи електронної теорії, яка є природним розвитком теорії електромагнітного поля Д. Максвелла, являє собою синтез цієї теорії і вчення про атомно-молекулярну будову речовини. Основний зміст електронної теорії – це вчення про елементарні електричні заряди і їх взаємодію через створювані ними мікрополя, це гіпотези про будову атомів та молекул у діелектриках та провідниках, це перехід від електронів і мікрополів до полів макроскопічних тіл.

Творцем електронної теорії є нідерландський фізик Г. Лоренц (1853–1928), який у 1892 р. опублікував велику роботу «Електромагнітна теорія Максвелла і її застосування до рухомих тіл». В цій праці уже були накреслені основи електронної теорії. В 1895 р. вийшла його фундаментальна праця «Досвід теорії електричних і оптичних явищ в рухомих тілах», де вже дане послідовне викладення електронної теорії. Згідно з електронною теорією Лоренца, простір, який займає речовина, відрізняється від порожнього простору тим, що в нього вкраплені окремі негативно й позитивно заряджені частинки, рухом яких і створюються електричні та магнітні поля, які мають мікроскопічний характер.

Для опису закономірностей електронної теорії Г. Лоренц у статті «Електронна теорія» (1903) надав дещо зміненої форми рівнянням Максвелла. Ці рівняння дістали назву рівнянь Максвелла – Лоренца. В системі СІ ці рівняння мають вигляд

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \operatorname{div} \vec{B} = 0; \operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

З них випливає, що нерухомий електрон створює кулонівське електростатичне поле, а рухомий електрон створює електромагнітне поле, енергія якого, при рівномірному русі електрона, переноситься разом з електроном і випромінювання електромагнітної енергії не відбуваються.

Так виникла електронна теорія, в основу якої були покладені закони взаємодії електромагнітного поля і заряджених частинок, що його утворюють.

Об'єднавши атомістичні уявлення про речовину з електромагнітною теорією поля, Г. Лоренц у 1878 р. вивів формулу, що встановила зв'язок між показником заломлення неполярного діелектрика з густиною діелектрика. На основі електронної теорії Лоренц не тільки пояснив ряд важливих електричних і оптичних явищ, а й передбачив нові. Він дав тлумачення діелектричній і магнітній проникності, теоретично обґрунтував виявлений зв'язок між коефіцієнтами електропровідності і теплопровідності провідників, а також пояснив у 1884 р., на основі виведеного ним узагальненого виразу для сили, що діє на рухомий заряд, наявність так званої сили Лоренца і відкритий у 1879 р. ефект Холла.

Електронна теорія пояснила також відкрите в 1896р. нідерландським фізиком П. Зеєманом (1865–1943) явище розщеплення спектральних ліній під дією зовнішнього магнітного поля. Г. Лоренц не тільки теоретично обґрунтував експериментальні спостереження Зеємана, а й передбачив ряд нових явищ, наприклад поляризацію компонентів триплету, що виникає в магнітному полі, які експериментально були відкриті значно пізніше. Отже, електронна теорія була значним кроком уперед порівняно з теорією Максвелла і мала цілий ряд важливих успіхів ще до відкриття електрона, існування якого було одним з вихідних положень електронної теорії. Ідеї про будову електрики уже висловлювались М. Фарадеєм, німецьким фізиком В. Вебером (1804–1891), Д. Максвеллом та ін. У 1874 р. англійський фізик Д. Стоней (1826–1911) в доповіді «Про фізичні одиниці природи», прочитаній на з'їзді Британської асоціації в Белфасті, вказав на існування атомарного заряду електрики і, виходячи з законів електролізу, вперше розрахував заряд одновалентного іона. В 1881 р. аналогічна ідея була висловлена і Г.Гельмгольцем в його промові, виголошеній 5 квітня 1881 р. у пам'ять Фарадея на урочистому засіданні Лондонського хімічного товариства: «Найбільш разючим наслідком законів Фарадея є, мабуть,

таке: якщо ми допускаємо існування хімічних атомів, то ми не можемо уникнути висновку, що й електрика як позитивна, так і негативна, розділяється на певні елементарні порції, які поводять себе, як атоми електрики».

Нарешті, в 1891 р. Д. Стоней не тільки теоретично знайшов числове значення атомарного заряду електрики, а й уперше запропонував називати його «електроном».

Велика роль в історії відкриття електрона, як і дальшого розвитку електроніки, належить дослідженням електричних явищ у розріджених газах, виконаних в останній чверті XIX ст. В 1869 р. німецький фізик І.Гітторф (1824–1914), спостерігаючи електричний розряд у спеціальних трубках з розрідженим газом при тиску нижче  $10^{-1}$  мм рт.ст., виявив катодні промені, які викликали сильну люмінесценцію і зміщувалися під впливом дії магнітного поля. Через кілька років після відкриття катодних променів англійський фізик У.Крукс (1832–1919) прийшов до висновку, що катодні промені – це потік заряджених частинок, які поширюються від катода прямолінійно, утворюючи геометричну тінь від непрозорих предметів, а також створюють механічний тиск («млинок» Крукса) і відхиляються магнітним полем. Але в 1883 р. німецький фізик Г. Герц, а в 1893 р. його учень Ф. Ленард показали, що катодні промені можуть проходити через тонку алюмінієву фольгу, і зробили висновок, що катодні промені – це не потік корпускул, а електромагнітні хвилі. Питання про природу катодних променів остаточно розв'язав французький фізик Ж. Перрен (1870–1942), який безпосередньо довів, що ці промені являють собою потік негативно заряджених частинок. Ж. Перрен вмістив усередину трубки циліндр, сполучений з електроскопом. Коли в циліндр попадали катодні промені, електроскоп виявляв негативний заряд. Цим самим була спростована думка про те, що катодні промені мають таку саму природу, як і світлові промені, і вперше відмічено їх електричний заряд. Нарешті, англійський фізик Дж. Томсон (1856–1940), досліджуючи проходження електричного струму через розріджені гази, розробив методику дослідження катодних променів за допомогою електричних та магнітних полів і в 1897 р. показав, що відношення електричного заряду до маси – для частинок, що утворюють катодні промені, набагато більше, ніж для іонів водню при електролізі. На основі цього він висловив гіпотезу, що в катодних променях електричні заряди переносяться частинками, розміри і маса яких набагато менші від

розмірів атомів водню. У 1898 р. Дж. Томсон визначив заряд частинок катодних променів, який виявився рівним заряду іона водню при електролізі, а самі частинки дістали назву електронів. Так була відкрита перша елементарна частинка – електрон.

Одним з важливих методів перевірки цього відкриття Дж. Томсон вважав дослідження природи заряду, що знімається з поверхні металу при її освітленні. Це явище – широко відоме тепер під назвою зовнішнього фотоелектричного ефекту – вперше було виявлено в 1887 р. Г. Герцем при проведенні дослідів з електромагнітними хвилями і частково досліджене в 1888 р. німецьким фізиком Б. Гальваксом (1859–1922), який показав, що метали під дією ультрафіолетового проміння втрачають негативний заряд.

Всебічні і ґрунтовні дослідження фотоелектричного ефекту виконав у 1888–1890 рр. О. Г. Столетов, які принесли йому світову славу. Результати цих досліджень були опубліковані в статті «Актино-електричні явища в розріджених газах» (1890). О. Г. Столетов вперше довів, що сила фотоелектричного струму пропорційна інтенсивності світла, яке поглинається катодом, установив уніполярність ефекту, неоднакову чутливість установки до різних довжин хвиль, вперше відкрив наявність струму насичення у фотоелементі тощо.

Зауважимо, що в 1905 р. А. Ейнштейн в статті «Про одну евристичну точку зору, що стосується виникнення і перетворення світла» і в 1906 р. в роботі «До теорії виникнення і поглинання світла» не тільки вперше звернув увагу на ідею про квант, але розвинув її далі, сформулювавши основи квантової теорії. Разом з цим він застосував ідеї про кванти для пояснення явищ фотоелектричного ефекту і показав, що всі закони фотоелектричного ефекту, встановлені О. Г. Столетовим й іншими природодослідниками, безпосередньо пояснюються, якщо припустити, що світло поглинається такими самими порціями  $\varepsilon = h\nu$ , якими відповідно до теорії М. Планка і випромінюється. А. Ейнштейн вивів тоді ж рівняння фотоелектричного ефекту:  $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A$  згідно з яким енергія фотона, що поглинається, при вириванні з металу одного електрона іде на роботу виходу електрона і на надання йому кінетичної енергії. Здійснена згодом експериментальна перевірка рівняння Ейнштейна, в результаті якої було визначено значення сталої Планка  $h$ , яке збіглося з іншим визначенням цієї сталої, здійсненим самим М. Планком, блискуче підтвердило справедливість квантової теорії.



Досліджуючи природу фотоелектричного ефекту, Дж. Томсон довів, що відокремлювальні від катода під дією світла частинки мають той же питомий заряд, що й частинки, які утворюють катодні промені. Цим самим було підтверджено реальне існування електрона, питомий заряд якого, визначений Дж. Томсоном, повністю збігався з питомим зарядом частинок, відповідальних за випромінювання в лоренцівській теорії ефекту Зеемана.

Зауважимо, що пізніше Г. Лоренц сформулював основи електродинаміки рухомих середовищ і довів, що закони електромагнетизму однакові у всіх рівномірно рухомих системах відліку. Знайдені ним у 1904 р. найбільш загальні перетворення просторових координат і часу – так звані перетворення Лоренца – відіграли важливу роль у підготовці теорії відносності.

Теорію відносності сформулював у 1905 р. А. Ейнштейн у праці «До електродинаміки рухомих тіл». Ця теорія прийшла на зміну класичним поглядам на простір і час, які вступили в явне протиріччя з фактами, коли розвиток фізики привів до вивчення рухів, в яких швидкістю тіл уже не можна було нехтувати порівняно з швидкістю світла. Поява прямих експериментальних фактів, які суперечили законам класичної фізики, зокрема таких дослідів, як досліди американських фізиків А. Майкельсона (1852–1931) і Е. Морлі (1838–1923) спонукало Ейнштейна здійснити повний перегляд просторово-часових уявлень і пояснити ці факти, виходячи з загальних властивостей простору і часу. (Результати перших дослідів за допомогою винайденого Майкельсоном спеціального приладу інтерферометра, які заперечили існування ефіру, були проведені ним в Потсдамі і опубліковані у статті «Відносний рух Землі і світлоносного ефіру» (1881). В 1887 р. А. Майкельсон разом з Е. Морлі опублікував працю «Про відносний рух Землі і світлоносного ефіру», в якій описувалися нові досліди, що теж давали негативний результат.) А. Ейнштейн сформулював два основні постулати – принципи, які є вихідними положеннями теорії відносності. Відповідно до принципу відносності, всі фізичні процеси в інерціальній системі не залежать від швидкості її руху відносно інших тіл чи систем. Згідно з другим принципом, швидкість світла в вакуумі  $c$  постійна і не залежить від швидкості руху джерела світла. Ці постулати становлять основу спеціальної теорії відносності, в якій А. Ейнштейн дав формулювання нових законів руху, які узагальнили закони руху І. Ньютона і зводились до цих законів лише у випадку настільки малих швидкостей

тіл  $v$ , що відношенням  $\frac{v^2}{c^2}$  можна було знехтувати. В згаданій праці була висвітлена і теорія оптичних явищ в рухомих тілах. Вивчення цих явищ мало важливе значення для досягнення необхідної експериментальної точності при вивченні ефектів порядку  $\frac{v^2}{c^2}$ .

В тому ж 1905 р. у доповненні «До електродинаміки рухомих тіл», яке називалося «Чи залежить інерція тіла від вмісту в ньому енергії», А.Ейнштейн виразив співвідношення між масою і енергією знаменитим рівнянням  $E = mc^2$ , де  $m$  – маса;  $c$  – швидкість світла. У 1906 р. Ейнштейн виступив з статтею «Закон збереження руху центра ваги та інерції енергії», в якій обґрунтував співвідношення між масою і енергією. Тут слід відзначити, що використовується термін енергія спокою, а не «маса спокою».

Наявність енергії спокою дала змогу розглядати всяке тіло як потенціальний резервуар енергії, а із закону пропорційності маси і енергії випливала можливість переходу енергії, зв'язаної з речовиною, в енергію, зв'язану з випромінюванням. Це і лягло в основу всієї ядерної фізики. Інакше кажучи, співвідношення маси і енергії, встановлене в формулі Ейнштейна, дало змогу визначити ту велику кількість енергії, що знаходиться в ядрах атомів; на основі цієї формули можна обчислити, яка кількість грамів уранового палива потрібна для забезпечення трансокеанського рейсу атомного корабля чи польоту ракети на ядерному паливі, вона дає можливість розрахувати критичну масу для здійснення ядерного вибуху тощо.

Підкреслимо, що першим фізиком, який вказав на значення закону зв'язку маси і енергії для пояснення відхилення мас атомів від цілочислових значень, був французький фізик П. Ланжевен (1872 – 1946).

В доповіді «Інертність енергії і наслідки, що з неї випливають», виголошеній у 1913 р., він розкрив фізичне значення співвідношення маси та енергії і вперше висловив ідеї, які становлять суть сучасної ядерної енергетики–ідеї про дефект маси при ядерних перетвореннях. Як і П. Ланжевен, розвитку ідей теорії відносності присвятив свою наукову діяльність Г. Мінковський (1864– 1909), який, в двох доповідях «Принцип відносності» (1907), «Простір і час» (1908) і в статті «Основні рівняння для електродинамічних процесів в рухомих тілах» сформулював математичну теорію фізичних процесів в чотиривимірному просторі, в якій перетворення Ейнштейна дістали наочну геометричну інтерпретацію. Ця теорія Мінковського відіграла

важливу роль в завершенні побудови спеціальної теорії відносності.

До 1916 р. А. Ейнштейн створив і загальну теорію відносності, яка базується на поєднанні принципу еквівалентності та принципу відносності і є релятивістською теорією тяжіння. Ейнштейн показав, що при наявності тіл, які утворюють тяжіння, метрика, тобто кількісні міри простору і часу, інша, ніж у відсутності цих тіл. Слід зауважити, що ще М. І. Лобачевський (1792–1856) в своїх мемуарах «Про начала геометрії» (1826–1830) висловив твердження, що метрика реального простору може мати подібні відхилення, і намагався їх визначити. В загальній теорії відносності А. Ейнштейна знайдена фізична причина цього відхилення, даний його математичний вираз і, зокрема, показано, що подібні відхилення в метриці реального простору не можна розглядати у відриві від відповідних змін часу. А це означає, що теорія простору, часу і тяжіння А. Ейнштейна показує їх нерозривний взаємозв'язок.

## **11. ДОСЛІДЖЕННЯ У ГАЛУЗІ АТОМНОЇ ФІЗИКИ**

Періодичний закон Д. І. Менделєєва і роботи з вивчення будови речовини. Відкриття X-променів та радіоактивності: український внесок, всесвітня спадщина

Передісторія сучасної атомної фізики починається з геніального відкриття Д. І. Менделєєвим (1834-1907) в 1869 р. періодичного закону. У своєму підручнику «Основи хімії» Д. І. Менделєєв не тільки сформулював важливий закон науки – періодичність властивостей хімічних елементів – і на його основі створив систему елементів, але і вперше вказав на можливість перетворення елементів і з великою точністю передбачив існування не відкритих ще елементів і описав їх властивості. В 1875 р. був відкритий галій, що зайняв в таблиці місце, передбачене Д. І. Менделєєвим (№31), в 1879 р. був відкритий елемент скандій (№21) і в 1886 р. – германій (№ 32).

Менделєєв довів, що в рядах споріднених елементів, розташованих за атомною вагою, є різні прогалини, які вказують на те, що тут повинні бути ще відкриті нові елементи. Він наперед описав загальні хімічні властивості одного з цих невідомих елементів, – названого ним екаалюмінієм, бо в ряді, що починається з алюмінію, він безпосередньо йде за алюмінієм, – і визначив наперед приблизно його питому і атомну вагу та його атомний об'єм. Через кілька років Лекок де Буабодран справді відкрив цей елемент, і виявилось, що передбачення Менделєєва, із зовсім незначними відхиленнями,

справдилися. Екаалюміній дістав свою реалізацію в галії. Менделєєв, застосувавши несвідомо гегелівський закон про перехід кількості в якість, учинив науковий подвиг, який сміливо можна поставити поряд з відкриттям Левер'є, який обчислив орбіту ще не відомої планети – Нептуна».

Наступний розвиток науки повністю підтвердив думки Д. І. Менделєєва. Цікаві думки про будову атома були висловлені також в 90-х роках ХІХ ст. Б. М. Чичеріним (1828–1904), який в ряді статей, присвячених періодичному закону, висловлював ідею електричної будови атомів, що складалися, на його думку, з позитивно зарядженого центра і негативно зарядженої периферійної частини.

Чи здогадувались вчені, відкриваючи радіоактивні елементи, до чого це може призвести в майбутньому?...

Відкриття радіоактивності принесло людству чимало користі. Дослідження процесів розпаду атомного ядра важливе не лише для практичних цілей в енергетиці, медицині, сучасних технологіях, але й для пізнання таємниць ще глибших рівнів структури Всесвіту: властивостей нейтрино, підтвердження існування деяких гіпотетичних частинок, природи темної матерії тощо.

Разом із користю відкриття штучних радіоактивних ізотопів принесло людству ще й чималої шкоди. Після жахів Хіросіми та Нагасакі сприйняття атомної енергії змінилось і не на краще. Промова «Атом заради миру» Девіда Ейзенхауера 1953 року мала свої результати – у світі з'явилося Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ). Однак перегонів озброєнь, як і становлення ядерного клубу, це не спинило.

Хто насправді стояв у витоків, якою є роль українських вчених і не тільки?

### **Відкриття X-променів: Пулюй, Рентген**

У 1875 році шляхи уродженця Тернопільщини Івана Пулюя та німця за походженням Вільгельма Рентгена перетнулися. Разом вони працювали в лабораторії Страсбурзького університету під керівництвом професора Августа Кундта. Будучи однолітками, Пулюй та Рентген друзями не стали, хоча після Страсбурга періодично обмінювались листами, в яких ділилися результатами своїх досліджень. Івана Пулюя цікавили процеси, пов'язані з X-променями на атомно-молекулярному рівні. Рентгену була добре відома лампа Пулюя, завдяки якій ці невидимі для людського ока промені можна було побачити.

8 листопада 1895 року в лабораторії при Вюрцбурзькому університеті Вільгельм Рентген залишився допізна. Вчений помітив, що фотоматеріали, які лежали поруч з трубкою Гітторфа, упаковані у світлонепроникний папір, виявилися незрозумілим чином засвіченими. Звичайна людина викинула б їх, проте Рентген захотів з'ясувати причину незрозумілого явища. Він усвідомив, що від вакуумних трубок, дійсно, виходять невидимі промені. Сім тижнів практично наодинці науковець досліджував їх ефект. І ось 28 грудня 1895 року він виступив з першим повідомленням про своє відкриття перед вюрцбурзьким фізико-математичним товариством.

Про реакцію Івана Пулюя дізнатися можна зі спогадів його сина: «...Батько прочитав звістку про відкриття Рентгена, лежачи в ліжку. Зірвавшись з ліжка і обхопивши голову руками, він раз від разу вигукував: «Моя лампа! Моя лампа!». Він надіслав Рентгену листа з проханням відповісти, чи використовувалась його лампа у експериментах. На що відповіді так і не одержав. Коли Рентгену вручали Нобелівську премію в 1901 році, він усіляко ухилявся від пояснення природи свого відкриття».

Чому ж тоді Нобелівську премію одержав Рентген, а не Пулюй?... Як вже мовилось, формальним приводом для цього стало те, що німецький фізик першим опублікував інформацію про відкриття променів. Але чи не найточніше на це питання відповів у спілкуванні з Іваном Пулюєм видатний фізик, славнозвісний Альберт Ейнштейн: «Що сталося – не змінити. Хай залишається при Вас сатисфакція, що й Ви вклали свою частку в епохальне відкриття. Хіба цього мало? А якщо на тверезу голову, то все має логіку. Хто стоїть за Вами, русинами, – яка культура, які акції? Прикро Вам це слухати, але куди дінешся від своєї долі? А за Рентгеном – уся Європа». На що Пулюй відповів: «Що має статися – станеться і те, що відбудеться – буде найкращим, адже на все те воля Божа».

### **Відкриття радіоактивних елементів: Беккерель, подружжя Кюрі та інші**

Після відкриття рентгенівських променів французький математик Анрі Пуанкаре висунув гіпотезу, що випускання цих променів пов'язане з флуоресценцією. Перевіряючи це припущення, французький фізик Антуан Беккерель розпочав низку експериментів із сірчистим цинком і сірчистим кальцієм за однаковою методикою. Усі вони не увінчалися успіхом. І тому Беккерель вирішив перевірити гіпотезу Пуанкаре, використовуючи найбільш сильно фосфоресцюючі

матеріали – солі урану. В результаті – 1 березня 1896 року вчений встановив, що ізольовані від дії світла фотопластинки, які знаходяться у контакті з солями урану, засвічуються. Традиційно цю дату вважають відкриттям радіоактивності. Цікаво відмітити, що про це явище у 1858 році та у 1867 році повідомляли французькі винахідники Жозеф Ньєпс та Абель Ньєпс де Сент-Віктор відповідно. Проте їх спостереження не стали відкриттям та були забуті.

Чим більше експериментів проводив Беккерель, тим більше переконувався, що ефект «засвічування» викликаний невідомим випромінюванням, яке проходить крізь непрозорі тіла. Було очевидно, якщо ці промені випромінюють солі урану в темряві, то, звісно, жодного зв'язку між явищем фосфоресценції і рентгенівським випромінюванням немає. Для підтвердження цього висновку науковець перевіряє, як впливають інші уранові сполуки на фотопластинки. Й, зрештою, 18 травня 1896 року, використовуючи металічний уран, одержаний французьким хіміком Анрі Пуассоном, Беккерель експериментально доводить, що носієм «уранових променів» є безпосередньо уран. Вчені зіткнулись з невідомою раніше властивістю атомів цього елемента постійно і незмінно виділяти енергію.

Роль домішок у фосфоресціюючих речовинах турбувала Беккереля. Тож він запропонував молодому французькому вченому П'єру Кюрі перевірити, чи немає домішок у цих речовинах. Дружина П'єра Марія Склодовська-Кюрі, зацікавившись глибоко проникаючим випромінюванням, здатним іонізувати повітря та засвічувати фотопластинку, вирішила обрати це явище темою своєї докторської дисертації. Науковиця почала з'ясовувати, чи не володіють домішки сполук урану його властивістю випромінювати «промені Беккереля» (пізніше, у 1898 році, вона йменує їх «радіоактивними», запровадивши термін «радіоактивність» у вжиток), а також чи немає інших невідомих елементів, які мають таку властивість.

Для розв'язання поставленого завдання метод фотопластинок був непридатний, адже вимагав багато часу, тому для вимірювання електропровідності повітря Марія Кюрі використовувала п'єзоелектричний кварцовий балансир братів Кюрі. Було досліджено багато природних сполук, які не містили урану, та виявлено, що речовини з вмістом торію також мають випромінюючу здатність. До цього результату одночасно і незалежно прийшли у 1898 році П'єр і Марія Кюрі та німецький вчений Герт Шмідт.

Після дослідження інших речовин Марії Кюрі довелося повернутися до сполук урану. Опорним джерелом випромінювання було обрано металічний уран. У результаті – з'ясовано, що два уранових мінерали (хальколіт і уранова смолка) мають більш інтенсивне випромінювання, ніж металічний уран. Отже, ці мінерали містили ще якусь невідому речовину, якій був притаманний вищий рівень радіоактивності.

У 1898 році Марія Кюрі повідомила про результати своїх експериментів Французькій академії наук. Перекоаний у тому, що гіпотеза його дружини не тільки правильна, але й вкрай важлива, П'єр Кюрі залишив власні досліди, щоб допомогти Марії виділити неловимий елемент. З цього часу інтереси подружжя Кюрі як дослідників злилися настільки, що навіть у своїх лабораторних записах вони завжди використовували займенник «ми». Для перевірки гіпотези був виготовлений штучний хальколіт із таким вмістом урану, який відповідав природному складу. Виявилось, що активність штучного хальколіту у декілька разів вища, ніж природного. Отже, природний містив новий радіоактивний елемент, активність якого вища, ніж металічного урану. П'єр і Марія запропонували назвати цей елемент полонієм на честь Польщі, батьківщини Марії Склодовської-Кюрі. Це сталося 18 липня 1898 року. Також під час цього дослідження було застосовано новий метод «мічених атомів». Пізніше полоній був виділений із хальколіту.

28 грудня 1898 року подружжя Кюрі відкрило новий радіоактивний елемент: власними руками з восьми тонн ураніту вони одержали перший у світі грам радію. Запатентувати ж методику і закріпити права на промислову технологію його виробництва подружжя Кюрі відмовилось, вважаючи, що це «суперечить духу науки». Двадцять років потому Марія Кюрі напише: «За моєї згоди П'єр відмовився здобувати матеріальну вигоду з нашого відкриття. Ми вирішили не патентувати методику і, нічого не приховуючи, оприлюднили результати наших досліджень, а також способи одержання радію. Більш того, всім зацікавленим надавали необхідні роз'яснення. Разом з П'єром ми були прибічниками того, аби виробництво радію вільно розвивалося, спочатку у Франції, а потім і за кордоном, тож постачали вчених та лікарів продуктами, яких вони потребували».

У червні 1903 року Марія Кюрі захищає докторську дисертацію, цього ж року спільно зі своїм чоловіком та Анрі Беккерелем отримує

Нобелівську премію й стає першою жінкою в історії, удостоєною цієї високої відзнаки.

Беккерелю вдалося зробити ще одне значне відкриття в атомній фізиці. Якось перед публічною лекцією він попросив у подружжя Кюрі радіоактивну речовину й пробірку поклав собі у нагрудну кишеню. Після лекції – повернув речовину власникам. Й потому – виявив на шкірі значне почервоніння у формі пробірки. Беккерель розповів про це П'єру Кюрі, той же вирішив провести на собі дослід: протягом десяти годин він носив прив'язану до передпліччя пробірку з радієм. Через кілька днів – у нього також з'явилося почервоніння, яке з часом перетворилось у серйозну виразку. Так вперше було відкрито біологічну дію радіоактивності.

Щодо подружжя Кюрі – після трагічної загибелі П'єра у 1906 році, Марія посіла посаду професорки на кафедрі фізики в Сорбонні й продовжила роботу над отриманням чистого радію. Разом з Анрі Деб'єрном їй це вдалося зробити у 1910 році, й вже в 1911-му – вона серед лауреатів Нобелівської премії з хімії. У 1918 році під її керівництвом було відкрито Інститут радію при Паризькому університеті. Цей Інститут став одним зі світових центрів з радіохімії та ядерної фізики.

Після відкриття радію у 1898 році інші радіоактивні елементи почали «з'являтися» один за одним. У 1899 році Анрі Деб'єрн відкрив актиній, а в 1900-му Фрідріх Дорн – радон. У 1902-му – Резерфорд спільно з Фредеріком Содді опублікував теорію радіоактивного розпаду атомів. У період з 1905 по 1912 роки дослідження продуктів розпаду урану, торію та актинію дозволили Содді запровадити у вжиток поняття ізотопу. До 20-х років ХХ століття було відкрито близько 40 природних радіоактивних елементів, встановлено генетичний зв'язок між ними й ідентифіковано три види радіоактивного випромінювання:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -промені.

### **Дослідження рентгенівських променів та радіоактивних елементів на території України**

В Україні дослідження рентгенівських променів були проведені відразу після їх відкриття. У 1896 році в науковій літературі з'явилося чимало повідомлень про досліди з іонізуючим випромінюванням, проведені в університетах Києва, Одеси, Харкова.

Серед перших дослідників рентгенівських променів – професор Одеського університету Микола Пильчиков. Використовуючи трубку Івана Пулюя, Пильчиков відкрив цілу низку незнаних властивостей



невидимих променів. Він знайшов спосіб скоротити тривалість експозиції до 2-х секунд. То була найкоротша експозиція у світі. Миколу Пильчикова вважають основоположником рентгенографії та рентгенології в Україні, під його керівництвом у 1896 році почалося практичне застосування рентгенодіагностики в Одеських лікарнях.

Одним із перших, хто повною мірою усвідомив силу, приховану в атомному ядрі, був український науковець, геолог, природознавець, засновник геохімії, біохімії та радіогеології, вчення про біосферу, ноосферу й космізм, а також один із засновників Національної академії наук України Володимир Вернадський. У 1909 році він дійшов до ідеї ланцюгової реакції і ядерного синтезу та зрозумів, що радіоактивні елементи містять в собі величезну енергію, яку найближчим часом можна буде видобувати на благо людства.

Після першого повідомлення про відкриття рентгенівських променів, професор Київського політехнічного інституту Георгій Де-Метц повторив експерименти німецького вченого, провівши низку дослідів щодо впливу іонізуючого випромінювання на живі організми та неживі об'єкти. В лютому 1896 року науковець опублікував статтю «Рентгенівські промені та їх застосування у медицині», в якій описав свої дослідження з фотографіями. Георгію Де-Метцу вдалося отримати чіткі знімки жаби з зображенням внутрішніх органів. Він був переконаний, що рентгенівські промені можна застосовувати для діагностики та лікування людини.

У березні 1896 року вийшла ще одна стаття науковця «Фотографія всередині трубки Crookesa», в якій йшлося про природу рентгенівських променів та їх здатність проникати у різні об'єкти, у тому числі й тканини живих організмів. На цьому вчений не зупинився й приступив досліджувати вплив магнітного поля на проникну здатність рентгенівських променів. Пізніше з'являється ще одна його публікація, «Радіоактивність та будова матерії», де описано низку дослідів з вивчення природної радіоактивності на препаратах з гінекологічної клініки Київського медичного інституту. В результаті Георгій Де-Метц дійшов висновку, що живі організми мають сталу низьку радіоактивність і не накопичують у своїх органах значної кількості радіоактивних елементів.

Цікавив Де-Метца також і радій, вчений проводив дослідження його вмісту у воді та флорі зі ставка Київського ботанічного саду. Накопичення радію ряскою – ось що було серед пріоритетних досліджень. За їх результатами науковець зробив висновок, що деякі

види живої тканини здатні вбирати і навіть концентрувати радій з води та навколишнього середовища. Тому коливання радіоактивності того чи іншого організму залежить від умов його існування. Питанням радіоактивності Георгій Де-Метц присвятив багато років, неодноразово брав участь у наукових конференціях, найважливішими з яких були: Міжнародний конгрес з фізики в Парижі 1900 року, Міжнародний конгрес з радіології та електрики в Брюсселі 1910 року, З'їзд з вивчення виробничих сил народного господарства України у Харкові 1924 року, Радіологічний з'їзд в Одесі 1925 року та ін. Зроблена ним на з'їзді у Харкові доповідь «Про дослідження радіологічних багатств України» вийшла окремим виданням в Києві в 1925 році.

Пізніше, у 1931-му з'явилась фундаментальна стаття Де-Метца «Радіоактивність та будова матерії», в якій подано історичний екскурс розвитку вчення про радіоактивність, узагальнені знання про радіоактивні речовини, історичні відкриття Конрада Рентгена, Анрі Беккереля, Марії Складовської-Кюрі, П'єра Кюрі та інших видатних вчених. У цій роботі науковець проаналізував 68 різних уранових матеріалів й дійшов висновку, що радіоактивність тісно пов'язана з ураном та торієм і тому пошук джерел, багатих на радіоактивні речовини, треба спрямувати на уранові й торієві руди. Разом із тим, у статті Де-Метц описує картину географічного розподілу радіоактивних мінералів, найбагатших родовищ уранових руд.

### **Пошук радіоактивних елементів під час видобування урану в Україні**

Історія відкриття родовищ урану в Україні розпочалася у 1944 році, коли при Українському геологічному управлінні спочатку було створено спеціальний ревізійний загін, а згодом – Центральну українську партію для пошуку радіоактивних елементів.

До війни видобуток природного урану в Україні складав близько 1000 т на рік, тобто 40 % від поточних потреб ядерної енергетики. Стратегічна мета уранової промисловості – забезпечення потреб вітчизняної ядерної енергетики природним ураном власного виробництва.

### **Ядерна зброя: внесок українців у дослідження ядерних реакцій**

Батьком першої штучної ядерної реакції вважається Ернест Резерфорд. Ще у 1919 році йому вдалося перетворити ядро азоту на ядро кисню. З його дослідів почалися і атомна бомба, і «мирний

атом». Проте мало хто знає, що українські науковці, які працювали у харківській лабораторії, зробили не менший внесок у дослідження ядерних реакцій.

У жовтні 1932 року в Харкові вдалося створити рукотворне науково-технічне диво. В Українському фізико-технічному інституті (нині – ННЦ «ХФТІ») було штучно розщеплене атомне ядро. Що власне трапилося?... Певною мірою це було схоже на здійснення блакитної мрії алхіміків: взяли одну речовину – на виході отримали іншу. Харківські вчені Кирило Синельников, Антон Вальтер, Олександр Лейпунський та Георгій Латишев «бомбардували» протонами на прискорювачі Ван-Граафа літій.

Чому це подвиг?... По-перше, на час експерименту сам УФТІ існував лише чотири роки (його засновано 1928-го). Явити світові такий видатний науковий результат за чотири роки існування — само собою нетривіально. По-друге, харків'яни всього кількома місяцями поступилися англійцям із Кавендіської лабораторії — учням Ернеста Резерфорда Джону Кокрофту й Ернесту Уолтону, які першими у світі штучно розщепили ядро. За цю роботу англійські вчені згодом були удостоєні Нобелівської премії в галузі фізики за 1951 рік.

По-третє, то були такі часи, що якби щось в експерименті пішло не так, то ані про цих чотирьох молодих людей, ані про членів їхніх родин уже б ніхто ніколи ніде не почув. Зникли б безслідно. Знадобилися мужність і непохитна впевненість у своїх знаннях, аби взятися за таку непересічну справу і впоратися з нею. Експеримент науковці проводили не самі. Це був дорогий проєкт державного масштабу. Крім науково-технічних розрахунків, слід було копати, вести зварювальні роботи. Потрібні були спеціальні матеріали. Але на цю справу радянська влада ресурсів не шкодувала.

Зокрема, як тепер відомо, 1940 року вчені того ж таки УФТІ пропонували низку заявок на патенти: «Про використання урану як вибухової та отруйної речовини», «Спосіб приготування уранової суміші, збагаченої ураном з масовим числом 235. Багатовимірна центрифуга», «Термоциркуляційна центрифуга» тощо. Фактично, в цих патентах було викладено схему атомної зброї, яка згодом стала загальноприйнятою. Але тоді, попервах реакція на заявки була негативною: «Вона (заявка) в даний час не має реального фундаменту.... по суті, в ній дуже багато фантастичного...».

У тому експерименті українці були не першими, проте недооцінювати результатів штучного розщеплення атома не варто.

Воно переконливо підтвердило ідеї та постулати квантової механіки. Наблизило людство до розуміння природних явищ, зокрема будови матерії. Відкрило еру прискорювачів у світовій науці. Сучасний Великий адронний колайдер у ЦЕРНі за масштабами (як лінійними, так і енергетичними) іде на багато кроків попереду, що дає йому можливість розв'язувати такі задачі, як відкриття Бозона Хіггса. Так от, колайдер є нащадком тієї машини, яку в далекому 1932 році створили в Харкові.

У післявоєнний час виробництво плутонію та ядерної зброї здійснювалось у Англії, Франції, Китаї та СРСР. У 40-х роках ХХ ст. були синтезовані америцій, кюрій, берклій, каліфорній. Ейнштейній та фермій були виявлені в коралах атола Еніветок після американського термоядерного вибуху. Менделєєвій був відкритий групою Глена Сиборга у кількості 17 атомів. Нобелій був синтезований одночасно в СРСР Георгієм Флеровим та Гленом Сиборгом у США. У 1961 році групі Сиборга вдалося добути лоуренсій, а Флерову – дубній. У нас час добуто елементи з порядковими номерами 105 – 112 (джоліотій, резерфордій, борій, ганій, мейтнерій, дармштадтій, рентгеній, коперніцій відповідно).

### **Сучасний стан досліджень радіоактивних елементів в Україні та світі**

У світі у 2021 році вчені вперше змогли детально вивчити ейнштейній – один із найбільш невловимих та важких елементів періодичної таблиці.

Міністерство енергетики США відкрило ейнштейній у 1952 році під час випробування першої водневої бомби. Цей елемент не зустрічається у природі й може бути одержаний лише в мікроскопічних кількостях з використанням спеціалізованих ядерних реакторів. Його також важко відокремити від інших елементів, він надзвичайно радіоактивний та швидко розпадається, що значно ускладнює дослідження.

Вчені з Національної лабораторії Лоуренса Берклі в Каліфорнійському університеті нещодавно створили 233-нанограмових зразків чистого ейнштейнію й провели перші експерименти з 1970-х років.

Ейнштейній отримують шляхом бомбардування мішені, у даному випадку кюрія, нейтронами і протонами для створення більш важких елементів. Однак отримати його – це лише половина завдання. Наступна проблема – знайти місце для його зберігання.

Ейнштейній-254 має період напіврозпаду 276 днів. Розпадається він на берклій-250, що має дуже жорстке гамма-випромінювання. Дослідники з Лос-Аламоської національної лабораторії в Мексиці розробили спеціальний, надрукований на 3D-принтері тримач для зразків. Він захищає вчених у лабораторії від небезпечного випромінювання.

В Україні до війни дослідження в галузі ядерної та радіаційної фізики, реакторного матеріалознавства, фізики конденсованого стану виконувались на ядерно-фізичних установках Національної академії наук. Вони також використовувались для виробництва радіоізотопів для медицини та промисловості, радіаційної стерилізації, обробки напівпровідникових структур, вивчення наноструктур, збереження артефактів. Важливу роль ці установки відігравали для розв'язання завдань сучасної ядерної енергетики України, розробки реакторів майбутніх поколінь і термоядерних установок. Станом на сьогодні – усі установки НАН України зупинені й знаходяться у підкритичному стані. Персоналом ведуться роботи з контролю параметрів та підтримання їх у працездатному стані.

На базі Національного наукового центру «ХФТІ» у Харкові створювалась ядерна підкритична установка «Джерело нейтронів». Її основне призначення – проведення наукових і прикладних досліджень в області ядерної фізики, радіаційного матеріалознавства, біології, хімії та для виробництва радіоізотопів. У період з 6 березня 2022 року «Джерело нейтронів» з цинічною періодичністю обстрілюється військовими рф. За інформацією експлуатуючої організації, у результаті чергового обстрілу, ядерна установка зазнала значних пошкоджень, ймовірність нових може вплинути на стан ядерної та радіаційної безпеки.

## **12. ДОСЛІДЖЕННЯ В ГАЛУЗІ ФІЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА**

Відкриття Е. Резерфордом протона і здійснення перших штучних ядерних реакцій. Відкриття Д. Чедвіком нейтрона. Розщеплення ядра літійу в Українському фізико-технічному інституті (К. Д. Синельников, А. К. Вальтер, О.І. Лейпунський, Г. Д. Латишев). Протонно-нейтронна модель ядра Д.Д. Іваненка. Створення основ квантової механіки (Л. де Бройль, М. Борн, В. Гейзенберг, В. Паулі, П. Дірак, Е. Шредінгер). Формулювання квантових статистик Фермі –Дірака і Бозе – Ейнштейна. Дальший розвиток квантової фізики радянськими

теоретиками (М. М. Боголюбов, Л. Д. Ландау, І. Є. Тамм, В. О. Фок, Я.І. Френкель, І. М. Франк).

Величезні відкриття кінця ХІХ - початку ХХ ст. (рентгенівське проміння, радіоактивність, електрон, кванти тощо) привернули основну увагу фізики до вивчення структури атома і процесів мікросвіту. Висунута Е. Резерфордом ядерна модель атома, сформульована Н. Бором теорія будови атома, що органічно об'єднала квантову теорію і модель атома Резерфорда, нарешті, виконані Е. Резерфордом перші перетворення атомів нерадіоактивного елемента (азоту) під впливом бомбардування  $\alpha$ -частинками у атоми другого елемента (кисню), що привели Е. Резерфорда до відкриття другої елементарної частинки – протона (1919), значною мірою обумовили головний напрям діяльності фізиків.

За ініціативою Д. С. Рождественського і під його керівництвом при Державному оптичному інституті була створена атомна комісія, до якої входили О. М. Теренін (1896–1967), С. Е. Фріш та інші співробітники інституту. Першочерговим завданням комісії було розроблення будови атома і виконання серії експериментальних робіт з атомної й молекулярної спектроскопії. В спектроскопічній лабораторії Д. С. Рождественського за допомогою розробленого ним нового методу кількісного визначення аномальної дисперсії, так званого «методу крюків», були зроблені в цей період широкі дослідження аномальної дисперсії в парах різних металів, зокрема хрому, що дало важливі відомості про інтенсивність спектральних ліній і стало значним внеском у теорію спектрів атомів, а також пояснило магнітне походження спектральних дублетів і триплетів.

Наступні важливі дослідження в питанні вивчення структурної будови атома і дослідження елементарних частинок були проведені Д.В. Скобельциним у Ленінградському Радієвому інституті. Помістивши в сильне магнітне поле камеру Вільсона, Д.В.Скобельцин в 1927–1929 рр. дослідив взаємодію  $\gamma$ -променів радію з речовиною. Він експериментально підтвердив правильність гіпотези про квантову природу явища, відкритого американським фізиком А. Комптоном (1892–1962), і поклав початок використанню ефекту Комптона для вивчення спектрів  $\gamma$ -променів. Разом з цим за допомогою камери Вільсона він виявив сліди частинок космічних променів і показав, що відносно іонізації вони не відрізняються від швидких електронів радіоактивних випромінювань, хоча мають значно більшу енергію – порядку сотень мільйонів електрон-вольт. Одночасно він відкрив

явище, яке дістало назву зливи космічних променів. Ці роботи Д. В. Скобельцина по суті були першими дослідженнями, що поклали початок фізиці високих енергій. Після цього була виконана ціла серія робіт за допомогою методу, відкритого Д. В. Скобельциним, по дослідженню властивостей космічних частинок. Найважливішими з них були роботи американського фізика К. Андерсона, англійського фізика П. Блекетта та італійського вченого Оккіаліні, які привели в 1932–1933 рр. до відкриття позитронів і злив космічних променів.

Значне місце в збільшенні арсеналу засобів спостереження і вивчення ядерних процесів мав метод, розроблений у 20-х роках Л. В. Мисовським і А.П. Ждановим, який увійшов в науку під назвою методу товстошарових фотопластинок. Цей метод дав змогу його авторам одержати перші фотографії повного розщеплення атомів на елементарні частинки під дією космічних променів (так звані «зірки»). Цими експериментами був ще раз підтверджений факт, що ядро атомів має складну структуру. До початку 30-х років в науці панувала гіпотеза про те, що ядро складається з протонів і електронів, що в атомному ядрі повинно бути  $A$  протонів і  $A-Z$  електронів. Ця модель пояснила факт пропорційності атомної ваги елемента масовому числу  $A$  і заряду ядра – порядковому номеру  $Z$ .

Поряд з цим, припущення про існування в ядрі електронів наштотувалося на ряд теоретичних труднощів, а експериментальні дані, одержані в цей час, свідчили про невідповідність властивостей ядер властивостям складових компонентів – протона і електрона. Уже в 1928 р. О. М. Теренін і Л. М. Добрецов виконали експериментальні дослідження з атомної спектроскопії, що виявилися безпосередньо зв'язаними з ядерними процесами і привели до відкриття надтонкої структури - ліній натрію. Ця надтонка структура спектральних ліній пояснюється при умові, що ядро атома має і механічний момент  $p_j$  і магнітний момент  $\mu_j$ . Вимірювання магнітних моментів атомних ядер показали, що вони близькі за абсолютною величиною до значень магнітного моменту протона і різко відрізняються від значень магнітного моменту електрона. Разом з тим пояснення надтонкої структури спектрів наявністю обумовлених спіном магнітних моментів ядер привело до поділу ядер на два види. Ядра парного виду, що мають цілий спін, підлягали квантовій статистиці Бозе – Ейнштейна, ядра ж непарного виду, що мають півцілий спін – статистиці Фермі – Дірака. Тому, згідно з протонно-електронною моделлю ядра, ядра, що склалися з парного числа електронів і

протонів мусять підлягати статистиці Бозе – Ейнштейна, а непарного – статистиці Фермі - Дірака. Напередодні 1930 р. було доведено, що ядро азоту підлягає квантовій статистиці Бозе – Ейнштейна, хоч воно відповідно до протонно-електронної моделі будови ядра складається з 21 частинки. Так виникла в науці «азотна катастрофа», яка стала надзвичайно серйозним аргументом проти правильності протонно-електронної моделі ядра. Крім того, визначення спіну ядер також суперечило цій моделі і доводило, що в складі атомного ядра не можуть бути електрони. Разом з цим було показано, що ядро не може складатися тільки з одних протонів, і перед фізиками постало завдання відшукати нові елементарні частинки, які входили б поряд з протонами в ядро.

Першим кроком на цьому шляху були дослідження німецьких вчених В. Боте (1891–1957) і Г. Беккера, які в 1930 р. експериментально виявили, що при опромінюванні берилію, літію та інших легких елементів  $\alpha$ - частинками вони випускають промені з великою проникністю, які спочатку були прийняті за жорсткі  $\gamma$ -промені. В січні 1932 р. французькі фізики Ірен Кюрі (1897– 1956) і Фредерік Жоліо-Кюрі (1900–1958) повідомили про результати своїх досліджень з цим випромінюванням і показали, що воно здатне вибивати з водневомістких речовин протони, надаючи їм великої швидкості. На початку березня 1932 р. вони продемонстрували фотосліди протонів у камері Вільсона, вибиті з парафіну випромінюванням, що випускалось берилієм. Результати дослідів Ірен і Фредеріка Жоліо-Кюрі показали, що припущення Боте – Беккера відносно природи берилієвого випромінювання є неправильні, оскільки жорсткі  $\gamma$ -промені через недостатність власної енергії не могли б вибивати протони, які мають таку велику швидкість. Англійський фізик Д. Чедвік експериментально довів, що фотонна інтерпретація берилієвого випромінювання несумісна з законом збереження енергії і показав, що всі труднощі зникають, якщо припустити, що берилієве випромінювання складається з частинок з масою, яка дорівнює приблизно масі протона, і нульовим зарядом, які він назвав нейтронами. В кінці лютого 1932 р. Д. Чедвік опублікував на сторінках журналу «Nature» своє повідомлення про відкриття нейтрона. Проведена в 1932–1933 рр. подружжям Кюрі серія експериментів не тільки підтвердила справедливність висновків Д. Чедвіка про існування нейтронів, а й на ряді прикладів довела їх здатність вибивати протони з легких елементів.



Відкриття нейтрона дало можливість Д. Д. Іваненку 28 травня 1932 р, виступити на сторінках журналу «Nature» з статтею, в якій він сформулював протонно-нейтронну модель ядра, яка тепер є загальноновизнаною. Зроблене Д. Д. Іваненком в цій статті припущення про те, що нейтрон є поряд з протоном структурним елементом ядра, тим самим знімало з порядку денного проблему азотної катастрофи, оскільки за цією теорією ядро азоту складається з 14 частинок: 7 протонів і 7 нейтронів – і, отже, повністю підлягає статистиці Бозе – Ейнштейна, як це було показано в 1930 р. італійським фізиком Ф. Разетті. В червні 1932 р. з великою статтею в підтримку справедливості протонно-нейтронної моделі ядра, сформульованої Д. Д. Іваненком, виступив німецький фізик В. Гейзенберг. Зауважимо, що цікаві думки з приводу будови ядра були висловлені в 1931 році Є.М. Гапоном (1903–1950). Показавши помилковий погляд на природу нейтральних частинок, які Е. Резерфорд уявляв як беззарядні частинки, Є.М. Гапон знайшов, що за нейтральні частинки можна прийняти такі, які складаються з протонів і електронів.

Початок 30-х років приніс всебічне розгортання наукових досліджень атомного ядра. У Радянському Союзі в цей період виконуються великі серії експериментальних робіт в Українському фізико-технічному інституті, в Ленінградському фізико-технічному інституті тощо.

Уже в 1932 р. група співробітників Ленінградського ФТІ, яка переїхала на роботу в УФТІ, - К. Д. Синельников (1901–1966), А. К. Вальтер (1905–1965), О. І. Лейпунський (1903 – 1972), Г. Д. Латишев (1907–1973) – за допомогою сконструйованого ними в УФТІ прискорювача протонів на 250 кВ здійснили 10 жовтня того ж року першу в нашій країні і другу в світі (вперше ядро літію було розщеплене в кінці квітня 1932 р. співробітниками Кавендишської лабораторії, очолюваної Е. Резерфордом, Д. Кокрофтом і Е. Уолтоном) штучну ядерну реакцію, викликану прискореними частинками. Піддаючи бомбардуванню прискореними протонами ядра природного літію, який складається з суміші двох ізотопів  ${}^3\text{Li}^7$  і  ${}^3\text{Li}^6$ , вони одержали першу реакцію  ${}^3\text{Li}^7 + {}^1_1\text{p}^1 \rightarrow {}^2_2\text{He}^4 + {}^2_2\text{He}^4$ , тобто наприкінці реакції ядро ізотопу літію  ${}^3\text{Li}^7$ , бомбардоване протоном, перетворилося на два ядра гелію  ${}^2_2\text{He}^4$ . Під час другої реакції  ${}^3\text{Li}^6 + {}^1_1\text{p}^1 \rightarrow {}^2_2\text{He}^4 + {}^2_2\text{He}^3$  теж утворювалося два ядра гелію, але одне з них було ядром звичайного гелію  ${}^2_2\text{He}^4$ , а друге  ${}^2_2\text{He}^3$ . Так було відкрито легкий стабільний ізотоп гелію  ${}^2_2\text{He}^3$ .

Успішне здійснення штучних ядерних реакцій всемірно прискорило широке розгортання досліджень атомного ядра. Після відкриття в 1934 р. подружжям Ірен і Фредеріком Жоліо-Кюрі явища штучної радіоактивності в Ленінградському ФТІ І. В. Курчатовим і його співробітниками Б.В. Курчатовим, Л. В. Мисовським і Л. І. Русиновим була проведена велика серія експериментальних досліджень штучної радіоактивності під дією нейтронів. Зокрема, досліджуючи штучну радіоактивність, що виникла при бомбардуванні нейтронами, вони в 1935 р. встановили, що ізотоп броміду має три періоди піврозпаду при  $\beta$ -випромінюванні:  $T_1=18$  хвилин,  $T_2 = 4$  години і  $T_3 = 36$  годин. Так було відкрито нове фізичне явище-ізомерію штучно радіоактивних ядер, тобто ядер, тотожних за значенням маси і заряду, але відмінних за внутрішньою структурою.

В 1934 р. П. О. Черенков і С. І. Вавилов відкрили своєрідне світіння чистих рідин під дією  $\gamma$ -променів, яке дістало назву ефекту Вавилова – Черенкова. Це нове явище відмінне від будь-яких видів люмінесценції, в якому світіння викликається не безпосередньо самими  $\gamma$ -променями, а вільними електронами, що мають великі швидкості і виникають при проходженні  $\gamma$ -променів через досліджувану речовину, знайшло своє повне теоретичне обґрунтування в роботах І. Є. Тамма і І. М. Франка в 1937 р. Пізніше ефект Вавилова – Черенкова почав широко використовуватися і, зокрема, з успіхом використовується у фізиці високих енергій, як один з основних методів детектування й аналізу властивостей швидких елементарних частинок.

У тому ж 1934 р. були знайдені і перші спроби вирішення проблеми взаємодії протона і нейтрона в ядрі. Д. Д. Іваненко і І. Є. Тамм (1895–1971) сформулювали ідеї про обмінний характер ядерних сил, які й сьогодні є керівними в цьому надзвичайно складному питанні.

У 1937 р. в УФТІ було створено електростатичний генератор на 2,5 Мев, що працював при атмосферному тиску. Цей прискорювач, поряд з першим у Європі циклотроном, збудованим в Ленінграді в Радієвому інституті в 1936 р. Л. В. Мисовським і його співробітниками, був основною установкою експериментальних досліджень ядра у Радянському Союзі у довоєнні роки. Зокрема, на прискорювачі було виконано цілий ряд експериментальних досліджень взаємодії швидких електронів з речовиною. Зауважимо, що перша установка циклічного прискорювача елементарних частинок

була створена в 1930 р. Е. Лоуренсом (1901 – 1960) і М.Е. Едлефсеном в Каліфорнійському університеті. Ця перша модель мала в діаметрі всього 10 см і була зібрана з скла і сургучу. Металева модель таких же розмірів була побудована Лоуренсом і М. С. Лівінгстоном і могла прискорювати іони водню до енергії 80 000 еВ. В 1932 р. Лоуренс побудував циклотрон діаметром 28 см, де іони водню прискорювалися до енергії 1,25 Мев.

Важливо підкреслити, що паралельно з цими роботами ще в 1934 р. в лабораторії стабільних ізотопів Дніпропетровського інституту фізичної хімії О. І. Бродський (1895–1969) за допомогою електролізу води одержав важку воду. Це відкривало нові можливості для широкого проведення ядерних досліджень, оскільки виявилось, що важка вода є одним з найкращих сповільнювачів нейтронів.

Відкриття нейтрона і широке вивчення його взаємодії з речовинами привело до одного з найбільших досягнень ядерної фізики. Займаючись пошуками нових трансуранових елементів за допомогою бомбардування нейтронами двох найважчих на той час елементів – торію і урану, в самому кінці 1938 р. німецькі фізики О. Ган (1879– 1968) і Ф. Штрасман довели можливість поділу ядра урану на дві частини, який супроводиться виділенням величезних запасів енергії. На початку березня 1939 р. Фредерік Жоліо-Кюрі з співробітниками, а потім й італійський фізик Е. Фермі (1901 –1954) експериментально встановили факт виділення вторинних нейтронів при поділі ядер урану. Уже через місяць, 10 квітня того ж року, про аналогічні експериментальні роботи, виконані разом з Л. І. Русиновим по визначенню числа «ню», доповів на семінарі І. В. Курчатова в Ленінградському ФТІ Г. М. Фльоров. Останній факт незабаром було експериментально перевірено в лабораторіях багатьох країн, і цим самим відкривалася можливість для здійснення ланцюгової ядерної реакції.

Наприкінці травня 1940 р. І. В. Курчатова повідомив на зборах Відділення фізико-математичних наук АН СРСР про експериментальне відкриття його співробітниками Г. М. Фльоровим і К. А. Петржаком нового фізичного явища - самодовільного (спонтанного) поділу ядер урану. У цьому ж році Я. Б. Зельдович і Ю.Б. Харитон теоретично розрахували можливість здійснення ланцюгової реакції поділу і разом з французьким фізиком Ф.Перреном заклали основи теорії ланцюгової ядерної реакції. На 5-й Всесоюзній конференції з фізики ядра (листопад, 1940) І. В. Курчатова провів

грунтовний аналіз різних способів одержання ланцюгової ядерної реакції і накреслив плани її реалізації.

Протягом 1943 р. під керівництвом І. В. Курчатова видатні фізики - теоретики і експериментатори розробили повністю теорію атомного реактора і приступили до вивчення умов виникнення ланцюгових ядерних реакцій в системах з урану і графіту. Тривалі максимально напружені дослідження вчених увінчалися успіхом. 25 грудня 1946 р. І.В. Курчатов разом з найближчими співробітниками І. С. Панасюком, Б.Г. Дубовським, Є.М. Бабулевичем і О. К. Кондратьєвим запустили перший радянський експериментальний уран - графітовий реактор (Перший уран-графітовий котел або ядерний реактор був сконструйований італійським фізиком Е. Фермі і запущений ним та його співробітниками 2-го грудня 1942 р. в Чикагському університеті (США)). З цього часу з атомної науки почала зароджуватися могутня атомна промисловість.

У червні 1954 р. в СРСР була побудована в Фізико-енергетичному інституті перша в світі атомна електростанція. Першою великою промисловою атомною електростанцією СРСР була Сибірська атомна електростанція потужністю 600 Мвт, перший блок якої запущений в 1958 р. 26 квітня 1964 р. в систему «Ураленерго» була під'єднана Білоярська атомна електростанція ім. І.В. Курчатова, а в вересні того ж року стала до ладу Нововоронежська атомна електростанція. Нині атомні електростанції є одним з основних джерел електричної енергії.

В об'єднаному інституті ядерних досліджень (створеному в 1956 р.) в 1957 р. був запущений найбільший на той час синхрофазотрон потужністю в 10 Гев, сконструйований під керівництвом В. Й. Векслера (1907–1966) на основі відкритого ним в 1944 р. принципу автофазування прискорених частинок.

Поряд з цими досягненнями в галузі експериментальних досліджень атомних і ядерних процесів фізики високих енергій, які проводяться в Об'єднаному інституті ядерних досліджень, Фізико-енергетичному інституті, Інституті атомної енергії ім. І. В. Курчатова, Інституті ядерної фізики Сибірського відділення АН СРСР, Інституті фізики високих енергій, Харківському ФТІ АН УРСР, Інституті ядерних досліджень АН УРСР і інших науково-дослідних закладах, швидкого розвитку набула і теоретична, особливо теоретична ядерна фізика. Так, уже в травні 1929 р. і в травні 1934 р. в Харкові були

проведені дві перші Всесоюзні теоретичні конференції, на яких особлива увага приділялась проблемам атомної і ядерної фізики. З доповідями на другій конференції, поряд з Л. Д. Ландау (1908–1968), Я. І. Френкелем, В. О. Фоком, І. Є. Таммом, виступили Н. Бор, В. Гейзенберг, К. Гордон, В. Вайскопф, М. Плессет та інші видатні західноєвропейські вчені.

В наступні роки утворилося кілька великих теоретичних шкіл, дослідження яких вивели теоретичну фізику на передній край науки. Серед них назвемо школу М. М. Боголюбова, в якій плідно працювали В. Л. Бонч-Бруєвич, В. С. Владимиров, А. О. Логунов, Б. В. Медведєв, О. С. Парасюк, М. К. Поліванов, А. Н. Тавхелідзе, С. В. Тябликов, В. П. Шелест, Д. В. Ширков та інші, школу Л. Д. Ландау, в яку входили О. І. Ахієзер, В. Б. Берестецький, Л. П. Горьков, І. Є. Дзялошинський, Є. М. Ліфшиць, І. М. Ліфшиць, І. Я. Померанчук, І. М. Халатніков та інші, школу І. Є. Тамма – С. А. Альтшулер, Д. І. Блохінцев, С. В. Вонсовський, В. Л. Гінзбург, О. С. Давидов, С. І. Пекар, В. С. Фурсов та інші. Радянські фізики-теоретики, серед яких було чимало українців, провели важливі дослідження в галузі фізики атомного ядра і природи ядерних реакцій, в галузі квантової електродинаміки і теорії поля, в галузі фізики твердого тіла і фізики плазми, в галузі фізики елементарних частинок тощо. Вони розробили наближені методи розв'язання рівняння Шредінгера, виконали важливі праці в застосуванні методів квантової механіки до найрізноманітніших часткових фізичних проблем.

У 20-х роках були зроблені видатні відкриття в галузі теоретичної фізики: народилася квантова механіка і квантова статистика, сформульовано принцип виключення і запроваджено поняття спіну. Так, у 1923 р., працюючи над створенням єдиної теорії світла, французький фізик Луї де Бройль опублікував у «Доповідах Паризької Академії наук» три статті: «Хвилі і кванти», «Кванти світла, дифракція та інтерференція», «Кванти, кінетична теорія газів і принцип Фермі», в яких вперше висловив нову ідею про хвилі матерії і поклав початок хвильової механіки, а в останній статті де Бройль почав розробляти статистику газів та світлових квантів і на основі уявлення про хвилі матерії вивів формулу Планка для світлових квантів.

На початку липня 1924 р. індійський фізик Ш. Бозе виступив з статтею «Закон Планка і гіпотеза світлових квантів», в якій висловив передбачення, що в статистиці світлових квантів два стани системи

частинок потрібно вважати тотожними, якщо вони відрізняються тільки перестановкою однакових частинок у фазовому просторі. Бозе показав, що коли, виходячи з цього положення, застосувати статистику до світлових квантів, то можна вивести формулу Планка. Розвиваючи ці ідеї Бозе, А. Ейнштейн протягом 1924–1925 рр. опублікував ряд статей, в яких застосував ці ідеї до ідеального одноатомного газу і цим самим поклав початок розвитку однієї з квантових статистик -- так званої статистики Бозе–Ейнштейна.

Друга квантова статистика – статистика Фермі – Дірака – виникла після того, як був сформульований на початку 1925 р. швейцарським фізиком В. Паулі (1900– 1958) один з важливих принципів сучасної теоретичної фізики – принцип виключення, або принцип Паулі.

Принцип Паулі сприяв висуненню гіпотези спіну, що було здійснено влітку 1925 р. фізиками-теоретиками Дж. Уенблеком і С. Гаудсмітом під час свого стажування у П.Еренфеста (1880–1933) в Лейденському університеті. Цей же принцип разом з відкриттям спіну став фундаментом нової квантової статистики для частинок, що мають половинний спін, яку сформулював на початку 1926 р. Е. Фермі в статті «Про квантування ідеального газу» І.П. Дірак у доповіді Лондонському Королівському товариству влітку 1926 р. Ця статистика увійшла в науку під назвою квантової статистики Фермі - Дірака.

До початку 30-х років завдяки працям де Бройля, М. Борна (1882–1970), Н. Бора, В. Гейзенберга, В. Паулі і особливо П. Дірака та Е. Шредінгера (1887–1960) були встановлені основи квантової механіки. Шредінгер протягом 1926 р. опублікував кілька статей, які видав у 1927 р. окремою книжкою під загальною назвою «Статті з хвильової механіки», де, розвиваючи ідеї де Бройля, застосував до ряду фізичних явищ теорію, що дістала назву нерелятивістської хвильової механіки. В цій праці він сформулював знамените рівняння Шредінгера і побудував на його основі строгий метод розгляду задач квантування. Вперше рівняння, що стосується релятивістських частинок, було знайдено в 1928 р. П. Діраком. З теорії Дірака автоматично випливає гіпотеза про існування спіна тощо. Ця теорія гармонічно поєднувала теорію відносності, кванти і спін і вперше передбачила існування позитрона.

Квантова механіка розв'язала ряд фундаментальних проблем теорії атомів і молекул, фізики твердого тіла. Тепер вона перетворилася в могутню теоретичну систему сучасної фізики.

Вагомий вклад в її розвиток здійснили радянські фізики-теоретики. Після робіт П. Дірака наступний істотний крок у розвитку квантової електродинаміки зробили Л. Д. Ландау і Є. М. Ліфшиць. Вони розв'язали важливу проблему про можливість утворення електронно-позитронних пар при зіткненні важких частинок і визначили період цього процесу. О. І. Ахієзер і І. Я. Померанчук (1913–1966) дослідили ефекти, що підтвердили існування електронно-позитронного поля, а В. Б. Берестецький і І. Я. Померанчук - перетворення електронно-позитронної пари в мюонну пару. Ґрунтовні дослідження, в яких розв'язувалися загальні проблеми квантової фізики, зокрема вивчалася поведінка квантової частинки при наявності в просторі потенціального бар'єру, були виконані Л.І. Мандельштамом (1879–1944) і М. О. Леонтовичем. Цими дослідженнями закладено основи теорії «тунельних переходів», явища, що відіграє важливу роль в атомних і ядерних процесах.

Наступні дослідження радянських теоретиків були спрямовані на розвиток квантової теорії поля, де І. Є. Тамм розробив нові методи розв'язання рівнянь квантової мезодинаміки, а М. М. Боголюбов разом з співробітниками одержав ряд фундаментальних результатів у галузі загальної квантової теорії поля. Зокрема, М. М. Боголюбов строго математично обґрунтував віднімальну процедуру квантової теорії поля, розв'язав проблему регуляризації розбіжних інтегралів квантової теорії поля, завершив теорію спеціальних узагальнених функцій квантової теорії поля, розробив аксіоматичний спосіб побудови матриці розсіяння і обґрунтував на ньому чітке пояснення процедури перенормувань в теорії збурень, дав завершене доведення дисперсійних співвідношень і т. д.

Важливе значення в розвитку уявлень про будову ядра мала запропонована в кінці 30-х років Я. І. Френкелем (1894–1952) електроракпельна модель ядра, на основі якої Л. Д. Ландау дослідив ряд властивостей ядра. На початку 40-х років ґрунтовні дослідження розсіяння і сповільнення нейтронів ядрами, пружного розсіяння ядрами швидких заряджених частинок виконали О. І. Ахієзер і І. Я. Померанчук. В пояснення багатьох теоретичних положень будови ядра значний внесок зробив О.С.Давидов, який разом з Г. Ф.Філіповим у 1958 р. запропонував і розвинув теорію колективних збуджень станів несферичних атомних ядер, що згодом дістала назву теорії неаксіальних ядер і була експериментально підтверджена в багатьох радянських і зарубіжних лабораторіях. Починаючи з 50-х років за

ініціативою І.В. Курчатова широко розгорнулися дослідження однієї з найважливіших проблем сучасної науки – фізики плазми і керованих термоядерних реакцій.

Можна напевно стверджувати, що першим дослідженням в цьому напрямі була робота Л. Д. Ландау «Кінетичне рівняння у випадку кулонівської взаємодії» (1936), в якій він, виходячи з того, що при кулонівській взаємодії істотну роль відіграють зіткнення на великих відстанях і що ці зіткнення супроводжуються малою зміною швидкості, вивів кінетичне рівняння, яке надалі відіграло значну роль у побудові теорії релаксаційних процесів у плазмі. Важливі результати з кінетичної теорії одержав в 1946 р. М. М. Боголюбов, який розробив метод побудови кінетичних рівнянь механіки, що має тепер широке застосування в теорії фізики плазми і особливо при дослідженні її кінетичних властивостей. Зауважимо, що ще в 1938 р. теоретичним дослідженням А. О. Власова був закладений фундамент для опису колективних процесів у плазмі на основі запропонованого ним кінетичного рівняння з самоузгодженим полем.

В 1950 р. І. Є. Тамм та його співробітники теоретично обґрунтували спосіб магнітної термоізоляції плазми для одержання керованих термоядерних реакцій. Невдовзі під керівництвом Л. А. Арцимовича і М.О. Леонтовича були розпочаті експериментальні й теоретичні дослідження в галузі фізики плазми, і вже в перших експериментах була досягнута висока температура і тим самим стверджено принцип магнітної термоізоляції. Роботи по вивченню процесу керованого термоядерного синтезу проводяться в багатьох напрямках: досліджуються властивості плазми у відкритих магнітних уловлювачах, в тороїдальних системах з сильними магнітними полями, вишуковуються нові способи нагрівання плазми турбулентним, циклотронним та іншими методами. Ці дослідження проводилися в Інституті атомної енергії ім. І. В. Курчатова, в Ленінградському і Сухумському ФТІ, в Інституті ядерної фізики Сибірського відділення АН СРСР, в Фізико-технічному інституті АН УРСР і в багатьох інших наукових закладах. Для виконання досліджень були створені оригінальні установки, такі як «Огра-І», «Огра-ІІ», «Сніг», «Вихор», ПР-5 та ін. Зокрема, на установці ПР-5 в Інституті атомної енергії ім. І. В. Курчатова в 1962 р. була одержана плазма з температурою порядку  $4 \cdot 10^7$  °C і густиною частинок  $10^{10}$  см<sup>-3</sup>, з часом життя протягом сотих часток секунди. В Сибірському інституті ядерної фізики під керівництвом Г. І. Будкера була нагріта



дейтерієва плазма до температури понад  $10^8$  °С, а нейтронне випромінювання, що спостерігалось при цьому, свідчило про проходження термоядерних реакцій, хоч і в надто малих масштабах. Фундаментальні дослідження в створенні високотемпературної плазми, в збільшенні її температури, підвищенні концентрацій, продовженні її життя виконав в Інституті атомної енергії ім. І.В. Курчатова Л. А. Арцимович (1909–1973) з співробітниками на установках типу «Токамак». За допомогою цієї установки була одержана температура плазми  $7 \cdot 10^6$  °С, її густина  $4 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>, час життя – 0,05 с.

Значний вклад у дослідження фізики плазми зробили вчені Харківського ФТІ АН УРСР, де ці роботи були розпочаті з середини 50-х років під керівництвом К. Д. Синельникова. Теоретики цього інституту О.І. Ахієзер, О. Г. Ситенко, Я. Б. Файнберг та інші розробили теорію коливань плазми в магнітному полі, з'ясували характер поширення хвиль в плазмі, її кінетичну стійкість і механізм взаємодії заряджених частинок з плазмою, передбачили пучкову нестійкість плазми. Одночасно співробітниками інституту були проведені важливі експериментальні дослідження властивостей плазми. Важлива роль у виконанні програми цих досліджень належить вивченню затримання гарячої плазми у замкнених магнітних уловлювачах – стелараторах. Початок цих робіт у ФТІ АН УРСР пов'язаний з ім'ям І. В. Курчатова. Завдяки його ініціативі в Харкові були розпочаті широкі дослідження за стелараторною програмою. На першій установці стелараторного типу «Сіріус», яка відіграла важливу роль в спорудженні нових стелараторів, була одержана температура електронів  $10^8$  градусів. Про високий рівень цих праць свідчив виступ на III Міжнародній конференції з цих проблем (серпень, 1968) в Новосибірську В. Т. Толока, який повідомив про запуск в грудні 1967 р. великого стеларатора «Ураган» з найбільш досконалою магнітною системою, що набагато перевищує всі сучасні зарубіжні установки і втілює в собі найновіші способи нагрівання плазми: високочастотні, інжекцію швидких плазмових потоків з одночасним омічним нагрівом.

Дослідники з Національної лабораторії Лоуренса в Каліфорнії заявили 13 грудня 2022р, що провели термоядерну реакцію, яка дала більше енергії, ніж було використано для її запуску. Проведений експеримент ознаменував собою найбільший прорив у галузі.

### 13. ФІЗИКА У ХХІ СТОЛІТТІ

Зміни, що відбуваються в розвитку людства, вражають. Буквально на очах одного-двох поколінь технічний і навіть побутовий ландшафт нашого буття змінився кардинально, що цілком спирається на відкриття в науці. Усі цивілізаційні завоювання людства зобов'язані науці і у ХХІ ст. наука нам потрібна як ніколи раніше. Будь-яка молода людина або школяр може дізнатися з газет, телебачення, але, насамперед, від своїх дідів чи бабусь (які, не виключено, народилися, коли ще не було ні польотів у космічний простір, ні кольорового, а тим більше цифрового телебачення, ні мобільного зв'язку, ні багато-багато чого ще), як було і як є тепер. А якщо порівнювати розвиток вже самої науки як окремої галузі впродовж її історії, що по суті налічує не більше 300-400 років, то стає очевидним, що він лише прискорюється. Особливо помітним це прискорення стало у другій половині минулого століття, і немає жодних сумнівів, що в найближчому майбутньому воно, як мінімум, не загальмується. При цьому гігантськими кроками йде накопичення і необхідність обробки величезних обсягів різноманітної інформації, тому важко хоча б приблизно відповісти на питання: а що ж нас чекає в ХХІ столітті?

На нього важко відповісти і в тому випадку, якщо мова йде лише про одну із наук. Проаналізуємо перспективи розвитку фізики. Якщо ж порівнювати роль тієї чи іншої природничої науки, то досить легко переконатися, що провідне місце серед них, безумовно, посідає фізика. Такий висновок випливає з того, що вона серед усіх природничих наук найбільш *фундаментальна*, або така, що вивчає найглибші та найзагальніші закони природи. Відкриті нею (або, точніше сказати, фізиками) закономірності лежать в основі і хімічних, і біологічних, і геологічних, і космологічних процесів.

Почнемо з минулого і фрагментарно простежимо, якою була і до чого призвела фізика попереднього, ХХ століття. Найчастіше сьгоднішні студенти знають про нього, як про століття революцій, світових воєн і соціальних потрясінь. Але в той же час країни не тільки воювали одна з одною за території і природні ресурси, а люди в них відстоювали свої соціальні права. Неперервні пошуки йшли і в наукових (перш за все, *університетських*) лабораторіях, де попри війни, революції та світові кризи порівняно невеликі групи ентузіастів самовіддано виконували обрану ними для себе, але конче потрібну

всім справу – пізнання тайн і дослідження властивостей оточуючої матерії – від мікро- до макросвіту. Пізніше все це і склало предмет *фізичного* наукового підходу. Це дозволяє стверджувати, що минуле століття можна і треба називати *століттям фізики*. Саме її розвитком обумовлений неймовірний техніко-технологічний поступ людства та його найбільш відомі наукові, технічні та інженерні досягнення (серед яких, якщо чесно, не всі з позначкою “плюс”, коли пригадати хоча б зброю масового знищення). І важливо усвідомлювати, що небачені можливості суспільства значною мірою зобов’язані відкриттям у галузі знань, яка, стрімко і непередбачено розвиваючись, одночасно залишається й однією з найдавніших, оскільки генії античного природознавства Арістотель, Архімед, Демокріт та інші відділені від нас більш ніж двома тисячоліттями. Коли ж повернутися до фізики ХХ сторіччя, то її основним досягненням стало торжество ідеї *квантів* і побудова *квантової теорії*.

Здогадка про кванти не була вигадкою геніального розуму, а, як і переважна більшість інших глибоких ідей, визріла на тлі експерименту і незаперечних фактів. Зокрема, з’ясувалося, що кванти складають основний елемент гіпотези, що веде до кінцевого успіху в розумінні певного питання. Трошки детальніше нагадаємо, що вони були залучені для пояснення спектру випромінювання абсолютно чорного тіла.

Першим, кому вдалося зробити принциповий крок, став, як відомо навіть школярам, видатний німецький фізик-теоретик М.Планк. У нестримному бажанні встановити ключові закономірності випромінювання абсолютно чорного тіла, він вимушено прийняв гіпотезу про «порційність» енергії елементарних випромінювачів, спектр яких у класичній фізиці завжди розглядався як неперервний. Дослідник же виявив наукову сміливість і припустив абсолютно протилежне. Шляхом запровадження нової фундаментальної сталої – тепер загальновідомої сталої Планка – йому вдалося досягти ідеального узгодження розвинутої теорії з експериментальною картиною. День 14 грудня 1900 року, коли М.Планк оприлюднив перед членами Німецького фізичного товариства свою теорію випромінювання, вважається днем народження квантової теорії.

Досить скоро, щоб описати фотоефект, ідею квантів підхопив і розвинув А. Ейнштейн. Згодом датчанин Н.Бор, німець В.Гейзенберг, француз Л. де Бройль, австрієць Е. Шредінгер, швейцарець В. Паулі, англієць П. Дірак та інші довели її до логічного завершення, зробивши

квантову теорію цілісним і по суті єдиним робочим інструментом для обчислення будь-яких вимірюваних даних мікросвіту. Сказане яскраво демонструє, наскільки потужний інтелектуальний «інтернаціонал» долучився до розв'язання актуальних проблем фізичної науки, яка фактично вже в позаминулому столітті перестала відчувати границі держав, націй і народів. Мають бути і майже завжди є національними культура і мистецтво, не кажучи вже про мову, а от фізика, як би до цього не ставитись, є об'єктивним і з самого початку загальносвітовим витвором. Тому не буде перебільшенням заявити, що глобалізація, що охопила й інші континенти, почалася в природничих науках задовго до того, як її усвідомили мислителі, філософи, газетярі.

Розповідаючи про фізику ХХ сторіччя, не можна обійти вищезгадану її роль у розвитку техніки та найпередовіших технологій. Проте це далеко не головне або, чесно кажучи, не вся правда. Не менш, і навіть більш важливим є те, що закони фізики, включаючи загальні закони про будову простору-часу, заклали основи послідовного і передбачуваного розуміння законів хімії, геології, механіки, матеріалознавства тощо. З іншого боку, фізика є світоглядною наукою і в перспективі має стати – в це вірять навіть затяті біологи – вирішальною ланкою в проникненні у не до кінця зрозумілі і поки що не формалізовані закони *живої матерії*.

Звичайно, фізики впевнені, що фізика і далі буде головною силою науково-технічного прогресу. І якщо квантова теорія – фундамент фізики – дійсно є вершиною сучасного пізнання, то, щоб уявити або спрогнозувати, яким шляхом вона розвиватиметься у майбутньому, треба визначити, які події у фізиці найбільше вплинули на хід ХХ століття. Зрозуміло, що у різних фахівців свій «гамбурзький рахунок»(тобто «чиста правда, без будь-якого обману»), тому такі переліки можуть досить суттєво різнитися. Але дотримуючись думки видатних фізиків сучасності – єдиного двічі лауреата Нобелівської премії за відкриття в галузі фізики американського теоретика Дж. Бардіна і Нобелівського лауреата російського експериментатора Ж.І. Алфьорова. Вони серед багатьох можливих виділили три визначальні події.

**Перша** – це відкриття у 1938 році *штучного ділення ядер*, зроблене німецьким хіміком О. Ганом, який вимірював особливості розсіяння нейтронів на урані. З отриманих, що стали вкрай важливими, даних розпаду уранових ядер дослідникам швидко стала зрозумілою принципова можливість ядерних *вибухових* процесів, які,

будучи надпотужними, у некерованому режимі лягли в основу створеної незабаром ядерної зброї, а у керованому – визначають корисну роботу ядерної техніки, найбільш відомим пересічним громадянам творінням якої є атомні електростанції. Наявність ядерної зброї або ядерної енергетики є тепер одним із найголовніших чинників, за якими можна оцінювати військовий або промисловий потенціал тієї чи іншої держави.

Не варто залишати поза увагою і такі науково-історичні факти, що перша у світі атомна бомба була підірвана американцями влітку 1945 року, а перша працююча атомна станція була збудована в Радянському Союзі у 1955 році. Досить швидко атомної зброї стало так багато, що це стало загрозою миру, тому різні країни з її надлишком дійшли висновку про обмеження проектування і виробництва нових атомних виробів військового спрямування. Що стосується атомних станцій, то, навпаки, вони стали широко використовуватися в електроенергетиці і тут спостерігається постійне зростання їх кількості. Зараз є країни, зокрема Україна, де ядерна складова у виробництві електроенергії досягла або перебільшує тепло- і гідроелектричну складові, а тим більше внесок від альтернативної енергетики (приміром, вітрової або сонячної).

Проте після чорнобильської катастрофи (причини якої остаточно, між іншим, так і не оприлюднені), подій у Японії ставлення нашої громадськості до ядерного способу видобування електричної енергії, який загрожує екологічними потрясіннями, достатньо складне і несприятливе. Тим не менш, абсолютна більшість (у тому числі, вітчизняних) фізиків-ядерників і енергетиків не сумніваються, що в найближчій перспективі людству не вдасться відійти від інтенсивного розвитку цієї галузі, оскільки традиційні та найширше використовувані джерела енергії – вугілля, нафта і газ – у цілому, хоча і по-різному в часі, обмежені. З цього однозначно випливає, що ядерна фізика і ядерна техніка мають залишатися серед пріоритетів наукової галузі, якщо люди збираються збільшувати споживання енергії. А на це вказують і історія, і сьогодення, і наявні тенденції розвитку всіх сфер життєдіяльності людства. Тому роль університетів, де готуються фахівці відповідного профілю, тільки зростатиме.

Що ж до *термоядерного способу* виробництва енергії, або, як кажуть популяризатори і фантасти, створення штучного Сонця на Землі, то ця проблема в повному обсязі ще не розв'язана і навіть приблизно назвати термін, за який це станеться, не наважується ніхто.

Попри наукові та прикладні успіхи в цьому напрямі, в якому, Україна посідає одне з чільних місць, спеціалісти з різних країн, будучи впевненими у принциповій здійсненності штучного, або *керованого*, термоядерного синтезу у промислових масштабах, тим не менш вважають, що запуск економічно вигідного термоядерного реактора відбудеться не раніше середини ХХІ сторіччя. Тому і з цієї причини можна припустити, що на «звичайний» ядерний спосіб отримання енергії залишається ще досить багато часу.

Здійснюються інтенсивні пошуки й інших варіантів. Так, не виключено, що будуть створені матеріали, завдяки яким відкриється шлях до дешевого використання самої сонячної енергії, хоча зараз жоден серйозний фахівець також не стане прогнозувати, коли і як фізики і хіміки впораються з складною матеріалознавчою проблемою накопичення енергії Сонця, яка безперервно і в значних кількостях поступає на Землю, до того ж економічно прийняттого рівня. З огляду на такий стан проблеми утилізації і перетворення сонячної енергії в електричну знову можна із впевненістю передбачати, що фундаментальні ядерні дослідження в аспекті подальшого вдосконалення і збільшення безпеки виробництва електроенергії залишатимуться одними з найактуальніших упродовж, як мінімум, першої половини ХХІ століття, а може й далі. Тому фізики, технологи й інженери приділятимуть цим проблемам першорядну увагу. Важливим обіцяє бути й медичне застосування ядерних процесів на потребу людям, оскільки складає один з ефективних засобів боротьби з багатьма невиліковними хворобами.

**Друга** з трьох найважливіших фізичних подій століття відбулася у грудні 1947 року, коли американські фахівці, що вели дослідження в одній з лабораторій фірми Bell, Дж.Бардін, У.Браттейн і У.Шоклі відкрили транзисторний ефект. Справа в тому, що на той час значного розвитку зазнали радіотехніка і радіолокація, де на зміну ламповим підсилювачам прийшли кристалічні, основою яких служили напівпровідникові середовища. Цікаво, що метою дослідників, які вивчали можливості застосування цих кристалів, була фундаментальна перевірка працездатності квантової теорії в твердих тілах, у першу чергу – напівпровідниках. Проте, як розпорядилася історія, основним результатом роботи групи стало дещо інше: винахід германієвого підсилювача, або точкового транзистора. А після того, як експериментально було доведено, що головним при цьому є *інжекція*, або вприскування, носіїв до германію, фізики здогадались, який

принцип треба покласти в основу створення напівпровідникової техніки. Власне, так і сталося, і явище інжекції визначає роботу переважної більшості напівпровідникових, включаючи обчислювальні, приладів, де використовуються *p-n*-переходи. Між іншим, на ньому «зросла» і вся сучасна побутова техніка.

Корисно також знати, що перша інтегральна схема – два транзистори, декілька конденсаторів і опір – була зібрана вручну на одному кристалі діаметром близько 2 см у 1959 році. Тепер же в сучасних інтегральних схемах того ж розміру розташовується до 100 мільйонів транзисторів і вони набагато економніші – питома потужність кожного зменшена приблизно в 100 тисяч разів! Такі неочікувані зміни відбулися всього за 40-50 років, коли основними лозунгами прогресу були і, значною мірою, ще зберігаються такі: менше, швидше, дешевше. Мікроелектроніка і інформаційна техніка, без яких неможливо уявити наше теперішнє життя стали не лише найбільш яскравими виразниками науково-технічного прогресу, а ще й галузями промисловості, де зайнято до 50% працездатного населення технологічно розвинутих країн. Проте проторований шлях поступового зменшення розмірів до мікронів та поліпшення роботи транзисторів себе вже по суті вичерпує, і на шляху проникнення в галузь справжніх нанорозмірів стоїть питання про принципово нові фізичні принципи, технології та елементну базу. Якщо таке дійсно станеться, то це насправді буде електроніка нового покоління, а фактично – *квантова наноелектроніка*. Можливо, її прообразом стане *молекулярна електроніка*, де активними робочими елементами мають виступати окремі молекули. Вона знаходиться ще на етапі пошукових досліджень, інтенсивно розвивається, вже має певні досягнення.

Нарешті, **третьою** і ще однією вирішальною фізичною подією ХХ століття стало створення *лазера*.

Підкреслимо, що мова йде лише про найвидатніші події саме у **фізиці**. Бо якщо б спитати про три найбільші наукових відкриття ХХ століття, то вибір був би дещо іншим: це створення *квантової механіки*, а крім цього – розкриття *генетичного коду* та винахід *комп'ютерів* (насамперед, персональних). Але аналіз цих відкриттів - це тема іншої розмови. Можна тільки пишатися, що фізика і фізики тут теж були на провідних ролях, оскільки квантова механіка є розділом фізики, генетичний код розгадав фізик-теоретик (між іншим, одесит за народженням і дитинством) Г. Гамов, а обчислювальну техніку неможливо уявити без фізичного матеріалознавства.

Що ж стосується історії лазера, то вона є цікавою і повчальною. Все розпочалося у 1917 році, коли А.Ейнштейн, який, маючи на увазі пояснити розподіл густини випромінювання нагрітими тілами (і, скоріше за все, зовсім не уявляючи собі лазери, але знаючи про атом Бора), висловив припущення щодо наявності поряд із так званими *спонтанними* також і *стимульованих* оптичних атомних переходів. Пройшло ще кілька десятиліть до того моменту, коли у 1957-58 роках радянські дослідники й майбутні Нобелівські лауреати О.М.Прохоров і його учень М.Г. Басов змогли, спираючись на ідею про стимульоване (інколи кажуть – вимушене) випромінювання, теоретично сформулювати принцип підсилення електромагнітних хвиль і винайшли такий підсилювач у радіочастотному діапазоні хвиль – *мазер*.

Пізніше у США, виходячи з того ж принципу, був запущений перший підсилювач в оптичному діапазоні, або лазер. З того часу мазери і лазери отримали дуже широке застосування – наукове, технологічне, медичне і, на жаль, військове. А ще одне – інформаційне – народилося після надзвичайно важливого досягнення, яким виявилася технологія створення напівпровідникових *гетероструктур*. Перші були вирощені Ж.І. Алфьоровим у 1967 році з цілком конкретною метою, в успіх якої мало хто вірив, – мати хімічно різні шари в єдиному монокристалі, а не в шаровій композиції, що принципово і що саме і було відзначено Нобелівською премією. Не пройшло і трьох років, як засвітив напівпровідниковий лазер, де накачкою служить легко керований електричний струм. Нині такі лазерні мультишарові елементи з найрізноманітніших складових стали серцем волоконно-оптичного зв'язку, що забезпечує мільйони телефонних розмов одночасно. Близько 100 мільйонів оптичних кабелів опоясують земну кулю, їх кількість невпинно зростає, а якість – особливо перешкодостійкість – поліпшується. Крім того, лазерні напівпровідникові мікропристрої служать «голками», що знімають звук і зображення з лазерних дисків.

У цілому, незважаючи на незаперечні і численні досягнення, можна бути впевненим, що квантова теорія твердого тіла є і ще довго залишатиметься основою подальшого науково-технічного прогресу. Створенням нових матеріалів, а потім і збиранням з них мікросхем і, насамкінець, всюди необхідних пристроїв, фактично щоденно перевіряються квантові закони. Вони постійно в дії, бо технології невпинно вдосконалюються, перетворюючись у нанотехнології, і,



наприклад, вже існує, хоча і в одиничних екземплярах, надпрецезійне обладнання зі структурного дизайну. За його допомогою фізики і інженери-дослідники навчилися складати атоми різних елементів у наперед заданому порядку і буквально по частинково будувати штучні композиції, які самі по собі в природі не зустрічаються. З'явився навіть термін «лабораторія-на-кристалі», який відображає саме таке моделювання наноструктур. Зрозуміло, що їх властивості можуть бути вельми непередбачуваними, що відкриває перспективу для глибоких і всебічних їх досліджень. Важливо лише розуміти, що з точки зору фізики розмір не має якогось відокремленого змісту – важливі лише фізичні ефекти. Попри таке зауваження, це дуже важлива і багатообіцяюча галузь фізичного (а фактично – квантового) матеріалознавства, яке давно вийшло на шлях служіння людині, хоча ще не може похвалитися виробництвом масових виробів.

Інший приклад: один з новітніх приладів останнього часу – лазер на так званих *квантових напівпровідникових точках*. Кожна з них може складатися з кількох сотень атомів, зміною кількості або формою укладки яких можна змінювати частоту випромінювання, а отже мікроскопічний за розмірами об'єкт матиме багатокольоровий спектр світіння. В цілому ж будівництво подібних нанооб'єктів являє собою, образно кажучи, «квантову алхімію». Не викликає сумнівів, що її розвиток складає першочергове завдання для національних лабораторій, академій, університетів.

Додамо, що квантові точки – дуже нестандартні утворення. Їх можна конструювати атом-до-атома, а можна вирощувати шляхом молекулярно-пучкової епітаксії. Саме точки, на думку деяких експертів, є прообразом нових типів транзисторів. Справа в тому, що основна дія останніх спирається на перехід з одного стабільного стану до іншого. В колективі квантових точок станів більше, а енергетичні бар'єри між ними нижчі. Це означає, що відповідні переходи можуть ініціюватися ліченими електронами. Створення таких транзисторів, безумовно, вимагає нового рівня технологій, які і визначатимуть розвиток напівпровідникової електроніки, що все більше наближається до межі, встановленої самою пані Природою. При цьому роботу будь-якого пристрою, яким може бути і одиночна молекула, визначатимуть *одноелектронні* процеси, а отже – виключно квантові закономірності. Вони ж змусять працювати лазерні і комп'ютерні компоненти, енергоспоживання яких також стане мізерним, що тотожно гранично ощадливим.

Безсумнівно розвиток названих галузей фізики у ХХІ столітті, як це сталося у ХХ, продовжуватиме визначати реальний прогрес людства. В той же час багато чого у виборі наукових досліджень стали диктувати ринок і нагальні потреби людства, і все більше уваги приділяється розвитку таких, значною мірою прикладних напрямів, як, наприклад, боротьба із загрозою глобального потепління, міська інфраструктура, технології очищення води, запобігання викидам шахтного метану тощо, а також високоприбуткові швидкодіюча інформаційна електроніка, бездротовий зв'язок, мережеві технології і *наноіндустрія*. Остання взагалі на очах стає міждисциплінарною і домінуючою, і через 3-5 років, охоплюючи все більше коло проблем, обсяг її світового ринку може, за різними оцінками, перевищити \$ 2-3 трильйони. США вже сьогодні виділяють приблизно \$ 10 мільярдів на рік, Китай \$ 5 мільярдів. Все це, певна річ, не може не враховувати будь-яка молода людина, що починає вчитися і думає про свою майбутню (у тому числі, фінансову) *успішність*. Остання може бути досягнута лише на базі передової освіти, що готує і до наукової діяльності.

Але, знову треба підкреслити, сучасна наука не зводиться і не може зводитись лише до досліджень, що швидко і багаторазово окупаються, і природна цікавість людини буде спонукати її до нових і нових пошуків, єдиним самодостатнім наслідком яких буде виключно пізнання. При цьому питання про корисні застосування отриманого знання можуть взагалі не виникати. Мова, звичайно, йде про природничі науки, які відрізняються не лише змістом (що очевидно), а ще й «виходами на зовнішній світ». Для кожної з них ситуація дійсно різна, оскільки деякі науки – скажімо, про Землю або хімія, біологія, медицина – легко знаходять споживача. А от відкриття в астрономії, космології, фізиці високих енергій, які до того ж майже завжди вимагають надзвичайно коштовного обладнання, прямих зв'язків з нагальними потребами людини, на перший погляд, зовсім не передбачають (більше того, науковці про них здебільшого зовсім і не дбають). Прилади для цих фундаментальних дисциплін настільки дорогі, що часто-густо не підйомні і для добре розвинутих країн. Тому популярними – а краще сказати, неминучими – стали спільні дослідження науковців різних країн у міжнародних наукових центрах, гроші в роботу яких одночасно вкладають кілька країн. Тим не менш, виникає слушне питання: «Навіщо державам витратити чималі кошти на те, що не дає безпосередньої вигоди і чому б не розвивати лише

прикладні галузі, відносно швидко і зрозумілу віддачу яких легко пояснити платникам податків?»

На цей законний «запит» можна сказати наступне. Весь світовий досвід, що має твердо усвідомлювати і студент, вчить: такий шлях є *хибним*. Достатньо навести лише два аргументи. Перш за все, попри відсутність безпосереднього впровадження, так звані побічні результати, або непряме застосування результатів, дуже часто стають неоціненними. Згадаймо хоча б суперкомп'ютери, надпровідні магніти, прискорювачі та детектори різноманітних випромінювань, томографи, комп'ютерні мережі, супутниковий зв'язок, Інтернет – все це зароджувалось завдяки виключно фундаментальним фізичним дослідженням. У думаючої людини це подиву не викликає – фізики вже давно працюють на межі можливого, стандартних, адекватних поставленим цілям, приладів не існує і їх необхідно створювати «під задачу». Найсвіжіший яскравий приклад – будівництво і запуск восени 2008 року Великого адронного колайдера (ВАК) в Міжнародному ядерному центрі (ЦЕРН) в Женеві для спостереження процесів народження і взаємних перетворень нових елементарних частинок. У квітні 2022 року, після трирічної перерви на техобслуговування і модернізацію, (ВАК) знову запрацював. Цей запуск став третім, під час якого вчені планували зібрати дані про безпрецедентну кількість зіткнень частинок, що відбуваються на рекордних рівнях енергії.

Результати запусків не змусили на себе довго чекати. Вже в липні в ЦЕРНі заявили про відкриття трьох нових екзотичних частинок — нового пентакварку та пари нових тетракварків.

За допомогою даних, зібраних під час зіткнень частинок, учені сподіваються детальніше вивчити частинку бозона Хіггса, а також підтвердити або спростувати “Стандартну модель фізики елементарних частинок”.

Обсяг отримуваних даних при цьому є таким, що сумірний з існуючим у світі, а аналіз відповідної інформації неспроможний зробити жоден серед існуючих суперкомп'ютерів. Спроби знайти спосіб її обробки привели до створення відсутнього раніше обчислювального Інтернету, який отримав назву *грід-технології*. Грід-обчислення вже застосовуються не тільки фізиками і математиками-обчислювачами, а й фармакологами при синтезі нових речовин для ліків, економістами для оцінок роботи підприємств, метеорологами при прогнозах погоди, геофізиками при з'ясуванні ризиків землетрусів, екологами при визначенні ступеня забруднення

навколишнього середовища парниковими газами внаслідок роботи паливно-енергетичних компаній та використання транспорту. Очевидно, що будуть і нові використання. Приємно лише відзначити, що непогана грід-мережа вже є і працює в Україні, об'єднуючи обчислювальні кластери НАН України, КНУ ім. Тараса Шевченка, НТУУ "КПІ" і ЦЕРНу (Швейцарія).

Ще одним аргументом на користь необхідності підтримки фундаментальних напрямів є те, що для ефективного просування прикладних робіт фізичні лабораторії, нехай не пов'язані з відповідною тематикою, виявляються вкрай корисними як для оперативної допомоги в непередбачених ситуаціях, так і попередньої експертизи намірів, яка взагалі відсікає заборонені наукою шляхи, а отже, таким чином, суттєво прискорює і здешевлює прикладні розробки. Нарешті, міжнародна кооперація в галузі фундаментальних досліджень дозволяє будь-якій країні перебувати на найновіших технологічних напрямках і відслідковувати технічні ноу-хау, що теж важливо для збереження своєї конкурентоспроможності в нашому досить жорсткому світі. Сьогодні на експериментальному обладнанні CERN працює близько 12 000 дослідників 80 народів із 500 наукових центрів і університетів — це половина всіх фізиків — дослідників мікросвіту.

Які ж цікаві завдання фундаментальних досліджень можна було б окреслити і сформулювати для молодого людини, яка мріє про фах фізика? Звичайно, їх багато, такими, наприклад, є:

- Чи можуть закони фізики бути уніфіковані?
- Чи є фундаментальні сталі дійсно сталими?
- Чи одні ми у Всесвіті?
- Яка його будова і роль темної енергії – слабо взаємодіючої субстанції, яка пронизує весь простір видимого Всесвіту і відкриття якої стало сенсацією номер один на рубежі ХХ-ХХІ століть?
- Чи є більш глибокі фізичні принципи, ніж принцип невизначеностей або нелокальності?
- Звідки приходять промені з ультрависокими енергіями?
- У чому полягає механізм високотемпературної надпровідності і взагалі чи є обмеження на температуру її появи?
- Як залежать властивості води від її структури?
- Що таке скло і скляний стан?
- Що керує Сонячними циклами?
- Чому напрям магнітного поля Землі час від часу змінюється?

– Чому відбуваються землетруси і як їх передбачати?

Ще більше питань постає перед фізикою, коли вона і фізики звертаються до *наук про життя* і одне з найцікавіших:

Як біомолекули пізнають одна одну?

А взагалі таких питань на межі між фізикою і біологією безліч, здається, що століття, в якому ми перебуваємо, має стати століттям біології, яка все більше перетворюватиметься на *фізику живої матерії*.

Як було зазначено вище, розвиток техніки, що спирається на наукові відкриття і досягнення фундаментальних досліджень, невпинний. І жодна людина, навіть, припустимо, знаний футуролог, не в змозі передбачити всі перспективи пізнання у повному обсязі, а висловлювані прогнози спираються лише на відомі теперішні здобутки і трошки – на історію фізики.

Ми всі відчуваємо, що величезний розвиток фізики у попередньому столітті дійсно позначився на якості нашого життя, ми все ще далекі від моменту – і чи настане він? – коли зможемо дійти висновку, що наука взагалі і фізика зокрема себе вичерпали. Отже, не буде перебільшенням сказати, що поглиблене з'ясування фізичної природи *усього* суцього – це центральна проблема природознавства на всі майбутні часи. Роботи вистачить на всіх, хто присвятить своє життя науці та досягненню цієї грандіозної мети.

**Теми навчальних проєктів для самостійної роботи з курсу  
«Історії фізики»**

1. Роль особистості у розвитку фізики (на прикладі наукових біографій великих учених).
2. Проблема авторства та пріоритетів у фізичних відкриттях (Кулон і Кавендіш; Рентген і Пуллой; Попов і Марконі; Джоуль та Ленц та ін.).
3. Історія телефону.
4. Історія розвитку телебачення.
5. Вплив фізики на природознавство.
6. Природа – великий винахідник (винаходи, які людина запозичила у природи).
7. Від водяного колеса до турбіни.
8. Винаходи Герона Александрійського.
9. Винаходи Ленардо да Вінчі.
10. Видатні фізики на банкнотах.
11. Історія фізичних наукових шкіл в Україні.
12. Історія світових фізичних наукових шкіл.
13. Вплив фізики на розвиток техніки і технології.
14. Фізика в освіті: місце, роль, перспектива.
15. Світові фізичні центри і лабораторії.
16. Технічний прогрес і фізика в історичному контексті.
17. Енергетика і фізика: історія, сучасний стан і перспектива.
18. Розвиток фізики поновлювальних джерел енергії.
19. Взаємовплив фізики і філософії.
20. Концепція симетрії у фізиці.
21. Нобелівські премії з фізики: роль і суспільна значимість.
22. Історія законів збереження і їхня роль у розвитку фізики.
23. Становлення основних фізичних понять.
24. Розвиток поглядів на фізичний простір і роль математики.
25. Історія розвитку уявлень про час. Проблеми вимірювання часу.
26. Історія введення та вимірювання температури.
27. Періодична система елементів і її значимість для фізики.
28. Процес становлення імовірнісних принципів у фізиці.
29. Еволюція астрономії й астрофізики.
30. Розвиток поглядів на природу світла.

31. Створення квантової теорії світла.
32. Космогонія Больцмана і нескінченність Всесвіту в часі і просторі. Розвиток уявлень до наших днів.
33. Геометрія і фізика.
34. Фізика у науково-популярній літературі.
35. Фізика на службі криміналістики.
36. Фізичні винаходи як вирішальний фактор у воєнних перемогах.
37. Історія створення атомної бомби.
38. Проблеми фізики ХХІ століття.
39. Фактор випадковості у фізичних відкриттях.
40. Задачі з історичним змістом.

## **Теми практичних занять з історії фізики**

### **1. Розвиток уявлень про атом та його будову**

1. Атомістичні уявлення стародавнього світу (Анаксагор, Емпедокл, Демокрит, Епікур, Лукрецій Кар).
2. Розвиток вчення про атом у класичній фізиці.
3. Напівкласичні уявлення Н.Бора.
4. Квантові уявлення про природу атома.

### **2. Нобелівської лауреати у галузі фізики**

1. Історія створення нобелівського фонду.
2. Рентген – перший нобелівський лауреат.
3. Нобелівські премії з фізики.
4. Україна – батьківщина плеяди лауреатів Нобелівської премії з фізики.
  - а) Георгій Харпак (Жорж Шарпак) (1924—2010) — французький фізик, родом із Дубровиці на Рівненщині (народився в єврейській родині). Його вважають одним із найталановитіших учених-експериментаторів. Лауреат Нобелівської премії з фізики 1992 року за «винахід та вдосконалення детекторів частинок, особливо багатопровідної пропорційної камери».
  - б) Девід Гросс (1941-) — американський фізик. Мати вченого — Нора Файн — народилася в Україні, батько — відомий вчений Бертрам Майрон Гросс — син вихідців з Закарпатської області. Лауреат Нобелівської премії з фізики 2004 р. «За відкриття асимптотичної свободи в теорії сильних взаємодій» (спільно з Ф. Вільчеком і Д. Політцером).
  - в) Ігор Євгенович Тамм (1895–1971) – фізик-теоретик, лауреат Нобелівської премії з фізики. У період із 1898 по 1913 рік жив та навчався у Кіровограді (Єлисаветграді), пізніше вступив до Единбурзького університету, де

закінчив перший курс, згодом повернувся на батьківщину.

г) Ісидор Рабі (1898—1988) — американський вчений-фізик, що народився на Лемківщині, у місті Риманеві (тепер — Польща). Одержав Нобелівську премію 1944 року «за резонансний метод вимірювання магнітних властивостей атомних ядер».

г) Лев Ландау (1908—1968) — викладав та проводив наукові дослідження у Українському фізико-технічному інституті, Харківському університеті та Харківському політехнічному інституті де зробив низку відкриттів у галузі фізики. Отримав Нобелівську премію 1962 року «за піонерські теорії конденсованих середовищ, особливо теорії рідкого гелію».

д) Маррі Гелл-Ман (1929-2019) — американський фізик-теоретик єврейського походження народився 15 вересня 1929 року в Нью-Йорку, США. Син вихідців з України: мама Пауліна Райхштайн — з с.Базальтове, Рівненська область, батько — Айсідор Гелл-Ман - народився в Галичині, а виріс у Чернівцях. Лауреат 1969 року «за відкриття системи класифікації елементарних частинок».

е) Петро Капиця (1894—1984) — радянський вчений-фізик. Батько вченого, полковник Леонід Капиця, — виходець із Волині, україно-польського походження. Мати походила з українських дворян Стебницьких. Батько матері Ієронім Стебницький — уродженець Житомирської області. Лауреат Нобелівської премії з фізики 1978 року «за базові дослідження та відкриття у фізиці низьких температур».

є) Полікарп Куш (англ. Polykarp Kusch; 1911 — 1993) — американський фізик українського походження, виходець з Німеччини. Нашадок вихідців з України. Лауреат Нобелівської премії з фізики в 1955 р. Половина премії «за точне визначення магнітного моменту електрона». Другу половину премії отримав Вілліс Юджин Лемб.

ж) Серж Арош (фр. Serge Haroche; 1944-) — французький фізик. Мати вченого — Валентина Рубльова — родом з Одеси. Лауреат Нобелівської премії з фізики 2012 року (спільно з Девідом Вайнлендом) за «створення проривних технологій маніпулювання квантовими системами».

### **3. Внесок вчених України у розвиток фізичної науки**

1. Іван Пулюй – великий український фізик, електротехнік, винахідник, теолог, громадсько-політичний діяч.

2. Олександр Смакула –батько сучасної оптики та космічних технологій.

3. Борис Грабовський – син поета, творець електронного телебачення.

4. Микола Пильчиків – український Едісон.

5. Остап Стасів – український кристалофізик.

6. Зенон Храпливий – фізик – теоретик.

7. Вклад українців у розвиток ракетної техніки та космонавтики:



#### **4. Розвиток ракетно-космічної техніки**

- Видатний творець практичної космонавтики – академік Сергій

Корольов

- Михайло Янгель – творець ракетно-космічної техніки
- Володимир Челомей – «батько» ракети-носія «Протон»
- Валентин Глушко – конструктор рідинних ракетних двигунів
- Архип Люлька – конструктор авіадвигунів
- Ігор Сікорський – український авіаконструктор

#### **Творці теоретичної космонавтики**

- Олександр Засядько – видатний конструктор бойових ракет
- Костянтин Костянтинов – послідовник О.Засядька
- Микола Кибальчич – талановитий винахідник, автор проекту оригінального літального апарата з реактивним двигуном
- Костянтин Ціолковський – фундатор теоретичної космонавтики
- Юрій Кондратюк – «завойовник міжпланетних просторів»
- Михайло Яримович та Ігор Богачевський – творці міжпланетних станцій

#### **5. Застосування історичного матеріалу при вивченні фізики**

1. Історичні екскурси, навчальні проекти.
2. Історія відкриття фізичних законів.
3. Історія введення фізичних понять.
4. Історія винаходів машин і механізмів.
5. Задачі з історичним змістом.
6. Фундаментальні історичні дослідження з фізики.
7. Біографії вчених та виховна робота.
8. Відкриття, які зробила природа.

## Список використаних джерел

1. Благодаренко Л., Мініч Л., Шут М. Історично-науковий матеріал з фізики як фактор національного виховання учнів / Л. Благодаренко, Л. Мініч, М. Шут // *Наукові записки*. Випуск № 60. Серія: Педагогічні науки. Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. 2005. Частина 2. С. 9 –12.
2. Бріжятий, О., Заїк О., Іваній В. Інтегрований курс «Історія фізики та методологія природознавства» як засіб формування в студентів сучасної картини світу. // *Вища освіта України* : Теоретичний та науково-методичний часопис, 2006. № 3. С. 89 –93.
3. Головка М. В. Використання матеріалів з історії вітчизняної науки при вивченні фізики та астрономії. К. : ТОВ «Міжнар. фін. агенція», 1998. 93 с.
4. Кордун, Г. Г. Історія фізики: навчальний посібник для студентів педагогічних інститутів та університетів, що вивчають дисципліну «Фізика» . К.: Вища школа, 1993. 280 с. ISBN 5-11-004039-7
5. Лауреати Нобелівської премії. 1901-2001 [Текст] : енциклопедичний довідник / уклад. С. О. Довгий [та ін.]. - Ювілейне вид. К. : Український видавничий центр, 2001. 763 с.: іл. - ISBN 966-96058-4-9
6. Лимарева Ю. М. Курс «Історія та методологія фізики» у педагогічному виші // *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, 2015. № 6 (50). С. 227 – 232.
7. Нариси з історії фізики : [посібник] / В. В. Аксельруд. Харків : Основа, 2019. 112 с. (Б-ка журналу "Фізика в школах України"; вип. 7(187)). ISBN 617-00-3722-0.
8. Садовий М. І., Трифонова О. М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття: навчальний посібник [Архівовано 14 лютого 2019 у Wayback Machine.] [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.]. 2-ге вид. переробл. та доп. Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2013. 436 с.
9. Сергійчук В.І. Що дала Україна світові. К.: ПП Сергійчук М.І., 2008. 480с
10. Сосницька Н. Л. Фізика як навчальний предмет у середній загальноосвітній школі України : історикометодологічні і дидактичні аспекти : [монографія]. К. : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2005. 399 с.

11. Храмов Ю.О. Фізика. Історія фундаментальних ідей, теорій та відкриттів. К.: Фенікс, 2012. 816 с.
  12. Храмов Ю.О. История физики. К.: Фенікс, 2006. 1176 с.
  13. Чекман І. "Україно, обітована земле мого серця!" : Нобелівські лауреати — вихідці з України / І. Чекман // *Вісн. Нац. акад. наук України*, 2006. № 10. С. 44–53.
  14. Чолаков В. Нобелевские премии по физике. Ученые и открытия: Пер. с болг. – М.: Мир, 1986.- 368 с.
  15. Шендеровський В. Нехай не згасне світ науки. /За ред. Е. Бабчук. К.: Смолоскип, 2004. 416 с.
  16. Шмигельський М. Нобелівська премія / М. Шмигельський // *Фізика та астрономія в суч. шк.*, 2012. № 7. С. 42–47. Шут М. І., Лень А. Є. Теоретичні проблеми і завдання з історії фізичної науки та освіти в Україні: матер. VII Всеукр. наук. конф. «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики». К. : НПУ, 2002. С. 35.
  17. Шут М. І., Сусь Б. А. Історія розвитку фізики в Україні як складова національно-патріотичного виховання // *Наукові записки НПУ імені М. П. Драгоманова*, випуск XLVIII (педагогічні та історичні науки) К. : НПУ, 2002. Вип. 48. С. 58.
  18. Шут М. І., Благодаренко Л. Ю., Андріанов В. М. Історія фізичних досліджень в Україні у навчанні фізики. Ч. 1 // *Фізика*, 2008. № 3. 80 с.
  19. Шут М. І., Благодаренко Л. Ю., Андріанов В. М. Історія фізичних досліджень в Україні у навчанні фізики. Ч. 2 // *Фізика*, 2008. № 4. 48 с.
- <http://journal.museum.kpi.ua> – Дослідження з історії техніки.

*Навчальне видання*

**Кобель Григорій Петрович  
Головіна Ніна Анатоліївна  
Мартинюк Олександр Семенович  
Савош Валентин Олексійович**

## **ІСТОРІЯ ФІЗИКИ**

**(конспект лекцій для студентів фізичних спеціальностей  
університетів)**

Видання друкується в авторській редакції

Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офс. Гарн. Таймс. Друк цифровий. Обсяг 7,68 ум.  
друк. арк., 7,1 обл.-вид. арк. Наклад 50 пр. Зам. .  
Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк ( м. Луцьк, вул. Шопена,12,  
тел.(0332) 29-90-65).  
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України.  
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.