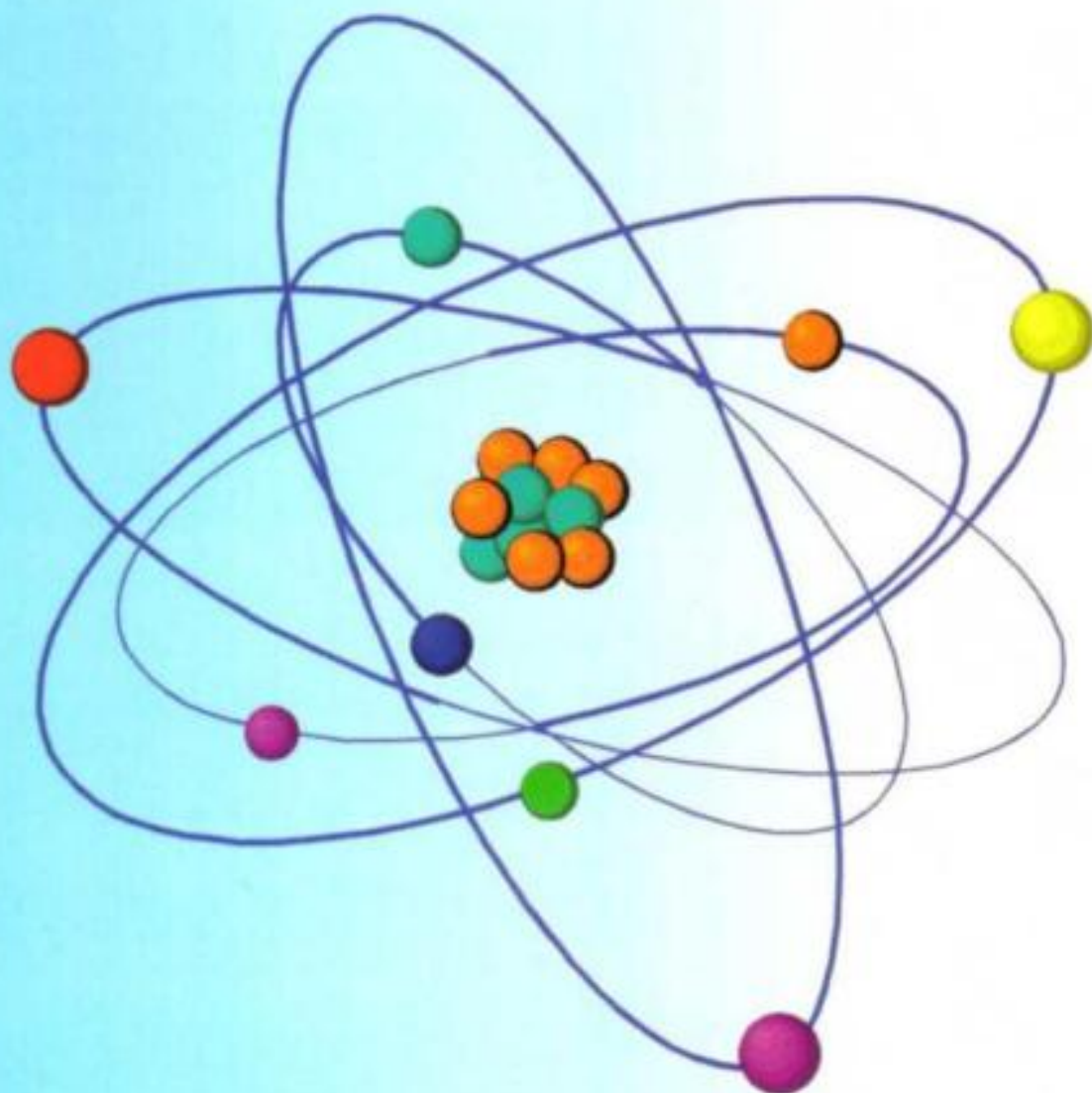


САДОВИЙ М.І., ТРИФОНОВА О.М.

Історія фізики

з перших етапів становлення
до початку ХХІ століття



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА

САДОВИЙ М.І., ТРИФОНОВА О.М.

Історія фізики ***з перших етапів становлення до*** ***початку ХХІ століття***

навчальний посібник
для студентів фізико-математичних факультетів
вищих педагогічних навчальних закладів

Кіровоград – 2013

УДК 53(07 535)

ББК 74.265.1.22.34

С 14

Садовий М.І., Трифонова О.М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття: навчальний посібник [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2013. – [2-ге вид. переробл. та доп.] – 436 с.

Рецензенти: *Вовкотруб В.П.* доктор педагогічних наук, професор, Кіровоградський державний педагогічний університет ім. В. Винниченка;

Царенко О.М. кандидат технічних наук, професор, Кіровоградський державний педагогічний університет ім. В. Винниченка;

Філер З.Ю. доктор технічних наук, професор, Кіровоградський державний педагогічний університет ім. В. Винниченка.

Пропонований посібник складено у відповідності до програми курсу «Історія фізики» згідно галузевого стандарту вищої освіти: Галузь знань 0402 Фізико-математичні науки. Напрямок підготовки 7.04020301*Фізика. Спеціалізація: Інформатика. Освітньо-кваліфікаційна характеристика спеціаліста. У навчальному посібнику розглянута історія фізики від перших етапів становлення до початку ХХІ століття, а також загальні питання закономірностей розвитку цієї науки. Крім того приділена значна увага методологічним питанням самої фізики. Теоретичний матеріал доповнено питаннями для самоконтролю.

Курс розрахований на самостійну роботу студентів для фізичних спеціальностей фізико-математичних факультетів вищих педагогічних навчальних закладів. Крім того дана книга може бути корисна для викладачів фізики вищих навчальних закладів та загальноосвітніх шкіл, для наукових співробітників – фізиків і філософів та всіх, хто цікавиться питаннями історії та методології фізики і природознавства взагалі.

Рекомендовано до друку Вченою радою Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (протокол № 10 від 27.05.2013 р.)

УДК 53(07 535)

ББК 74.265.1.22.34

© Садовий М.І., Трифонова О.М.

ЗМІСТ

Передмова	6
1. ІСТОРІЯ ФІЗИКИ ЯК НАУКА	8
1.1. Предмет, задачі і методи історії фізики	8
1.2. Закономірності розвитку фізичної науки	9
1.3. Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства і математики. Значення фізики	11
1.4. Основні етапи розвитку фізики і періодизація її історії	15
2. ПЕРЕДІСТОРІЯ ФІЗИКИ	18
2.1. Передісторія фізики (досократівський, іонійський, елінійський, римський періоди)	18
2.2. Характер науки античності	20
2.2.1. Натурфілософські уявлення древньогрецьких учених	24
2.2.2. Натурфілософія Фалеса. Мілетська школа	25
2.2.3. Гераклітська наукова школа	27
2.2.4. Елейська натурфілософська школа. Атомістика (Ксенофан, Анаксагор, Левкіпп, Демокріт)	29
2.2.5. Піфагорійська філософська школа (Піфагор, Аристарх Самоський)	32
2.2.6. Погляди Сократа і Платона	35
2.2.7. Наукові уявлення Арістотеля	36
2.2.8. Еліністичний період розвитку натурфілософії (Стратон, Епікур (епікурейська школа) Лукрецій, Птоломей)	39
2.2.9. Наукова школа стоїцизму та школа скептицизму	43
2.2.10. Розвиток древньогрецької науки у передримський період (Евклід, Архімед, Аполоній, Ератосфен, Гіпарх)	44
2.3. Римський період розвитку науки	48
2.4. Фізика на арабському стародавньому Сході	50
2.5. Західноєвропейський період розвитку науки. Фізика середньовіччя	53
2.5.1. Виникнення нової апріорної фізики. Зародження експериментального методу дослідження природних явищ та процесів Р. Бекона	60
2.5.2. Епоха Відродження. Дослідження Леонардо да Вінчі	63
2.5.3. Значення робіт М. Коперника «Про обертання небесних сфер». Наукові погляди Джордано Бруно	70
2.5.4. Наукові та філософські погляди І. Кеплера	74
2.5.5. Натурфілософські погляди Г. Галілея	80
2.5.6. Зародження наукових товариств та академій	86
2.5.7. Натурфілософська концепція Р. Декарта та його послідовників	89
2.5.8. Становлення нових областей фізики у XVII ст. як фундамент формування основ класичної фізики	95
2.5.9. Історична роль Х. Гюйгенса в пропедевтиці становлення класичної фізики	101
2.5.10. Зародження теоретичної фізики І. Ньютоном	103
3. ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТОК КЛАСИЧНОЇ ФІЗИКИ	111

3.1. Наукові ідеології.....	111
3.2. Професіоналізація науки.....	113
3.3. Історичне і наукове значення «Начал». Роботи І. Ньютона з оптики ...	122
3.4. Фізика XVIII століття	136
3.5. М.В. Ломоносов і розвиток науки в Росії	138
3.6. Зміна соціального становища науки в XVIII ст. та підсилення зв'язку фізики з технікою	142
4. РОЗВИТОК ОКРЕМИХ ОБЛАСТЕЙ ФІЗИКИ.....	151
4.1. Експериментальні основи і постулати механіки	151
4.2. Термодинаміка і уявлення про будову речовини	160
4.2.1. Розвиток термометрії у XVII–XVIII ст. Дослідження закономірностей теплових явищ у XVIII ст.	160
4.2.2. Боротьба теорії теплоруду і кінетичної теорії тепла в кінці XVIII ст.–початку XIX ст.	164
4.2.3. Досліди Румфорда. Історія розвитку принципу збереження теплоти	167
4.2.4. Розвиток термодинаміки й атомістики. Роботи С. Карно	171
4.2.5. Відкриття та становлення закону збереження і перетворення енергії (роботи Р. Майєра, Дж. Джоуля, Г. Гельмгольца)	173
4.3. Оптика.....	180
4.3.1. Розвиток оптичних досліджень	180
4.3.2. Роботи зі становлення хвильової теорії світла	181
4.3.3. Труднощі хвильової оптики пружного ефіру.....	187
4.4. Розвиток теорії електромагнітного поля	190
4.5. Зародження та розвиток основних ідей спеціальної теорії відносності	198
4.6. Успіхи фізики і розвиток природознавства в XIX ст.....	211
4.6.1. Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства та галузями життя суспільства.....	211
4.6.2. Відкриття Д.І. Менделєєвим Періодичного закону хімічних елементів і його значення для розвитку фізики і хімії.....	221
4.6.3. Досягнення фізики і техніки (на прикладі розвитку електротехніки)	235
4.6.4. Винайдення радіо О.С. Поповим	240
5. НАУКОВА РЕВОЛЮЦІЯ КІНЦЯ XIX – ПЕРШОЇ ТРЕТИНИ XX ст. Фізика XX століття	243
5.1. Експериментальні відкриття кінця XIX ст.: рентгенівські промені, радіоактивність, електрон, швидкість світла	243
5.2. Наукові дослідження кінця XIX – початку XX ст.	248
5.3. Загальна теорія відносності та її експериментальне обтунтування ...	256
5.4. Проблеми теплового випромінювання (зародження атомної та квантової фізики).....	273
5.5. Розробка А. Ейнштейном і П. Дебаєм квантової теорії теплосмності твердих тіл	276
5.6. Теорія Дж. Максвелла і квантова теорія світла М. Планка та	

<i>А. Ейнштейна</i>	279
5.7. <i>Моделі атома</i>	280
5.8. <i>Квантова механіка Л. де Бройля, Е. Шредінгера та В. Гейзенберга</i>	286
5.9. <i>Проникнення фізичних методів дослідження в астрономію</i>	288
5.10. <i>Відкриття явища надпровідності і надтекучості та їх теоретичне пояснення</i>	291
5.11. <i>Створення квантових генераторів</i>	294
6. ВАЖЛИВІ НАПРЯМКИ І ВІДКРИТТЯ ФІЗИКИ ХХ СТОЛІТТЯ	297
6.1. <i>Зміст фізики другої половини ХХ ст.</i>	297
6.2. <i>Становлення поглядів про походження та будову Всесвіту</i>	298
6.3. <i>Еволюція наукової картини світу</i>	307
6.4. <i>Гіпотези будови ядер</i>	311
6.5. <i>Фізика ядер</i>	314
6.6. <i>Елементарні частинки та їх систематика</i>	319
6.7. <i>Адрони</i>	328
6.8. <i>Зародження та розвиток прискорювачів елементарних частинок</i>	333
6.9. <i>Закони збереження у мікросвіті</i>	339
6.10. <i>Фундаментальні взаємодії</i>	341
7. ІСТОРІЯ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ	346
7.1. <i>Становлення природничої науки на території нинішньої України до XVIII ст.</i>	346
7.2. <i>Розвиток наукової думки вітчизняних учених XVIII–XIX ст. Створення фізичних лабораторій та наукових шкіл</i>	361
7.3. <i>Фундатори української фізичної науки ХХ століття</i>	369
7.4. <i>Ігор Євгенович Тамм і Україна</i>	371
Предметний покажчик.....	379
Додатки.....	400
Додаток А. <i>Список лауреатів Нобелівської премії з фізики</i>	400
Додаток Б. <i>Періодизація розвитку наукової думки та методів дослідження від VII ст. до н.е. до XXI ст. н.е.</i>	424
Додаток В. <i>Історія розвитку природознавчих наук (VII ст. до н.е. - XIX ст. н.е.)</i>	425
Список використаних джерел.....	428

ПЕРЕДМОВА

Проблема історизму в навчанні фізики на сучасному етапі розвитку методики навчання фізики здебільшого пов'язується з генералізацією знань на основі фундаментальних фізичних теорій.

Методологічною основою розуміння сучасності і закономірностей складних об'єктів, дидактичної теорії і практики, які розвиваються, є принцип історизму. Він є одним з компонентів діалектичних методів, які розглядають минуле, сучасність і майбутнє цих об'єктів, явищ і процесів у діалектичній єдності, виходячи не тільки з їх динаміки і мінливості у часі, але саме з їх розвитком, тобто незворотної спрямованості і закономірними змінами явищ і процесів, що визначає напрямки і характер їх історичної трансформації.

Фізика повинна постати перед суб'єктами навчання наукою, яка безперервно розвивається і оновлюється. Під впливом практичних потреб виникали нові наукові винаходи, проводилось їх дослідження, впроваджувались у техніку, а розвиток техніки давав поштовх наступному розвитку науки. Принцип історизму передбачає розгляд закону, гіпотези, постулату, феноменологічних висновків, теорію як відомі досягнення на шляху розвитку науки, яка частково охоплює явища природи. Узагальнення складаються із ланцюга історично пов'язаних ступенів з більшими чи меншими часовими інтервалами між узагальненнями. Наукові дослідження, відкриття, винаходи не є працею лише однієї людини, а завжди є результатом колективної творчості учених. Систематизація результатів досліджень учених створювала нові епохи в науці та техніці, заклала основи нового світогляду.

Розв'язання проблеми генералізації історичних відомостей з фізики ми розглядаємо в історичному аспекті становлення певного розділу фізики. Це сприяє більш глибокому усвідомленню значення історії

розвитку та становлення теорії під кутом зору – розвитку головної ідеї теорії. На нашу думку, в умовах диференціації навчання доцільно проблему генералізації історичних відомостей проводити через аналіз еволюції вчення про фундаментальні дослідження.

Головна мета курсу – висвітлити теорію і практику єдиного історичного наукового процесу розвитку природи і способів її вивчення та дослідження, розкрити історичні закономірності становлення фундаментальних фізичних явищ, понять, теорій, показати їх еволюцію та суспільно-історичну значущість досягнень фізичної науки.

Основними завданнями курсу є:

- дати студентам загальні поняття про закономірності розвитку науки та техніки;
- сформувати у майбутніх учителів чітку уяву про основні етапи розвитку фізики, наукову картину світу;
- дати студентам конкретні знання з історії фізики та техніки, необхідні для реалізації принципу історизму як дидактичного прийому у викладанні шкільного курсу фізики.

Знання з історії науки сприяють кращому розумінню студентами сучасного стану фізики і її основних напрямків.

В роботі на основі аналізу історичної, наукової та методичної літератури розкрито основні етапи становлення та розвитку фізики в світі від древніх часів до наших днів, окрема увага приділена досягненням українських вчених.

1. ІСТОРІЯ ФІЗИКИ ЯК НАУКА

1.1. Предмет, задачі і методи історії фізики.

1.2. Закономірності розвитку фізичної науки.

1.3. Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства і математики.

1.4. Основні етапи розвитку фізики і періодизація її історії.

1.1. Предмет, задачі і методи історії фізики

Фізика – одна з найдавніших наук. Вона виникла, коли стародавнім людям стало цікаво, чому світиться Сонце, чому вивергається вулкан, чому кипить вода і ще багато інших питань.



Рис.1. Різноманітні явища природи

Фізика (від грец. φυσικός – природний, φύσις – природа) – природнича наука, яка досліджує загальні властивості матерії та явищ у ній, а також виявляє загальні закони, які керують цими явищами; це наука про закономірності природи в широкому сенсі цього слова. Фізики вивчають поведінку та властивості матерії в широких межах її проявів, від субмікроскопічних елементарних частинок, з яких побудоване все матеріальне (фізика елементарних частинок), до поведінки всього Всесвіту, як єдиної системи (космологія).

Курс з історії фізики спрямований на розкриття єдності історичних процесів наукової діяльності людства з наголосом на наукових результатах рубежу двадцятого та двадцять першого століття.

Предметом історії фізики є виникнення і розвиток фізичної науки як єдиного цілого, суспільного явища, що займає певне місце в житті людей і

грає в ній певну роль. Фізика розглядається, по-перше, як єдине ціле, що виникло на деякій ступені розвитку людського суспільства. По-друге, розвиток фізики розглядається не відокремлено від історії суспільства взагалі. Фізична наука, що виникла і розвивається, зайняла в історії суспільства певне місце, стала грати в ній певну роль [113].

Історія фізики, як і будь-яка інша історія, ставить перед собою в якості деякі задачі [113]:

- з'ясування історичних фактів (для відтворення всього ходу розвитку фізичної науки);
- аналіз фактичного матеріалу, що дозволяє розкрити хід процесу розвитку як необхідно зумовлений, показати, чому саме так, а не інакше розвивалась фізична наука;
- встановлення загальних законів розвитку фізики (саме розв'язок цієї задачі дає право історії фізики називатися наукою у повному розумінні цього слова).

Для виконання поставлених задач в історії фізики використовується *метод історичного дослідження*. Досліджуючи історичний процес розвитку тих або інших суспільних явищ або інститутів або суспільства в цілому, дослідник встановлює закони, слідуючи яким відбувався їх розвиток. Встановивши закони для минулого, дослідник робить припущення, що вони справедливі і для майбутнього. Таким чином, на основі історичного дослідження, встановивши закони розвитку суспільства або окремих суспільних явищ, можна передбачити хід розвитку їх у майбутньому, тобто передбачити це майбутнє. А значить, і свідомо керувати розвитком окремих суспільних явищ або навіть розвитком суспільства в цілому. Закони розвитку суспільних явищ мають дещо інший характер, ніж закони фізики. Вони не є такими жорстко детермінованими, як останні. Ці закони визначають тенденцію розвитку, його загальний характер, їх дія може проявлятися не відразу і т.д. Але вони, як і закони фізики, діють об'єктивно.

1.2. Закономірності розвитку фізичної науки

Фізика, як наука, зародилась ще до нашої ери. Деякі історики науки вважають, що природознавство виникло приблизно в V ст. до н.е. в Стародавній Греції, де на тлі розкладання міфологічного мислення

виникають перші програми дослідження природи. Вже в Давньому Єгипті і Вавилоні були накопичені значні математичні знання, але тільки греки почали доводити теореми. Якщо науку трактувати як знання з його обґрунтуванням, то цілком справедливо вважати, що вона виникла приблизно в V ст. до н.е. в містах-полісах Греції – вогнищі майбутньої європейської культури.

Арістотеля (384–322 р.р. до н.е.) називають хрещеним батьком фізики: адже назва однієї з його праць «Фізика» (8 книг) стала назвою цілої науки – фізики ...

Аналіз досліджень з історії фізики, починаючи з VII ст. до н.е. до кінця XVII ст. [83, с.11-129], дозволив виявити таку *закономірність*: розвиток фізичних знань кількісно і якісно, до часу становлення науки фізики, залежав від кількості філософів-мислителів. Така закономірність обмовлена тим, що філософи-мислителі виключно дослідженням явищ природи не займались.

Розвиток наукових ідей протягом XXVI ст. можна зобразити у вигляді графіка, де на горизонталі вказати століття, а на вертикалі – орієнтовну кількість філософів-мислителів (рис. 2). З графіка видно, що лише у

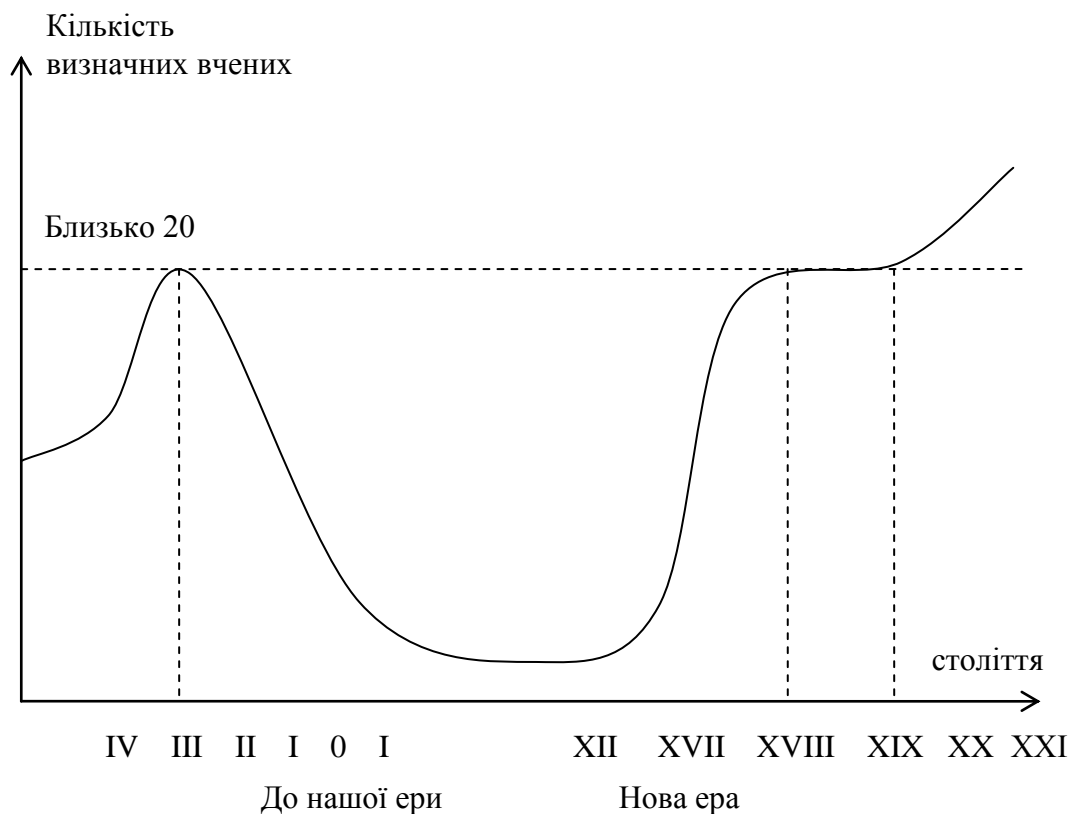


Рис. 2. Розвиток наукової думки протягом XXVI ст.

XVII ст. нашої ери наукова спільнота досягла рівня розвитку фізичних знань III ст. до н.е. Майже дві тисячі років, в силу історичних подій, мав місце занепад науки. А відповідно не набували розвитку ідеї древньогрецьких філософів-атомістів.

Ще одну *закономірність* розвитку фізики можна сформулювати так [113]: розвиток фізики обумовлений потребами суспільно-історичної практики. Процес пізнання людиною природи є дуже складною взаємодією багато чисельних матеріальних і духовних моментів суспільного життя. При цьому вирішальну роль у розвитку пізнання відіграють матеріальні умови існування людей і, перш за все, створення матеріальних благ, необхідних для їх існування. Отже, основною рухомою силою розвитку фізики як науки є виробництво і зв'язок, що існує між ним і фізикою. Це і визначає її розвиток.

1.3. Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства і математики. Значення фізики

Всі науки почалися з фізики, бо фізика – це початок усіх початків, тобто природа. Зв'язки фізики настільки багатогранні, що деколи люди не бачать їх. Фізика має зв'язки не тільки з природничими науками, але і з гуманітарними.

Академік С.І. Вавилов стверджував, що найтісніший зв'язок фізики з іншими галузями природознавства привів до того, що фізика як найглибшим корінням уросла в астрономію, геологію, хімію, біологію та інші природничі науки. В результаті утворилися ряд нових суміжних дисциплін, таких, як астрофізика, геофізика, фізична хімія, біофізика й ін.

В даний час відбувається найбільша науково-технічна революція, яка почалася більше чверті століття тому. Вона зробила глибокі якісні зміни в багатьох галузях науки і техніки.

Одна з найдавніших наук – астрономія переживає революцію, пов'язану з виходом людини в космічний простір. Народження кібернетики та електронних обчислювальних машин революційно змінило вигляд математики, проклало шлях до нової сфери людської діяльності, що отримала назву інформатики.

Виникнення молекулярної біології і генетики викликало революцію в біології, а створення так званої великої хімії стало можливим завдяки

революції в хімічній науці. Аналогічні процеси відбуваються також в геології, метеорології, океанології та багатьох інших сучасних науках.

В усьому світі спостерігаються глибокі якісні зміни в основних галузях техніки. Революція в енергетиці пов'язана з переходом від теплових електростанцій, що працюють на органічному паливі, до атомних електростанцій та видобутку альтернативних видів енергії. Створення індустрії штучних матеріалів з незвичайними, але дуже важливими для практики властивостями зробило революцію в матеріалознавстві. Комплексна механізація і автоматизація ведуть нас до революції в промисловості та сільському господарстві. Транспорт, будівництво, зв'язок стають принципово новими, значно більш продуктивними і доскональними галузями сучасної техніки.

Фізика і астрономія. Цей зв'язок можна дуже добре показати на прикладі науки, що швидко розвивається, – астрофізики.

Протягом тисячоліть астрономи отримували тільки ту інформацію про небесні явища, яку їм приносило світло. Можна сказати, що вони вивчали ці явища через вузьку щілину у великому спектрі електромагнітних випромінювань. Три десятиріччя тому завдяки розвитку радіофізики виникла радіоастрономія, яка надзвичайно розширила наші уявлення про Всесвіт. Вона допомогла дізнатися про існування багатьох космічних об'єктів, про які раніше не було відомо. Додатковим джерелом астрономічних знань стала ділянка електромагнітної шкали, що лежить у діапазоні дециметрових і сантиметрових радіохвиль.

Величезний потік наукової інформації приносять з космосу інші види електромагнітного випромінювання, які не досягають поверхні Землі, поглинаючись в її атмосфері. З виходом людини в космічний простір народилися нові розділи астрономії: ультрафіолетова та інфрачервона астрономія, рентгенівська та гамма-астрономія. Надзвичайно розширилася можливість дослідження первинних космічних частинок, що падають на кордон земної атмосфери: астрономи можуть досліджувати всі види частинок і випромінювань, що приходять з космічного простору. Обсяг наукової інформації, отриманої астрономами за останні десятиліття, набагато перевищив обсяг інформації, добутої за всю минулу історію астрономії. При цьому використовуються методи дослідження і реєструюча апаратура, що запозичуються з арсеналу сучасної фізики.

Давня астрономія перетворюється на молоду науку. Бурхливо розвивається астрофізика.

Зараз створюються основи нейтринної астрономії, що буде надавати вченим відомості щодо процесів, що відбуваються в надрах космічних тіл, наприклад, в глибинах Сонця. Створення нейтринної астрономії стало можливим тільки завдяки успіхам фізики атомних ядер і елементарних частинок.

Фізика і біологія. Революцію у біології зазвичай пов'язують з виникненням молекулярної біології і генетики, що вивчають життєві процеси на молекулярному рівні. Основні засоби і методи, використовувані молекулярною біологією для виявлення, виділення і вивчення своїх об'єктів (електронні та протонні мікроскопи, рентгеноструктурний аналіз, електронографії нейтронний аналіз, мічені атоми, ультрацентрифугу і т.п.), запозичені в фізики. Немаючи цих засобів, що народилися у фізичних лабораторіях, біологи не зуміли б здійснити прорив на якісно новий рівень дослідження процесів, що протікають у живих організмах.

Важливу роль сучасна фізика відіграє в революційній перебудові хімії, геології, океанології і ряду інших природничих наук.

Фізика і техніка. Цей зв'язок має двосторонній характер. Фізика виросла з потреб техніки (розвиток механіки у стародавніх греків, наприклад, було викликано запитом будівельної і військової техніки того часу), і техніка, у свою чергу, визначає напрям фізичних досліджень (наприклад, свого часу завдання створення найбільш економічних теплових двигунів викликало бурхливий розвиток термодинаміки). З іншого боку, від розвитку фізики залежить технічний рівень виробництва. Фізика – база для створення нових галузей техніки (електронна техніка, ядерна техніка та ін.).

Фізика стояла також біля витоків революційних перетворень у всіх областях техніки. На основі її досягнень перебудовуються енергетика, зв'язок, транспорт, будівництво, промислове і сільськогосподарське виробництво.

Фізика і енергетика. Революція в енергетиці викликана з виникненням атомної енергетики. Запаси енергії, що зберігаються в атомному паливі, набагато перевершують запаси енергії в ще не

витраченому звичайному паливі. Вугілля, нафта і природний газ в наші дні перетворилися в унікальну сировину для великої хімії. Спалювати їх у великих кількостях – означає завдавати непоправної шкоди цій важливій галузі сучасного виробництва. Тому дуже важливо використати для енергетичних цілей атомне паливо (уран, торій). Теплові електростанції чинять непереборний небезпечний вплив на навколишнє середовище, викидаючи вуглекислий газ. У той же час атомні електростанції при належному рівні контролю можуть бути безпечні. Наукові основи атомної та термоядерної енергетики цілком спираються на досягнення фізики атомних ядер.

Людство також продовжує пошуки альтернативних видів енергії.

Створення матеріалів із заданими властивостями призвело до змін у будівництві. Техніка майбутнього буде створюватися в значній мірі не з готових природних матеріалів, які вже в наші дні не можуть зробити її достатньо надійною і довготривалою, а з синтетичних матеріалів з наперед заданими властивостями. У створенні таких матеріалів разом з хімією все зростаючу роль будуть мати фізичні методи впливу на речовину (електронні, іонні та лазерні пучки; надсильні магнітні поля; надвисокі тиски і температури; ультразвук і т.п.). У них закладена можливість отримання матеріалів з граничними характеристиками і створення принципово нових методів обробки речовини, що докорінно змінюють сучасну технологію.

Фізика і автоматизація виробництва. Має бути величезна робота зі створення комплексно-автоматизованих виробництв, що включають у себе гнучкі автоматичні лінії, промислові роботи, керовані мікрокомп'ютерами, а також різноманітну електронну контрольно-вимірювальну апаратуру. Наукові основи цієї техніки органічно пов'язані з радіоелектронікою, фізикою твердого тіла, фізикою атомного ядра і рядом інших розділів сучасної фізики.

Фізика та інформатика. Фізика вносить вирішальний внесок у створення сучасної обчислювальної техніки, що представляє собою матеріальну основу інформатики. Всі покоління електронних обчислювальних машин (на вакуумних лампах, напівпровідниках та інтегральних схемах), створені до наших днів, народилися в сучасних лабораторіях.

Сучасна фізика відкриває нові перспективи для подальшої мініатюризації, збільшення швидкодії та надійності обчислювальних машин. Застосування лазерів і розвиток на їх основі голографії, таять у собі величезні резерви для вдосконалення обчислювальної техніки.

Значення фізики. Такий тісний зв'язок фізики з іншими науками пояснюється важливістю фізики. Вона знайомить людство з найбільш загальними законами природи, які керують плином процесів у навколишньому світі й у Всесвіті в цілому.

Мета фізики полягає у відшуванні загальних законів природи і в поясненні конкретних процесів на їх основі. У міру просування до цієї мети перед вченими поступово вимальовувалася велична і складна картина єдності природи. Світ являє собою не сукупність розрізнених, незалежних один від одного подій, а різноманітні і численні прояви одного цілого.

Сучасна фізика демонструє нам риси єдності природи. Але все ж таки багато чого, може, навіть саму фізичну суть єдності світу, вловити поки що не вдалося. Невідомо, чому існує так багато різних елементарних частинок, чому вони мають ті чи інші значення маси, заряду та інших характеристик. До цих пір всі ці величини визначаються експериментально.

Проте все чіткіше вимальовується зв'язок між різними типами взаємодій. Електромагнітні і слабкі взаємодії вже об'єднані в рамках однієї теорії. З'ясовано структуру більшості елементарних частинок.

«Тут приховані настільки глибокі таємниці і настільки високі думки, що, незважаючи на старання сотень дотепних мислителів, які працювали протягом тисяч років, ще не вдалося проникнути в них, і радість творчих пошуків і відкриттів все ще продовжує існувати». Ці слова, сказані Галілеєм три з половиною століття тому, аніскільки не застаріли.

1.4. Основні етапи розвитку фізики і періодизація її історії

У своєму становленні фізика пройшла декілька етапів. Більш чітко періодизацію розвитку наукової думки та методів дослідження можна прослідити на відповідній узагальненій таблиці (дод. Б).

Період з другої половини V до III ст. до н.е. розвиток натурфілософії характеризується впливом і діяльністю Сократа, Платона, Арістотеля,

утвердилась філософія Фалеса та Піфагора, набула ваги наукова ідеологія Піфагора. В цей час були написані наукові праці та здійснені дослідження Архімедом, Аполлонієм, Евклідом, Епікуром, Самоським та ін. Аналіз змісту прадавніх натурфілософських джерел [89] говорить, що до Платона грецькі філософи не цікавились, власне, фізичними питаннями, тобто окремими явищами природи та властивостями конкретних предметів. Вони намагались дослідити першопочаток усіх речей у світлі загальної проблеми світосприймання без знання конкретних законів природи [64, с. 8]. Тому їх світоглядні побудови більше цікаві з точки зору історії філософії ніж історії фізики. Проте для історії фізики немає іншого джерела вивчення стану пізнання природи в ранні часи.

У кінці IV–I ст. до н.е. (Елліністичний, Олександрійський період) виникає цілий ряд наукових напрямків та наукових шкіл. На зміну піфагорійській філософії поступово приходить перипатетична філософія Арістотеля та елінійська натурфілософія, поряд з геліоцентричною системою Всесвіту Самоського, утверджується геліоцентрична система Птолемея та Арістотелева наукова ідеологія.

Четверте та третє століття до н.е. характеризується найбільшою кількістю відомих у старому світі вчених-мислителів, див. рис. 2. Елінійський період розвитку був вершиною розвитку наукової думки. У цей час наука почала приносити помітну користь техніці та в свою чергу збагачуватись за її рахунок [64, с. 7]. В Європі цього рівня було досягнуто лише у XVI–XVIII ст.

Характерним для періоду – I ст. до н.е. та V–VI ст. н.е. є досить прискорений занепад і згортання розвитку натурфілософії, як результат наростання суспільних суперечностей у Римській імперії. На зміну рабовласництву приходить феодалізм і нова християнська філософія. У VII–XII ст. (арабський період) залишки надбання античної науки перемістились на Близький та Середній Схід.

Західноєвропейський період (XIII–XIX ст.) настає з поступовим розвитком промислового виробництва.

Індустріальний період – XIX–XX ст. Для цього періоду є характерним розвиток науки не у обмежених регіонах, а в усіх державах світу.

Еколого-гуманістичний період (кінець XX–поч. XXI ст.) характеризується розвитком виробництва. Фізика стала провідною наукою

науково-технічного прогресу.

Дослідники Ю.О. Храмов, Р.З. Сагдєєв, О.І. Ахієзер та інші виділили *чотири етапи розвитку сучасної фізики*. Перші два етапи відносяться до періоду становлення квантової фізики. Третій етап розпочався у 1955 р., коли фізики почали досліджувати структуру нуклона, особливістю якого є вивчення явищ нових просторово-часових масштабів (10^{-15} м). Четвертому етапу вони відвели період з часу відкриття кварків (1969 р.).

З 2003 року розпочався новий, *п'ятий етап*, пов'язаний з виходом експериментальної бази фізики за межі Землі у Всесвіт, де у єдності охоплюються всі процеси Природи, див. рис. 3 [121].

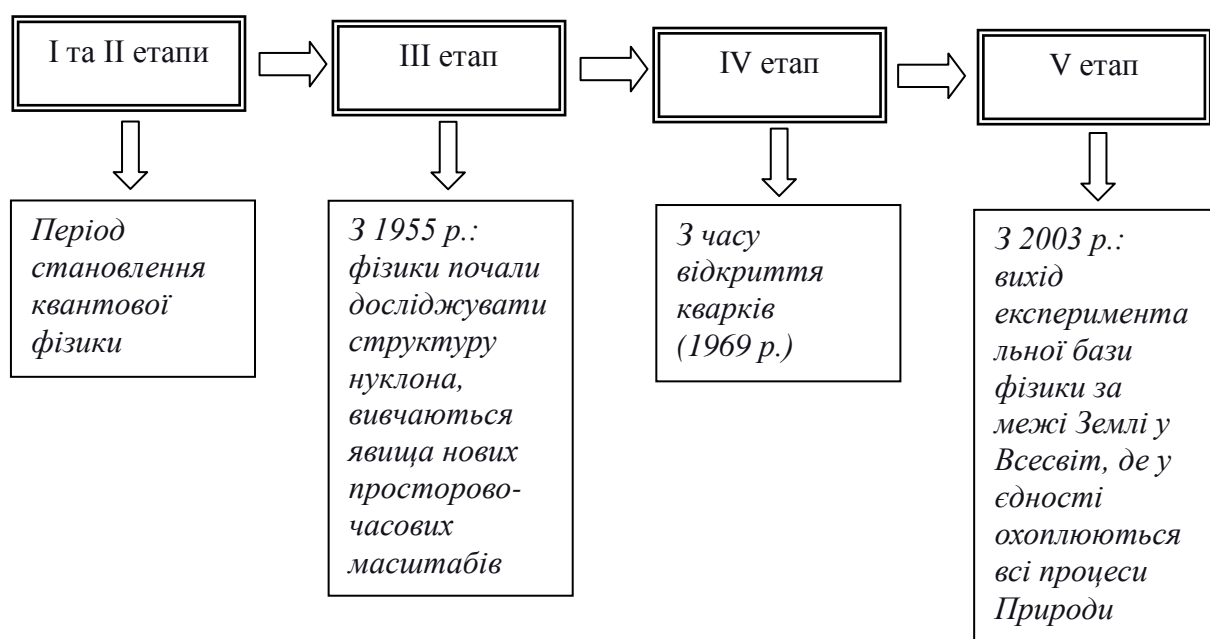


Рис. 3. Етапи розвитку сучасної фізики

В цьому зв'язку зміна дослідницьких програм відбувалась за схемою: механічна програма → електропольова → релятивістська → квантова → вакууму → струн → Всесвіту.

В свою чергу періодизація розвитку понять квантової фізики відбувалась за схемою: передісторія фізики (III ст. до н.е.–XVI ст. н.е.) → становлення фізики як науки (XVII ст.) → розвиток класичної фізики (XVIII–поч. XX ст.) → розвиток атомної, суб'ядерної фізики, фізики полів і елементарних частинок (1905–2002 р.р.) → вихід досліджень на рівень субмікросвіту та Всесвіту (з 2003 р.).

2. ПЕРЕДІСТОРІЯ ФІЗИКИ

2.1. Передісторія фізики (досократівський, іонійський, елінійський, римський періоди).

2.2. Характер науки античності.

2.2.1. Натурфілософські уявлення древньогрецьких учених.

2.2.2. Натурфілософія Фалеса. Мілетська школа.

2.2.3. Гераклітська наукова школа.

2.2.4. Елейська натурфілософська школа. Атомістика (Ксенофан, Анаксагор, Левкіпп, Демокріт).

2.2.5. Піфагорійська філософська школа (Піфагор, Самоський).

2.2.6. Погляди Сократа і Платона

2.2.7. Наукові уявлення Арістотеля.

2.2.8. Елліністичний період розвитку натурфілософії (Стратон, Епікур (епікурейська школа) Лукрецій, Птоломеї).

2.2.9. Наукова школа стоїцизму та школа скептицизму.

2.2.10. Розвиток древнє грецької науки у передримський період (Евклід, Архімед, Аполоній, Ератосфен, Гіпартх).

2.3. Римський період розвитку науки.

2.4. Фізика на арабському середньовічному Сході.

2.5. Західноєвропейський період розвитку науки. Фізика середньовіччя.

2.5.1. Виникнення нової апріорної фізики. Зародження експериментального методу дослідження природних явищ та процесів Р. Бекона.

2.5.2. Епоха Відродження. Дослідження Леонардо да Вінчі.

2.5.3. Значення робіт М. Коперника «Про обертання небесних сфер» для розвитку природознавства. Наукові погляди Джордано Бруно.

2.5.4. Наукові та філософські погляди І. Кеплера.

2.5.5. Натурфілософські погляди Г. Галілея.

2.5.6. Зародження наукових товариств та академій.

2.5.7. Натурфілософська концепція Р. Декарта та його послідовників.

2.5.8. Становлення нових областей фізики у XVII ст. як фундамент формування основ класичної фізики.

2.5.9. Історична роль Х. Гюйгенса як пропедевтика становлення класичної фізики.

2.5.10. Зародження теоретичної фізики І. Ньютоном.

2.1. Передісторія фізики (досократівський, іонійський, елінійський, римський періоди)

У розвитку науки можна виділити вісім основних періодів (дод. Б):

I. Досократівський період формувався від XXV до злому VII–VI століть до нашої ери, власне до початку грецького наукового мислення.

На той час домінуючою була піроцентрична система Всесвіту Філолея і переважав інтуїтивний метод дослідження, ірраціональне пізнання.

II. Іонійський (класичний) – з половини V до III ст. до н.е. Він характеризується впливом і діяльністю Сократа, Платона, Арістотеля. Утвердилась філософія Фалеса та Піфагора, набула ваги наукова ідеологія Піфагора. В цей час були написані наукові праці та здійснені дослідження Архімедом, Аполлонієм, Евклідом, Самоським та ін. (дод. В). Аналіз древніх джерел говорить, що до Платона грецькі філософи не цікавились власне фізичними питаннями, тобто окремими явищами природи та властивостями конкретних предметів. Вони намагались дослідити першопочаток усіх речей у світлі загальної проблеми світосприймання без знання конкретних законів природи [64, с. 8]. Тому їх світоглядні побудови більше цікаві з точки зору історії філософії ніж історії фізики. Проте для історії фізики немає іншого джерела вивчення стану пізнання природи в ранні часи.

III. Еліністичний (Олександрійський) – III–I ст. до н.е. На відміну від класичного періоду створення наукових систем у цей час виникає цілий ряд наукових напрямків та наукових шкіл. На зміну піфагорійської філософії поступово приходять перипатетична філософія Арістотеля та елінійська натурфілософія, поряд з геліоцентричною системою Всесвіту Самоського утверджується геліоцентрична система Птолемея та Арістотелева наукова ідеологія. Яскравим представником цього періоду є Епікур. Третє століття до н.е. характеризується найбільшою кількістю відомих у старому світі вчених-мислителів (дод. В). Елінійський період розвитку був вершиною розвитку наукової думки. У цей час наука почала приносити деяку користь техніці і в свою чергу збагачуватись за її рахунок [64, с. 7]. У Європі цього рівня було досягнуто лише у XV–XVI ст.

IV. Римський період – II–I ст. до н.е. – V–VI ст. н.е. Характерним для нього є досить прискорений занепад і згортання розвитку науки, як наслідок наростання суспільних суперечностей у Римській імперії. На зміну рабовласництва приходять феодалізм і нова християнська філософія.

V. Арабський період – VII–XII століття. Залишки надбання античної науки перемістились на Близький та Середній Схід (дод. В).

VI. Західноєвропейський період (XII, XIII–XIX ст.) настає з поступовим розвитком промислового виробництва (дод. В).

VII. Індустріальний період – XIX–XX ст. Для цього періоду є характерним розвиток науки не у обмежених регіонах, а в усіх державах світу.

VIII. Еколого-гуманістичний XXI ст. Розвиток виробництва, а відповідно і науки набули таких масштабів, що перед суспільством Планети назріли три глобальні проблеми: екологічна, проблема миру та народонаселення. В цих умовах філософія та ідеологія науки набуває нового змісту.

2.2. Характер науки античності

Людина добуває знання про оточуючий світ у щоденній боротьбі за існування. Спочатку випадково первісні люди брали у руки палку чи камінь для захисту або добування їжі. Після усвідомлення необхідності використання знаряддя праці, людина перейшла до їх виготовлення та удосконалення. Тисячі років пройшло у такому удосконаленні поки сформувалась свідомість людини.

Перші знання про фізичні явища з'явилися одночасно з появою свідомої діяльності людини. За словами Ф. Енгельса «жодна рука мавпи не виготовила будь-коли хоч би самого грубого дерев'яного ножа» [142, с. 133]. Накопичення емпіричних знань, виявлення закономірностей розвитку того чи іншого явища, процесу здійснювалось через практичну діяльність людини: удосконалення обробітку каміння, дерева, кістки, пізніше металу, розвиток текстильної, гончарної справи, будівництва, вивчення технології охоти та війни тощо. Оволодіння вогнем було важливою подією у розвитку людини. Вогонь став чи не першим засобом, який дозволив перейти людині від простого використання надбань природи до активного її перетворення для задоволення життєвих потреб. Виникли перші антропологічні пояснення оточуючого світу: сонце ходить небозводом, місяць дивиться і т.д. На ранніх стадіях розвитку людини її мислення було конкретним. У мові північноамериканських гуронів дієслово «їсти» має різне значення у залежності від того, яку їжу вживають, а дієслово «бачити» – в залежності від того, чи бачить той хто говорить людину чи камінь. У північноамериканських індіанців існує

багато назв форм хмар, які не перекладаються. Особливу назву має Сонце, яке світить через хмари. У лапландців є 20 назв льоду, 11 – для холоду, 41 – для снігу, 26 – для заморозків та відлиги. У племен південної Африки є різне позначення видів дощу. Маючи виключну спостережливість до оточуючого середовища, ці люди володіють примітивним абстрактним мисленням. У них пам'ять домінує над здатністю абстрактно мислити. Складна архаїчна англійська система мір швидше засвоюється африканськими племенами, ніж загальний принцип побудови метричної системи [83, с. 12]. Для проходження шляху від конкретного до абстрактного мислення пройшло немало часу. Прогрес людської свідомості полягає в очищенні мислення від фантастичних домішок і викривлень. Процес наукового абстрагування проходив у неперервному подоланні ірраціональних елементів первісного мислення.

У міру розвитку суспільства і суспільної праці виникли передумови для створення стійкої цивілізації. Накопичувались наукові факти, бо розвивалось виробництво. Вирішальну роль тут відіграло землеробство та тваринництво. У місцях стійких врожаїв з року в рік утворювались поселення, міста, а пізніше держави. Такі умови виникли, зокрема, на території північної Африки, в долині річки Ніл, у міжріччі Тигру та Євфрату. У цих географічних регіонах у IX–VI тисячолітті до нашої ери первіснообщинний суспільний устрій розпадався. В цей час розвиток техніки знаходився на низькому рівні, проте хоч і примітивна техніка, але вона була і сприяла більш-менш швидкому накопиченню наукових знань та вимагала, хоч і у малій мірі, застосування наукових знань про природу.

З розвитком рабовласницького суспільного устрою виникла група людей, які були здатні фіксувати наукові знання про природу, усвідомлювати їх, приводити у систему і намагались певною мірою розкрити зв'язки і закономірності явищ природи. Розвиток продуктивних сил закономірно вимагав накопичення наукових фактів, спостережень, які поступово узагальнювались мислителями. Так зародилась наука – спочатку у вигляді окремих знань з астрономії, філософії. Економічні проблеми, викликані практичним життям людей, вимагали передбачень, узагальнення досвіду, астрономічних спостережень, які немислимі без математики та механіки. Стрімко розвивалось суднобудування, військова справа. Про безмежність Всесвіту висловився китайський мислитель Лю

Цзя (IV ст. до н.е.).

Розвиток астрономії був викликаний насамперед необхідністю визначати і вимірювати час. Для розвитку землеробства та скотарства необхідно було знати час доби, визначати початок і кінець робіт. Це вимагало знати пори року, коли наступить зима, засушливі та дощові періоди. Людям нічого не залишалось як звернутись до вивчення положення та руху небесних тіл, скласти календар. Особливу роль астрономія відіграла у Єгипті, де все господарство залежало від уміння передбачити розлив Ніла. Розвиток судноплавства, сухопутних подорожей був у прямій залежності від розвитку астрономії.

Другою древньою наукою є математика. Початки її виникли досить рано у Вавилоні, Єгипті, Індії, Китаї у XX–XV ст. до н.е. Ще за первіснообщинного устрою виникло поняття числа. Практичні задачі життя людей: уміння вести розрахунки при обміні, сплаті податків привели до виникнення систем рахунку. У Древній Індії виникла десятинна система, перші чотири арифметичні дії, найпростіші алгебраїчні рівняння. Одночасно виникає геометрія. Вона викликана необхідністю вимірювати земельні ділянки, об'єми, а також потребами будівництва.

Природознавчі науки, в тому числі і фізика, окремо не склались, а природничі знання фрагментарно входили до філософії. У країнах Близького Сходу були відомі важіль, похила площина, блок, клин, гвинт. У Єгипті – зубчата передача. У індусів можна зустріти уявлення про великі масштаби світового простору і часу, які відрізняються від біблейських уявлень космогонії.

Таким чином, східна, вавилонська та єгипетська наука виникали з потреб практики. Теоретичне мислення китайців, індусів, арабів, єгиптян та вавилонців не виходило за рамки анімізму і міфології. Монополія на пояснення тайн належала жерцям, які одночасно були вченими і священиками, пов'язували у єдине наукові знання і фантастичні, релігійні уявлення про оточуючий світ. Вони вчили, що рух і положення небесних тіл керує життям людей на Землі.

Пізніше древні греки зуміли підняти над цим рівнем і розуміли природу без залучення божої сили та таємності. У древній Греції людський розум вперше усвідомив свою силу і люди стали займатись

наукою не лише тому, що потрібно, але й тому, що цікаво. Перші вчені стали називатись філософами – «любителями мудрості». Виникла потреба в учителях мудрості. З'явилися професії ученого та учителя. Академія Платона і Лікей Арістотеля були першими у світі навчально-науковими закладами подібними до нинішніх вищих навчальних закладів.

Грецька антична філософія сформувалась у VII–VI ст. до н.е. і відноситься до епохи розквіту міст у Малій Азії. Іонічні міста Мілет та Ефес, острова Середземного моря, грецькі колонії у південній Італії були ареною діяльності грецьких учених. Грецька наука зародилась в період інтенсивного політичного і економічного життя, виступів народу (демосу) проти панування аристократичних родів. За своїм характером і спрямованістю змісту, вона відрізняється від древніх східних наукових систем і є першою в історії людства спробою раціонального пізнання оточуючого світу.

Наукові роботи «досократівських» філософів збереглися лише у фрагментах завдяки цитуванню і критики їх більш пізнішими античними авторами. Із таких фрагментів важко виділити цілісні наукові погляди. Нерідко одна і та ж цитата формулюється або трактується різними авторами по-різному.

Антична епоха багата відкриттями. В історію науки ввійшли найбільш відомі мислителі Арістотель, Архімед, Евклід (дод. В).

Після падіння Римської імперії антична наука зазнала занепаду і науковий центр спочатку перемістився в арабські країни, а в XII–XIII ст. – в Західну Європу.

Наступним етапом у становленні і розвитку науки було виникнення і розвиток древньої філософії або натурфілософії (дод. Б). Натурфілософія виникла майже одночасно у Індії, Китаї та древній Греції. Проте на наступний розвиток фізики найбільше вплинула древньогрецька натурфілософія. Вона виникла у VI ст. до н.е. у часи розквіту грецького рабовласницького суспільства, яке створило умови для її розвитку. У самих ранніх філософських системах древньої Греції були зроблені перші спроби узагальнити всі накопичені знання про природу, зв'язати їх у єдину картину світу (дод. В). Ця картина світу уже носила науковий характер і не будувалась на фантастичних і релігійних уявленнях. Древні філософи мали примітивні знання про природу. Їх вони черпали

здебільшого з астрономії, геометрії, математики та частково з повсякденного життя і виробництва. Не дивлячись на значний розвиток судноплавства, військової справи, будівництва рівень науки був дуже низький. Праця була ручною, робочих машин не існувало. Основну роль у техніці відігравали прості механізми: важіль, рівень, висок, поліспасть (використання великої кількості блоків та канатів), похила площина, коловорот тощо. За таких умов неможливо було побудувати картину світу, яка б відображала дійсні процеси природи. Проте древні філософи побачили у всьому багатоманітному світі діалектику речей і явищ, які потім стали спрямовуючими у природознавстві і філософії. Древнім належать такі фундаментальні ідеї як ідея про матерію, про незнищеність матерії і руху, про загальну причинність, про атомну будову речовини, відносність механічного руху тощо.

Широкий комплекс практичних знань і технічних навичок, високий культурний і освітній рівень, досконала мова, уточнена у філософських і математичних дослідженнях VI ст. до н.е. – створили міцне підґрунтя у Греції для початку роботи з опису, упорядкування і пояснення явищ природи. Практичні знання і технічний досвід прийшли до Греції від народів ще більш древньої культури – Вавилону, Єгипту. Більш древніші наукові досягнення Сходу напевне мало вплинули на розвиток античної науки. У більшості історичних джерел такого зв'язку не виявлено. У розвитку античної науки виділено два періоди підйому: VI та III ст. до н.е.

2.2.1. Натурфілософські уявлення древньогрецьких учених

З відомих причин антична наука зародилась і розвивалась як філософська. У багатообразній грецькій філософії є всі типи світосприймання. Тому, щоб простежити історію виникнення і розвитку теперішніх загальних наукових положень, необхідно повернутись до греків [144, с. 25]. Якщо порівняти вчення древніх Сходу та греків, то грецька наука виявляється своєрідною ланкою історичного розвитку, і якраз антична наука лягла в основу наступної еволюції європейського природознавства. Майже у всіх грецьких авторів можна знайти тенденції звернення до природи, космосу.

Центрами наукової думки були античні міста Мілет, Ефес, Тиру, Феодосія, Херсонес, Ольвія, Пантікапей, малоазійське узбережжя

Середземного моря і острова, що прилягають до нього. Міста Мілес, Ефес, як і острови Хіос, Самос населені іонійськими племенами греків були розташовані на стику торгівельних шляхів сходу з країнами Середземномор'я. Виробниче, торгове і культурне життя формувало античне мислення, у якому досить чітко виступає ідея розвитку. Проте підхід міфології та філософії до даної проблеми докорінно різні. Виникнення філософії пов'язано з певним рівнем абстрактного, раціонального мислення, яке здатне відобразити дійсність іншим способом, ніж за допомогою алегорії або міфологічної персоніфікації. Фундаментом грецької філософії є проблема – що є основним принципом світу (чи космосу) і які принципи чи сили визначають його розвиток.

Проблема першопричини є основною в онтології давньогрецьких філософів. У цьому розумінні філософія перекликається з міфологією і наслідує її світоглядну проблематику. Міфологія намагається розв'язати проблему за принципом – хто народив сутність. Філософи ведуть пошук субстанції початку за принципом – із чого все виникло [93]. Для визначення першооснови, з якої виникло все інше, у грецькій філософії вживається два терміни: «стойхейон» – ядро, основа у логічному розумінні слова і «архе» – першоматерія, праматерія, вихідний стан речей, найдавніша форма в історичному розумінні слова [64]. Крім проблеми першооснови майже всі досократовські філософи звертались до проблеми пояснення природних явищ, руху, а деякі з них і до проблеми пізнання.

До основних шкіл досократівської філософії відносяться: мілетська, гераклітська, елейська, піфагорська.

Сам термін «фізика» виник у греків. Проте у античну епоху він мав зміст загального вчення про природу. Первинне значення слова «місіс» – те, що первинне, стійке, що лежить в основі речей, в протилежність вторинному. «Фісіс» відповідає китайському поняттю «дао», як стійкому закону.

2.2.2. Натурфілософія Фалеса. Мілетська школа

Мілетська школа відома як перша філософська школа. У ній вперше свідомо було поставлено проблему про першооснову всього суцього. Представники школи по-різному розглядали те чи інше запитання, але їх погляди сходились у тому, що основу світу вони вбачають у певному

матеріальному принципі [93].

Проблема співвідношення матеріального і духовного принципів постала значно пізніше (дод. В). Разом зі стихійним матеріалізмом у мисленні філософів цієї школи почала виникати діалектика з допомогою понятійних засобів та динаміки їх розвитку і змін.

Першим представником мілетської школи був **Фалес** із Мілета (640–562 р.р. до н.е.). Основою всього він вважав воду. Ця думка виникала і у дофілософський період. Воду він розумів не як конкретну форму або персоніфікацію міфологічної сили, а як аморфну, матерію, що розтікається. Арістотель поняття води у



Рис. 4. Фалес Мілетський



Рис. 5. Анаксимандр

розумінні Фалеса пояснював з двох точок зору: вода як елемент матерії, стихія природи і вода як першооснова, загальне, субстракт всіх речей, видозміна якого дає різні стани. Все інше виникає шляхом «згущення» або «розрідження» цієї першоматерії. Фалес стверджував, що все виникає з води і перетворюється у воду. Його стиль мислення визначався різносторонніми знаннями з астрономії, геометрії, арифметики.

Від Фалеса беруть початок знання з електрики і магнетизму (дод. В). Він описує властивості натертого янтарю притягувати легкі тіла і властивості магніту притягувати залізо. Пояснення цього він здійснював на основі уявлення про існування душі у магніту і янтарю. Збереглась його фраза «у всьому повно богів і демонів».

В галузі астрономії вчений описав декілька сузір'їв і передбачив сонячне затемнення 585 р. до н.е., хоч пояснення цього явища не дав. Відкриття періодичності затемнень дали вавилоняни дещо пізніше. За Фалесом Земля має форму плоского диска.

Подібно до Фалеса до матеріалізму мав тягу **Анаксимандр** (611–546 р.р. до н.е.). Він стверджував, що першопочаток є необмежене, невизначене у просторі та часі «апейрон» (першоречовина), і не визначав

його ні як повітря, ні як воду [144]. За його уявою Земля має форму циліндра. У Анаксимандра вперше зустрічаємось з усвідомленням протилежностей відносно розвитку.

Відомим мілетським вченим є **Анаксимен** (585–524 р.р. до н.е.). До першооснови світу він відносив певний вид матерії. Такою матерією він вважав необмежене, безмежної непевної форми повітря. За ним розрідження повітря є причиною полум'я, згущення викликає вітри, хмари, воду, землю, каміння. Згущення і розрідження розуміються як основні, взаємно протилежні процеси, які беруть участь в утворенні різних станів матерії. Земля у Анаксимена має плоску форму стола.



Рис. 6. Анаксимен Мілетський

2.2.3. Гераклітська наукова школа

З іменем **Геракліта** із Ефеса (540–480 р.р. до н.е.) пов'язано створення **гераклітської наукової школи** Древньої Греції. Збереглося близько 130 фрагментів із його праць. До природних явищ Геракліт відносив вітер, блискавку, грім, веселку й ін. Основою всього він вважав вогонь. В його розумінні вогонь подібний праматерії – архе, і є основним елементом – стойхейрон. З іншої сторони вогонь є найбільш адекватним символом динаміки розвитку [93]. Центральним мотивом вчення Геракліта був принцип – все тече. Одна матерія за його поглядами, живе смертю другої. У Геракліта є розуміння сучасного змісту принципу детермінізму – загальної зумовленості всіх подій і явищ. Все править долею чи необхідністю – нике. З поняттям необхідності тісно пов'язане розуміння закономірності – закону – логос. Світ, праматерія і логос існують об'єктивно, незалежно від людської свідомості.

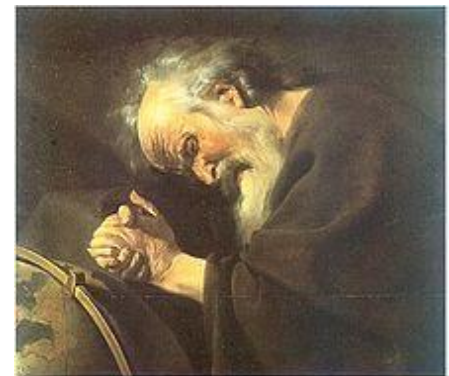


Рис. 7. Геракліт Ефеський

Що стосується пояснення затемнень, то за Гераклітом Сонце має форму чаші, у якій накопичуються промені вологих випаровувань.

Затемнення буває тоді, коли чаша повертається до нас своєю випуклою стороною, повертаючи увігнуту сторону вверх.

Геракліт висунув теорію, згідно з якою Меркурій і Венера рухаються навколо Сонця, а Сонце у свою чергу рухається разом з іншими планетами навколо Землі.

Геракліт один з перших звернув увагу на характер людського знання. Пізнання він розглядав як намагання зрозуміти сутність – логос. Він відрізняв «багатознання» та істинну мудрість. «Багатознання», на відміну від істинної мудрості не сприяє дійсному пізнанню принципів світу. Людська душа – психе – підкорена логосу.

Гераклітова наукова школа не є цілісною теоретичною системою діалектичного підходу до світу. Швидше вона є інтуїтивним поясненням сутності ознак діалектики. Найбільш визначним учнем Геракліта був Кратил.

П'яте століття до нашої ери є часом максимального підйому економіки і соціально-політичного життя Греції. Рабовласницький лад вступив у стадію свого розквіту. Значно диференціювалась праця, зросла роль вільних висококваліфікованих робітників. На той час Греція складалась з Азійської і Європейської частин. Невелика роздроблена Азійська Греція відстоювала свою свободу і незалежність від Персидського царства, яке створив Кір і Дарій Гістапс. Персія завоювала майже всі держави древнього Сходу. У 494 р. до н.е. штурмом було взято головне місто Азійської Греції – Мілет. Така доля чекала і Європейську Грецію. Війська персів та фінікійський флот пішли на завоювання Еллади. Після цілого ряду невдач при Марафоні (490 р. до н.е.), Саламіні (480 р. до н.е.), Платеях (479 р. до н.е.) перси були вимушені відступити. Малоазійські грецькі міста, в тому числі і Мілет, були звільнені. Персидська війна високо підняла самосвідомість народних мас. Наступило п'ять десятиріч (480-430 р. до н.е.), протягом яких «грецький геній» розкрив усі свої можливості та досяг максимального розквіту. Його особливості полягали у тому, що були відкриті всі шляхи для розвитку і самовияву. В цей час виник цілий прошарок людей – софістів або «мудрих людей», які за плату навчали риториці, філософії, математиці й астрономії. Аристократичний союз піфагорійців, з перемогою демократії, зазнав гоніння. Їх будинок засідань було спалено. Вчені втікали до Афін.

Піфагорійці перестали зберігати у таємниці своє вчення. Потреба змусила їх, раніше багатих членів союзу, шукати у щоденному викладанні афінським юнакам засоби до існування. Та і сам «дух» афінського життя вимагав, щоб все було явним. У свій час Гіпократ із Хіоса був виключений із союзу за те, що викладав геометрію за гроші. Тепер це робили майже всі члени союзу. Математика, природознавчі науки одержали поширення і розвивались швидкими темпами.

Афінська держава досягла кульмінаційної точки демократії, яка можлива у рабовласницькому ладі. Значних успіхів досягла матеріалістична наука. Передова філософія похитнула установлені традиційні релігійні вірування. Такі умови супроводжували класичний період розвитку науки.

2.2.4. Елейська натурфілософська школа. Атомістика (Ксенофан, Анаксагор, Левкіпп, Демокріт)

Ксенофан із Колофона (565–470 р.р. до н.е.) є ідейним провідником елейської школи. Він визнає матеріальність світу і вважає його незмінним, був схильний до натуралістичного пояснення природних явищ. Бог у нього є поняттям, що символізує необмеженість і безмежність матеріально світу як у просторі, так і у часі. Поряд з абстрактною єдністю допускаються прояви багатообразності світу. Ксенофан визнає зміни і рух лише як виникнення і загибель світу, розуміючи його як внутрішню незмінну цілісність.

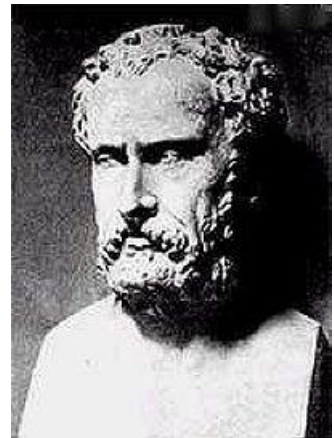


Рис. 8. Бюст Ксенофана

Онтологічні погляди Ксенофана тісно пов'язані з його розумінням пізнання. Почуття не можуть



Рис. 9. Анаксагор

дати основу істинного пізнання, а ведуть лише до уявлень. Почуття ведуть до переконання, що світ багатообразний і змінюється. Такий скептичний підхід до чуттєвого пізнання став характерним для всієї елейської школи.

У V ст. до н.е. центр науки перемістився до Афін. Було збудовано знаменитий

Акрополь (в епоху Перикла). Скульптор Фідій створював статуї, драматург Софокл писав трагедії. Тут навчався математик Гіпократ. Філософ і фізик **Анаксагор** (500–428 р.р. до н.е.) стверджував, що Місяць і Сонце, планети і зірки мають не божу природу, як стверджували єгиптяни і греки, а є розігрітим камінням, яке відірвалось від Землі. Можливо такий висновок вчений зробив на основі власних спостережень за падінням великого метеориту біля м. Егоспотам у 467 р. до н.е. Пізніше легенда приписала йому передбачення цього падіння. У 434 р. до н.е. Анаксагор був оголошений безбожником і був змушений покинути Афіни. За твердження про матеріальність небесних тіл його вигнали із Афін і він переїхав до Малої Азії.

Розвинуту форму вчення древніх атомістів одержало у Левкіппа і його учня Демокріта. Пізніше цей філософський напрямок продовжував розвивати давньогрецький філософ Епікур, римський філософ Лукрецій (дод. В).

Левкіпп (500–440 р.р. до н.е.) – давньогрецький філософ-матеріаліст. Засновник античного атомістичного вчення.

Філософія Левкіппа вперше поєднує поняття «буття» з поняттям «першоелемент» у понятті про атом – неподільну частинку, яка рухається в порожнечі. Про Левкіппа не збереглося майже жодних відомостей, однак про Демокріта, його видатного учня, існує досить велика кількість суперечливих фактів.

Діяльність **Демокріта** з м. Абдери (460–370 р.р. до н.е.), за свідченнями античних авторів, була спрямована на розвиток вчення Левкіппа. Тому вчення про атомізм розглядається як теорія Левкіппа-Демокріта. В ній зберігається елейська концепція вічного, сталого і непорушного буття (як і самі атоми). Зберігається і характер чуттєвого існування (лише в уяві, а не в думці) розмаїття навколишнього світу: «Лише в уяві існує колір, солодке, гірке. Насправді ж існують лише атоми і порожнеча». На відміну від елеатів, змушених заперечувати реальність даного в чуттях руху, Демокріт приймає ідею Емпедокла і Анаксагора про множинність фундаменту світу. Поділ дійсності на нескінченну множину

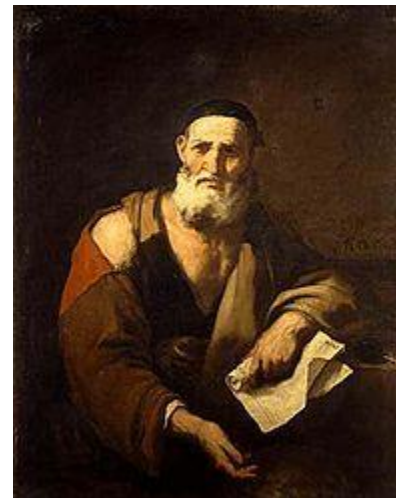


Рис. 10. Левкіпп

атомів (неподільні елементи), однакових за своєю структурою, але відмінних за формою, вагою, і нескінченну порожнечу як реальну умову руху атомів, дає змогу теоретично розв'язати проблему єдиного буття і різноманітності даної в чуттях дійсності. В понятті атома знаходить своє відносне завершення принцип індивідуалізації (розділення на нескінченну множину часточок, серед яких немає жодної абсолютно тотожної іншій) цілісно-мінливого (у іонійців) або цілісно-незмінного (у елеатів) Космосу.

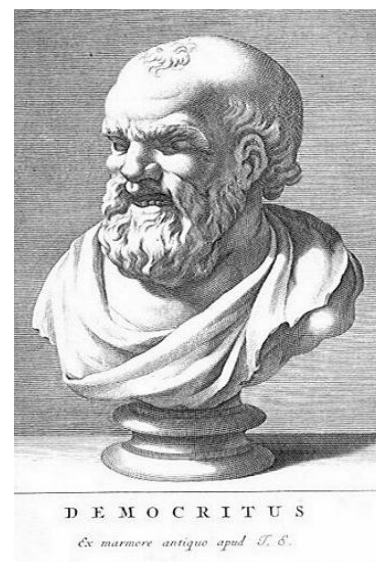


Рис. 11. Демокріт

Атоми рухаються і утворюють найрізноманітніші з'єднання, які сприймаються людьми як різні речі, процеси, що виникають і зникають. Але це розмаїття, стверджує Демокріт, удаване: немає різних речей, процесів, є лише різні з'єднання одних і тих самих атомів. Атомізм можна розглядати як філософське усвідомлення реальної життєвої ситуації в рабовласницькому суспільстві, адже атоми тотожні своєю неподільністю і відрізняються лише зовнішньою, тілесною формою, як і люди тотожні в своїй «людяності», але різні за зовнішністю. Ці атоми рухаються відповідно до необхідності в порожнечі, так і люди рухаються відповідно до свого місця в суспільному житті. Соціальний підтекст атомістичної теорії яскраво демонструє римський переклад грецького слова «атом» – «індивід».

Демокріт написав немало наукових творів, але вони не дійшли до наших днів. Про них можна судити з цитат та посилань інших авторів. Відтворено основні його ідеї: ідея про вічний рух та ідея, що у світі діє чітка причинність і необхідність. Принципами Демокріта є:

1. Принцип причинності – із нічого не виникає нічого. Існуюче не може бути зруйнованим. Всі зміни проходять завдяки з'єднанню і розкладанню частин.

2. Ніщо не здійснюється випадково, але все здійснюється на якійсь основі і з необхідністю.

3. Не існує нічого, крім атомів і чистого простору, все інше – лише уява. Сама душа складається з атомів як і боги.

4. Атоми нескінчені за числом, нескінченно різноманітні за формою. У вічному падінні через нескінчений простір великі, які падають швидше, ударяють менші; виникають із цього бокові рухи і вихори, які є початком утворення світу. Одна множина світів утворюється, інша зникає у певній послідовності.

5. Відмінність між речами зумовлена відмінністю їх атомів у числі, величині, формі та порядку; якісної відмінності між атомами не існує. В атомі не існує ніяких внутрішніх станів; вони діють один на другого лише шляхом тиску і удару.

6. Душа складається із тонких, гладеньких і круглих атомів, подібних атомам вогню. Ці атоми найбільш рухомі, і рух їх поширюється у тіло, при цьому виникають всі життєві явища [50, с. 11].

Одночасно Демокріт був відомим математиком.

За Демокрітом – існує множина світів, які різні за величиною. В одних немає Сонця, Місяця, в інших є, але вони більші. Земля і світила є кулеподібні, що дало змогу наблизитись до наукового пояснення місячних і сонячних затемнень.

2.2.5. Піфагорійська філософська школа (Піфагор, Аристарх Самоський)

Майже одночасно з матеріалістичними уявленнями іонійців виник ідеалістичний напрямок у філософії, основоположником якого вважається **Піфагор** (580–500 р.р. до н.е.) та його учні – **піфагорійська школа**. З іменем Піфагора пов'язано немало легенд. Тому нерідко історики науки та філософії вважають самого Піфагора міфічною особистістю. Проте збереглося немало бібліографічних даних про вченого [50, с. 9]. Уродженець острова Самос, брав участь у політичній боротьбі аристократів і демократії на стороні аристократії. Після поразки аристократів змушений переселитись до Італії, де за одними переказами був убитий, а за іншими – помер. Проте піфагорійська школа продовжувала існувати. З нею пов'язані імена Філолея (кін. V–поч. IV ст. до н.е.), філософа Сократа, астронома

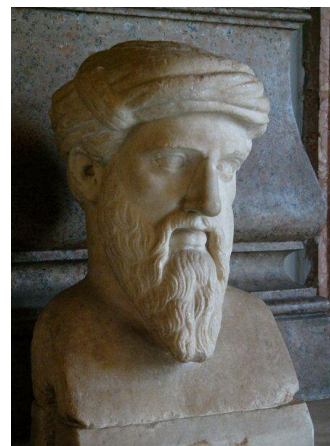


Рис. 12. Бюст Піфагора в Капітолійському музеї у Римі

Аристарха Самоського (кін. IV–перша половина III ст. до н.е.).

Основою піфагорійської філософії було вчення про божу роль чисел, які керують світом. Піфагорійці надавали числам містичні властивості, інтерпретували окремі числа як загальні символи: один – загальний першопочаток, два – початок протилежності, три – символ природи тощо. За їх уявленнями



Рис. 14. Піфагор на фресці Рафаеля (1509 р.)

будь-яка річ чи явище світу можна виразити числами. З розвитком науки ідеологія піфагорійської школи зазнавала все більших труднощів. Так як вони знали лише раціональні числа, то несумісність діагоналі квадрата з його стороною пояснення не мала.

Одночасно ідея піфагорійців про важливість числових відношень у природі носить раціональне зерно. Кількісний аналіз, математичне співвідношення сьогодні складає

основу наукового опису природи. Прикладом такого опису є співвідношення гармонічних інтервалів довжин хвиль з числами як 2:1; 3:2; 4:3 і т.д.

Землю піфагорійці уявляли як рухому і кулеподібну. Вони висунули піроцентричну систему, в якій Земля, Сонце, Місяць, «протиземля» і 5 планет (відомих на той час) рухаються навколо центрального вогню. Так як священне число є 10, то піфагорійці ввели додаткове небесне тіло – «протиземля». Така догма приводила до помилкових гіпотез.

Аристарх Самоський (бл. 310–230 р.р. до н.е.) на місце центрального вогню помістив Сонце і відмовився від «протиземлі». Так була побудована перша модель геліоцентричної системи. Напевне ця модель не була відома М. Копернику. У своїх працях вчений посилався на



Рис. 13. Монета з зображенням Піфагора

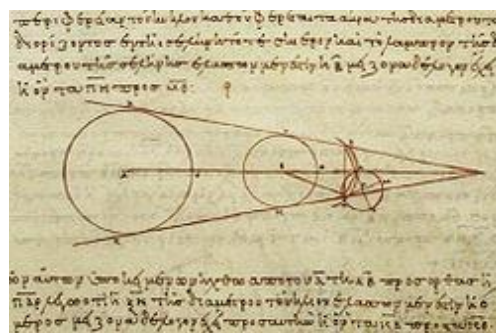


Рис. 15. Схема, що пояснює визначення радіуса Місяця по методу Аристарха (візантійська копія X ст.)

піфагорійця Філолая, який описав рух навколо центрального вогню.

Після поразки афінської демократії (пелопоннеська війна 431–404 р.р. до н.е.) сталися значні зміни в усіх сферах життя, що не могло не вплинути на розвиток класичного періоду науки, який поступово перейшов у еліністичний період. Виникла ворожнеча ідеологічних напрямків. У науці розпочалась спеціалізація наук, що значною мірою звільнило природничі науки від прямого і безпосереднього впливу філософських шкіл і напрямків, яких вони зазнавали раніше.

Атомістична школа мала місце у період розквіту Афін. Ідея первинної матерії викликала труднощі при поясненні багатобразності речей і походження змін у світі. Елеати розв'язали цю трудність шляхом допущення однорідності та незмінності світу.

Проте такий шлях викликав суперечність з повсякденним досвідом і не є науковим. Усунути суперечність зміг **Емпедокл** (490–430 р.р. до н.е.). Він жив у м. Агригента на острові Сіцилія і висунув концепцію елементів, з яких побудовано Всесвіт. Передбачалось чотири матеріальних елемента: вогонь, повітря, вода і земля. Ці елементи є вічними і змінюються чисельно через з'єднання та розпад. Причиною змін у природі є дія притягання та відштовхування (Любов та Ворожнеча). Всі елементи вічні і непорушні.

Вони залишаються самі собою. Вони не можуть зникнути. Вічність елементів, а відповідно і Всесвіту обумовлена принципом Емпедокла: «Нічого не може виникнути ні з чого, і ніяк не може те, що є, зникнути». З цього принципу починається закон збереження.

У атомістів визнано принцип збереження. Новим моментом є наявність пустоти чого не було у іонійців, піфагорійців та еліатів. У піфагорійців світовий простір заповнено пустим холодним ефіром.

До видатних діячів того часу належить і **Ксенофонт** (444–356 р.р. до н.е.) – древньогрецький письменник, історик, афінський полководець і політичний діяч.



Рис. 16. Емпедокл із Агригента

2.2.6. Погляди Сократа і Платона

Матеріалістична система іонійців і атомістів витіснилась ідеалістичною філософією **Сократа** (469–399 р.р. до н.е.) і його учня **Платона** (427–347 р.р. до н.е.). Вони відкидали об'єктивне існування природи, активно закликали вивчати лише людину, як мислячу істоту. Розвивалось мистецтво діалогу, уміння логічно мислити, підвищився інтерес до обґрунтування математичних доведень. У працях Платона мали місце цікаві математичні та фізичні ідеї, але в історію науки він більше ввійшов як філософ-ідеаліст. Мислитель народився у Афінах у 427 р. до н.е. і у 20 років став учнем Сократа.



Рис. 17. Сократ і юний Ксенофонт (деталь фрески Рафаеля «Афінська школа» у Ватікані)

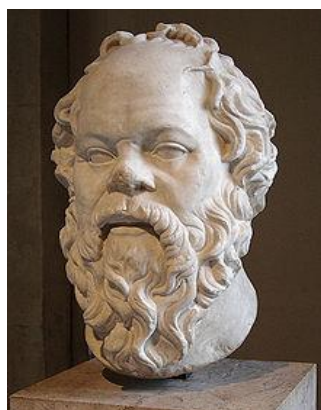


Рис. 18. Портрет Сократа роботи Лісіппа, що зберігається у Луврі

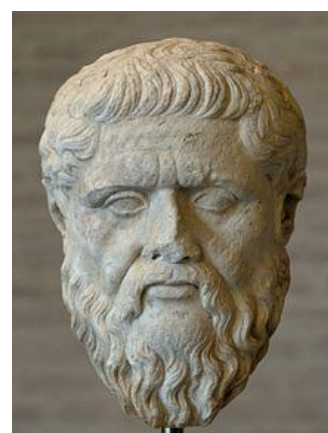


Рис. 19. Платон

Після смерті Сократа Платон навчався у Евкліда, потім переїхав до Італії, де через Архіта і Тімея познайомився з вченням піфагорійців. З Італії Платон переїхав до Африки, потім Єгипет, Персія, Сіцилія, де його за малим не забили проте потрапив у рабство. З рабства Платона викупив його учень Діон. У 388 р. до н.е. Платон заснував у Афінах «Академію», у якій викладав 20 років. Помер у 348 р. до н.е. Свою філософію Платон наповнював насамперед математикою [57, с. 22-23].

Чуттєво сприйнятому світу змінюваних речей він протипоставив світ незмінних ідей, недосконалим відбитком яких є матеріальні предмети. Цим він відділив наукове пізнання від чуттєвого досліду, від практики, які, на його думку, заважають дійсному оволодінню знаннями про предмет і нівелюють строгість наукового доведення. З його Академією були пов'язані імена математика Евдокса, астронома Геракліта Понтійського.

2.2.7. Наукові уявлення Арістотеля

В цей період суспільство потребувало систематизації наукових знань. Таке завдання було виконано школою **Арістотеля** (384–322 р.р. до н.е.).

Арістотель Стагірський народився у сім'ї Нікомаха, придворного лікаря македонського царя Амінти III. Син Амінти Філіп, батько Олександра Македонського, був товаришем Арістотеля. У свій час Арістотель був наставником майбутнього царя. Політичні негаразди Афін стали причиною їх поразки при Херонеї (338 р. до н.е.). Коринфінський конгрес визнав гегемонію Македонії над Афінами і Грецією. При підготовці до наступу на Персію Філіп був убитий. Багаторічні війни Олександра Македонського розширили межі імперії аж до Індії. Наступила нова ера в історії древнього світу.



Рис. 20. Арістотель

У вісімнадцятирічному віці Арістотель поступив на навчання до Академії Платона в Афінах. Разом з своїм учителем Платоном Арістотель працював 20 років. Після смерті Платона прибув до столиці Македонії Пелле у якості наставника Олександра Македонського. У 336 р. повернувся до Афін, де заснував свій Лікей. З Лікеєм пов'язана діяльність ботаніка і мінеролога Теофраста (372–288 р.р. до н.е.), теоретика музики Аристоксена та ін. Після смерті Олександра Македонського верх взяла антимакедонська партія. Арістотеля було вислано на острів Евбею, де він помер. В рік смерті Арістотеля антимакедонські сили були розгромлені.

У основному творі Арістотеля «Метафізиці» робиться огляд і критичний аналіз результатів наукових робіт його попередників. Напевне жоден з учених не зробив такого протяжного і глибокого впливу на розвиток людської думки як Арістотель (дод. Б, В). У середні віки за Арістотелем викладали природознавство в європейських університетах.

В арістотелевській «Фізиці» немає жодної математичної формули, опису приладів, дослідів, проте є досконала форма діалогу. Метод експерименту і математичного аналізу Арістотель відкинув. Такий підхід диктувався суспільними відношеннями того часу. Рабовласник цінував тонку гру думки. Арістотель був тонким спостерігачем і навіть хорошим

експериментатором, але у «Фізиці» про це нічого не написав. Тому «Фізика» була більше філософським трактатом ніж керівництвом з природознавства. У ній вчений обговорює загальні поняття науки про природу: поняття матерії і руху, простору і часу, розглядає проблему пустоти, вивчає первинні якості речей тощо. Арістотель визнає об'єктивне існування матерії. Матерія – первинний субстрат кожної речі, із якої виникають якісь речі. Матерією статуї є мрамур, дуба – жолудь. Щодо субстрату, то можна прийти до первинної субстанції – «першоматерії». Будь-яка річ – це єдність матерії та форми. Звідси виникло вчення Арістотеля про чотири діючі причини: матеріальну, формальну, продуктивну, кінцеву. Продуктивна причина – рух, кінцева – мета. Вчення про чотири першопричини стало основою для схоластики. У кінцевій меті Арістотель сходить на позиції ідеалізму. Природа у нього – подібна скульптору, який куску мрамору надає форму статуї.

Ідея Арістотеля про матерію, як про можливість і мету, знайшла своє підтвердження у сучасних уявленнях теоретичної фізики про віртуальні частинки і поля. Концепція мети, як програмування матеріальних процесів (жолудь намагається досягти мети – перетворитись у дуб), знайшла своє відображення у біології. У молекулах ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти) запрограмовано майбутній розвиток біологічного об'єкта.

Поняття руху Арістотель уявляє як загальну зміну. Механічний рух – один із видів руху. Час він пов'язує з рухом. Найбільш простий рух у Арістотеля – рух колом.

У «Фізиці» Арістотель ґрунтовно розглядає погляди своїх попередників – іонійців, еліатів, Анаксагора, Левкіпа і Демокріта на першопочаток світу. Він не згоджується з атомістами, які визнали пустоту і нескінчену кількість атомів та світів і пояснив це з точки зору логічної суперечності. Реальний світ скінчений і складається з скінченої кількості елементів. Другий аргумент проти пустоти Арістотель висуває виходячи з правильного судження, що



Рис. 21. Платон і Арістотель (справа), центральний фрагмент фрески Рафаеля «Афінська школа».

падіння всіх тіл у пустоті є однаковим. У реальних умовах важчі тіла падають з більшою швидкістю. Вперше ввів поняття про нескінченний інерційний рух. А. Ейнштейн аристотелевий принцип неможливості безмежно великої швидкості сполучив з припущенням пустоти за умови граничної швидкості світла у вакуумі.

Арістотель, тримаючись своєї Нікомахової етики, вказує на землю, що відображає його віру в пізнання через емпіричне спостереження і досвід, в той час як Платон вказує на небеса, що відображає його віру у форму – ейдос.

Арістотель вважав, що Земля є абсолютним центром світу, визнавав протилежність земного і небесного. Ці твердження були канонізовані церквою і прийняті як догма. В дійсності земний світ побудований із елементів, які постійно змінюються і взаємоперетворюються. У ньому проходять постійні неперервні зміни, руйнації.

У Арістотеля чотири протилежності: сухість-вологість, тепло-холод. У сполученнях ці суперечності дають початок чотирьом основним елементам світу: холодна і суха Земля; холодна і волога вода; тепле і вологе повітря; теплий і сухий вогонь. На відміну від Емпедокла вказані

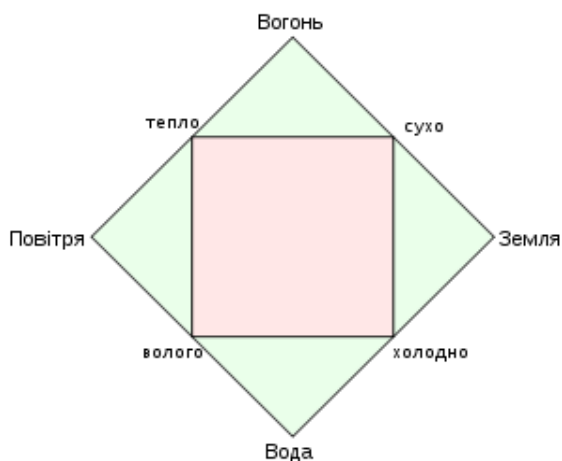


Рис. 22. Система елементів та стихій за Арістотелем

чотири елементи у Арістотеля можуть переходити один у другий шляхом зміни первинних якостей. Це вчення Арістотеля стало теоретичною базою для алхіміків. Вчений допускав існування ще і п'ятого начала – ефіру, небесного начала. Цим він підкреслював, що небесна матерія вічна й неруйнівна.

Арістотель вважав, що в земному світі діють тяжіння (тяжкість) і легкість. Всі тіла спрямовані до центру світу або від центру. Зокрема у воді дерево рухається від центру світу. Рух ввєрх чи вниз пояснювався положенням про тяжіння (тяжкість) та легкість. Пустоту та невагомість Архімед не визнавав.

За Арістотелем наука повинна досліджувати «перші причини» природи, її «перші начала» і «елементи». Сучасною мовою це означає, що

фізика вивчає основні закономірності (перші причини) і принципи (перші начала) природи та елементарні частинки (елементи). Таким чином, фізика є загальною теорією природи і ґрунтується на фундаментальних законах і уявленнях про основні елементи.

Точка зору Арістотеля про шляхи пізнання природи була такою. Люди сприймають речі спочатку такими, якими вони їй уявляються (явними для нас), а не такими, якими вони самі по собі (за природою). Камінь у буденному розумінні і камінь у розумінні сучасної фізики – різні речі. Шлях наукового пізнання лежить у напрямку від звичайного чуттєвого сприйняття, далекого від розуміння істинної природи речей, до більш глибокого розуміння цієї природи. Земля уявлялась плоскою і нерухомою. Відкриття кулястості Землі було науковим, але менш явним для нас. Шлях пізнання природи у Арістотеля: від більш відомого і явного для нас до більш явного і відомого з точки зору природи речей.

Ідеалізм Арістотеля проявився у його вченні про першодвигун, джерелі руху в світі та у його загально-біологічних поглядах.

Таким чином арістотелевий фізик – це людина, яка живе у повітряному середовищі на нерухомій Землі, в полі тяжіння цієї Землі. Без цих атрибутів світ немислимий. Арістотель сприйняв геоцентричну систему світу і концепцію обмеженого Всесвіту, який розшаровано на сфери руху небесних світил.

2.2.8. Еліністичний період розвитку натурфілософії (Стратон, Епікур (епікурейська школа) Лукрецій, Птоломей)

Після смерті Олександра Македонського імперія розпалась, виникли нові еліністичні рабовласницькі держави, виникли центри торгівлі, нові міста Пергам, Антиохія, острів Родос в Азії, Александрія в Африці, розвивалися ремесла, культура. Полководці Олександр Селевк і Птоломей Лаг розділили між собою світ: перший залишився у Азії, а другий – в Африці. Афіни перетворились у провінціальне містечко. Характер грецької науки і філософії поступово зазнавав змін. Грецька і східна цивілізації прийшли у дотик. Особливе місце тепер належало Єгипту і його столиці м. Александрії, яка знаходилась на стику торговельних шляхів Сходу і Заходу. Швидкий розвиток техніки, потреби різноманітного будівництва, особливо кораблебудування, вимагали

точних математичних розрахунків, знання фізичних законів. Це стимулювало розвиток механіки, фізики, астрономії. В Александрії створено науковий центр – Музей (Обитель муз) з бібліотекою у 500 тисяч екземплярів книг. Іншим науковим центром стала держава Пергамське царство (в Малій Азії). Царь Аттал I (період правління 241–197 р.р. до н.е.) зібрав при своєму дворі визначних вчених, зокрема, Евдема Родоського, Аполонія та ін. В історії науки і культури цей період дістав назву **елліністичного**, який завершився в 30 р.р. до н.е., коли Єгипет було перетворено у Римську провінцію. В цей період були сформовані епікурійська, стоїчеська і скептична школи.

Тривалий час керівником афінської школи аристотелеків був **Стратон** (340–269 р.р. до н.е.). На зломі століть його запросили до Александрії для роботи. Він відкинув аристотелеве протистояння важких і легких тіл. Всі тіла володіють властивістю тяжіння. Відпала необхідність в особливому елементі – ефірі. Він розглянув проблему прискорення, зростання швидкості при падінні тіл.

В історії науки **Епікур** (341–270 р.р. до н.е.) був останнім знаменитим представником афінської науки, який розвинув учення Демокріта про природу. Творчість Епікура визначалась уже інтересами нової епохи, що спричинило заснування **епікурійської школи**. Учений здебільшого займався проблемами матеріалістичної етики. Значна частина його надбання ввійшла до християнської етики і філософії через вихолощення матеріалізму.

До нас дійшли лише фрагменти праць Епікура як філософа. Філософський напрямок епікуреїзм досить широко впливав на свідомість мислителів наступних етапів еллінської епохи, зокрема Риму.

В основу учення про природу Епікур, а за ним і поет **Лукрецій** (99–55 р.р. до н.е.) намагались пояснити всі природні, психічні та соціальні явища атомною теорією природи. Тканина висихає, так як від неї відриваються атоми води під дією вітру і Сонця. При вході у місто через мідні ворота прихожани цілували руку статуї, яка була опущена донизу. Ця рука була тонша за підняту, бо частина атомів міді переходили на губи

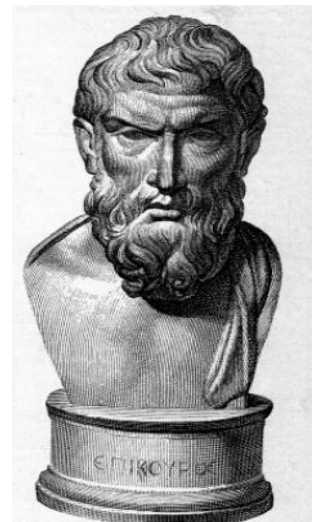


Рис. 23. Епікур

людей. Атоми постійно, хаотично рухаються. Лукрецій їх порівняв з рухом пилу в сонячному промінні. Це була перша наукова думка про молекулярну картину руху, яка написана древніми авторами. Хаотичність руху Епікур пояснює дещо інакше ніж Демокріт. Він відступає від строгого детермінізму Демокріта і не визнає відмінності у швидкостях падіння великих і малих атомів. У пустоті всі атоми рухаються з однаковою швидкістю. В деякі моменти спостерігаються самовільні відхилення від прямолінійного руху атома. Такі відхилення Епікур вводить щоб пояснити вільну волю людей. Вперше у науці, крім необхідного, вводиться поняття випадкового.

Учення Епікура-Лукреція ґрунтується на матеріалістичному принципі «із нічого – нічого не буває». Лукрецій говорить про вічне перетворення непорушної матерії. Безмежний світ не має центра (на відміну від Арістотеля).

У Лукреція не має уявлення про кулястість Землі (у Арістотеля Земля кругла). Важко зрозуміти як він співвідносив таку точку зору про форму Землі з уявленнями про множину світів, їх атомну будову. Піфагорійці вперше прийняли Землю кулеподібної форми, але навіть у Анаксагора вона плоска. За два століття до Лукреція в елліністичну епоху були спроби виміряти радіус Землі. Проте вчений знову повернувся до плоскої форми Землі і тут же категорично відкидає відносні поняття верху і низу.

Помилки вчених аж ніяк не знижують велику значимість їх вчення. Вони побудували перші наукові теорії, які у наші дні перетворились у науку про атоми, атомне ядро та елементарні частинки.

Атомістика Епікура-Лукреція – продовження наукового розвитку поглядів Геракліта, Емпедокла, Анаксагора, Демокріта. Якщо у Демокріта атоми – чисто геометричні образи з формою і об'ємом, то у Епікура та Лукреція вони мають густину (твердість), вагу, самовільно відхиляються від прямолінійного руху. Наука від загальних поглядів на речі переходить до вивчення конкретних речей. В елліністичний період грецька наука (математика, механіка, оптика, астрономія) поряд з іншими галузями досягла свого найбільшого розквіту. В цей період із єдиної науки почали виділятися природничі і гуманітарні науки.

Причина такої зміни характеру науки полягає у зміні історичних умов і виникнення нових суспільних потреб. Походи Олександра Македонського вимагали не лише здібностей полководця, але і конкретних знань і умінь, інженерного будівництва, військової техніки. Торгові, економічні, політичні зв'язки потребували знань з географії, астрономії, землеробства, металовиробів. Учені, інженери стали користуватись громадським визнанням і повагою. Створювались умови для творчості учених. Птолемея залучив учених до Александрії і створив там бібліотеку, започаткував науковий заклад древнього світу – Александрійський Музей – прототип нинішніх науково-дослідних інститутів. Академія Платона та Лікей Арістотеля – прототипи нинішніх університетів. Учені мали повне матеріальне забезпечення для життя і творчої роботи. Практично всі вчені елліністичного періоду мали зв'язки з Александрією. Там працювали математик Евклід, математик і географ Ератосфен, астрономи Конон, Аристарх Самоський, Клавдій Птолемея, Архімед, астроном Гіпарх та ін.



Рис. 24. Клавдій Птолемея

Клавдій Птолемея (бл. 87–165 р.р. н.е.) – давньогрецький вчений (математик, астроном, географ, астролог).

Система Птолемея викладена в його головній праці «Альмагест» – енциклопедії астрономічних знань давнини. У 1543 р. польський астроном Миколай Коперник запропонував альтернативну, геліоцентричну систему.



Рис. 25. Система Всесвіту за Птолемеєм

В праці Птолемея «Географія» були представлені географічні відомості античного світу, нею користувалися аж до XVI ст.

Своєю складною, але неправильною теорією руху планет і Сонця довкола нерухомої Землі пояснив загадкові явища у видимому русі планет на небосхилі, припустивши, що планети і Сонце обертаються не

тільки довкола Землі (т.зв. геоцентрична система світу), а й одночасно довкола інших центрів за петлеподібною кривою – гіпоциклоїдою.

Ця теорія панувала 1500 років, поки не була спростована Коперником.

Клавдій Птоломей також видав астрологічну працю «Тетрабіблос» («Чотири книги») і книгу з теорії музики «Гармоніки».

Клавдій Птоломей досить точно визначив кути падіння та заломлення світла у воді та склі. Вважав, що дані кути пропорційні. Цим співвідношенням користувався і Кеплер. Нині при виведенні формул для лінзи та дзеркал при невеликих значеннях кутів, нерідко для спрощення, синуси кутів заміняють на значення їх кутів. Атомісти говорили про образи, які відділяються від речей і здійснюють зорове відчуття у оці. Арістотель був проти зорових променів і користувався недосконалою хвильовою теорією.

2.2.9. Наукова школа стоїцизму та школа скептицизму

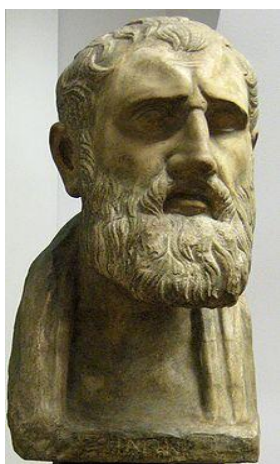


Рис. 26. Зенон

Засновниками **стоїчеської школи** є **Зенон** (340–265 р.р. до н.е.) та його учні **Клеанф** (330–232 р.р. до н.е.), **Хрисіпп** (280–206 р.р. до н.е.).

Більшість мислителів цієї школи уявляли Всесвіт як єдину розумну та живу істоту, в якому верховенство належить божеству. Зв'язок між речами світу розглядався як зв'язок між органами живого організму. Усе у світі має фінал. Представники цієї школи розвивали ідею взаємної проникності. Звідси пішли початки алхімії.

Філософський напрямок **школи скептицизму** представляли **Піррон** (365–275 р.р. до н.е.) та представники платонівської академії. Найбільше скептицизм поширився у середовищі лікарів-природодослідників. До них належав С. Емпірик. В епоху еллінізму створились дві школи у медичній науці: догматична і емпірична. Догматики вимагали причинного пояснення явищ, заснованого на «догмах». Емпірики намагались обмежити себе безпосередніми даними дослідів. Лихоманку догматики пояснювали як стан, який обумовлено переходом крові із вен у артерії. Емпірики це явище пояснювали як збільшення пульсу, зростанням температури тіла.

2.2.10. Розвиток древньогрецької науки у передримський період (Евклід, Архімед, Аполоній, Ератосфен, Гіпарх)

Евклід (362–290 р.р. до н.е.) у своїх працях систематизував математичні знання своїх попередників. «Начала» Евкліда відомі й нині як евклідова геометрія. Евклідовий простір є сферою фізичних явищ класичної фізики Г. Галілея, І. Ньютона (пусте, безмежне, ізотропне, має три виміри). Найпростіший геометричний об'єкт – точка – неподільний атом простору. Три постулати Евкліда характеризують безмежність простору (від точки до точки можна провести пряму лінію; пряму можна безперервно продовжити; із будь-якого центра і будь-яким розхилом можна описати коло), четвертий – про



Рис. 27. Евклід

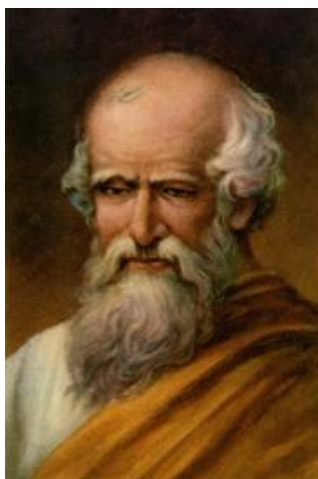


Рис. 28. Архімед

паралельні прямі, п'ятий – про пряму, яка падає на дві прямі. Евклід заклав основи геометричної оптики, розглянув теорію увігнутих дзеркал.

Архімед (287–212 р.р. до н.е.) народився в м. Сіракузи на острові Сіцилія. Тут жив і працював Емпедокл, сюди приїздив Платон. На острові епірський цар Пірр вів війну з римлянами та карфагенянами, намагаючись створити нову грецьку державу. У цій війні відзначився один із родичів Архімеда – Гієрон, який у 270 р. до н.е. став правити містом Сіракузи. Батько Архімеда астроном Фідей був одним із приближених до Гієрона. Це дало можливість одержати Архімеду хорошу освіту в Александрії. На Сіцилію Архімед повернувся зрілим представником фізичної математики. Боротьба між Римом та Карфагеном за Сіцилію зумовила готуватись до війни. Гієрон та його наступники намагались зберегти незалежність. Це сприяло розквіту таланту Архімеда. Під керівництвом Архімеда було побудовано багато машин. Коли римляни висадились на Сіцилію під проводом Аппія Клавдія, а під стінами Сіракузи виявився римський флот настала черга за Архімедом. Архімед запустив свої машини. Грецький історик Плутарх у біографії Марцели написав, що сухопутні війська зазнали поразки потрапивши під град металевих снарядів та важкого каміння, які летіли з

великою швидкістю. Такого противник не витримав. На кораблі зненацька стали падати дерев'яні колоди і топити флот, яким командував Марцела. Залізні кігті та клюви захоплювали судна, піднімали їх вверх, а потім занурювали у воду. Частина суден почала обертатись і натикатись на каміння берегів. Після цього Марцела розпочав тривалу облогу острова.

Архімед загинув разом із рідним містом при штурмі Сіракуз римлянами. Його убив римський солдат.

Архімед ввійшов у історію як один із перших учених, який працював на війну і став її першою жертвою серед людей науки.

Основними результатами його дослідження були: статика, як основа будівельної та військової техніки. Конструкції такої техніки ґрунтувались на понятті центру тяжіння й важеля. Грецьке слово «механе» означає знаряддя, виверт. Звідси пішла назва механіка.

Сіракузи – портове містечко суднобудівників. Проблеми плавання тіл щоденно розв'язувались практично. Доцільно було узагальнити великий експериментальний практичний матеріал. Звідси Архімед прийшов до закону про умови плавання тіл та стійкість суден – «закон Архімеда».

Архімед вважав Землю кулею. Поверхня води на Землі займає кулясту форму, яка знаходиться у полі тяжіння Землі.

Вчений заклав наукові основи гідростатики, які були розвинуті С. Стевиним, Г. Галілеєм, Б. Паскалем в кінці XVI і першій половині XVII століття.

Архімед займався оптикою, астрономією. Існує легенда, що у боротьбі з римським флотом він використовував сферичні дзеркала для підпалювання дерев'яних суден.

Учні Архімеда певної уваги стали приділяти історії науки. Так, Евдем написав історію арифметики, геометрії, астрономії. Феофраст написав спеціальну історію фізики. Це викликано необхідністю здійснити узагальнення накопичених знань.

Наступні вчені **Герон Александрійський** (III ст. до н.е.), **Папп Александрійський** (III ст. н.е.) механіку розглядали як науку про прості механізми: коловорот, важіль, блок, клин і гвинт. Останні два механізми ґрунтувались на законах похилої площини, які не були відомі Архімеду та наступникам древніх та середньовічних авторів.

Грецька наука епохи Архімеда і Аполлонія була створена у елліністичних державах, які виникли після походів Олександра Македонського у 212–146 р.р. до н.е. Ці держави були захоплені Римом. У Візантії та на Сході заняття наукою зникає з культурного вжитку. На

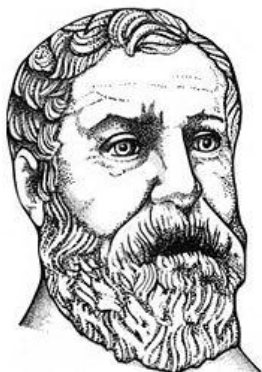


Рис. 29. Герон
Александрійський

Заході набіги варварів знизили рівень науки до повної неграмотності. З цього рівня Європа починає вибиратись починаючи з XII ст. з відкриттям перших університетів. Лише у XV ст. науковий рівень Європи піднявся до вчення Архімеда та Аполлонія [44, с. 28]. В історії фізики відомий цікавий факт. Вієт (XVI ст.) написав спростування розв'язку задачі, яку в свій час дав Архімед, а пізніше написав книгу, де визнав свою помилку і захоплювався генієм Архімеда.

Герон Александрійський (бл. 10–70 р.р. н.е.) відомий як винахідник першого парового двигуна. Частина автоматів Герона працювали на дії атмосферного тиску, хоч уяви про атмосферний тиск вчений не мав. Дію сифона він пояснював неперервністю водяного струменя. Закон відбивання світла обґрунтував принципом найменшого часу. Так починалась історія важливого для оптики принципу Ферма-Гамільтона. Герону належать важливі розробки методів наближених обчислень. Він сформулював правило обчислення площі трикутника за його сторонами, використав реактивну дію струменя пари і побудував прототип реактивного двигуна (візок Герона).



Рис. 30. Паровая турбина
Герона



Рис. 31. Ератосфен

Римський винахідник **Вітрувій** розглянув: різні механізми для піднімання вантажів, конструкції вітряків, вимірювальну апаратуру, сонячний, пісковий, водяний годинники, один з перших поєднував теорію з практикою. Так утвердилась нова особливість античної науки.

До відомих астрономів того часу можна віднести **Ератосфена** (276–194 р.р. до н.е.), який

вперше виміряв дуги меридіана і визначив радіус Землі.

Ератосфен – давньогрецький вчений і письменник. Один із надзвичайно різнобічних вчених античності. Ератосфен займався філологією, філософією, хронологією, математикою, астрономією, геодезією, географією, сам писав вірші і музику. За це сучасники дали йому прізвисько *Пентатл*, тобто *Багатоборець*. Інше його прізвисько, *Бета*, тобто «другий», очевидно, свідчило про те, що у всіх науках Ератосфен досягає не найвищого, але чудового результату.

Гіпарх (160–125 р.р. до н.е.) склав каталог нерухомих зірок, визначив тривалість року, обчислив відстань між Землею та Місяцем, вперше визначив географічні координати – широту та довготу і запропонував виготовляти географічні карти за допомогою нового методу стереографічної проекції. Гіпарх розвинув систему епіцентрів, яку запропонував Аполон Пергський (III ст. до н.е.), за якою планети рухаються коловою орбітою, центр якої в свою чергу, описує коло навколо Землі. Дану систему епіциклів завершив Клавдій Птолемей у геоцентричній системі світу. В цій системі навколо Землі рухаються Місяць, Меркурій, Венера, Сонце, Марс, Юпітер, Сатурн.

Таким чином давньогрецькі атомісти Левкіпп, Демокрит, Епікур намагались пояснити світ, його виникнення, розвиток на основі атомної будови без залучення надприродних сил. Вони у загальній формі проголосили важливе положення – вічність матерії та її рух, ввели принцип причинності. У їх вченні були елементи механістичного світогляду.

Піфагор та його наступники дали початки строгих кількісних законів у природі і необхідність застосування математики у розв'язанні фізичних задачах. Другою важливою проблемою було вчення про будову Всесвіту та ідея кулястості Землі (куля, як геометрична фігура найбільш проста і досконала фігура. Напевне принцип простоти і математичної досконалості відіграли вирішальну роль у визнанні кулястості Землі).

Ідею, що всі тіла складаються із геометричних фігур прийняв і розвивав Платон. Він заперечував атомізм.

Арістотель склав енциклопедію наукових знань свого часу. Він створив і обґрунтував більш логічну картину світу ніж у попередників, яка була домінуючою майже дві тисячі років і була відправним пунктом для

подальшого розвитку природознавства. Узагальнив знання про механічний рух і дав початок розвитку механіки. Проте заперечив атомістів, відкинув кількісні підходи до вивчення природи, утвердив геоцентричну систему Всесвіту, відкинув ідею піфагорійців про рух Землі. Вчення Арістотеля було канонізоване церквою і, на жаль, використано у політичних цілях.

Період еллінізму характеризується створенням більш досконалої техніки (в тому числі й військової), яка ґрунтувалась на простих механізмах, розвитком морського і військового флоту. Із натурфілософії виділились науки фізико-математичного циклу. З'явилися початки теоретичної механіки, статички, гідродинаміки, оптики. Значних досягнень дістала астрономія. Самоський висунув ідею геліоцентричної системи Всесвіту. Філософія стала більше займатись питаннями логіки, етики, естетики, гносеологічними проблемами. Розвиток науки цього періоду пов'язаний з містом Александрією.

У період зародження та розвитку античної науки набуло розвитку матеріальне та духовне начало Всесвіту, зародився і утвердився індуктивний метод дослідження, стала домінуючою арістотелівська наукова ідеологія, стала на порядок денний механістична методологія, стрімко зростала продуктивність праці за рахунок розвитку техніки, з системи філософських знань виділився цикл фізико-математичних наук.

2.3. Римський період розвитку науки

Із завоюванням Єгипту Римом розпочинається новий період розвитку науки та культури – **римський**. Еллінська язична культура поступово змінюється новою, християнською культурою. Невелика кількість пам'ятників римської культури дійшли до нас.

У перші століття нової ери загострились суперечності рабовласницького устрою. Під дією внутрішніх факторів (повстання рабів, бідність, напади варварських племен) у V ст. Римська імперія розпалась. На зміну рабовласницькому ладу прийшов феодалізм. Цей перехід супроводжувався великими потрясіннями у господарському, політичному та культурному житті. Міста прийшли у занепад, торгівля й міждержавні зв'язки майже зникли. Християнська церква збільшила свій вплив і розпочала боротьбу з філософією та наукою древніх учених та мислителів.

У 391 році Александрійський єпікоп Феофіл організував знищення знаменитої Александрійської бібліотеки. Імператор Східної Римської імперії Юстиніан у 529 р. закрив останню філософську школу в Афінах. Філософська і наукова діяльність завмирає. Читати уміли люди лише з числа духовенства. Папа Григорій I спеціальною постановою заборонив читати древні книги й займатись математикою та філософією.

Суперечність розв'язувалась нерідко драматично. У 415 р. нашої ери вбито жінку-астронома Гипатію. Боротьба завершилась перемогою релігійної ідеології. Духовне життя середньовіччя підкорило науку та культуру. Цим пояснюється, що досягнення античної науки та культури були забуті і переважна більшість праць древніх авторів утрачена назавжди.

Римляни добре засвоїли ту частину античної науки, яка стосувалась безпосереднього практичного застосування. У науковій літературі римлян добре викладено прикладні дисципліни: землеустрій, будівельна техніка, гідротехніка, військова справа. Римські водопроводи описані інженером Секста Юлія Фронтіна (40–103 р.р. н.е.). Характерною для римської наукової літератури стала енциклопедична форма. Наукові проблеми викладались у літературно-популярній формі. В період занепаду науки втрачено і не дійшла до нас енциклопедія Марка Теренція Варрона (116–27 р.р. до н.е.) в дев'яти книгах. Вона включала граматику, логіку, риторику, медицину, музику, геометрію, арифметику, астрономію, архітектуру. Дійшли до нас книги присвячені медицині Авла Корнелія Цельса (I ст. н.е.). Енциклопедичний характер має «Природнича історія» Плінія Старшого (23–79 р.р. н.е.) в 37 книгах. У загальному він посилається на 327 грецьких і 146 римських авторів, твори яких не дійшли до нас. До пізнього періоду римської імперії відносяться відомі роботи Марціана Капелли (кінець III–початок V ст. н.е.) [148, с. 49].

Пропагандистом античної науки залишився Лукрецій. У Римі сформувалась крупна медична школа античності – «методиків». Її представниками були Віфінський (I ст. до н.е.) та Авреліан (V ст. н.е.). Твори Авреліана з відголосами античного атомізму збереглись навіть у епоху раннього середньовіччя. Наближений до готського короля Теодоріха Кассіодор (468–562 р.р.) рекомендував для читання цей твір.

Ряд праць з механіки написав Герон Александрійський (III ст. н.е.).

Набув ваги філософський напрямок неоплатонізму. Його основоположник Плотіна (205–270 р.р. н.е.) повернув філософію до уявлень первісного анімізму. В наступний період у Ямвліха (330 р. н.е.) посилилась віра у магію, астрологію. Головною ідеєю цього вчення було загальне одушевлення. Була одушевлена навіть земля.

Таким чином, починаючи із завоювання Римом Афін наступив період поступового завмирання наукової та філософської думки. Цей процес тривав аж до початку XI ст. н.е.

2.4. Фізика на арабському стародавньому Сході

Із відомих письмових джерел про розвиток наукової думки можна зробити висновок, що найбільш давні наукові розробки та відкриття відносяться до країн Древнього Сходу. З глибокої давнини прийшли такі винаходи як випалена цегла, гончарний круг, колісний екіпаж. В історії науки період 3000 року до н.е. названо першою промисловою революцією [46, с. 7]. В цей період були відкриті способи плавлення та обробки металів, винайдені судна на парусах та веслах, застосовано плуг, ваги, висок, рівень, кутомір, циркуль, обценьки. У другому тисячолітті до н.е. використовувались ковальські міхи, важіль, клин, домкрат, сифон, водяні годинники. Джерелом відомостей з фізики були лише загально філософські роботи.

Побічно про рівень розвитку фізики та техніки можна судити на підставі досліджень пам'ятників матеріальної культури початку грецької цивілізації: зрошування і осушування земель, іригаційні споруди древнього світу, піраміди Єгипту, стіноруйнівні та металеві машини Асирії, судна фінікіян, обробка зернових, виготовлення муки, використання процесів бродіння, техніка виготовлення фарб, лаків. Така техніка та технологія вимагали високого рівня знань і насамперед механіки. Проте лише у елінійській період розпочались наукові розробки техніки. До цього техніка будувалась на основі інтуїтивного методу дослідження (дод. Б). Знання накопичувались у зіткненні людини з силами природи пасивно, без тривалого спостереження за явищами природи, без будь-якого експерименту. В історії фізики відомі окремі спроби упорядкувати дані дослідів і спостережень. Ще до 2500 року до н.е. була введена фіксована одиниця вимірювання довжини, ваги і об'єму;

усвідомлена періодичність чергування сезонів року; розподіл року на місяці, дні, години. Але такі приклади були мало чисельними і невизначеними.

Проблема походження світу здебільшого розв'язувалась через образи надприродних сил. В Єгипті первинній воді Нун наділялись початки життя, у вавілонців початок світу пов'язаний з первісним початком хаосу – морем з лона матері всього суцього Тіамат. Проте, більш пізній східній космології і космогонії властиві безмежні масштаби простору та часу. Біблейська космологія практично до західноєвропейського періоду обмежувала час існування Всесвіту декількома тисячоліттями.

Про необмежені масштаби простору й часу описано у поетичних і філософських творах індуців. Згідно поеми «Вишнупурана» (V ст. до н.е.) світ скрадається із 14 районів, один з яких є Земля. Всесвіт не має початку в часі.

Згідно вчення Вайшешика, матеріальні тіла складаються з дрібних частинок – атомів (параману). Атоми неподільні. Вони недоступні для органів відчуття людини. Існує чотири види атомів: атоми землі, води, повітря і світла. Останні породжують відповідні відчуття: нюхові, смакові, дотику, зорові. Зародження вчення пов'язане з мудрецем Улуком (прізвище Канада).

З часів Буди існувало декілька шкіл, які крім основних чотирьох великих елементів (земля, вода, повітря, вогонь) нічого не визнавали. Свідомість пояснювалась як продукт особливої комбінації матеріальних елементів.

Китайський мислитель Лю Цзя виділяв думку: якби верх і низ і вісім роз вітрів мали границю, то за межами безмежного було б щось обмежене. Такої границі безмежного не може бути і всередині безмежного.

Приведені приклади говорять про порівняно високий рівень абстрактного рівня мислення. У книгах «Шу-цзин», «І-цзин» (VII–V ст. до н.е.) викладені початки філософії природи. Виділялись два начала: ян (Сонце, світло, чоловічий початок) й інь (Місяць, темінь, жіночий початок). Як наслідок їх боротьби виникло п'ять елементів: вода, вогонь, дерево, метал, земля. Ці елементи утворюють колову послідовність: кожен попередній здатний «перемогти» наступний, – вода гасить вогонь, вогонь спалює дерево і т.д. П'ять елементів були задіяні до чуттєвих якостей

різних явищ і предметів природи: воді – солоне, вогню – гірке, дереву – кисле, металу – їдке, землі – солодке. Не випадково основними елементами вибрані основні речовини, з якими людина мала справу в практичній діяльності. Характерно, що повітря не бралось ще до уваги як елемент [148, с. 18].

У стародавній китайській філософії зустрічається поняття природничого закону – даосиста. Основоположник даосизму є Лао Цзи (кінець VI–початок V ст. до н.е.). Він визначив поняття «дао» – шлях, закон, що лежить в основі світобудови і керує рухом речей, які постійно змінюються. В наступному даосизм одержав два напрямки розвитку: ідеалістичний (конфуціанець Мен Цзи – 372–289 р.р. до н.е., Лю Цзя, Гуань Цзи – IV–III ст. до н.е.), який ускладнився елементами магії й алхімії та матеріалістичний (Ян Чжу – IV ст. до н.е., Ван Чун, Хуань Тань), в основу якого покладено природну закономірність явищ. Хань Фей – 233 р. до н.е. стверджував, що дао – природний шлях розвитку природи. Ван Чун говорив, що явища природи виникають у силу природних причин. Основний елемент світобудови він позначав терміном «ці». «Ці» є основою п'яти елементів чи стихій і є тонкою матеріальною речовиною, що є початком життя. При розгляді проблем метеорології Лю Цзя розглядає ідею перетворення матерії, її перехід у різні стани.

Стародавні китайські мислителі мали важливі відкриття та винаходи. Астроном Чжан Хену винайшов сейсмокоп, інші вчені винайшли компас, зробили спробу пояснити дії магніту, розробити технології одержання паперу та пороху.

Таким чином, у філософських творах древніх китайців, індійців, єгиптян, вавілонців існували загальні, абстрактні категорії, які поширювались на всю природу. Предметом роздумів були такі загальні поняття як час, простір, рух, тяжіння, в'язкість, твердість, текучість тощо. Виникає поняття про матеріальний субстрат Всесвіту, який має властивість видозмінюватись у нескінчених своїх проявах. Прогрес техніки значно розширив сукупність емпіричних знань, становленню математики та астрономії.

2.5. Західноєвропейський період розвитку науки. Фізика середньовіччя

На відміну від тривалого розпаду рабовласництва у Римській імперії, на Сході, в Китаї, Індії цей перехід стався швидше ніж у Західній Європі та в економічному розвитку ці країни були більш прогресивними. Це вплинуло і на розвиток науки. Історія науки середньовіччя має три періоди розвитку.

На арабському півострові кочові племена об'єднались на основі нової релігії – ісламу, проголошеного Мухаммедом (V ст.) і швидко завоювали Іран, країни Середнього Сходу, Єгипет, Піренеї. Вони були ланкою, яка пов'язувала східну і західну, античну і середньовічну культуру. В арабських державах встановлена анатомічна будова ока, було окремо виділено кришталік. Про роль зорового нерва згадується в роботах Галена (II–III ст.).

В період раннього середньовіччя (VII–XI ст.) у розвитку науки провідну роль відігравав Схід. Європейська наука оживилась лише з початком хрестових походів, виникли університети, наукові школи.

В епоху раннього середньовіччя в Західній Європі не було великих міст. Рідкі села і ще дрібніші садиби поміщиків слабо пов'язувались між собою. Феодал одержував все необхідне від своїх кріпосних: їжу, припаси, одягу, зброю. Не було міст подібних Александрії, Риму, Афін, жвавих гаваней, шумних ринків, театрів, цирків. Світ середньовікової людини обмежувався вузькими рамками села та садиби. Цьому відповідав світогляд західноєвропейських людей, на відміну від світогляду освіченого римлянина чи афінянина.

У Візантії найдовше збереглись елементи елліністичної традиції. На Заході у пізню пору середньовіччя виникла філологічна етимологія грецького слова «механіка» через латинське слово «*mechanos*» (прелюбодію). Цим самим було намагання «принизити» вільне механічне мистецтво порівняно з релігійним спогляданням. У Візантії слово «механік» означало висококваліфікований різносторонньо освічений інженер. До таких історики віднесли насамперед Аніфімія Тральського, який побудував Константинопольський собор Софії. З ним працював Ісідор Мілетський, визнаний механік, який займався вивченням дзеркал. Він привів у струс будинок свого сусіда, з яким був у поганих стосунках,

засобом пари, переданої трубами.

Для візантіївців джерелом життєво-практичних відомостей були твори Герона, які в середні віки були майже невідомі на Заході. Технічні вказівки Герона використав механік Лев, у пристрої «Соломонового трону» в Константинопольському палаці в часи імператора Феофіла (829–842 р.р.). Біля цього трону стояли фігури тигрів, які рухались і гарчали. Платоніки техніці протиставляли прикладну і чисту математику, чого не було у Герона.

Середній Схід був багатшим і більш культурним за західноєвропейський. Столиця арабського Халіфату м. Багдад мала багаті палаци халіфа і візарів. Арабські купці вели торгівлю тканинами, зброєю, золотим та срібним оздобленням, прянощами, ароматними речовинами. У християнському світі знаходила свій розвиток наука, яка була під допитливим контролем християнської церкви.

Хоч значна частина античних, елінічних традицій у середовищі візантійських техніків збереглась, історичні умови в цілому не сприяли поступальному розвитку античної наукової спадщини. Закриття філософських «язичних» шкіл, у тому числі й афінської Юстиніаном в 529 р., привели до еміграції грецьких вчених у Персію разом з сірійськими несторіанами, які були оголошені «еретиками». Це сприяло розвитку арабської науки.

Другий шлях розвитку арабської науки йшов від Александрії після того, як війська Омара зруйнували знамениту бібліотеку (391 р.). Через коментатора Арістотеля Іоанна Філопона, Антіохія залишки александрійської науки дійшли до Багдада.

Математик і астроном Тебіт ібн-Курра (826/827 чи 836/837–901 р.р.) переселився із Харрана в Багдад і заснував школу перекладачів наукової літератури з грецької та сірійської мови на арабську.

IX–XI століття є періодом великого підйому наукових здобутків у країнах арабського Сходу. В фізиці найбільш цікаві досягнення були з геометричної оптики, статички, гідравліки.

Через несприятливі умови для наукових досліджень у країнах Середньої Азії звідти до Багдада переїздили вчені. Тут вони мали всіляку підтримку. Так Абу-Наср Мухаммед ал-Фарабі (уродженець м. Фараба) написав коментарі до природознавчих творів Арістотеля «Фізика», «Про

небо», «Метеорологія», які були невідомі на Заході.

Спочатку в Азії, а пізніше й у Європі стали відомими твори Абу-Алі Ібн-Сина (980–1037 р.р.) відомого як Авіцена. Вчений написав більше ста творів з медицини, фізики, алхімії, математики, музики, філософії.

Торгівля арабів вимагала знань з математики, тривалі переїзди розвивали астрономічні й географічні знання, розвиток ремесла приводив до експериментування. Нова обчислювальна математика має своє коріння також на Сході. Трактат з алгебри та арифметики написав хорезмієць Абу Абдалла Мухамед Ібн Муса аль-Хорезми в період освіченого халіфа аль-Мамуна. Індійську позиційну систему, число нуль, арабські цифри, арифметичні дії з цілими числами та дробами, від'ємні числа запропоновані Брахмагуптою, новий розділ математики – алгебра (лінійні та квадратні рівняння) дала світу східна наука. Збереглись у перекладі на арабську мову праці Архімеда та Птолемея. Ці праці вивчались у арабських університетах. Індійські вчені використовували методи диференціального числення [84].

У IV ст. антична наука проникла і у країни Закавказзя – Грузію та Вірменію, які мали тісні економічні та культурні зв'язки з Візантією (християнство проникло у Вірменію у 301 році). У V–VII століттях праці Арістотеля та Платона були перекладені на вірменську мову. Відомий вірменський вчений початку VII ст. Ананія Ширакаці після подорожі до Візантії заснував школу, в якій викладав математику, астрономію, географію. Він написав вірменський підручник арифметики.

Арабські вчені займались і експериментальною наукою. **Мухамед ібн Ахмед аль Біруні** проводив точні виміри питомої ваги металів та інших речовин з допомогою «конічного приладу». Принцип дії приладу ґрунтувався на визначенні об'єму води, яку витіснив предмет з колби (через вигнуту трубку). Порівняно з сучасними вимірами результати Біруні були досить точними. Наукові роботи вченого стали відомі в Європі значно пізніше. Зокрема, російський консул в Америці М. Ханіков лише у 1857 р. знайшов рукопис аль-Хазані «Книга про ваги мудрості», де було описано прилад Біруні. Вчений визначив радіус Землі (6490 км) та кут нахилу екліптики до екватора для 1020 р. (вимір вченого $23^{\circ}34'0''$, нинішні виміри для 1020 р. становлять $23^{\circ}34'45''$).

Біруні описав сонячні та місячні затемнення, вважав геоцентричну

систему недосконалою. Земля у нього обертається навколо Сонця.

Бірунді народився у 973 р. в м. Кяте, виховувався у середовищі робітників. У 22-річному віці розпочав власні астрономічні спостереження. В цей час у Хорезмі було здійснено державний переворот і вченому-початківцю довелося виїхати із Хорезми на десять років. З поверненням на Батьківщину він стає одним з державних діячів країни. На ці роки припадає найбільш продуктивна наукова пора вченого. Він переписується з Ібн-Сином, з яким обговорює ряд природничих питань і фізику Арістотеля. В 1017 році правитель Хорасану й Афганістану Махмуд завоював Хорезм і Біруні разом з іншими полоненими був відправлений в Газні, де прожив 13 років. У важких умовах вчений продовжував свої дослідження, написав ряд праць з географії й астрономії та зокрема знамениту «Індію». Після приходу до влади сина Махмуда Масуда положення Біруні змінилось на краще. Вчений присвятив правителю велику роботу з астрономії і тригонометрії під назвою «Канон Масуда». Він також написав «Мінералогію», «Книгу про лікарські речовини». Помер у 1048 р. (за іншими джерелами 1050 і 1051 р.).

Другим відомим вченим природодослідником був сучасник Біруні єгиптянин **Абу аль-Хасан Ібн аль-Хайсам** (965–1039 р.р.) відомий у Європі як **Алхазен**. Роботи Альхазена відображали узагальнений стан розвитку оптики його часу (теорія зору, анатомічна будова ока, обґрунтував роль кришталіка). Альхазен започаткував етап первинного теоретичного узагальнення накопичених дослідних даних. Спостереження природних явищ почали відтворюватись в лабораторіях та майстернях. Були зроблені перші спроби теоретичного осмислення явищ природи. Вчений знав дію камери обскура, використовував плоскі, сферичні, увігнуті, циліндричні й конічні дзеркала, дослідив явище заломлення світла. Алхазену була відома збільшувальна дія плоско-випуклої лінзи, поняття кута зору. «Книга оптика» Алхазена була перекладена на латинську мову в XII столітті. Тривалий час вважалось, що це копія твору Птолемея. Після відшукання оригіналу твору Птолемея стало зрозумілим, що це інша робота. Те що Альхазен є арабський вчений Абу аль-Хасан Ібн аль-Хайсам виявилось у Європі лише у XIX столітті.

У арабів значного розвитку зазнала астрономія. Визначним астрономом був внук відомого завойовника Тимура Улугбека (1394–

1449 р.р.). Він побудував і обладнав першокласними на той час інструментами у Самарканді обсерваторію, створив точний каталог зірок, склав таблицю руху планет.

Вагомих результатів у розвитку техніки досягли в Китаї. Зокрема, це стосується книгодрукування. У Британському музеї зберігається перша друкована книга датована 868 роком, задовго до першої друкованої книги у Європі. Про масштаби гідротехнічного будівництва можна судити по каналу між Ханбалаком і Ханькоу. У Китаї було винайдено компас.

На відміну від країн Сходу початковий період західного середньовіччя характеризується загальним зубожінням, зменшенням торгових відносин, занепадом ремесла, мистецтва, зменшенням населення, занепадом міст, поверненням до землеробства більш низької якості. Такий кінцевий результат римського періоду історії. В цих умовах зникли стимули до поглибленого вивчення природи. Античні здобутки поступово забулись. Природничо наукові праці Арістотеля втрачені. Загальний стан науки характеризувався відмовою від причинних пояснень явищ та процесів природи і був спрямований проти архаїчних пояснень древніх і учених середньовіччя.

Ланками зв'язку між античною і середньовічною епохами були праці Боеція (475–524 р.р.), Кассіодора (490–580 р.р.), Марціана Капелли (IV ст.). Природничі праці Арістотеля були забуті. Наукові знання набули «кабінетного», книжкового характеру і стали доступними лише обмеженій кількості людей. В Європі мали місце наївні уявлення про Землю як плоский корж накритий кришталевим ковпаком і опоясаний океаном. Блаженний Августин оголосив уявлення про антиподи безглуздістю, другий католицький авторитет Фома Аквінський твердив тезис: «Філософія – служанка богослов'я».

Касіодор запропонував узагальнену систему знань у вигляді семи мистецтв у зв'язку з сімома «стовпами будинку премудрості», що згадуються у Біблії. Капелла сім «вільних мистецтв» перераховує у такому порядку: граматики, риторика і діалектика (складають трьохшлях), арифметика, геометрія, астрономія і музика (квадрирій). Крім цього виділялось механічне мистецтво, яке включало будівельну справу, текстильне виробництво, землеробство, медицину, живопис. У X ст. мусульманський світ дав поштовх розвитку гідростатики. Астроном

Анарицій (922 р.) написав трактат про атмосферні явища. Аль-Рази ввів у вживання гідростатичні ваги і поняття «рейтер». Аль-Хазині між 1115–1121 р.р. написав курс середньовічної фізики.

В цілому наукове мистецтво арабських механіків не було вимогою продуктивних сил суспільства. Наукові досягнення більше запроваджувались у виготовлення іграшок, автоматів, годинників з колесами та важками. Вчені свої зусилля нерідко переносили на перекладання творів античності на інші мови. Це було причиною початку швидкого занепаду наукової думки на Сході ще до наукової діяльності Аль-Хазині.

Протягом епохи раннього середньовіччя (VII–XI ст.) Східні держави значно випереджали Європу в економічному та культурному розвитку.

В X–XII ст. зростають економічні, наукові контакти арабів з Іспанією, Лотарингією, Францією, Шотландією. Захід прийшов у більш тісні стосунки зі Сходом. У часи хрестових походів європейцям дістались нові відомості: економічні, технічні, культурні. Почала зароджуватись і повільно розвиватись промисловість. Це викликало до життя множини механічних (ткацтво, годинникова справа, млин), хімічних (фарбувальна справа, металургія, алкоголь) і фізичних фактів (очки), які змусили по новому розглянути засоби експериментування і дозволили сконструювати нові інструменти [142, с. 145-146]. У період 1050–1300 р.р. поступово ростуть міста, товарний і особливо грошовий обмін, розвиваються технічні засоби сполучень. Одержали розвиток водяні млини в Скандинавії та Прибалтиці.

Повітряні млини були відомі персам у VII ст. і арабам у X ст. Через арабів вони проникли на Піренейський півострів, а звідти у XII ст. в Іспанію (1238 р.). Розвивається гідротехнічне будівництво в Італії: великий канал в Мілані (1179-1258 рр.) і водопровід у Генуї (1295 р.). На період 1096–1270 р.р. приходиться розвиток медичної школи в м. Салерно (неподалік від м. Неаполя).

XII ст. знамените перекладами. Західна Європа тісніше познайомилась з класичними творами древності та східного середньовіччя. Англієць Аделяр Батський переклав «Начала» Евкліда й астрономічні таблиці ал-Хорезми, які містили таблиці синусів. Особливо багато перекладів Евкліда, Архімеда, Птоломея, Гіпократя, Галена, ал-

Фарабі, Авіцени зробив Гарард Кремонський (1114–1187 р.р.). У кінці XII ст. була перекладена на латинську мову «Оптика» Альхазена. В 60-х роках Західна Європа одержала кращі переклади творів античності з оригіналів, а не з арабських перекладів, де було багато браку. Боротьбу за чистоту тексту вели Роберт Бекон, Фома Аквінський, Альберт Больштетський.

Другим центром перекладів була Сіцилія, де араби господарювали з 902 до 1091 р. Поряд з технічним досвідом збагачувався розумовий світогляд.

У XIII ст. в Європі винайшли порох, окуляри, знайшов поширення компас. Побудовано перший механічний годинник (Англія). До середини XIV ст. були складні механічні колісні конструкції годинників з боем і рухомими фігурами у Страсбурзі, Генуї, Авіньон, Болоньї.

У XIII ст. виникли перші університети спочатку в Іспанії, де уже арабами було створено університет у Кордове, а потім в Болоньї та Парижі, Падуї (1222 р.), Неаполі (1224 р.). В середині XIII ст. відкрився Оксфордський університет. У наступному столітті університети відкрито в Пізі (1338 р.), Павії (1359 р.), Кракові (1364 р.), Відні (1365 р.), Гейдельберзі (1386 р.), Феррарі (1391 р.), Ерфурті (1392 р.). На відміну від монастирських шкіл, до нового типу навчальних закладів мали доступ люди різних національностей. Їм присуджували наукові ступені, які поступово одержали загальноєвропейське визнання. До нашого часу збереглись назви учених ступенів доктора і магістра, звання професора і доцента, лекції як основної форми повідомлення знань, факультети як підрозділи університету. Викладання велось латинською мовою. До XVIII ст. латина мова була міжнародною науковою мовою. Нею писали М. Коперник, І. Ньютон, М.В. Ломоносов. Система середньовічних університетів хоч і була відірвана від життя, проте була якісно новим кроком розвитку європейської науки. До цього часу в європейських університетах урочисті речі читаються, а дипломи виписуються латинською мовою.

У Парижському університеті верховне керівництво належало факультету богослов'я, який був арбітром у спірних питаннях не лише віри. Математика і природознавство викладались на факультеті мистецтв. Богослови університету декілька разів забороняли читання природничих творів Арістотеля. Одночасно церква намагалась пристосувати

аристотелеве вчення до своєї мети. Італійські університети були менше залежними від духовенства. Під впливом східної науки розвивався Оксфордський університет.

Наукові роботи вчених Західної Європи систематизували дослідження насамперед Евкліда, Птолемея і Альхазена. Пояснити видимі природні оптичні явища і зокрема веселку намагались Вітеллія, пізніше Теодорік, а ще пізніше Р. Декарт.

Піонером експериментальних досліджень в середньовічній Європі вважають англійського вченого Роберта Гросетета (XIII ст.). До оптики відносяться його роботи про природу веселки.

2.5.1. Виникнення нової апріорної фізики. Зародження експериментального методу дослідження природних явищ та процесів Р. Бекона

Основи ж експериментальної фізики, в тому числі й оптики, заклав Роджер Бекон: «Експериментальна наука – цариця світоглядних наук, вона має три важливі переваги. По-перше, вона випробовує і перевіряє висновки інших наук. По-друге, в поняттях, якими користуються інші науки, вона відкриває великі результати, до яких ті науки не здатні прийти. По-третє, вона досліджує таємниці природи власними силами» [148, с. 76]. У дослідженнях Р. Бекон використовував збільшувальне скло, сферичні дзеркала. Тривалий час методом Р. Бекона вчені мало користувались через необізнаність з його працями.

Роджер Бекон (1214–11.06.1294 р.р.) – англійський філософ, вчений і викладач Оксфордського університету, францисканець. У 1266 р. за пропозицією свого друга, папи Климента IV, він почав свою «Велику працю» – конспект всіх галузей знання. У 1268 р. він послав свою працю разом з «Малою працею» та іншими статтями папі. У 1277 р. Бекон був засуджений церквою за «деякі нововведення» (єресь) і був ув'язнений. Легенда стверджує, що він пробув у в'язниці 14 років.

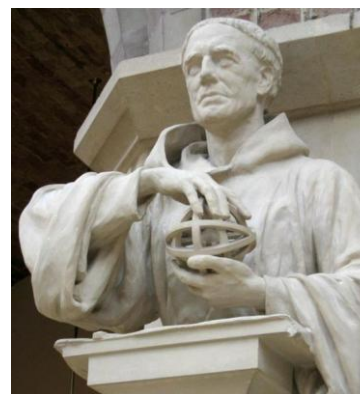


Рис. 32. Статуя Бекона в Оксфорді

Бекон цікавився алхімією, біологією, фізикою і магією. У світогляді Бекона було чимало містики, але головна його заслуга в наголошенні на науковому методі досліджень. Він одним із перших наполягав на необхідності дослідного пізнання природи.

За Беконом, філософія повинна спиратись на досвід, конкретні науки, особливе місце серед яких відводилося оптиці і математиці. Бекон був провісником дослідної науки. Метою науки він вважав опанування таємниць природи, а цінність її визначав корисністю, яку вона дає людям. В теорії пізнання Р. Бекон відстоював номіналізм.

Його заслугами вважають багато відкриттів, включаючи відкриття збільшувальних лінз. У своїх працях він висунув низку цікавих ідей про літальні апарати, підйомні крани, про способи добування багатьох хімічних речовин, у тому числі пороху.

Уява Р. Бекона забігала набагато вперед у порівнянні зі станом науки і техніки. Він мріяв, що можна неймовірно збільшувати предмети і дрібні частинки, будувати судна, які рухатимуться швидше ніж це робить цілий загін веслярів, передбачив апарат, який може літати у повітрі.

Експериментальну науку Р. Бекон протиставляв магії. Але в магії й чаклуванні він був сам звинувачений. Його двічі поміщали у в'язницю. Після другого ув'язнення він вийшов звідти старим і немічним, нездатним до наукової діяльності.

Поляк Вітелло – автор книги з оптики «Перспектива». Він дослідив веселку і прийшов до висновку, що вона виникає від заломлення променів в окремих водяних краплинах.

Протягом XIII–XIV ст. велись протяжні схоластичні дискусії Альберта Великого (1206–1280 р.р.), Фоми Аквінського (1226–1274 р.р.), Ульяма Оккама (1280–1347 р.р.), Іоанна Бурідана (1297–1358 р.р.) про фізику Арістотеля і про критичні зауваження Філопона. Цінність цих дискусій у тому, що вони значно поширили арістотелівську фізику з її позитивними сторонами і недоліками.

Фізичний інтерес мають роботи **Альберта Саксонського** (період 1350–1361 р.р.), який класифікував різні види руху, розділив поступальний і обертальний, рівномірний і нерівномірний рух. **Нікола Орезм** (1328–1388 р.р.) застосував графічне представлення руху, яке відповідає нинішньому координатному методу, встановив закон зв'язку

пройденого шляху при рівномірно-змінному русі з часом, який затрачено на його проходження. **Доменіко Сото** (1494–1560 р.р.) формулює закон рівнозмінного руху в сучасному його вигляді.

У XIII ст. сталось поживлення і духовного життя. Крім Р. Бекона в цей період працювали такі визначні діячі як Фома Аквінський – засновник ідеалістичної філософії – томізму, Вільгельм Оккам виступив проти ідеалістичної теорії про реальне існування загальних понять, Роберт Большоголовий вивчав оптику. П'єр де Марікур стверджує: якщо цілий магніт розламати на дві частини, то одержимо два магніти у кожного по два полюса. Якщо магніти зблизити, вони з'єднаються у місці розламу.

У 1346 р. засуджені папською курією, а в 1347 р. спалені праці **Ніколая** із Отрекура. У працях автор розвиває атомістичне вчення Демокріта. Атоми вічні, вони не виникають і не зникають, а лише сполучаються і роз'єднуються. Між атомами існують сили взаємодії. Він припустив, що ці сили подібні магніту, який утримує залізо. Світло – рух частинок, які виділяються від тіла, що світиться. Автор був змушений відректися від свого вчення. Проте життя не стояло на місці. Розвивалась техніка.

Раннє середньовіччя не мало межі між філософією та богослов'ям. У XIII ст. була зроблена перша спроба розмежувати природній розум, який представлений самому собі та відвертість, де джерело знань є традиція й авторитет. Тому природній розум не може виходити за висновки, які суперечать пануючій релігії. У XIV ст. поступово приходили до думки, що всі релігійні істини довести неможливо. Це було визнанням того, що спроба побудувати «раціональну» систему богослов'я зазнала поразки. Область застосування схоластичного методу в богослов'ї значно звузилась, але прийоми залишились. Дискусії в XIV ст. приводили до нових ідей. Виникли перші сумніви у непогрішність схоластичного аристотелізму, адаптованого до потреб церкви. Розпочалась реакція церкви з єресю, запроваджуються катування.

Такі умови не сприяли розвитку широких наукових досліджень і насамперед цим пояснюється спад наукового розвитку в країнах Європи раннього середньовіччя.

2.5.2. Епоха Відродження. Дослідження Леонардо да Вінчі

Якісно новим в розвитку науки є період, який названо Ренесансом або Відродженням. Він розпочався з середини XV і завершився у XVI столітті.

До «високого Ренесансу» XVI століття належить концентрація середньовіччя як «віків варварства», за яких створено перерву у темпах розвитку культури. В науку приходять ремісники, інженери, з іншого боку широко освічені люди починають все більше прислуховуватись до голосу практики. Настає потреба у науково-технічній літературі написаній, не латиною, а національною мовою. Долається цехова замкнутість, цехові секрети. Складаються трактати з найбільш важливих галузей і проблем техніки.

В цей час у Європі починає змінюватись характер економічного, політичного і культурного життя. Ростуть міста, зароджується відносно крупне ремісниче виробництво, відділяється сільськогосподарське виробництво від промислового, руйнується просте натуральне господарство, ростуть темпи торгівлі, зростає роль грошового обігу, виникають нові суспільні сили: купці, банкіри, багаті ремісники – буржуазія. Новий суспільний клас зацікавлений у зростанні продуктивності праці. Буржуазія заохочує технічні та організаційні удосконалення виробництва. З іншої сторони феодальні традиції входили у суперечність з інтересами нової суспільно-політичної сили.

Буржуазія потребувала міцної держави. Розпочався процес формування міцних національних держав. Одночасно виник прошарок людей для обслуговування політичного і економічного нововведення. Виникають конфлікти між різними соціальними групами людей, які нерідко переростають у повстання. Ці повстання одночасно були спрямовані і проти форм, і проти методів діяльності церкви. У Франції, Німеччині, Англії виник широкий протестантський рух.

Європейці та, зокрема, піренейці після падіння Візантії (завоювання турками) шукали найкоротших шляхів до багатств Сходу. Генуєнець Колумб під егідою іспанського короля вирішив знайти західний шлях до Індії. Така подорож у 1492 році привела до відкриття Нових Земель. Їх назвали іменем одного з учасників подорожі Америго Веспуччі – Америкою. Плавання Васко де Гами в Індію навколо Африки відбулося у 1498 р.

Експедиція Фердинанда Магеллана (1519–1522 р.р.) здійснила першу кругосвітню подорож. Цим практично було доведено кулястість Землі. Подорож відкрила шлях до нового розуміння Всесвіту. Микола Коперник теоретично обґрунтував таке розуміння у геліоцентричній системі у праці «Про обертання небесних сфер» (1543 р.). Нові економічні відносини найперше зародились в Європі у Італії. Зміни проходили не одночасно в усіх галузях. У літературі та мистецтві вони стали найбільш помітними.

На історичну арену виходять великі художники епохи Відродження Мікеланджело, Леонардо да Вінчі, Рафаель. У середні віки основною галуззю застосування геометричної оптики була астрономія. Але вже до середини XIV ст. виникли нові практичні запити зі сторони живопису. Виникла центральна проекція в картинах Амброджо Лоренцетті Сієнського. Розвивалась теорія перспективи Паоло Учелло і Томмазо Мазаччо.

Духовні діячі Лютер, Кальвін бачили гостру потребу в реформуванні церкви.

Епоха народила великих гуманістів Томаса Мора, Еразма Роттердамського, Франсуа Рабле.

Значно розширились можливості для наукової діяльності М. Кузинського, І. Кардано, Д. Порти, Д. Рамуса, Н. Тарталья, Б. Телезія, Г. Убальди, Д. Бенедетті.

Після падіння Константинополя (1453 р.) в Італію переселяється значна частина греків. Вони сприяли відновленню забутої спадковості древніх. Книгодрукування привело до нової якості тексту книг, так як на відміну від переписування зменшується ризик спотворення.

Епоха Відродження – найбільш протяжний еволюційний шлях розвитку науки. Це епоха концептуального узагальнення не лише спостережень, дослідів, а і теоретичних положень. На порядок денний стає проблема всієї натурфілософії, вичленення з неї окремої самостійної науки – фізики, а пізніше – окремих розділів. Перший вчений, який одержав вагомні наукові результати, був Леонардо да Вінчі. Як художник, він приділяв багато уваги властивостям світла і механізму зору, безпосередньо підійшов до винайдення зорової труби з двома лінзами.

Типовим представником епохи Відродження є учень відомого педагога своєї епохи Гаспаріно Барсицці **Леон-Баттиста Альберті** (1404–

1472 р.р.). Він пройшов гуманістичну школу, перейнявся ідейністю античної літератури, цікавився питаннями мистецтва та живопису. Науково-технічна спрямованість творчості Альберті – це результат його методології, зустрічі гуманістичної вченості і безпосереднього практичного досвіду. У нього не нові ідеї запрацювали по-новому, пройшовши фільтрацію і переосмислення. Мова йшла не про гуманітарні науки, а про сутність «людяності» у культивуванні «благородних» мистецтв.

Микола Кузанський (Микола Кребс, 1401–1464 р.р.) настирливо захищав ідею про нескінченність Всесвіту. Як наслідок – Землі не надавалось особливого місця у Всесвіті. Вчений визначає питому вагу методом занурення тіла у рідину. Зваживши дерево і попіл, визначив скільки води було у вогні. Микола Кузанський описує будову і дію першого гігрометра.

Спільні інтереси мали місце у роботах **Поджо Браччоліні** (1380–1459 р.р.), який серед забутих рукописів знайшов у Сан-Галленському монастирі в Швейцарії трактат Вітрувія. Такий стиль творчості мав Джорджо Валли (1447–1500 р.р.). Надання переваги чисто класичній латині нерідко приводило до ігнорування пізнішої наукової літератури.

Проти такої тенденції виступив Леонардо да Вінчі. Аристократичному «цицериніанству» такого роду гуманістів, які писали латиною, Леонардо протиставить заклик: писати народною італійською мовою [58, с. 25].

Попередня феодальна організація промисловості не могла задовольнити запитів нового ринку. Розпад феодалізму і перехід до нових економічних відносин проходив з кінця XV до половини XVII ст. Кожен історичний період характеризується певними науковими керівними узагальнюючими ідеями. У цей час виникли дві такі ідеї: феноменологічна і механістична концепції. Найбільш загальною ідеєю, яка об'єднувала розвиток фізичної думки у першій половині XVII ст. була ідея механічного пояснення природи. Більшість учених були переконані, що всі фізичні процеси та явища можна звести до переміщення тіл, які відрізняються один від одного лише своїми геометричними властивостями.

Експериментальний підхід до вивчення фізичних явищ,

обґрунтування експериментального принципу належить Р. Бекону і Леонардо да Вінчі. Проте, час остаточної перемоги дослідної науки приходить на XVII століття. До цього вчені описували або емпіричні факти, або задачі фізики переводили на мову математики. В цей період розпочався новий етап розвитку фізики, етап формування та осмислення методології дослідження в науці, запроваджувалась феноменологічна концепція. Особливо окреслює себе область фізичних явищ, пов'язаних з природою світла. Започатковано період вивчення більш глибоких оптичних властивостей. Протягом XVII ст. відкритті основні закономірності хвильової оптики, доведена скінченність швидкості поширення світла. Все більшої актуальності набувають теоретичні проблеми фізики.

Розвиток продуктивних сил Західної Європи все більше і більше входив у суперечність з фактичним розвитком природознавчої науки. Наука авторитетів, антична та східна науки не могли дати відповіді на виявлені результати технічних та географічних відкриттів. Замало було внести корективи до ряду неправильних висновків вчених античності. Сам метод опори на авторитети себе вичерпав. Неможливо було розвивати науку не подолавши пряме наслідування Арістотелю в університетах.

Леонардо із Вінчі (15.04.1452 р. в Анкіано, коло Вінчі – 2.05.1519 р. в замку Клос-Лусе, Амбуаз) – видатний італійський вчений, дослідник, винахідник і художник, архітектор, анатоміст і інженер, одна з найвизначніших постатей італійського Відродження.



Рис. 33. Леонардо да Вінчі

Важливим джерелом для вивчення поглядів Леонарда да Вінчі є його записні книжки і рукописи (близько 7 тисяч аркушів), написані розмовною італійською мовою, бо Леонардо не знав латини... Сам він не залишив системного викладення своїх думок. «Трактат про живопис», складений після смерті учнем Леонардо Франческо Мельці із фрагментів, багато в чому самостійно взятих із контексту його записок, справив великий вплив на художню європейську практику і теоретичні думки. Для самого Леонардо да Вінчі мистецтво і наука були зв'язані нерозривно. Живопис він розумів, як

універсальну мову (подібно математиці, у сфері науки), в якій втілені пропорції та перспективи виявлення розумного початку, який царить в природі.

Особливу увагу Леонардо да Вінчі приділяв механіці, називаючи її «раєм математичних наук» і бачачи в ній головний ключ до таємниць світознання. Він зробив спроби встановити коефіцієнти тертя і ковзання, вивчав опір металів, займався гідравлікою. Численні гідротехнічні дослідження допомогли Леонарду правильно описати рівновагу рідини у посуді.

Леонардо да Вінчі цікавили проблеми польоту. У Мілані він зробив багато малюнків і вивчав літальний механізм птахів різних порід і кажанів. Окрім спостережень він проводив і дослідження, але вони всі були невдалими. Леонардо дуже хотів побудувати літальний апарат. Він говорив: «Хто знає все, той може все. Аби дізнатися – і крила будуть!» Спочатку Леонардо розробляв політ за допомогою крил, що приводяться в рух м'язовою силою людини: ідея простого апарату Дедала і Ікара. Але потім він дійшов думки про спорудження такого апарату, до якого людина не повинна бути прикріплена, а мала зберігати повну свободу, щоб управляти ним; приводити ж себе в рух апарат повинен своєю власною силою. Це по суті – ідея аероплана. Для того, щоб успішно практично побудувати і використовувати апарат, Леонардо не вистачило тільки одного: ідеї двигуна, що володіє достатньою силою. Всі інші технічні ідеї він реалізував.

Леонардо да Вінчі працював над апаратом вертикального зльоту і посадки. На вертикальному «ornitottero» Леонардо планував розмістити систему втяжних сходів.

Вивчаючи стійкість людського ока Леонардо да Вінчі висловив правильні здогадки про природу біокулярного зору. В анатомічних дослідженнях, узагальнюючи результати розписів, в деталізованих малюнках заклав основи сучасної наукової ілюстрації.

Як учений та інженер Леонардо да Вінчі збагатив проникаючими дослідженнями майже всі області науки того часу, розглядаючи свої замітки і малюнки як підготовку до гігантської енциклопедії людських знань. Скептично відносячись до популярного у той час ідеалу науковця-ерудита, Леонардо да Вінчі був найбільшим яскравим представником нового, заснованого на експерименті мистецтвознавства. Займаючись

архітектурою, він розробляє різні варіанти ідеального міста і центрально-купольного храму. На службі у правителя Мілану Людовіко Моро (1481–1482 р.р.) Леонардо да Вінчі виступає у ролі військового інженера гідротехніка, організатора придворних свят і феєрій.

Любов до моделювання приводила Леонардо да Вінчі до геніальних конструктивних здогадок, які набагато випередили епоху; такі начерки проектів металургійних печей і прокатних станів, ткацьких верстатів, друкарських, деревообробних, землеробних та інших машин, підводного човна і танка, а також розроблені після ретельного вивчення польоту птахів конструкції літальних апаратів і парашута.

Єдиний його винахід, що здобув визнання за його життя, – колещатий замок для пістолета (що заводився ключем). На початку колещатий пістолет був мало поширений, але вже до середини XVI століття став популярним у дворян, особливо у кавалерії, що навіть відбилося на конструкції лицарських обладунків, а саме: максиміліанівські лати через

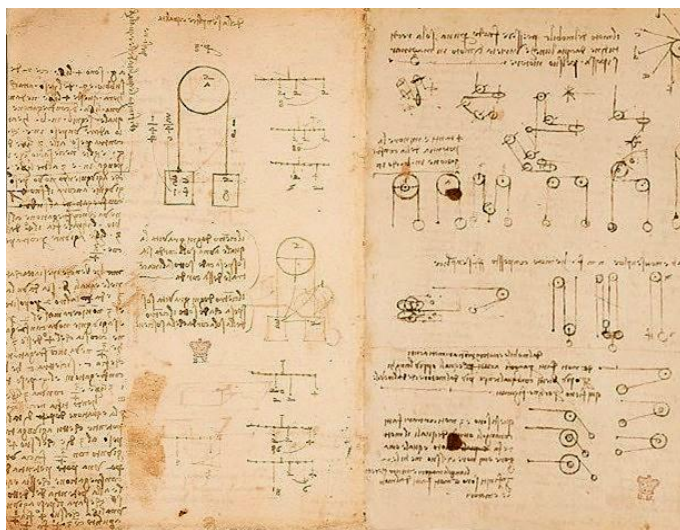


Рис. 34. Сторінка зі щоденника Леонардо: дослідження гравітації

необхідність пострілів з пістолетів стали робити з рукавичками. Колещатий замок для пістолета, винайдений Леонардо да Вінчі, був настільки вдалим, що використовувався до XIX ст.

Вчення Леонардо відкидає схоластичний метод у живописі і протиставляє йому знання, які ґрунтуються на досліді. На його думку основи нового методу

нового природознавства складають дослід і математичний аналіз. Він вийшов за межі аристотелевського розуміння руху, який стверджував, що рух вимагає для свого збереження сили. Леонардо писав, що будь-який рух прагне свого збереження, рух тіла здійснюється до того часу поки у нього зберігається сила його двигуна. Це ще не формулювання закону інерції, але і не аристотелевське трактування руху. Далі він стверджує, що сила – причина руху, рух – є причина сили.

Леонардо здійснив цікаві спостереження з властивостей звукових і

водяних хвиль. Досконало вивчив проблеми світлової тіні на різних поверхнях, особливу увагу приділив законам відбивання та поширення світла. В теорії монокулярного та біокулярного зору Леонардо застосував свої анатомо-фізіологічні знання.

Безперечно, що до оптики – теорії кольорів, теорії світла і тіней вчений прийшов через мистецтво. Але його цікавила і природа світла сама собою. Не випадково Леонардо належать продуктивні ідеї про аналогію між поширенням хвиль на воді та поширенням світла.

Гідротехніка в нього стосувалась геологічних спостережень.

Своєрідне відношення у Леонардо до математики. Він завжди цікавився фізичним змістом того чи іншого алгоритму, можливістю застосувати його до дослідних фактів.

Джерело внутрішнього невдоволення Леонардо полягало у невідповідності між розвитком фізики і математики. Для поставлених фізичних проблем не було адекватного апарату. Дослідження повинне завершитись спостереженням і дослідом. Історичні умови не сприяли розквіту таланту Леонардо.

Революція світового ринку XV ст. знищила торгові перетворення у Північній Італії. Розпочався переїзд людей із міста у село. Роздроблена Італія знаходилась у стані війни. Корисливі правителі окремих областей були поганими меценатами. Леонардо був потрібний їм як військовий інженер і, як живописець для прикраси їх палаців. Їх не цікавив Леонардо як фізик-експериментатор, математик, геолог, ботанік, анатом.

Земля перестала бути для вченого центром Всесвіту. Перекликаючись зі своїм меншим колегою М. Коперником заявив, що Сонце не рухається.

У XVI ст. продовжувались гуманістичні традиції попереднього століття. Вчені суміщали в одній особі натураліста, техніка, філолога. В Італії таким був Франческо Мавролік – гірничий інженер, оптик, видавець творів Архімеда, Аполонія, Феодосія. В Польщі – Микола Коперник – астроном, медик, економіст, перекладач з грецької мови. У Німеччині – Георг Агрикола – металург, лікар, політик-дипломат, філолог.

Франческо Мавролік (1494–1575 р.р.) – італійський вчений. Був священиком, абатом, вчителем математики у м. Мессині. Він розглядав прямолінійність поширення світла, його відбивання від різної форми поверхонь, вивчав механізм утворення тіні, фактично відкрив сферичну

аберацію, кристалик розглядав як лінзу, визначив сім кольорів веселки, розклав сонячне світло на кольори.

Революційним актом дослідження природи було видання Миколою Коперником наукового твору про геліоцентричну систему Всесвіту. Коперник хоч і досить нерішуче, в кінці свого життя, все ж кинув виклик ненауковому, догматичному методу в науці. Його вчення опиралось на багатовічний досвід людства. Людина обробляла землю, будувала міста, здійснювала протяжні подорожі не підозрюючи, що Земля з величезною швидкістю рухається у Всесвіті. Геніальні здогадки Арістраха Самоського та піфагорійців про рух Землі настільки суперечили повсякденному досвіду, що не змогли вплинути на традиційний підхід до проблеми. Тим більше, що церква підтримувала світогляд нерухомої Землі як центру Всесвіту. В Біблії описується як полководець Ісус Навин наказав Сонцю: «Зупинись, Сонце!». І за волею божою Сонце зупинилось і стояло до того часу, поки полководець не завоював місто. Прихильники нового світогляду мали неабияку мужність, щоб виступити з новими підходами до наукового бачення природи.

2.5.3. Значення робіт М. Коперника «Про обертання небесних сфер». ***Наукові погляди Джордано Бруно***

Перша науково-технічна революція (XV–XVII ст.) відкинула систему Арістотеля і геоцентричне вчення Птолемея, подолала середньовічну

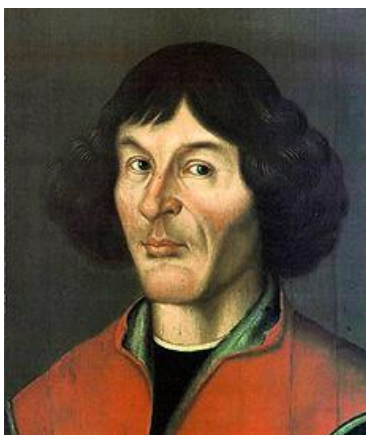


Рис. 35. Портрет Миколи Коперника, поч. XVI ст.

схоластику і зусиллями Коперника, Кеплера, Галілея, Декарта, Ньютона та інших вчених створила наукові основи математики, астрономії, механіки, медицини, тобто саме природознавство. Цей період характеризується масштабним розвитком промислового виробництва. На зміну феодальній суспільно-економічній формації прийшла капіталістична, що характеризується розвитком продуктивних сил і ускладненням виробничих відносин.

Микола Коперник (19.02.1473 р., Торунь, Польща – 24.05.1543 р., Фромборк, Польща) – польський і німецький астроном і математик, автор геліоцентричної теорії побудови Сонячної системи.

Свою найголовнішу працю, базовану на узагальненні власних тривалих спостережень і підрахунків, «Про обертання небесних сфер» (лат. «De revolutionibus orbium coelestium») Миколай Коперник опублікував після довгих сумнівів у рік своєї смерті (1543 р.).

У роботі «**Про обертання небесних сфер**» вчений постулював зовсім нове розуміння місця Землі і, разом з тим, людини у Всесвіті, виступивши творцем геліоцентричної теорії світу.

Стара геоцентрична теорія облаштування Всесвіту, яку сформулював грецький астроном Птолемей, розглядала Землю як центр світобудови і була панівною серед учених і теологів.

Довга затримка з публікацією його книги не пов'язана, як це часом стверджується, з побоюваннями переслідувань з боку Церкви, бо єпископ Гідеман Гізе, кардинал Миколай Шенберг, як і учень Георг Йоахім Ретік, давно були знайомі з його теорією і наполягали на публікації книги. Сумніви Коперника були пов'язані з інтуїтивними відчуттями деяких хиб його теорії, переобтяженої зайвими подробицями.

Твір М. Коперника «Про обертання небесних сфер» містить шість книг.

Книга Коперника латиною вийшла накладом 1000 примірників у Нюрнберзі. Згодом трактат перевидано в Базелі (1566 р.). В 1616 році Ватикан вніс книгу Коперника у перелік заборонених (в ньому вона значилась до 1828 року). Втім, це не завадило її перевиданню вже у наступному (1617 р.) році в



Рис. 36. Титульна сторінка «De revolutionibus orbium coelestium»



Рис. 37. «Астроном Коперник, або Розмова з Богом», картина Я. Матейка, 1872 р.

Амстердамі та всім дальшим передрукуванням.

Створення геліоцентричної системи світу стало революційним переворотом у науці. За висловом Ф. Енгельса, він «поклав початок звільненню природознавства від теології» [70]. Вчення Коперника науково спростовувало міф про Землю як центр Всесвіту, утверджувало однакову матеріальну природу небесних і земних тіл, їх підпорядкованість єдиним законам, проклало шлях до наукових відкриттів не лише сонячного, а й багатьох інших світів, аж до ідеї про безкінечність Всесвіту.

Нове вчення звернене до матеріалістичної атомістики, приводить до уявлення про відносність руху (подібну ідею висловив Микола Кузанський, роботи якого видрукувані у 1515 р.), рівноправність точок відліку.

Ідеї Коперника позитивно сприйняли вже його сучасники. В подальшому геліоцентрична теорія світобудови набула розвитку і коригування в роботах Галілео Галілея, Йоганна Кеплера, Ісаака Ньютона та інших.

Видатними українським пропагандистами ідей Коперника були Є. Славинецький, Ф. Прокопович та інше. Діяльність видатного українського мислителя Григорія Сковороди сприяла утвердженню ідей Коперника в науці і передовій філософській думці.

Теорія Коперника поставила перед наукою ряд проблем. Висновки з теорії необхідно було перевірити астрономічними спостереженнями за рухом планет. Це потребувало новітніх приладів: підзорних труб, телескопів. На порядок денний постало питання фізичного обґрунтування кінематичних схем. Теорія відкривала простір новим, сміливим пропагандистам. Адже теорію Коперника не визнавав церковний реформатор Лютер, філософ-матеріаліст – Френсіс Бекон, астроном Тихо Браге. Під особливим контролем нове вчення було у церкви.

Таким чином, М. Коперник розв'язав дві важливі задачі: він намагався показати об'єктивний характер геліоцентризму, висунув тезу про відносність руху і, що рух Землі носить істинний характер.

У цей період в історію науки ввійшли учені-самоучки:

- Нікола Тарталья – магістр абака, знавець балістики, викладач комерційної математики;
- венеціанець Джовані Бенедетті – автор твору «Книга різних

математичних і фізичних умовиглядів», математик герцорга Савойського.

У другій половині XV – на початку XVI століття наука здебільшого гуртувалась при дворах правителів. Заохочувались наукові й технічні знання і в першу чергу фортифікація, артилерія, гідротехнічні споруди. Один з таких центрів було організовано в м. Урбано. Тут працювали Франческо ді Джорджо Мартіні (1425–1506 р.р.) – архітектор, Пьєро де-Франческі (1420–1492 р.р.) – математик, Лука Пачолі (1445–1514 р.р.) – математик, Федеріго Коммандіно (1509–1575 р.р.) – перекладач, дослідник проблеми про центр тяжіння, Гвідо Убальді дель Монте (1545–1607 р.р.) – покровитель Г. Галілея.

Нові ідеї проникали і до університетських аудиторій. В містах Мілан, Павія Джіроламо Кардано (1501–1576 р.р.) займався новітніми проблемами математики, фізики, медицини. Він знайшов спосіб розв'язку рівнянь третього степеня і на цьому ґрунті вів довгу дискусію з Н. Тартальє. Д. Кардано вважав вогонь особливим елементом Всесвіту, а інші – зводив до трьох: земля, вода, повітря.

Типовим представником науки XVI століття є неаполеанець Джованні-Баттиста делла Порта (1540–1615 р.р.). Порта виступив проти некритичного сприймання наукових авторитетів, проти книжкових знань, які не перевірені дослідом.

Коллективні організації, академії XV–XVI століття не були ще навчальними чи науковими закладами сучасного типу. Все закінчувалось обміном науковими думками, співрозмовами. Кожен автор писав своє.

Таким чином, до середини XVI століття разом з посиленням натиску феодалної реакції, збільшився супротив експериментальній науці. Для боротьби з новими «єресями» у 1534 р. було утворено орден єзуїтів. В 1540 р. папа затвердив орден буллою, яка розпочиналась словами «Бойовий загін войовничої церкви...». На Тридентському соборі (1545–1575 р.р.) відбулась консолідація сил католицької реакції. У католицьких державах лютувала інквізиція. Згідно статуту в єзуїтських школах у основу філософського і природничого викладання було покладено читання та коментування Арістотеля з характерним попередженням довго не затримуватись на книгах фізики [95, с. 139]. Представники схоластики XVI–XVII ст. переважали схоластів XIII–XIV ст. за своєю віртуозністю.



Рис. 38. Джордано Бруно

Трагічною жертвою боротьби старої і нової наукової ідеології став **Джордано Бруно** (1548–1600 р.р.), якого живим спалили на вогнищі за вироком інквізиції. Він намагався викласти нове вчення про космос у самій різноманітній формі, для різних прошарків суспільства прозою і віршами.

У 16-річному віці він постригся у монахи під іменем Джордано. Молодий монах вивчив твори Фоми Аквінського, Миколи Кузанського. У 24 роки призначається священником у м. Кампаньє, де знайомиться з творами М. Коперника. Методологія мислення Д. Бруно викликає підозру у монахів ордена домініканців, до якого він належав.

У 1591 р. на запрошення венеціанського дворянина Мочениго він прибув до Венеції. Мочениго вважав, що Д. Бруно володіє таємницею виготовлення золота. Уроки Д. Бруно розчарували Мочениго. Д. Бруно зрозумів свою помилку і зібрався переїхати до Франфурта. Але Мочениго випередив його. За доносом на Д. Бруно його було заарештовано інквізицією та 17 лютого 1600 р. спалено на площі квітів. Нині на цьому місці стоїть пам'ятник Д. Бруно.

2.5.4. Наукові та філософські погляди І. Кеплера

Наукові традиції Д. Бруно та М. Коперника продовжив один з творців



Рис. 39. Портрет Іоган Кеплера (1610 р.), копія втраченого оригіналу з монастиря бенедиктинців у Кремзі

небесної механіки німецький вчений **Іоган Кеплер** (27.12.1571 р., Вайль-дер-Штадт – 15.12.1630 р., Регенсбург) – німецький філософ, математик, астроном, астролог і оптик. Відкрив закони руху планет, названі на його честь.

І. Кеплер народився сім'ї бідного дворянина, який служив простим солдатом. Виховував майбутнього вченого його дід. Після закінчення у 1593 р. Тюбінгенського університету шість років працював у Вищій школі в Гаці. Займався числовим співвідношенням між орбітами планет. Свої спостереження відправив Тихо Браге і

Галілею. Браге не сприйняв спосіб визначення орбіт, але запросив молодого вченого до себе як математика. І. Кеплер вважав, що сила, яка діє перпендикулярно до радіуса, виникає внаслідок захоплення планет Сонцем при його русі. Як і Арістотель він вважав, що швидкість руху планети пропорційна силі $v \sim F$. Звідси І. Кеплер мав наміри одержати другий закон для опису руху планет. Для цього необхідно було довести, що $v_{\perp} \sim \frac{1}{r}$. Але на той час уже було відомо, якщо сила діє у всі сторони, тому $F \sim \frac{1}{r^2}$, що І. Кеплеру не підходило. Він припустив, що планети рухаються (лежать) у одній площині і сила витрачається лише раціонально у площині, де рухаються планети. Тоді буде справедливим $F \sim \frac{1}{r}$ і це пояснювало другий закон. І. Кеплер встановив, що Місяць викликає припливи, але чіткої теорії припливів не встановив, бо не була створена механіка.

У місті Грац посилилась католицька реакція і протестант І. Кеплер вимушений переїхати до Угорщини, а потім до Праги до датського астронома Тихо Браге. Після смерті Т. Браге переїхав до Лінца, а потім в Ульм. Останні роки життя провів у блуканнях і злиднях. Життя І. Кеплера було досить важким.

І. Кеплер заснував оптику як науку та допоміг довести відкриття, зроблені з допомогою телескопа його сучасником Галілео Галілеєм.

У книзі «Таємниця світу» (1596 р.) І. Кеплер спробував привести орбіти п'яти відомих тоді планет у відповідність з поверхнями п'яти Платонових тіл. Орбіту Сатурну він представив як коло (ще не еліпс) на поверхні кулі, описаного навколо куба. У куб, у свою чергу була вписана куля, що повинна була представляти орбіту Юпітера. У цю кулю був вписаний тетраедр, описаний навколо кулі, що представляли орбіту Марса і т.д. Ця робота після подальших відкриттів Кеплера втратила своє первісне значення, проте представляє не тільки історичний інтерес, але й приваблива з

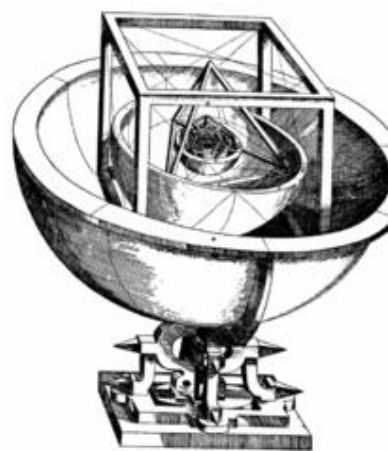


Рис. 40. «Кубок Кеплера»: модель Сонячної системи з п'яти платонових тіл

математичної точки зору, представляючи відношення радіусів планетних орбіт ірраціональними числами.

Протягом декількох років І. Кеплер уважно вивчає численні дані спостережень Браге й у результаті ретельного аналізу доходить висновку, що траєкторія руху Марса не коло, а еліпс, у фокусі якого знаходиться Сонце – положення, відоме сьогодні під першим законом Кеплера. Подальший аналіз привів до другого закону – чим далі планета від Сонця, тим повільніше вона рухається. Обидва закони були описані Кеплером у 1609 р. у книзі «Нова астрономія».

У 1604 році І. Кеплер видав змістовний трактат з оптики «Доповнення до Вітеллія». У 1611 р. І. Кеплер публікує книгу «Діоптрика», що з'явилася першим викладом оптики як науки [101]. Тут І. Кеплер докладно описує явище заломлення світла і поняття оптичного зображення. Вводить терміни «оптична вісь» і «меніск», вперше формулює закон падіння освітленості обернено пропорційно до квадрату відстані до джерела світла. Вперше описує явище повного внутрішнього віддзеркалення світла при переході в менш щільне середовище. Він описує заломлення світла, рефракцію і поняття оптичного зображення, загальну теорію лінз і їхніх систем.

Описаний ним фізіологічний механізм зору, з сучасних позицій, принципово вірний. І. Кеплер з'ясував роль кришталіка, вірно описав причини короткозорості та далекозорості.

Глибоке проникнення в закони оптики привело І. Кеплера до схеми телескопічної підзорної труби (телескоп Кеплера), виготовленої в 1613 році Христофом Шайнером. До 1640-х років такі труби витіснили в астрономії менш довершений телескоп Галілея.

Подальший аналіз орбіти Марса привів Кеплера в 1618 р. до відкриття третього закону: відношення куба відстані планети від Сонця до квадрату періоду обертання її навколо Сонця є величина постійна для всіх планет:

$\frac{a^3}{T^2} = const$. Цей результат І. Кеплер публікує в книзі «Гармонія світу».

Одним з важливих етапів в історії науки було пророкування І. Кеплером на основі відкритих ним законів проходження Венери на тлі сонячного диска в 1631 р.

В кінці XVI ст. в астрономії ще відбувалася боротьба між геоцентричною системою Птолемея і геліоцентричною системою Коперника. Супротивники системи Коперника посилювалися на те, що відносно похибки розрахунків вона нічим не краще птолемеївської. Нагадаємо, що в моделі Коперника планети рівномірно рухаються круговими орбітами: щоб погоджувати це припущення з видимою нерівномірністю руху планет, Копернику довелося ввести додаткові рухи епіциклами. Хоча епіциклів у Коперника було менше, ніж у Птолемея, його астрономічні таблиці, спочатку точніші, ніж птолемеєві, незабаром істотно розійшлися із спостереженнями, що немало спантеличило і охолодило захоплених коперниканців.

Відкриті І. Кеплером три закони руху планет повністю і з чудовою точністю пояснили видимі нерівномірності цих рухів. Замість численних надуманих епіциклів модель І. Кеплера включає тільки одну криву – еліпс. Другий закон встановив, як змінюється швидкість планети при віддаленні або наближенні до Сонця, а третій – дозволяє розрахувати цю швидкість і період обертання навколо Сонця.

Хоча історично кеплерівська система світу заснована на моделі Коперника, фактично у них дуже мало загального (тільки добове обертання Землі). Зникли кругові рухи сфер, що несуть на собі планети, з'явилося поняття планетної орбіти. У системі Коперника Земля все ще займала дещо особливе положення, оскільки тільки у неї не було епіциклів. У І. Кеплера Земля – рядова планета, рух якої підпорядкований загальним трьома законами. Всі орбіти небесних тіл – еліпси (рух гіперболічною траєкторією відкрив пізніше Ісаак Ньютон), загальним фокусом орбіт є Сонце.

І. Кеплер вивів також «рівняння Кеплера», що використовується в астрономії для визначення положення небесних тіл.

Закони динаміки планет, відкриті І. Кеплером, слугували пізніше Ісааку Ньютону основою для створення теорії гравітації. І. Ньютон математично довів, що всі закони Кеплера є наслідком закону тяжіння.

Погляди І. Кеплера на будову Всесвіту за межами Сонячної системи витікали з його містичної філософії. Сонце він вважав нерухомим, а сферу зірок вважав межею світу. В нескінченність Всесвіту І. Кеплер не вірив і як аргумент запропонував (1610 р.) те, що пізніше отримало назву

«фотометричний парадокс»: якщо число зірок нескінченне, то в будь-якому напрямі погляд наткнувся б на зірку, і на небі не існувало б темних ділянок.

Система світу Кеплера претендувала не тільки на виявлення законів руху планет, але і на набагато більше. Аналогічно піфагорійцям, І. Кеплер вважав світ реалізацією деякої числової гармонії, одночасно геометричної та музичної; розкриття структури цієї гармонії дало б відповіді на найглибші питання.

Наприклад, І. Кеплер пояснює, чому планет саме шість і вони розміщені в просторі так, а не якимось інакше: виявляється, орбіти планет вписані в правильні багатогранники. Цікаво, що виходячи з цих ненаукових міркувань, І. Кеплер передбачив існування двох супутників Марса і проміжної планети між Марсом і Юпітером.

Закони І. Кеплера сполучали в собі ясність, простоту і обчислювальну потужність, хоча містична форма його системи світу ґрунтовно засмічувала реальну суть великих відкриттів І. Кеплера. Проте вже сучасники Кеплера, відокремивши «зерна від лушпиння», переконалися в точності нових законів, хоча їх глибинна суть до Ньютона залишалася незрозумілою. Ніяких спроб реанімувати модель Птолемея або запропонувати іншу систему руху, окрім геліоцентричної, більше не робилося.

Він немало зробив для ухвалення протестантами григоріанського календаря (на сеймі в Регенсбурзі, 1613 р., і в Аахені, 1615 р.).

І Кеплер став автором першого змістовного (у трьох томах) викладу коперніканської астрономії (*Epitome astronomia Copernicanae*, 1617–1622 р.р.), який негайно удостоївся честі потрапити в «Індекс заборонених книг». У цю книгу, свою головну працю, Кеплер включив опис всіх своїх відкриттів в астрономії.

Влітку 1627 року І. Кеплер після 22 років праць опублікував (за свій рахунок [148]) астрономічні таблиці, які на честь імператора назвав «Рудольфовими». Попит на них був величезний, оскільки всі колишні таблиці давно розійшлися із спостереженнями. Важливо, що праця вперше



Рис.41. Фронтиспіс «Рудольфових таблиць»

включала зручні для розрахунків таблиці логарифмів. Кеплерові таблиці слугували астрономам і морякам аж до початку XIX століття.

Саме І. Кеплер ввів у фізику термін «інерція» як природжена властивість тіл чинити опір прикладеній силі. Заразом він, як і Галілей, формулює в ясному вигляді перший закон механіки: всяке тіло, на яке не діють інші тіла, знаходиться у спокої або здійснює рівномірний прямолінійний рух.

Кеплер впритул підійшов до відкриття закону тяжіння, хоч і не намагався виразити його математично. Він писав в книзі «Нова астрономія», що в природі існує «взаємне тілесне прагнення схожих (споріднених) тіл до єдності або з'єднання». Джерелом цієї сили, на його думку, є магнетизм у поєднанні з обертанням Сонця і планет навколо своєї осі.

В іншій книзі І. Кеплер уточнив: «Гравітацію я визначаю як силу, подібну до магнетизму – взаємного тяжіння. Сила тяжіння тим більша, чим обидва тіла ближче одне до іншого».

Правда, І. Кеплер помилково вважав, що ця сила розповсюджується тільки в площині екліптики. Мабуть, він вважав, що сила тяжіння обернено пропорційна відстані (а не квадрату відстані); втім, його формулювання не досить ясні.

І. Кеплер перший, майже на сто років раніше І. Ньютона, висунув гіпотезу про те, що причиною приливів є дія Місяця на поверхню океанів [46].

Таким чином, в епоху Відродження набули нового значення спостереження та експеримент. Новітні уявлення про Всесвіт – коперниканський геліоцентризм, ідея нескінченного ізотропного простору викликали перегляд понять часу і руху, привели до невирішених проблем у динаміці. Старі уявлення про сили і рух були переглянуті у світлі нових уявлень про Всесвіт. Проте існуючий математичний апарат ще не задовольняв потреби опису фізичних явищ. На порядок денний постало питання утворення нової математики змінних величин. М. Коперник дав математичну інтерпретацію небесних рухів з точки зору геліоцентризму, але фізичної інтерпретації не зробив. Така математика була створена у XVII ст. Г. Галілеєм (1564–1642 р.р.) та Р. Декартом (1596–1650 р.р.).

2.5.5. *Натурфілософські погляди Г. Галілея*

Друга половина XVI століття поряд з астрономічними дослідженнями характерна розвитком прикладної оптики. В цей період Г. Галілей і Т. Херіот вернулись до атомізму древніх і відійшли від атомізму Арістотеля. Томас Херіот менш відомий у науці астроном, фізик, математик, але роботи його досить цікаві (на жаль не надруковані). Він ще до Г. Галілея застосував телескоп, за двадцять років до Д. Снелля відкрив закон заломлення світла, незалежно від Г. Галілея відкрив закон інерції [158; 159]. Вчений радив І. Кеплеру «зжатись» до величини атома, щоб проникнути у двері Природи [154, с. 33].

Д. Порт помістив у камеру-обскура лінзу, вставив циліндричну трубку і одержав зображення предмета поза людського ока. До цього вважали, що зображення мали в оці і на картинах. Це дало змогу відділити поняття світлового променя від зору. Оптика перетворювалась з науки про зір в науку про світло. Еволюція даної проблеми довготривала і закономірна, бо око – унікальний природний інструмент. Чутливість ока – мінімальна кількість енергії, яка необхідна для одержання світлового відчуття. Якщо око знаходиться на відстані 1 метра від джерела світла в 1 свічку, це відповідає освітленості на сітчатці в 1 люкс (люмен на 1 м²). При діаметрі кришталіка в 3 мм (площа 0,07 см²) мінімальна потужність є порядку 0,1 ерг/с = 10⁻⁸ Дж/с. Така кількість енергії один грам води нагріє на 1 °С за 14 років. Око здатне бачити зірку 6-ї величини. Освітленість в цьому випадку рівна освітленості на відстані 11 км свічкою метрової довжини.

Г. Галілей винайшов зорову трубу і спрямував її в небо, чим було започатковано нову епоху розвитку астрономії, фізики та математики. Сама собою зорова труба нічого не варта, якби її не використали у дослідженнях.

Галілео Галілей (15.02.1564–8.01.1642 р.р.) – видатний італійський мислитель епохи Відродження, засновник класичної механіки, фізик, астроном, математик, один із засновників сучасного експериментально-теоретичного природознавства, поет і літературний критик. Син музиканта Вінченцо Галілея.

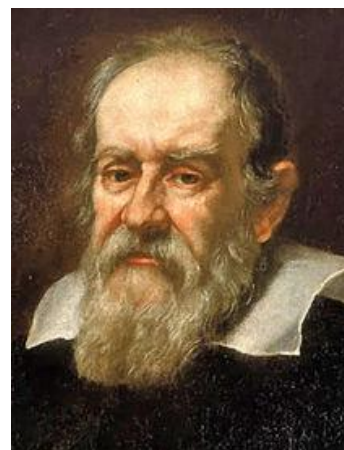


Рис. 42. Галілео Галілей

Галілео Галілей залишив розгорнутий виклад експериментально-математичного методу вивчення природи і сформулював найважливіші принципи механічного світу. Його дослідження кардинально вплинули на розвиток наукової думки. Саме від нього бере початок фізика як наука. Найважливішим вкладом Галілео Галілея в науку була свідомо й послідовна заміна пасивного спостереження активним експериментом. Результатами цих експериментів стали зроблені ученим наукові відкриття.

Г. Галілею людство зобов'язане двома принципами механіки, що зіграли велику роль у розвитку не тільки механіки, але й усієї фізики. Сформулювавши принцип відносності руху для прямолінійного і рівномірного руху, закон вільного падіння тіл, механіку їхнього руху похилою площиною (1604–1609 р.р.) і тіла, кинутого під кутом до горизонту, ідею про ізохронізм коливання маятника (1583 р.), ідею інерції (1609 р.), Г. Галілей заклав основи класичної механіки системи відліку, а другий принцип, пов'язаний з вільним падінням тіл, привів його до поняття інертної та важкої маси. А. Ейнштейн поширив механічний принцип відносності Галілея на всі фізичні процеси, зокрема на світло, і вивів з нього наслідки про природу простору і часу (при цьому перетворення Г. Галілея замінюються перетвореннями Лоренца). Об'єднання ж другого галілеївського принципу, що А. Ейнштейн тлумачив як принцип еквівалентності сил інерції та сил тяжіння, із принципом відносності привело його до загальної теорії відносності.

Першим серйозним винаходом Г. Галілея були гідростатичні ваги для швидкого визначення складу металевих сплавів (1586 р.); визначив питому вагу (густина) повітря. Винайшов термоскоп, що є праобразом термометра. Висунув ідею застосування маятника в годиннику. Проводив фізичні дослідження, присвячені також гідростатиці, міцності матеріалів.

У 1608 р. у Голландії винайшли зорову трубу. Г. Галілей розпочав роздуми над можливою конструкцією більш досконалої труби і протягом року сконструював трубу з випуклою та увігнутою лінзами, яку спрямував на небо. Так у 1609 р. Г. Галілей побудував свій перший телескоп з трикратним збільшенням, а трохи пізніше – зі збільшенням у 32 рази. З їхньою допомогою Г. Галілей здійснив ряд важливих астрономічних відкриттів – гори і кратери на Місяці, розміри зірок та їхня колосальна віддаленість, плями на Сонці, 4 супутники Юпітера, фази Венери, кільця

Сатурна, Чумацький Шлях як скупчення окремих зірок та ін. На основі одержаних знань вчений пише твір «Зоряний вісник».

У 1610–1614 роках, змінюючи відстань між лінзами, він створив також мікроскоп. Завдяки Г. Галілею лінзи й оптичні прилади стали могутнім зряддям наукових досліджень

До нашого часу дійшло декілька цікавих і повчальних висловлювань Г. Галілея; зокрема, він зазначав: «У науці тихе зауваження однієї людини цінніше за голосні твердження тисячі однодумців».

На перший погляд твори Г. Галілея мають лише історичну вагу, якщо не зважати на методологію його мислення, аналіз, висновки. Більшість роздумів вченого в малих і великих трактатах є розбором експериментів, їх критика, створення нових реальних і уявних дослідів, які виникають тут же в рамках тексту, наочності. Таке характерне для ситуації визрівання фізичної теорії. Г. Галілей став основоположником нової науки, основою якої є принцип перевірки фізичної теорії шляхом постановки наперед спланованого експерименту.

Д. Бруно розвивав філософський аспект вчення М. Коперника. І. Кеплер привів систему М. Коперника у відповідність до новітніх даних астрономії. Г. Галілей обґрунтував систему Коперника, практично почав розробляти основи нової фізики, яка прийшла на зміну аристотелевській. Леонардо да Вінчі розумів, що наука повинна будуватись на досліді та математичному розрахунку і у своїх експериментах приходив до висновків, які передували Г. Галілею. Але роботи Леонардо не були надруковані. Вони залишились у його записних книжках і записані були у дзеркальному відображенні. Розшифрувати їх було важко. Чому так склалось можна лише здогадуватись. Власне він не був дослідником природознавства, він займався будівничою справою, куди вносив нові ідеї, які пов'язані з розглядом фізичних явищ. Крім цього можна було потрапити під підозру інквізиції.

Г. Галілей народився у небагатій пізанській дворянській сім'ї. На бажання батька спочатку навчався на медичному факультеті Пізанського університету, а потім перейшов на філософський, де вивчав математику та філософію. У 20 років сконструював гідростатичні ваги. Через рік його призначають професором Пізанського університету. Представники схоластики відносяться до нього з недовірою, і Г. Галілей переїздить до

університету м. Падуе, де працював з 1592 до 1610 року. Тут розпочав боротьбу за систему Всесвіту Коперника. Накопичував теоретичний і прикладний матеріал. Твір «Зоряний вісник» Г. Галілей присвятив великому герцогу Тосканському Возимо II Медички. Цим він готував переїзд до Флоренції під захист великого герцога. Адже Венеція видала Д. Бруно інквізиції. У роботах Г. Галілея телескоп не лише розширив Всесвіт, але надав значний поштовх уявленню про нескінченність світу та науки. Вчений стверджує, що людський розум завжди буде охоплювати лише невелику частину істини [14].

Період з 1610 до 1615 рік був насичений фактами на користь нової основи науки, але завершився доносом на Г. Галілея до Риму. Церковному суду слід було висловитись чи сумісна система світу М. Коперника з вченням церкви чи є ересю. На початку 1616 року Г. Галілей поїхав до Риму і переконливо доводив істину наукових фактів. Але церковники мали іншу думку. 5 березня 1616 року декретом конгрегації інквізиції книга М. Коперника була заборонена, а вчення про рух Землі було визнано несумісним з священним писанням. Наступного дня посланець герцорга доповів про заборону вчення і повідомив про незгоду з таким висновком Галілея. Все ж вченому не заборонялось критикувати вчення Птолемея і Арістотеля. Він продовжував формувати основи нової фізики.

Після завершення рукопису наукового твору «Діалог про дві системи світу – Птолемеєвої і Коперникової» Г. Галілей повіз його до Риму, щоб одержати дозвіл на друкування. В цей час на престолі папи був Урбан III, який ще кардиналом добре відносився до вченого. Головний цензор не заперечив друкування, але запропонував у передмові вказати, що теорія М. Коперника є лише гіпотеза. Г. Галілей написав таку передмову. Гостро полемічна книга у формі діалогу трьох венеціанців Сальвіати, Сагрето і Сімплічіо вийшла з друку 2 серпня 1632 р. Вороги Г. Галілея доповідали, що під маскою Сімплічіо сховано самого папу. Книга була сенсацією. Система М. Коперника одержала фізичне, астрономічне і філософське обґрунтування. Схоластика зазнала чергової поразки.

Крім уявлення про нескінченність світу та науки до основних ідей Г. Галілея відноситься:

- утвердження про незнищуваність речовини: всі зміни, які проходять у природі є лише переходом в інші форми (частинки) матерії.

Більш ґрунтовно дану ідею розкрив Р. Декарт;

- механічне пояснення природи, яке ґрунтувалось лише на оптичних спостереженнях;

- введення одного з основних принципів механіки – принцип інерції. Ідея космічної інерції є головним аргументом на користь системи М. Коперника;

- перехід від теоретичних узагальнень, до експериментального вивчення явищ природи. До основних експериментів Г. Галілея належать – досліди з маятником, похилою площиною, падіння тіл з деякої висоти;

- розкриття проблеми опору матеріалів через неперервність речовини, яка складається з найдрібніших частинок;

- розвиток гідростатики через визнання пустоти. В епоху Відродження загострився старий спір між прихильниками та противниками пустоти. Дію сифонів, медичних піпеток одні пояснювали тим, що природа боїться пустоти, а інші – явищем розрідження над рідиною.

У «Діалозі» протягом першого дня розглядаються проблеми філософського початку механіки, протилежність земного і небесного, трьохмірність простору тощо.

Бесіда другого дня займає центральне місце в творі. Тут розглядаються аргументи проти вчення про рух Землі, робиться аналіз аристотелівського уявлення про рух, формулюється закон інерції, пояснюється система Коперника на основі закону інерції, формулюється принцип відносності, природнім вважається коловий рух, оперується поняттям земного тяжіння.

Г. Галілей бачив аналогію між рухом колеса та Землі. Але при обертанні колеса тіла з нього за інерцією злітають за прямолінійно траєкторією. Якби не було тяжіння тіла на Землі летіли б дотичною. Тоді відстань $A_n B_n$, на яку віддалилось би тіло від поверхні сфери, зростає як t_n^2 за умови, що t – невелике. Відстань $A_o A_n = v t_n$. Вчений наблизився до визначення доцентрового прискорення і повного розв'язку задачі, рис. 43.

Потім Г. Галілей пояснює, що у дійсності

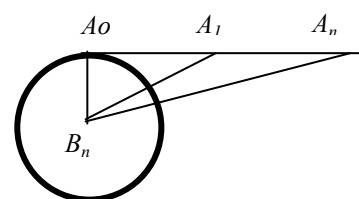


Рис. 43. Пояснення вивчення доцентрового прискорення

швидкість падіння не пропорційна вазі, але узагальнення не робить. Подальші думки у нього якісного характеру. Робиться висновок, що здатність колеса скинути тіло пропорційна $\frac{v}{R}$ і тому Земля не може скинути тіло як колесо, бо робить один оберт за 24 години. Майже через 30 років Х. Гюйгенс довів думку Г. Галілея до кінця і вивів формулу для доцентрової сили.

Третього дня співрозмовники розглядають наступні питання: аналізуються астрономічні відкриття на користь системи М. Коперника (вид Місяця у телескоп, сонячні плями, фази Венери, супутники Юпітера).

У бесіді четвертого дня правильно говориться про вплив добового обертання Землі на всі явища на земній поверхні. Але розробив помилкову теорію припливів та відпливів на основі інерції (баржа з водою гальмується, вода набігає, а прискорюється – вода відпливає).

Вчений виступив проти сліпого схилення перед вченням Арістотеля. Він говорить, що Арістотеля слід вивчати, аналізувати, робити з його вчення висновки, а не брати на віру.

Проте скоро після виходу в світ книги Г. Галілей пише, що «з вірних джерел дізнався, як батьки-єзуїти наговорили вирішальній особі, що моя книга страшніша і згубніша писання Лютера і Кальвіна» [97]. Хворого Г. Галілея на носилках доставили до Риму. Процес інквізиції продовжувався із 2 квітня до 21 червня 1633 р. 22 червня вчений відрікся від своїх переконань. Матеріали процесу не надруковані до цього часу. Є багато нез'ясованих деталей. Невідомо, зокрема, чи піддавали його тортурам. Інквізиція не визнала Г. Галілея єретиком, що не вело його до багаття, вогнища, але затаврувала як запідозреного в єресі. Формальним відреченням Г. Галілей спасав великий твір від знищення.

Після суду Г. Галілей прожив 5 років під наглядом інквізиції й помер у 1638 р. Сили його залишали, вчений осліп. За цей період він написав головний свій твір «Бесіди про дві нові науки». Були закладені основи методології нової науки. Так розпочалась перша наукова революція у природознавстві.

У 1638 р. у Голландії була видана робота «Бесіди» і математичні доведення, які стосуються двох нових галузей науки, що відносяться до механіки і місцевого руху. «Бесіди» побудовані також на діалогах

протягом шести днів. У перші два дні обговорюються способи вимірювання швидкості світла, акустика, опір балок на згин. Зміст третього та четвертого днів присвячений місцевому руху. Під місцевим рухом Г. Галілей розумів рух, при якому відстані були набагато менші радіуса Землі. Тут послідовно розглянуто рівномірний і рівноприскорений рух, рух тіла під кутом до горизонту (одержав траєкторію параболи і склав таблиці для аналізу руху ядра). З графіка рівноприскореного руху вчений виводить формулу $s = \frac{at^2}{2}$ і описує експерименти, які доводять справедливість закону для похилої площини.

Під час розгляду руху тіла на горизонтальній площині без опору швидкість тіла не змінюється, а на краю площини маємо складний рух: горизонтальний – рівномірний прямолінійний, і природно, прискорений під дією тяжіння Землі. Г. Галілей мав схематичне формулювання першого і другого законів механіки і вважав, що для планет природним рухом є коловий. Тому І. Ньютон був не зовсім точним, коли приписав відкриття першого і другого законів механіки Г. Галілею. Скоріше ці закони формувались поступово багатьма ученими. Зокрема, точне формулювання першого закону можна знайти у Р. Декарта [31; 44, с. 26].

Ідеї «Діалогу» та «Бесід» ще не об'єднані. У «Діалозі» йде мова про інерційних рух, у «Бесідах» – про прискорений рух. Поняття прискорення ввійшло в астрономію у І. Кеплера. Об'єднання цих ідей постало перед І. Ньютоном.

Загальні фізичні уявлення фізичної картин світу Г. Галілея (зведення всіх явищ до переміщення без якісних частин речовини) розвинув Р. Декарт (латинська форма прізвища Картезіз).

2.5.6. Зародження наукових товариств та академій

Сучасник Г. Галілея відомий державний діяч Англії і філософ **Френсіс Бекон** (1561-1626 рр.) роздумував про технічний прогрес. Він бачив закономірність наступу буржуазної революції у державі й вирішив написати глибокий твір під назвою «Велике



Рис. 44. Френсіс Бекон

становлення». Йому судилось написати лише одну частину «Новий органон» (надрукована у 1620 р.). У цьому творі Ф. Бекон:

- здійснив аналіз стану розвитку науки в університетах і зробив висновок про глибоку суперечність, яка сталась внаслідок розвитку механічних «мистецтв», тобто у техніці, де здійснюється інтенсивний поступальний розвиток;

- показав, що опора на науку древніх не може усунути суперечність між теорією та практикою. «Було б ганебне для людей якби границі розумового світогляду залишалися в тісних межах того, що було відкрито древніми. Тоді як в наші часи невимірно розширилися і приведені до відома межі матеріального світу, тобто земель, морів, зірок» [83, с. 56];

- виявивши причини незадовільного стану розвитку науки і показавши хибність мети і методу науки, протидію технічному прогресу церкви і схоластики: пізнанню істини заважає недосконалість відчуття «призраки Роду» і суперечать «призракам Ринку»;

- розділив учених того періоду на емпіриків та догматиків. На його думку емпірики подібні до мурашок, які тягнуть до своєї мурашкової кучі всілякі факти. Догматики подібні павуку – снують тканину із себе. Необхідно працювати як бджола – добувати матеріал із зовнішнього світу і переробляти його раціонально;

- в основу нового методу в науці поклав дослід, експеримент. Наука повинна опиратись на дослід, практику і будувати з них висоти методом індукції, тобто від одиничного до загального. Узагальнення знову перевіряються дослідом, практикою.

Індуктивний метод відіграв вирішальну роль у розвитку природознавства XVII-XVIII ст. Тривалий час фізика, хімія, астрономія називались індуктивними науками.

- показав, що індукція недосконала без математичного аналізу, без використання математики. «Найкраще ж просувається вперед природниче дослідження, коли фізичне завершується в математичному» [95, с. 46].

Ф. Бекон декларував перевагу дослідного вивчення природи, що і склало основу феноменологічної концепції. Нова фізика виникла на основі з'єднання механічного пояснення природи, геліоцентризму та системи дослідного експериментування.

Характерним було те, що офіційні наукові заклади – університети не

лише не приймали участі у науковому перевороті XVII ст., а навпаки стали у різку опозицію до нього. Університетське викладання цілком було орієнтоване на античні зразки, де на першому місці стояли Арістотель і Платон. Тому всі наукові дослідження носили головним чином філософський характер. Природничі науки поглинулись філологічним забарвленням і кваліфікувались як своєрідне любительство, яке немає ніякого відношення до практичного життя. Як правило, все описувалось у віршованих формах, одах тощо.

Такий стан наукового викладання і дослідної роботи не задовольняв нові суспільні прошарки, які бажали теоретично усвідомити свою власну промислову і технічну діяльність. Вираження такого невдоволення найбільш чітко виражено у наукових працях Т. Гоббса, П. Гассенді, Ф. Бекона, Р. Декарта, Г. Галілея. Якщо М. Хілл, Д. Сеннерт намагались побудувати міст між атомізмом і арістотеліанством, то П. Гессені, Т. Гоббс, Р. Декарт будували великі фізичні системи, з допомогою яких робили спробу пояснити абсолютно все [44, с. 31]. Ці три натурфілософи є відповідальними за установлення **механістичної філософії** або **доктрини речовини і руху в якості єдиної основи для наукового пояснення**. Вони ж розуміли і глибокі суперечності їх філософії. У XVII ст. така доктрина визначила напрямок досліджень, що дістав назву «гіпотетична фізика» проти якої у 1660 р. у Англії розпочалась нищівна критика. Її лідером виявився Ф. Бекон [146]. Відкинувши спочатку сприйнятий атомізм він висунув чисто апріорну побудову будь-якої фізичної теорії – безсумнівність. Заклик Ф. Бекона до безсумнівності знайшов відгук у науці. Утворення Королівського товариства, реставрація династії Стюартів виражалось оформленим протестом беконіанців проти систематизаторів.

У науці виникло декілька течій. Одні відкинули всі теорії і відступили згідно трактату Ф. Бекона на позиції відпрацьованого в історії про природу експерименту. Апріорна система французьких учених не влаштувала Р. Бойля, і він один з перших розпочав дослідження з допомогою експерименту. Другі, подібно до І. Барроу та І. Ньютона прийняли принцип безсумнівності почали зміцнювати його математикою – виникла математична фізика. І. Барроу протестував проти підходів натурфілософів насамперед Р. Декарта, Т. Гоббса, основою якого були

гіпотези [147, с. 58-239]. Проте він не відкидав механістичну філософію, де йшла мова про речовину і рух.

Під впливом ідей Ф. Бекона виникають **наукові товариства й академії**. Перша така академія – Флорентійська академія досліду в складі дев'яти академіків була організована у 1667 р. учнями та послідовниками Г. Галілея при дворі тосканського герцога. Проте на вимогу папської влади покровитель академії брат герцога Тосканського Леопольд Медичи досить скоро був змушений закрити академію.

У 1645 р. у роки громадянської війни у Лондоні виник гурток любителів природничих наук. У міру розвитку революційних подій члени гуртка розділились. Одні залишились у Лондоні, а інші – в Оксфорді. Пізніше гуртки об'єднались, і за королівським статутом 28 листопада 1660 р. це об'єднання названо Лондонським королівським товариством, а нині – Англійська академія наук.

В цей же період міністром короля Людовика XIV Кольбером відкрито академію наук у Парижі (1663 р.). Тут вчені продовжили відомі дослідження з градусних вимірів у Європі.

У Німеччині у 1652 р. виникло приватне наукове товариство, яке у 1677 р. перетворилось у імператорську Академію наук.

Петро I під час поїздки країнами Європи (ще не у ранзі царя) відвідав англійське королівське товариство і був знайомий з його президентом І. Ньютоном. Коли вже був імператором знайомився з роботою Паризької академії наук. Петро I вів тривалі переговори з ученими Європи щодо організацію академії наук у Росії. 28 січня 1724 р. він підписав Указ про організацію Петербурзької Академії наук. Її відкриття відбулось у 1725 р. після смерті імператора, коли до Петербурга приїхали академіки.

Так розпочався тривалий процес перебудови університетської науки країн Західної Європи від схоластики до експериментальної науки.

2.5.7. Натурфілософська концепція Р. Декарта та його послідовників

Рене Декарт (31.03.1596 р., Ла-Е-ан-Турен [зараз місто Декарт], департамент Ендр і Луара, Франція – 11.02.1650 р.) – французький філософ, фізик, фізіолог, математик, основоположник аналітичної геометрії. У математиці Р. Декарт запровадив декартову систему координат, дав поняття змінної величини і функції, ввів багато



Рис. 45. Рене Декарт

алгебраїчних позначень. У фізиці він сформулював закон збереження кількості руху, запровадив поняття імпульсу сили. Р. Декарт – автор методу радикального сумніву в філософії, механіцизму в фізиці.

Фізичні дослідження Р. Декарта відносяться головним чином до механіки, оптики і будови Всесвіту.

Декарт ввів поняття «сили» (міри) руху (кількості руху), маючи на увазі під ним добуток «величини» тіла (маси) на абсолютне

значення його швидкості, сформулював закон збереження руху (кількості руху), проте тлумачив його неправильно, не враховуючи, що кількість руху є векторною величиною (1664 р.).

Досліджував закони удару, вперше чітко сформулював закон інерції (1644 р.).

Висловив припущення, що атмосферний тиск із збільшенням висоти зменшується.

У 1637 р. вийшла у світ «Діоптрики», де містилися закони поширення, відбивання та заломлення світла, ідея ефіру як переносника світла, пояснення веселки.

Декарт першим математично вивів закон заломлення світла (незалежно від В. Снеліуса) на межі двох різних середовищ. Точне формулювання цього закону дозволило вдосконалити оптичні прилади, які тоді стали відігравати величезну роль в астрономії та навігації (а незабаром і в мікроскопії).

Р. Декарт розпочав свою діяльність у тридцяті роки, ще до суду інквізиції над Г. Галілеєм. Він виходець із дворян. Юні роки провів у Парижі, потім воював у тридцятирічній війні. А у 1629 р. поселився у Голландії. Безумовно процес над Г. Галілеєм не міг не вплинути на наукову діяльність вченого. Рене Декарт в історії людської думки більше залишається філософом, проте він на основі теорії вихорів пояснив майже всі фізичні явища, відомі на той час.

Навіть у Голландії він боявся католицької церкви і завжди підкреслював про умовний характер його системи фізичної картини світу.

Р. Декарт побудував фізичну картину світу, де всі явища пояснювались різними рухами неякісної матерії. Задум вченого можна було реалізувати через довільні побудови. У першій половині XVII ст. фізичні, хімічні, біологічні, геологічні явища природи не описувались точними вимірами на відміну від астрономії. Звідси довільний характер картезіанської фізики. Фізика Р. Декарта звільнила науку від канонізованого середньовікового аристотелізму.

У 1633 році він написав першу книгу «Світ або трактат про світло» надрукована посмертно у 1664 р. Публікація книги затримувалась, так як у ній виправдувалась геліоцентрична система, у якій розкривалася теорія руху [8, с. 9-30]. У 1637 р. надрукована книга «Роздуми про метод», в 1644 р. вийшли в світ «Начала філософії», де завуальовано говорилось про принцип відносності. Перша частина «Начал» має філософський характер; друга – тлумачить учення Р. Декарта про матерію (розкриваються два закони природи: перший – кожна річ, так як це залежить від неї, завжди зберігає свій стан, і якщо колись прийшла у рух, то він і буде продовжуватись; другий – будь-який рух сам собою є прямолінійним і тому речі, які рухаються колом, завжди намагаються віддалитись від центра кола, який описують [8, с. 10]); третя – розкриває будову Всесвіту (вводиться третій закон природи – якщо рухомі тіла стикаються одне з другим, то якщо він має менше сили для продовження руху прямою лінією, ніж друге тіло, яке буде протидіяти йому, то воно буде відкинуте у протилежному напрямі та, утримуючи свій власний рух, втратить лише його напрям. Якщо ж воно має більшу силу, то воно буде рухати разом з собою і друге тіло і віддасть цьому другому тілу стільки ж руху, скільки втратить саме. На основі закону вводить сім правил удару [8, с. 16-21]); а четверта – про обертання Землі, притягання планет.

До вихідних ідей Р. Декарт відніс:

- ототожнення речовини та простору, в основі якого лежить універсальна система чисто механічного пояснення відомих на той час астрономічних, механічних, біологічних явищ (постійно згадується зауваження про гіпотетичний характер механістичної системи світу). Ввів три закони природи і створив теорію удару (хоч і помилкову, бо у задачі двох тіл, які співударяються, одне розглядає як таке, що здійснює опір, а друге як напіраючи. Задачу розглядає якісно, без належного застосування

математичного апарату, яким володів досконало і без фізичного експерименту [8, с. 28]);

- утворення завихрень, які приводять до виникнення різних елементів речовини складають основу космогоністичної системи. Він пояснив як ці завихрення утворюють Сонце, планети, тяжіння тіл, встановив залежність між тяжінням та відстанню (в листі до М. Мерсенна, 1638 р.). Картезіанський фізичний всесвіт породжений двома принципами: матерією і рухом. У своїй астрономії вчений одночасно говорить, що Земля знаходиться у спокої у своєму русі і також, що вона знаходиться у стані руху навколо Сонця у великому вихорі. Збереження руху розглядається без поняття маси [8, с. 28];

- подільність частинок речовини;
- далекодія несумісна з його філософією;
- небесний флюїд – другий елемент, яким оточена Земля.

Коли М. Мерсенн познайомив Р. Декарта з поглядами Ж. Роберваля про всесвітнє тяжіння, Р. Декарт відповів, що нічого більш абсурдного не знає.

Теорію світла Р. Декарт виклав у творах «Трактат про світ», «Діоптрика», у деяких главах «Метеорів», у третій частині «Принципів філософії», у вченні про сприйняття світла «Про людину». В теорії відбивання та заломлення світла він використовує механічну аналогію. Перехід світлового променя в оптично більш густе середовище він порівнює з рухом кулі на похилій площині, яка здійснює удар об перешкоду (полотно) і прориває її. У цьому випадку куля втрачає частину енергії і відхиляється від попереднього напрямку поширення. Рух кулі Р. Декарт розкладає на горизонтальний та вертикальний. У момент руйнування перепони горизонтальна складова не змінюється, а вертикаль втрачає частину швидкості. Результируюча складова буде змінювати свій попередній напрям. На думку Р. Декарта світло у більш густіших середовищах поширюється з більшою швидкістю. Він вважав, що у воді світло поширюється швидше ніж у повітрі. Такої ж думки був і І. Ньютон. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення у Р. Декарта величина постійна для даної межі середовищ. Він до кінця не відмовився від традиційної античної фікції, що світлові промені випромінюються очима. У Р. Декарта промінь світла – частина середовища між оком і

предметом, яка зміщується.

Гіпотетичний метод Р. Декарта полягав у можливості узнати чи справедлива у дійсності його модель за відомими фактами. Р. Декарт прийшов до такого методу з впевненості: якщо його пояснення і не можна довести, то одночасно не можна довести і їх несправедливість. І. Ньютон був більш строгий у науковому поясненні. Якщо Р. Декарта задовольняла нематематична якісна гіпотеза, то І. Ньютон, згідно способу Ф. Бекона, виходив з експерименту і кількісної характеристики досліджуваного явища – математики.

Негативне відношення І. Ньютона до гіпотез не було боротьбою з механістичною філософією. Це була критика методології великих практиків цієї філософії – Р. Декарта-Т. Гоббса, П. Гассенді та навіть Х. Гюйгенса.

І. Ньютон менше всього був епікурейцем. Це була високомірна, самотня людина, недовірлива, що часом забувала з'їсти те, що йому подали до обіду чи вечері. Важко зробити висновки про вплив творів Епікура, Лукреція на розвиток думки І. Ньютона, який згадує один-два рази їх твори. До 1640 р. у Англії не було жодного видання Лукреція чи Епікура. Ф. Бекон мав певне уявлення про роботи цих мислителів через зустрічі з Д. Бруно, який відвідував Англію.

Першим атомістом Англії напевне можна вважати Т. Харріота [20, с. 53].

Р. Овертон у своїй невеликій книзі «Смертність людини» один з перших у Англії заперечив безсмертя душі, виступив проти відокремлення духу від матерії посилаючись на Демокріта і Епікура. Ранні філософські праці П. Гассенді про Епікура і атомістику високо цінувались друзями Мерсенна. Імовірно, що ці дослідники поширювали роботи П. Гассенді в Англії.



Рис. 46. П'єр Гассенді

Поряд з Р. Декартом критично аналізує аристотелеву фізику П'єр Гассенді (1592–1655 р.р.), провінціальний канонник, а потім професор механіки у Парижі. Ще у молоді роки він написав відомий панфлет з аналізом вчення Арістотеля. До основних його ідей

належать:

- повернення до епікурейської атомістики;
- пояснення властивостей тіл конфігураціями і формами неподільних частинок;
- пояснення понять тяжіння, електрики, магнетизму, світла випромінюванням, яке складається із неподільних атомів різної форми;
- декартівська подільність частинок, яка розглядалась як суперечність кінетичних гіпотез;
- експеримент є опорою механічного природознавства і викликаний розвитком матеріального виробництва, застосуванням техніки.

Роботи Р. Декарта глибоко проаналізував Р. Бойль, після смерті якого у 1691 р. залишився заповіт разом з певною сумою коштів на щорічні читання лекцій про непорушність християнської релігії. Звідси пішли «Бойлевські читання». Першим доповідачем цих читань був Р. Бентлі. Шість перших проповідей молодий теолог побудував на відомих тоді матеріалах. Дві наступні базувались на вченні І. Ньютона. Р. Бентлі побачив у І. Ньютоні атоміста і навіть прибічника християнізованого епікурійства. Проте корпускулярна і атомістична теорія І. Ньютона знаходиться у тісному зв'язку із знаменитою теорією атомів і пустоти Левпіппа, Демокріта і Епікура. У «Математичних началах ...» І. Ньютон розвинув свою теорію речовини. Все ж у 60 роках минулого століття стало відомо, що він ще у 1687 р. у вигляді чернеток виклав свою теорію [20, с. 44].

У фізиків немає єдиної точки зору того чи визнавав І. Ньютон абсолютну пустоту, неперервність середовища, існування ефіру, кого він наслідував П. Гассенді чи Р. Декарта [20, с. 46]. Тут філософія І. Ньютона схожа на Архімедову точку опори. Питання пустоти й ефіру не можна відділити від питання причини притягання. У І. Ньютона наслідок притягання – наближення одного тіла до другого, мікроскопічні сили притягання і відштовхування визначають фізико-хімічні властивості явищ. Пояснення причини притягання І. Ньютон всіляко обходить. У відповіді Р. Бертлі вчений пише: «Іноді Ви говорите про тяжіння як про головну і невід'ємну якість матерії. Я прошу Вас не приписувати мені це поняття, оскільки я не претендую на знання причини тяжіння, і мені буде потрібен ще час, щоб про це подумати» [157]. У своїх «Началах» І. Ньютон не дає

ні фізичного, ні метафізичного пояснення притягання. Це було причиною того, чому В. Лейбніц виступив проти І. Ньютона. Але як розумів І. Ньютон його вчення, як воно дотикалось до сутності епікурейства і матеріалістичної філософії невідомо, бо відкритість такої точки зору грозило підозрою у ересі.

2.5.8. Становлення нових областей фізики у XVII ст. як фундамент формування основ класичної фізики

Обмін інформацією до XVII ст. в основному здійснювався шляхом особистого спілкування, друкуванням книг та листуванням. В часи життя і творчої діяльності Г. Галілея учений монах **Марен Мерсенн** (1588–1648 р.р.) здійснив ряд відкриттів в акустиці. Головна його наукова діяльність оцінюється як організатора наукового листування, яке він підтримував з усіма відомими ученими того часу. Він слугував своєрідним центром зв'язку вченого світу. М. Мерсенна назвали людиною-журналом. Безумовно, одна людина через листування не могла сконцентрувати великий об'єм всієї наукової інформації.



Рис. 47. Марен Мерсенн

Із 1665 року Лондонське королівське товариство почало видавати науковий журнал. Звичайною формою публікацій була книга. Тому основну роль у науковому товаристві відігравали люди, яких образно називали «поштовими скриньками», «журналами». Їм надсилали листи із повідомленнями про нові наукові результати, і вони повідомляли окремих вчених на свій розсуд про те, що вважали цікавим. Таких «поштових скриньок» було у Королівському товаристві два: Г. Ольденбург – науковий секретар і Г. Коллінз, який вів листування.

Дещо пізніше стали виходити праці Паризької Академії наук. Із 1682 р. у Лейпцізі стали видавати журнал під назвою «Acta Eruditorum». Таке своєрідне започаткування обміном інформації заслуговує на увагу і дослідження, бо звідти багато витоків і узагальнень проведених вченими досліджень.



Рис. 48. Симон Стевин

Зокрема, з такого обміну інформацією відомий новий підхід до статичних проблем, який розробив голландський інженер і математик **Симон Стевін** (1548–1620 р.р.). Він ввів десяткові дроби. На його трактаті зображена похила площина у вигляді трикутника з горизонтальною гіпотенузою, навколо якої навитий ланцюг з кулями. Частина ланцюга по катетах має більшу довжину і більшу кількість куль. Більша частина має більшу вагу і здається, що система прийде у вічний рух. Такий рух С. Стевін вважає неможливим. Він зробив висновок, що сила, з якою кулі

скочуються з похилої площини у стільки ж разів менша ваги вантажу, в скільки разів висота площини менша її довжини. Так була розв'язана задача Архімеда, арабських та європейських механіків. Вчений ввів вектор сили та правило паралелограма для їх складання. Він розглянув принцип можливих переміщень у застосуванні до поліспасти: у скільки разів поліспасти дає виграш у силі, у стільки ж разів маємо програш у шляху, менший вантаж за вагою проходить більший шлях.

С. Стевін шляхом логічних роздумів встановив, що на тіло занурене у рідину діє сила, спрямована вгору, рівна вазі витісненої рідини. Його вивід увійшов до нинішніх підручників з фізики для загальноосвітньої школи. Вчений дослідив гідростатичний парадокс (незалежність тиску на дно посудини від форми посудини при однаковій площі основи). Значно пізніше цей парадокс був відкритий Б. Паскалем, який не знав творів С. Стевіна, написаних голландською мовою.



Рис. 49. Еванджедіст Торрічеллі

Практик-суднобудівник С. Стевін розглянув умови плавання тіл. Він знайшов умови рівноваги тіл на похилій площині. Незалежно від С. Стевіна статику та гідростатику досліджував Г. Галілей. Похила площина також відіграла важливу роль у механіці Г. Галілея.

За життя Г. Галілея звернув на себе увагу **Еванджедіст Торрічеллі** (1608–1647 р.р.), коли розв'язав задачу про рух тіла кинутого під кутом до горизонту. Він визначив траєкторію, висоту,

дальність польоту, довів що найбільша дальність досягається при куті 45° до горизонту. Е. Торрічеллі вперше встановив існування атмосферного тиску і одержав «торрічелеву пустоту», пов'язав зміну атмосферного тиску із зміною погоди. Так зародилась метеорологія. Р. Декарт відразу



Рис. 50. Блез Паскаль

запропонував способи вимірювання тиску на різних висотах. Дану ідею реалізував французький математик, фізик і філософ **Блез Паскаль** (1623–1662 р.р.). Він повторив досліди Торрічеллі, вимірявши тиск у підніжжя і на вершині гори Пюї де Дом, встановив закон, названий його ім'ям.

Поряд з механікою значних результатів було досягнуто з оптики. Голландські майстри окулярів побудували першу оптичну трубу, хоч і не знали закону заломлення світла. Цей

закон відкрив голландський математик Віллеборд Снелліус (1580–1620 рр.) проте результати дослідження не надрукував. Теоретично закон заломлення світла вивів Р. Декарт у творі «Діоптрика». Ступінь обробки поверхні лінзи у Е. Торрічеллі була настільки висока, що сучасні дослідники вважають: вчений володів інтерференційним способом перевірки якості поверхні. Голландський філософ Б. Спіноза добував засоби на існування виготовленням оптичних стекол.



Рис. 51. Лічильна машина Паскаля

А. Левенгук виготовляв хороші мікроскопи і став засновником мікробіології. І. Ньютон власноруч виготовляв лінзи для свого телескопа.

Будь-яка нова теорія повинна пояснити всю сукупність наявних властивостей і мати перспективу виявити нові. У 1665 р. після смерті **Ф. Грімальді** (1618–1663 р.р.) було надруковано його основний твір «Фізична наука про світло, кольори та веселку». Вчений відкрив дифракцію світла і висловив думки про хвильову теорію світла, виступав проти геліоцентричної системи світу. Ф. Грімальді поставив унікальні на той час досліди з дифракції світла від тонкої дротинки, вузької щілини,

двох маленьких отворів, але теоретично до кінця їх не осмислив. В одному випадку в нього світло – субстанція, а в другому – хвиля.

Р. Декарт побудував теорію веселки, вважав швидкість поширення світла миттєвою. **Р. Гук** (1635–1703 р.р.) розробив теорію кольорів плівок, додавання світлових імпульсів, поширення світла від джерела, пояснив забарвлення плівок. У 1674 році було надруковано книгу «Спроба довести річний рух Землі». У цій книзі він пише про універсальність і загальність тяжіння: Сонце притягує планети, Місяць, а планети – одна другу. Він вважав, що тяжіння викривляє прямолінійні траєкторії інерційного руху тіл.

Е. Бартолін (1625–1698 р.р.) пояснив, подвійне променезаломлення в ісландському шпаті, дисперсію – І. Ньютон (1642–1727 р.р.), дифракцію, поляризацію – Х. Гюйгенс (1629–1695 р.р.). На основі досліджень періодичних запізнь (таблиць затемнень) затемнень супутників Юпітера О. Ремер (1644–1710 р.р.) прийшов до висновку про кінцеву величину швидкості світла, яка складає 41965 миль за секунду. І. Кеплер (1571–1630 р.р.) ввів поняття «фокус», описав властивості променів при проходженні через лінзи, відбиванні від дзеркал, описав особливості оптичної вісі.

Перший серед фізиків з теоретичними ідеями про природу світла виступив Р. Гук. Для нього світло – коливальний рух великої частоти. Це була перша спроба на основі узагальнення дослідних даних обґрунтувати хвильові властивості світла.

І. Ньютон добре розумів обмеженість як корпускулярної, так і хвильової теорії. Не дала остаточної результату і його серія дослідів з дисперсії світла, повторення дослідів Ф. Грімальді. Опонентом І. Ньютона з проблем природи світла був Х. Гюйгенс.

Все ж на початку XVIII століття в галузі механіки та оптики не було вчених, рівних І. Ньютону і Х. Гюйгенсу. І. Ньютону не вдалось створити цілісної теорії оптики подібно до механіки, але основи окремих розділів були завершеними. Зокрема, порівняно чітко було узагальнено і сформульовано основні закономірності геометричної оптики, відкрито явище дисперсії і складена перша таблиця спектрального аналізу, досліджено явище повного внутрішнього відбивання, монохроматичність, дана кількісна характеристика досліду з інтерференції світла «кільця

Ньютона», введені поняття поляризації, періодичності світла. В більшості випадків свої дослідження І. Ньютон обґрунтовував на основі корпускулярної теорії про природу світла, категорично не заперечував хвильової. Все ж під його впливом розвиток останньої було загальмовано майже на півтора століття.

Учень Г. Галілея Б. Кавальєри (відомий як математик) у 1647 р. встановив для двоопуклих і двоувігнутих лінз співвідношення $\frac{R_1 + R_2}{R_1} = 2 \frac{R_2}{F}$, де R_1 та R_2 – радіуси сферичних поверхонь, які обмежують лінзи (промінь падає на R_2), F – фокусна відстань лінзи для $n = 1,5$. Загальна формула була одержана Едмундом Галлеєм в 1693 р., Р. Декарт та П. Ферма (1601–1665 р.р.) дали свої власні і незалежні доведення закону заломлення світла на межі двох середовищ. Й. Марці (1595–1667 р.р.) описав явище розкладання світла на кольори призмою. Він поставив призму на вході камери-обскури і на протилежній стінці одержав спектр. Кожен колір спектру в наступній призмі не розкладається. Й. Марці був попередником оптичних відкриттів І. Ньютона.

Систематичне вивчення електрики та магнетизму розпочалось лікарем англійської королеви **Вільямом Гільбертом** (1540–1603 р.р.). Починаючи з У. Гільберта експеримент стає опорою механічного природознавства. Він описав земний магнетизм, дію магнітної стрілки, підсилення магніту залізним якорем, уточнив спостереження П. Перегринна і показав, якщо розламати магніт навпіл, то обидві частини будуть мати по два полюси. Вчений помилково вважав, що електричні і магнітні явища різні і не зв'язані між собою. Така думка мала місце більше двохсот років, поки Г. Ерстед не поставив свої дослід. Розвиток ремісничої техніки тридцятих-п'ятидесятих років XVII ст. досяг рівня, характерними ілюстраціями якого були роботи Отто фон Геріке і Роберта Бойля.



Рис. 52. Вільям Гільберт

Перипатетики намагались пояснити пустоту торрічеллі невидимими зв'язками. З цією думкою не був згоден і **Роберт Бойль** (1627–1691 р.р.) –

фізик, хімік і експериментатор, продовжувач П. Гассенді у відновленні епікурійської атомістики. Р. Бойль намагався пояснити всю суму явищ розміщенням, формою і рухом найдрібніших неподільних частинок, атомів. Він вирішив в U-подібній трубці дослідити пружність повітря під стовпчиком ртуті. Помічник Р. Бойля Р. Таунлі помітив обернену залежність між надлишковою висотою ртутного стовпчика і об'ємом повітря у закритому коліні. Р. Бойль дослідив дану залежність і встановив закон, який носить його ім'я. Через 14 років Едм Маріотт (1620–1684 р.р.) незалежно від Р. Бойля прийшов до аналогічних висновків. Історія врахувала його заслуги, хоч Р. Бойль мав пріоритет на відкриття. Закон названий двома прізвищами – Бойля-Маріотта, хоч правильніше було б назвати закон Бойля-Таунлі. Через три роки після відкриття газових законів Р. Бойль пояснив інтерференцію в тонких плівках.



Рис. 53. Роберт Бойль

Принцип використання посудини з тарілкою для повітряного насоса запропонував Християн Гюйгенс. Спільно з ртутним манометром (винахід Х. Гюйгенса) така посудина для дослідження низьких тисків широко застосовується і нині.

Дені Папен (1648–1714 р.р.) винайшов паровий котел та клапан для насосів, виявив залежність точки кипіння рідин від тиску повітря. **Сейвері** у 1698 р. сконструював першу пароатмосферну водопіднімальну машину.

В п'ятдесятих роках XVII ст. Магдебурський бурмістр **Отто Геріке** (1602–1686 р.р.) – німецький фізик, інженер і філософ. Сконструював повітряний насос. Він сприйняв, як реальність, існування пустоти і підтвердив такий стан дослідями з магдебурзькими напівкулями. Дослід демонструвався 8 травня 1654 р. членам рейхстагу. Наслідки експериментування надруковані в книзі «Нові магдебурзькі досліді про пустий простір» у 1672 р. Крім цього О. Геріке удосконалив барометр, термометр, побудував першу електричну машину. Вона була виготовлена у вигляді кулі з сірки, яка



Рис. 54. Отто фон Геріке

оберталась на залізній осі. Куля, яка оберталась, натиралась сухою рукою. Вчений вперше спостерігав електричне відштовхування та притягання, електричну провідність, незначні електричні розряди. Свою машину О. Геріке, на жаль, не запускав у дію в темноті, тому не міг бачити свічення.

Також займався астрономією. Був прихильником геліоцентричної системи. Розробив свою космологічну систему, що відрізнялася від системи Коперника припущенням про наявність безкінечного простору, в якому розподілені нерухомі зірки. Припускав, що космічний простір є пустим, але між небесними тілами діють далеко діючі сили, що регулюють їх рух.

Таким чином в останню четверть XVII ст. поступово сформувались вихідні принципи та поняття класичної фізики.

2.5.9. Історична роль Х. Гюйгенса в пропедевтиці становлення класичної фізики

Найбільш помітним мислителем другої половини XVII ст. був математик і фізик **Христіан Гюйгенс** (1629–1695 р.р.) – нідерландський фізик, механік, математик і астроном, винахідник маятникового годинника з анкерним обмежувачем, автор хвильової теорії світла, праць з оптики і теорії імовірності, відкривач кільця Сатурна і його супутника. Він народився у Голландії, закінчив Лейденський університет. Знав шість мов, умів грати на лютні та клавесині, малював, складав вірші, добре плавав і бігав на ковзанах.



Рис. 55. Христіан Гюйгенс

Математичні здібності Х. Гюйгенса помітив М. Мерсенн. Він став надсилати Х. Гюйгенсу різноманітні задачі для розв'язання. Х. Гюйгенс швидко входить у коло проблем, які були у центрі уваги вчених. Від Х. Гюйгенса чекали перевершення Архімеда і Аполлонія. Якщо книги Г. Галілея були підручниками з елементів теоретичної фізики, то підручниками математики самого високого рівня все ще залишались книги античних математиків Аполлонія (теорія конічних перетинів) і Архімеда (техніка геометричних обчислень інтегралів, об'єм сфери, поверхня сфери, об'єм

параболоїда, обчислення довжини і знаходження дотичної до архімедової спіралі).

У 1651 р. Х. Гюйгенс опублікував першу свою книгу, де ще було наслідування Архімеду. В другій (1654 р.) – він запропонував метод обчислення числа π , який був набагато ефективнішим ніж у Архімеда. Очікування виправдалось [44, с. 29]. Стався початок математики вищого рівня ніж у Архімеда.

Учений побудував кращу в Європі зорову трубу і у 1657 р. відкрив супутник і кільце Сатурна (книга «Система Сатурна» вийшла у 1659 р.).



Рис. 56. Титульна сторінка популярного астрономічного і філософського трактату Гюйгенса «Cosmotheoros»

Незрозумілу форму Сатурна бачив і Г. Галілей, але у нього був малопотужний телескоп. Х. Гюйгенс сконструював годинник з маятником (це було важливим відкриттям конструктивно-технічного напрямку періоду мануфактур). У 1666 р. він переїхав до Парижу, але відміна Нантського едикту змусила повернутись до Гааги. Тут вчений створює головний твір «Трактат про світло», який надруковано у 1690 р. Викладену в ньому хвильову теорію світла Х. Гюйгенс доповів Паризькій академії наук у 1678 р. Подібно звуку (хвильовий рух повітря) світло є хвильовим рухом ефіру. Ефір, на думку Х. Гюйгенса, – дрібні тверді частинки.

Положення хвильового фронту в кожен момент часу визначається дотичною сферичних хвиль. Там, де ці хвилі не мають дотичної, світловий потік не поширюється. Даний принцип Гюйгенса пояснює чіткість геометричної тіні. Проте, за допомогою визначеного принципу не можна було пояснити дифракцію, інтерференцію та поляризацію світла.

Р. Декарт досить ретельно розглянув теорію світла у своїх творах. Х. Гюйгенс ґрунтовно засвоїв основні методологічні принципи Р. Декарта і відмовився від більшості довільних гіпотез картезіанської фізики. Для нього вивчити явище означає розглянути через якісні різновидності явищ єдину матерію і рух частинок. Він вважав, що теорія тяжіння Р. Декарта є невдалою і показав, що тяжіння не може бути пояснено доцентровою

силою вихору, який обертається навколо Землі. Другою функцією ефіру було визначено простір поширення світла.

2.5.10. Зародження теоретичної фізики І. Ньютоном

Ісаак Ньютон (04.01.1643 р., Вулсторп – 31.03.1727 р.) – видатний англійський учений, який заклав основи сучасного природознавства, творець класичної фізики.

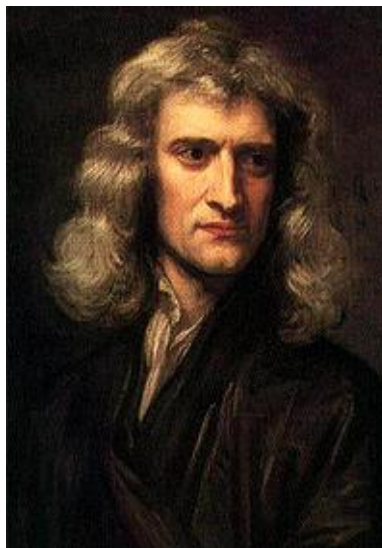


Рис. 57. Ісаак Ньютон

Його наукові праці належать до механіки, оптики, астрономії, математики.

Сформулював основні закони класичної механіки, відкрив закон всесвітнього тяжіння, дисперсію світла, розвив корпускулярну теорію світла, розробив (незалежно від Г. Лейбніца) диференціальне та інтегральне числення.

Узагальнивши результати досліджень в області механіки своїх попередників і своїх власних, створив фундаментальну працю «Математичні начала натуральної філософії» («Начала»), видану 1687 року. Вона містила основні поняття й аксіоматику класичної механіки, зокрема поняття «маса» (якому Ньютон надавав великого значення як основному в механічних процесах), «кількість руху», «сила», «прискорення», «доцентрова сила» і три закони руху (закони Ньютона): закон інерції, закон пропорційності сили прискоренню і закон дії та протидії. Тут же описано його закон всесвітнього тяжіння, виходячи з якого, Ньютон пояснив рух небесних тіл (планет, їх супутників, комет) і створив теорію тяжіння. Відкриття цього закону знаменувало перехід від кінематичного опису Сонячної системи до динамічного пояснення явищ і остаточно затвердило перемогу вчення Коперника. Він показав, що з закону всесвітнього тяжіння випливають три закони Кеплера; пояснив особливості руху Місяця, явище прецесії; розвинув теорію форми Земної кулі, відзначивши, що вона повинна бути стиснута на полюсах, теорію припливів і відпливів; розглянув проблему створення штучного супутника Землі тощо.

Встановив закон опору й основний закон внутрішнього тертя в рідинах і газах, дав формулу для швидкості поширення хвиль.

Ньютон створив фізичну картину світу, що тривалий час панувала в науці (ньютонівська теорія простору і часу). Простір і час він вважав абсолютним, постулюючи це у своїх «Началах». З таким розумінням простору і часу тісно пов'язана його ідея дальності – миттєвої передачі дії від одного тіла до іншого на відстань через порожній простір без допомоги матерії. Ньютонівська теорія дальності та його схема світу панували до початку ХХ ст. Вперше її обмеженість виявили Майкл Фарадей і Джеймс Клерк Максвелл, показавши незастосовність її до електромагнітних явищ, а теорія відносності, що виникла на початку ХХ ст., остаточно довела обмеженість класичної фізики Ньютона – фізики малих швидкостей і макроскопічних масштабів. Але спеціальна теорія відносності не відкинула зовсім закономірностей, установлених класичною механікою Ньютона, а лише уточнила і доповнила її для випадку руху зі швидкостями, порівнянними зі швидкістю світла у вакуумі. «Нині місце ньютонівської схеми далекодіючих сил, – писав Альберт Ейнштейн, – зайняла теорія поля, зазнали змін і його закони, але все, що було створено після Ньютона є подальшим органічним розвитком його ідей і методів».

Великий внесок зробив Ньютон в оптику. У 1666 р. за допомогою тригранної скляної призми він розклав біле світло на 7 кольорів (у спектр), тим самим довівши його складність (явище дисперсії), відкрив хроматичну аберацию. Намагаючись уникнути аберации в телескопах, у 1668 р. і 1671 р. сконструював телескоп – рефлектор оригінальної системи – дзеркальний (відбивний), де замість лінзи використовувалося увігнуте сферичне дзеркало (телескоп Ньютона). Досліджував інтерференцію і дифракцію світла. Вивчаючи колір тонких пластинок, відкрив так звані кільця Ньютона, установив закономірності в їхньому розміщенні, висловив думку про періодичність світлового процесу. Намагався пояснити подвійне променезаломлення і близько підійшов до відкриття явища поляризації. Ньютон вважав світло потоком корпускул – корпускулярна теорія світла (але на різних етапах розглядав можливість існування і хвильових властивостей світла, зокрема в 1675 р. здійснив спробу створити компромісну корпускулярно-хвильову теорію світла). Свої оптичні дослідження виклав у «Оптиці» (1704 р.).

За своїм світоглядом І. Ньютон був стихійним матеріалістом, другим

після Р. Декарта великим представником механістичного матеріалізму в природознавстві XVII–XVIII ст. Науковий світогляд, проте, не перешкодив І. Ньютону бути релігійною людиною. Фізика була лише третім за значенням захопленням І. Ньютона після теології й алхімії. І. Ньютон написав більше творів, присвячених філософії та історії християнства, ніж фізиці.

Наукова творчість І. Ньютона відіграла винятково важливу роль в історії розвитку фізики. За словами А. Ейнштейна, «Ньютон був першим, хто спробував сформулювати елементарні закони, що визначають часовий хід широкого класу процесів у природі з високим ступенем повноти і точності» і «... зробив своїми працями глибокий і сильний вплив на весь світогляд в цілому» [44].

На його честь названо одиницю сили в Міжнародній системі одиниць – ньютон ($1 \text{ Н} = 1 \text{ ньютон}$).

В історію науки праця І. Ньютона «Математичні начала натуральної філософії» (1684–1686 р.р.) увійшла золотим її фондом. Історія створення цієї праці, найзнаменитішої в історії науки поряд з «Початками» Евкліда, починається в 1682 р., коли проходження комети Галлея викликало підйом інтересу до небесної механіки. Едмонд Галлей намагався вмовити І. Ньютона опублікувати його «загальну теорію руху», про яку вже давно ходили чутки в ученому співтоваристві. І. Ньютон відмовився. Він взагалі неохоче відволікався від своїх досліджень заради забарної справи видання наукових праць.

У серпні 1684 року Е. Галлей приїхав у Кембридж і розповів І. Ньютону, що вони з Реном і Гуком обговорювали, як з формули закону тяжіння вивести еліптичність орбіти планет, але не знали, як підступитися до розв'язку. І. Ньютон повідомив, що в нього уже є такий доказ, і в листопаді надіслав Е. Галлею готовий рукопис. Той відразу оцінив значення результату й методу, негайно знову відвідав І. Ньютона й цього разу зумів умовити його опублікувати свої відкриття. 10 грудня 1684 року в протоколах Королівського товариства з'явився історичний запис:

«Пан Галлей... недавно бачив у Кембриджі м-ра Ньютона, і той показав йому цікавий трактат «De motu». За бажанням п. Галлея, Ньютон обіцяв послати згаданий трактат у Товариство».

Робота над книгою йшла в 1684–1686 роках. За спогадами Гемфрі

Ньютона, родича вченого і його помічника в ці роки, спочатку Ньютон писав «Початки» у перервах між дослідями з алхімії, яким приділяв основну увагу, потім поступово захопився й з наснагою присвятив себе роботі над головною книгою свого життя.

Публікацію передбачалося здійснити на засоби Королівського товариства, але на початку 1686 року Товариство видало трактат із історії риб, який не мав попиту, і тим самим виснажило свій бюджет. Тоді Е. Галлей оголосив, що він бере витрати з видання на себе. Товариство із вдячністю прийняло цю великодушну пропозицію й у якості часткової компенсації безкоштовно надала Галлею 50 екземплярів трактату з історії риб.

Праця І. Ньютона – можливо, за аналогією з «Началами філософії» Р. Декарта (1644 р.) – одержала назву «Математичні начала натуральної філософії» (лат. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*), тобто, сучасною мовою, «Математичні основи фізики».

28 квітня 1686 року перший том «Математичних начал» був представлений Королівському товариству. Усі три томи, після деякого авторського виправлення, вийшли в 1687 році. Тираж (близько 300 екземплярів) був розпроданий за 4 роки – для того часу дуже швидко. Два екземпляри цього найрідшого видання зберігаються в Росії; один з них Королівське товариство в роки війни (1943 р.) подарувало Академії наук СРСР на святкування 300-літнього ювілею І. Ньютона. Як фізичний, так і математичний рівень праці Ньютона зовсім непорівнянні з роботами його попередників. У ньому відсутня аристотелева або декартова метафізика, з її міркуваннями й неясно сформульованими, часто надуманими «першопричинами» природних явищ. І. Ньютон, наприклад, не проголошує, що в природі діє закон тяжіння, він суворо доводить цей факт, виходячи зі спостережуваної картини руху планет і їхніх супутників. Метод Ньютона – це створення моделі явища, «не вигадуючи гіпотез», а потім уже, якщо даних досить, пошук його причин. Такий підхід, початок якому було покладено Галілеєм, означав кінець старої фізики. Якісний опис природи поступився місцем кількісному – значну частину книги займають розрахунки, креслення й таблиці.

У своїй книзі І. Ньютон зрозуміло визначив базові поняття механіки, причому ввів трохи нових, включаючи такі найважливіші фізичні

величини, як маса, зовнішня сила й кількість руху. Сформульовано три закони механіки. Приводиться висновок із закону тяжіння всіх трьох законів Кеплера. Описані й невідомі Кеплеру гіперболічні й параболічні орбіти небесних тіл.

Слабким місцем теорії тяжіння І. Ньютона, на думку багатьох учених, була відсутність пояснення природи цієї сили. І. Ньютон виклав тільки математичний апарат, залишивши відкритими питання про причину тяжіння і його матеріального носія. Для наукової громадськості, вихованої на філософії Декарта, це був незвичний і зухвалий підхід, і лише тріумфальний успіх небесної механіки в XVIII столітті змусив фізиків тимчасово примиритися з ньютонівською теорією. Фізичні основи тяжіння прояснилися тільки через більш ніж два століття, з появою загальної теорії відносності.

Математичний апарат і загальну структуру книги І. Ньютон побудував максимально близькими до тодішнього стандарту наукової строгості – «Початків» Евкліда. Математичний аналіз він свідомо майже ніде не використовував – застосування нових, незвичних методів поставило б під загрозу довіру до викладених результатів. Ці міркування, однак, знецінили ньютонівський метод викладу для наступних поколінь читачів. Книга Ньютона була першою роботою з нової фізики й одночасно одним з останніх серйозних праць, що використовують старі методи математичного дослідження. Усі послідовники І. Ньютона вже використовували створені ним потужні методи математичного аналізу. Найбільшими безпосередніми продовжувачами справи Ньютона стали Д'Аламбер, Ейлер, Лаплас, Клеро й Лагранж.

У шкільних та вузівських підручниках та посібниках відомості про вчених подані так, що нерідко здається, що визначні вчені були повністю поглинені наукою, дослідями. Здавалосьь вони були поза політикою, поза влади, поза боротьби, поза репресій. Це не так. Звернемось до біографій Арістотеля, Архімеда, М. Коперника, Д. Бруно, М. Вавілова. Яскравим прикладом багатоколоритності вченого є творчий і життєвий шлях Ісаака Ньютона.

Він народився у 1642 р. в селі Вулсторп у порівняно багатій сім'ї фермера. Сім'я мала двоповерховий кам'яний будинок (зберігся й нині), землю здавали в оренду. Батько помер перед народженням сина і

майбутнього вченого виховувала мати і бабуся. На той час понад 80 % населення Англії проживало у селах. Феодальне закріпачення було ліквідовано, значна частина селян була грамотна. У 1642 р. в Англії влада перейшла до парламенту. Король Чарльз I втік на північ, після чого розпочалась громадянська війна. Армія парламенту під керівництвом Оливера Кромвеля перемогла армію короля Чарльза I. В 1649 р. Чарльза I стратили, а у 1653 р. О. Кромвель розігнав парламент. Розпочався протекторат О. Кромвеля. У 1658 р. О. Кромвель помер. В день його смерті розпочалась велика буря, яка тривала три дні. У старості І. Ньютон із задоволенням розповідав чоловікові своєї племінниці, як у день смерті О. Кромвеля поставив свій перший фізичний експеримент. У школі в цей день проводились змагання зі стрибків у довжину. І. Ньютон був хлопцем неспритним, незграбним і однолітки його не любили, бо вважали, що він нудний і хитрий. І. Ньютон програвав змагання, але продовжував брати участь у них. Невдовзі він помітив, якщо підібрати момент стрибка, коли вітер досягає максимальної сили, то стрибок подовжується. Вибравши правильне положення у момент пориву вітру, він виграв змагання.

У 1660 р. у Англії пройшла реставрація королівської влади. Один з генералів О. Кромвеля Монк, захопив Лондон і привів до престолу Чарльза II. В цей період проходила жорстока боротьба прихильників парламенту та короля – вігів та торі. В результаті влада перейшла до партії вігів, які протягом життя І. Ньютона (з невеликою перервою) і ще довгий період залишалась при владі. І. Ньютон політично був зв'язаний з вігами. У 1688 р. він був членом установчого парламенту. Політичні події глибоко позначались і на його долі. Короткий період у кінці XVII ст., коли торі прийшли до влади, І. Ньютона не обрали до парламенту і було намагання позбавити його посади. З приходом до влади Вільгельма III розпочалась столітня війна Англії з Францією, яка закінчилась у 1814 р. поразкою Франції. У такий історичний період жив І. Ньютон.

І. Ньютон був релігійною людиною. Все життя для нього не існувало суперечностей між релігією та наукою. В Англії конфлікт між церквою та наукою виник лише у часи Ч. Дарвіна (1809–1882 р.р.).

Перші роки життя І. Ньютона обмежувались межами декількох сіл та найближчого міста, а останні охоплювали всю Західну Європу. Європейський світ, у якому народився І. Ньютон, географічно був

невеликий. Його східні кордони співпадали з валом, який захищав Римську імперію від варварів, вздовж Рейну і Дунаю. Південно-східні кордони Європи з Туреччиною (в минулому Візантійська імперія) тоді проходили дещо південніше Відня на Балканах. Південь і північ займав її географічні межі, а захід межував з океаном.

Після невдалих спроб залучити молодого І. Ньютона до роботи на фермі, його віддали на навчання в університет в Кембрідж в Триніті-коледж. Студенти ділились на дві групи: одні готувались, щоб стати кліриками – зайняти посаду в системі церковних посад, а другі – вважали, що освіта є додатковим козирем на державній службі. У кожного студента був керівник (тьютор), який слідкував, щоб студенти навчались, а не пиячили. Спочатку в І. Ньютона тьютором був Б. Пуллейн – керівник кафедри грецької мови, пізніше – професор І. Барроу, який повернувся до Англії після смерті О. Кромвеля. Теорія кольорів, телескопи, математичний аналіз входили у коло інтересів І. Барроу. Ці проблеми досліджував й І. Ньютон. Теорія кольорів у І. Барроу була середньовічною, але в математиці йому належить установлення зв'язку між операціями інтегрування і диференціювання, яке інколи помилково приписується І. Ньютону.

В 1665 році І. Ньютон закінчив коледж, одержав ступінь бакалавра, дав обітницю безбрачності і став членом коледжу (цього вимагав статут коледжу). Від заручин з 16 річною дівчиною довелось відмовитись.

У 1687 р. І. Ньютон став учасником серйозного політичного конфлікту. Король Джеймс II звелів Кембриджському університету присвоїти монаху-католику Френсису звання магістра. Таке суперечило антикатолицьким законам держави. Представників університету викликали до Лондона. Розслідування вів Джефферіс – особа ворожа до вігів. Частина членів делегації була налякана і тоді І. Ньютон написав одному з членів делегації листа у якому говориться: «Всі чесні люди, дотримуючись божого і людського законів, повинні підкорюватися законним наказам короля. Але якщо королю порадили зажадати те, чого згідно з законом зробити не можна, то ніхто не може бути покараний, якщо він відмовляється це зробити» [71, с. 18]. Сутичка завершилась у 1688 р.: Джеймс II опинився в еміграції у Франції, а І. Ньютон став членом парламенту, який сформував законодавчі акти нової Англії. Наступні

8 років І. Ньютон займався в основному алхімією. У 1691–1693 роках переніс психічне захворювання, напевне через перевтому.

Бібліографи І. Ньютона пишуть, що І. Ньютон наслідував І. Барроу навіть у зовнішніх звичках: спати по 5-6 годин на добу, недбало відносився до одягу. Обидва ніколи не доводили до кінця розпочатої справи.

У свій час І. Барроу доручив І. Ньютону довести до належної якості свої лекції з геометричної оптики і видати, а в передмові дякував молодому вченому за надану допомогу. Проте до цієї роботи І. Ньютон віднісся невідповідально. Було багато помилок. І. Барроу знав про це, але відношення до І. Ньютона не змінив.

В 1669 р. І. Барроу надіслав роботи І. Ньютона Г. Коллінзу – члену англійського Королівського товариства. У другому листі І. Барроу просив Г. Коллінза показати роботи І. Ньютона лорду Броукеру – в подальшому президент Королівського товариства. Після переїзду І. Барроу до Лондона Люкасовська кафедра перейшла до І. Ньютона. Через три роки І. Ньютона прийняли до Королівського товариства за побудову відбивального телескопу. В цьому ж році до товариства було представлено дві книги: «Нова теорія світла і кольорів» і друга – з диференціального й інтегрального аналізу. Ці роботи викликали полеміку, що спричинило в І. Ньютона невдоволення. Контакти із зовнішнім світом учений зводить нанівець. Нічого не друкує. Із 1672 р. до 1684 р. живе у Кембриджі досить замкнуто. Його лекції погано розуміли і мало відвідували.

Після зустрічі з Е. Галлеєм у 1684 році, який просив пояснити чому планети рухаються еліптичною траєкторією, в І. Ньютона проявився «вибух» творчої енергії. За 18 місяців були написані «Математичні начала натуральної філософії» («Начала»). У 1687 році книга була надрукована. За історичною довідкою Т. Маколея, який жив у ХІХ ст., після повалення Джеймса ІІ Англія стала воювати з Францією. Війна викликала нестійкість грошової системи через надлишок фальшивих монет. Під керівництвом Е. Галлея група із чотирьох осіб підготувала проект фінансової реформи. До неї входив і І. Ньютон. Так чи інакше, але у 1696 році І. Ньютона призначили керуючим монетного двору в Лондоні. Цю посаду він обіймав до кінця життя.

3. ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТОК КЛАСИЧНОЇ ФІЗИКИ (Особливості досліджень в області фізики у XVIII ст.)

3.1. Наукові ідеології.

3.2. Професіоналізація науки.

3.3. Історичне і наукове значення «Начал». Роботи І. Ньютона з оптики.

3.4. Фізика XVIII століття.

3.4. М.В. Ломоносов і розвиток науки в Росії.

3.5. Зміна соціального становища науки в XVIII ст. Підсилення зв'язку фізики з технікою.

3.1. Наукові ідеології

В ході історичного аналізу розвитку наукових досліджень [16; 50; 55; 77; 114; 162] виділяється п'ять наукових ідеологій: піфагорійська, аристотелівська, картезіанська, ньютонівська та квантова, дод. Б, В.

Піфагорійська наукова ідеологія керувалась такими принципами та припущеннями:

- числам, які керують світом, приписувалась божа роль;
- кількісний аналіз властивий змінам у природі;
- Земля має кулясту форму;
- Земля рухається;
- запроваджено піроцентричну систему Всесвіту (Земля, Сонце, Місяць і планети рухаються навколо центрального вогню);
- небесні сфери, що обертаються, утворюють звуки, яких не чути.

Аристотель систематизував набуті поколіннями знання свого часу і створив наукову ідеологію, яка ґрунтувалась на понятті фізичної картини світу.

Світорозуміння аристотеліанців зводилось до наступного.

Природа є сукупністю фізичних тіл, які складаються із речовини і знаходяться у стані неперервного руху або змін [4, с. 20-25]. Будь-який рух передбачає простір і час. Простір суцільно заповнений матерією. Відповідно, не існує пустого простору чи дрібних неділимих частинок матерії або атомів і не існує руху у пустому просторі.

Видима речовина складається із *materia prima*, або безформенного матеріального початку чистої потенціальності. До цієї *materia prima* додані деякі субстанційні форми, які своєю присутністю відтворюють всю якість, що зустрічається у природі. В дійсності речовина існує у вигляді чотирьох елементів: жаркого і вологого повітря, холодної та сухої землі, жаркого і

сухого вогню та холодної і вологої води, з якими зв'язані чотири якості: тепло, холод, вологість і сухість. Ці чотири речовини нездатні самі розпадатись. Аристотеліаці стверджували, що з допомогою комбінацій першоречовини і зв'язаних з нею форм і якостей можна пояснити явища природи.

Фізична картина світу складалась з принципів та тверджень [124; 151, с. 22]:

- незмінність і вічність неба; поява нових зірок неможлива;
- природа небесних тіл протилежна земній;
- небесні тіла мають правильну кулясту форму (без гір, впадин, плям);
- Земля нерухома, бо тіла падають вертикально;
- зорі, Сонце обертаються навколо Землі;
- кожна річ – сполучення матерії і форми;
- в природі здійснюється перетворення речовин: одна повністю знищується, а виникає зовсім інша;
- швидкість руху тіла, що падає, пропорційна його вазі;
- існує чотири діючих причини (матеріальна, формальна, утворювальна і кінцева);
- в природі існує шість форм руху; причина руху – бог; рух здійснюється у просторі і часі; рух колом – найпростіший рух; рух є насильницьким і природнім;
- пустота і невагомість неможливі.

Дана наукова ідеологія протиставляла небесний і земний світ, визнавалась об'єктивність існування матеріального світу й одночасно визнавала існування бога. Була створена теоретична база алхімії (про взаємне перетворення елементів і чотири основних елементи Всесвіту). Виділялись окремо математика й астрономія.

Картезіанську наукову ідеологію утворив Р. Декарт. За нею:

- всі явища природи виводяться із матерії і руху;
- весь простір складається з матерії;
- всі тіла складаються з атомів; дрібні частинки вважались неподільними;
- явища природи пояснюються вихровим рухом речовини, яка складається з тонких частинок (грубі – Земля, планети, більш тонкі – Сонце, зірки); механістичний метод є головним у дослідженні явищ природи;
- кількість руху зберігається; початковий рух дав бог;
- визнавався матеріалістичний і духовний світ – дуалізм світогляду;

- суть матерії лише у протяжності;
- розроблено теорію удару (неправильно);
- визнавався механістичний світогляд – все можна звести до механіки і пояснити вихровими рухами.

Наукова ідеологія І. Ньютона узагальнювала накопичений досвід багатьох поколінь мислителів та дослідників. Вона ґрунтувалась насамперед на кількісному описі явищ і процесів природи та включала:

- створену І. Ньютоном теоретичну механіку (математичний опис не лише механічного руху, а і теплоти, оптики, електрики, небесного світу тощо);
- теорію припливів;
- емпірико-математичний метод дослідження;
- дослідне обґрунтування теоретичних положень, законів, теорій.

П'ята (квантова) наукова ідеологія ґрунтується на квантово-механічних уявленнях та поняттях. Вона включає квантову теорію поля та фізику елементарних частинок.

3.2. Професіоналізація науки

Узагальнення праць вчених, інформація про роботи які викладені у попередніх двох розділах приводить до наступних висновків. Сімнадцяте століття характерне тим, що все більше і більше на порядок денний постає проблема узагальнення досліджень натурфілософів, застосування до аналізу явищ природи розвинутого на той час математичного апарату, вичленення з натурфілософії фізичних знань, надання поняттю «фізика» змісту відмінного від аристотелевського. Все більше висувалось основоположних принципів, які належало покласти у основу науки фізики, якої ще не існувало.

Претендентами на створення принципів основ науки фізики незаперечно є І. Кеплер, Р. Декарт, Г. Галілей, Х. Гюйгенс, І. Ньютон.

До таких принципів та понять доцільно віднести, насамперед, фізичне уявлення про будову речовини. Р. Декарт ототожнював матерію та простір і визнав матеріальність простору. Опоненти Р. Декарта вважали непроникність ознакою матерії, яка відрізняє її від пустоти, від простору, який не заповнено матерією. Р. Декарт говорить про матеріальність будь-якої протяжності. Мислитель вказував, що Епікур, Демокріт, Лукрецій вважали заповненими лише ті частини простору, які безпосередньо

впливають на органи відчуття [31]. Думка Р. Декарта про незнищуваність простору, яка співпадає з непроникністю матерії, була висловлена П'єром Режи. Він писав, що не можна до одного кубічного дюйма додати ще один, щоб не одержати два кубічних дюйма. Ця кількісна характеристика простору не лише слугує основою непроникності матерії в картезіанській фізиці, але і співпадає з непроникністю. Р. Декарт бореться з уявленням про простір, як деяку пусту посудину, яка заповнюється предметами. Він прирівнює простір до такої посудини. Посудина, призначена для води, для нього пуста, якщо у ній не налито води. Із геометризації матерії випливали основні ідеї картезіанської механіки. Ця механіка відіграла суттєву роль у генезисі класичних законів руху. В цей період ще не сталось злиття небесної та земної механіки. Це найбільш вдало здійснив І. Ньютон у «Математичних началах натуральної філософії» (надруковано в останній чверті XVII ст.). Необхідною умовою для цього було учення про об'єднання інерційного руху небесних тіл з доцентровим прискоренням сили тяжіння.

Підсумовуючи дослідження вчених про падіння тіл, їх гравіметричні виміри Ньютон створив теорію тяжіння.

Розвиток теорії механіки від Г. Галілея до Х. Гюйгенса було сконцентровано у теорії маятника та пружного і непружного удару. Рух маятника вивчали і вчені інших епох. Зокрема, Д. Бореллі розвивав учення Г. Галілея про маятник (у 1663 р. Г. Галілей з'єднав маятник з лічильником і запропонував проект годинника і довів, що прискорення і сповільнення маятника викликають одні і ті ж причини – його тяжіння). Х. Гюйгенс показав, що коливання будь-якого тіла може бути зведено до простого маятника й описуватись математичним апаратом розробленим для маятника. На цій основі Х. Гюйгенс розробив класичну теорію руху маятника. Годинник з маятником став основою для точної експериментальної техніки. Стався історичний перехід від геометричних форм і траєкторій тіл, що рухаються, до дійсно фізичних задач.

Х. Гюйгенс розробив теорію доцентрових сил для довільного криволінійного руху. Про доцентрову силу вперше говорив і Д. Бореллі у 1666 р., коли розглядав рух планет по колу навколо Сонця, але не дав чіткої теорії цього руху. Таким чином, теорія маятника, теорія доцентрових сил, теорія інерції історично підготувала основи для становлення механіки І. Ньютона, яка, ґрунтувалася б на поняттях сили і тяжіння.

В цей же період завершувалось формування кінетичної теорії, яка зводила закономірності фізичного світу до пружних ударів. Р. Декарт вважав, що причина прискорення та криволінійного руху є удари сусідніх тіл. Інших причин він не визнавав, помилково не розмежував пружний і непружний удари, арифметично складав кількості руху. Британське Королівське товариство у 1668 р. оголосило конкурс на дослідження з удару. На конкурс надійшли роботи від Дж. Валліса (1616–1703 р.р.), Х. Рена (1632–1723 р.р.) і Х. Гюйгенса. Дж. Валліс дав чітке визначення непружного удару і встановив основний принцип теорії непружного удару, алгебраїчно складав кількість руху (як і Х. Рена). Найбільш вагомий науковий результат був у Х. Гюйгенса. Він обґрунтував свою теорію удару на основі класичного принципу відносності і довів, що при пружному ударі зберігається сума добутків мас на квадрати швидкостей, вивів формули для збереження живих сил при пружному ударі: $m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2$ ($\sum m v^2 = const$), де m_1, m_2 – маси тіл, v_1, v_2, u_1, u_2 – швидкості тіл. Таким чином, Х. Гюйгенс знав принцип відносності, закон збереження енергії та закон збереження імпульсу. До закону збереження енергії він дійшов таким шляхом. У статичці відомо, що центр ваги зберігає своє положення при рівноважних переміщеннях. Вчений розглянув зіткнення N куль. Нехай куля з номером i набуває швидкості v_i при падінні з висоти h_i . Тоді $m_i v_i^2 = \sum 2m_i g h_i$. Після ударів куля набуде швидкості v_i і досягне висоти h_i' .

Звідси $m_i v_i^2 = \sum 2m_i g h_i = \sum 2m_i g h_i' = \sum m v_i'^2$. Використовуючи такого роду аргументи і по-різному комбінуючи Х. Гюйгенс одержав формулу для довільного співудару. На засіданні Королівського товариства Х. Гюйгенс підвішував дві кульки різних розмірів і задавав запитання: якщо одну кульку відхилити на 40° , то на скільки відхилиться друга після удару? Члени Королівського товариства ще у 1663 р. бачили підтвердження теорії практикою. Ці відомості містяться у листі секретаря товариства Г. Ольденбурга до Б. Спінози [44, с. 31]. До друку роботи з теорії удару були подані значно пізніше (1668–1669 р.р.). Х. Гюйгенс вважав, що друкувати слід речі твердо доведені, достовірні. Якраз з цими роботами І. Ньютон зв'язує третій закон механіки. У відповідному місці «Начал» він подає рисунок з кульками, які взаємодіють.

На відміну від теорії Х. Гюйгенса, картезіанська теорія удару ґрунтується на законі збереження кількості руху. Мірою руху вони вважали добуток маси на швидкість тіла.

Виведення формули доцентрового прискорення Х. Гюйгенс дав на основі розвитку думки Г. Галілея. Він проаналізував картину віддалення тіла від кола, якби воно летіло вздовж дотичної, рис. 58.

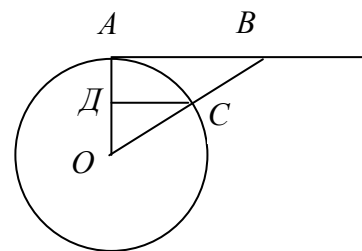


Рис. 58. До виведення доцентрового прискорення

При малих кутах AOB : $BC \approx AD$ і $AD \cdot DO = DC^2 \cong AC^2$. Але $AC = vt$, $DO \cong \frac{1}{2}R$. Звідси $BC \approx \frac{v^2 t^2}{2R}$.

Порівнюючи цей вираз з формулою для рівноприскореного руху бачимо, що прискорення рівне $\frac{v^2}{R}$. Щоб тіло не віддалялось від кола його

необхідно утримувати з силою пропорційною $\frac{v^2}{R}$. На той час Х. Гюйгенс не мав чіткої уяви про поняття сили, яка пропорційна масі та прискоренню. Тому він порівнював прискорення a з g , а силу з силою тяжіння. Для цього було розглянуто теорему: якщо підвішене тіло починає рух з горизонтального положення, то сила у нижній точці рівна потрійній вазі.

Тяжіння Х. Гюйгенс розглядав на основі теорії вихорів Р. Декарта, хоч розумів, що тяжіння, а не вихори породжує доцентрову силу.

Суттєвим підсумком фізики перших трьох четвертей XVII ст. було створення досить точних уявлень про тиск повітря, пружність газів, і кількісні співвідношення між об'ємом, тиском та температурою газів. В історію науки ввійшли Е. Торрічелі, Р. Сорбони, Б. Паскаль, М. Мерсенн, О. Геріке, Р. Декарт, Р. Бойль, Е. Марріотт, Д. Папен та інші.

Для картезіанської фізики існує лише два агрегатних стани: тверді тіла складаються з нерухомих частинок, а рідини принципово не відрізняються від газоподібного стану складаються з частинок, які безперервно рухаються. Генезис поняття ефіру – основний, історично прогресивний результат картезіанської фізики, коли говорити про фундаментальні узагальнення. Картезіанська теорія тяжіння відмовилась від далекодії і залишилась на ґрунті механічної причинності.

Трудність картезіанської програми в тому, що необхідно із невеликого числа кінетичних понять вивести велику кількість різноманітних явищ природи. У XVII ст. більшість учених пояснювали тяжіння кінетичними моделями. В основу цих моделей було покладено ідеї Р. Декарта.

Для науки XVII ст. було характерним якісне механістичне пояснення природи. Кількісні співвідношення лише запроваджувались. Постало завдання перетворити фізичний експеримент у кількісний експеримент. Це завдання було розв'язане у XVIII – першій половині XIX ст. Щоб розкрити історичний зв'язок між генезисом механічного пояснення природи і його найбільш важливими досягненнями необхідно визначити назрілі проблеми фізики кінця XVII ст.: перетворити механіку в систему кількісно-визначених законів – рівнянь; розвинути фізику кількісних експериментів. Розв'язання проблем завершують наукову природничу революцію. Цей період тісно пов'язаний з науковою і творчою діяльністю І. Ньютона, Л. Ейлера (1707–1783 р.р.), Ж. Д'Аламбера (1717–1783 р.р.), Ж. Лагранжа (1736–1813 р.р.).

На той час у Європі склалась система самостійних держав: Англія, Франція, Голландія, Іспанія. Після тридцятирічної війни (1618–1648 р.р.), в якій солдатом брав участь Р. Декарт, Німеччина залишилась зруйнованою, розділеною на дрібні держави і участі у науковому житті майже не брала. Наукові зв'язки німця Г. Лейбниця (1646–1716 р.р.) були французькими та голландськими. В Іспанії, Португалії, на півночі Європи серйозної наукової діяльності не спостерігалось.

Після взяття турками Константинополя (1453 р.) грецькі вчені перебазувались до Італії та привезли туди рукописи античних авторів і власні знання. У XIV столітті Італія була розгромлена. Творчій імпульс епосі Відродження дав Г. Галілей, але потім наступили несприятливі умови для розвитку науки. Навіть основна книга Г. Галілея з механіки була надрукована лише Голландії у 1638 р. після смерті автора.

Кордони наукової Європи поступово пересувались на схід. М. Коперник народився і жив у східній частині Європи. На другу половину життя І. Ньютона приходиться діяльність Петра І. І. Ньютон надіслав Петру І свої «Начала» з автографом (книга знаходиться у музеї м. Петербурга), а О. Меншиков був обраний членом Королівського

товариства. В цей період в Петербурзі була створена Академія наук, прийшла пора великих географічних відкриттів.

Доля Англії все більше пов'язувалась з морем. Почалась колонізація Америки. В 1620 р. на кораблі «Мейфлауер» до Америки припливли перші поселенці Нової Англії. Під впливом Королівського товариства англійці розпочали модернізацію своєї економіки. Завдання полягало у тому, щоб перемогти голландців, не воюючи з ними.

Мануфактурна промисловість, будівельна справа, кораблебудування, розвиток артилерії привели до накопичення великої кількості фактичних даних з механічних процесів. Протягом XVII ст. поняття інерції, прискорення, сили, кількості руху тощо набули чіткого визначення. У роботах Г. Галілея, Д. Бореллі, Р. Декарта і особливо Х. Гюйгенса була підготовлена основа для створення єдиної, послідовної системи визначень і теорем, які б були вільні від фантастичних гіпотез і довільних моделей.

Життя І. Ньютона співпало з царюванням у Франції короля Людовика XIV – «Короля-Сонця» (1638–1715 р.р.). При Людовіку XIV у Франції було засновано дві академії: Академія 40 безсмертних (1635 р.) і Академія наук (1666 р.). Одним з перших її академіків-фізиків був Х. Гюйгенс. На той час Франція була найбільш потужною європейською державою, у якій проживало 15 млн. чол. Вона мала найбільшу армію, флот і королівський двір, якому європейські правителі намагались наслідувати. Голландія тоді була найбагатшою, найосвіченішою і найвільнішою державою Європи. Там жили філософи, юристи, учені, яких усі читали і у яких навчались. Найбільш визначні з них Р. Декарт і Х. Гюйгенс. Книгу Р. Декарта «Основи філософії» І. Ньютон вивчав досконало і спочатку вважав себе картезіанцем. Антична спадщина також відіграла значну роль у формуванні наукового світу І. Ньютона.

Товариш І. Ньютона **Едмунд Галлей** (08.11.1656–14.01.1742 р.р.) – англійський Королівський астроном, геофізик, математик, метеоролог, фізик і демограф – ставши директором монетного двору в провінції (у



Рис. 59. Едмунд (Едмонд) Галлей (Edmond Halley)

Англії було 6 монетних дворів), швидко налагодив виготовлення монет і успішно провів фінансову реформу. Через два роки енергійний Е. Галлей залишив монетний двір і поїхав на південь Африки вимірювати магнітне схилення.

Е. Галлей був людиною думки і дії, швидким у прийнятті рішень. Він опускався на морське дно у водолазному дзвоні, брав участь у експедиціях до південних морів. Під час одного з плавань, на кораблі стався заколот. Е. Галлей проявив рішучість, застрілив декількох матросів і відіграв головну роль у придушенні заколоту. Коли Петро I перебував у Лондоні (1698 р.) підтримував з ним дружні стосунки, разом відвідували лондонські таверні. Е. Галлей користувався репутацією атеїста, що завадило йому очолити кафедру астрономії у Оксфорді та стати королівським астрономом.

Сфера діяльності Е. Галлея була широкою. Він вивчав затемнення, виявив систематичні зміни періоду у Місяця (пізніше пояснив П. Лаплас), передбачив періодичність комети (названа його іменем), виявив власний рух зірок, вивчав магнетизм, переклав Аполлонія з арабського.

І. Ньютон був директором монетного двору до самої смерті. На той час він уже був національним героєм. Його приймали при дворі. У 1703 році він став президентом Королівського товариства.

Тридцять років Лондонського періоду життя були мало насичені фізикою, математикою, астрономією.

Отже, наслідки наукових досліджень показують, що у сорокові роки XVII ст. виникло чітке завдання – побудувати динаміку, яка б пояснила рух тіл під дією тяжіння, таблиця 1.

Проте, подальший розвиток цієї проблеми здійснювався іншим шляхом. Середньовічні теорії тяжіння були відкинуті Р. Декартом як неправильні. Він вважав: сили не можуть діяти на відстані; в механіці все зводиться до удару; взаємодія передається лише при дотику. Ідея близькодії була сприйнята передовими фізиками того часу. Значною мірою у 70 роки її підтримав і І. Ньютон.

Після того як Б. Спіноза зробив із картезіанської натурфілософської школи висновки, спрямовані проти релігії, церква, не лише католицька, а й протестантська гальмувала розвиток і поширення основних ідей Р. Декарта. В Англії ці ідеологічні мотиви звучали особливо. Тут не було

прямого церковного терору. Протестантська церква підбирала аргументи проти матеріалізму в самій природознавчій літературі, використовувала обмеженість природничих знань, абсолютизувала умовні поняття, надавала фізичним побудовам формальне значення, а формально-умовним конструкціям – абсолютний зміст.

Таблиця 1

Етапи формування початкових умов та основ механіки

Вчені	Основи теорії	Основні поняття	Основна ідея
Галлей (1564–1642)	Теоретична механіка Галлея	Перший і другий закони механіки, рівномірний і рівноприскорений рух, рух під дією тяжіння, рух під кутом до горизонту. Спостереження в телескоп.	Аналіз і удосконалення і експериментальних даних. Відкриття 4-х супутників Юпітера
Гюйгенс (1629–1695)	Теоретична механіка на основі нової математики. Теорія годинника як засіб вивчення тяжіння, принцип Гюйгенса, хвильова теорія світла. Теорія доцентрових сил.	Наукова теорія пружного та непружного удару. Побудував потужний телескоп і відкрив кільця Сатурна	Закон збереження енергії (живої сили) та імпульсу. Принцип відносності руху.
Кеплер (1571–1630) Комбінації уявлень Арістотеля і фантастики	Три закони. Пояснення руху планет дією сил	Сила, що діє перпендикулярно до радіуса виникає внаслідок захоплення планет Сонцем при своєму русі	Тіла притягуються не до центру світу, а взаємно одне до другого
Декарт (1596–1650)	Повна теорія світу від космології до анатомії, що ґрунтується на фізиці близькодії та удару	Сонячна система виникла із ефірного вихору	Взаємодія здійснюється лише при ударі (теорія удару помилкова: пружний і непружний удар не розділяється)
Роберваль (1602–1675)	Сили тяжіння врівноважуються архімедовою силою	Вважав, що Сонцю і Землі притаманна властивість їх частинкам взаємно притягуватись	Існує всесвітнє тяжіння
Р. Гук (1635–1703)	Теорія удару, проблема тяжіння, планетний рух, деформація		
І. Ньютон	Науково обґрунтована теоретична механіка на основі новітньої математики: перший і другий закони – закони Галлея; третій закон – наслідок теорії удару Гюйгенса; теорія тяжіння – наслідки аналізу теорії удару Гюйгенса, Рено, Гука, законів Кеплера	Побудував перший відбивальний телескоп (1672).	Теорія тяжіння ґрунтується на гіпотезі ефіру.

Як і інші вчені І. Ньютон побудував телескоп. Прилад був більш досконалий ніж у Х. Гюйгенса. На відміну від Х. Гюйгенса І. Ньютон дивитись на небо не став. За словами С.І. Вавілова: І. Ньютон проявив неабияку витримку і бережливість думки [11]. Він не знав причини «первинного поштовху», який визначив швидкість руху планет коловою орбітою. Цей поштовх вчений приписав богу.

Королівське товариство у 1661 році призначило комісію з дослідження властивостей сил тяжіння. У 1665–1666 роках (в ці роки в Англії була чума і І. Ньютон провів їх на фермі у Вулсторпе) І. Ньютон одержав перші результати з теорії тяжіння. Він установив, що третій закон І. Кеплера $T^2 \sim R^3$ випливає з закону $F \sim \frac{1}{r^2}$ для сили тяжіння на поверхні

Землі. Щоб зробити такий висновок слід знати формулу для доцентрової сили $F = \frac{mv^2}{R}$, яка на той час була невідома. В дійсності її Х. Гюйгенс

знав ще у 1659 р., проте опублікована вона не була. Аналогічно Х. Гюйгенсу І. Ньютон слідував думкам Г. Галілея, але пішов іншим шляхом роздумів. І. Ньютон розглядав тіло, що рухається у сфері по діаметру, рис. 60.

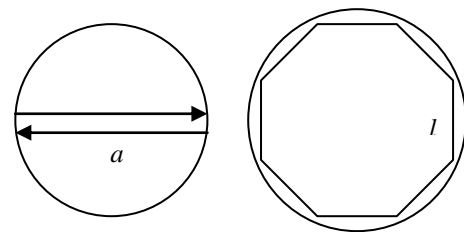


Рис. 60. До виведення формули для доцентрової сили

Потім розглянув квадратну траєкторію, потім n -кутну і обрахував середній тиск на сферу. Для траєкторії (a) імпульс рівний $2mv$. Час руху визначається $T = \frac{4R}{v}$.

Відповідно середній тиск $2 \cdot \frac{2mv}{T} = \frac{mv^2}{R}$. У загальному випадку при ударі

імпульс передається величиною $\frac{mv l}{R}$, де l – сторона многогранника. За

повний оберт повний імпульс поділений на час обертю тіла буде дорівнювати тиску $F = \frac{mv l}{R} \cdot n \cdot \frac{v}{nl} = \frac{mv^2}{R}$. Перехід $n \rightarrow \infty$ приводить до

кола. Тому $F = \frac{mv^2}{R}$.

Приведене виведення напевне подобалося І. Ньютону, бо він його привів у «Началах» уже після того як було відомим загальне виведення [80].

В 70 роки І. Ньютон продовжив дослідження з теорії тяжіння. Вони ґрунтувались на гіпотезі ефіру. Це підтверджується листами до Королівського товариства та до Р. Бойля.

В цей час теорією тяжіння займались Х. Гюйгенс (теорія маятника та формула для доцентрової сили), Р. Гук у 1680 р. уже знав закон тяжіння. Зв'язок формул сили тяжіння та третього закону І. Кеплера був відомий у Англії у 70 роки (Х. Рен обговорював цю проблему з І. Ньютоном).

У 80 роки Х. Гюйгенс брав активну участь у дискусіях про тяжіння. У 1683 р. виявив зв'язок між законом $\frac{1}{r^2}$ і законом $T^2 \sim R^3$. Необхідно було одержати рух еліпсом. Звернувся до Х. Рена, у якого розв'язку не було. У 1684 році обговорював проблему з Р. Гуком та Х. Реном. Останній обіцяв премію тому, хто розв'яже проблему. Р. Гук заявив, що знає розв'язок, але не скаже (такого в архівах не виявлено). Нехай вчені поміркують. Тоді Е. Галлей вирішив звернутись до І. Ньютона. У листопаді 1684 р. Е. Галлей одержав від І. Ньютона доведення. Тоді ж Е. Галлей виїхав до Кембриджа і умовив І. Ньютона написати ґрунтовний виклад його результатів. Так був остаточно обґрунтований закон Всесвітнього тяжіння. У його становленні брали участь цілі покоління вчених, які крупинками збирали наукові факти аж до повного узагальнення. Такий шлях наукових відкриттів першої наукової революції у природознавстві.

3.3. Історичне і наукове значення «Начал». Роботи І. Ньютона з оптики

У лютому 1685 р. Королівське товариство одержало рукопис І. Ньютона «Про рух». 28 квітня 1686 р. до Королівського товариства надходить перша книга «Начал». 19 травня Е. Галлею доручається видати книгу. Відразу виникли ускладнення. Р. Гук став претендувати на встановлення закону $\frac{1}{r^2}$. І. Ньютон розсердився. Е. Галлею довелося прикласти немало зусиль, щоб все уладнати. У кінці книги було написано, що зв'язок між законом сили і третім законом Кеплера вперше встановили

Х. Рен, Р. Гук і Е. Галлей. Восени 1686 р. надійшла друга книга «Начал», а у квітні 1687 р. – третя. Це був період великого творчого вибуху наукової енергії вченого. І. Ньютон пройшов шлях від найпростішої задачі руху одного тіла до небесної механіки. Вершиною цієї праці були дві нові теорії: теорія Місяця, де методами теорії збурень розраховано нерівномірність у русі Місяця, що пов'язано з дією Сонця і теорія припливів. Результати Місячної теорії «Начал» були пояснені аналітичними методами небесної механіки Л. Ейлера, Ж. Д'Аламбера і А. Клеро лише у 1750 р.

Щоб зрозуміти саму ідеологію фундаментального твору доцільно проаналізувати спочатку його назву. У книзі у назві говориться: математичні початки натуральної філософії. Це свідчить про те, що систематичного курсу теоретичної фізики не існувало, а була натуральна філософія. Як відомо, що І. Ньютон є одним з авторів диференціального числення. Вчений математизував фізичні знання з натурфілософії і започаткував окрему науку теоретичну фізику, яка дала почато прикладній фізиці. Тому головна заслуга І. Ньютона полягає у тому, що він зумів розпочати відлік науці «фізика» і є її засновником. Цього не вдалось зробити Х. Гюйгенсу, який мав всі можливості таке зробити. Р. Декарт був насамперед філософом і не мав планів створювати теоретичну фізику. Проте без їх праць напевне фізику започаткували б дещо пізніше й інші вчені.

Е. Галлею було доручено надрукувати «Начала» можливо тому, що він був редактором і видавцем журналу товариства «Philosophical Transactions». Проте коштів у касі не виявилось. Все було витрачено для видання книги Х. Уїлоубі «Історія риб». Е. Галлей видав 300-400 екземплярів «Начал» латинською мовою (в той час учені писали у більшості латиною) за свій власний рахунок. Книга швидко розійшлась і напевно витрати Е. Галлей повернув.

І.Ю. Кобзарев зробив аналіз, хто на той час міг ефективно цю працю використати [44]. У Королівському товаристві тоді було близько 100 осіб. Із питань фізики та математики М. Мерсенн переписувався ще з 200 адресатами. Число видрукованих книг і людей, які зацікавлені у придбанні книги співпадає. Проте зрозуміти І. Ньютона могли не всі, хто мав «Начала». Ф. Мануель підрахував скільки у Королівському товаристві

було професіоналів, а скільки делітантів – людей, які проявляли зацікавленість до науки з моди. За його оцінками на той час у Королівському товаристві було близько 30 спеціалістів з фізики, а решта – лікарі зі схильністю до природознавства. Люди такого складу не були підготовлені для сприйняття «Начал», бо слабо володіли математикою. Зокрема Р. Гук не міг зрозуміти «Начал» якраз з цієї причини. Вивчити цю книгу могли такі люди як Е. Галлей, Х. Рен, Дж. Валліс. На думку І.Ю. Кобзарєва таких людей у Англії та Королівському товаристві було з десяток. У Європі нараховувалось чоловік 40, які вивчили «Начала». До їх числа відноситься і Х. Гюйгенс. Ще у 1688 році він бажає бачити книгу І. Ньютона, а не картезіанську, так як вона має положення про тяжіння. Після вивчення книги (брат Х. Гюйгенса надіслав йому книгу) Х. Гюйгенс знайшов там помилку в гідростатичній частині. Крім цього, учений мав листування із І. Ньютоном з проблем, які розглянуто у «Началах». Таке листування І. Ньютона було з В. Лейбніцом. Були листи і від англійських математиків. Таких нараховувалось близько 10 осіб, що складає розумну долю – до 40 читачів.

Що побачив читач у «Началах»? Насамперед завершився довгий процес побудови геліоцентристської дедуктивної механіки, яка дозволяє розв'язати задачі, які є досить важкими і нині для звичайних курсів теоретичної механіки. Стиль «Начал» співпадає зі стилем «Начал геометрії» Евкліда. При всіх виявлених у ХІХ-ХХ столітті негараздах, протягом більше ніж двох тисячоліть ця геометрія була зразковим викладом дедуктивної теорії. У передмові до «Начал» у 1686 р. І. Ньютон писав [80], що побудова прямих і кіл, які лежать у основі геометрії, відноситься також і до механіки. Геометрія не навчає нас як будувати ці лінії, а передбачає, що вони уже відомі раніше. Побудова прямих і кіл є задачею не геометрії, яка навчає як ними користуватися, а механіки. І. Ньютон вбачав геометрію, як абстрактну математичну теорію, у якій основні поняття не визначаються, а передбачаються даними, після чого теорія будується дедуктивно на базі геометрії, яка є загальною частиною механіки, що обґрунтовує мистецтво точних вимірювань. За зразком геометрії була побудована механіка – наука про рух.

Для мислення І. Ньютона властива ясність і розуміння наукової структури. Добре розумів І. Ньютон і операцію граничного переходу, який

навіть В. Лейбніц (1646–1716 р.р.) розглядав із труднощами. При обговоренні ньютонівської теорії границь М.М. Лузін назвав розум І. Ньютона абсолютним за аналогією з абсолютним слухом.

Книга починається з розділу «Визначення». В них дається поняття маси, кількості матерії, які пропорційні об'єму і густині тощо.

Потім описані «Аксіоми або закони руху», «Книга I. Про рух тіл»; «Книга II. Про закони руху тіл»; «Книга III. Про систему світу». У книзі викладено близько 200 задач і теорем. Кожна з них – невелика стаття. Частина задач чи теорем мають від 2 до 22 наслідків.

У роботі І. Ньютона є невдалі визначення. Так він вводить відмінність між прикладеною силою, яка приводить до зміни стану тіла і силою інерції. Ця сила за І. Ньютоном властива матерії і пов'язана з її інертністю. Тобто І. Ньютон стверджував, що тіло, яке рухається з прискоренням a , просто, в силу властивій йому інертності, діє на тіло, яке прискорюється з силою протидії – am . Це не так. Інертність сама собою не є джерелом сили. Сила протидії є звичайною силою – силою пружності, тяжіння тощо, як і та сила, що викликає прискорення. Відмінність між ними не має змісту. Коли Місяць притягує Землю, а Земля притягує Місяць, то ніякої відмінності між природою цих сил немає. Коло цих питань було досить важким. Навіть у 40 роки минулого століття О.М. Крилов захищав точку зору І. Ньютона, а Л.І. Мандельштам пояснював помилковість такого твердження [148, с. 31]. Центральні сили розглядаються через введення заряду, який створює силове поле, напруженість поля і самої сили. І. Ньютон ілюструє їх прикладами магнітної сили і сили тяжіння. Це відповідало традиціям того часу.

І. Ньютон у «Началах» не розкриває зміст понять абсолютного простору і часу. Він бачив, що основні закони механіки справедливі не у будь-якій системі відліку (термін сучасний), що будь-яка реалізація часу не може бути ідеальною. Абсолютне місце і час у нього – це координати і час, в яких справедливі закони механіки. Після висновків спеціальної теорії відносності ми розуміємо, що положення про властивості простору і часу, які лежать в основі класичної механіки, є лише першим наближенням відносності А. Ейнштейна. Вони викладені в його статті у 1905 р. Ці відносності пов'язані з роботами У. Гільберта й інших математиків з аксіоматики евклідової геометрії, які ще у XVII ст.

показали, що важко знайти повну систему постулатів, на основі яких можна побудувати завершену теорію. Є всі можливості якийсь постулат не помітити і тоді теорія не буде повноцінною.

«Начала» перевидавались у 1713 і 1726 роках, були перекладені на англійську, французьку й німецьку мови, а у 1915 році на російську О.М. Криловим.

Закони Ньютона введені у шкільних підручниках, посібниках з фізики для вищої школи. Всі вони асоціюють з іменем І. Ньютона. Історичні відомості, які супроводжують у підручниках та посібниках закони Ньютона та сам виклад всієї фізики здебільшого носить міфічний характер [44, с. 43]. Міфи виникають здебільшого від того, що автори підручників часто не цікавляться тим, як все було у дійсності. Результат такий: якщо є закони Ньютона, то він їх відкрив, якщо відкрив, то на основі дослідів. На момент написання «Начал» люди вміли обраховувати доцентрову силу, знали закони збереження, відомий був закон інерції, закони рівномірного і рівноприскореного руху тощо. І. Ньютону зовсім не приходило в голову, що тут є щось нове. В кінці розділу «Аксіоми або закони руху» він пише: «до цих пір я висловлював принципи, які приймаються математиками і підтвержені численними дослідями» [80]. Тут же І. Ньютон говорить, що два закони відкрив Г. Галілей, а третій він пов'язував з іменами Х. Рена, Дж. Валліса і Х. Гюйгенса. Не зовсім логічно пов'язувати відкриття законів механіки з будь-яким іменем. Розвиток був неперервним і тривалим.

Новим у «Началах» були не закони. Основним було з технічної точки зору розв'язування складних задач небесної механіки, а у фізичному – демонстрація того, що теорія тяжіння дійсно пояснює не лише закони Кеплера, але й більш складні явища.

Через 300 років люди побачили, що сукупність трьох законів складають повну схему розв'язування механічних задач. Попередники І. Ньютона кожного разу розв'язували їх кожен раз особливим способом, кожного разу особливим набором постулатів. І. Ньютон дав дедуктивну схему механіки.

Новим було формулювання закону збереження імпульсу на мові сил. У формулюванні І. Ньютона три закони мали вигляд:

Axiomata sive leges motus

Lex I

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Lex II

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Lex III

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

I. НЬЮТОН розділив аксіоми I і II так, що I слідує із II. Така побудова напевне пояснюється так. Визначення і закони у I. Ньютона дійсно «законодавчі» – вони визначають спосіб їх дій, і тому вони його відображають. I. Ньютон не користувався системою координат. Майже весь зміст першої книги складає розв'язування задач у полі центральних

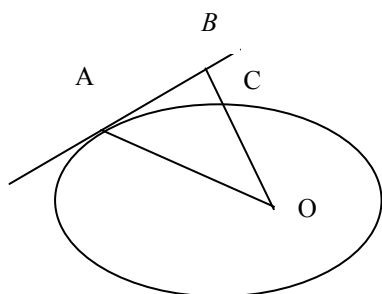


Рис. 61. До задачі про рух тіла у полі центральних сил

сил. Всі розв'язки здійснено, наслідуючи Г. Галілея, – як суперпозицію інерційного руху дотичною AB і рівноприскореного падіння по BC до центру сили O . Закон I описує рух по AB , а закон II – по BC , рис. 61.

Нерідко механіку в підручниках та посібниках описують з опорою лише на закони Ньютона.

У трьох законах I. Ньютон виділив те, що не залежить від конкретного виду сил. Тому вони утворюють лише пусту схему механіки як наукової теорії. Фізична наука виникає із цієї схеми тоді, коли виділяється певне коло явищ і встановлюється закон сил, який керує ними. Ідея розв'язку задачі у тому, що цей закон слід угадати і прибавити до трьох законів. Тоді виникне теорія, у межах якої можна робити передбачення. Теорії, які виникають, точні чи наближені залежно від того, настільки точно відомий закон сили. У гідродинаміці сили складні і закономірність їх важко описати – точність низька. У небесній механіці точність дотримання законів велика, тому й точність передбачення майже безмежна, необхідно лише уміти рахувати. Якраз тому центр «Начал» у змісті небесної механіки, що викладена у третій книзі. І тому немає нічого абсурдного, ніж вважати II закон Ньютона визначенням сили, як інколи це

робиться. Це означає забути про саму сутність механіки, яка вимагає введення сили ззовні.

За викладом «Законів» ідуть «Наслідки»: закон збереження кількості руху; закон збереження швидкості центру тяжіння; механічний принцип відносності. В «Наслідку б» доводиться, що якщо на систему тіл діють сили, які надають тілу прискорення, то відносні рухи не змінюються. Цю теорему І. Ньютон застосував, коли здійснював аналіз системи Місяць-Земля, що рухаються у полі тяжіння Сонця. Відповідно до «Наслідку б», на рух системи Місяць-Земля впливає лише зміна напруженості поля тяжіння Сонця, а не сама напруженість.

У першій книзі систематично викладено математичний аналіз в геометричній формі (перший розділ) і механіка центральних сил. Перша теорема другого розділу – геометричне доведення другого закону Кеплера: якщо тіло рухається під дією центральної сили, то радіус-вектор, який з'єднує тіло з центром сили, описує рівні площі у даному проміжку часу. Потім приводяться розв'язки різних задач на центральні сили. Зокрема, доводиться, що сила повинна бути $\frac{1}{r^2}$, якщо тіло рухається колом, а центр сили розташований на колі.

Третій розділ присвячений розгляду руху тіл на ексцентричних перетинах конуса, тобто на еліпсах. Розділ починається з задачі, розв'язок якої І. Ньютон надіслав Е. Галлею, і після чого Е. Галлей переконав І. Ньютона у необхідності створення теоретичної механіки. У задачі тіло рухається еліпсом, центр сил знаходиться у фокусі еліпса. Необхідно було знайти закон сили.

Четвертий-восьмий розділи розкривають чисто геометричні питання, які важливі для астрономії. Наприклад, в геометричній формі розв'язана задача руху в полі довільних центральних сил. Змінні тут розділяються і відповідно записуються у квадратурах. Фактично у даній задачі доведена теорема про збереження повної енергії у полі центральних сил. Проте це зроблено не у вигляді узагальнення, а тому в «Началах» закону збереження енергії немає.

У 9-11 розділах розглянуті найбільш важкі задачі механіки: у 9-му розділі розв'язана задача про процесію орбіти за формою близькою до

колової, коли закон сили дещо відхиляється від $\frac{1}{r^2}$. Та одержана формула для визначення кута прецесії; у 10 розділі розглянуто рух тіла поверхнею іншого; в 11 – розкрито рух n тіл, які притягуються із силами $\sim \frac{1}{r^2}$. Спочатку розглянуто два тіла, а потім три – Місяць-Земля-Сонце; у 12 – розв'язана задача про притягання тіл кулею. Спочатку доводиться, що на тіло, яке знаходиться всередині сфери сила не діє. Складним є доведення, коли тіло знаходиться поза сферою і на будь-якій відстані від неї діє сила $\sim \frac{1}{r^2}$; у 13 – викладена теорія притягання еліпсоїдів; у 14 – викладені елементи корпускулярної оптики, доводиться закон заломлення світла.

У другій книзі зроблено виклад механіки суцільних середовищ. Тут проаналізована запропонована Р. Декартом теорія чи гіпотеза вихорів, згідно якої планети рухаються навколо Сонця захоплені вихорами. Показано її несумісність з механікою. Крім цього, сформульована теорія подібності, розглянуто поширення хвиль у середовищах, обрахована швидкість поширення звуку в пружному середовищі, обрахована швидкість поширення звуку в повітрі (неправильно, бо І. Ньютон використав закон Бойля-Маріотта, а стиснення проходить адіабатно).

Найбільш змістовна фізично і найбільш значима за результатом була третя книга «Про систему світу». Ще під час попередньої роботи І. Ньютона над книгою Р. Гук пред'явив претензії на відкриття закону всесвітнього тяжіння і вимагав посилення на нього. І. Ньютон був розгніваний і вирішив зовсім не друкувати книгу. Тоді Е. Галлей, як видавець, умовив І. Ньютона все ж написати третю книгу. Після цієї розмови І. Ньютон напевне переробив зміст книги з популярного на науковий. В остаточному плані книга має таку форму і зміст.

Спочатку сформульовані чотири правила. Зміст правил у тому, що якщо із досліду щось впливає, то це правильно і далше не потрібно вести філософські дискусії, а потрібно ці твердження застосовувати і дивитись, який буде результат. Якщо наслідки співпадають з дослідом, то теорія правильна.

У наступній главі «Явища» детально розглянуто основні експериментальні факти – «явища»:

- для супутників Юпітера має місце закон $T^2 \sim R^3$;
- для супутників Сатурна теж має місце закон $T^2 \sim R^3$;
- орбіти планет охоплюють Сонце;
- для планет справедливий третій закон Кеплера;
- якщо розглянути радіус-вектор, який проведено від планет до Землі, то перший закон Кеплера не виконується (Земля не є центром сил);
- рух Місяця відповідає першому закону Кеплера, тобто радіус-вектор Місяць-Земля описує постійні площі.

Перевірка третього закону Кеплера потребувала точних вимірювань відстані до Юпітера та Сатурна. Це здійснювалось за допомогою мікрометрів, які були поміщені у фокусі телескопа. І. Ньютон детально описує установку і виконання досліду. Такі вимірювання підтвердили закон з точністю 1-3 %. Це говорить і про вплив на розвиток механіки методів вимірювання. За сто років до І. Ньютона не було ні телескопів, ні мікрометрів, тому багато фактів, якими оперував вчений, тоді не були відомі. На основі дослідних фактів І. Ньютон вважав доведеним, що «тяжіння існує до всіх тіл взагалі і пропорційно масі кожного з них» і «тяжіння до окремих рівних частин тіл обернено пропорційно до квадратів відстаней до цих частин» [80, с. 41]. Потім доводяться теореми: про властивості Сонячної системи; дається розрахунок за якого Юпітер за 100 000 років не втратив би й однієї мільйонної своєї кількості руху; дається оцінка збурень Сатурна Юпітером (як пізніше виявилось досить завищена); доводиться теорема про форму Землі; широтна залежність тяжіння; кількісна теорія Місяця; теорія припливів; теорія комет.

У теорії Місяця враховано не лише притягання до центру Землі, але й ефекти впливу Сонця. Система Місяць-Земля падає у полі тяжіння Сонця (С). У системі Землі (З) і Місяця (М) буде діяти додаткова сила, яка надає

прискорення $\vec{a} = \left(-\frac{\vec{r}}{R^3} + 3\frac{\vec{R}(\vec{r}\vec{R})}{R^5} \right) kM$ (k – гравітаційна стала), рис. 62.

У цьому випадку прискорення має нормальну і дотичну до орбіти компоненти. Воно залежить від кута і радіуса \vec{r} досить складно. Середнє

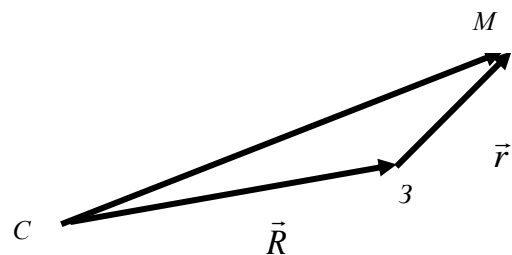


Рис. 62. Система Сонце-Земля-Місяць

значення цього прискорення складає $\frac{1}{300}$ від викликаного Землею.

І.Ньютон не мав ні векторів, ні рівнянь у координатах. Все робив на рисунках. У нього немає формули для прискорення, а замість неї є геометрична побудова. На рисунках ще у 11 «Задачах» І.Ньютон розрахував методами теорії збурень ефекти, які викликаються цією силою, одержав пояснення багатьох складних нерівномірних рухів Місяця з допомогою нерівностей.

Теорія комет побудована не на теорії тяжіння. Вона передбачає, що комета рухається конічним перерізом. За спостереженнями знаходиться її траєкторія і одержані звідси передбачення порівнюються зі спостереженнями. Рух комет прямо суперечив вихорам Декарта. Траєкторії комет дуже витягнуті і повинні мати багато вихорів, а звідси траєкторія повинна бути дуже складною, а відповідно і закон руху є складним. Проте комети рухаються за законами Кеплера.

Науковий світ в цілому позитивно сприйняв «Начала». У 1688 р. у журналі Академії наук Франції була поміщена невелика рецензія книг. Говорилось, що система механіки розвинена виключно досконало, але планетарний рух І.Ньютон розглянув не як фізик, а як математик. І.Ньютон не відізвався на заклик і цим питанням зайнялись континентальні вчені. Із листування Х. Гюйгенса випливає, що у нього не було сумнівів у правильності зробленого І.Ньютоном, але він хотів в'яснити походження руху планет. Х. Гюйгенс і В. Лейбніц найбільш вивчили не теорію тяжіння, а гідродинаміку «Начал», бо їм потрібна була гідродинаміка для спроби пояснити тяжіння рухом ефіру.

Англійці вважали створення «Начал» гордістю англійської науки. Форма і зміст «Начал» стала догмою. Через 10-15 років після виходу в світ «Начал» виросло нове покоління молодих людей, які успішно оволодівали механікою та системою світу. До того часу І.Ньютон переїхав до Лондона і став президентом Королівського товариства. Ці молоді люди стали учнями І.Ньютона, писали книги, викладали механіку напевне за рецептами І.Ньютона.

У «Началах» була доведена до межі можливого геометрія. Все робилось з допомогою рисунків, креслень за Аполлонієм та Евклідом. На той час у І.Ньютона не було координатного і аналітичного методів у тій

формі, які є нині. Прошло десятки років, коли механіка була записана у тій формі, яку маємо зараз. І. Ньютон користувався геометричними методами не тому, що це було зрозуміліше і наочніше, а тому, що у нього не було іншого вибору. Тому то він і використав геометричну форму теорії границь у першій главі першої книги. Проте далі рухатись методами І. Ньютона уже було неможливо. Якщо фізика «Начал» відкривала для дослідження широку область, то математична техніка цієї книги заводила у глухий кут. Тому тривалий час механіка в Англії не розвивалась. Необхідно було механіку заново сформулювати в аналітичній формі. Це було зроблено у школі В. Лейбніца, з яким І. Ньютон вів безпредметну боротьбу за пріоритет у винайденні математичного аналізу. Вирішальний крок був зроблений Л. Ейлером у 1736 р. Він написав книгу «Механіка, аналітично викладена», яка видана Петербурзькою Академією наук. В. Лейбніц був також прийнятий на російську службу у 1713 р., зарахований таємним радником і одержував платню. У своїй механіці Л. Ейлер писав, що не може розв'язати нових задач геометричними методами І. Ньютона. У книзі Л. Ейлера задачі розв'язувались майже сучасними методами.

З цього часу почала стрімко розвиватись наука про небесну механіку в основному в працях п'яти вчених: Л. Ейлера (1707–1783 р.р.), А. Клеро (1713–1765 р.р.), Ж. Д'Аламбера (1717–1783 р.р.), Ж. Лагранжа (1736–1813 р.р.) і П. Лапласа (1749–1827 р.р.)

Ці вчені почали наступний розвиток теорії Місяця, розрахували дію Юпітера і Сатурна на інші планети і один на одного. Розвиток теорії проходив драматично. Весь час якась нерівність не пояснювалась. Тоді почали сумніватись у справедливості закону $F \sim \frac{1}{r^2}$. Таке було природним. Якщо пояснити тяжіння ефіром, то відхилення від закону тяжіння було б бажаним. Гідродинаміка повинна давати більш складнішу залежність ніж у І. Ньютона. Проте весь час відхилення зникали з удосконаленням розрахунків. Дослідження цих п'яти вчених у розвитку небесної механіки дали високу точність опису Сонячної системи. Підсумком усієї роботи була «Небесна механіка» П. Лапласа, який ліквідував останні з труднощів, що виникали. Л. Ейлера, А. Клеро, Ж. Д'Аламбера, Ж. Лагранжа, П. Лапласа називають математиками.

Напевне, правильно говорив Л. Ландау, який назвав цих людей фізиками-теоретиками, а те, що вони зробили у небесній механіці – теоретичною фізикою.

Питання тяжіння продовжували досліджувати у XIX та на початку XX ст. Робились все більш точніші вимірювання. На кінець було показано, що розрахункова прецесія перигею Меркурія, яка викликана дією інших планет, рівна $5557''$, а та що спостерігається $5599'$ за століття. Це розходження уже було реальним. Пояснити це удалось, коли А.Ейнштейн створив теорію тяжіння без далекодії. З цієї теорії слідувало, що на малих відстанях тяжіння дійсно відхиляється від закону $\frac{1}{r^2}$.

Сам І. Ньютон напевне не думав, що тяжіння є явище первинне і не потребує пояснення. Р. Декарт переконав науковий світ у неправильності далекодії. До «Начал» І. Ньютон будував моделі, де тяжіння пояснювалось ефіром. В кінці книги «Оптика» (останній твір І. Ньютона за його життя), яка вийшла у 1721 р. поміщено запитання. У 21 запитанні І. Ньютон знову обговорює гіпотезу про те, що тяжіння обумовлене дією ефіру і запропонував конкретний механізм пояснення. Далекодія як вихідний факт його не влаштовувала.

В часи І. Ньютона жив священик Бентлі. Йому запропонували науково спростувати атеїзм і довести Буття Боже. Священик вирішив скористатись небесною механікою. Спочатку він звернувся з проханням до учня І. Ньютона Крейга поради як краще вивчити «Начала». Крейг запропонував йому 40 книг. Напевне, рекомендував почитати і Аполлонія. Бентлі зрозумів, що таке не здолати і написав листа І. Ньютону. І. Ньютон відповів, що читати слід три розділи першої книги і третю книгу. Коли курс 8 лекцій був завершений і був уже у коректурі Бентлі став сумніватись: чи правильно він все пояснив і знову звернувся до І. Ньютона за роз'ясненнями. І. Ньютон надіслав йому декілька листів. Ідея Бентлі була в тому, що закон всесвітнього тяжіння здійснюється шляхом божого втручання. Бог знає як Сонцю притягувати планети.

І. Ньютон також заперечував, що всесвітнє тяжіння є внутрішньою властивістю матерії. Він категорично заперечував, що тяжіння передається через пустий простір без будь-якого «агента». «Проте чи є цей агент матеріальним або нематеріальним, даю можливість судити самим

читачам» [80]. В кінці другого видання «Начал» І. Ньютон написав «Загальне поучіння», з якого можна зробити висновок, що він також притримувався гіпотези, що всесвітнє тяжіння передає Бог, але прямо про це не сказав. «Причину ж цих властивостей сили тяжіння я до цих пір не зміг вивести з явищ, гіпотез же я не вигадую» [80]. Коли І. Ньютон мав свою думку, він її виказував, тут же відійшов від прямої відповіді. У «Оптиці» гіпотеза ефіру висловлена як причина тяжіння.

Листування І. Ньютона і Бертлі видане окремою книгою. Її любив читати М. Фарадей. Коли розмова заходила за ефір, він цитував І. Ньютона. Пізніше Дж. Максвелл створив математичну теорію, якою реалізував ідеї М. Фарадея і далекодія зникла із електромагнітних взаємодій. Потім А. Ейнштейн позбавив теорію електромагнітного поля ефіру і створив польову теорію гравітації. Потім П. Дірак проквантував електромагнітне поле, і сили теж зникли. Все звелось до обміну частинками. Знову повернулись до ідеї Р. Декарта.

Поряд з визнанням наукової величі І. Ньютона можна зустріти й інші оцінки. Так Л. Розенфельд бельгійський фізик-теоретик у статті «Ньютон і закон тяжіння» писав, що учений потерпів повну невдачу, не досяг своїх головних цілей: не зумів пояснити тяжіння, так і не дізнався як побудовано Всесвіт. Л. Розенфельд вважав, що відмова від гіпотез у кінці «Начал» була проявом почуття невдачі і розчарування. Це не так. І. Ньютон завжди висловлював переконання, що необхідно відрізнити факти доведені дослідом від гіпотез. Фінал «Начал» такий же як і «Оптики», де він пише, що слід відрізнити домисел від достовірності. І. Ньютон завжди відчував, що у фізиці в даний момент може бути доведено і зроблено, і це почуття не залишало його все життя.

І. Ньютон не викидав ніяких записів чи листів. У нього накопився великий архів, який до кінця не опрацьований і нині. Зберігся і перший варіант третьої книги «Начал» (популярна форма викладу до зіткнення з Р. Гуком). Там І. Ньютон дає оцінку зоряних відстаней. Вона у нього становить порядку 10^6 астрономічних одиниць. Цього факту, на жаль, у шкільних та вузівських підручниках з фізики та астрономії немає.

В І. Ньютона завжди було відчуття незавершеності науки, відчуття, що все лише починається. Він цікавився електричними явищами і

спостерігав у 1716 р. появу іскри біля вістря голки піднесеної до янтарю потертого об хутро.

Довести теорію Місяця до достатньої точності не вдалось. Ще Е. Галлей писав І. Ньютону, що якщо доопрацювати теорію Місяця до достатньої точності, то можна було б перевіряти за нею годинники і визначати довготи. Дану проблему не розв'язали протягом всього XVIII ст. Її розв'язав годинникар Д. Гаррисон, який розробив пружинний хронометр і тим вирішив проблему довгот.

Із закону тяжіння безпосередньо випливають рівняння гравітаційного поля, які стали праобразом для рівнянь інших силових полів. Взаємна незалежність рівнянь поля і рівнянь руху була основою паралельного існування фізики і механіки. Нелінійний характер рівнянь тяжіння А. Ейнштейна, Л. Інфельда, Х. Гофмана і В.О. Фока показали умовність такого розділу двох видів фізичних закономірностей.

Роботи І. Ньютона з оптики в основному пов'язані з удосконаленням телескопів. У 1684 р. він встановив основний недолік телескопів – хроматичну аберацію – появу веселкових забарвлень, які оточують зображення предмета. І. Ньютон дослідив насамперед заломлення світла у призмах і одержав кольоровий спектр. Навчився із спектра одержувати біле світло. Висловив різні уявлення про природу світла. На початку він був схильний до гіпотези про ефір, який передає світло на відстань. Пізніше він зупинився на емісійній теорії, згідно якої існують елементарні корпускули – світлові частинки, рух яких лежить в основі поширення світла. І. Ньютон неодноразово підкреслював умовний і неоднозначний характер як хвильових, так і корпускулярних гіпотез, протиставляючи і тим і другим результати експерименту.

Коли утворювалось Королівське товариство, то люди сподівались на швидкий розвиток і думали, що на Місяць полетять через якихось 30 років. Це сталося через 300 років. Виникли думки, що наука не цікава і від неї користі мало. Не випадково Свіфт у «Гулівері» (твір написаний під кінець життя І. Ньютона) відношення до Королівського товариства описав у вигляді Ляпутянської академії вороже і глузливо. Правда Свіфт підтримував торі і до вігів в Англії, часів промислового перевороту, відносився вороже. Такої ж думки був і впливовий письменник XVIII ст. Джонсон.

Таким чином, з середини XVIII ст. у Англії наука стає не модною і приходить у занепад. Зменшилось число членів Королівського товариства, в касі товариства не було грошей. Однією з причин було і те, що учні І. Ньютона слідували своєму вчителю і старанно зберігали букву «Начал». Вони не змогли зробити те, що зробили французи і Л. Ейлер, які прийняли основні ідеї І. Ньютона і стали робити все по-новому. Поступово науковий центр аж до часів М. Фарадея переміщується до Франції.

3.4. Фізика XVIII століття

В еволюції фізики у XVIII ст. вирізняються дві головні тенденції розвитку: тенденція накопичення емпіричного матеріалу з оптики, електрики, теплоти, і тенденція математичного опису фізичних явищ на основі більш або менш ймовірних гіпотез про діючі агенти. Як наслідок сформувалась експериментальна та теоретична фізика.

XVIII століття найчастіше характеризується як століття накопичення, систематизації знань і критики теорій. Головним напрямком скоріше був аналітичний спосіб пояснення явищ та процесів природи. Були спроби синтезувати наукові теорії та відкриття. У порівнянні з XVII ст. це було менш яскраве століття. Воно не дало жодного вченого типу Г. Галілея, Х. Гюйгенса, І. Ньютона. Головний внесок століття у розвиток фізики – узагальнення всіх наукових досягнень в одну зв'язану і упорядковану систему за допомогою математичного аналізу. Механіка перетворилась із геометричної в аналітичну, поряд з небесною механікою виникла математична фізика.

Програма математичної фізики була визначена у передмові до «Начал». Основна задача фізики формувалась так: за явищами руху розпізнати сили, а потім за силами пояснити решту явищ і потім вивести із початків механіки всі явища природи. До основних понять механіки і всього природознавства відносились: матерія, простір і час. На той час Л. Ейлер, М.В. Ломоносов вважали, що простір заповнено матерією. У Р. Бошковича і Канта однорідний ізотропний, евклідовий простір заповнено силами.

Механіка І. Ньютона розпочиналась принципом прямолінійного, рівномірного інерційного руху і завершувалась законом спаду гравітаційного поля з відстанню.

Матерія мислилась як деяка субстанція, яка міститься в основі усіх явищ природи.

Картезіанці вважали, що у світі немає нічого крім матерії та руху. Така розбіжність насамперед пояснюється тим, що на той час не було відомо іншого виду руху матерії крім механічного. Джерелом і місцем руху є принцип збереження руху і постійна контактна взаємодія частинок континууму. Рух здійснювався циклічно, що суперечило повсякденному досвіду. Ця суперечність викликала третю точку зору В. Лейбніца. За нею в основі всього лежать непротяжні діючі істини – монади. Такий підхід одержав розвиток у роботах Бошковича та Канта. Атоми у Бошковича – непротяжні матеріальні точки, які мають інерцію і є центрами сил. Такі сили можуть викликати притягання і відштовхування в залежності від відстані. Ідеалістичне джерело системи Бошковича не сприяло залученню вчених до розвитку висловлених ідей. Звідси пішла нова ідея про близькодію та далекодію.

Виникла подвійна міра руху. За Д'Аламбером подвійна міра руху обумовлена двояким вимірюванням сил: чи за способом рівноваги, чи за способом сповільнення руху. Обчислення сили за формулами $F = \frac{d(mv)}{dt}$

чи $F = \frac{d(mv^2)}{ds}$ дає однаковий результат. Тепер стало на порядок денний

питання із знищенням механічним рухом. Про те, що механічний рух може лише квазізнищуватись бачили Л. Ейлер та М.В. Ломоносов [105, с. 243]. Рух не може виникнути із спокою. І. Бернуллі висунув ідею «скритого руху», яка була популярна у XVIII ст. Вона зв'язана із загальним принципом збереження, який С.І. Вавілов назвав загальним «законом Ломоносова» [12, с. 98]. М.В. Ломоносов зі сміливим натиском і разом з тим обережно стверджує «загальний закон природи» – закон збереження будь-чого. Свої дослідження він ґрунтує на цьому принципі та відкидає далекодію, знищення і виникнення руху як приховані якості. В цей час конкретна механіка вже стала на шлях пошуку таких принципів. І. Бернуллі формулює принцип важливих переміщень (1717 р.), Д'Аламбер – принцип урівноваження сил інерції рушійними силами і реакціями зв'язків, Мопертюї, Л. Ейлер (1744 р.) – принцип найменшої дії. До цього слід додати принцип суперпозиції сил (правило паралелограма) і рухів

сформульований І. Ньютоном і Варіньйоном. Лагранж проаналізував принципи статички і динаміки та вивів аналітичні умови рівноваги матеріальної точки і системи. Об'єднавши принцип можливих переміщень з принципом Д'Аламбера, Лагранж вивів рівняння руху першого і другого роду для системи точок.

Таким чином, досягненням математичної фізики XVIII ст. є розробка проблем суцільного середовища. Для розв'язання проблем дослідження було створено математичний апарат у вигляді диференціальних рівнянь у часткових похідних. Однією з перших таких проблем була задача про коливання струни. З точки зору системи точок, зв'язаних ниткою було одержано рівняння
$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{a^2 \partial^2 s}{\partial x^2}.$$

Важливим результатом фізики континуума була створена Л. Ейлером теорія руху ідеальної рідини. У своїй роботі «Нова теорія світла і кольорів» вперше написав рівняння, яке лежить в основі елементарної теорії інтерференції проте ігнорував фазові співвідношення. Ігнорування принципу Гюйгенса та принципу незалежності кінчних світлових пучків відвели Л. Ейлера від проблеми дифракції.

3.5. М.В. Ломоносов і розвиток науки в Росії

Одним з перших вітчизняних вчених, які розглядали проблеми будови речовини був **Михайло Васильович Ломоносов**. Поїздки Петра Першого країнами Європи, особисті зустрічі з Галлеєм, І. Ньютоном слугували його глибоким переконанням про створення у Росії власної вітчизняної науки. Відібрані за здібностями молоді люди оволодівали знаннями у Західній Європі. З метою вивчення металургійної справи у Німеччину був направлений М.В. Ломоносов. Помилки не сталось. Росія і весь світ мав геніального ученого, який заклав основи закону збереження матерії та молекулярно-кінетичної теорії будови речовин.

Михайло Васильович Ломоносов
(8 (19).11.1711 р., село Мишанинська, Росія –
4 (15).04.1765 р., Санкт-Петербург, Російська



Рис. 63. Михайло Ломоносов

імперія) – перший російський учений-природодослідник світового значення, енциклопедист, хімік і фізик; він увійшов до науки як перший хімік, який дав фізичній хімії визначення, дуже близьке до сучасного, і визначив величезну програму фізико-хімічних досліджень; його молекулярно-кінетична теорія тепла багато в чому передбачила сучасне уявлення про будову матерії, – багато фундаментальних законів, в числі яких один з початків термодинаміки; заклав основи науки про скло. Астроном, приладоконструктор, географ, металург, геолог, поет утвердив підстави сучасної російської літературної мови, художник, історик, поборник розвитку вітчизняної освіти, науки і економіки. Розробив проект Московського університету, згодом названого на його честь. Відкрив наявність атмосфери біля планети Венера. Дійсний член Академії наук (ад'юнкт фізичного класу з 1742 р., професор хімії з 1745 р.).

У М.В. Ломоносова матерія мислилась як деяка субстанція, яка міститься в основі всіх явищ природи. У механічній інтерпретації вона уявлялась як сукупність тіл. Про структуру тіл, проміжків між ними єдиної точки зору не було. Ньютоніанська точка зору була атомістичною. Тіла складаються з атомів, які плавають у пустому просторі. Теза древніх, що у світі немає нічого крім пустоти і атомів продовжувала діяти у XVIII ст. Важливою ланкою ньютоніанської системи поглядів був первинний запас руху – першопоштовх. Сам І. Ньютон вважав нефізичний стрибок на відстань – глибокою хибністю. Тому він і вважається засновником близькодії. Декарт вважався прихильником далекодії. Суть розходження у тому передається дія миттєво чи з кінцевою швидкістю. Кількість руху розглядається як добуток маси на швидкість.

Оригінальну теорію кольорів висловив М.В. Ломоносов. Він вважав, що тіла складаються із трьох сортів частинок, які відповідають трьом хімічним елементам. Тоді думали, що тіла складаються із соляної, ртутної та сірчаної матерій. Цим трьом сортам матеріальних частинок відповідає три сорти частинок ефіру: першому відповідає червоний колір, другому, меншому за розмірами – жовтий і третьому, найменшому за розмірами – синій. Всі інші кольори виникають внаслідок змішування трьох основних. При поширенні в ефірі хвильового руху частинки рухаються «зіблющим і коловратним рухом». При попаданні світлових променів на тіло частинки ефіру хвильовим рухом притискуються до частинок тіла. Якщо поверхня

складається з частинок усіх сортів, то усі ефірні частинки передають свій обертовий рух і таке тіло здається чорним. Якщо на поверхні немає цих частинок, то тіло є білим. У проміжних станах маємо різні кольори. У цій теорії М.В. Ломоносов з'єднав фізіологічні і фізико-хімічні поняття світла. Але вона містить і важливі фізичні ідеї:

- синтез хвильових і корпускулярних уявлень в оптиці;
- принцип хвильового поширення світла через ефір;
- перетворення світлового руху у тепловий при падінні світла на чорні поверхні;
- склад усіх кольорів із трьох простих;
- своєрідний принцип «резонанс» (принцип сумісного руху частинок);
- ідея про залежність кольору полум'я від хімічної будови речовини, яка горить.

Корпускулярна теорія досягла вагоміших наслідків. Удалось пояснити аберацию, яку в 1728 р. відкрив Бредлі. Звідси розпочалась серія дослідів з оптики рухомих середовищ. Це завершилось створенням теорії відносності. Засновник теплофізики академік Г.В. Ріхман писав: «У фізиці нелегко що-небудь встановити, не застосовуючи досліди та випробування, і ... прості роздуми, не підкріплені дослідом, часто ведуть до помилок». [100, с. 84]. Існувало дві точки зору. Одна ґрунтувалась на уявленні теплороду. Теплота уявлялась як незнищений флюїд і склала основу калориметрії. З такою теорією не погодився М.В. Ломоносов [61, с. 45-47] і привів приклад явища загорання пороху від випадкової іскри на морозі. Друга – розглядала теплоту як вид руху. М.В. Ломоносов висунув тезу «теплота полягає у внутрішньому русі матерії» [61, с. 11]. Він розглядає два види матерії: власну і ту яка проникає через пори власної. Власна матерія складається з обертового руху частинок тіла. Зчеплення частинок твердого тіла здійснюється при безпосередньому контакті. Цим стверджувався обертовий рух частинок, бо коливальний приведе до відходу однієї частинки від другої. Аналогічну ідею пізніше висунув англійський вчений Деві. Такою теорією М.В. Ломоносов пояснив виділення теплоти при терті, при куванні заліза, передачу теплоти від гарячого тіла до холодного, плавлення тіл [61, с. 13-35].



Рис. 64. Георг Вільгельм
Ріхман

Георг Вільгельм Ріхман
(11.07.(22.07.)1711 р. – 26.07.(06.08.)1753 р.) – російський фізик; дійсний член Академії наук та мистецтв (ад'юнт з 1740 р., професор фізики з 1741 р.). Основні роботи з калориметрії та електрики. Вивів формулу, що носить його ім'я, для визначення температури суміші однорідних рідин, що мають різні температури. Проводив досліді з теплообміну і випаровування рідин у різних умовах. Запропонував першу працюючу модель електроскопа зі шкалою. Соратник і друг М.В. Ломоносова. Загинув при проведенні дослідів з атмосферною електрикою.

Суттєвих теплових теорій XVIII ст. не дало, бо не достатньо було розроблені поняття температури, теплоємності, кількості тепла, теплопровідності. На той час була відома лише механічна форма руху матерії.

М.В. Ломоносов продовжив дослідження з пружності повітря Д. Бернуллі і розробив теорію пружності повітря. В основу теорії вчений поклав молекулярну механіку. На думку М.В. Ломоносова слід розрізняти дві речі: природу самих частинок і силу, якою вони віддаляються одна від другої. Частинки повинні бути атомами у розумінні древніх атомістів і «позбавлені всякої фізичної структури та організованої будови» [61, с. 109-126]. Вони мають масу, протяжність, сферичну шорстку поверхню, яка забезпечує взаємодію при безпосередньому контакті. Сила пружності виникає при безпосередньому контакті. Такі контакти забезпечують відштовхування атомів і розсіювання в усіх напрямках. Взаємодія здійснюється протягом «невідчутних проміжків часу. ... Взаємодія атомів повітря обумовлена лише теплотою» [61, с. 121]. Модель Ломоносова дозволяє пояснити закон Бойля-Маріотта, барометричний закон, залежність пружності від температури. Теорія Ломоносова – одна із найбільш цікавих сторінок XVIII ст.

Першу теорію електрики дав фізиці Франклін. Його ідеї розвивав Г.В. Ріхман та М.В. Ломоносов. Вони висловили ідею про вимірювання електричних сил взаємодії вагами, Г.В. Ріхман сконструював перший електроскоп. Було відкрито закон збереження і перерозподілу електричних зарядів.

3.6. Зміна соціального становища науки в XVIII ст. та підсилення зв'язку фізики з технікою

М.В. Ломоносов вважав, що електричні явища полягають у русі деякої тонкої матерії, напевне ефіру. Вчений ефір уявляв ареною світлових, електричних, магнітних і гравітаційних явищ. Ефірну теорію електрики пізніше розвинув Л. Ейлер. **Франц Ульрих Теодор Епінус** (1724–1802 р.р.) у 1759 р. розвинув унітарну теорію Франкліна і поширив її на магнітні явища. Частинки як електричної, так і магнітної рідини



Рис. 65. Франц Ульрих Теодор Епінус



Рис. 66. Шарль Огюстен де Кулон

взаємодіють одна з іншою відштовхувальними силами навіть на значних відстанях, проте як і І. Ньютон вважав, що фізичні дії на відстані неможливі.

У 1759 році виникла дуалістична теорія Саймера, яку сприйняли як більш наукову. Вона у такому ж вигляді дійшла і до наших днів. На її основі **Шарль Огюстен де Кулон** (14.06.1736–23.08.1806 р.р.) інтерпретував закон взаємодії зарядів на магнітні явища.

Була удосконалена термометрія і виникла калориметрія, утвердилась оптика Ньютона без

помітного прогресу в цій галузі. У другій половині століття виникла нова наука – електрика. Спробу фізичного синтезу здійснив **Руджер Йосип Бошкович** (1711–1787 р.р.). У роботі «Теорія натуральної філософії, зведена до єдиного закону сил, що існують в природі». У першій книзі він розкриває динамічну інтерпретацію матерії. У другій і третій частинах показує як за допомогою запропонованої теорії можна пояснити всі механічні і фізичні явища.

Ж. Д'Аламбер виклав аналітичну філософію механіки на основі його принципу: якщо написати відповідну умову рівноваги, то невідомі дії зв'язків

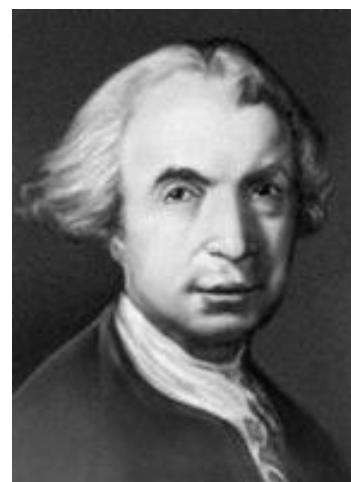


Рис. 67. Руджер Йосип Бошкович

виявляються виключеними. Кожна задача механіки зводиться до задачі рівноваги, до статички. До речі, цей принци застосовував у 1703 р. Я. Бернуллі, коли розглядалася задача маятника.

Л. Ейлер показав універсальність принципу Ферма. У 1736 р. вийшла його книга «Механіка, або наука про рух, аналітично представлена». Тут динаміка ґрунтується на первинному понятті про силу і на порівнянні сил за їх статичною дією. Л. Ейлер виходив із постулату, що еквівалентність сил, як і їх складання у статисти є справедливим і у динаміці (традиційне представлення, яке йде від Г. Галілея). З цього трактату розпочався перехід від геометричної механіки до аналітичної. За динамікою точки була викладена у 1760 р. динаміка твердого тіла «Теорія руху твердих тіл чи жорстких тіл». Потім аналітичне представлення одержала гідродинаміка. Він дав формулу для визначення фокусної відстані для двовипуклих лінз, яка використовується і нині, знайшов метод розрахунку показника заломлення речовини, встановив формулу для встановлення співвідношення між показником заломлення, заломлюючим кутом і відхиленням світлового променя при його проходженні. Л. Ейлер вважав різну довжину хвилі фізичною причиною відмінності кольорів, максимальна довжина відповідає червоним променям, а мінімальна – фіолетовим. Із своєї теорії Л. Ейлер вивів можливість виключення ахроматичної аберації лінз і запропонував цілий ряд пристосувань для здійснення цієї мети (хоч жодного пристосування не виготовив). Праці Л. Ейлера змусили професора Упсальського університету С. Клінгенстерна (1698–1765 р.р.) повторити досліди І. Ньютона з дисперсії і виявити їх неточність. Дані висновки були підтверджені Д. Доллондом (виготовив ахроматичну лінзу). Запровадження ахроматичних лінз у телескопах, а пізніше у мікроскопах, розширили можливості цих приладів. Це був перший вагомий аргумент не на користь ньютонівської оптики. Ньютонівські неточності до цього часу не вилучені з шкільних та вузівських підручників.

Роботи раціональної механіки підсумував у «Аналітичній механіці» Ж. Лагранж (1788 р.). У трактаті з єдиних принципів розвиваються всі розділи механіки – статика, гідростатика, динаміка, гідродинаміка.

Початок математичній фізиці поклав Б. Тейлор (1685–1731 р.р.) з розв'язання задачі коливання струни. Дещо пізніше цією задачею

займались І. Бернуллі, Д. Бернуллі, В. Ріккати (1709–1790 р.р.) і Ж. Д'Аламбер. Але найбільший внесок у дослідження даної задачі вніс Л. Ейлер повною теорією коливання струни. Фактичне пояснення поняття – ехо здійснив Хладні.

Корпускулярну теорію світла XVIII ст. приписують авторитету І. Ньютона. М. Лоцці [64, с. 160] стверджує, що авторитет І. Ньютона мав певний вплив на визначення успіху корпускулярної теорії, але такий стан склався виходячи з практичних потреб науки пояснити найпростіші явища і, зокрема, прямолінійність поширення світла. Більшість вчених того часу притримувались корпускулярної теорії, проте В. Лейбніц, Б. Франклін, І. Бернуллі (син Д. Бернуллі), Л. Ейлер підтримували традиції хвильової теорії.

Вирішальними у створенні фотометрії були дослідження І. Ламберта. Вчений розрізняє величини, які характеризують джерело світла і величини, що характеризують освітленість тіла, встановив закони освітленості. Його попередниками були Х. Гюйгенс, Ф. Марія, П. Бугер.

На початку XVIII ст. кількісних досліджень теплових явищ майже не проводили. Кращими інструментами були флорентійські термометри. У 1702 р. Г. Амонтон удосконалив повітряний термометр Г. Галілея (аналог сучасного газового). Г. Фаренгейт (1686–1736 р.р.) використав ідею О. Ремера і виготовив ртутні та спиртові термометри, які застосовуються і нині. Змінювались шкали при зміні реперних точок. На кінець століття їх було 19.

Паровими машинами займались ще у XVI ст. І. Кардан і Д. Порта. Д. Папен разом з Х. Гюйгенсом розробили машину, в якій поршень піднімався за рахунок згорання порошу в циліндрі. У 1690 р. порох було замінено на воду. Англієць Е. Сомерсет (1601–1667 р.р.) винайшов теплову машину для підйому води. У 1705 р. Т. Ньюкомен одержав патент на першу парову машину, яка використовувалась для підйому води. У такій машині не було конденсатора. Д. Уатт (1736–1819 р.р.) запровадив третій елемент теплової машини – конденсатор і автоматичний регулятор.

Ріхман у 1772 р. повторив досліди К. Вільке і ввів одиницю вимірювання кількості теплоти, яка відповідає калорії. К. Вільке ввів і поняття питомої теплоємності. А. Лавуазьє і П. Лаплас у 1784 р. сконструювали калориметр.

Ще з античності існувало дві теорії теплоти: теплота – речовина; теплота – стан тіла. Іонійські натурфілософи четвертим елементом вважали вогонь. Р. Бекон а потім І. Кеплер теплоту розглядали як стан руху внутрішніх частин тіла. Р. Бойль дійшов до руху молекул. У першій половині XVIII ст. така уява теплоти була домінуючою. У другій половині століття верх одержала субстанційна теорія «флогістона» – модельне уявлення картезіанського типу.

У 1676 р. астроном Ж. Пікар вночі переносив барометр і помітив, що час від часу пуста частина трубки з ртуттю світиться. Про це явище дізнався І. Бернуллі і побудував прилад: скляна трубка, з якої відкачене повітря і поміщено невелику кількість ртуті. Якщо таку трубку в темноті потрясти, то вона починає світитись [64, с. 169]. У 1705 р. англійський експериментатор Ф. Хоксбі дотикався до скляної кулі, з якої відкачано повітря, і яка оберталась навколо осі, сухими руками і одержав теж свічення. Скоро прийшла думка натирати скляну паличку тканиною. Після цього досліди з електризації стали дешевими і доступними.

Кулю, що обертається І. Вінклер (1703–1770 р.р.) замінив на скляну трубку, яку обертали педальним механізмом. Трубку натирали шкіряними подушечками, розділеними кінським волоссям. Подушечки з'єднували з Землею. Машина давала іскри, які запалювали ефір. У 1755–1756 р.р. циліндр замінили на скляні диски. Пріоритет залишали собі М. Планта, Д. Інгенгоуз, Д. Рамсден. Зараз ця машина носить назву Рамсдена (електрофорна машина), який побудував і поширив її. Якщо у 1740 році електричними явищами майже ніхто не займався, то через 15 років вони були широко відомі не лише серед наукових кіл суспільства. У 1745 р. німецький канонік Е. Клейст та лейденський фізик П. Мушенбрук зробили у горловині банки з водою отвір і вставили в нього цвях. Цвях з'єднали з електричною машиною, а потім відокремили цвях від машини і доткнулись до нього рукою. П. Мушенбрук відчув сильний удар, який викликав оніміння руки і плеча. Наступного року пляшка з водою була замінена банкою з обкладинками із металевої фольги зсередини і ззовні. Так було створено плоский конденсатор.

Бенджамін Франклін (17.01.1706–17.04.1790 р.р.) – учений, журналіст, видавець, дипломат, політичний діяч. Б. Франклін досліджував «властивість вістря» – здатність вістря відштовхувати чи притягувати електричний флюїд. Досліди з лейденськими банками привели до висновку, що іскра і блискавка – одне і те ж. Королівське товариство відмовило у друці робіт Б. Франкліна. Тоді їх надрукував за свій рахунок П. Коллінсон. Успіх був непередбачуваний. Роботу переклали на французьку мову і стали повторяти описані досліди. Десятого травня 1752 р. у місті Марлі (біля Парижа) із вертикальної жердини під час проходження колони солдат під грозовою хмарою із вертикальної жордини одного з них виникла іскра. Пізніше Б. Франклін повторив дослід із запущеним змієм з вістрям, яке було зв'язане з Землею вірвовкою. Потім вчений поставив високу жердину над своїм будинком і повторив досліди. Так з'явилась ідея громовідводу. Б. Франклін прийшов до висновку, що у більшості випадків грозові хмари наелектризовані негативно, хоч не виключена їх позитивна електризація. Подібні досліди проводив у Петербурзі Г. Ріхман і загинув від блискавки. Л. Лемоньє одержав електрику при ясній погоді. Б. Франклін створив теорію електричного флюїда. Тіло електризується позитивно чи негативно залежно від того, скільки у ньому флюїда: надлишок чи недостача. Така теорія не пояснювала взаємодію негативно заряджених тіл, взаємодію на відстані.



Рис. 68. Бенджамін Франклін



Рис. 69. Шарль Франсуа Дюфе

С. Грей (1670–1735 р.р.) ввів поняття провідників та ізоляторів електрики, дослідив явище електростатичної індукції. Він помилково вважав, що тіло, яке знаходиться поблизу наелектризованого тіла електризується таким же за знаком зарядом. Звідси пішов термін «електрична атмосфера тіла». Цими дослідями зацікавився французький учений **Шарль Франсуа Дюфе** (1698–1739 р.р.) і відкрив два види електрики (додатній і від'ємний) незалежно від Б. Франкліна. Д. Беккарія ввів поняття опору

провідників. В цей же час Б. Франклін при проведенні дослідів з провідниками електрики помітив намагнічення залізного осердя і зміну полярності магніту.

Ф. Епінус у 1756 р. виявив властивість турмаліну (назва Ф. Епінуса) електризуватись при нагріванні. Д. Кантон помітив явище піроелектрики і при охолодженні турмаліну. У 1760 р. Д. Кантон виявив аналогічні властивості у бразильського топаза, а Б. Уілсон віднайшов такі властивості і в інших коштовних каменів. Д. Кантон побудував електроскоп (1753 р.), який складається з пробкових кульок підвішених на двох лляних нитках. Ця система поміщалась у невелику коробочку. Такий прилад слугував дослідникам тривалий час. Це була модифікація електроскопа описаного невідомим автором у 1746 р. в роботі з медичної електрики. Пізніше **Алессандро Вольт** (18.02.1745–05.03.1827 р.р.) удосконалив електроскоп. Він замінив пробкові кульки легкими соломинками. У 1787 р. Беннет та Антон Марія Еанді незалежно замінили кульки та соломинки на тонкі металеві листочки. У такому вигляді електроскоп дійшов до нашого часу.



Рис. 70. Алессандро Вольт

Мінеролог Р. Аюї (1743–1822 р.р.) виявив, що пірокристали електризуються і під дією тиску. У 1802 р. він привів у систему дослідження з п'єзоелектрики і представив їх у такому стані, якими вони є нині без теоретичного обґрунтування.

В одній з робіт Ф. Епінус писав, що коли до одного з кінців бронзової лінійки піднести наелектризовану скляну паличку, то на ближньому кінці лінійки виникне заряд протилежний тому, що є на паличці. Дослід суперечив теорії явища електростатичного впливу С. Грея і розглядався як аргумент на користь теорії двох електричних флюїдів. У 1766 р. в полеміку вступив Д. Чинья (1734–1790 р.р.). Він провів цікавий дослід [64, с. 181]. Якщо ізольовану свинцеву пластинку піднести до наелектризованої шовкової стрічки і до пальця, то палець викличе іскру із пластинки, а стрічка прилипне до пластинки. Якщо потім відділити стрічку від пластини, то стрічка виявиться зарядженою як і раніше, а пластинка буде заряджена протилежним зарядом. Такий дослід можна

повторювати необмежено. Ці досліди зацікавили Баккарія та Вольта (винайшов прилад, який названо «постійним електрофором»). Електрофор був прототипом індукційної електрофорної машини. Перша індукційна машина була запропонована Д. Беллі (1831 р.). Більш зручною була машина А. Тьоплера (1865 р.). Через рік була побудована машина В. Гольца, а у ХХ ст. розроблена потужна машина на тихому розряді Ван-де-Граафом. Дослідження ємності конденсатора Вольта розпочав з електрофора, бо тоді не було понять потенціалу та напруги.

В основу математичного розгляду свого бачення електричних явищ Ф. Епінус поклав такі принципи [143]:

- кожне тіло у своєму природному стані має визначену кількість електрики;
- частинки електричного флюїда взаємно притягаються і відштовхуються до звичайної матерії;
- електричні ефекти проявляються, коли кількість електричного флюїду у тілі більше чи менше того, яке повинне бути у природному стані;
- сили між електричними зарядами пропорційні самим зарядам;
- передбачав, що сили між електричними зарядами обернено пропорційні квадратам відстаней, але свідомо не враховував цього, бо не знав закону зміни сил від відстані.

Шляхом Ф. Епінуса йшов **Генрі Кавендіш** (10.10.1731–24.02.1810 р.р.) – британський фізик і хімік, член Лондонської королівської спільноти (з 1760 року). Він вважав, що сили взаємодії електричного флюїду обернено пропорційні відстані.

У 1784 р. Ш. Кулон довів до кінця свої дослідження з крутильними вагами. Він встановив, що сила закручування нитки при взаємодії зарядів, залежить від роду речовини нитки, пропорційна куту закручування та четвертому степеню діаметра нитки і обернено пропорційна її довжині. Було доведено, що сили взаємодії підкоряються закону обернених квадратів відстаней. Але на цьому Ш. Кулон не зупинився. Він міркував так. Якщо частота коливань маятника залежить від величини сили тяжіння в даному місці, то так же і частота коливань наелектризованої стрілки, яка коливається у горизонтальній площині, залежить від



Рис. 71. Генрі Кавендіш

інтенсивності діючих на неї електричних сил. За числом коливань стрілки за секунду можна знайти цю силу. Цим шляхом він підтвердив закон обернених квадратів. Пізніше Ш. Кулон встановив, що магнітні взаємодії підкоряються також закону обернених квадратів. Так утвердилась кількісна електростатика, закладені фундаментальні основи сучасної електростатики.

Після перших уражень електричними зарядами, насамперед дослідників, виникли передбачення та надії на те, що нова речовина здатна вилікувати хвороби та полегшити стан хворого. Розпочались дослідження у цьому напрямку. Гіпотеза була така [64, с. 190]: якщо вся природа електрична, то і життя людини, як фізичне, так і духовне, повинне визначатись тим, що у жилах та м'язах людини протікає таємнича речовина. Так виникла уява про



Рис. 72. Луїджі Гальвані

«тваринну електрику». Д. Уолша робить спробу довести електричну природу риби ската. Даною проблемою цікавились В. Гравезанд, П. Мушенбрук, Г. Кавендіш. Виникло багато необґрунтованих гіпотез, помилкових аналогій. У такій науковій плутанині розпочав свої роботи **Луїджі Гальвані** (09.09.1737–04.12.1798 р.р.). Свої анатомічні дослідження Л. Гальвані розпочав у 1773 р. Під час одного з дослідів асистент помітив, що при дотику скальпеля до м'язів вони судорожно скорочуються [15]. Другий асистент, який допомагав у досліді з електрикою, додав, що таке спостерігається тоді, коли біля кондуктора машини утворюється іскра. Тоді Л. Гальвані ставить дослід, щоб з'ясувати: чи не викликає атмосфера електрика такі ж ефекти? Для цього над своїм будинком він протягнув довгий провідник і підвісив до нього стегові нерви жаби, а до лапок приєднав іншу проволочку і опустив у колодязь. Скільки разів був спалах блискавки, скільки ж разів впадали у багаторазове скорочування всі м'язи жаби. Більш того, скорочення м'язу здійснювалось і при відсутності блискавки, коли грозові хмари близько проходили над поверхнею землі. Пізніше аналогічні результати були одержані і за ясної погоди. Л. Гальвані створює теорію «тваринної електрики»: електрика накопичується у не рівноважному стані у тканинах м'язу; через нерв,

який дотикається до мускул, вона переходить у металеву дугу, а через неї знову повертається до мускул. Таким чином, міркує Л. Гальвані, мускули і нерви складають обкладинки лейденської банки.

А. Вольта з недовірою відносився до «тваринної електрики». Після тривалої серії дослідів він прийшов до висновку [15, с. 121]: «Таким чином, метали не тільки чудові провідники, але і двигуни електрики; вони не лише надають найлегший шлях проходженню електричного флюїда... але і самі ж викликають таке порушення рівноваги тим, що витягують цей флюїд і вводять його, подібно до того як це відбувається при натиранні і діелектриків». Це відомий закон контактних напруг. А. Вольта розташував метали у ряд, побудований так, що найбільший ефект відповідає металам, більш віддаленим один від другого в цьому ряді. Подальші дослідження А. Вольта привели до винайдення ним гальванічного елемента «вольтова стовпа».

Після цього Л. Гальвані намагався прибрати з дослідів метали, а А. Вольта шукав способи виключити з дослідів жабу, щоб знайти фізичний метод виявлення контактної електрики (для провідників першого і другого класу). Суперечки продовжувались до проведення дослідження К. Маттеуччі (1811–1868 р.р.), який довів існування «тваринної електрики», яка за природою така ж як і у А. Вольта. Тобто обидва напрямки були правильними.

Таким чином, фізика XVIII ст. завершила перший етап свого розвитку з початку наукової революції, поширила експериментальний метод на галузь теплових і електричних явищ, широко застосувала математичний аналіз у механіці. У частині теоретичної інтерпретації фізичних явищ конкурували дві концепції [148, с. 217]: концепція формального опису на основі прихованого агента і концепція єдиного механічного підходу до всіх явищ на основі принципу збереження матерії і руху. Перша точка зору набула переваги. Тому природа була розділена метафізичними перегородками на окремі науки, які не були зв'язані одна з одною. В цілому було підготовлено підґрунття для майбутніх спроб створити єдину картину світу на основі закону збереження енергії та концепції атомів і ефіру.

4. РОЗВИТОК ОКРЕМИХ ОБЛАСТЕЙ ФІЗИКИ

- 4.1. *Експериментальні основи і постулати механіки.*
- 4.2. *Термодинаміка і уявлення про будову речовини.*
 - 4.2.1. *Розвиток термометрії у XVII–XVIII ст. Дослідження закономірностей теплових явищ у XVIII ст.*
 - 4.2.2. *Боротьба теорії теплороду і кінетичної теорії тепла в кінці XVIII ст.–початку XIX ст.*
 - 4.2.3. *Досліди Румфорда. Історія розвитку принципу збереження теплоти.*
 - 4.2.4. *Розвиток термодинаміки й атомістики. Роботи С. Карно.*
 - 4.2.5. *Відкриття та становлення закону збереження і перетворення енергії (роботи Р. Майєра, Дж. Джоуля, Г. Гельмгольца).*
 - 4.2.6. *Формування класичної термодинаміки.*
 - 4.2.7. *Розвиток теплотехніки.*
- 4.3. *Оптика.*
 - 4.3.1. *Розвиток оптичних досліджень.*
 - 4.3.2. *Роботи зі становлення хвильової теорії світла.*
 - 4.3.3. *Труднощі хвильової оптики пружного ефіру.*
- 4.4. *Розвиток теорії електромагнітного поля.*
- 4.5. *Зародження та розвиток основних ідей спеціальної теорії відносності.*
- 4.6. *Успіхи фізики і розвиток природознавства в XIX ст.*
 - 4.6.1. *Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства та галузями життя суспільства.*
 - 4.6.2. *Відкриття Д.І. Менделєєвим Періодичного закону хімічних елементів і його значення для розвитку фізики і хімії.*
 - 4.6.3. *Досягнення фізики і техніки (на прикладі розвитку електротехніки).*
 - 4.6.4. *Винайдення радіо О.С. Поповим.*

4.1. Експериментальні основи і постулати механіки

Арістотеліанське світосприймання до 1660 р. поступово переросло в чуже для натурфілософів, які менше були підготовленими для схоластичних диспутів, ніж до математичних досліджень.

Частина дослідників вернулись до атомізму древніх. Серед них були Г. Галілей та Т. Херіот. В історії фізики маловідомим є факт, що Г. Галілей був атомістом і в тій же роботі, де вивів закон вільного падіння тіл, описав досить складний математичний атомізм, використовуючи нескінченно малі атоми з нескінченно малими пустотами між ними [153, с. 47-67].

Т. Херіот англійський астроном, математик, фізик. Свої відкриття не друкував, а тому мало відомий. Використовував телескоп ще до Г. Галілея, відкрив закон заломлення світла за 25 років до В. Снелля, незалежно від Г. Галілея відкрив закон падіння тіл, один з перших використовував атомізм для пояснення природних явищ, зокрема рефракцію [154; 158].

М. Хілл та Д. Сеннерт робили спробу перекинути місток між атомізмом та аристотеліанством [142].

Французький священик П. Гассенді, англійський філософ Т. Гоббс, французький натурфілософ Р. Декарт [134, с. 475; 110, с. 314; 150] будували великі фізичні системи, заповнені деталями, з допомогою яких намагались пояснити абсолютно все. Ці великі філософи і особливо П. Гассенді та Р. Декарт установили механістичну філософію чи іншими словами концепцію речовини і руху в якості єдиної основи для наукового пояснення явищ природи. Згідно цієї доктрини кожне явище природи обумовлене розміром, формою і рухом найдрібніших невидимих частинок. Автори механістичної філософії добре розуміли її суперечливість. Проте зразкова фізика середини сімнадцятого століття, яку побудували П. Гассенді і Р. Декарт ґрунтувалась на «гіпотетичному методі» дослідження на зміну схоластичному у фізиці Аристотеля. Т. Гоббс, П. Гассенді та Р. Декарт поставили мету пояснити всі явища природи з допомогою розмірів, форми і руху невидимих частинок. Ці частинки не піддавались безпосередньому досліду, й їх рух неможливо було точно описати математично. Вони вважали, що фізика за своєю сутністю не може бути не гіпотетичною. На відміну від математики вона не була і не може бути строгою, та як частинки не могли бути виявлені з допомогою досліду. Термін «гіпотеза» застосовувався ними у спеціальному розумінні. Обов'язком фізики було передбачити гіпотези для тих випадків, які б були правдоподібні чи можливі. Ці випадки можна обмежити двома вимогами: вони повинні узгоджуватись з фактами, які підтверджуються спостереженнями; вони повинні бути значимі самі собою і не приводити до абсурдних висновків.

Це була, насамперед, світоглядна революція, місток до запровадження наступного і, зокрема, експериментального методу.

В 1660 роках проти гіпотетичної фізики розпочалась реакція. В цей час Ф. Бекон відкинув атомістичне вчення і висунув концепцію фізичної безумовності [146]. Він відстоював шлях до розуму: безпосередньо від відчуття за допомогою експерименту, правильно організованого і вдало побудованого. Вчений, все ж, повністю не відкидав теоретичного обґрунтування явищ. Р. Бекон відкинув атомізм завдяки розробленого ним обмірковуванню про метод.

Заклик Ф. Бекона до безумовності у науці був підхоплений його учнями. Заснування Королівського товариства у ранні роки реставрації Стюартів стало оформленим протестом беконіанців проти систематизаторів. Виникло три основних напрямків наукової думки: одні заперечували будь-яку теорію і відступили на позиції трактатів Бекона; інші, подібно до Р. Бойля, намагались здійснити експериментальну перевірку великих систем Декарта і Гассенді; або, подібно І. Барроу та І. Ньютона, визнали вимоги Р. Бекона про безумовність, не заперечували концепцію механістичної філософії і, не знаходячи відповіді у гіпотетичній фізиці, підкреслили необхідність запровадження в науку «математики», що нині розуміється під математичною фізикою.

В історичній літературі нерідко вказується, що Р. Декарт першим дав ясне формулювання принципу інерції [150, с. 37-49]. Ще у 1633 р. в роботі «Світ» вчений створив теорію руху, яка приписувала кожному тілу у всьому Всесвіті право або залишатись у стані спокою, або ж рухатись рівномірно прямолінійно. У праці викладені його три закони природи. В «Началах філософії», які надруковані у 1644 р., також викладено три закони природи та описано відносність руху.

Аналіз робіт Р. Декарта показав помилковість правил співударів рухомих тіл. Вони мали три основних недоліки.

Перший – в тому, що Р. Декарт не зробив серйозного систематичного врахування відносності руху, хоч був добре з цим поняттям обізнаний. При взаємному ударі він одне тіло розглядає як таке, що «упорствує», а друге, яке здійснює опір. Якби він розглядав задачу відносного руху обох тіл, його правила співудару мали б інший вигляд.

Другий полягає в тому, що у своїй оцінці сил «упорства» пружності й опору, він основувався на геометричних розмірах тіл як на ключовому факторі.

Третій недолік – в тому, що Р. Декарт при розгляді співудару мислить не кількісно, а якісно, хоч вчений був прекрасним математиком. Якби він обрав одиниці вимірюваних фізичних величин і зробив точні виміри, то пояснив би частину своєї концепції і уник непослідовності.

Заслугою Р. Декарта є введення кількості руху, як характеристики рухомих тіл. У нього кількість руху визначається протяжністю тіла та швидкістю його руху. Але на ці величини претендували вага, густина, пройдений шлях, час, сила, напрям руху тощо. Маса – це те поняття, яке шукав учений, щоб розкрити всі таємниці теорії удару рухомих тіл. Але маса – це не протяжність, яку Р. Декарт визнавав як єдину властивість матерії.

Суттєве значення має факт, що Р. Декарт робив наголос на законі збереження. Принципи збереження лише почали проявлятися в історії фізики, але без концепції маси вчений змушений був ідентифікувати це збереження з незмінністю божества [150].

Проте без картезіанської фізики, якій бракувало теоретичного початку, невідомо куди б пішов вектор еволюції фізичної науки. В умовах зміни фізичних концепцій у натурфілософії здійснювалось методологічне становлення І. Ньютона з активною участю його вчителя І. Барроу [147]. І. Барроу відомий як математик, богослов. Після реставрації короля Карла був призначений професором математики в коледжі Грешема і в Кембриджі. Він не відкидав механістичної філософії, бо там мова йшла про речовину і рух, але заперечував метод гіпотез. Вихід з ситуації вчений бачив у створенні математичної натурфілософії і боровся проти методу, який задовольняв не безумовність, а гіпотези. «Математики втручаються лише в ті речі, які є безумовними, і проходять повз тих, які викликають сумнів чи невідомі. Вони не навчають про те, що знають всі речі, а намагаються роздумувати про всі речі. Вони друкують лише те, про що знають, що це – вірне і може бути доведено за допомогою незаперечних аргументів» [147, с. 64].

Тому в І. Ньютона сформувалась цілісна програма перетворення натурфілософії від гіпотетичної фізики Декарта, Гассенді, Гоббса до нової, більш безумовної науки. Відмінність методу гіпотез Декарта та методу наближень Ньютона можна визначити, розглянувши їх погляди на розширення повітря. За Декартом («Початки філософії») повітря може

легко розширюватись і стискуватись. Воно складається з маленьких частинок, досить ніжних, як маленькі пушинки чи кінці тонких струн, подібно пуху, за своєю природою дуже податливі. Відповідно той об'єм, який вони займають, легко розширюється і стискується. Чи справедлива ця модель – невідомо, але вона співпадає з науковими фактами. Вчений вважає, що якщо таке пояснення неможна довести, то проти нього немає і заперечень.

За І. Ньютоном необхідно довести, що існують сили відштовхування, хоч і не важливі причини такого відштовхування. Причини ці виявлені дослідом і немає необхідності ними займатись. Він вважає, що «повітря складається з ... частинок, ... відштовхуючи одна одну з деякою великою силою» [162, с. 223]. На основі цього вчений має намір пояснити властивості повітря.

Різниця у підходах очевидна. Р. Декарт – задовольняється нематематичною, якісною гіпотезою. І. Ньютон – намагається знайти відповідь за методом Р. Бекона і виявляє наявність сили відштовхування. Припускаючи, що сили відштовхування обернено пропорційні відносній відстані між частинками повітря, він математично описує властивості повітря. І. Ньютон відкинув «гіпотетичний метод», обирає метод Бекона і додає математичну строгість. Гіпотетична фізика Декарта, Гоббса і Гассенді допускала відсутність безумовності в науці. В цьому була сутність заперечень І. Барроу, а відповідно в І. Ньютона. Але й ньютонівська фізика з цього часу змушена була відповідати кількісній версії Р. Бекона.

Таким чином, картезіанці та ньютоніанці були одностайні у своєму негативному відношенні до аристотелевської схоластики і мали бажання однозначно пояснити всі явища природи з «ясних начал механіки». Вони різко розходились як у методі пізнання, так і в їх застосуванні до трактування фізичних понять. Якщо ортодоксальні картезіанці вважали, що істинне пояснення явищ природи необхідно виводити дедуктивним шляхом із декількох початкових властивостей рухуматерії, знання про які через розум дає бог, то ньютоніанці при поясненні явищ природи намагаються користуватись тими властивостями фізичних тіл і закономірностями фізичних процесів, які надійно підтверджуються дослідом, не вдаючись чи є вони «первинними» чи «вторинними». В 30–

40 роки XVIII ст. суперечка між картезіанцями та ньютоніанцями поступово стихла на користь ньютоніанців. Проте в цей час залишилось немало вчених, які не були категоричними в оцінці обох шкіл. Л. Ейлер був одним з перших, який вважав, що слід віддати перевагу розуму, який не контролюється експериментом, породжує переоцінку апріорних гіпотез і породжує потік «науково-фантастичних» картезіанських робіт [152]. З іншого боку переоцінка ролі індукції в процесах формування наукових принципів і недооцінка гіпотез викликає не меншу кількість чисто описових емпіричних ньютонівських робіт. Він все життя намагався знайти розумний компроміс між методами індукції та дедукції в фізиці. В таблиці 2 приведено узагальнення поглядів Р. Декарта, І. Ньютона та Л. Ейлера на основні поняття, які лягли в основу механіки Ньютона.

Поняття непроникність Л. Ейлер, як і Г. Лейбніц, розглядали як неможливість, як властивість, що два тіла і більше не можуть знаходитись в одному і тому ж місці [139, с. 65]. В І. Ньютона нараховувалась більша кількість властивостей тіл, бо він не розрізняв первинні та вторинні властивості, як це робив Л. Ейлер.

Матерія за Р. Декартом та І. Ньютоном створена богом і наділена природними властивостями [150; 162 с. 45]. За Л. Ейлером з матерії складається Всесвіт. Властивості матерії встановлюються експериментально за І. Ньютоном.

Визначення маси, тяжіння, принципу збереження, інерції, природи сил у Л. Ейлера та І. Ньютона розходиться у методі визначення кількості матерії у тілі і прямо впливає з розходження між картезіанським та ньютонівським методами вивчення природи. І. Ньютон визначає масу за допомогою простої експериментальної задачі і не звертає уваги, що користується другорядною властивістю маси тіла, яка не закладена у визначення маси. Тому в І. Ньютона пропадає різниця між інерційною та гравітаційною масами. Відносність руху в Л. Ейлера повністю збігається з картезіанцями [152 с. 266-267].

Основу розходження картезіанців та ньютоніанців на визначення поняття «абсолютний» складає принципівий підхід до визначення його змісту. В І. Ньютона цей підхід не чітко визначений і впливає з визначення поняття абсолютної системи координат.

Основи світогляду вчених

Поняття	Основи світогляду вчених		
	Р. Декарт	І. Ньютон	Л. Ейлер
Метод дослідження	Гіпотетичний метод дедукції	Експериментальний метод індукції	Розумний компроміс методів дедукції та індукції
Матерія	Розглядається як трьохмірна протяжність чи об'єм створені богом	Створена богом і проявляється через основні властивості: інерція, протяжність, непроникність, ділимість, твердість, рухомість	Є основа всього і проявляється через основні властивості: інерція, протяжність, непроникність; другорядні: густина і пружність
Маса	Не вводив даного поняття	Визначається вагою тіла і є пропорційна вазі	Визначається кількістю матерії і величиною інерції тіла
Інерція (сила інерції)	Властивість тіла, наділена богом	Властивість тіла, яка впливає безпосередньо із експерименту; сила інерції пропорційна масі	Властивість матеріального тіла зберігати свій механічний стан + принцип достатніх причин; міра кількості матерії
Подільність тіл	Принципова здатність доелементарного поділу	Принципова здатність до поділу на частинки (створені богом) між якими існують сили відштовхування	Здатність тіл до нескінченного поділу, але за певних умов до елементарного поділу
Відносність руху	Відносно других тіл, яке вичерпує сутність руху чи спокою	Відносно других тіл відліку та систем координат	Відносно других тіл, яке не вичерпує сутність руху чи спокою
Абсолютний рух абсолютний простір, абсолютний час	Не визнано Простір – ефір	Визнано: абсолютний рух, абсолютний простір заповнений ефіром, абсолютний час	Визнано: абсолютний простір Ньютона заповнений картезіанським ефіром, абсолютний час
Природа сил як причина зміни механічного стану тіл	Заперечення далекодіючих сил, всі взаємодій здійснюються при контакті тіл, природа сил божа	Матеріальні тіла здатні взаємодіяти на другі тіла на відстані. Вони породжують гравітаційні, електричні, магнітні і другі ефекти на відстані	Джерелом механічних сил є взаємодія. Визнано близькодню та принцип інерції через гіпотезу ефіру
Тяжіння	В основі тяжіння є доцентрові сили картезіанських вихорів	Експериментально встановлені далекодіючі гравітаційні сили	Ефірна теорія тяжіння, в основі якої покладена пружна сила ефіру
Принцип збереження	Збереження руху і матерії забезпечене богом	Збереження кількості руху як експериментальний факт	Збереження кількості руху як властивість матерії
Світло	Властивість середовища, його якість	Матеріальне тіло, субстанція, яка впливає з досліду	Матерія

Поняття системи відліку має свої корені у грецькій науці. Воно має три етапи розвитку: геометричну, яка завершилась у XVII ст.; динамічну, яка завершилась перемогою хвильової теорії світла близько 1800 р.; і теорії відносності, яка розпочалась в 1905 р.

Арістотель і вся його схоластика положення тіла відносили до оточуючої його матеріальної субстанції. Йшла суперечка про те, стосується ця субстанція тіл безпосередньо чи допустимі кінцеві відстані. В цьому випадку не були вирішені спірні питання: чи рухається пароплав, що стоїть на якорі, при наявності вітру, оскільки вода і повітря поблизу нього постійно оновлюються, чи знаходиться в спокої, так як з берега він нерухомий; за К. Птолемеєм сфера нерухомих зірок, як найбільш віддалених від оточуючих Землю сфер, взагалі немає положення. За цією сферою немає навіть простору. Проте вона повинна була мати рух у вигляді добового обертання навколо Землі [4].

М. Коперник приписав спокій сфері нерухомих зірок, а Землі, навпроти, добове обертання навколо осі. Такий підхід логічно вдосконалив традиційний погляд. Від такого погляду звільнився лише Д.Бруно, якого у 1600 р. спалили у Римі за визнання множини світів та вчення Коперника. І. Кеплер не наважився приєднатись до цього сміливого доповнення системи Коперника [154, с. 74-75]. М. Коперник вважав, що краще пояснити рух планет на небесному склепінні власним рухом Землі, тобто рухом одного тіла навколо Сонця, ніж описаним Птолемеєм складним обертальним рухом всіх планет. На той час розвитку фізики неможливо було дати причинного обґрунтування такої системи відліку. Але лише в роботах І. Ньютона було обґрунтовано, динамічний рух планет на основі системи Коперника. Оптичного, електричного, магнітного походження закономірності природи знаходять просте формулювання на основі експерименту. Таким чином, питання системи відліку було вирішено практично, але не принципово. Не можна було дати відповіді на запитання: які переваги системи відліку Коперника над системою пов'язаною з Землею? І.Ньютон шукав відповіді у припущенні існування «абсолютного» часу та «абсолютного» простору, які давали реальну систему відліку. Сумніви щодо цієї ідеї висловлювали Л. Ейлер, Л. Ланге, Г. Лейбніц, І. Кант [152, с. 80-81; 160; 134, с. 634].

Проблема системи відліку по новому визначена спеціальною теорією відносності (1905 р.), а з 1913 р. загальною теорією відносності.

В «Началах ...» І. Ньютон не дає ні фізичного, ні метафізичного пояснення притягання тіл, а посилається на дослідним шляхом установлений факт. Вчений вважав, що його вчення дотикалось з сутністю епікурейської та матеріалістичної філософії, а це – шлях до підозри в ересі, чого боявся вчений. Адже якщо все в природі складається з матерії та руху, то можна обійтися і без бога.

Думка про те, що тяжіння не обмежується частиною простору поблизу Землі, а є загальною властивістю матерії відома давно. Ця ідея була поширена і на небесні тіла. М. Коперник та Р. Гук намагались обґрунтувати цю властивість матерії. Р. Декарт не визнавав пустого простору, вважав його заповненим рідиною, яка знаходиться у постійному вихровому русі, який залучає за собою планети [150]. І. Ньютон у своїх «Началах ...» відвів значну частину для доведення помилковості гідродинамічної теорії [162].

І. Ньютон на основі прискорення сили тяжіння на земній поверхні та прискорення, яке зазнає Місяць, теоретично вивів емпірично відкриті Т. Браге та І. Кеплером закономірності закону всесвітнього тяжіння.

Закон тяжіння Ньютона утверджує далекодію, що нерідко викликало суперечки з цієї проблеми. Але ідея далекодії поширилась на всі області фізики. Вирішальним було те, що з цього принципу легко виводився потенціал. У той час теорія деформацій мала справу виключно з близькодією. Перелом стався у другій половині ХІХ століття після досліджень М. Фарадея, Дж. Максвелла і особливо після відкриття Г. Герцем електромагнітних хвиль, які поширюються зі швидкістю світла. Остаточно теорія далекодії втратила своє значення після відкриття спеціальної теорії відносності, згідно якої швидкість світла є граничною для швидкостей поширення всіх фізичних процесів та дій. За загальною теорією відносності (1913 р.) поширення тяжіння проходить зі швидкістю світла. Ця теорія визнає існування гравітаційних хвиль. Закон тяжіння Ньютона залишається в силі як наближення.

Ортодоксальні картезіанці вважали, що істинне пояснення явищ природи необхідно виводити дедуктивним шляхом із декількох первинних властивостей матерії та її руху, знання яких одержані за допомогою

розуму, керованого богом. Ньютоніанці при поясненні явищ природи намагались використовувати насамперед ті властивості фізичних тіл і закономірності фізичних процесів, які надійно підтверджені дослідом без встановлення: які з них є первинними, а які похідні. Суперечка між ними завершилася на користь ньютоніанців. Проте значна частина вчених здійснювали свої дослідження під впливом цієї суперечки, які враховували переваги кожної з вказаних шкіл. До таких вчених відноситься петербурзький професор Л. Ейлер.

Таким чином, відбулось становлення ньютоніанської концепції вивчення та пояснення природи та започатковано світосприймання, яке набуло розвитку в кінці XIX на початку XX століття.

4.2. Термодинаміка і уявлення про будову речовини

4.2.1. Розвиток термометрії у XVII–XVIII ст. Дослідження закономірностей теплових явищ у XVIII ст.

Початок систематичних досліджень теплоти і уявлень про теорію теплоти здійснювався, починаючи з конструювання Г. Галілеєм в кінці XVI ст. термоскопів. На початку XVII ст. Г. Амонтон (1663–1703 р.р.) удосконалив повітряний термометр Галілея. Г. Фаренгейт винайшов ртутні і спиртові термометри, Р. Антуан де Реомюр (1683–1757 р.р.) застосував відмінну від Фаренгейта шкалу на спиртових термометрах. У 1742 р. шведський астроном А. Цельсій запропонував нову шкалу, основними точками, якої була температура танення льоду і кипіння води [131, с. 42].

На початку XVII і протягом XVIII ст. вважали, що зміни в металах здійснюється під дією певного носія особливої якості – горючості. Здатність горіти супроводжується виділенням вогню або перетворенням в землісті речовини. Сутність горіння вбачалась у тому, що від гарячих тіл віддаляється гаряча речовина, а залишок – продукт реакції горіння, одна зі складових частин тіла, що згоріло [72]. Мислителі того часу пропонували своє бачення щодо теорії речовин, що горять. Найбільш яскравими серед них виділялись: теорія флогістону, теорія світлової матерії, теорія молекулярного руху, теорія Лавуазьє, субстанціальна та вібраційна теорії.

Теорію флогістону започаткували німецькі хіміки-лікарі І. Бехер (1635–1682 р.р.) та Г. Шталь (1660–1734 р.р.). І. Бехер в книзі «Підземна

фізика» описав, що метали в числі інших мінеральних тіл, складаються з трьох «земель»: склоутворюючої, горючої і летючої. При згорянні тіла втрачають речовину. Найбільш послідовну теорію флогістону сформулював у 1703 р. Г. Шталь [163]. Він вважав, що флогістон – тверде тіло, яке не розчиняється у воді. Метали складаються із окалин і флогістону, а утворені окисли при обпалюванні металів є результатом розкладання, а не синтезу. Одержати флогістон із повітря неможливо. Послідовниками теорії флогістону були Г. Кавендіш, Д. Прістлі, К. Шееле та інші.

Г. Кавендіш, другий син лорда К. Кавендіша, – один з перших дослідив склад атмосфери. Відмінність у властивостях окислів пояснював різною кількістю флогістону: вищий окисел має меншу кількість флогістону. Вчений першим описав горіння водню, одержаного з кислот, виміряв його густину. Засобами електричної іскри з'єднав кисень з воднем і визначив склад води [149].

Д. Прістлі досліджував гази і показав, що під дією зелених частин рослин повітря, яке пошкоджене горінням чи диханням, повертає свої властивості. Пояснити це він не зміг. Роботи Лавуазьє його не переконали.

Прихильником теорії флогістону був і шведський хімік К. Шеель, який відкрив значну кількість органічних і неорганічних речовин, описав властивості «вогневого повітря» – кисню. Він довів, що атмосферне повітря складається з «вогневого повітря», яке підтримує горіння і «флогістонного повітря» – азоту, який не підтримує горіння. Його роботи були надруковані одночасно з результатами досліджень Д. Прістлі й А. Лавуазьє [131, с. 36].

Російський хімік О.І. Горбов про цю теорію писав: «Вона є першою зв'язною теорією, що охоплює широке коло явищ і встановлює, здавалось би, обмежений зв'язок між зовсім розрізненими спостереженнями, тому легко зрозуміти, що її багаточисельні внутрішні суперечності залишаються поза уваги хіміків протягом всього століття, і її неузгодженість з дослідними даними не загострювали увагу ні самого Штала, ні його послідовників» [29].

Ф. Енгельс дав аналіз вчення А. Лавуазьє: «... в хімії флогістонна теорія своєю віковою експериментальною роботою вперше доставила той матеріал, за допомогою якого Лавуазьє зміг відкрити в одержаному Прістлі

кисні реальний антипод фантастичного флогістону і тим самим довів наукову неспроможність всієї флогістонної теорії. Але це не означало ліквідацію дослідних результатів флогістики. Навпаки, вони продовжували існувати; тільки їх формулювання було перевернутим, переведено з мови флогістонної теорії на сучасну хімічну мову, і зберегли своє значення» [70].

П. Гассенді – французький мислитель-філософ, математик, астроном, механік пропагував атомістику Епікура. Він вважав, що існують теплові атоми малих розмірів, які рухаються з великими швидкостями. Самі собою вони не теплі, а випромінюються нагрітими тілами, проникають у проміжки між атомами інших тіл і спонукають до розширення. Поряд з теплими атомами існують «атоми холоду». Вони мають велику масу і малорухливі. Цим самим вчений сприяв утвердженню речовинної та молекулярно-кінетичної теорії теплоти [7].

Н. Лемері 1709 р. надрукував у Паризькій академії наук статтю «Догадки і роздуми про природу вогню і світла». «Вогнева матерія» – це рідке тіло, особливі властивості якого залежать від швидкості та форми частинок, нагріває світло, нагріває до рідкого стану і плавить тверді тіла. Він не заперечував можливості існування ще більш тонкої матерії, яка пронизує всі пори речовини і заповнює собою весь пустий простір. У нього субстанційна теорія тепла пов'язана з атомістичними уявленнями.

Матерію вогню визнавав Х. Вольф, Г. Хамбергер, Г. Бургаве (поставив під сумнів думку Бойля про вагомість «вогневої матерії»), П. Мушенбрук.

Л. Ейлер постулював особливу структуру частинок горючої матерії, яка відрізняється від уявлень про неї прихильників теорії флогістону. «У останніх це, як правило, хімічний елемент, наділений немеханічними якостями. Одного виділення цього начала зі складу тіл достатньо, на їх думку, для здійснення ефекту горіння. Ейлер же вважає, що головне у вогневій матерії – це запас механічного руху, що звільняється при горінні; вогнева матерія є лише носій цього запасу руху і нічого більше» [76].

Після відкриття Д. Блеком вуглекислого газу епоха флогістону стала згасати. 1757 р. було відкрито скриту теплоту плавлення та пароутворення. Ця теплота обумовлена коливальним рухом частинок тонкої і досить пружної все проникаючої матерії, яка знаходиться у порах нагрітого тіла в

проміжках між його частинками [115]. Точку зору теорії теплороду поділяли Ж. Делюк, В. Карстенс, Ж. Марат (майбутній лідер Французької революції), Ф. Бадер, А. Грен, М. Пікте, Р. Прево [131, с. 42-43].

Кінетичні (коливальні) уявлення про природу теплоти розвивав Ф. Бекон. У «Новому органіоні» англійський філософ писав: « ... вона є розширеним рухом не всієї маси тіла взагалі, а дрібних його частинок, і в той же час рух, зупиняючий і відображаючий, так що частинки тіла набувають поступального руху, поступово коливаються з більшою напруженістю, долаючи опір; напруженість їх руху збільшується ще внаслідок зіткнення їх один з одним і від цього залежить сила вогню» [5, с. 246].

Кінетичні уявлення про тепло розвивав Р. Декарт в «Началах філософії» (1644 р.) «В усьому світі існує лише одна матерія: ми пізнаємо її однозначно лише в силу її протяжності. Всі властивості чітко розділяються у матерії, зводяться єдино до того, що вона поділяється і є рухомою в своїх частинах і, очевидно, здатна до різних розміщень, які, як ми бачимо, можуть витікати із руху її частин» [5, с. 476]. Р. Декарт сформулював закон збереження кількості руху. «Тому ми і повинні розуміти, що коли одна частинка матерії рухається вдвічі швидше другої, а ця остання за величиною, вдвічі більша першої, то в меншій стільки ж руху, скільки і у більшій із частинок; і що наскільки рух однієї частинки сповільнюється, настільки ж рух якоїсь іншої частинки зростає» [5, с. 485]. Теплота за Р. Декартом є не що інше як швидкий рух частинок третього елемента, що коливається.

Одночасно вагомий внесок у науку внесли і вітчизняні дослідники. М.В. Ломоносов у 1730 р. поступив до Слов'яно-греко-латинської академії при Заїконоспаському монастирі. У 1736 році відряджений до Німеччини для навчання хімії і металургії у Х. Вольфа, а потім у І. Генкеля. М.В. Ломоносов висунув декілька аргументів проти теорії теплороду: теорія теплороду не ґрунтується на будь-якому законі збереження матерії тепла; якщо змішати поварену сіль зі снігом чи подрібленим льодом, то маємо речовину, за допомогою якої перетворюють воду в будь-якій посудині у лід. Вчений пропонує такий дослід: якщо вставити в сніг термометр і склянку з водою і до снігу примішати сіль, то легко побачити, що в той час як вода перетворюється у лід і холодна суміш стискається, спирт в термометрі все-таки опускається.

«Таким чином, ніякий елементарний вогонь не вривається в неї з води; але скоріше сніг, що розтає від дотику з більш теплою водою, діє на сіль, розчиняє її, охолоджується і набуває меншу ступінь теплоти, ніж вода, що переходить у лід» [61, с. 53]. Так М.В. Ломоносов відкидає вчення про теплород і будує теорію, яка базується на атомістичних принципах. До теплових явищ він застосовує закон збереження матерії і руху. В 1756 р. експериментально обґрунтовує закон збереження речовини у хімії. «Між різними хімічними дослідженнями, яких журнал на 13 листах, зроблені досліди в заплавлених міцно скляних посудинах, щоб дослідити: чи прибуває вага металу від чистого жару. Тими дослідженнями знайшлося, що славного Роберта Бойля думка помилкова, бо без пропущення зовнішнього повітря вага спаленого металу залишається в одній мірі» [6]. Л. Ейлер у відгуку на роботу М.В. Ломоносова писав: «Всі ці твори не тільки хороші, але й прекрасні, бо вони розкривають фізичні і хімічні матерії, самі потрібні та важкі, які зовсім невідомі й неможливі були до трактування, самими дотепними вченими людьми, з такою ґрунтовністю, що я повністю впевнений в точності їх доведення» [61, с. 649].

4.2.2. Боротьба теорії теплороду і кінетичної теорії тепла в кінці XVIII ст.–початку XIX ст.

Основоположники принципів термодинаміки Р. Майєр, Д. Джоуль, С. Карно не цікавились природою теплоти. Вони обмежились дослідженням переходу теплоти у роботу і навпаки. Внутрішній зв'язок між механічними та тепловими процесами не розглядався. Г. Гельмгольц внутрішню причину взаємного перетворення теплоти і роботи вбачав у зведенні теплових явищ до механічних.

Природу теплоти у 1856 р. було пояснено дослідженнями А. Крйоніга, а роком пізніше Р. Клаузісом. Вони скористались основними уявленнями Д. Бернуллі, які викладені у його праці «Гідродинаміка» (1738 р.) і розвинуті у роботах І. Бернуллі. Вони вважали, що теплота – це зовнішній прояв коливального руху молекул. На основі цього Д. Бернуллі пояснив тиск газу на стінки посудини. Ця теорія використовувалась Лавуазьє, П. Лапласом, Д. Джоулем. Крім цього у середині XIX ст. атомістика накопила достатньо фактичних даних для поглибленого розгляду теорії атомної будови речовини. Зокрема, основний закон Авогадро

сформулював у 1811 році: рівні об'єми газу при однаковому тиску і температурі містять однакове число молекул.

Згідно А. Кр'оніга ідеальний газ складається із сукупності молекул. Молекули – ідеально пружні кульки. Вони знаходяться у безперервному хаотичному русі. Об'єм молекули у порівнянні з об'ємом посудини дуже малий. Під час удару молекул об стінки посудини та між собою швидкість змінюється на протилежну. На підставі даної гіпотези з урахуванням закону Авогадро А. Кр'онігу вдалось пояснити закон Бойля і знайти, що добуток тиску на об'єм одиниці маси газу рівний двом третинам кінетичної енергії поступального руху усіх молекул газу. Цей вивід приведено і нині у посібниках з фізики. Такий добуток залишається постійним поки не змінюється енергія поступального руху молекул, а остання залежить від температури.

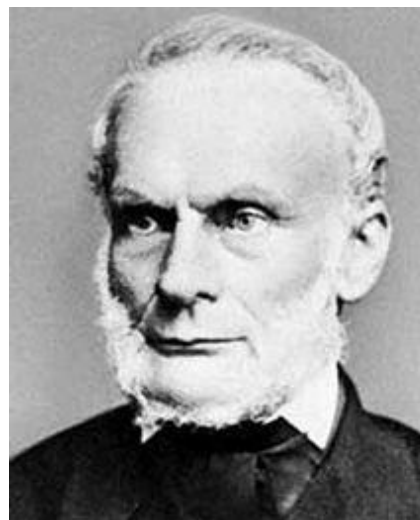


Рис. 73. Рудольф Клаузиус

Звідси висновок, що температура визначається через середнє значення кінетичної енергії молекул. Такі основи кінетичної теорії А. Кр'оніга були розвинуті **Рудольфом Клаузісом** (1822–1888 р.р.) протягом 1857–1862 р.р. Вчений дав молекулярно-кінетичне виведення законів ідеального газу, було встановлено зв'язок середньої квадратичної швидкості руху молекул з температурою. З допомогою цієї теорії були пояснені дифузія, розчинення, теплопровідність. У 1866 р. Д. Максвелл ввів поняття середнього вільного пробігу молекули. Р. Клаузіс у книзі «Дослідження з механічної теорії теплоти» дає історичну довідку про джерела кінетичної теорії, які йдуть від Лукреція, Гассенді, Парана, Германа, Бернуллі, Лессажа. Проте Р. Клаузіс нічого не говорить про роботи М.В. Ломоносова з теплоти і пружності газів, які були надруковані у провідних журналах у XVIII ст.



Рис. 74. Ян Дидерик Ван-дер-Ваальс

У 1873 р. **Ян Дидерик Ван-дер-Ваальс** (1837–1923 р.р.) запропонував врахувати об'єм молекули

і взаємне притягання молекул, щоб одержати рівняння для реальних газів.

У роботах Г. Гельмгольца, Ж. Дюама (1797–1872 р.р.) і особливо Д. Гіббса (1836–1903 р.р.) одержала наступний розвиток. Були введені нові термодинамічні функції – вільна енергія, ентальпія, термодинамічний потенціал. Суттєвим розширенням термодинаміки було застосування її до теплового випромінювання Л. Больцманом (1844–1906 р.р.) і Б.Б. Голіциним (1862–1916 р.р.).

Таким чином, формулювання другого начала термодинаміки Р. Клаузіуса не відповідало традиційним механічним уявленням. Механіка завжди розглядала процеси природи як оборотні, тоді як друге начало описує необоротні процеси. Кінетична теорія перетворює цю невідповідність у суперечність: якщо теплота зводиться до руху окремих молекул, який підкоряється оборотним динамічним законам, то як можна сумістити оборотність окремого з необоротністю цілого [131]? Як наслідок, дослідники розділились на енергетиків – У. Ранкін, Г. Гельмгольц, В. Оствальд, Е. Мах та атомістів – послідовників Р. Майєра. Представники енергетизму пропонували відмовитись від кінетичної теорії. Суперечність було знято дослідженнями Д. Максвелла. Він поставив перед собою завдання: якщо молекули газу знаходяться у неперервному хаотичному русі, то яка швидкість певної молекули в певний момент часу? Вченому довелось відмовитись від уявлення Д. Бернуллі про рівність швидкостей всіх молекул газу і запропонувати статистичний розподіл їх за швидкостями. Д. Максвелл запропонував спосіб обрахування кількості молекул, які мають певний інтервал швидкостей і вивів відому формулу для розподілу молекул за швидкостями. Після цього зав'язалась дискусія, яка завершилась після появи молекулярних насосів і експериментальної перевірки формули. На місце причинних динамічних законів стають статистичні закони, які дозволяють передбачити еволюцію природи не з абсолютною точністю, а лише з великим ступенем ймовірності. Проте не всі суперечності були зняті. Д. Максвелл проводить мислений експеримент: нехай посудина перегороджена діафрагмою з невеликим отвором. Нехай деякий «демон», здатний бачити окремі молекули, відкриває отвір для молекул, які рухаються у певному напрямку і закриває для тих, які рухаються протилежно. Через деякий час газ стиснеться з однієї сторони діафрагми.

Друге начало термодинаміки буде порушено.

Вихід із ситуації знайшов Л. Больцман. Він запропонував друге начало термодинаміки розглядати не як достовірний закон природи, а лише як з високою ступінню ймовірний.

Таким чином, класична фізика постала перед дуалізмом. Маючи певний закон, який описує явище, фізика повинна поставити запитання: що це динамічний, причинний закон чи статистичний, імовірнісний? Вчені розділились на два табори. Меншість пропонувала подолати дуалізм відкидаючи існування достовірних законів. Більшість намагалась звести всі статистичні закони до елементарних динамічних. Дану суперечність змогла розв'язати квантово-механічна теорія ХХ століття. Роботами Л. Больцмана з теорії випромінювання, Б.Б. Голіцина з теорії діелектриків і випромінювання, Г. Гельмгольца з термодинаміки гальванічного елемента, Д. Гіббса з фазових переходів, М. Планка – з теорії розчинів було покладено початок перетворення термодинаміки із механічної теорії теплоти в універсальну теорію.

4.2.3. Досліди Румфорда. Історія розвитку принципу збереження теплоти

Бенджамін Томпсон (1753–1814 р.р.) – граф Веньямін Томпсон Румфорд (1790 р.) відомий учням та студентам як фізик, хоч це не так. Він закінчив Кембриджський коледж, воював на стороні англійців, служив в Баварському курфюрсті, сприяв організації військ, запровадив школи для солдатських сімей, ввів у Баварії культуру картоплі.



Рис. 75. Бенджамін Томпсон

Військовий інженер у 1788 році виявив, що при пострілах з гармат холостими снарядами ствол нагрівається менше ніж при штатних снарядах. Таке не пояснювала теорія теплороду, яка домінувала на той час. Через десять років Румфорд помітив, що при свердлінні стволів гармат виділяється значна кількість теплоти. Виникло запитання: звідки береться теплота у процесі свердління? Було намагання пояснити таке наступним. Теплота надається механічними ошурками, які відділяються від маси металу при

свердлінні. Теплоємність ошурок у цьому випадку повинна бути значно меншою, щоб за рахунок цього була можливість виділитись теплоті. Румфорд взяв рівні за вагою кількості ошурок і тонких металевих смужок від болванки для свердління і поклав їх при однаковій температурі в посудини з холодною водою. Вода, в яку поклали ошурки нагрілась до такої ж температури як і та, де були смужки металу.

Виникла ідея поставити інший дослід. В посудину з 7,7 кг води при температурі 60 F погрузили циліндр і опустили термометр. Кінь обертав циліндр. Через годину температура води піднялась до 107 F, а через півтори години – до 142 F, ще через годину вода закипіла.

Потім була проведена серія дослідів з тупим свердлом. У канал в циліндричній болванці для ствола довжиною 18,3 і діаметром 8,4 см вставили тупе свердло і обертали зі швидкістю 32 оберти на хвилину. Через 960 обертів термометр показав підвищення температури з 60 до 130 F. Відпала ідея, що теплоту передають металеві ошурки. Виникла друга: можливо теплота передається через повітря, що вступає в контакт при свердлінні всередині ствола. Для перевірки Румфорд помістив всю установку в посудину з водою. Доступ повітря був відсутнім. З своїх дослідів він зробив висновки: «Обдумуючи результати всіх цих дослідів, ми природно приходимо до важливого питання – предмету досить частих роздумів учених, – якраз, що таке теплота? Чи існує вогняна рідина? Чи існує речовина, яку можна було б назвати теплородом? Ми бачили, що дуже велика кількість теплоти може бути утворена тертям двох металевих поверхонь. Роздумуючи про цей предмет, не повинні забувати тієї помітної обставини, що джерело теплоти, яка виділяється при терті в цих дослідах, очевидно, є невичерпним. Необхідно також додати, що неможна приймати за матеріальну речовину те, що може постійно і нескінчено вироблятися одним тілом або навіть цілою системою їх, і мені здається дуже важким, якщо неможливим, ясно собі уявити те, що збуджувалось і надавалось у цих дослідах, якщо це не було рухом» [133].

Наступною проблемою, яку розв'язував В. Румфорд, було вивчення залежності теплопровідності від густини речовини. Вчений вважав, що частинки рідини сприймають тепло від одного тіла і передають іншому. Між частинками рідини передача теплоти відсутня. В циліндричну посудину поміщався загострений льодяний кружок. Зверху наливали

оливкове масло. Потім у посудину вводився сильно нагрітий циліндр і наближали до вістря. Ознак розтавання льоду В. Румфорд не помітив і зробив висновок, що рідина не проводить теплоти. З ним не погодились Делюк, Нікольс, Муррей, Соке [10].

Ще одна проблема виникла після дослідів Гершеля з виявлення максимуму температури в інфрачервоній частині спектру сонячного світла. Вчений вважав, що відкрив темні промені випромінювання. Леслі його не підтримав у цьому. В. Румфорд виготовив добре відшліфовані циліндри. Зверху одні з них покрив сажою, а інші – сріблом. Циліндри заповнювались водою, зміну температури визначав термоскопом. Він встановив, що якщо поверхня краще відбиває теплові промені, то вона гірше випромінює теплоту.

Проблему виділення теплоти при терті досліджував Г. Деві (1778–1829 р.р.). Зокрема, при терті двох кусків льоду він доводив їх до розтавання. Щоб відвести всі заперечення прихильників теплороду про притік теплоти ззовні, вчений помістив установку під повітряний ковпак, тертя здійснювалось між двома кусками металу, оточених льодом. Спочатку Г. Деві зробив висновок, що тертя не зменшує теплоємність, а через декілька років писав: «Теплота, або та сила, яка перешкоджає дотику частинок тіла і слугує джерелом наших відчуттів тепла і холоду, може бути названа особливим родом руху. Вона, напевне, полягає у вібрації частинок, що намагаються відштовхнути їх одну від одної. Рух цей потрібно назвати відштовхуючим» [88]. У 1812 році Г. Деві доводив, що безпосередньою причиною явищ теплоти є рух, тобто відстоював кінетичну теорію теплоти. Закони передачі теплоти тотожні законам передачі механічного руху.

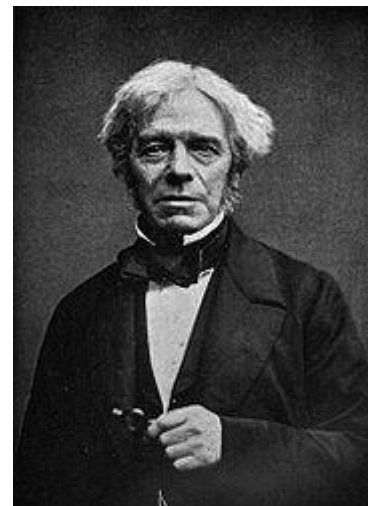


Рис. 76. Майкл Фарадей

Майкл Фарадей (22.09.1791 р., Південний Лондон, Англія–25.08.1867 р. Лондон, Англія) певний час працював під керівництвом Г. Деві і найближче підійшов до формулювання закону збереження та перетворення енергії. Дослідник розумів, що розрізнені розділи з електрики, електростатики, термоелектрики, магнетизму можуть бути

об'єднані навколо якоїсь певної ідеї, закону. Твердження, що сила не



Рис. 77. Майкл Фарадей в своїй лабораторії, 1850р.

може виникнути із нічого привело його до відкриття закону електромагнітної індукції. Намагання М. Фарадея установити співвідношення між різними видами електрики привело до відкриття у 1834 році законів електролізу. В цьому випадку він знову опирався на те, що сила не може створюватись із нічого: «Але в

жодному випадку навіть з електричним скатом немає чистого створення сили; немає генерації сили без відповідного використання чогось, що його живить» [92].

Ідея збереження все більше ставала на порядок денний науки фізики. У 1837 році Ф. Мор (1806–1879 р.р.) висловив ідею про збереження енергії [118] та механічний еквівалент теплоти. В своїх роботах він писав: «Якщо нагріти воду на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, то згідно дослідних даних, вона розшириться на 0,00466 свого об'єму. Якщо на воду тиснути навантаженням в одну атмосферу, то об'єм води зменшиться на $\frac{48}{1000000}$ її об'єму, якщо ж знову

викликати збільшення води на 48 мільйонних частини, то, згідно приведеного коефіцієнта об'ємного розширення води, достатньо $\frac{1}{97}\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\left(0,000048 : 0,00466 = \frac{1}{97}\text{ }^{\circ}\text{C}\right)$. Якщо ж нагріти воду на $\frac{1}{97}\text{ }^{\circ}\text{C}$ і стиснути

силою в одну атмосферу, то обидві дії урівноважаться. Таки чином, при нагріванні води на $\frac{1}{97}\text{ }^{\circ}\text{C}$ здійснюється сила, яка, перетворена в абсолютну

міру, рівна тиску в одну атмосферу» [118]. Значення механічного еквівалента теплоти вчений не визначив, що привело до дискусії про роль Ф. Мора у відкритті закону збереження і перетворення енергії. Найбільш активними в цій дискусії були Н.Г. Тет, Р. Рюльман, Ф. Розенбергер, М. Лоцці [131; 117].

Розвиток термодинаміки здійснювався не від принципу збереження, а від принципу Карно, який Клаузіус ввів у теорію теплоти на основі механічних уявлень про неї.

Термодинаміка не має однозначного чіткого визначення. О.Д. Хвольсон писав, що термодинаміка є наука про енергію та її властивості, а тому вважає, що вона має відношення до всіх розділів фізики, хімії, молекулярних явищ, до матерії і носіїв променевої енергії у всьому Всесвіті [133].

В енциклопедії термодинаміка визначається як наука про закономірності теплового руху і вплив теплового руху на властивості фізичних тіл [10].

М. Планк вважав, що «... в новітній час теорія теплоти зобов'язана зовсім не головним чином принципу енергії, хоч перший поштовх до перетворення і виходив від нього; дійсно в якійсь мірі і, можливо, ще в більшій вона зобов'язана застосуванню повністю незалежного від нього принципу Карно, який Клаузіус ввів в теорію теплоти» [88].

А. Зоммерфельд ввів поняття енергії аксіоматично: кожна термодинамічна система має характеристичну функцію стану – енергію. Ця функція зростає на величину наданої системі кількості теплоти Q і зменшується на величину зовнішньої роботи A , здійсненої системою. Якщо до визначеного додати замкнутість системи, а відповідно і принцип збереження енергії, то має місце перше начало термодинаміки.

Грунтовний аналіз визначення першого начала термодинаміки дав К.А. Путілов у вигляді шести його формулювань [92, с. 40]. Після Р. Майєра та Ф. Енгельса, К.А. Путілов узагальнив і дав свою класифікацію видів енергії [92, с. 54-55].

4.2.4. Розвиток термодинаміки й атомістики. Роботи С. Карно

На початок ХІХ ст. виникла необхідність у визначенні еталонів у шкалі при дослідженні теплових явищ. Розпочалась серія досліджень для виявлення найбільш придатних термометричних тіл для виготовлення еталонів. Для цього досліджувались теплові властивості ртуті, скла, води, газів, про що свідчать роботи Дюлонга, Пті, Бесселя, Фізо, Делюка, Бреге, Ламберта, Гей-Люссака, Шарля, Вольти, Арцбергера та ін.

У ХІХ ст. предметом вивчення стала теплота як форма руху. Та частина фізики, яка вивчала теплові явища з точки зору закону збереження енергії дістала назву механічної теорії теплоти, а сам закон – першим началом механічної теорії теплоти. Систематичну роботу з дослідження

механічної теорії теплоти розпочав німецький фізик Р. Клаузіс. Він помітив, що сталі співвідношення між затраченою роботою і одержаною теплотою спостерігається лише при циклічних процесах, тобто таких процесах, коли досліджуване тіло після ряду змін повертається у початковий стан. У калориметрі Джоуля ця сталість не досягається, бо на початку досліду вода холодна, а у кінці – гаряча. Циклічність досягається у калориметрі Бунзена. Якщо процес не циклічний, то це співвідношення не постійне. Різниця між затраченим теплом і одержаною роботою чи навпаки не рівна нулю. Наприклад, при випаровуванні води при постійній температурі кількість наданої теплоти набагато більша за роботу розширення газу. Куди поділась різниця енергій?

Клаузіс урівняв співвідношення ввівши поняття внутрішньої енергії. У статті «Про рушійні сили теплоти», яка надрукована у 1850 р. він вказав, що у процесах виділення тепли і виконання роботи суттєву роль відіграє функція «ергалом» – внутрішня енергія. Функція має властивість: у будь-якій замкнутій системі алгебраїчна сума робіт, виконана системою, і виділення теплоти не залежать від способу переходу з початкового стану в кінцевий, а визначаються різницею значень цієї функції в початковому і кінцевому станах системи. Сума нескінченно малих приростів роботи і теплоти, які одержані системою, є повним диференціалом внутрішньої енергії. Звідси бере початок термодинамічний метод дослідження фізичних зв'язків і процесів. Проте механічна система теплоти не могла бути побудована лише на першому началі. Перше начало не розглядає можливості переходу тепла у роботу і навпаки. Перетворення теплоти у роботу обмежене коефіцієнтом корисної дії. Цей факт взяв на озброєння С. Карно (1796–1832 р.р.). Він показав, що доля перетвореного тепла у роботу буде тим більша, чим більша різниця температур. Продовжив ці дослідження у 1834 р. Клапейрон (1799–1864 р.р.), розробивши теорію оборотного колового процесу Карно. Через 20 років після Клапейрона до принципу Карно повернулися Р. Клаузіс і В. Томсон. Вони показали, що цей принцип є не наслідком першого начала, а самостійним законом природи, який названо другим началом механічної теорії теплоти. Цим началом встановлено напрямки процесів: оборотні, які протікають при повному поверненні умов за тим же шляхом, за яким проходив процес у прямому напрямі, але з оберненим знаком; необоротні, для яких таке

повернення неможливе. Р. Клаузіс ввів другу функцію стану – ентропію. Диференціал цієї функції рівний відношенню нескінченно малої кількості теплоти, одержаної системою при оборотному процесі, до абсолютної температури. Р. Клаузіс пояснював, що ентропія є міра відхилення реального від ідеального.

В працях Г. Гельмгольца, П. Дюема і особливо Д. Гіббса (1839–1903 р.р.) термодинаміка одержала значного розвитку. Були введені нові термодинамічні функції: вільна енергія, ентальпія, термодинамічний потенціал. Д. Гіббс застосував термодинаміку до розгляду рівноважних станів термодинамічних систем з довільним числом компонентів і фаз. Л. Больцман і Б.Б. Голіцин (1962–1916 р.р.) застосували термодинаміку до процесів теплового випромінювання.

4.2.5. Відкриття та становлення закону збереження і перетворення енергії (роботи Р. Майєра, Дж. Джоуля, Г. Гельмгольца)

Атомно-молекулярне вчення про матерію супроводжувало фізичні та хімічні дослідження, починаючи з Левкіппа та Демокріта. Уявлення про теплоту, як форму руху дрібних невідчутних частинок матерії висловили ще у XVII ст. Ф. Бекон, Р. Декарт, І. Ньютон, Р. Гук та інші. Цю ідею розробляв і відстоював М.В. Ломоносов, проте він був самотнім, більшість вчених схилились до ідеї теплороду.

Успіхи експериментальної теплофізики XIX ст. і, насамперед, калориметрії пояснювались також на користь теплороду. Але XIX століття довело зв'язок теплоти і механічного руху. Факт перетворення тертя у тепло був відомий з древніх часів. Прихильники теплоти вбачали в цьому явищі аналогію електризації тіл. Тертя сприяє вилученню теплороду з тіла. У 1798 р. Б. Томпсон (1753–1814 р.р.), який у 1790 р. став графом Б. Румфордом, у мюнхенських військових майстернях спостерігав виділення великої кількості тепла при свердлінні гарматних стволів. Цим дослідом Б. Румфорд довів, що теплота є формою руху.

Г. Деві плавив лід при терті одного куска з іншим. Вчений розглядав теплоту як коливальний рух частинок матерії. Цю гіпотезу підтримав Юнг. У 1837 р. німецький аптекар Ф. Мор надіслав Поггендорфу статтю «Про природу теплоти», яку не було надруковано, бо редактор вважав її чисто теоретичною. У статті указувалось, що теплота є формою руху.



Рис. 78. Герман фон Гельмгольц

М. Фарадей у спорі з прихильниками контактної теорії в 1839–1840 роках утверджував ідею перетворення сил із збереженням їх постійної кількісної величини.

Таким чином, ідея про закон збереження енергії виникла не у спеціалістів фізиків. Стимулювала відкриття закону збереження практика: техніка і медицина. Визначальна роль тут належить лікарям **Роберту Майєру** (1814–1878 р.р.) та **Герману фон Гельмгольцу** (1821–1894 р.р.) і пивовару Д.Джоулю (1818–1889 р.р.).

Початок XIX ст. характеризувався роздробленістю фізичної картини світу. Виникли нові флюїди: тваринна електрика, сила струму, хімічна сила, життєва сила. В цей час здійснено розмежування філософії і дослідного природознавства. У першій чверті століття у завершеній формі сформулювався й утвердився закон збереження і перетворення енергії. У 1855 р. один із засновників цього принципу Г. Гельмгольц

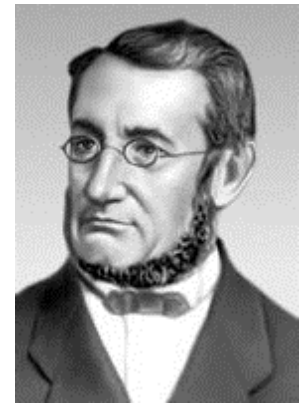


Рис. 79. Роберт Майєр

писав: «Всім відомо, що між нами вже давно ведеться запекла суперечка, яка нещодавно, здавалося, замовкла, але в усякому разі не тому, що одна партія переконала іншу, а тому, що кожна сумнівається в спроможності переконати протилежну. Натуралісти охоче і голосно хваляться тим, що великі успіхи природничих наук почалися з того моменту, коли вони цілком очистилися від впливу натурфілософії» [90, с. 5]. Така суперечка виникла, коли Ф. Шеллінг та Г. Гегель стали над наукою. Ворожі відносини цих філософських шкіл до наукових основ природознавства виявились у нефілософській полеміці проти І.Ньютона і його теорії. Філософи раніше всіх прийшли до висновку про наявність загального зв'язку явищ, про відсутність граней між неорганічним і органічним світом, про перетворюваність різних сил. Якраз ці ідеї допомогли Р. Майєру та Г. Гельмгольцу зробити висновок на користь закону збереження і перетворення енергії.

Г. Гельмгольц у своїх дослідженнях виходив з принципу незмінної

причинності, яка діє у природі. «Найближчі причини, яким ми підпорядковуємо природні явища, можуть бути у свою чергу або незмінними або такими, що змінюються. В останньому випадку той же закон змушує нас шукати інші причини цієї зміни, і так далі до тих пір, поки ми не доходимо до останніх причин, які, в кожен момент часу за однакових умов викликають одну і ту ж дію. Таким чином, кінцевою метою теоретичного природознавства і є пошук останніх незмінних причин в природі» [18, с. 6].

У своїх дослідженнях Р. Майєр виходив з тези древніх: із нічого нічого не буває. Стимулювала ці дослідження практика і особливо техніка і медицина. Р. Майєр писав: «Новому часу випало на долю до сил старого світу – рухомого повітря і падаючої води – приєднати ще одну нову силу. Цією новою силою, на дію якої зі здивуванням дивляться люди нашого століття, є тепло» [65, с. 98]. Роздуми, лікаря за професією, Р. Майєра про роль фізичних та хімічних сил у організмі, про існування чи відсутність таємничих життєвих сил були вихідними для їх висновків. Г. Гельмгольца підтримав лише Е. Дюбуа-Реймон, назвавши твір про збереження сили історичним. Безпосередній учитель і товариш Г. Гельмгольца Г. Магнус віднісся до роботи досить холодно, хоч і направив роботу редактору журналу «Annalen der Physik» Поггендорфу для друку. Роботу не надрукували, бо, за висловом Поггендорфа, вона носила теоретичний характер, а друкувались в першу чергу матеріали експериментального характеру.

Виступ М. Фарадея у 1840 р. проти контактної теорії, яка приводить до вічного двигуна, знаменує відкритий перехід природодослідників нової формації на позиції збереження і перетворення сил [125, с. 150-151]. Принцип «причина рівна дії» був керівним у роботах Р. Майєра. Його перша робота «Про кількісне та якісне визначення сили» була надіслана в «Аннали» 16 червня 1841 р. і пролежала у письмовому столі Поггендорфа аж до смерті редактора. У роботі вперше в світі говорилось не про знищуваність, а про перетворюваність. Р. Майєр виходить із концепції існування деякої незмінної у кількісному відношенні «первинної сили», деякого запасу енергії. У своїй роботі Р. Майєр ще не розділяє перше і друге начало термодинаміки і метафізично відриває речовину від енергії. Але тут чітко виражена думка про якісне перетворення форм енергії при її

кількісному збереженні. Пізніше вчений уточнює поняття сил як непорушних, здатних взаємоперетворюватись. Р. Майєр говорить, що тяжіння – це не сила, а властивість і для падіння тіла необхідне попереднє його підняття. Та причина, яка піднімає вантаж – є сила. Кінетичну енергію вчений визначає як mv^2 , що є помилкою. Потім Р. Майєр переходить до питання про перетворення механічного руху в теплоту. «Ще ніколи ґрунтовно не був поставлений дослід з виявлення дії руху, що припиняється. ...на скільки велике відповідна певній кількості сили падіння або руху кількість тепла» [65, с. 78-79]. Він наближено оцінює це співвідношення величиною 365 кГм/кал на основі вимірювання теплоємності газів при постійному тиску та об'ємі. Це рівняння нині носить його ім'я. Роздуми його були такими. Опускання одиниці ваги на 365 м висоти відповідає нагріванню цього тіла на один градус теплоти. Р. Майєр також оцінює коефіцієнт корисної дії теплової машини. За його твердженнями коефіцієнт корисної дії сучасним йому тепловим машин невеликий. Вчений говорить, що доцільніше перетворювати у рух електрику, одержану хімічним шляхом [65, с. 86], минаючи теплоту.

У 1845 р. Р. Майєр ставить перед собою завдання охопити всі відомі та той час перетворення енергій, розкрити картину кругообігу енергії у природі. «Кількісна незмінність даного є верховний закон природи, що поширюється однакою чином як на силу, так і на матерію» [65, с. 92-93]. Таке формулювання нагадує загальний закон Ломоносова. Р. Майєр дає міру кінетичної та потенціальної енергії піднятого вантажу, оцінює механічний еквівалент теплоти, електростатичну енергію заряджених тіл, пояснює енергетичну дію електрофора, накреслює шляхи пояснення хімічної енергії. Він дає схему відомих йому форм енергії [65, с. 127], рис. 80.

З аналізу схеми Р. Майєр робить висновок, що «при всіх хімічних і фізичних процесах дана сила залишається сталою» [65, с. 127]. Сонце є невичерпним джерелом фізичної сили. «Рослини поглинають одну силу – світло і породжує іншу силу – хімічну різницю» [65, с. 131-132]. Так вперше в історії науки формулюється енергетика фотосинтезу. Р. Майєр вперше розглянув фізіологічні процеси з енергетичної точки зору. У творі «Динаміка неба» вчений поставив питання про джерело енергії Сонця. Розв'язати проблему в ХІХ ст. було не можливо. Проте ідея про сили

приливної тертя, яке гальмує обертання Землі, ідея про зменшення маси Сонця при випромінюванні ставиться на розгляд. Р. Майєр висуває гіпотезу, що енергія Сонця поповнюється за рахунок ударів метеоритів. Невагомі флюїди перестають існувати.

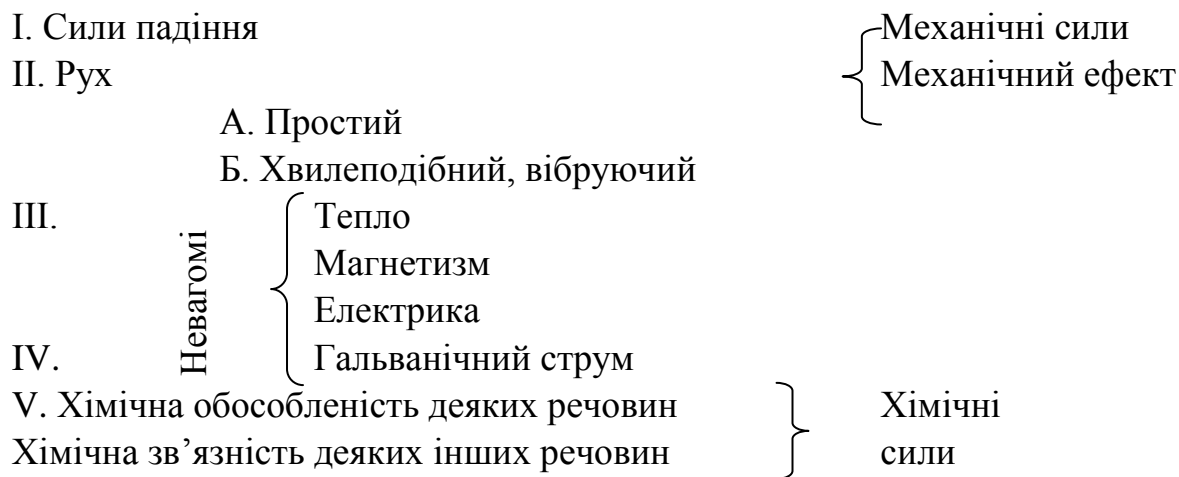


Рис. 80. Відомі Р. Майєру форми енергії

Публікація результатів дослідження Р. Майєра має свою історію. Перша стаття взагалі не була надрукована. Можливо і добре, бо там були значні помилки. Друга – була надрукована у хімічному журналі, який фізики не читали. Третя – вийшла приватною брошурою. Тому зрозуміло, що Д. Джоуль і Г. Гельмгольц могли не знати про роботи Р. Майєра. Це сприяло тому, що Р. Майєр був втягнутий у спір про пріоритетність відкриття. На відкриття претендували Ф. Мор (1805–1879 р.р.), Л. Кольдинг (1815–1888 р.р.), М. Сеген (1786–1875 р.р.). Спокійний тон його заяв про пріоритетність маскує ту глибоку травму, яку йому нанесли «заздрісні цехові вчені», цькування у газетах. У 1850 р. він намагався покінчити життя самогубством, стрибнувши з вікна і залишився на все життя калікою. Йому приписали манію величчя і поміщали на примусове лікування до лікарні для психічно хворих.

Теоретичні дослідження Г. Гельмгольца та Р. Майєра відрізняються між собою. Г. Гельмгольц специфічно застосував механічний підхід до закону збереження «Матерія як така не може відчувати жодних інших змін, окрім просторових, тобто окрім руху» [18, с. 6]. Тут вчений повертається до природодослідників XVIII ст. Проте, на відміну від Р. Майєра, він визнає, що матерія без сил не існує. «Ясно, що поняття матерії і сили в застосуванні до природи ніколи не можуть бути

відокремлені одне від одного. ... явища природи мають бути зведені до рухів матерії з незмінними рушійними силами, залежними в своїй дії лише від просторових взаємин» [18, с. 6-7]. Тоді закон збереження енергії виступає як інтеграл рівнянь механіки, у які входять сили, які визначаються просторовою конфігурацією точок системи. Для цих консервативних сил Г. Гельмгольц виводить інтеграл живих сил, який описує збереження кінетичної і потенціальної енергій $\frac{mQ^2}{2} - \frac{mq^2}{2} = -\int \varphi dr$, де Q і q величини швидкостей у положеннях R і r , φ – величина сили, яка діє у напрямку r і вважається додатною, якщо маємо притягання і від’ємною, якщо є відштовхування. Величину $\int \varphi dr$ Г. Гельмгольц назвав сумою напружених сил між R і r . Тоді закон збереження має таке формулювання: «збільшення живої сили точки при її русі під дією центральної сили рівне сумі відповідних змін її відстаней напружених сил». Переходячи до системи точок Г. Гельмгольц установив загальне положення: «Завжди сума існуючих у системі напружених сил і живих сил постійна». Вчений закон успішно перевіряє на явищі інтерференції хвиль. У електриці визначив енергію точкових зарядів і показав фізичне значення функції, яку Гаус назвав потенціалом. Потім він обрахував енергію системи заряджених провідників. Пізніше розглянув гальванізм, термоелектричні явища, магнетизм та електромагнетизм.

Г. Гельмгольц – учень Г. Магнуса. Після смерті учителя його домашня лабораторія переноситься у приміщення Берлінського університету і перетворюється у світовий науковий центр. Другим учителем Г. Гельмгольца був І. Мюллер. Досить скоро молоді учні І. Мюллера та Г. Магнуса створили Берлінське наукове товариство, яке з 1845 р. перетворилось у Німецьке фізичне товариство і стало видавати журнал «Успіхи фізики». Першу роботу, де Г. Гельмгольц переходить як і Р. Майєр від фізіології до закону збереження енергії, Поггендорф не надрукував. Вона була надрукована у 1847 р. окремою брошурою. На відміну від Р. Майєра Г. Гельмгольц мав підтримку Д. Реймона та молодого Берлінського фізичного товариства. Особливо активно точку зору Г. Гельмгольца відстоював Д. Тиндаль. Г. Гельмгольц неодноразово підкреслював пріоритет у відкритті закону збереження енергії за Р. Майєром та Д. Джоулем.

На відміну від своїх попередників Г. Гельмгольц закон збереження енергії зв'язує з принципом неможливості вічного двигуна. Цей принцип сприймав ще Леонардо да Вінчі. За міру виконаної роботи Г. Гельмгольц приймає половину добутку маси на квадрат швидкості руху тіла. Таким чином, Р. Майєр займався конкретними питаннями дослідження закону

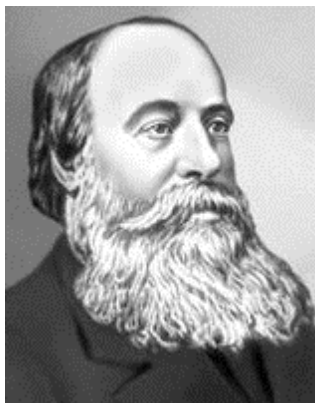


Рис. 81. Джеймс
Джоуль

збереження і перетворення енергії. Г. Гельмгольц ввів у фізику величину, яка бере участь у всіх фізичних явищах, здатна змінюватись за формою, не знищувана, невагома, але визначає форму існування матерії.

В цей період були поставлені калориметричні дослідження Джеймсом Прескоттом Джоулем (24.12.1818–11.10.1889 р.р.), які привели його до встановлення механічного еквівалента теплоти. 1841 року він надрукував у журналі статтю

про тепловий ефект електричного струму. Задовго до Д. Джоуля аналогічні дослідження були проведені Е.Х. Ленцом. Д. Джоуль провів свої експерименти з виділення тепла електричним струмом, які стали вихідними для встановлення зв'язку теплоти і роботи. Механічний еквівалент у нього виявився 460 кГм/ккал. Пізніше виміри були точніші, а механічний еквівалент став рівний 424 кГм/ккал. У 1940 р. Міжнародний комітет мір і ваг установив еквівалент однієї великої калорії при 15 °С рівний $4,18605 \cdot 10^{10}$ ерг (1 ерг = 10^{-7} Дж; 1 кал = 4,19 Дж; 1 кГм \approx 1 Н)

На пріоритет відкриття закону збереження і перетворення енергії претендувало ряд дослідників. Зокрема, це стосується Л. Кольдінга, який у 1843 р. доповів у Королівському Копенгагенському товаристві результати своїх робіт з визначення співвідношення між механічною роботою і теплотою, яке становило 350 кГм/ккал. У своїх роботах Р. Майєр визнає пріоритетність за собою, Д. Джоулем та Г. Гельмгольцем.

Таким чином, діяльність Р. Майєра, Г. Гельмгольца, Д. Джоуля поставили на порядок денний фізичної науки якісно новий підхід до розуміння природних явищ. Їх діяльність не могла відразу забезпечити розуміння нового закону. Немало утруднень виникало до того часу, поки У. Ранкін не ввів поняття «енергія» і однозначний зміст поняття «сила».

4.3. Оптика

4.3.1. Розвиток оптичних досліджень

Оптика дещо молодша механіки. Знання прямолінійного поширення світла і поняття «променя» древнього походження. Відбивання і заломлення світла в лінзах і дзеркалах було відоме у грецькій науці. Роджер Бекон (1214–1294 р.р.) описав положення фокуса і звернув увагу на неточність з'єднання променів світла в зображенні точкового джерела світла. Окуляри, напевне, були винайдені С. Арматі в 1299 р. Закон заломлення має трьох авторів: В. Снелль (інакше Снелліус) (1591–1626 р.р.), Г. Гюйгенс – на основі вимірювань, і Р. Декарт (1596–1650 р.р.) – на основі свого корпускулярного світосприйняття.

І. Кеплер заклав основи теорії телескопів [154, с. 41-44].

І. Ньютон висунув уявлення про світло, як тілесну субстанцію. Р. Гук заперечив однозначність І. Ньютона і показав, що дослідні дані можна добре пояснити і його хвильовою теорією. Аналогічну точку зору висловив Г. Гюйгенс при поясненні кольорів. Ці дискусії змусили І. Ньютона в листі до Р. Бойля детально викласти гіпотезу ефіру.

Проблемними питаннями старої оптики були пояснення кольорів та чи скінчена швидкість світла.

У 1672 р. І. Ньютон довів, що біле світло складається з кольорів. Після цього дослідженням спектрів займалися Ф. Гершель, І. Ріттер, В. Волластон, І. Фраунгофер, М. Шверд та інші.

Визнання абсолютного простору і далекодії стало причиною визнання корпускулярної теорії світла. Тому ті вчені, які визнали корпускулярну теорію світла були ньютоніанцями.

Відмова від визнання далекодії привело до визнання ефіру і трактовки світла, як деякого процесу в цьому ефірі. Тому боротьба між корпускулярною та хвильовою теоріями була продовженням спору між ньютоніанцями та картезіанцями. Протягом XVIII століття корпускулярна теорія не зазнала розвитку в порівнянні з тим виглядом, який вона одержала за часів І. Ньютона. Хвильова теорія в цей період мала значний розвиток.

У 1800 р. Ф. Гершель вказав, що границя оптичного спектру не закінчується його видимою частиною і відкрив інфрачервоні промені. Через рік І. Ріттер та В. Волластон виявили хімічну дію в

ультрафіолетовій частині спектру. Протягом 1814–1815 років І. Фраунгофер виявив темні лінії у спектрі Сонця. З того часу довжину світлових хвиль стали вимірювати за кутом дифракції та постійною дифракційної ґрадки з відносною точністю 10^{-7} . З того часу існує спектроскопія [128].

Перша третина ХІХ ст. була заповнена дослідженнями поляризації та природи світла. Про зв'язок світлових променів з тепловими було відомо ще з античності. Вперше теплові та видимі проміння розділив Порті у 1589 р. У його дослідах було показано концентрацію не лише тепла, а й холоду, коли кусок льоду поміщався у фокусі увігнутого дзеркала. П. Буоно (1625–1659 рр.) пропускав крізь лінзу з льоду теплові промені, які не втрачали своєї теплової здатності. Маріотт за допомогою увігнутого дзеркала із льоду показав, що теплові промені відбиваються від нього без ослаблення, так що у фокусі вдається створити інтенсивність, достатню для того, щоб запалити порох. У 1877 р. Ламберт показав, що теплові промені поширюються прямолінійно.

Фундаментальне відкриття здійснив у 1800 р. В. Гершель. Досліджуючи суцільний спектр він помітив, що термометр фіксує підвищення температури за червоною частиною спектра.

Німецький учений І. Ріттер (1776–1810 р.р.) повторив дослід В. Гершеля з хлористим сріблом і побачив максимум хімічної дії за фіолетовою частиною спектру. Властивості теплових та ультрафіолетових променів вивчали Пікте, Гей-Люссак, Зеєбек, Берара, Дагерр, Ньєпс, Меллоні, Тиндаль, Магнус, Ленглі.

В галузі спектрального аналізу працювали Й. Фраунгофер, Д. Брюстер, Д. Гершель, Ф. Тальбот, А. Ангстрем, Г. Гейслер, Ю. Плюккер, А. Міллер, Г. Кіргоф, Р. Бунзен та інші.

4.3.2. Роботи зі становлення хвильової теорії світла

Томас Юнг (1773–1829 р.р.), лікар за професією, єгиптолог, займався теорією світла в зв'язку з його дослідженнями голосу людини. Ця тема була його докторською дисертацією. Т. Юнг не погодився з поясненням І. Ньютона зафарбованості тонких плівок теорією «приступів». Він інтерпретував це явище як накладання світла відбитого від першої поверхні тонкої плівки і від другої, яка повертається через речовину

плівки. Таке накладання приводить до послаблення чи підсилення результуючого монохроматичного світла. Невідомо, що привело його до



Рис. 82. Томас Юнг

такого висновку. Можливо аналогія з биттям при вивченні слуху, а можливо фраза із 24 пропозиції третьої книги «Начал» І. Ньютона, де описано аномальні приливи, які спостерігав Галлей на Філіппінських островах. Загальний принцип накладання хвиль Т. Юнг розкриває на прикладі накладання хвиль на поверхні озера. Для одержання інтерференції хвиль необхідно, щоб обидва промені виходили з одного джерела і після проходження різного шляху попадали в одну і ту ж точку і йшли потім паралельно. У

1802 р. вчений підтвердив свої розрахунки класичним нині дослідом з двома отворами. Аналогічний дослід зробив Гримальді, але інтерференційної картини не спостерігав, бо використовував установку, де обидва отвори освітлюються безпосередньо сонячним промінням, або штучним джерелом світла. Для пояснення результатів дослідів Т. Юнг застосував хвильову теорію. Він пояснив явище зафарбованості тонких шарів і пояснив їх до дрібниць так, як це зроблено у сучасних посібниках з курсу фізики. Вчений вивів емпіричні закони, знайдені І. Ньютоном, вважав незмінною частоту світла заданого кольору, пояснив згущення кілець у досліді Ньютона при заміні повітряного шару водою між лінзами зменшенням швидкості поширення світла у заломлюючій речовині. Цим він експериментально підтвердив гіпотези Ферма та Гюйгенса. В Англії його досліді сприйняли з недовірою і навіть скептично. Напевне це пояснюється намаганням Т. Юнга пояснити інтерференційним способом явно не інтерференційні явища. Не завжди вчений був строгий у математичних викладах.

У 1819 році Паризька академія наук оголосила конкурс на кращий твір про дифракцію світла. На конкурс було представлено два мемуари: № 1 та № 2. Перший мемуар особливого враження не набув. Другий – мав переконливі докази на користь хвильової природи світла. Автору вдалося природнім чином пояснити прямолінійність поширення світлових променів як результат накладання великої кількості хвильових коливань.

Цим автором був тридцятирічний інженер з нагляду за мостовою м. Парижа **Огюстен Френель** (1788–1827 р.р.). При обговоренні мемуару виник драматичний епізод. На засіданні академії про дослідження доповідав голова комісії Ф. Араго. Він сказав: «Один з членів комісії, пан Пуассон, вивів з повідомлених автором інтегралів дивовижний результат, що центр тіні від круглого непрозорого екрану має бути таким же освітленим, як і в тому випадку, якби екран не існував, – це за умови, що промені проникають в тінь під малими кутами падіння».



Рис. 83. Огюстен Френель

Цей наслідок особисто перевірів Ф. Араго, коли дізнався, що С. Пуассон протестував проти такої доповіді О. Френеля. Як наслідок, вони домоглися запрошення молодого дослідника до Парижа, після політичної реабілітації, для повторення дослідів. О. Френель при дослідженні тіні від тонкого дроту досяг світлої смуги у центрі тіні (такого ж результату досяг і Ф. Гримальді про що І. Ньютон умовчав). Таким чином, він повторно відкрив явище інтерференції. У Парижі О. Френель дізнався про досліди Т. Юнга з двома отворами. Це нашттовхнуло його на думку про одержання інтерференції від «дзеркал Френеля» та «біпризми Френеля». Ці досліді є і нині класичними і використовуються при вивченні курсу фізики. Отже, у хвильовій оптиці О. Френель оперував трьома принципами: принципом елементарних хвиль, принципом обвідної та принципом інтерференції. Ці принципи О. Френель об'єднав у один. Для О. Френеля обвідна не просто геометричне поняття, як у Х. Гюйгенса. У довільній точці хвилі повний ефект:

- є алгебраїчною сумою імпульсів, які створюються кожною елементарною хвилею;

- складає повну суму всіх цих імпульсів, які накладаються згідно принципу інтерференції, яка може бути рівною нулю. О. Френель зробив такий розрахунок і прийшов до висновку, що вплив сферичної хвилі у зовнішній точці зводиться до впливу невеликого сегмента хвилі, центр якого знаходиться на лінії, яка з'єднує джерело світла з освітленою точкою;

- дає в сумі нульовий ефект в даній точці від решти хвиль.

Цим було розв'язано проблему, яка стояла протягом століть про погодженість прямолінійного поширення світла і хвильового її механізму. Дифракція буде мати місце, при певних співвідношення між розмірами перепони і довжини хвилі. Перші статті О. Френеля не мали підтримки у П. Лапласа, С. Пуассона через недоліки у математичному викладі. Після декількох років перерви О. Френель знову повернувся до своїх досліджень, виклав досить широко хвильову теорію дифракції і надіслав на конкурс до Паризької Академії наук. Члени конкурсної комісії оцінили роботу по-різному. П. Лаплас, **Ж. Біо** та С. Пуассон були прибічниками ньютоніанства, Д. Араго підтримав О. Френеля, а Ж. Гей-Люссак не був обізнаний з проблемою, але був людиною чесною. С. Пуассон вказав, що згідно О. Френеля у центрі геометричної тіні диска повинна бути світла пляма, що суперечить «здоровому глузду». Комісія запропонувала О. Френелю довести це експериментально. О. Френель це з честю продемонстрував. У 1823 р. комісія одноголосно присудила премію вченому, і він був обраний членом Академії наук.



Рис. 84. Жан-Батіст Біо

Після завершення робіт з дифракції О. Френель приступив до дослідження явища поляризації. Разом з Д. Араго він поставив дослід з інтерференції поляризованого світла. Після тривалих роздумів О. Френель визнав світлові хвилі поперечними. Цю ідею **Андре Марі Ампер** (20.01.1775–10.09.1836 р.р.) підказав О. Френелю ще у 1815 р., але він не використав її. Т. Юнгу теж прийшла така ідея, коли він довідався про дослід Д. Араго і О. Френеля, але чомусь він її не розвинув.



Рис. 85. Андре Марі Ампер

Д. Араго відмовився підписувати статтю про поперечність світлових хвиль. Гіпотеза про поперечність світлових хвиль дозволила О. Френелю вже в одиночку побудувати свою механістичну модель світла. Основою її є ефір. Всі тіла

викликають зміни механічних властивостей ефіру. Коли пружна хвиля переходить із вільного ефіру в ефір, який міститься у речовині, на поверхні розділу частина хвилі повертається назад, а частина проникає у речовину. Так було пояснено часткове відбивання, яке протягом століть було таємницею для фізиків. Виведені формули носять ім'я Френеля і використовуються у курсі фізики і нині. Дослідження подвійного променезаломлення стало основою для аналізу сил пружного середовища завдяки малим силам молекулярного переміщення. Були сформульовані ряд теорем, які склали основу нової галузі – загальної теорії пружності.

У 1837 р. Х. Ллойд одержав інтерференцію від одного дзеркала. Найбільшого прогресу у конструюванні приладів для дослідження хвильової оптики досяг Ж. Жамен (1818–1871 р.р.) з паралельними скляними пластинками. Продовжуючи досліди Д. Брюстера, у 1856 р., він дійшов до конструкції інтерферометра, названого його іменем. Г. Квінке у 1867 р. запропонував скляні пластинки покрити сріблом із зовнішньої сторони.

Ірландський учений У. Гамільтон у 1830 р. став досліджувати оптичні явища, коли ще хвильова теорія не зайняла панівного становища. Пуансон був прихильником корпускулярної теорії, Ж. Біо залишився на її позиціях до останнього подиху, Д. Брюстер хвильову теорію не визнавав, бо вважав неможливим приписати творцю досить грубу ідею. Д. Араго не став наслідувати ідеї О. Френеля після визнання поперечності коливань ефіру. В цих умовах У. Гамільтон створив формальну теорію відомих оптичних явищ, яка б була справедлива як до хвильових, так і до корпускулярних інтерпретацій. Він сформулював принцип, згідно якого деяка фізична величина, точно визначена математично, стаціонарна при поширенні світла. Цим шляхом удалось раціоналізувати геометричну оптику і перетворити її у формальну теорію, яка дозволяє інтерпретувати дослідні дані без необхідності вибору між корпускулярними і хвильовими гіпотезами. Протягом 1834–1835 р.р. У. Гамільтон поширив свою теорію оптичних явищ на динаміку і звів до двох рівнянь у часткових похідних. Такий синтез оптики та механіки був пізніше знайдений Л. де Бройлем, що дало змогу Е. Шредінгеру створити квантову механіку. Більш загальне застосування теорії У. Гамільтона дав К. Якобі (1801–1854 р.р.). Тому цю теорію називають теорією Гамільтона-Якобі.

Х. Гюйгенс відкрив явище, яке пояснити не зміг. Промінь світла після проходження через ісландський шпат набуває такої властивості, що проходячи на другий кристал шпата з головним перерізом паралельним першому уже зазнає не подвійного променезаломлення, а звичайне. Якщо другий кристал шпата повернути, то виникає подвійне променезаломлення, але інтенсивність променів буде залежати від кута повороту.



Рис. 86. Етьєн Луї Малюс

На початку ХІХ ст. це явище дослідив французький військовий інженер **Етьєн Луї Малюс** (1775–1812 р.р.). В цей час Паризька Академія наук оголосила конкурс на кращу математичну роботу з подвійного променезаломлення. Е. Малюс виграв конкурс. Він описує відкритий ним закон, для його пояснення використовує гіпотезу Ньютона про корпускулярну теорію світла.

Дослідження явища поляризації продовжив у Франції Ж. Біо та Д. Араго, в Англії – **Девід Брюстер** (1781–1868 р.р.). У 1811 р. незалежно один від іншого вони відкрили, що відбитий промінь також є частково поляризованим. Д. Брюстер показав, що відбитий промінь буде повністю поляризованим, коли відбитий і заломлений промені будуть перпендикулярними. Д. Араго установив поляризацію місячного проміння, комет, веселки. Найбільш визначним відкриттям ученого було явище хроматичної аберації. У 1815 р. Ж. Біо виявив явище колової поляризації і наявність право- і лівоповертаючих площину поляризації рідин, установив, що турмалін виявляє властивості подвійного променезаломлення і властивість поглинати звичайний промінь і пропускати лише незвичайний. Останнє було використано Гершелем для виготовлення «турмалінових затискувачів», які використовуються і нині. Англійський



Рис. 87. Девід Брюстер

фізик У. Ніколь (1768–1851 р.р.) з комбінацією двох призм (Ніколя) досяг пропускання лише незвичайного променя.

Таким чином, протягом 1808–1815 р.р. було в основному вивчено явище поляризації у тому обсязі, в якому подано у нинішніх підручниках з фізики. На озброєння було взято корпускулярну теорію світла.

У XIX ст. були виконані ґрунтовні досліді з визначення швидкості світла. Д. Араго підкреслював вирішальну роль цього досліді для хвильової теорії.

Першим виміряв швидкість світла Луї Фізо (1819–1896 р.р.) із зубчатим колесом. Ці досліді повторив у 1873 р. А. Корню, у 1882 р. Д. Юнг і Д. Форбс. Проте прилад не дозволяв визначати швидкість світла у різних середовищах.

Д. Араго запропонував нову модель досліді, яку взяли реалізувати Л. Фізо і **Жан Леон Фуко** (1810–1868 р.р.). Спочатку вони



Рис. 88. Жан Леон Фуко

працювали разом, а потім розійшлись у змаганнях. Успіху досяг Л. Фуко у 1850 р. (більш точніші вимірювання одержані у 1862 р.) використавши пристрій, який описано у вузівських курсах фізики. Досконалішими методиками вимірювали швидкість світла С. Ньюкомбом (1835–1909 р.р.) та А. Майкельсон. У XX столітті досліді повторили У. Андерсон та А. Майкельсон.

4.3.3. Труднощі хвильової оптики пружного ефіру

Гіпотеза пружного коливання ефіру поставила проблему: рухається ефір чи ні? О. Френель вважав, що ефір частково залучається до руху. Ефект Доплера нібито підтверджував гіпотезу Френеля, з якою був не згоден Д. Стокс (1819–1903 р.р.). Вчений відстоював ідею повного залучення ефіру до руху. У 1851 р. Фізо намагався розв'язати проблему за допомогою досліді з двома променями світла, один з яких проходив вздовж напрямку руху води, а другий – проти напрямку руху води. Експерименти Л. Фізо підтвердили гіпотезу О. Френеля. До такого ж висновку у 1886 р. прийшли Е. Кеттелера (1836–1900 р.р.), А. Майкельсон

та Е. Морлі. А. Майкельсон раніше на 5 років до цього встановив, що ефір рухається разом із Землею. Проте явище аберації вказувало, що ефір нерухомий. Виникла суперечність, розв'язання якої привело до створення теорії відносності.

Концепція ефіру увійшла в фізику разом з картезіанським методом пояснення і обґрунтування хвильової теорії світла. У ХІХ столітті погляд на ефір змінився: існування ефіру стало гіпотезою; ефір – модельний засіб пояснення явищ на рівних правах з другими методами; постало питання про внутрішню будову ефіру.

Наступний етап розвитку поняття і змісту ефіру пов'язаний з оптикою та електродинамікою рухомих тіл. Вчені встановили співвідношення концепції ефіру з поняттями часу, простору і руху. Тоді й виникли три гіпотези: ефір повністю захоплюється рухомими тілами; ефір частково захоплюється рухомими тілами; ефір є нерухомим.

Існування матеріального світлоносного ефіру було необхідним постулатом механістичного світогляду, так як останній передбачає, що рух повинен бути скрізь, де є енергія, а де є рух, там повинно бути те, що рухається.

Для усунення виявленого ускладнення вчені досліджували основні властивості ефіру:

- велика густина;
- велика пружність, що обумовлює велику швидкість поширення випромінювання (світла);
- за Х. Гюйгенсом (вважав світлові хвилі поздовжніми) ефір – розріджений газ;
- за О. Френелем (довів, що світлові хвилі поперечні) ефір – тверде прозоре тіло, так як газ не передає поперечні хвилі на відстань (вздовж);
- небесні тіла проходять кріз ефір без помітного опору;
- зі створенням електромагнітної теорії ефір почали розглядати як середовище, де поширюється електричне та магнітне поле.

Механічне уявлення про ефір у електромагнітній теорії є за своєю суттю умовною аналогією. А. Ейнштейн позбавив електромагнітне поле основного механічного предиката – середовища, за яким зберігалась назва ефіру і уяви про швидкість тіл по відношенню до цього середовища. Сталась відмова як від назви, так і від даного уявлення. Концепція

класичної механіки виявилась перебудованою до самої основи. Основа стала іншою, роль фундаменту, як виявилось, необхідно приписати силовим полям.

Проблема взаємовідносин ефіру та електрики була більш складною і незрозумілою ніж питання взаємовідносин матерії і електрики. О. Лодж, Дж. Лармор, Е. Вихерт заряджені частинки інтерпретували як центри внутрішніх збурень ефіру.

Ф. Ліндеман, Р. Міллікен електрику розглядали як самостійну субстанцію поряд з ефіром.

Найбільш поширений і визнаний варіант електромагнітної картини світу будувався на електронній теорії Г. Лоренца, який ще у 1875 році він висловлював думку, що з'єднання електромагнітної теорії з атомістичними уявленнями про будову речовини може бути завершеним синтезом усіх областей фізики. Теорія ж Д. Максвелла об'єднала лише оптику і теорію електромагнетизму. Такий варіант ґрунтувався на подвійній основі – неперервних максвелловських полях, як стану ефіру, давали початок силам, під дією яких рухались дискретні електрони за другим законом механіки. У 1904 році теорія Г. Лоренца набула майже завершеної форми. Вчений залишив за ефіром дві властивості: носія електромагнітного поля і абсолютної системи відліку. Осмислення їх привело А. Ейнштейна без посилання на ефір до висновку, що нерухомість носія електромагнітного поля приводить до незалежності швидкості світла від руху джерела. В той же час принцип відносності важко узгоджувався з гіпотезою про нерухомий ефір. Для цього вводились додаткові гіпотези Лоренца-Фіцджеральда.

Після дослідів Майкельсона-Морлі ефір став непотрібним у фізичній картині світу. Постулат відносності позбавив його властивості абсолютної системи відліку. Нова трактовка електромагнітних полів знівелювала потрібність ефіру. А. Ейнштейн поняттю «ефір» надає нового змісту. Ефір в загальній теорії відносності є середовищем, яке саме собою позбавлене всіх механічних і кінематичних властивостей, у то й же час визначає механічні і електромагнітні процеси. Таке розуміння ефіру сприйняли В. Паулі і М. Борн.

4.4. Розвиток теорії електромагнітного поля

На початку XIX ст. найбільш важливими були такі відкриття: відкриття вольтова стовпа; відкриття принципу інтерференції в оптиці; відкриття магнетизму. В історії становлення концепції поля виключна роль належить розвитку хвильової оптики Т. Юнга (1773–1829 р.р.) та О. Френелю (1788–1827 р.р.). Т. Юнг розвинув ідеї М.В. Ломоносова та Л. Ейлера про світло як процес у ефірі. Як і М.В. Ломоносов (вплив електричного поля на показник заломлення) ідею ефіру він бере з електрики, але на відміну від Л. Ейлера та М.В. Ломоносова розглядає хвильові явища, суперпозицію та інтерференцію хвильових рухів на основі розгляду фазових співвідношень. Т. Юнг вперше визначив довжину світлових та ультрафіолетових (відкрив Ріттер) хвиль. Вчений зрозумів значення когерентності, визначив, що для інтерференції хвилі повинні виходити з однієї і тієї ж точки та йти до екрана різними шляхами. В цьому випадку результат інтерференції визначається різницею ходу променів. Досліди, де світло плюс світло давало темну пляму вражали сучасників. Малюс у 1808 р. відкрив явище поляризації при відбиванні. За цим послідувало відкриття хроматичної поляризації і обертання площини поляризації, були виготовлені двоосні кристали. Це була вагома перепона поздовжнім хвилям. У цей час **П. Лаплас** запропонував математичну теорію поширення світла у анізотропних середовищах, виходячи з корпускулярних уявлень.



Рис. 89. П. Лаплас

У таких умовах О. Френель 15 жовтня 1815 р. представив Паризькій Академії наук свої оптичні мемуари [83, с. 237]. Це була теоретична і експериментальна база класичної хвильової теорії. Він доповнює принцип Гюйгенса положенням про інтерференцію хвиль від окремих ділянок хвильового фронту. Закони геометричної оптики для відшліфованих відбиваючих і заломлюючих поверхонь є результатом інтерференції. Вторинні хвилі гасять одна одну, крім напрямків, які визначаються законами геометричної оптики. О. Френель вдало розробив теорію зон, за допомогою якої пояснив прямолінійне поширення світла, дифракцію

світла. Поляризацію світла вчений пояснив геніальною здогадкою, що світлові хвилі поперечні. Ця ідея за її значимістю і революційністю характеру може зрівнятись лише з гіпотезою Планка про квантування випромінювання. Відразу виникли проблеми: як сумістити гіпотезу про поперечність хвиль з механічними допустимими властивостями ефіру (цю проблему так і не вдалось вирішити); у якій площині здійснюються світлові коливання лінійно-поляризованої хвилі: в площині поляризації чи перпендикулярно їй (О. Френель вирішив на користь другого припущення); як взаємодіє ефір і речовина при відбиванні, заломленні та поширенні хвиль; яка буде теорія поширення світла у рухових середовищах?

О. Френель з успіхом справився з проблемами, які виникли. В основі теорії про поперечні світлові хвилі лежав дослід з інтерференції поляризованого світла. Гіпотезу про зміну густини ефіру в речовині підтвердили Д. Стокс та Д. Релей, як єдину фізично допустиму гіпотезу в рамках пружного ефіру. Спільно з принципом збереження його маси було знайдено наслідок про часткове залучення ефіру тілами, які рухаються, знайдено коефіцієнт цього залучення. Теоретичне припущення було пізніше підтверджено дослідями Д. Ейрі, Л. Фізо, А. Майкельсона.

Потім О. Френель припустив, що на поверхні розділу жива сила падаючого світла рівна сумі живих сил відбитої і заломленої хвилі, і що на цій поверхні існує безперервний рух. О. Френель одержав співвідношення між амплітудами заломленою і падаючою хвилями, відбитої і падаючої хвилі як для коливань перпендикулярних площині падіння, так і для коливань паралельних цій площині. Ці співвідношення ввійшли в науку під назвою формул Френеля. Тут вперше в історії фізики було використано комплексні числа.

Інтуїтивним шляхом О. Френель прийшов до тензорного характеру пружних властивостей, які описуються еліпсоїдом пружності. Побудована вченим хвильова поверхня у двоосних кристалах дала можливість У. Гамільтону зробити один з найважливіших висновків у теоретичній фізиці про явище конічної дифракції, знайденої Х. Ллойдом. У хвильовій теорії О. Френеля найбільш слабкою ланкою було уявлення про пружний ефір. Теорія і моделі ефіру змінювали одна одну, але підготували ґрунт для електромагнітної теорії світла Д. Максвелла.

З іншої сторони подібний ґрунт для електромагнітної теорії підготував М. Фарадей (1791–1867 р.р.). Його наукові уявлення формувались під впливом винайдення вольтова стовпа та відкриття електромагнетизму Г. Ерстедом. Уже Г. Ерстед зрозумів вихровий характер магнітного поля навколо провідника зі струмом. Проте П. Лаплас, Ж. Біо, **Фелікс Савар** (1791–1841 р.р.) і особливо А. Ампер створювали математичний опис явищ магнетизму для центральних сил. Знайдений ним закон взаємодії елементів струмів був підігнаний під концепцію далеко діючих та миттєво діючих сил. За висловом Д. Максвелла А. Ампер став «Ньютоном електрики». Електродинамічні сили не є ньютонівськими. Вони не задовольняють третій закон Ньютона. Закони механіки не зводяться до законів електродинаміки. Імовірно перший це зрозумів М. Фарадей. Він побачив у електромагнітних взаємодіях образи полів, образи складних зв'язків [83, с. 240]. Пошуки доведення двохстороннього характеру зв'язку електрики і магнетизму проводились з 1821 до 1832 року. Було відкрито електромагнітну індукцію. М. Фарадей відразу сформулював фізичною мовою зміст перших двох рівнянь, які були написані Д. Максвеллом через тридцять з лишнім років. «Всі ці результати доводять, що здатність індукувати струми виявляється за колом навколо магнітної рівнодійної або силової вісі так, як розташований за колом магнетизм виникає навколо електричного струму та ним виявляється» [125, с. 57]. На математичній мові це виглядає: $\varepsilon = \int E_{\ell} dl = -k \frac{\partial \Phi}{\partial t}$.

Аналогічно «розташований по колу магнетизм» є циркуляцією магнітного поля або магніторушійною силою M , яка згідно закону Біо і Савара виражається формулою: $M = \int H_{\ell} dl = kI$, де I – сила струму. Звідси М. Фарадей робить висновок про скінченність швидкості поширення електромагнітних взаємодій. Щоб закріпити авторство цих висновків за собою, вчений передав на зберігання в архів Королівського товариства запечатаний конверт з текстом висновків на випадок їх експериментального підтвердження.

Пізніше М. Фарадей приходить до нових висновків про несумісність гіпотези про рідкий чи газоподібний ефір при розгляді поляризації.

Виникає питання чи було відоме М. Фарадею поняття струму зміщення. Для цього краще процитувати самого автора: «Серед різного роду дій, за яких прийнято підрозділяти вчення про електрику, немає, я вважаю, жодного, яке перевершувало б або хоча б було порівнянним з тим, яке було названо індукцією. Індукція грає найзагальнішу роль у всіх електричних явищах, беручи участь, мабуть, в кожному з них, і носить насправді риси щонайпершого істотного і основного начала. Її розуміння є настільки важливим, що без глибшого розуміння її природи не можна, мені здається, значно просунути вперед в дослідженні законів електрики; яким іншим шляхом можна сподіватися зрозуміти ту гармонію або навіть єдність дії, яка безперечна, управляє збудження електрики за допомогою тертя, хімічною реакцією, тепла, магнітного впливу, випаровування і навіть в живому організмі» [124, с. 478].

Щодо звичайної електростатичної, індукції М. Фарадей приходиться до висновку «... що звичайна індукція сама є у всіх випадках дії суміжних частинок і що електрична дія на відстані (тобто звичайна індуктивна дія) відбувається не інакше, як через проміжну речовину» [124, с. 480]. В заперечення Епінусу, Кавендішу, Пуассону, які допускали індукційну дію на відстані, М. Фарадей говорить: «У даний час, я вважаю, що звичайна індукція у всіх випадках є дією суміжних частинок, що полягає в деякого роду полярності, а не є дією частинок або мас на значні відстані» [124, с. 480-481]. Таким чином, М. Фарадей процес індукції мислив як зміщення електричних полярних «сил» або зарядів, яке проходить у кожній частинці, що знаходиться під дією індукції середовища. «Індукція полягає, мабуть, в деякому поляризованому стані частинок, в який їх приводить наелектризоване тіло, що підтримує цю дію, причому у частинок з'являються позитивні і негативні точки або ділянки, розташовані симетрично один відносно одного і до індукуючих поверхонь або частинок» [124, с. 540]. Прямим дослідом з зарядженим циліндром він довів своє твердження. На зовнішній поверхні циліндра завжди індукується заряд, рівний за величиною заряду, внесеному в середину циліндра. Суттєво, що М. Фарадей зближує поняття індукції і провідності: «за своєю природою і дією індукція і провідність, мабуть, однакові» [124, с. 540]. Це було керівним, коли Д. Максвелл ввів поняття струму зміщення.

П.С. Кудрявцев математично думки М. Фарадея зображає так [83, с. 243]. На кожній ділянці індукованого простору проходить зміщення або поляризація електричних зарядів. Природно зробити спробу виміряти індукцію кількістю електричного заряду, перенесеного через одиничну площадку, орієнтовану відповідним чином. Звідси випливає відоме з курсу фізики визначення вектора індукції $D_n = \frac{dq}{dS}$. М. Фарадей експериментально довів теорему, що потік індукції через поверхню циліндра рівний сумарному заряду, який міститься всередині циліндра: $\int D_n dS = q$. Дане положення було узагальнено Д. Максвеллом для будь-якої поверхні та є одним із фундаментальних законів електродинаміки. Звідси для ізотропного діелектрика маємо рівність $D = \epsilon E$. Розвиваючи думки М. Фарадея можна одержати рівняння для густини енергії електричного поля: $w = \frac{\epsilon E^2}{2}$ [83, с. 244-245].

М. Фарадей висунув ще одну важливу ідею про створення будь-якими розрядами магнітного поля. «Незалежно від того, як розряд здійснюється: шляхом провідності через провід із нескінченною швидкістю, шляхом електролізу у відповідності до останнього надзвичайно повільним рухом, або шляхом іскри, або, можливо, навіть за допомогою конвекції, – створювана ним поперечна магнітна дія завжди однакова за характером і напрямком» [124, с. 693]. Таким чином, «розряд у діелектрику» – тобто струм зміщення повинен супроводжуватись виникненням магнітного поля. Остаточна гіпотеза про струм зміщення була сформульована Д. Максвеллом.

Для М. Фарадея характерною є думка про відмінність електричних і магнітних полів. Перед розглядом даної проблеми вчений розглядає відмінність електростатичної та електромагнітної індукції. Ця відмінність полягає у тому, що лінії електричної індукції мають початок і кінець на полярно протилежних зарядах, а лінії магнітної індукції замкнуті. Якщо для вимірювання електростатичної індукції можна скористатись провідною пластинкою і виміряти на її сторонах індукований заряд, то метод вимірювання магнітної індукції повинен бути іншим. Він ґрунтується на законі електромагнітної індукції $\epsilon = \int E_\phi dl = -k \frac{\partial \Phi}{\partial t}$. За

кількістю електрики, яка індукується у котушці, поміщеній у досліджувану область магнітного поля, можна визначити нормальну складову вектора магнітної індукції – $B_n = \frac{R\ell}{4\pi S}$, де R – опір котушки, ℓ – її довжина, S – площа її витка. Для довільного замкнутого провідника $\int B_n dS = \frac{R\ell}{4\pi}$, звідки $\int B_n dS = 0$. Це означає, що вектор магнітної індукції соленоїдальний, тобто, не має джерел, лінії індукції не мають початку і кінця.

Таким чином, дослідження ідеї індукції, яку запропонував М. Фарадей привело до написання чотирьох рівнянь: $\varepsilon = -k \frac{\partial \Phi}{\partial t}$; $M = k'I$;

$\int D_n dS = k''I$; $\int B_n dS = 0$. Ці рівняння можна записати у диференціальній формі. М. Фарадей не написав цих рівнянь, але йому були відомі властивості електричних і магнітних полів, які описують ці рівняння. «Було б надвичайно важливо вирішити питання про те, тотожні чи різні сили цих двох видів і встановити їх дійсне взаємовідношення. Це питання, скоріш за все, цілком доступне досліду і обіцяє велику винагороду тому, хто спробує його вирішити» [124, с. 722]. Потім М. Фарадей підводить підсумок: «Таким чином, я вважаю, вперше встановлений дійсний безпосередній зв'язок між магнітною та електричними силами, і цим зроблено важливе додавання до фактів і міркувань, які допомагають довести, що всі природні сили зв'язані між собою і мають загальне походження» [37, с. 50].

Ідеї М. Фарадея зміг зрозуміти лише Д. Максвелл. У роботі «Про фарадеєвські силові лінії» він виклав уявлення М. Фарадея у математичній формі. Процес зміщення зарядів Д. Максвелл узагальнив і на випадок чистого ефіру. Для цього він ввів векторну величину – зміщення, яке вимірюється кількістю електрики, що зміщується через одиницю площі перпендикулярно силовим лініям поля. Зміну цієї величини з часом Д. Максвелл розглядає як струм, який, як і струм провідності, має магнітну дію. В теорії Д. Максвелла всі струми є замкнутими. Розрядний струм у провіднику, з'єднаному з конденсатором, замикається у діелектрику струмом зміщення [69, с. 342-346].

Д. Максвелл узагальнив і закон електромагнітної індукції й інтерпретував процес індукції як виникнення замкнутих ліній електричного поля навколо змінного магнітного потоку. Ці лінії виникають і у діелектрику і навіть у чистому ефірі. Змінне магнітне поле породжує вихрове електричне поле – таке узагальнення закону електромагнітної індукції. Ці узагальнення виражаються системою чотирьох рівнянь, які носять ім'я Максвелла. Із теорії Максвелла слідує:

- змінне електромагнітне поле поширюється з кінцевою швидкістю, рівною у вакуумі швидкості світла;
- електромагнітні коливання поширюються у просторі є вигляді електромагнітних хвиль;
- електромагнітні хвилі поширюються у нескінченному діелектричному середовищі з скінченою швидкістю, яка залежить від властивостей середовища;
- електромагнітні хвилі є поперечними – коливання електричних і магнітних складових перпендикулярні напрямку поширення хвиль;
- у кожний момент енергія електричного і магнітного полів у даному об'ємі виявляється рівною;
- світло є електромагнітними хвилями;
- електромагнітне поле має лише енергію;
- електромагнітна хвиля повинна давити на пластинку, яка є провідником.

Останній висновок критикувався сучасниками, але Е. Бартоллі, а пізніше Л. Больцман із термодинамічних уявлень довели існування світлового тиску. П.М. Лебедев здійснив постановку дослідів і виміряв експериментально тиск світла. Імпульс електромагнітного поля ввели дещо пізніше Д. Томсон, Л. Пуанкаре та М. Абрагам.

Остаточна теорія Максвелла одержала перемогу після дослідів Г. Герца. У ході розв'язання проблеми Г. Герц розвинув теорію Д. Максвелла і надав рівнянням сучасну форму. «Метою цих дослідів була перевірка основних гіпотез Фарадея-Максвелла, а результат дослідів є просування основної гіпотези цих гіпотез» [37, с. 124].

Практика пішла специфічним шляхом – створено радіо. Антену винайшли Н. Тесла і О.С. Попов, чутливий детектор-когерер побудували Е. Бранлі і О. Лодж. О.С. Попов сконструював практично придатний

радіоприймач (7 травня 1895 р.), Г. Марконі розпочав експерименти з безпровідниковою телеграфією. Так народилась радіотехніка.

Поступово електромагнітного тлумачення стали набувати й інші види матерії. М. Фарадею не судилось наслідувати атомістів, але якраз на його долю випало відкрити закони, які зміцнили атомну теорію речовини і включити атомістику в теорію електрики. Він відкрив закони електролізу і ввів поняття іона. Відкритий М. Фарадеєм факт, що кожен одновалентний іон несе одну і ту ж кількість електрики ясно вказував на атомну структуру електричного заряду. Це добре зрозумів Д. Максвелл, але вважав, що така уява має нездоланні труднощі і не збережеться у майбутньому в теорії електрики.

Пізніше до атомної концепції електрики незалежно повернулися Д. Стоней і Г. Гельмгольц. Для визначення маси і величини заряду вони скористались числом Фарадея і числом Авогадро.

Іншим шляхом вводять атомне уявлення про електродинаміку Д. Томсон. Він намагався вивести рівняння Максвелла методом трубок Фарадея і назвати електротрубку одиницею. Відкриття Д. Томсона і було відкриттям першої елементарної частинки – електрона. Це відкриття пов'язано з вивченням газового розряду, на важливість дослідження якого вказав ще М. Фарадей. У 1879 р. В. Крукс висунув гіпотезу, що наука має справу з четвертим станом матерії – променистим випромінюванням хвильової природи. У 1895 р. Ж. Перрену вдалось довести, що катодні промені несуть електричний заряд. Через два роки Д. Томсон установив, що катодні промені – це заряджені частинки з масою близько 1000 разів меншою атома водню. Ще через два роки Д. Томсон показав, що подібні частинки зустрічаються в явищах фотоефекту (які дослідив О.Г. Столетов) у явищах термоелектронної емісії та входять до складу радіоактивного розпаду (дослідження Беккереля).

Б.Б. Голіцин показав, що термодинамічне випромінювання визначається електромагнітними векторами, які підкоряються рівнянням Максвелла. Звідси можна обрахувати енергію, тиск і температуру. Проти таких висновків виступили О.Г. Столетов і А.П. Соколов. Пізніше такий висновок підтримав і М. Планк. Нові ідеї не завжди розуміли навіть вчені переднього фронту науки.

4.5. Зародження та розвиток основних ідей спеціальної теорії відносності

Проблема системи відліку має початок у грецькій древності. Вона пройшла три стадії розвитку: геометричну, домінуючу до XVII ст.; динамічну, яка після перемоги хвильової теорії світла поширилась на всю фізику; епоху теорії відносності Ейнштейна, яка бере початок у 1905 р.

У геометричну епоху питання системи відліку було безпосередньо пов'язане з питанням про положення і рух тіла. Арістотель і його послідовники віднесли положення тіла до оточуючої його матеріальної субстанції. Йшла суперечка: стосується ця субстанція тіл безпосередньо чи допустимі кінцеві відстані. В цьому випадку було незрозуміло, наприклад, чи можна вважати рухомим прикутий якорем корабель при наявності вітру, остільки вода і повітря навколо нього обновляються, чи він знаходиться в спокої, так як з берега рух не спостерігається.

Згідно К. Птолемея сфера нерухомих зірок, як найбільш віддалених від оточуючих Землю сфер, взагалі немає положення. За нею немає нічого, щоб її оточувало, немає навіть простору [165, с. 73-74]. Але на думку вченого сфера нерухомих зірок повинна мати рух у вигляді добового обертання навколо Землі.

Вказаної непослідовності не уник і М. Коперник при обґрунтуванні системи, названій його ім'ям. Коли він приписує спокій сфері нерухомих зірок і добовий рух Землі навколо осі, то це було всього лише логічним удосконаленням світогляду, бо «за сферою нічого немає». Від цього погляду звільнився лише Д. Бруно і визнав множину світів. За це і ще за підтримку вчення М. Коперника був інквізицією спалений. І.Кеплер не приєднався до такого погляду Д. Бруно. З яких причин – важко сказати.

Все ж ми зобов'язані М. Копернику, що він вказав на систему відліку, початок якої знаходиться в центрі тяжіння нашої сонячної системи, а осі орієнтовані небом на нерухомі зірки.

Заслуга Г. Галілея полягає в наступному: він за допомогою телескопу провів фундаментальні астрономічні спостереження (відкрив планетну систему супутників Юпітера; встановив, що Венера обертається навколо Сонця; Венера, як Земля і Місяць не випромінює світла, а відбиває його); закони руху відносяться не до системи відліку зв'язаною з Землею, а до коперниканської системи відліку. Лише завдяки роботам І. Ньютона стало

ясно, що рух планет можна зрозуміти динамічно тільки на основі системи відліку Коперника. Інші закони природи – оптичні, електричні, термодинамічні тощо – в цій системі знаходять просте формулювання.

Таким чином, питання про систему відліку було розв'язано з практичної точки зору, але не принципово. Не можна було зрозуміти переваги системи відліку Коперника над іншими, наприклад, над системою пов'язаною з Землею. Для подолання цієї трудності І. Ньютон ввів поняття абсолютного часу та абсолютного простору, які давали вірну систему відліку. Л. Ланге (1863–1936 р.р.) обидва поняття характеризував як «примарні» [160], проте вони і зараз продовжують мати місце у світогляді людей. Сумніви в цій ідеї привели до роздумів філософів епохи Ньютона, Лейбніца та Канта.

Таким чином, через 350 років після М. Коперника Л. Ланге завершив лінії розвитку, які беруть початок з М. Коперника.

Тривалий час вчені ще продовжували шукати систему координат, яка б мала переваги перед іншими.

У 1728 р. Дж. Бредлі відкрив явище аберації зірок. Вчений робить висновок, що в астрономічній системі відліку світло поширюється в усіх напрямках з однаковою швидкістю, яку виміряв О. Ремер. Швидкість світла відносно Землі обраховується векторною різницею швидкості Землі. У 1818 р. О. Френель передбачив, а у 1871 р. Дж. Ейрі (1801–1892 р.р.) експериментально підтвердив, що наповнений водою телескоп не впливає на аберацію, а це здавалось парадоксальним. В 1851 р. Луї Фізо визначив швидкість світла у рухомих середовищах. Виникла проблема френелівського коефіцієнта захоплення. Так було покладено початок теорії оптики рухомих тіл. Дослід Фізо тривалий час оцінювали як підтвердження існування ефіру, який пронизує всі тіла. Проте в цьому випадку коефіцієнт Френеля втрачав зміст.

Таким чином, в середині XIX ст. фізичні теорії ґрунтувались на поняттях ефіру, абсолютних величинах часу й координат та відносних величинах руху й швидкості.

Відкриття нових фізичних явищ виявили чергові суперечності, які усувались шляхом введення додаткових ґрунтовних понять для пояснення виявлених властивостей. В кінці XIX – на початку XX ст. стало зрозуміло, що природні явища проявляють дуалізм. На порядку денному вчених

постала проблема: віднайти відмінні від класичних теорії, які були б більш загальними за традиційні. Для цього необхідно було переглянути зміст ґрунтовних понять абсолютних й відносних фізичних величин та ефіру й поля. В цей період особливої уваги набули досліди з визначення швидкості світла, як величини постійної у будь-якій системі відліку.

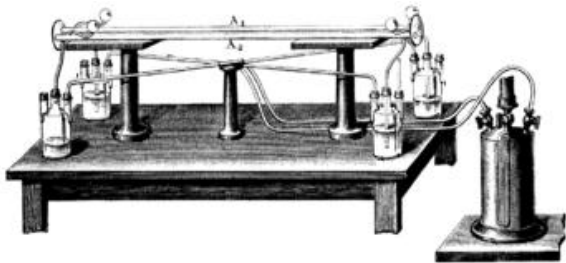


Рис. 90. Експеримент Фізо

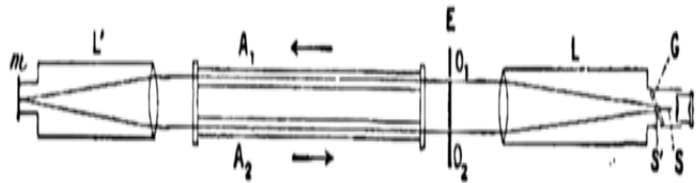


Рис. 91. Експериментальна установка Фізо (1851), де S – джерело, G – роздільник променів, L – лінза, O_1 та O_2 – вузькі щілини, A_1 та A_2 – трубки, через які розповсюджується вода, m – дзеркало.

Швидкість світла – одна з фундаментальних сталих, яка є найважливішою сталою в спеціальній теорії відносності. Цей факт використовувався Т. Юнгом, О. Френелем, Д. Максвеллом, Х. Гюйгенсом, А. Майкельсоном для побудови відповідних теорій.

На початку ХХ ст. було достовірно встановлено факт постійності швидкості поширення світла. З таким висновком А. Ейнштейн погодився ще у молодості (1896 р.): «Цього року в Арау в мене виникло питання: якби можна було погнатися за світловою хвилею зі швидкістю світла, то мали б ми перед собою не залежне від часу хвилеве поле? Таке все-таки здається неможливим» [140, с. 350-351].

У класичній фізиці початку ХІХ ст. вважалось [87, с. 242-254], що світло, як хвильовий процес, поширюється у деякому гіпотетичному середовищі – ефірі. Передбачалось, що систему відліку, в якій ефір є нерухомим, можна вважати абсолютною. Приймалось, що це буде інерційна система в розумінні механіки. До створення Д. Максвеллом електромагнітної теорії світла панувала механічна теорія світла. Ефіру наділяли властивості неймовірно великої пружності та нескінченно малої густини. З рівнянь Максвелла випливало, що швидкість світла c повинна бути інваріантною величиною при переході від однієї інерційної системи відліку до іншої. Це суперечило теоремі додавання швидкостей у класичній механіці. В електромагнітній теорії світла постала проблема вибору такої системи відліку, в якій рівняння Максвелла були б інваріантні відносно перетворень Галілея. Д. Максвелл вважав, що електромагнітні хвилі

поширюються в ефірі, а його рівняння стверджують, що у такій системі відліку ефір знаходиться у спокої. Така система є переважаючою серед інших інерційних систем відліку, в яких має спостерігатись рух ефіру – ефірний вітер. Виявлення його вважалось однією з основних проблем фізики кінця XIX–початку XX ст. На цей час щодо цієї проблеми були відомі різні точки зору геніальних учених-фізиків.

О. Френель вважав, що рухомі тіла не захоплюють ефір, і він вільно проходить через них [132, с. 420-423]. Г. Герц розвивав електродинаміку припускаючи, що ефір повністю захоплюється рухомими тілами [155]. Т. Юнг дав пояснення аберації світла через припущення, що ефір не захоплюється Землею [166, с. 12-48].

Відповідь на це запитання міг дати лише експеримент. Щоб перевірити, чи захоплюється ефір рухомими тілами, Л. Фізо виконав у 1851 р., названий його ім'ям, дослід [56, с. 248-249]. Наслідки дослідів заперечували електродинаміку Герца і підтверджували концепцію Френеля. Постала проблема перевірки теорії Лоренца, в основі якої лежали уявлення про нерухомий ефір. Такі дослідів дали підставу використовувати нерухомий ефір як єдину систему відліку для оптичних і електричних явищ. Якщо ефір абсолютно нерухомий, то під час руху Землі на орбіті має існувати «ефірний вітер». Ж. Бабіне (1794–1872 р.р.) у 1839 р. дослідив вплив руху Землі на явище інтерференції і не виявив цього впливу. З метою розширення знань Американський вчений А. Майкельсон приїздить до Берліна та Парижа. Тут він зустрічається з видатними фізиками Європи, слухає лекції Г. Гельмгольца, знайомиться з найновішими досягненнями. Молодий вчений зацікавився «ефірним вітром». Для перевірки відомого припущення він узагальнив дослідів Ж. Бабіне та Дж. Ейрі й у 1881 р. сконструював інтерферометр і провів унікальні дослідів. Ніякого відносного руху виявити не удалось. У 1884 р. Г.А. Лоренц зробив зауваження до дослідів Майкельсона. Повернувшись до США у 1887 р. А. Майкельсон разом з Е. Морлі повторив дослідів на більш удосконаленому обладнанні. Вчені оцінили результати свого дослідів як доказ повного захоплення ефіру рухомою Землею, тобто доказ того, що «ефірного вітру» не існує. Це означає, що в земній системі відліку швидкість світла у вакуумі не залежить від напрямку його поширення. Тобто, що швидкість світла є абсолютною величиною.

Для пояснення негативного результату досліду Майкельсона-Морлі було висунуто ряд гіпотез. Одна з них належить Г. Лоренцу (1892 р.) [63, с. 201] і Д. Фітцджеральду. Вони повернулись до раніше зроблених припущень, що рухомі тіла відносно нерухомого ефіру зазнають у напрямку руху скорочення лінійних

розмірів в $\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}$ разів. У статті

«Досвід теорії електричних і оптичних явищ у рухомих тілах» вперше зроблено систематичний виклад електронної теорії (1895 р.). Г. Лоренц вводить поняття місцевого часу

$$t' = t - \frac{(\vec{v}\vec{r})}{c^2}$$

. Рівняння електронної теорії Лоренца в остаточній формі були написані у 1903 р. у статті «Електронна теорія» і у книзі «Теорія електронів» [63, с. 203]. Г. Лоренц розвивав вказані гіпотези, для подолання суперечностей між дослідом Майкельсона-Морлі і явищем аберації світла. У 1904 р. Г. Лоренц виводить рівняння перетворень (не зовсім точні) координат для переходу від координатної системи відліку, що знаходиться у спокої, до координатної системи, що рухається відносно першої зі швидкістю v . Ці рівняння докорінно відрізняються від перетворень координат Галілея. Такі висновки робили й інші вчені. Д. Лармор у 1900 р. у книзі «Ефір і матерія» довів, що зв'язок між електричним і магнітним полями у рівняннях Максвелла зберігається, коли встановити зв'язок між координатами рухомої і нерухомої систем у такій формі:

$$x' = \frac{(x - vt)}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{(t - \frac{vx}{c^2})}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

де $\beta = \frac{v}{c}$ (книга була написана у 1898 р. на основі ларморівських статей 1894–1897 р.р. Так вперше в історії фізики були написані перетворення,

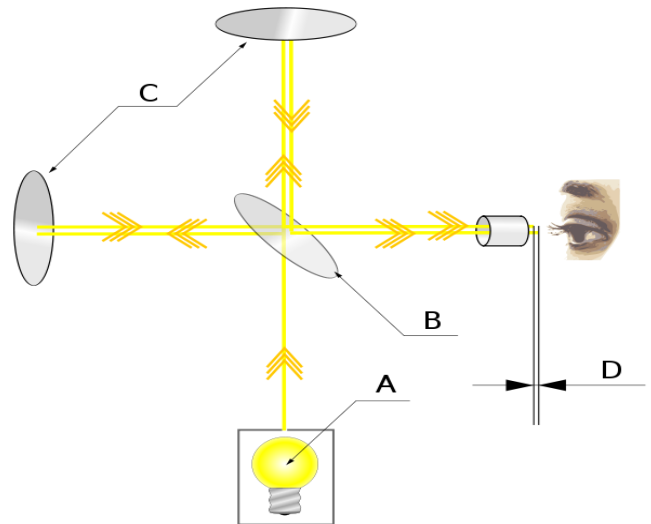


Рис. 92. Схема досліду Майкельсона, де С – дзеркала, В – напівсрібне дзеркало, А – джерело світла, Д – фокусна відстань окуляра

названі перетвореннями Лоренца. Г. Лоренц написав їх у 1904 році ще не зовсім точно. Крім цього, Д. Лармор показав, що швидкість поширення світлової хвилі у рухомому середовищі виражається не формулою $v = \frac{c}{n}$, а більш складною, у яку входить швидкість руху середовища. За 5 років до теорії відносності Ейнштейна Д. Лармор дав релятивістську формулу для складання швидкостей. Таким чином, Д. Лармор повністю розв'язав проблему електродинаміки рухомого середовища, пояснив всі оптичні ефекти: аберацію, дослід Фізо, дослід Майкельсона, підтвердив висновки Г. Лоренца і Д. Фіцджеральда про скорочення розмірів тіл, які рухаються вздовж поширення хвилі.

У 1887 р. В. Фогт теж досить близько підійшов до перетворень Лоренца. В статті про принцип Доплера він, на прикладі коливань пружного середовища, поширив принцип на світло. Користуючись сучасною мовою, можна стверджувати, що В. Фогт ставить питання про коваріантність хвильового рівняння. Він знаходить перетворення координат і часу, які задовольняють це рівняння. Перетворення для координат x , y та z співпадають з перетвореннями Лоренца. Коефіцієнт для t у В. Фогта рівний одиниці і відмінний від лоренцевого.

Розвиток електродинаміки дав фізиці і другий релятивістський результат: взаємозалежності маси й енергії $m = \frac{4E}{3c^2}$ та залежності маси від швидкості $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$. Ці результати були одержані у 1881 р.

Д. Томсоном і надруковані у статті «Про електричний і магнітний ефект, який обумовлений рухом наелектризованих тіл» та Ф. Газенорлем у 1904–1905 р.р.

Все це історичні віхи, які підготували підґрунтя для перегляду змісту ґрунтовних понять фізики та створення спеціальної теорії відносності.

Спеціальна теорія відносності не могла виникнути раніше одержання дослідних даних з електродинаміки рухових середовищ. Їй передували досліди Майкельсона 1881 р., які показали незалежність швидкості світла в деякій системі від інерційного руху цієї системи в ефірі. Таким чином, історичною причиною, яка викликала розвиток СТВ, був розвиток електродинаміки.

На відміну від СТВ квантова теорія виникла із наслідків аналізу експериментів, які показали несумісність емпіричних законів випромінювання з класичними уявленнями про неперервність випромінювання енергії. Стала Планка, яка спочатку була введена як оптична стала, лягла в основу механіки атома, ядра, елементарних частинок. Швидкість світла склала основу макроскопічної механіки.

Теорія відносності надала універсального значення перетворенням координат і часу при переході від однієї інерційної системи до іншої, які були знайдені В. Фогтом, Д. Лармором, Х. Лоренцом. Ці перетворення А. Пуанкаре назвав «перетвореннями Лоренца». Теорія відносності – фізична теорія, яка надає певний фізичний зміст перетворенням і математичним величинам. Але таке пояснення було неможливим на основі теорії пружного ефіру.

У 1892–1893 р.р. Г. Лоренц висунув гіпотезу поздовжнього скорочення розмірів рухомих тіл. Незалежно від нього до такого висновку прийшов Д. Фіцджеральд. Тому гіпотеза дістала назву гіпотези Лоренца-Фіцджеральда. До такого висновку Г. Лоренц прийшов на основі аналізу результатів експериментальних досліджень А. Майкельсона. Можливість подібної зміни розмірів тіл при їх русі відносно ефіру впливає з рівності молекулярних сил, які діють між зарядженими частинками [94, с. 13]. Г. Лоренц застосував до молекулярних сил закон взаємодії рухомих зарядів і одержав скорочення, яке співпадає з результатами дослідів Майкельсона. В 1900 р. Г. Лоренц добре бачить, що гіпотеза скорочення, штучно висунута лише для пояснення експериментальних даних.

А. Пуанкаре висловлює ідею про те, що одержані висновки Г. Лоренцом повинні виходити з загальних принципів. У 1914 році Г. Лоренц писав: «Але я не встановив принципу відносності. Навпаки, А. Пуанкаре отримав повну інваріантність рівнянь електродинаміки та сформував «постулат відносності» [91, с. 193]. Заслуги А. Пуанкаре відмічав і В. Паулі, який вважав, що він заповнив ті «формальні пробіли», які мали місце у Г. Лоренца і висловив принцип відносності в якості загального і строгого положення. **Луї де Бройль** (15.08.1892–19.03.1987 р.р.) вважав, що «в 1904 році, напередодні появи вирішальних робіт А. Ейнштейна з теорії відносності. А. Пуанкаре вже володів усіма найбільш суттєвими елементами цієї теорії» [91, с. 199].



Рис. 93. Луї де Бройль

У статті «про принцип відносності простору і часу» А. Пуанкаре в 1902 році писав: «1. Абсолютного простору не існує, ми знаємо лише відносні рухи... 2. Не існує абсолютного часу. Твердження, що два проміжки часу рівні, саме собою не має змісту, і можна застосовувати його лише умовно. 3. Ми не здібні до безпосереднього сприйняття не лише рівності двох проміжків часу, але і не можемо бути упевненими в одночасності двох подій, що відбуваються в різних місцях. 4. Нарешті сама наша евклідова геометрія – лише свого роду умовна мова. Ми могли б викласти факти механіки, відносячи їх до неевклідового простору, який був б основою менш зручною, але такою ж законною, як і наш звичайний простір. Виклад дуже ускладнився б, але залишилося можливим. Таким чином, абсолютний простір, абсолютний час, навіть сама геометрія не має характеру речей, що обумовлює собою механіку. Можна було б спробувати викласти основні закони механіки на мові, не залежній від всіх цих умов. Тоді, без сумніву, можна було б більше усвідомити, що уявляють собою ці закони самі собою» [91, с. 23].

Принцип відносності у розумінні коваріантності законів електродинаміки відносно до перетворень від нерухомої до рухомої інерційної системи одночасно і незалежно був висловлений А. Ейнштейном у статті «До електродинаміки рухомих тіл» (30 червня 1905 р.) та А. Пуанкаре у статті «Про динаміку електрона» (23 липня 1905 р.). Статтю А. Ейнштейна провідні теоретики відразу помітили. Відчутними були зміни у самому стилі наукового мислення. Статтю А. Пуанкаре майже не помітили і скоро про неї забули. Лише у 1907 р. Г. Мінковський коротко охарактеризував внесок А. Пуанкаре у формування принципу відносності, відновивши історичну наукову справедливість. Значно пізніше у 1921 р. систематичний виклад теорії відносності здійснив у повному огляді літератури з теорії відносності В. Паулі [85]. У російському виданні збірника класичних робіт із теорії відносності стаття А. Пуанкаре була надрукована без скорочень. Роботи А. Пуанкаре та А. Ейнштейна співпадають не лише у часі. Вони виходять

з одних і тих же експериментів А. Майкельсона та теоретичних узагальнень електродинаміки рухомих середовищ Г. Лоренца. На початку статті А. Пуанкаре пише: «З першого погляду здається, що аберація світла і пов'язані з нею оптичні й електричні явища дають нам засіб для визначення абсолютного руху Землі або, точніше, її руху не відносно інших небесних тіл, а відносно ефіру. Вже Френель намагається зробити це, але скоро виявляє, що рух Землі не змінює законів відбивання і заломлення. Аналогічні досліди, як, наприклад, із трубою, наповненою водою, та всі інші, де враховують тільки члени першого порядку щодо величини аберації, дали лише негативний результат, чому незабаром було знайдено пояснення; але і Майкельсон, що вигадав дослід, в якому ставали вже помітними члени, залежні від квадрата аберації, у свою чергу, зазнав невдачу» [91, с. 51].

А. Пуанкаре у статті розвиває ідеї Г. Лоренца: «... результати, отримані мною, узгоджуються у всіх найбільш важливих пунктах із тими, які отримав Лоренц; я прагнув лише доповнити і видозмінити їх в деяких деталях...». Цей вислів стосується фізичної суті проблеми.

У частині застосування математичних понять А. Пуанкаре робить значний крок вперед: вводить поняття «перетворення Лоренца», ґрунтовно розглядає поняття коваріантності рівнянь відносно цих перетворень, показує несумісність концепції П. Ланжевена про незмінність об'єму електрона при поздовжньому скороченні: «Тому слід повернутися до теорії Лоренца; проте, якщо ми хочемо зберегти її, без явних суперечностей, необхідно допустити існування сили, що пояснює одночасне стискання однієї та сталість двох інших осей. Я намагався визначити цю силу і знайшов, що вона може бути прирівняна до постійного зовнішнього тиску, що діє на електрон, який деформується і стискається, робота якого пропорційна зміні об'єму цього електрона» [91, с. 53]. Вчений робить ряд припущень щодо зміни поздовжніх розмірів частинок, що рухаються, які використовуються і нині у математичному апараті теорії відносності.

Він показує: що перетворення Лоренца створюють групу в чотиримірній багатобразності; вводить уявну координату часу; розглядає перетворення Лоренца як повороти у чотиримірному просторі; знаходить інваріанти таких перетворень; розглядає чотиримірну інтерпретацію

принципу найменшої дії; доводить знамениту теорему про додавання швидкостей; одержує точні формули для визначення густини струму, густини заряду, напруженості електричного і магнітного полів; підготував базу для тензорного представлення змінних величин електромагнітного поля.

Як математик, учений мало вникає у питання справедливості цього принципу взагалі. Для нього достатньо, що цей принцип можна постулювати і досліджувати наслідки з нього.

А. Пуанкаре майбутнє фізичної науки бачить таким: «Ми не можемо передбачати, в якому напрямі піде розвиток. Не виключено, що на перший план висуватиметься кінетична теорія газу, яка розвиватиметься, і послужить моделлю для інших теорій. Тоді явища, що спочатку здавалися нам простими, постануть у вигляді результату великого числа елементарних фактів, які зводяться до однієї мети лише законами випадку. Фізичний закон набуває тоді цілком нового аспекту; це вже не буде лише диференціальне рівняння, він прийме характер статистичного закону. Можливо, ми повинні створити абсолютно нову механіку, яку ми лише частково уявляємо, механіку, де інерція зростала б зі швидкістю і швидкість світла була б нездоланною межею. Звичайна механіка, простіша, залишалася б як перше наближення, справедливе для не дуже великих швидкостей, так що нова динаміка включала б стару» [91, с. 43].

У своїй статті А. Ейнштейн узагальнює експериментальні дані та формулює принцип відносності як електромагнітний і оптичний принцип: «... для всіх координатних систем, для яких справедливі рівняння механіки, мають місце ті ж самі електродинамічні й оптичні закони...» [140, с. 34]. До висловленого принципу він додає фізичне припущення про постійність швидкості світла. У Г. Лоренца та А. Пуанкаре зберігається одна привілейована координатна система, відносно якої рухоме тіло має певну швидкість. В А. Ейнштейна у природі немає швидкості відносно ефіру, тому що втрачає зміст поняття ефіру. Це виводить принцип відносності за межі електродинаміки, що в свою чергу приводить до перегляду основ механіки і фізики в цілому. Таким чином, уявлення про субстанційну відносність було вихідним пунктом до нової фізичної картини світу. У Г. Лоренца абсолютна зміна швидкості компенсується абсолютною зміною довжини плеча інтерферометра і не виходить за межі

теорії ефіру. Нові уявлення А. Ейнштейна вимагали перегляду й поняття одночасності.

Герман Мінковський у 1907–1908 роках надав теорії відносності сучасну форму [99, с. 181-203]. Він виходить з того, що, якщо замінити час t уявною величиною $u = ict$, то у перетвореннях Лоренца координати часу і просторові координати виявляться формально симетричними. Тому у всіх законах природи, які не змінюються у перетвореннях Лоренца, час і простір буде вести себе однаково, інваріант групи $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ переходить у $x^2 + y^2 + z^2 + u^2$. Тоді u еквівалентне іншим просторовим координатам, які можна зобразити символом x_ν , де $\nu = 1, 2, 3, 4$. Г. Мінковський пропонує реальність описувати лише чотиримірним просторово-часовим світом. Він пропонує чотиримірний багатобраз назвати «абсолютним світом», а події іменувати «світовими точками», чотиримірні криві – «світовими лініями». Перетворення Лоренца розглядаються як ортогональні лінійні перетворення світових координат і як уявні обертання цих координат у площинах x_1x_4, x_2x_4, x_3x_4 .

Таким чином, Г. Мінковський відкриває дорогу до застосування у теорії відносності чотиримірного векторного і тензорного числення. Загальна теорія векторів і тензорів є теорією інваріантів лінійного ортогонального перетворення тримірних координат. Тоді теорія інваріантів перетворень Лоренца може бути виражена у вигляді чотиримірного векторного і тензорного числення. Таке числення знайшло свій розвиток у роботах А. Зоммерфельда [34, с. 749].

Історія теорії відносності має значний методологічний інтерес для історії фізики. Фізичний і філософський зміст коваріантності рівнянь відносно координатних перетворень полягає у незалежності об'єктивних закономірностей світу від методів їх вивчення, незалежності фізичних об'єктів від способів їх вимірювання. Тому основним об'єктом вивчення наукових закономірностей є пошук нових інваріантів і нових більш загальних груп перетворень. У роботах А. Ейнштейна було наголошено, що лоренц-коваріантність є основною евристичною вимогою до фізичних рівнянь. Після цього фахівці з теоретичної фізики тривалий час займались якраз переформулюванням вихідних рівнянь. Так була створена релятивістська електродинаміка та релятивістська механіка точкових мас і

суцільних середовищ. Узагальнення спеціальної теорії відносності привело до появи сучасної форми тензорної алгебри, і, зокрема, тензорного аналізу. Чотиримірний запис класичної електродинаміки має суттєве історичне значення. Такий підхід розкрив нові, раніше невідомі співвідношення і поклав початок розвитку новітньої електродинаміки. У такій електродинаміці автономне існування магнітного та електричного полів є відносним. Якщо в одній системі відліку розглядається електричне поле, то в іншій існує й магнітне. Подібне об'єднання описується чотиримірним вектором \vec{k}_μ , три компоненти якого складають пондеромоторні сили, а четверта компонента – робота, яка виконується полем у одиниці об'єму. Із існування 4-вектора А. Ейнштейн зробив фундаментальні висновки, які відносяться до взаємозв'язку понять маси і енергії, поняття чотиримірного вектора енергії-імпульсу. Звідси виведено рівняння $E_0 = mc^2$.

Історичний аналіз генезису СТВ показав, що він тісно зв'язаний з логічним аналізом цієї теорії та її фізичним змістом. Теорія А. Ейнштейна відрізняється від гіпотези поздовжнього скорочення розмірів більш загальним характером його постулатів та іншим розподілом на відносні й абсолютні величини. Г. Лоренц не відмовився від класичного ефіру, який заповнює весь простір нерухомого середовища. Геніальна гіпотеза Г. Лоренца була введена штучно лише для пояснення результатів експериментів і не виходила із більш загального. А. Ейнштейн показав, що лоренцеве скорочення є результатом відносного руху двох рівноправних систем і відмовився від поняття ефіру.

Г. Мінковський вивів теорію відносності, виходячи з чотиримірного світу просторово-часових подій, і лоренцеве скорочення в нього випливало із більш загальних принципів і уявлень.

Аналіз історичних еволюцій свідчить, що між досягненнями теоретичної та експериментальної фізики не має лінійної залежності. Після отримання експериментального «імпульсу» теорія має, так званий, «вільний пробіг» для розвитку. Вона розвивається далі на основі теоретичного і особливо математичного аналізу, які дозволяють розкрити внутрішні закономірності проблеми. Загальність і потужність математичного апарату та абстрактних понять теоретичної фізики – результат всієї практики і всієї експериментальної науки в цілому.

Доцільно зрозуміти й історичну причину, чому геніальна робота зі спеціальної теорії відносності А. Пуанкаре мала незначний вплив на розвиток теоретичної фізики і наукової думки того часу. Формалізм чотиримірних перетворень, викладений у статті А. Пуанкаре, значно випередив математичні побудови А. Ейнштейна і навіть Г. Мінковського. Історики-фізики висловили припущення, що вся справа у тому, що А. Пуанкаре будує свою теорію, повністю не відійшовши від класичних уявлень, і не бере на озброєння новітніх, які на той час існували у формі рукописів. Для нього неможливість зареєструвати ефірний вітер – результат умов експерименту і спостережень, а не субстанційної відсутності такого вітру.

На думку Б.Г. Кузнєцова [51, с. 285] постулат відносності Пуанкаре не суперечить принципу відносності Галілея-Ньютона, перетворення Лоренца не суперечать перетворенням Галілея. У А. Пуанкаре немає переконаності, що у загальному випадку перетворення Лоренца є більш точним уявленням руху, ніж перетворення Галілея. Тому вся геніально витончена теорія інваріантів лоренцевих перетворень залишається формальною.

На нашу думку, це не зовсім так. А. Пуанкаре був обізнаний з феноменологічною теорією незмінності швидкості світла, і розділяв основну ідею цієї теорії. Проте, вчений публічно не зробив акцент на постійність світла у різних системах відліку. Чому публічно не зроблено такого акценту – невідомо. Для з'ясування цього моменту необхідно більш детально проаналізувати архів А. Пуанкаре і зробити висновок. У випадку підтвердження припущення про те, що А. Пуанкаре будував свою теорію на основі постійності швидкості світла, він стає в один ряд з А. Ейнштейном з питання створення СТВ.

Якраз нечіткість цього нерідко ставиться в основу того, що його ідея не може бути фізичним еквівалентом теорії інваріантів перетворень Лоренца. Тоді робота А. Пуанкаре розглядається як така, що випередила А. Ейнштейна і Г. Мінковського математичним апаратом й інтуїтивним відчуттям і відстала від їх висновків фізичним змістом. Після того, як постулат про сталість швидкості світла був визнаний у науці і на цій основі Г. Мінковський розвинув ідею чотиримірного простору-часу, висунута А. Пуанкаре концепція інваріантів перетворень Лоренца стала

власне фізичною теорією.

А. Ейнштейн лоренцеві перетворення вивів за рамки рівнянь Максвелла, сутність простору і часу розглянув у загальному аспекті для будь-якої фізичної теорії. Так виникла нова фізична картина світу Лоренца-Пуанкаре-Ейнштейна-Мінковського.

Кожному фізичному твердженню певної епохи відповідає поділ фізичних величин на абсолютні і відносні. У класичній механіці абсолютними поняттями слугують просторові розміри чіткої системи та інтервали часу. Відповідні величини виявились інваріантами координатних перетворень, тобто переходами від однієї координатної системи до другої. Швидкість у класичній механіці є відносною величиною. У Г. Лоренца зміна швидкості компенсується зміною поздовжніх розмірів, а інваріантним є час поширення світла у інерційних системах. Безумовно, у Г. Лоренца кінетично не зображений абсолютний рух, який не вимагає ніяких тіл відліку. Мова йде про кінетично представлений рух відносно ефіру. Тому така теорія не вимагала відмови від основ класичної механіки. У А. Ейнштейна абсолютний характер належить швидкості світла. У цьому власне є та нова уява, що відрізняється від лоренцевої. Це привело до нового поділу фізичних величин на абсолютні і відносні, до нового принципу відносності.

Подальший розвиток СТВ здійснювався двома шляхами: в послідовних пошуках нових інваріантів перетворень Лоренца, тобто, в застосуванні евристичного принципу СТВ до механіки (М. Планк 1905 р.), законів збереження (Г. Льюїс, Р. Толмен 1909 р.); у відкритті більш загальної групи перетворень, відносно яких коваріантні закони, тобто у відшуканні нового евристичного принципу теоретичної фізики. Друге завдання було розв'язане у 1916 р. створенням загальної теорії відносності.

4.6. Успіхи фізики і розвиток природознавства в XIX ст.

4.6.1. Зв'язок фізики з іншими розділами природознавства та галузями життя суспільства

Поділ наук є штучний, умовний, і щільний неминучий зв'язок між ними (особливо між усіма природничими науками) дуже ускладнює їхнє розмежування, але це не є перешкодою, щоб їм бути окремими, самостійними науками. Астрономія, наприклад, щільно зв'язана з

математикою (небесна механіка) і з фізикою (астрофізика), а поступ у розв'язанні астрономічних проблем безпосередньо залежить від успіхів математики та фізики: геологія через фізичну геологію щільно пов'язана з фізикою та хімією, через палеонтологію – з ботанікою та зоологією; фізіологія рослин і фізіологія тварин, маючи кожна свої окремі завдання і методи дослідження, як найщільніше зв'язані з фізикою і з хімією (успіхи фізіології часто йдуть рівнобіжно з поступом органічної хімії) і т.д.; усі ці науки запозичають матеріали одна від одної.

Розвиток географічних ідей середини XIX ст. Перша половина XIX ст. стала епохою видатних успіхів природознавства. Теорія походження видів Ч. Дарвіна була значною мірою обґрунтована на дослідженнях, проведених ним під час кругосвітньої подорожі в 1831–1836 р.р.

Розвиток географічної науки середини XIX ст. пов'язаний в першу чергу з іменами видатних німецьких географів О. Гумбольдта і К. Ріттера. О. Гумбольдт – видатний теоретик природознавства, основоположник порівняльної фізичної географії. У працях О. Гумбольдта покладено початок екологічної географії рослин. Гумбольдт почав створювати вчення про ландшафти. Завдяки працям Гумбольдта формуються кліматологія і біогеографія. Використовуючи дані всього 57 пунктів, він вперше побудував карту ізотерм. Головна праця Гумбольдта «Космос» (1845–1862 р.р.) в 5-ти томах присвячена не тільки географічним явищам – в ній автор прагнув пов'язати явища Землі і Всесвіту. Своє вчення про космос він розділив на дві частини – сидеричну (присвячену небесним явищам) і основну – телуричну, тобто фізичну географію.

Історичний розвиток біологічної науки. Життя на нашій планеті вражає складністю і різноманітністю своїх проявів.

Біологія (від грец. *біос* – життя, *логос* – наука, вчення) – це наука про життя, його форми та закономірності. Остаточне визначення біології як самостійної дисципліни було зроблено в 1890 р. видатним французьким вченим Ж.Б. Ламарком.

Упродовж багаторічного розвитку пізнання навколишнього світу послідовно змінювали і доповнювали один одного різні дослідницькі підходи: спостереження, опис і класифікація, порівняльно-аналітичний, історичний та експериментальний методи. Накопичення фактичного

матеріалу, його опис і розподіл живих форм у систематичні групи, поширення методів дослідження наповнили конкретним змістом уявлення про природу.

Біологія бере свій початок ще з глибокої давності. Описи тварин і рослин, відомості про анатомію і фізіологію людини і тварин були необхідні для практичної діяльності людей.

Перші відомості про живі організми почала нагромаджувати ще первісна людина. Живі організми давали їй їжу, матеріал для одягу і житла. Вже в той час людина не могла обійтися без знань про властивості рослин, місця їх зростання, строки дозрівання насіння і плодів, місця мешкання і звички тварин, на яких вони полювали, хижих і отруйних тварин, які могли загрожувати їх життю. Так поступово збиралися відомості про живих істот. Значний фактичний матеріал про живі організми було зібрано відомим лікарем Давньої Греції Гіппократом (бл. 460–322 р.р. до н.е.). Він описав понад 500 видів тварин. Арістотель цікавився будовою і способом життя тварин, він заклав основи зоології. Першу спробу систематизації знань про рослини зробив давньогрецький природодослідник Теофраст (372–287 р.р. до н.е.). Розширенням знань про будову людського тіла давня наука зобов'язана римському лікарю і природодосліднику Галену (бл. 130–200 р.р. до н.е.), який розтинав мавп і свиней. Його праці впливали на природознавство і медицину протягом кількох сторіч.

Ці погляди, розвинуті вченими епохи Відродження, поклали початок сучасним ботаніці і зоології, анатомії й фізіології та іншим біологічним наукам.

В епоху середньовіччя під гнітом церкви наука розвивалася дуже повільно. Важливим рубежем у розвитку науки була епоха Відродження. Вже в XVIII ст. розвивалися як самостійні науки ботаніка, зоологія, анатомія людини, фізіологія. В XVI–XVII ст. в наукових дослідженнях поряд із спостереженням і описом широко став використовуватися експеримент.

У працях відомих вчених XVI ст. А. Везалія та М. Сервета були закладені основи уявлень про будову кровеносної системи тварин. Це підготувало велике відкриття XVIII ст. – вчення про кровообіг, створене англійцем У. Гарвеєм (1628 р.). Воно було засноване на кількісних

вимірюваннях і застосуванням законів гідравліки. Важливу роль у розвитку біології відіграв винахід мікроскопа. З його допомогою відкрився світ найдрібніших живих істот, тонка структура клітини. Так, Р. Гук в Англії (1665 р.) виявив під мікроскопом клітинну будову корку, А. Левенгук у Нідерландах (1674–1677 р.р.) спостерігав бактерії та ін.

А.Лавуазьє та інші французькі вчені з'ясували роль кисню в диханні тварин й утворенні тваринного тепла (1787–1790 р.р.). Наприкінці XVIII ст. італійський фізик Л. Гальвані відкрив «тваринну електрику», що призвело в подальшому до розвитку електрофізіології.

Т. Шванн (1839 р.) спираючись на дані мікроскопії рослинних і тваринних об'єктів, виконаних ним самим і його попередниками, у тому числі М. Шлейденом (1838 р.), сформулював клітинну теорію. Основне її положення полягає у визнанні клітини як елементарної одиниці будови всіх органів і частин рослин та тварин. Ця теорія стала вирішальним доведенням єдності структурної організації всього живого і спільності походження рослинного та тваринного світу. Клітинна теорія стимулювала наукову розробку теорії еволюції та була високо оцінена вченими, які поставили її в один ряд з такими відкриттями XIX ст., як закон збереження матерії й енергії і теорія еволюції Ч. Дарвіна.

Удосконалення світлового мікроскопа і техніки мікроскопічних досліджень до кінця XIX ст. значно розширило пізнання тонкої структури клітини.

Історичний розвиток хімічної науки. Хімія – одна з галузей природознавства, предметом вивчення якої є хімічні елементи (атоми), що утворюються ними, прості і складні речовини (молекули), їх перетворення і закони, яким підкоряються ці перетворення.

На сучасному етапі зіткнення хімії з іншими науками породжує специфічні області взаємного їх проникнення. Так, області переходу між хімією і фізикою представлені фізичною хімією і хімічною фізикою. Між хімією і біологією, хімією і геологією виникли особливі граничні області – геохімія, біохімія, біогеохімія, молекулярна біологія. Найважливіші закони хімії формулюються на математичній мові, і теоретична хімія не може розвиватися без математики. Хімія надавала і робить вплив на розвиток філософії і сама випробовувала і випробовує її вплив.

Як область практичної діяльності хімія вирушає корінням у глибоку старовину (Єгипет, Індія, Китай і ін. країни). Задовго до нашої ери людина познайомилася з перетвореннями різних речовин і навчилася користуватися ними для своїх потреб. Одна з прадавніх гілок хімії – металургія. За IV–III тис. років до н.е. почали виплавляти мідь з руд, а пізніше виготовляти сплав міді з оловом (бронзу). У II тисячолітті до н.е. навчилися отримувати з руд залізо сиродутним процесом. За 1600 років до н.е. почали застосовувати для фарбування тканин природну фарбу індиго, а дещо пізніше – пурпур і алізарин, а також готувати оцет, ліки з рослинних матеріалів та інші продукти, вироблення яких пов'язане з хімічними процесами. До витоків хімії відносяться альтернативні у той час атомістичне вчення й учення про елементи-стихії древньої натурфілософії.

В III–IV ст. н.е. в Александрії зародилася алхімія, що визнавала можливим перетворення за допомогою так званого філософського каменя неблагородних металів у благородні – золото і срібло. Головним у хімії цього періоду було спостереження окремих властивостей речовин і пояснення їх за допомогою субстанції, яка нібито входить до складу цих речовин.

Починаючи з епохи Відродження у зв'язку з розвитком виробництва все більше значення в алхімії став набувати виробничий і взагалі практичний напрям: металургія, склороблення, виготовлення кераміки і фарб (праці Бірінгуччо, Р. Агріколи, Б. Палісси та ін.). Виник особливий медичний напрям – ятрохімія (Т. Парацельс, Я.Б. ван Гельмонт та ін.). Ці два напрями характерні для етапу практичної хімії. XVI – першої половини XVII ст., який безпосередньо підвів до створення хімії, як науки. У цей період були накопичені навички експериментальної роботи і спостережень в області хімії, зокрема розроблені та вдосконалені конструкції печей і лабораторних приладів, методи очищення речовин (кристалізація, перегонка й ін.), отримані нові хімічні препарати. На початку II половини XVII ст. Р. Бойль довів неспроможність алхімічних уявлень, дав перше наукове визначення поняття хімічного елементу і тим самим вперше підняв хімію на рівень науки. Процес перетворення хімії у науку зайняв більше ста років і завершився відкриттями А.Л. Лавуазьє. Перша теорія в хімії – теорія флогістона (у її основі лежало визнання особливого гіпотетичного початку горючості – флогістона), хоча і була помилковою, проте узагальнила широкий круг фактів, горіння, що

торкалися, і випалення металів. З другої половини XVII ст. став швидко розвиватися хімічний аналіз, спочатку – якісний (починаючи з Бойля), а з середини XVIII ст. – кількісний (починаючи з М. Ломоносова і Дж. Блека).

В 1748 р. Ломоносов і пізніше Лавуазьє відкрили закон збереження ваги (маси) речовин при хімічних реакціях. Створенням кисневої теорії Лавуазьє, за словами Ф. Енгельса «... вперше поставив на ноги всю хімію, яка в своїй флогистонній формі стояла на голові» [70]. В кінці XVIII ст. хімія остаточно придбала межі справжньої науки.

Хімія XIX ст. характеризується розвитком хімічної атомістики. Атомне учення в XVII-XVIII ст. розроблялося переважно з суто абстрактної, механістичної точки зору. Але вже М.В. Ломоносов близько підійшов до додатку атомної гіпотези до завдань хімії. Протягом перших двох третин XIX ст. в хімії сформувалися два її фундаментальних поняття – атомної ваги і валентності, або «атомності»; пізніше (1869 р.) Д.І. Менделєєвим був розкритий зв'язок між ними. У 1803 р. Дж. Дальтон вивів з ідей атомістики кратних відношень закон, а потім (1804 р.) – підтвердив його експериментально. Уявлення про молекулу та її відмінність від атома висунули А. Авогадро (1811 р.) й А. Ампер (1814 р.), але воно тоді не було прийняте хіміками. І.Я. Берцеліус на великому експериментальному матеріалі підтвердив закон кратних стосунків Дальтона, розповсюдив його на органічні сполуки, опублікував (1814 р.) таблицю точніших, ніж в Дальтона, атомних ваг 46 елементів і ввів нові хімічні знаки. Спираючись на перші дані про існування зв'язку між електричними і хімічними процесами, Берцеліус висунув «дуалістичну» теорію (1812–1819 р.р.), згідно якої хімічні взаємодії обумовлені дією електричних сил, оскільки допускалося, що в кожному атомі, в будь-якому атомному угрупованні є два електричні полюси. На зміну дуалістичної теорії прийшла унітарна (молекулярна) теорія Ш.Ф. Жерара.

В 1852 р. Е. Франкленд, вивчаючи металоорганічні сполуки, заклав основи вчення про валентність. Він показав, що атоми елементів володіють певною «сполучною силою, задовольняючись одним і тим же числом атомів, що приєднуються». За одиницю валентності була прийнята валентність водню. Пізніше Ф.А. Кекуле ввів поняття про сполуки типу метану; з цього виходило, що атом вуглецю – чотирьохвалентний; він же

висловив припущення (1858 р.), що атоми вуглецю можуть з'єднуватися в ланцюг. У тому ж році А. Купер вперше склав графічні формули органічних сполук, виходячи з того, що атом вуглецю чотирьохвалентний. Проте Кекуле не зумів ще повністю здолати обмеженість «типових» переконань. Це зробив А.М. Бутлеров (1861 р.), створивши будову хімічної теорії, згідно якої хімічні властивості речовини визначаються складом і будовою молекул, а реакційна здатність залежить від того, в якій послідовності атоми зв'язані в даній молекулі, а також від їх взаємного впливу.

Перший міжнародний конгрес хіміків в Карлсруе (1860 р.) чітко розмежував поняття атома, молекули, еквіваленту, що сприяло подальшому розвитку хімії. У 1859–1861 р.р. вона збагатилася високодосконалим методом спектрального аналізу, завдяки чому вдалося виявити присутність деяких хімічних елементів у складі небесних тіл; був встановлений зв'язок між фізикою (оптикою), астрономією і хімією.

У міру відкриття нових хімічних елементів все гостріше відчувалася необхідність їх систематизації. У 1869 р. Д.І. Менделєєв виявив їх взаємний зв'язок: він створив Періодичну систему елементів і відкрив закон (Періодичний закон Менделєєва), що лежав в її основі.

У міру прогресу фізики і хімії встановлювалися основні поняття і закони, які, з одного боку, поставили на вищий рівень обидві ці науки, а з іншого – слугували основою для становлення фізичної хімії, зародження окремих галузей якої почалося ще в кінці XVIII ст. – першій половині XIX ст. У дослідженні загальних закономірностей керування хімічними процесами виявилася украй зацікавленою і хімічна промисловість, що досягла значних успіхів до 80-х рр. XIX ст.

Вивчення теплових ефектів хімічних процесів отримало міцну основу після відкриття Р.І. Гессом (1840 р.) основного теплового закону хімічних процесів. У II половині XIX ст. велика робота з визначення теплоти хімічних реакцій була виконана П. Бертло, Х. Томсоном, Н. Бекетовим та ін.; вона завершилася до кінця XIX ст. створенням одного з розділів фізичної хімії – термохімії. З виникненням термодинаміки і розвитком термохімії в тісному зв'язку з останньою в II половині XIX ст. починає розвиватися хімічна термодинаміка, що вивчає енергетичні ефекти, якими супроводжуються хімічні процеси, саму можливість, напрям і межі таких

процесів та інші термодинамічні явища у фізико-хімічних системах (праці Дж. Гіббса, Я. Вант-Гоффа, А. Ле Шательє і ін.).

Успішно початі Р. Деві електрохімічні дослідження отримали кількісну завершеність в працях М. Фарадея, що відкрив (1833–1834 р.р.) закони електролізу.

Одночасно розвивалося учення про розчини, яке збагатилося результатами досліджень Вант-Гоффа, присвячених розбавленим розчинам.

Вже на початку XIX ст. були отримані перші відомості про прискорення хімічних реакцій під дією невеликих кількостей деяких речовин. Такі процеси Е. Мічерліх назвав контактними (1833 р.), а Берцеліус – каталітичними (1835 р.).

З II половини XIX ст. розвивається вчення про швидкості хімічних реакцій і хімічну рівновагу.

Світова медицина та фармація у XVIII-XIX ст. Кінець XVIII і початок XIX століття характеризується зростанням науково-технічної революції, що позитивно впливає на рівень виробничих сил. Про це свідчить впровадження в промислове виробництво пари, винахід силових машин, верстатів. Ці зрушення відбулися внаслідок прогресу в області точних наук, фізики, хімії, природничих наук. Особливий вплив на розвиток природознавства, медицини і фармації справили три великі природничо-наукові відкриття.

1. Закон про збереження і перетворення енергії. Він посприяв більш повному розумінню питань обміну речовин, їх механізму та ролі в живих організмах за їхнього різного стану (Лавуазьє, 1773 р.).

2. Єдність кліткової будови тваринного і рослинного організму. (Закон сформований ботаніком Т. Шлейдером та лікарем Т. Шванном, 1859 р.).

3. Еволюційне вчення Чарльза Дарвіна. Праця «Про походження видів», 1859 р., розкрила причини різноманітності організмів, пристосування їх до умов існування.

Розвиток фізики та інших природничих наук сприяє тому, що медицина і фармація все більше набуває характеру природничо-наукових дисциплін. Їхній розвиток набуває експериментального характеру.

Особлива увага надається дослідженням з анатомії людини. В Лейденському університеті (Нідерланди) проф. Альбінус збагатив

анатомію людини малюнками, виконаними з виключною художньою досконалістю (перший анатомічний атлас). Професор Амстердамського університету Фредерік Рюйш особисто підготував унікальну колекцію музейних експонатів і створив перший анатомічний музей.

Як наука і предмет викладання, анатомія виділилась в окрему самостійну дисципліну на початку XIX ст. До того вона об'єднувалась з фізіологією, патологією і вивчалась в тісному зв'язку з хірургією. Д. Морганьї в 1761 р. видає 12-томну працю «Про місце знаходження та причини хвороб». Своїми дослідженнями Д. Морганьї започаткував патологічну анатомію, яка стала невід'ємною частиною клінічної медицини. Крім того, це була перша наукова класифікація хвороб.

В XVIII-XIX ст. відбулось становлення фізіології як самостійної фундаментальної науки. Виникла нагальна потреба у з'ясуванні механізмів процесів, які обумовлювали здоров'я та їхні хвороби.

Серед основоположників фізіології чільне місце займає німецький природознавець Йоганс Мюлер. В 1833 р. він сформулював основні положення рефлекторної теорії, яка знайшла подальший розвиток у працях російських фізіологів Івана Сеченова та Івана Павлова.

В результаті успіхів у дослідженні функцій центральної нервової системи, кровообігу, органів травлення, розробки рефлекторної теорії, методик оперативного втручання, фізіологія стала сформованою галуззю природознавства і невід'ємною частиною клінічної медицини. В складі лікарень почали створювати клініко-фізіологічні лабораторії.

В XIX столітті формується самостійна наука мікробіологія. Її історія розвитку має два періоди: емпіричний та експериментальний. Початок експериментального періоду пов'язаний з відкриттями видатного французького вченого-хіміка та мікробіолога Луї Пастера (1822–1895 р.р.). Він є засновником наукової мікробіології та імунології.

Велике значення для розвитку медичної мікробіології мали відкриття німецького бактеріолога Роберта Коха (1843–1910 р.р.), лауреата Нобелівської премії.

Досягнення науково-технічної революції та фундаментальних наук обумовили поступ практичної медицини, починаючи з методики дослідження хворих. Кінець XVIII та I половина XIX ст.

характеризуються визначними відкриттями діагностичних методик. В II половині XIX ст. обидва методи діагностики швидко вдосконалювались.

Завдяки досягненням фізики, з'явилися перші освітлювальні та оптичні прилади. Око лікаря отримало можливість розглядати процеси у внутрішніх органах живої людини (цистоскоп, гастроскоп, бронхоскоп).

Завдяки розвитку органічної хімії удосконалювались лабораторні дослідження. З'явилась експериментальна фармакологія, яка на основі фізіологічних методів встановлювала дозовану дію препаратів рослинного та синтетичного походження. Завдяки мікробіології, лікувальний арсенал почав поповнюватись ліками біологічного походження (вакцини, сироватки).

Розвиток хімії став поштовхом для пошуку знеболювальних речовин та використання їх у медицині. Завдяки цим відкриттям хірурги отримали можливість більш спокійно, без поспіху, оперувати. Після відкриття наркозу і розробки методів асептики та антисептики хірургія за декілька десятиріч досягла таких значних практичних результатів, яких не знала за всю свою попередню багатовікову історію.

З розвитком фізики, хімії, фізіології, мікробіології та інших природничих і технічних наук безпосередньо пов'язане виникнення наукової гігієни – науки про здоров'я. Розвиток промисловості обумовив і нову патологію, раніше невідому, під впливом несприятливих умов праці та побуту. В зв'язку з цим у II половині XIX ст. починаються дослідження з промислової санітарії.

Ботаніка та хімія завжди впливали на розвиток фармації. Зі свого боку фармація сприяла прогресу цих дисциплін. Так, в епоху середньовіччя за своєю структурою аптеки працювали як хімічні лабораторії. В цих лабораторіях отримала свій початок методика хімічного аналізу неорганічних речовин. Отримані результати використовувались як для ліків, так і, безпосередньо, для хімічної науки. Фармацевти сприяли розвитку аналітичної хімії.

Розвинулась фітохімія. З часів Галена не припинялись роботи лікознавців, спрямовані на вилучення з рослинних матеріалів тієї частини, яка особливо важлива в фармацевтичному відношенні.

В XIX столітті наукова робота з фармації здійснювалась в багатьох наукових центрах Європи.

4.6.2. Відкриття Д.І. Менделєєвим Періодичного закону хімічних елементів і його значення для розвитку фізики і хімії

В історії розвитку науки відомо багато великих відкриттів. Але деякі з них можна співставити з тими, що зробив Менделєєв – найвидатніший хімік світу. Хоча із часу відкриття його закону пройшло багато років, ніхто не може сказати, коли буде до кінця зрозумілий весь зміст знаменитої «таблиці Менделєєва».

За словами самого Дмитра Івановича Менделєєва, відкриттю Періодичного закону сприяло нагромадження «до кінця 60-х років таких нових відомостей про рідкісні елементи, які відкрили їхні різнобічні зв'язки між собою й іншими елементами». Можна перелічити й ряд інших даних, які доповнювали уявлення про подібність елементів і їхніх властивостей: вивчення ізоморфізму, введення поняття про валентності, розробка нових способів визначення атомних мас, обговорення гіпотези Праута й ін. Дійсно, уже в п'ятдесяти – шістдесяти роки ХІХ ст. з'явилося понад десятків спроб знайти систему елементів, що заслуговують на увагу.

Спроби попередників Д.І. Менделєєва класифікувати хімічні елементи. Все частіше в деяких роботах з'являються думки про необхідність класифікації хімічних елементів. Так, у роботі А. Беренфельда вказується, що серйозне значення має вивчення рідкісних елементів: «... вони усе більше й більше заповнюють пробіли між відомими... тілами природи й допомагають скласти з цих тіл безперервний ряд, у якому всякий елемент мав би своє певне місце». Особливо цікава щодо цього дисертація Н. Алишевського (1865 р.), що писав: «Останнім часом при величезному достатку матеріалів у хімії все більше й більше проявляється прагнення систематизувати, групувати набуті факти. Сучасні хіміки прийшли до висновку, що багато хімічних елементів, досить різні за своїми зовнішніми фізичними властивостями, у своїх хімічних функціях дуже подібні, навіть тотожні між собою». І ще: «Якщо... природні групи встановляться в неорганічній хімії для всіх, поки ще розрізнених, хімічно неподільних тіл, тоді вивчення реакцій їх полегшиться найвищою мірою, а разом з тим з'явиться можливість зробити ті висновки, установити такі закони, які дотепер були часткою тільки однієї органічної хімії».

Сам Н. Алишевський провів порівняння деяких властивостей на основі положення елементів у їхніх природних групах.

Але якщо рівень знань епохи об'єктивно визначив можливість наукового вирішення проблеми, то від рівня знань ученого і його світогляду залежало перетворити цю можливість у дійсність. Це не випадково вдалося здійснити Менделєєву.

Відкриття Д.І. Менделєєвим Періодичного закону не було несподіваним і випадковим; воно виявилось закономірним завершенням певного етапу пізнання природи, якісним стрибком у розвитку людських знань про речовину та її перетворення.

Історія науки знає багато важливих винаходів, але вирішальне значення як для подальшого систематичного пізнання природи, так і для діалектико-матеріалістичного розуміння різних природних явищ мало відкриття закону збереження маси речовини, законів атомістики, Періодичного закону, створення теорії будови атома. Кожне з цих великих відкриттів народжувалось у лоні попередньої до нього теорії та на її базі.

Закон збереження маси речовини був тією основою, на якій став можливим розвиток законів хімічної атомістики (вчення про будову речовини) і створення кінетичної теорії газів. Закони атомістики дали поштовх до глибокого розуміння хімічних перетворень, поєднуючи кількісну і якісну їх характеристику.

Наслідком застосування законів атомістики до вивчення хімічних процесів стало сформування теорії хімічної будови речовин О.М. Бутлерова в органічній хімії й відкриття Періодичного закону хімічних елементів – у неорганічній.

Перший міжнародний конгрес хіміків (1860 р.) схвалив атомно-молекулярну теорію, яка відкрила широкі перспективи розвитку органічної та неорганічної хімії. В 60 роках ХІХ століття з метою більш точного визначення атомної маси елементів виконується багато цікавих аналітичних і синтетичних досліджень, які сприяли дальшому розробленню методів хімічного аналізу. Розвиток хімічного аналізу у свою чергу привів до відкриття нових хімічних елементів. Загальна кількість відомих хімічних елементів у цей час досягла 65.

Ще в перших десятиріччях ХІХ ст. у науці панувала думка про те, що хімічними елементами є такі речовини, які вже далі, при хімічному

аналізі, не розкладаються. Хоч визначення елемента як останньої грані хімічної подільності сполук і давало можливість виділити менш складні тіла аналітичним шляхом, але воно мало значний недолік: елементи ставилися в залежність від уміння дослідників розкладати хімічні сполуки. Саме тому до числа елементів могли бути причислені сполуки, які дуже важко розкласти широко доступними методами. У зв'язку з цим істотною була постановка питання: як бути з гранями подільності речовин на елементи та складні тіла, скільки всього повинно бути елементів і яким законам вони підлягають.

Ці питання висувались з усією гостротою хіміками й на них дав відповідь новий закон хімії – Періодичний закон, який не тільки об'єднав усі відомі хімічні елементи в одну систему, але й розкрив саме поняття «хімічний елемент».

Значну роль у розумінні поняття «хімічний елемент» відіграла атомно-молекулярна теорія, яка порівнювала елемент з типом атомів, що характеризується певною масою (атомна маса) і відповідними властивостями. Згідно з Періодичним законом, крім атомної маси, характерною ознакою елемента є його положення в системі елементів і, отже, його відношення до інших елементів. Ця ж остання ознака визначення поняття «елемент» могла бути прийнята за основу лише тому, що Періодичний закон дав основу суто наукової класифікації елементів.

З історії хімії відомо, що першу спробу класифікації елементів зробив великий французький вчений А. Лавуазьє, який ділив елементи за дуже примітивним принципом на метали й не метали. Далі цей поділ відстоював шведський вчений Я. Берцеліус, користуючись при цьому своїм правилом електрохімічного дуалізму (що допускає лише сполучення елементів з їх різними електричними зарядами – позитивним і негативним). Ця перша класифікація елементів, що бере свій початок з кінця XVIII ст., при всій своїй обмеженості не позбавлена логічної основи. Справа в тому, що й пізніше і навіть тепер ми користуємось певним рядом ґрунтовних ознак, які характерні металам, для відповідного опису властивостей того або іншого елемента. Разом з тим вся багатогранність хімічних перетворень не може бути зведена до двох типів ознак – металевої й неметалевої. Саме тому вже в перших десятиріччях XIX ст. робляться спроби більш досконалої класифікації елементів.

В XIX ст. у зв'язку з розкриттям подібності у властивостях багатьох елементів дослідники починають шукати певний взаємозв'язок, якому повинні підкоритись всі елементи. Цікавою в цьому відношенні була спроба німецького вченого Й.В. Деберейнера, який звернув увагу на існування ряду потрійних аналогій серед хімічних елементів. Він проаналізував перехід від одиничних зв'язків до особливих, але не піднявся у своєму дослідженні до розкриття загального взаємозв'язку між елементами. В опублікованій в 1829 р. роботі Й.В. Деберейнер сформулював правило тріад, згідно якого наводиться кілька рядів подібних елементів; між трьома спорідненими елементами в кожному цьому ряді існує залежність, у якій атомна маса середнього елемента є середнім арифметичним атомної маси більш легкого й більш важкого елементів. Наприклад: елемент літій має атомну масу 6,94, а калій – 39,10. Обчислення атомної маси Натрію слід проводити так: $(6,94 + 39,10) / 2 = 23,02$ – атомна маса Натрію.

Але Деберейнер не зміг згрупувати всі елементи в тріади. Він виділив лише такі тріади: Літій, Натрій, Калій; Кальцій, Стронцій, Барій; Фосфор, Арсен, Стибій; Сірка, Селенів, Телур; Хлор, Бром, Йод.

Відкрите ним часткове правило не говорило нічого про можливість наукового передбачення, а отже, й не змогло відповісти на ті питання, що висувала хімія середини XIX ст.

Ідея Деберейнера одержала розвиток у дослідженнях М.І. Петтенкофера, який звернув увагу на те, що хімічні еквіваленти подібних між собою елементів відрізняються частіше всього на числа, кратні 8. Таблиця Петтенкофера включала вже 18 елементів. Класифікаційний принцип Деберейнера - Петтенкофера був підтриманий працями Ж.Б. Дюма, який поділив всі відомі елементи на шість груп, що включали споріднені елементи: Водень, Фтор, Хлор, Бром; Кисень, Сірка, Селеній; Азот, Фосфор, Арсен; Вуглець, Силіцій, Бор. Дюма відмічав, що атомна маса і хімічні властивості середніх елементів є немовби середнім арифметичним властивостей і атомної маси крайніх елементів.

Подібні спроби класифікації були також зроблені рядом інших вчених. У 1857 р. Є. Ленсен створив класифікацію елементів, у якій було об'єднано двадцять тріад одночасно. Окремі тріади в Ленсена були представлені поодинокими елементами, іноді двома.

Цікаву класифікацію, що давала вказівку на споріднення елементів за походженням, створив французький геолог Б. де Шанкуртуа. В 1862 р. він розташував всі елементи в порядку зростання їх атомної ваги за висхідною спіраллю, обернутою на поверхні циліндра (під кутом 45° до основи), поділеній шістьнадцятьма вертикальними лініями. Кожний наступний елемент займав місце в точці перетину спіралі з вертикальною лінією. Завдяки цьому в багатьох випадках подібні елементи розміщувались вздовж вертикалі.

В 1863 р. англійський хімік Дж. Ньюлендс помітив, що при послідовному розташуванні елементів у ряд відповідно до зростання їх атомних ваг (еквівалентів), кожний восьмий елемент повторює властивості першого. Він виділив сім таких груп (октав). Але й у цьому випадку елементи розташовувались не закономірно, а випадково, підганялись під емпіричне правило й досить часто схожі елементи не потрапляли в один ряд, і навпаки, відмінні за властивостями елементи знаходились один від іншого через сім на восьмому місці. Отже, і правило Ньюлендса не могло поширитись на всі елементи, оскільки в його основі лежала механістична ідея найпростішого й різкого розподілу елементів за групами.

Можна було б вказати й на спробу класифікації елементів, зроблену англійським ученим В. Одлінгом (1857 р.), який спочатку вважав за доцільне розбити всі відомі елементи на 13 груп (головним чином за тріадами), а пізніше (1864 р.) намагався побудувати систематику хімічних елементів за зміною атомної маси.

В 1864 р. німецький хімік Л. Мейєр опублікував схему, у якій елементи були розбиті на шість груп за ознакою однакової валентності. Він помітив, що в схожих елементів з однаковою валентністю атомна маса має однакову різницю.

Але класифікаційний принцип, в основу якого була покладена валентність, не міг привести до відкриття взаємозв'язку між всіма елементами, оскільки він не допускав змінного характеру валентності. У таблиці Л. Мейєра часто була відсутня аналогія у вертикальних стовпчиках елементів. Вона відображала в основному ті аналогії, на які вже вказував В. Одлінг (1857 р.), і значно уступала принципам, якими керувались Шанкуртуа й Ньюлендс.

В 1870 р. Л. Мейєр вдруге запропонував таблицю, де всі елементи було розподілено вже на 9 колонок; у пояснювальному тексті він навіть говорив про хімічну періодичність. Але ця робота Л. Мейєра була виконана на рік пізніше повідомлення Менделєєва й носила на собі вплив останнього. Л. Мейєр в слід за Ж. Дюма й Д.І. Менделєєвим давши графічне зображення залежності атомних об'ємів елементів від величини атомної ваги, яку досить наочно ілюструвало існування періодичності властивостей елементів.

Таким чином, уже в 50-60 роках ХІХ століття багато хіміків-дослідників звертаються до проблеми систематики елементів, роблять спроби знайти загальну залежність між елементами. Проте вони не зуміли повністю розкрити таку залежність і їм не вдалося знайти об'єктивний закон, що лежить в основі взаємозв'язку між хімічними елементами.

Кожний об'єктивний закон є найбільш загальною й високою в порівнянні з причиною й наслідком формою зв'язку, що характеризує суть явищ. Розкриваючи причинно-наслідкові відношення між суттю явищ, закон вказує на загальність їх у межах певних форм руху. Виступаючи як необхідний, суттєвий, внутрішній відносно стійкий зв'язок предметів і явищ у їх русі, всякий закон природи дає можливість відкривати нові факти, становить основу наукового передбачення.

Висновки з систематики елементів, які зробили попередники Д.І. Менделєєва, не відповідали вимогам наукового розуміння закону. Дослідники, які, здавалось, могли відкрити Періодичний закон, не зрозуміли його суті. Про це говорило перш за все ставлення одного з цих учених – Л. Мейєра до висновків, зроблених Д.І. Менделєєвим. Л. Мейєр віднісся до висновків з Періодичного закону як до таких, що ґрунтуються на хитких принципах, а запропоновану Д.І. Менделєєвим зміну атомної маси деяких елементів він вважав передчасною. І хоча Л. Мейєр після відкриття Д.І. Менделєєвим Періодичного закону теж говорив про періодичну залежність властивостей, проте суті закону він так і не зрозумів.

Попередники Д.І. Менделєєва в галузі класифікації елементів не змогли відкрити Періодичного закону з двох причин: по-перше, всі вони зосереджували увагу на правилах класифікації, а не на законі, що повинен визначити природу цієї класифікації, і, по-друге, їх метод дослідження був

метафізичним. Формальна логіка, застосована як основний метод пізнання, призводила до поділу елементів на відірвані одна від однієї групи, не давала можливості вченим побачити за подібністю відмінності, зблизити протилежні за своїми властивостями елементи.

Всі попередні спроби класифікації вдало охарактеризував Д.І. Менделєєв. Він указував на односторонність методів аналізу відношень між елементами й говорив про те, що попередні системи були штучні, бо їм не вистачало твердих об'єктивних принципів. У той же час Д.І. Менделєєв не раз підкреслював, що всі попередні класифікації мали велике значення, бо в них зернами нагромаджувались необхідні хімічні знання про кількісні та якісні зміни властивостей елементів, про подібність елементів певних груп, які стали передумовою відкриття Періодичного закону.

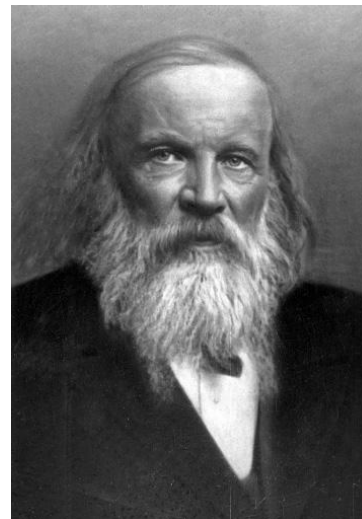


Рис. 94. Дмитро Іванович Менделєєв

Відкриття Періодичного закону Д.І. Менделєєва. **Дмитро Іванович Менделєєв** (08.02.1834–02.02.1907 р.р.) народився в Тобольську в родині директора гімназії й піклувальника народних училищ Тобольської губернії Івана Павловича Менделєєва й Марії Дмитрівни Менделєєвої. Виховувала його мати, оскільки батько майбутнього хіміка осліп незабаром після народження свого сина.

Восени 1841 року Д.Менделєєв вступив у Тобольську гімназію. Він був прийнятий у перший клас з умовою, що залишиться там два роки, поки йому не здійсниться вісім років. Навесні 1849 року Д. Менделєєв закінчив гімназію.

Лише завдяки клопотанню матері 9 серпня 1850 року Дмитро був зарахований студентом Головного педагогічного інституту в Петербурзі на фізико-математичний факультет.

Перша наукова праця Менделєєва «Хімічний аналіз ортіту з Фінляндії» була опублікована в 1854 році, наступного року він закінчив інститут. У травні 1855 року Вчена рада присудила Менделєєву титул «Старший учитель» і нагородила золотою медаллю. Лікарі рекомендували йому змінити нездоровий петербурзький клімат і виїхати на південь.

В Одесі Менделєєва призначили викладачем математики, фізики й природничих наук у гімназію при Ришельєвському ліцеї. Багато часу він віддавав роботі над магістерською дисертацією, в якій розглядав проблему «питомих об'ємів» з погляду унітарної теорії Жерара, повністю відкинувши дуалістичну теорію Берцеліуса. Ця робота показала дивну здатність Менделєєва до узагальнення і його широкі пізнання в хімії.

Восени Менделєєв блискуче захистив дисертацію, з успіхом прочитав і вступну лекцію «Будова силікатних сполук» і на початку 1857 року став приват-доцентом при Петербурзькому університеті.

В 1859 році він був відряджений за кордон. Два роки Менделєєв провів у Німеччині, де організував власну лабораторію. Наприкінці лютого 1861 року Менделєєв приїхав у Петербург. Знайти викладацьку роботу в середині навчального року було неможливо. І він вирішує написати підручник з органічної хімії. Підручник, що вийшов незабаром у світ, а також переклад «Хімічної технології» Вагнера принесли Менделєєву велику популярність. 1 січня 1864 року Менделєєва було призначено на посаду штатного доцента органічної хімії Петербурзького університету. Одночасно з цією посадою Менделєєв одержав місце професора в Петербурзькому технологічному інституті. Тепер турбот про матеріальне забезпечення родини стало менше, і Менделєєв приступив до роботи над докторською дисертацією. Захист дисертації відбувся 31 січня 1865 року. Через два місяці Менделєєв був призначений екстраординарним професором на кафедрі технічної хімії Петербурзького університету, а в грудні – ординарним професором. У той час виникла гостра необхідність створити новий підручник з неорганічної хімії, який би відображав сучасний рівень розвитку хімічної науки. Ця ідея захопила Менделєєва. Одночасно він почав збирати матеріал для другого випуску підручника, куди повинен був увійти опис хімічних елементів.

Д.І. Менделєєв ретельно вивчив опис властивостей елементів і їхніх сполук. Але в якому порядку їх проводити? Ніякої системи розташування елементів не існувало. Тоді вчений зробив картонні картки. На кожну картку він заносив назву елемента, його атомну вагу, формули сполук і основні властивості. Поступово кошик наповнювалася картками, що містили відомості про всі відомі до цього часу елементи. Проте, довгий

час нічого не виходило. Говорять, що Періодичну таблицю елементів учений побачив у сні, залишалося її лише записати й обґрунтувати.

Але, звичайно ж, відкриття було зроблено ним не випадково, тому що в його діяльності органічно поєднувалися теорія й практика, знання фізичної сторони явища, математична інтуїція й філософське осмислення. Крім того, Д.І. Менделєєв умів критично ставитися до робіт своїх попередників і сучасників. Не перенасичуючи себе інформацією, він ніби пропускав отримані вже дані через призму ще не сформованої концепції й, подібно скульпторові, викидав все зайве.

Поступово Менделєєв зрозумів, що зі зміною атомної ваги змінюються й властивості елементів. Наближався до кінця лютий 1869 року. Через кілька днів рукопис статті, що містив таблицю елементів, був закінчений і зданий до друку.

1 березня 1869 року Д.І. Менделєєв відправив у друкарню листок, на якому був записаний його «Досвід складання системи елементів, заснованої на їхній атомній масі й хімічній подібності». Через два тижні він представив у Російське хімічне товариство статтю «Співвідношення властивостей з атомною масою елементів». Повідомлення про відкриття Менделєєва було зроблено редактором «Журналу Російського хімічного товариства» професором Н.А. Меншуткіним на засіданні товариства 6 березня 1869 року. Сам Менделєєв на засіданні не був присутній, тому що в цей час за завданням Вільного економічного товариства він обстежував сироварні Тверської і Новгородської губерній.

З того дня, коли за простими рядами символів хімічних елементів Менделєєв побачив прояв закону природи, інші проблеми відійшли на задній план. Він закинув роботу над підручником «Основи хімії», не займався й дослідженнями. Розподіл елементів таблиці здавався йому недосконалим. На його думку, атомні маси у багатьох випадках були визначені неточно, і тому деякі елементи не потрапляли на місця, що відповідають їхнім властивостям. Взявши за основу Періодичний закон, Менделєєв змінив атомні маси цих елементів і поставив їх в один ряд з подібними за властивостями елементами.

У статті, що вийшла німецькою мовою в «Анналах», видаваних Лібіхом, Менделєєв відвів велике місце розділу «Застосування Періодичного закону для визначення властивостей ще не відкритих

елементів». Він пророкував і докладно описав властивості трьох невідомих ще науці елементів – ека-бору, ека-алюмінію й ека-кремнію.

Здавалося, для Менделєєва питання про Періодичний закон було вичерпане. Але одного разу восени 1875 року, коли Менделєєв переглядав доповіді Паризької Академії наук, погляд його впав на повідомлення Лекока де Буабодрана про відкриття нового елемента, названого ним галієм. Однак французький дослідник вказав питому масу галію – 4,7, а за підрахунками Менделєєва в ека-алюмінію виходило 5,9. Менделєєв вирішив написати вченому, указавши, що, судячи з властивостей відкритого ним галію, це не що інше, як передбачений в 1869 році ека-алюміній.

Дійсно, більш точні визначення питомої маси галію дали значення 5,94. Відкриття галію викликало справжню сенсацію серед учених. Імена Менделєєва й Лекока де Буабодрана відразу стали відомі усьому світу. Вчені, натхненні першим успіхом, почали шукати інші, ще не відкриті елементи, які були передбачені Менделєєвим. У десятках лабораторій Європи закипіла робота, сотні вчених мріяли про незвичайні відкриття.

І успіхи не змусили себе довго чекати. В 1879 році професор Ларе Фредерік Нільсон, що працював в Упсальському університеті (Швеція), відкрив новий елемент, що повністю відповідає описаному Менделєєвим ека-бору. Він назвав його скандієм. Повторне доведення Менделєєва викликало дійсний тріумф. Незабаром стали надходити повідомлення про обрання Менделєєва почесним членом різних європейських університетів і академій.

Прекрасним підтвердженням менделєєвського закону стала й відкрита Рамзаєм група інертних газів, що дала можливість включити в систему «нульову» групу перехідну між лужними металами й металоїдами. Сам Д.І. Менделєєв писав про «закріплювачів» закону: «Писавши в 1871 році статтю про додаток Періодичного закону до визначення властивостей ще невідкритих елементів, я не думав, що доживу до виправдання цього наслідку Періодичного закону, але дійсність відповіла інакше. Описані були мною три елементи: ека-бор, ека-алюміній і ека-силіцій, і не пройшло 20 років, як я мав уже величезну радість бачити всі три відкритими й отримавши ними свої імена від тих трьох країн, де знайдені рідкі мінерали, їх складові, і де зроблено їхнє відкриття: галію,

скандію й германію. Л. де Буабодрана, Нільсона й Вінклера, що їх відкрили, я, зі свого боку, вважаю щирими зміцнювачами Періодичного закону. Без них він не був би визнаний такою мірою, як це трапалося нині. У такій же мірі я вважаю Рамзая утвердителем Періодичного закону...».

Значення Періодичного закону для розвитку хімічної науки.

Періодичний закон відіграв виключно важливу роль у розвитку хімічної науки. З ним пов'язаний цілий етап у розвитку хімії. Закон Менделєєва є одним із тих узагальнень в хімії, яке на великий період визначило розвиток науки й накреслило перспективи цього розвитку.

Перш за все Періодичний закон дав можливість не тільки більш точно визначити місце для багатьох елементів, таких як уран, торій, індій, берилій, германій і т.д. у системі, але й встановити та виправити для них ряд властивостей і, в першу чергу, атомну масу і валентність. Наприклад, для елемента індію до Д.І. Менделєєва був відомий лише еквівалент 38,253.

До відкриття Періодичного закону хіміки визначали атомну масу елементів лише дослідним шляхом. З відкриттям Періодичного закону стало ясно, що кожному елементові, який має певні властивості, у системі загального взаємозв'язку елементів відповідає лише одне й певне місце. Якщо атомна маса і валентність визначені невірно, то елемент буде припадати або на зайняте вже місце, або на таке, куди його неможливо помістити за його властивостями. Періодичний закон дозволив розміщувати елементи за сукупністю їх властивостей, а це було вирішальним для визначення валентності. Та обставина, що різниця атомної маси сусідніх елементів послідовно, закономірно змінювалась, стала джерелом теоретичного виправлення атомної маси елементів. З іншого боку, вихідним пунктом при цьому були точно визначені місця елементів, їх валентність, а також дослідно знайдені для них еквіваленти.

Виключно велике значення Періодичний закон мав для визначення загальних понять хімії, як, наприклад, «валентність» або «атомність», як її тоді називали, а також для визначення понять хімічний елемент «перекисні», «двоокисні» тощо.

Періодичний закон став тією основою, на якій не тільки одержало визначення саме поняття елемента, але стало можливим також розмежувати поняття елемента і простої речовини, які, як відомо, з часу Р. Бойля і А. Лавуазьє до 70 років XIX ст. вважались тотожними. Виходячи з

Періодичного закону, Д.І. Менделєєв прийшов до цілком певного висновку, що поняттю простої речовини відповідає молекула (за винятком інертних газів), а елементів – атом, бо елементами повинні називатись «ті матеріальні складові частини простих і складних тіл, які обумовлюють їх фізичне і хімічне відношення». Не менш важливе значення для науки мав і аналіз змісту «валентності» з точки зору Періодичного закону. З 1853 р., коли Є. Франкланд увів поняття «атомності», її майже завжди визначали числом атомів водню або хлору, які здатні з'єднуватись з атомом даного елемента. Звідси бере початок уявлення про абсолютну постійність валентності, яку підтримували ряд вчених. За киснем валентність було не прийнято визначати аж до 70-х років. Хіміки вважали, що кисень, як двохвалентний елемент, здатний з'єднуватись з іншими елементами в самих різноманітних відношеннях, входячи за допомогою двох одиниць своєї валентності між двома іншими атомами.

Періодичний закон, розкривши діалектику взаємозв'язку й взаємозалежності між атомами елементів у природі, ліквідував у хімії безподільну владу випадковості, перетворив хімію в справжню науку. Періодичний закон, став могутнім факелом наукового пізнання, який осяяв шляхи передбачення ще невідомих елементів.

Експериментальне підтвердження об'єктивного характеру Періодичного закону Д.І. Менделєєва було велетенським кроком уперед щодо пізнання речовини. Протягом всієї історії розвитку хімії й фізики ще не було такого випадку, коли наукова теорія давала можливість повніше й глибше передбачити властивості речовини, ніж це здійснюється експериментальним способом. Винайдення в природі елементів, передбачених теорією, нанесло сильний удар по емпіризму в хімії, похитнувши позиції його прибічників, які ігнорували значення наукової теорії, сліпо йшли за фактами, боялися підвестись до сміливих наукових узагальнень. Відкриття елементів, що так геніально були передбачені на базі Періодичного закону, сприяло дальшому розвитку цього закону, глибокому вдосконаленню системи елементів.

Важливо звернути увагу на те, що Д.І. Менделєєв не тільки передбачив існування елементів галію, скандію, германію, але й вказав на ті методи, за допомогою яких вони будуть відкриті в природі. Це вже було не просто передбачення існування невідомого ще науці об'єкта, але й пряме

передбачення того, як цей об'єкт найбільш ймовірно вступатиме у взаємодію з людською свідомістю, якою стороною він себе виявить. Цей чудовий факт наукового передбачення виявився найсильнішим підтвердженням положення діалектичного матеріалізму про те, що у світі немає й бути не може недоступних пізнанню «мов у собі», що кожна таємниця природи повинна відступати перед могутньою силою людського знання.

У 80-х роках XIX ст. Періодичний закон, став могутньою зброєю пізнання, але від цього його розвиток не припиняється. Важливим етапом розвитку Періодичного закону було вивчення рідкоземельних елементів, які не відразу знайшли своє місце в Періодичній системі.

В 70-х і особливо в 80-х роках було відкрито ряд досить подібних між собою рідкоземельних елементів, таких, як ітербій, самарій, неодим, тулій, гадоліній і т.д. Труднощі, пов'язані з розміщенням цих елементів за певними місцями Періодичної системи, змусили деяких хіміків висловити свої сумніви відносно правильності самого Періодичного закону. Але від цього переконання Д.І. Менделєєва в тому, що далші успіхи не зруйнують Періодичний закон, а ще більше ствердять його, ні скільки не похитнулось.

У вивченні рідкоземельних металів і в розміщенні їх у Періодичній системі велике значення мали дослідження видатного чеського хіміка Б.Ф. Браунера. Він помітив, що елементи лантан, церій, празеодим, неодим тощо мають дуже багато подібного між собою. У більшості випадків всі ці елементи при утворенні кисневих сполук проявляють валентність 3. Хоч Браунер і не зовсім був впевнений в тому, де повинні бути рідкоземельні елементи розміщені в Періодичній системі, але він доводив, що їх треба об'єднати в одну групу. Він вперше довів на дослідах, що церій у вищому оксиді чотиривалентний, а також ствердив, що Менделєєв правильно визначив атомну масу церію.

В 1901 р. Браунер запропонував впровадити особливу додаткову «інтерперіодичну» групу, розташовану зразу за лантаном, і включити в неї всі рідкісноземельні елементи. Далі вивчення лантаноїдів і відкриття нових елементів цієї сім'ї велося безпосередньо на базі Періодичного закону.

У кінні XIX ст. Періодична система витримала дуже серйозну перевірку. В 1892 р. англійський фізик Релей і хімік В. Рамзай повідомили про те, що ними відкритий новий елемент, який вони назвали Аргоном

(лінивий); атоми цього газу не вступали ні в які хімічні реакції. Через два роки Рамзай і його учень Траверсі, нагріваючи мінерал клевеїт у сірчаній кислоті, одержали ще один елемент, який був теж інертним газом. Цей елемент назвали Гелієм, тому що в його спектрі була характерна жовта лінія, яку ще раніше помічено при дослідженні хромосфери Сонця. Цим новим елементам потрібно було знайти певне місце в Періодичній системі. Хоч було зрозуміло, що Гелій ($He = 4$) повинен знайти своє місце між Воднем ($H = 1$) і Літієм ($Li = 7$), розмістити його було не так просто. Складність цього питання полягала в тому, що в Періодичну систему, де кожній групі елементів відповідає певна валентність, треба було включити елемент нульової валентності. Розв'язуючи це питання, Рамзай допустив існування особливої нульової групи, яка повинна стояти посередником між галогенами й лужними металами. При такому розміщенні Гелій завершував перший період, а Аргон – третій період. А коли так, то повинні бути інертні гази, якими закінчуються 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й періоди. І. Рамзай висловив передбачення ще не відкритого елемента, який повинен зайняти своє місце в нульовій групі між Гелієм і Аргоном.

Велике значення Періодичного закону полягає в тому, що він відображає взаємозв'язок всіх атомів у природі. Вже в найпершому формулюванні цього закону Д.І. Менделєєв вказує на взаємну обумовленість маси атомів та їх хімічної індивідуальності. При глибокому аналізі Періодичного закону можна було зрозуміти, що кожний з типів атомів є вузловим пунктом у розвитку речовини, що між атомами незаперечно існують генетичні відношення.

Періодичний закон мав значний вплив на розвиток хімічної атомістики. Він став вихідним пунктом багатьох гіпотез про будову атомів. Під впливом висновків, які виникали із цього закону, вже сам його автор зробив припущення, що «... атоми простих тіл є складні істоти, які утворились шляхом складання деяких ще менших частин (ультиматів), що те, що ми називаємо неподільним (атом) – неподільне лише звичайними хімічними силами, як частки молекули неподільні у звичайних умовах фізичними силами».

Періодичний закон ставши тією базою, на якій було створено такі вчення, як теорія будови атома, теорія ядра атома, вчення про ізотопи тощо.

Сьогодні зрозуміло, що в менделєєвському відкритті злилися воедино три лінії розвитку хімії: пошуки систематики різних об'єктів хімії (від атомів до кристалів) у їхньому взаємозв'язку – поняття «хімічний елемент» їх об'єднало; вивчення індивідуальності елементів, особливо тих, що рідко застосовувались, дозволило розкрити поняття елемент-аналогії; вивчення взаємозв'язку властивостей зі складом і будовою сполук, що привело до формування цілісного навчання про періодичність.

Вклад у вчення про Періодичний закон і пов'язані з ним фізико-хімічні і геохімічні вчення внесли у ХХ ст. вчені Росії, Англії, Франції, США, Польщі, Данії, Швеції та ін. Міжнародний характер Періодичного закону Д.І. Менделєєва відображений у тому факті, що назви знайдених елементів дали в честь окремих країн або регіонів: Європій – на честь всієї Європи, Полоній – Польщі, Скандій – Скандинавії, Реній – рейнська область в Німеччині та ін.

У зв'язку з цим особливий сенс має назва 101-го елементу «менделєєвій». Той факт, що ім'я російського вченого дали цьому елементу, який відкрили американські вчені, символізує собою виключно високу роль Менделєєва в розвитку світової науки.

4.6.3. Досягнення фізики і техніки (на прикладі розвитку електротехніки)

На рубежі ХІХ-ХХ ст. головною тенденцією розвитку економіки став перехід від капіталізму, заснованого на вільній конкуренції окремих самостійних державних і приватних підприємств, до капіталізму, який базується на багатьох формах монополії або олігополії.

Зміни у виробничих відносинах, що привели до цього переходу, були викликані бурхливим розвитком науки і техніки. В історію період кінця ХІХ – початку ХХ ст. увійшов як час другої технологічної революції (перша – промисловий переворот), яка тривала до Першої світової війни (1914–1918 р.р.).

У цей період кардинально змінилися основи наукового мислення, переживало розквіт природознавство, ішов процес формування єдиної системи наук. Тісний взаємозв'язок науки з технікою зумовив поступове перетворення науки в безпосередню продуктивну силу суспільства.

На рубежі ХХ ст. виникали великі наукові інститути, лабораторії, створені на потужній технічній базі. Появилась окрема ланка – науково-дослідницька діяльність, завданням якої стало доведення теоретичних рішень до технічного втілення, у тому числі дослідницько-конструкторські розробки, виробничі, технологічні та інші дослідження. Цей процес революційних перетворень у галузі науки згодом охопив техніку й технологію, що сприяло незвично високим темпам зростання обсягу світового промислового виробництва (наприклад, сумарна виплавка сталі з 1870 до 1900 р. зросла в 20 разів).

Електрика й електротехніка. Важливе значення мали зміни в енергетичній базі виробництва і транспорту: парову енергію було замінено електричною, почалась електрифікація, склалася технологія отримання, передачі й приймання електроенергії. У 1867 р. німецький винахідник В. Сіменс сконструював електромагнітний генератор із самозбудженням, який давав змогу за допомогою обертання провідника в магнітному полі отримувати і виробляти електричний струм. У 70 роках було винайдено динамо-машину, її можна було використовувати не тільки як генератор електроенергії, а і як двигун, що перетворює електричну енергію на механічну. Через десять років у США Т. Едісон винайшов перший сучасний генератор (1883 р.).

Дещо раніше в Росії у період з березня 1876 р. до жовтня 1877 р. П.М. Яблочков сконструював перший генератор змінного струму, який, на відміну від постійного струму, забезпечував рівномірне вигорання вугільних стрижнів при відсутності регулятора, деремо використав змінний струм для промислових цілей, створив трансформатор змінного струму (30 листопада 1876 року, дата отримання патенту, вважається датою народження першого трансформатора), електромагніт з плоскою обмоткою і вперше використав статистичні конденсатори в колі змінного струму. Відкриття і винаходи дозволили Яблочкову першому в світі створити систему «дроблення» електричного світла, тобто живлення великого числа свічок від одного генератора струму, засновану на застосуванні змінного струму, трансформаторів і конденсаторів [42].

Впровадження у виробництво електродвигунів сприяло збільшенню швидкості верстатів, підвищенню продуктивності праці та створювало передумови автоматизації виробництва. У 1884 р. англійський інженер

Ч. Парсонсон винайшов багатоступеневу парову турбіну, а внаслідок її поєднання в єдиний агрегат із динамо-машиною було створено турбогенератор. У 1896 р. на Ніагарській гідроелектростанції встановили винайдену перед тим гідравлічну турбіну. Виникли нові галузі промисловості – електрохімія, електрометалургія, електричний транспорт. Появились двигуни внутрішнього згорання, які працювали на енергії, яку отримували при згорянні парів бензину (Н. Отто) і нафти (Р. Дизель). У 1885 р. було побудовано перший автомобіль (Г. Даймлер, К. Бенц). Двигун внутрішнього згорання став широко застосовуватися в усіх галузях промисловості й транспорту, прискоривши механізацію сільського господарства. Я.В. Мамін побудував у 1906 р. в Росії трактор «Карлик» з двигуном внутрішнього згорання. Такі трактори випускалися в СРСР просягом 1924–1926 р.р. у м. Маркштадте на заводі «Відродження» та призначалися для обробки невеликих сілянських ділянок. У цей же період у США з такими ж двигунами почали випускати трактори. Застосування їх в окремих господарствах американських фермерів розпочалось у 1907 р., масове ж виробництво освоїли лише в роки Першої світової війни.

Однією з провідних галузей стала електротехніка. Російський вчений О. Лодигін винайшов лампу розжарювання з вугільним стержнем у скляній колбі (1873 р.), а П. Яблочков – електродугову лампу (1875 р.), що сприяло поширенню електричного освітлення. Його почали застосовувати на великих підприємствах, у великих містах. Згодом конструкцію ламп розжарювання винахідники багатьох країн удосконалили. Так, О. Лодигін розробив лампу з металевою ниткою, в тому числі з вольфрамовою. Електричне освітлення поступово почало витіснити газове.

Наприкінці XIX ст. набула широкого розвитку така галузь електротехніки, як техніка засобів зв'язку. Вдосконалювалась апаратура дротяного телеграфу, почалося використання телефонного зв'язку (винахідник телефону – американець А. Белл, 1876 р.). Першу телефонну станцію збудували в 1877 р. в США, на початку 80 років вони з'явилися майже в усіх містах європейських країн. У 1889 р. А. Строунджер запатентував автоматичну телефонну станцію. З 1895 р. поширювалося використання радіо, яке сконструював російський вчений О. Попов.

Розвиток електричних машин. Вивчення природних сил електромагнітної взаємодії дало поштовх до інтенсивного розвитку

обертальних електричних машин.

Розробки, які здавалися сучасникам абстрактними, надзвичайно повчальні та заслуговують особливої уваги й розуміння.

Людині електричні та магнітні властивості речовини були відомі досить давно. Першою науковою роботою про електрику був трактат «Про магніт, магнітні тіла і великий магніт – Землю», написаний 1600 року відомим англійським вченим У. Гілбертом, який назвав «електричними» тіла, здатні електризуватися, і ввів термін «електрика».

1650 року О. Геріке описав першу електричну машину тертя, яка складалася з виготовленої з сірки кулі, яка при обертах натиралася долонями рук. На початку XVIII століття Ф. Гауксбі замінив кулю із сірки пустою склянню кулею. 1743 року машину доповнили ковзним контактом, який знімав електричні заряди, і машина стала виробляти електричну енергію. У Києві таку електричну машину вперше було встановлено 1783 року в кабінеті при бібліотеці Києво-Могилянської академії завдяки І.Я. Фальковському (1762–1823 р.р.).

Наприкінці XVIII століття було створено ємнісну електричну машину, ротор якої мав вигляд диска діаметром 2 м. Ця машина створювала іскру довжиною близько 2 м.

У XIX–XX століттях тривав розвиток ємнісних машин тертя, або електрофорних машин, але як силові електромеханічні перетворювачі використовувалися лише індуктивні машини, а про ємнісні електричні машини майже забули.

Вважають, що історія електричних машин бере свій початок відтоді, як 1821 року М. Фарадей (1791–1867 р.р.) створив електричний двигун з постійним магнітом. Навколо магніту обертася провідник, закріплений зверху, через який протікав постійний струм живильної батареї гальванічних елементів. Ковзний контакт забезпечувала ртуть, налита в чашу. У двигуні М. Фарадея при постійному струмі у провіднику та постійному магнітному полі, створеному постійним магнітом, відбувалося перетворення електричної енергії в механічну.

Винятково плідною та важливою частиною роботи М. Фарадея було уявлення про електричне поле. Він вперше ввів поняття «магнітні силові лінії».

На першому етапі розвитку електротехніки на конструкцію електричних машин значно вплинули успіхи у створенні парових машин, в яких зворотно-поступальний рух поршня перетворювався на обертальний рух вала.

1831 року американський фізик Д. Генрі запропонував двигун зворотно-поступального руху. У такому двигуні рухливий електромагніт притягувався до постійних магнітів і відштовхувався від них, з'єднуючи та роз'єднуючи контакти батареї гальванічних елементів.

Двигун Д. Генрі здійснював 75 коливань на хвилину і мав потужність 0,04 Вт. Були й інші спроби створення електродвигунів зворотно-поступального руху, але майбутнє було за електричними машинами обертального руху.

1832 року брати Піксі на основі робіт М. Фарадея створили генератор з обертальними постійними електромагнітами. У нерухомих котушках при обертанні постійних магнітів з'являвся змінний струм. Це був один з перших генераторів змінного струму. Проте змінний струм у ті часи не застосовувався, а для перетворення струму в постійний використовували механічні комутатори.

1834 року Санкт-Петербурзький академік Б.С. Якобі створив і описав електродвигун, який працював, притягуючи та відштовхуючи електромагніти. Не будемо вдаватися в подробиці конструкції цього двигуна, а наведемо лише приклад його використання.

Так, 1838 року Б.С. Якобі з'єднав 40 таких електродвигунів, які працювали на два вали. Разом з гальванічною батареєю, яка складалася з 320 елементів, з'єднані двигуни встановили на боті, який з 12 пасажирами плавав Невою декілька годин при сильному вітрі та проти течії. Це було перше практичне застосування електричних машин! Лише через 100 років електричні двигуни як привідний механізм гвинта стали використовуватися на пароплавах, а двигуни, запропоновані Б.С. Якобі, у подальшому не застосовувалися.

1838 року Е. Ленц експериментально довів можливість роботи машини постійного струму в генераторному та рушійному режимах.

1873 року Ф. Гефнер-Альтенек та В. Сіменс створили машину з барабанним якорем, яка мала всі основні елементи сучасної машини постійного струму. В Києві за проектом професора КПІ М.А. Артем'єва –

видатного фахівця з електричних машин та приладів 1890 року було споруджено електростанцію постійного струму в районі Національної опери та прокладено міську електромережу.

Наприкінці 80 років XIX століття Г. Ферраріс та М. Тесла створили двофазний двигун змінного струму.

1889 року видатний електротехнік М.О. Доліво-Добровольський запропонував трифазну систему змінного струму. Того ж року він створив перший трифазний генератор: асинхронний двигун та трансформатор. У грудні 1898 р. на вул. Андріївській, 19 у Києві почала діяти перша на теренах Росії електрична станція трифазного змінного струму.

Трифазна система змінного струму з початку 90 років XIX ст. назавжди увійшла в історію енергетики.

Почалося використання потужних природних сил електромагнітної взаємодії в промисловості та інших сферах діяльності людства, зокрема і великого міста Києва.

4.6.4. Винайдення радіо О.С. Поповим

Існування електромагнітних хвиль та їхні властивості були теоретично передбачені Максвеллом у 60-ті роки XIX ст., і лише в 1888 р. електромагнітні хвилі були вперше експериментально отримані й вивчені Г. Герцем. За допомогою експериментів Герц виявив і дослідив відбивання, заломлення, інтерференцію, дифракцію і поляризацію електромагнітних хвиль. Він довів, що в усіх випадках електромагнітні хвилі поведуться як видиме випромінювання, закономірності якого були на той час добре вивчені.



Рис. 95. Олександр Степанович Попов

Олександр Степанович Попов народився 16 березня 1859 р. в с. Тур'їнські Рудники. У 1882 р. закінчив фізико-математичний факультет Петербурзького університету і був залишений у ньому для підготовки до наукової діяльності. Був викладачем фізики та електротехніки Мінних офіцерських класів (1883–1901 р.р.) та Технічного училища Морського відомства в Кронштадті (1890–1900 р.р.), професором фізики і директором Петербурзького електротехнічного інституту.

Перші наукові дослідження О.С. Попова присвячені аналізу найвигіднішої дії динамоелектричної машини. Після опублікування в 1888 р. праць Г. Герца з електродинаміки О.С. Попов почав вивчати електромагнітні явища, читати лекції на тему: «Найповніші дослідження про співвідношення між світловими і електричними явищами». Намагаючись знайти засоби ефективного демонстрування дослідів Герца перед великою аудиторією, О.С. Попов сконструював більш наочний індикатор електромагнітних хвиль, які випромінює вібратор Герца. Добре розуміючи потребу флоту в засобах бездротової сигналізації, він на початку 90-х років поставив перед собою задачу використання електромагнітних хвиль для сигналізації: пошук достатньо чутливого індикатора електромагнітних хвиль, розробка приладу, здатного реєструвати електромагнітні хвилі, які випромінює вібратор Герца. В якості індикатора О.С. Попов обрав радіокондуктор, запропонований французьким фізиком Е. Бранлі, названий пізніше когерером. Когерер – це



Рис. 96. Фото приймача О.С. Попова

наповнена металевим порошком невелика скляна трубка з двома електродами на кінцях. Під дією електромагнітних хвиль електричний опір порошку зменшувався, і когерер утрачав чутливість, яка при легкому струшуванні знову відновлювалася.

У результаті копітких експериментів з когерером О.С. Попов зробив його досить зручним і чутливим індикатором електромагнітних хвиль. На початку 1895 р. було створено «прилад для виявлення та реєстрації електричних коливань».

До весни 1895 р. Попов винайшов чутливий і надійно працюючий радіоприймач, який використовувався для бездротової сигналізації (радіозв'язку). Під час проведення дослідів О.С. Попов помітив, що приєднання до когерера вертикального металевого дроту (антени) спричиняє збільшення відстані надійного прийому. 7 травня 1895 р. на засіданні фізичного відділення Російського фізико-хімічного товариства О.С. Попов зробив доповідь про винайдення ним бездротової системи зв'язку і продемонстрував її роботу.

Під час дослідів у 1895 р. О.С. Попов зрозумів, що його приймач

реєструє також і грозові розряди. Тому він створив спеціальний прилад, який записував на рухому паперову стрічку сигнали, що утворювалися під час грози. Цей прилад, названий пізніше грозовідмітчиком, у 1895–1896 р.р. використовувався для вивчення характеру атмосферних перешкод.

Приймач Попова і грозовідмітчик зберігаються в Центральному музеї зв'язку в Санкт-Петербурзі.

У 1895–1896 р.р. О.С. Попов займався вдосконаленням створених ним приладів, виступав з доповідями і демонстрував їх роботу. Весною 1897 р. він уперше виявив явище відбивання електромагнітних хвиль від металевих предметів (зокрема, кораблів). Це відкриття лягло в основу сучасної радіолокації. Під час дослідів у 1897 р. він користувався електромагнітними хвилями, які лежать на межі дециметрового й метрового діапазонів. До того часу відносяться роботи О.С. Попова з вивчення ним рентгенівських променів, уперше зроблені ним у Росії рентгенівські знімки кінцівок людини та предметів.

У 1899 р. П.Н. Рибкін, Д.С. Троцький – помічники О.С. Попова – виявили детекторний ефект когерера. На основі цього О.С. Попов створив «телефонний приймач депеш» для слухового прийому радіосигналів (на головні телефони) і запатентував його.

На початку 1900 р. прилади Попова були використані для зв'язку під час ліквідації аварії на броненосці «Генерал-адмірал Апраксій» та врятування рибалок у відкритому морі.

Заслуги О.С. Попова у винайденні радіо офіційно були відзначені в 1900 р. присудженням йому почесного диплома і золотої медалі на IV Всесвітньому електротехнічному конгресі в Парижі.

5. НАУКОВА РЕВОЛЮЦІЯ КІНЦЯ ХІХ – ПЕРШОЇ ТРЕТИНИ ХХ СТ. ФІЗИКА ХХ СТОЛІТТЯ

5.1. Експериментальні відкриття кінця ХІХ ст.: рентгенівські промені, радіоактивність, електрон, швидкість світла.

5.2. Наукові дослідження кінця ХІХ–початку ХХ ст.

5.3. Загальна теорія відносності та її експериментальне обґрунтування.

5.4. Проблеми теплового випромінювання (зародження атомної та квантової фізики).

5.5. Розробка А. Ейнштейном і П. Дебаєм квантової теорії теплоємності твердих тіл.

5.6. Теорія Дж. Максвелла і квантова теорія світла М. Планка та А. Ейнштейна.

5.7. Моделі атома.

5.8. Квантова механіка Л. де Бройля, Е. Шредінгера та В. Гейзенберга.

5.9. Проникнення фізичних методів дослідження в астрономію.

5.10. Відкриття явища надпровідності і надтекучості та їх теоретичне пояснення.

5.11. Створення квантових генераторів.

5.1. Експериментальні відкриття кінця ХІХ ст.: рентгенівські промені, радіоактивність, електрон, швидкість світла

ХІХ ст. було багате на експериментальні відкриття. Серед них варто особливу увагу приділити тим, які знайшли своє широке практичне застосування в майбутньому:

Відкриття рентгенівських променів. Явищами, що породжуються електричним струмом у вакуумі, **Іван Пулюй** зацікавився ще у Страсбурзькому університеті. Освоївши ремесло складува, він видував скляні трубки як для своїх дослідів, так і для потреб колег-фізиків. З ним подружився **Нікола Тесла**, який також у цей час стажувався у професора А. Кундта і перейняв у Пулюя мистецтво виробництва трубок. Іван Пулюй та Нікола Тесла, провівши цілий ряд досліджень з газорозрядними трубками, на думку багатьох істориків науки і вчених-фізиків виявилися найближче до розгадки природи випромінювання, що породжується катодними променями. В 1880–1882 роках він докладно описав видимі катодні промені. А в 1881 році сконструйована ним трубка, що випромінює Х-промені – праобраз сучасних рентгенівських апаратів, була



Рис. 97. Іван Пулюй

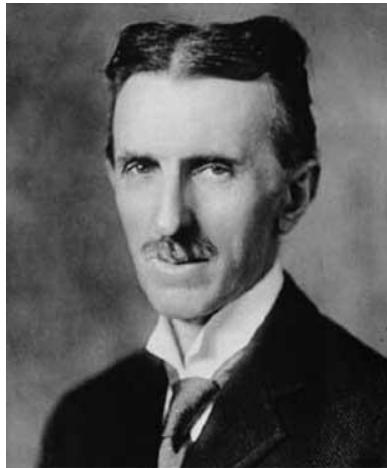


Рис. 98. Нікола Тесла



Рис. 99. Вільгельм Конрад Рентген

визнана гідною Срібної медалі на Міжнародній електротехнічній виставці в Парижі. У всьому світі вона стала відома як «лампа Пулюя» і навіть протягом деякого часу випускалася серійно. Сконструйована за 14 років до відкриття В.К. Рентгена, вона генерувала промені, названі згодом за пропозицією анатома Коллікера – рентгенівськими. За допомогою цього пристрою І.П. Пулюй вперше у світовій практиці зробив знімок зламаної руки 13-річного хлопчика, знімок руки своєї дочки зі шпилькою, що лежить під нею. Серія рентгенограм органів людини, виконана Пулюєм, була настільки чіткою, що дозволила виявити патологічні зміни в тілах пацієнтів. Однак, відсутність належним чином обладнаної лабораторії і матеріальні труднощі сильно гальмували дослідження вченого.

Німецький фізик **Вільгельм Конрад Рентген** (27.03.1845–10.02.1923 р.р.) у 1895 році відкрив короткохвильове електромагнітне випромінювання – рентгенівські промені.

Досліджуючи розряди в трубках Рентген увечері 8 листопада 1895 р. зайшов перед сном трохи попрацювати у свою лабораторію у фізичному інституті австрійського міста Вюрцбурга. Лабораторія розміщувалася поверхом нижче квартири. У темноті лабораторії поряд з трубкою слабо світився люмінесцентний екран покритий кристалами платино-синеродистого барію. Трубка була закрита чорним футляром із зафарбованого картону. Виявилось, що Рентген вдень забув вимкнути лампу. Вимикання трубки привело до зникнення свічення екрана. Рентген відніс екран на 1,5-2 м. Свічення поновилось. Це були не катодні промені, які поширювались до 2 см у просторі з трубкою. Перший рентгенівський знімок у світі зробив Рентген руки своєї дружини Берти Рентген з

обручкою, надрукований 3 січня 1896 р. у віденській газеті «Нова вільна преса». 22 січня 1896 р. лікарі в м. Дортмунда вперше побачили перелом руки хворого, ім'я якого Едді Мак-Карті. Відкриття Рентгена дало новий поштовх у розвитку фізики. До цього вважалось, що явища природи зрозумілі і добре описані.

Перша Нобелівська премія з фізики 1901 року була присуджена Рентгену. Він сприяв швидкому практичному застосуванню свого винаходу в медицині. Конструкція створеної ним першої рентгенівської трубки лежить в основі сучасних приладів. Це відкриття мало величезний вплив на подальший розвиток фізики, зокрема привело до виявлення радіоактивності.

В. Брегг спочатку успішно дослідив природу рентгенівських променів з корпускулярної точки зору. У 1911–1912 р.р. В. Брегг, М. Лауе, В. Фрідріх, П. Кніппінг відкрили хвильові властивості рентгенівських променів. Так було виявлено прояв дуалізму світла у рентгенівських променів.

Радіоактивність (від лат. *radio* – «випромінюю», *radius* – «промінь» і *activus* – «дієвий») відкрив у 1896 р. Антуан Анрі Беккерель. Сталося це випадково. Вчений працював із солями урану і загорнув свої зразки разом із фотопластинами в непрозорий матеріал. Фотопластини виявилися засвіченими, хоча доступу світла до них не було. Беккерель зробив висновок про невидиме оку випромінювання солей урану. Він дослідив це випромінювання і встановив, що інтенсивність випромінювання визначається тільки кількістю урану в препараті й абсолютно не залежить від того, в які сполуки він входить. Тобто ця властивість властива не сполукам, а хімічному елементу Урану.

Антуан Анрі Беккерель (15.12.1852–25.08.1908 р.р.) – французький фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики та один з першовідкривачів радіоактивності.

У 1903 р. Беккерель отримав спільно з П'єром і Марією Кюрі Нобелівську премію з фізики «На знак визнання його видатних заслуг, що виразилися у відкритті самовільної радіоактивності».

Через два роки після відкриття Беккереля П. Кюрі і М. Складовська-Кюрі у 1898 р., досліджували уранову руду, відкрили нові елементи: Полоній і Радій. Ці елементи давали

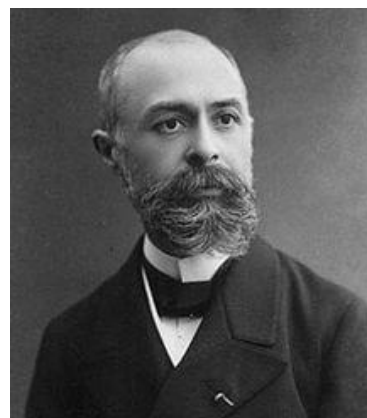


Рис. 100. Антуан Анрі Беккерель

інтенсивніше випромінювання ніж солі урану. Е. Резерфорд встановив, що це випромінювання складається з двох компонент: альфа- та бета-променів. П. Віллард у 1900 р. виявив третю компоненту – гамма-випромінювання, на яку магнітне поле впливу не має. Бета розпад поділяється на три складових: β^- (А. Беккерель, 1896 р.), β^+ (І. і Ф. Жоліо-Кюрі, 1934 р.), K -захоплення (Л. Альверс, 1938 р.). До радіоактивності відноситься спонтанний поділ ядер (Г.М. Фльоров, К.А. Петржак, 1939 р.) та p -розпад: однопротонний (Г.М. Фльоров, 1963 р.) та двопротонний.

У перші роки дослідження природної радіоактивності були помічені випромінювання, які не зв'язані з радіоактивними елементами. Після переїзду Е. Резерфорда до Монреаля (1898 р.) учений продовжив дослідження радіоактивності, яке розпочав ще у Кембриджі. У 1899 р. колега Е. Резерфорда Р. Оунз повідомив, що активність Торію чутлива до потоку повітря. Е. Резерфорд зацікавився повідомленим фактом і досить швидко виявив, що інтенсивність радіоактивності сполук Торію зберігається постійною, коли він знаходиться у закритій ампулі. Якщо дослід проводиться на відкритому повітрі, то вона швидко зменшується навіть при незначних потоках повітря [64, с. 360].



Рис. 101. Джозеф Джон Томсон

Насьогодні відомо близько 40 природних елементів, яким властива радіоактивність. Встановлено, що всі хімічні елементи з порядковим номером, більшим за 83 – радіоактивні.

З 1895 р. Джозеф Джон Томсон (18.12.1856–30.08.1940 р.р.) в Кавендішській лабораторії Кембриджського університету починає методичне кількісне вивчення відхилення катодних променів в електричних та магнітних полях. Результати цієї праці були опубліковані в 1897 р. в жовтневому номері журналу «Philosophical Magazine». В своєму досліді Томсон довів, що всі частинки, що утворюють катодні промені, тотожні одна одній і входять до складу речовини. Суть дослідів та гіпотезу про існування матерії в стані ще більш тонкого дроблення, ніж атоми, Томсон виклав на вечірньому засіданні Королівської спільноти 29 квітня 1897 р. Витяг із засідання цієї спільноти було опубліковано в «Electrician» 21 травня 1897 р. За це відкриття Томсон у 1906 р. отримав Нобелівську премію з фізики.

Назва «електрон» походить від грецького слова, що означає «янтарь»: ще в древній Греції природознавцями проводились досліди – шматочки янтарю терли хутром, після чого ті починали притягати до себе дрібні предмети. Термін «електрон» як назва фундаментальної неподільної одиниці заряду в електрохімії була запропонована Дж.Дж. Стоуні (англ.) в 1894 р. (сама одиниця була введена ним в 1874 р.). Відкриття електрона як частинки належить Дж.Дж. Томсону, який у 1897 р. встановив, що відношення заряду до маси для катодних променів не залежить від матеріалу джерела. Отже, датою відкриття електрона вважається 1897 рік, коли Томсоном був поставлений експеримент з випромінювання катодних променів.

Швидкість світла – одна з фундаментальних постійних. Вона входить до основних формул сучасної теоретичної фізики, є основним параметром квантової теорії поля, входить до рівнянь, які описують процеси, які відбуваються у масштабах Всесвіту, входить до формул зв'язку маси і енергії, є найважливішою сталою в спеціальній теорії відносності. Ідею досліду про визначення швидкості світла запропонував Г. Галілей. Цю ідею реалізував через 250 р. Л. Фізо.

Відкриття того, що швидкість світла є величина скінчена, було зроблено у 1676 р. О. Ремером при спостереженні за рухом одного із супутників Юпітера. За наслідками досліду $c = 215000$ км/с. Д. Брайлей теж астрономічним способом у 1718 р. знайшов, що $c = 303000$ км/с [64, с. 417-432].

У 1849 р. Л. Фізо вперше використав модулятор – зубчате колесо і виміряв швидкість світла у лабораторних умовах, використавши ідею Г. Галілея. У нього $c = 315000$ км/с. М. Корню, Д. Юнг, Д. Форбс у 1876 р. повторили ці досліди і одержав значення швидкості світла $c = (300000 \pm 300)$ км/с.

За допомогою обертового дзеркала Л. Фуко у 1850 р. одержав значення швидкості світла $c = (298000 \pm 500)$ км/с. В. Перротен у 1902 р. одержав $c = (299870 \pm 50)$ км/с. Тривалий час метод зубчатого колеса приваблював учених своєю простотою. В 1925 р. А. Каролус вказав на можливість використання електрооптичного ефекту Керра у якості «затвору» для світла [128, с. 264].

Таким чином на початку ХХ ст. було достовірно встановлено факт постійності швидкості поширення світла.

5.2. Наукові дослідження кінця XIX – початку XX ст.

Кінець XIX – початок XX ст. був часом, коли під тиском нових експериментальних даних фізикам довелося переглянути старі теорії й замінити їх новими, заглядаючи дедалі глибше в будову матерії. Були відкриті нові явища, такі як рентгенівські промені та радіоактивність. Не встигли фізики довести існування атома, як з'явилися доведення існування електрона, експерименти з фотоефекту та вимірювання спектру теплового випромінювання давали результати, які неможливо було пояснити, виходячи із засад класичної фізики. В пресі цей період називався «кризою фізики», але водночас він став періодом тріумфу фізики, яка зуміла виробити нові революційні теорії, котрі не тільки пояснили незрозумілі явища, а й багато інших, відкривши шлях до нового розуміння природи.

В 1905 році **Альберт Ейнштейн** побудував спеціальну теорію відносності, яка продемонструвала, що поняття ефіру зайве при поясненні електромагнітних явищ. При цьому довелося змінити класичну механіку Ньютона, давши їй нове формулювання, справедливе при великих швидкостях. Докорінно змінилися також уявлення про природу простору й часу. Ейнштейн розвинув свою теорію у загальну теорію відносності, опубліковану в 1916 році. Нова теорія включала в себе опис гравітаційних явищ і відкрила шлях до становлення космології – науки про еволюцію Всесвіту.

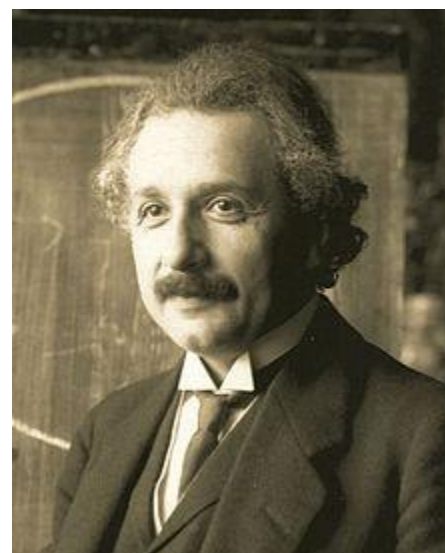


Рис. 102. Альберт Ейнштейн

Розглядаючи задачу про теплове випромінювання абсолютно чорного тіла **Макс Планк** у 1900 році запропонував неймовірну ідею, що електромагнітні хвилі випромінюються порціями, енергія яких пропорційна частоті. Ці порції отримали назву квантів, а сама ідея розпочала побудову нової фізичної теорії – квантової механіки, яка ще більше змінила класичну Ньютонівську механіку, цього разу при дуже малих розмірах фізичної системи. В тому ж 1905 році Альберт Ейнштейн застосував ідею Планка для успішного пояснення експериментів із фотоефекту, припустивши, що електромагнітні хвилі не тільки випромінюються, а й поглинаються квантами. Корпускулярна теорія

світла, яка, здавалося, зазнала нищівної поразки в боротьбі з хвильовою теорією, знову отримала підтримку.

Суперечка між корпускулярною і хвильовою теорією знайшла своє вирішення в корпускулярно-хвильовому дуалізмі, гіпотезі, сформульованій **Луї де Бройлем**. За цією гіпотезою не тільки квант світла, а будь-яка інша частинка проявляє водночас властивості, притаманні як корпускулі, так і хвилі. Гіпотеза Луї де Бройля підтвердилася в експериментах з дифракції електронів.



Рис. 103. Ернест Резерфорд

У 1911 році Ернест Резерфорд запропонував планетарну теорію атома, а в 1913 році Нільс Бор побудував модель атома, в якій постулював квантовий характер руху електронів.

Ернест Резерфорд (30.07.1871 р., Брайтвотер, Нова Зеландія – 19.10.1937 р., Кембридж) – британський фізик, лауреат Нобелівської премії з хімії (1908 р.).

Резерфорд відомий перед усім експериментами з розсіювання альфа-частинок (Резерфордівське розсіювання), завдяки якому він встановив структуру атома, як системи, що складається із малого за розмірами позитивно зарядженого ядра й електронів.

Нільс Бор (7.10.1885 р., Копенгаген – 18.11.1962 р.) – данський фізик-теоретик, творець першої квантової теорії будови атома, автор принципу доповнювальності, один з основоположників квантової механіки.

Лауреат Нобелівської премії з фізики 1922 року, присудженої за роботи з будови атома.

Завдяки роботам Вернера Гейзенберга, Ервіна Шредингера, Вольфганга Паулі, Поля Дірака та багатьох інших квантова механіка знайшла своє точне математичне формулювання, підтверджуючись численними експериментами. В 1927 році була вироблена копенгагенська інтерпретація, яка відкривала шлях для розуміння законів квантового руху на якісному рівні.



Рис. 104. Нільс Бор

Вернер Карл Гейзенберг (5.12.1901 р., Вюрцбург – 1.02.1976 р.) – німецький фізик, творець матричної механіки, автор принципу невизначеності.

Вернер Гейзенберг був також учнем видатного датського фізика Нільса Бора. Результатом наукових дискусій між ними з питань квантової механіки стало відкриття Гейзенбергом у 1927 р. співвідношення невизначеностей. Це співвідношення означає, що зв'язані змінні не можуть бути одночасно виміряні з довільною точністю – твердження, що здається абсолютно незвичним з погляду класичної фізики.

За роботи з квантової механіки Вернеру Гейзенбергові в 1932 р. було присуджено Нобелівську премію.

Надалі Гейзенберг отримав ще цілу низку важливих результатів у царині теоретичної фізики, що мали велике значення для розвитку квантової механіки атома та атомного ядра, квантової електродинаміки, теорії елементарних частинок і фізики твердого тіла.

Останні роки життя науковець присвятив створенню єдиної теорії поля з метою об'єднання всіх типів фундаментальних взаємодій та характеристики всіх елементарних частинок.

Ервін Рудольф Йозеф Александер Шредінгер (12.08.1887 р., Відень – 4.01.1961 р., там же) – австрійський фізик-теоретик, один із засновників квантової механіки, лауреат Нобелівської премії з фізики (1933 р.).

У 1926 р. Шредінгер опублікував у журналі *Annalen der Physik* статтю під назвою «*Quantisierung als Eigenwertproblem*» (Квантування як задача на власні значення), в якій запропонував рівняння, відоме тепер як рівняння Шредінгера. В статті рівняння застосовувалося для розгляду задачі про атом водню, успішно пояснюючи його спектр. Ця



Рис. 105. Вернер Гейзенберг в 1940 р.



Рис. 106. Ервін Шредінгер

стаття вважається однією з найвизначніших у фізиці ХХ ст. – вона заклала основи хвильової механіки. Через чотири тижні Шредінгер надіслав до журналу другу статтю, в якій розглядалися задачі про гармонічний осцилятор, жорсткий ротатор та двоатомну молекулу, а також пропонувалося нове «доведення» рівняння Шредінгера. У третій роботі Шредінгер показав еквівалентність свого підходу до підходу Гейзенберга і розглянув ефект Штарка. В четвертій роботі Шредінгер продемонстрував, як у рамках, запропонованого ним підходу, розглядати задачі розсіяння. Ці чотири роботи стали вершиною творчості Шредінгера, відразу ж здобули визнання і революціонізували фізику.

У 1927 р. Шредінгер став наступником Макса Планка в Берлінському університеті Фрідріха Вільгельма. Проте після приходу до влади нацистів у 1933 р. він залишив Берлін і перебрався до Оксфорда, оскільки з відразу ставився до антисемітизму. В тому ж році він отримав Нобелівську премію



Рис. 107. Вольфганг Ернст Паулі

разом із Полем Діраком. В Оксфорді Шредінгер не зміг затриматися надовго. У 1934 р. він читав лекції у Принстонському університеті, де йому запропонували постійне місце, але він відмовився. У 1936 р. Шредінгер прийняв пропозицію професури в Грацькому університеті.

Після інтенсивної переписки з Альбертом Ейнштейном Шредінгер запропонував квантовий парадокс, уявний експеримент, відомий під назвою «кішки Шредінгера».

Вольфганг Ернст Паулі (25.04.1900 р., Відень – 15.12.1958 р., Цюрих) – фізик-теоретик ХХ сторіччя, один з піонерів квантової фізики. Лауреат Нобелівської премії присудженої йому за відкриття принципу виключення, який було названо його ім'ям.

Паулі зробив багато важливих наукових відкриттів, особливо у галузі квантової механіки. Він рідко публікував свої статті, надаючи перевагу листуванню з колегами, особливо з Нільсом Бором та Вернером Гейзенбергом, з котрими дуже товаришував. Багато його ідей і результатів ніколи не були опубліковані та з'являлись тільки у його листах, які часто передавались далі й копіювались. Паулі, судячи з усього, мало турбувало

мала чисельність його публікацій та те, що більша частина його робіт була майже не знайома громадськості.

У 1924 р. Паулі запропонував нову ступінь вільності, квантове число з двома можливими значеннями, з метою розв'язати неузгодженість між експериментальними молекулярними спектрами та теорією квантової механіки. Він сформулював принцип виключення Паулі, згідно з яким два електрони не можуть перебувати в одному квантовому стані, що характеризується 4 квантовими числами, включаючи його нововведене квантове число. Ця ступінь вічності була в 1925 р. ідентифікована Г. Уленбеком та С. Гаудсмітом як спін електрона.

У 1926 році, незабаром після опублікування Гейзенбергом матричної теорії сучасної квантової механіки, Паулі використав цю теорію для розрахунку спектру атома водню. Результат послугував суттєвим доводом для признання теорії Гейзенберга.

У 1930 році Паулі постулює нейтрино. Він усвідомив, що при бета-розпаді нейтрона на протон і електрон закони збереження енергії та імпульсу виконуються тільки за умови випромінення ще однієї, раніше невідомої частинки. У 1934 році Енріко Фермі включив частинку, яку назвав нейтрино в свою теорію бета-розпаду. Існування нейтрино вперше було експериментально підтверджене у 1956 році Фредеріком Райнесом і Клайдом Кованом, два з половиною роки до смерті Паулі. Отримавши новину, він відповів телеграмою: «Дякую за повідомлення. Все приходить до того, хто вміє чекати. Паулі.»

У 1940 р. Паулі довів теорему спін-статистики, згідно з якою частинки з нецілочисленим спіном – ферміони, а з цілочисленим спіном – бозони.

У 1949 р. він опублікував статтю про регуляризацію Паулі-Вілларса, у якій йшлося про важливість видалення полюсів з квантової теорії поля.

Поль Адрієн Моріс Дірак (8.08.1902 р. – 20.10.1984 р., Таллахассі) – британський фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики 1933 року (спільно з Ервіном Шредінгером).

Дірак поставив перед собою задачу ввести відносність у хвильове рівняння, записавши його в



Рис. 108. Поль Дірак

релятивістській формі. Виведене ним і опубліковане у 1928 рівняння зветься тепер рівнянням Дірака. Воно дозволило досягти згоди з експериментальними даними. Зокрема, спін, що був раніше гіпотезою, підтверджувався рівнянням Дірака. Це було тріумфом його теорії. Крім того, рівняння Дірака дозволило передбачити магнітні властивості електрона (магнітний момент).

Теорія Дірака вказувала на можливість існування негативних енергій, непіддатливих інтерпретації з погляду науки того часу. Подолавши спокусу відкинути від'ємну енергію як «математичну аберацію», позбавлену фізичного значення, Дірак прийшов до висновку, що стани з від'ємною енергією реально існують. Дірак припустив, що позитивно зарядженою частинкою може бути протон.

Застосовуючи принцип виключення Вольфганга Паулі, згідно з яким у кожному динамічному стані може перебувати тільки один електрон, Дірак висловив припущення про те, що майже всі стани з від'ємною енергією вже зайняті, тому однорідний фон неспостережний. Але вакантний (незайнятий) енергетичний стан, подібно дірці в однорідному «безликому середовищі», може спостерігатися. Дірка поводить як позитивно заряджений електрон. Крім того оскільки вона відповідає недостачі від'ємної енергії, її енергія додатна, як і енергія всіх відомих частинок. Таким чином, Дірак передбачив існування античастинки, близнюка електрона.

Він показав також, що електрон може зайняти вакантну дірку, а це еквівалентно зіткненню електрона з «антиелектроном», внаслідок чого обидві частинки анігілюють з тим, що вивільняється енергія у вигляді кванта випромінювання – фотона. Діраку ж належить теоретичний прогноз можливості народження електрон-антиелектронної пари з фотона достатньо великої енергії. Передбачений Діраком антиелектрон був відкритий в 1932 р. Карлом Д. Андерсеном і був названий позитроном. Пізніше підтвердилося і припущення Дірака про можливість народження пари. Згодом Дірак висунув гіпотезу про те, що й інші частинки, такі, як протон, також повинні мати свої аналоги з антиматерії, але для опису таких пар частинок і античастинок була потрібна складніша теорія. Існування антипротона було підтверджено експериментально в 1955 р. Оуеном Чемберленом. В даний час відомі й багато інших античастинок.

Рівняння Дірака дозволило внести ясність в проблему розсіювання рентгенівського випромінювання речовиною. Було доведено, що рентгенівське випромінювання після розсіювання має відмінну від первинного довжину хвилі. Це суперечило старій теорії, яка стверджувала незмінність довжини хвилі при розсіюванні. В 1923 р. **Артур Голлі Комптон** (10.09.1892–15.03.1962 р.р.) відкрив так званий ефект Комптона, який кількісно показав що фотон рентгенівського випромінювання взаємодіє з окремим електроном. Електрон приходить у рух, і набута ним кінетична енергія віднімається від енергії рентгенівського фотона. Розсіяний фотон має меншу енергію, ніж до розсіювання і, отже, відповідає рентгенівському випромінюванню з меншою частотою і більшою довжиною хвилі. Взаємодія фотона з електроном математично має багато спільного із зіткненням більярдних куль. Відкриття ефекту Комптона ще раз підтвердило подвійну природу випромінювання – корпускулярно-хвильовий дуалізм. Рентгенівське випромінювання спочатку веде себе як хвиля, потім взаємодіє з електроном як частинка (фотон) і після зіткнення знов розповсюджується, як хвиля. Теорія Дірака дає докладний кількісний опис такої взаємодії.



Рис. 109. Артур Комптон

Пізніше Дірак (і незалежно від нього Енріко Фермі) відкрив статистичний розподіл енергії в системі електронів, відомий тепер під назвою статистика Фермі-Дірака. Ця робота мала велике значення для теоретичного осмислення електричних властивостей металів і напівпровідників.

Дірак передбачив також існування магнітних монополів – ізольованих позитивних або негативних магнітних частинок, подібних позитивно або негативно зарядженим електричним частинкам. Спроби експериментально знайти магнітні монополя дотепер не увінчалися успіхом. Всі відомі магніти мають два полюси – північний і південний, які невіддільні один від одного. Дірак висловив припущення й про те, що природні фізичні константи, наприклад гравітаційна стала, можуть виявитися не постійними в точному значенні слова, а поволі змінюватися з часом. Ослаблення гравітації, якщо воно взагалі існує, відбувається настільки поволі, що знайти його надзвичайно важко, і тому воно залишається гіпотетичним.

Дірак і Шредінгер отримали Нобелівську премію з фізики у 1933 р. «за відкриття нових продуктивних форм атомної теорії».

Із відкриттям радіоактивності Анрі Беккерелем розпочався розвиток ядерної фізики, яка привела до появи нових джерел енергії: атомної енергії та енергії ядерного синтезу. Відкриті при дослідженнях ядерних реакції нові частинки: нейтрон, протон, нейтрино започаткували фізику елементарних частинок. Ці нові відкриття на субатомному рівні виявилися дуже важливими для фізики на рівні Всесвіту і дозволили сформулювати теорію його еволюції – теорію Великого Вибуху.

Склався остаточний розподіл праці між фізиками-теоретиками й фізиками-експериментаторами. Енріко Фермі був успішним фізиком як у теорії так і в експериментальній роботі.

Енріко Фермі (29.09.1901 р., Рим, Італія – 28.11.1954 р. Чикаго, Ілінойс, США) – італійський фізик, відомий своїми роботами в області ядерної, квантової і статистичної фізики.



Рис. 110. Енріко Фермі

Серед його досягнень – відкриття ядерних реакцій, що відбуваються при бомбардуванні речовини нейтронами, в результаті яких народжуються нові радіоактивні елементи.

До його теоретичних робіт відносяться вивчення слабкої взаємодії, одної з фундаментальних взаємодій, і роботи з квантової статистики ферміонів (разом із Полем Діраком). Він запропонував концепцію енергії Фермі.

Лауреат Нобелівської премії з фізики 1938 р. Фермі був провідним учасником Манхеттенського проекту.

Передній край фізики перемістився в область дослідження найфундаментальніших законів, ставлячи перед собою мету створити теорію, яка пояснювала б Всесвіт, об'єднавши теорії фундаментальних взаємодій. На цьому шляху фізика здобула часткові успіхи у вигляді теорії електрослабкої взаємодії та теорії кварків узагальненій у так званій стандартній моделі. Однак, квантова теорія гравітації досі не побудована. Певні надії пов'язуються з теорією струн.

Водночас, починаючи зі створення квантової механіки швидкими темпами розвивається фізика твердого тіла, відкриття якої привели до

виникнення та розвитку електроніки, а з нею й інформатики, які внесли докорінні зміни в культуру людського суспільства.



Рис. 111. Фермі (нижній зліва), Лео Сілард (другий справа внизу) разом із колегами з проекту Фізичні інструменти й фізичні теорії поширилися в інші області науки: хімію, біологію, медицину, в сторону яких, загалом, змістився інтерес суспільства.

5.3. Загальна теорія відносності та її експериментальне обґрунтування

Загальна теорія відносності (ЗТВ), створена у 1917 році, є закономірною частиною наукового світогляду, але про завершений її характер нині ще не можна говорити. Тому вона належить не лише до історії науки, а й до науки наших днів. Перші думки про тяжіння, як загальну властивість тіл, виникли ще у епоху античності. У XVI–XVII ст. в Європі відродились спроби довести існування взаємного притягання тіл. Такий висновок зробив, зокрема, німецький астроном І. Кеплер. Еквівалентність сил тяжіння і сил інерції у класичній механіці XVI–XVII ст. були відомі з часу її становлення. Це виходило з факту рівності інерційної та гравітаційної мас. Ще Г. Галілей установив, що всі тіла на Землі падають з одним і тим же прискоренням (за відсутності опору повітря). І. Ньютон підтвердив такий висновок дослідженнями з маятником. У 1890 р. угорський вчений Л. Етвеш перевіряв дане твердження експериментально з високою точністю і підтвердив висновки Г. Галілея та

І. Ньютона. Обґрунтоване формулювання закону всесвітнього тяжіння зробив І. Ньютон ще у 1687 р. Після відкриття залежності інертної маси від швидкості її руху проблема незалежності прискорення сили тяжіння від будь-яких властивостей і станів тіл постала у новому аспекті.

Д. Томсон у 1907 р. дійшов висновку, що відношення маси тіла до його ваги не є постійним.

М. Планк висловив думку, що гравітаційна та інертна маси завжди рівні і мають одну й ту ж природу [87, с. 466].

Перший крок до застосування релятивістських ідей до тяжіння зробив А. Пуанкаре в останньому параграфі своєї роботи зі спеціальної теорії відносності. Він вважав, що гравітаційна взаємодія здійснюється не миттєво, а зі швидкістю світла. Ще раніше було відомо, що будь-яка речовина з густиною ρ породжує навколо себе гравітаційне поле. Його потенціал визначається рівнянням Лапласа-Пуассона $\Delta\phi = 4\pi G\rho$, де G – гравітаційна стала. Для точкової маси $\rho = m\delta(r)$, яка знаходиться у початку координат, потенціал ньютонівської теорії на відстані r

визначається за формулою $\phi = \frac{4\pi Gm\delta(r)}{\Delta} = -\frac{Gm}{r}$. Для маси M потенціальна енергія поля буде дорівнювати $U = -\frac{GMm}{r}$. Звідси одержимо вираз для

ньютонівської сили $F = -\frac{\partial U}{\partial r} = -\frac{GMm}{r^2}$. Оскільки згідно основної ідеї теорії

відносності, час повинен входити у всі рівняння нарівні з координатами, то статичне рівняння необхідно замінити хвильовим [83, с. 299]

$\Delta\phi - \frac{\phi}{c^2} = 4\pi G\rho$, яке означає поширення потенціалу гравітації зі швидкістю

світла ($\Delta = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ – оператор Лапласа). Гравітаційний потенціал

тіла або системи тіл, точок можна записати у вигляді виразу $\phi = -\int \frac{G}{r} dm$.

Даний вираз є розв'язком рівняння Пуассона.

Коли гравітаційні взаємодії настільки сильні, що розганяють тіла до швидкостей порядку швидкості світла, тоді ньютонівська теорія тяжіння є непридатною, бо не узгоджується зі спеціальною теорією відносності. Узагальнення теорії тяжіння на основі спеціальної теорії відносності у

1917 році зробив А. Ейнштейн. Нова теорія була названа Загальною теорією відносності (ЗТВ) з чотиримірним простором.

Загальна теорія відносності є синтезом наукових відкриттів ХІХ століття. Безумовно, що подібний синтез не міг бути реалізований на основі старих уявлень про простір, час, рух. Традиційне диференціальне числення також не давало відповіді на проблеми, що виникли, хоч в історії науки були спроби узагальнити ньютонівську теорію тяжіння. Проблемами тяжіння один з перших науковців займався А. Пуанкаре у його класичних роботах зі спеціальної теорії відносності (1905 р.).

І. Зольднер у 1804 р. відкрив явище і розрахував радіус викривлення променів світла у полі тяжіння зірок, зокрема, завдяки притяганню променя світла до Сонця.

Безумовно, фундаментом загальної теорії відносності є СТВ у тому вигляді, яку їй надали у своїх роботах Г. Мінковський, А. Пуанкаре, М.І. Лобачевський, Я. Бояі (Больяі), Б. Ріман, Е. Кристоффель, Г. Річчі і Т. Леві-Чівіта [81; 83; 91; 114; 134, с. 686]. Новим допоміжним формалізмом теорії став векторний та тензорний аналіз.

ЗТВ має ряд характерних особливостей. Вона здійснила епохальний перегляд уяви про простір-час-тяжіння, але до цього часу майже не має ніякого практичного застосування. Її висновки нічого не змінюють у фізиці атома, фізиці ядра, елементарних частинок. Поправки, які вона дає до закону Всесвітнього тяжіння, зовсім не значимі. До цього часу ЗТВ підтверджена лише трьома астрономічними фактами, які відомі були на початку ХХ ст.

Одним з наслідків ЗТВ є те, що еліптична траєкторія руху планети повинна повільно повертатись навколо Сонця. Найбільший ефект буде для найближчих до Сонця планет. Такою планетою є Меркурій, тому спостереження й були спрямовані на цю планету. Повільне обертання орбіти Меркурія, а точніше, незначне зміщення перигелію (осі обертання) Меркурія, на 43'' за століття, було помічено астрономами. Теорія тяжіння Ньютона цей факт не могла з'ясувати. Частина вчених намагались пояснити явище впливом на рух Меркурія інших планет. Проте теоретичні розрахунки показали, що відхилення є набагато меншим, ніж у дійсності. З точки зору ЗТВ, вперше позитивно питання було розглянуто А. Ейнштейном у 1915 р. і остаточно вирішено у 1916 р.

К. Шварцшільдом. Співпадання результатів розрахунку згідно з ЗТВ і даних астрономічних спостережень було досягнуто без будь-яких додаткових гіпотез, як прямий наслідок ЗТВ. Ці передбачення підтверджені експериментально з точністю до 1 % [135].

ЗТВ передбачає невеликий зсув до червоного кінця спектральних ліній, які випромінюються в умовах інтенсивного поля тяжіння у зірках. Загальновідомо, що годинник у полі тяжіння йде повільніше. Оскільки, коливальний рух можна розглядати подібно до годинника, то теорія передбачає зменшення частоти світлового випромінювання за наявності поля тяжіння. Звідси випливає, що спектральні лінії світла, які випромінюються зіркою, повинні бути зміщені у червону сторону порівнянно з відповідними лініями у спектрах земних джерел.

Наявність червоного зміщення спостерігав у 1923–1926 р.р. Ч. Сент-Джон у спектрі Сонця. Таке ж виявлено при дослідженні зірок-карликів, середня густина яких у десятки разів більша густини води.

У 1925 році Адамс сфотографував спектри Сіріуса і його супутника Сіріуса В. Порівнявши спектри, він виявив червоне зміщення, яке співпало з розрахованими. Теорія передбачає зміну частоти променя при поширенні між точками з різницею гравітаційних потенціалів $\frac{\Delta v}{v} = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{c^2}$. Експерименти підтвердили точність формули до 0,04 % [136].

ЗТВ пояснила відхилення променів світла, які поширюються у полі тяжіння. Оскільки енергія має масу, а інертна маса є такою ж, як і важка (гравітаційна), то звідси випливає, що тяжіння зазнає й енергія. Тому промінь у полі тяжіння повинен відхилитись. Фактично таке відхилення випливає із ньютонівської корпускулярної теорії світла. Розрахунок відхилення променя світла зірки, яка знаходиться поблизу Сонця, зробив ще у 1804 р. І. Зольднер. Відхилення виявилось у два рази меншим за обчислене з урахуванням закономірностей ЗТВ.

Перші розрахунки А. Ейнштейна були також у два рази меншими за теоретичні. Теорія передбачає, що у випадку проходження світла поблизу поверхні Сонця це відхилення є рівним 1,75''.

Двадцять дев'ятого травня 1919 р. А. Едінгтон під час спостереження повного сонячного затемнення на острові Принчипе, поблизу Західної

Африки, практично виявив цей ефект. Двадцять першого вересня 1922 р. під час нового спостереження повного сонячного затемнення такий висновок знову підтвердився.

Більша точність експериментів досягається при спостереженні сучасною технікою позаземних точкових радіоджерел. У 1980 р. цим способом передбачення теорії підтвердились з точністю до 6 %.

На початку ХХ ст., як і в інші періоди історії культури, людство відчувало ознаки докорінного перелому в наукових світосприйманнях фундаментальних понять. Чотиримірний простір-час спеціальної теорії відносності впевнено увійшов у життя науки. В таблиці 3 наведено порівняльний аналіз чотиримірного та тримірного світу.

Залишається фактом у науці, що ЗТВ створив А. Ейнштейн з участю практично лише двох вчених – А. Фоккера та Г. Гроссмана, на відміну від інших теорій, у створенні яких брала участь велика кількість вчених і цілих колективів. Таке можна пояснити історичною фізичною ситуацією перших десяти-п'ятнадцяти років ХХ ст. Більшість вчених тоді привернули свою увагу до надзвичайно актуальних проблем побудови квантової теорії атома. Цього вимагала і суспільна практика. Проблема тяжіння і узагальнення спеціального принципу відносності не стояла і нині ще не стоїть на порядку денному суспільного життя, бо ще й вимагає оволодіння новим складним математичним апаратом. Крім А. Ейнштейна, питаннями ЗТВ в окремих роботах займалися М. Абрагам та Г. Нордстром. Після становлення основних положень ЗТВ і перших фундаментальних її підтверджень (1919 р.) до теорії залучилась значна частина відомих вчених. Відразу було здійснено: аналіз основних понять теорії, відшукування розв'язків рівнянь, постановку дослідів з астрономічних перевірок наслідків теорії, зроблені спроби побудувати геометризовану єдину теорію поля, створити квантову теорію гравітації тощо. Все це вимагало нового погляду на проблему простору та часу, а відповідно і нового погляду на основні фізичні величини.

Для того, щоб зрозуміти розвиток ідей, які привели до утворення ЗТВ, ми схематично зобразили фізичну картину світу 1905–1908 років.

Порівняльний аналіз основних понять чотири- і тривимірного простору-часу

Назва понять	Чотиривимірний простір-час	Тривимірний простір-час
Зображення подій	$x_1=x, x_2=y, x_3=z, x_4=ct$, або $x_4=ict$	$x_1=x, x_2=y, x_3=z$
Інтервал, нескінченно мала відстань між двома подіями	$ds^2 = c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)$ – чотиримірна величина простору-часу	$dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ – квадрат відстані, dt^2 – квадрат проміжку часу
Вектор імпульсу	$P_1 = \frac{m_0 v_x}{\sqrt{1-\beta^2}}; P_2 = \frac{m_0 v_y}{\sqrt{1-\beta^2}};$ $P_3 = \frac{m_0 v_z}{\sqrt{1-\beta^2}}; P_4 = \frac{iE}{c}$	$\vec{P} = m\vec{v}$
Перетворення координат при переході від рухомої до нерухомої інерціальної системи	$x' = \frac{(x - vt)}{\sqrt{1-\beta^2}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{(t - \frac{xv}{c^2})}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$x' = x - vt; y' = y;$ $z' = z; t' = t$
При переході від однієї інерціальної системи до іншої інтервал має такі властивості	$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = (x')^2 + (y')^2 + (z')^2 - c^2 (t')^2$ – інваріантність інтервалу між подіями	$x^2 + y^2 + z^2 = s^2;$ $(x')^2 + (y')^2 + (z')^2 = (s')^2$
Формули перетворення швидкостей	$v_x = \frac{(v'_x + u)}{1 + \frac{v'_x u}{c^2}}; v_y = \frac{v'_y \sqrt{1-\beta^2}}{1 + \frac{v'_y u}{c^2}};$ $v_z = \frac{v'_z \sqrt{1-\beta^2}}{1 + \frac{v'_z u}{c^2}}$	$v' = v_x + v_0; v'_y = v_y;$ $v'_z = v_z$
Формули перетворення сил	$F'_x = F_x; F'_y = \frac{F_y}{\sqrt{1-\beta^2}}; F'_z = \frac{F_z}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$F'_x = F_x; F'_y = F_y;$ $F'_z = F_z$
Формули перетворення імпульсу	$P_x = \frac{P'_x + \frac{E' u}{c^2}}{\sqrt{1-\beta^2}}; P_y = P'_y; P_z = P'_z;$ $E = \frac{E' + P'_x u}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$P_x = P'_x + P_0; P_y = P'_y;$ $P_z = P'_z$
Формули перетворення напруженості електричного поля	$E_x = E'_x; E_y = \frac{E'_y + \frac{H'_z u}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}};$	$\vec{E} = \vec{E}' + [\vec{H}\vec{u}]$

	$E_z = \frac{E'_z + \frac{H'_y u}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}}$	
Формули перетворення напруженості магнітного поля	$H_x = H'_x; \quad H_y = \frac{H'_y + \frac{E'_z u}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad H_z = \frac{H'_z + \frac{E'_y u}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}}$	$\vec{H} = \vec{H}' + [\vec{E}\vec{u}]$
Фундаментальні співвідношення між енергією, імпульсом і енергією спокою	$P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + P_4^2 = const,$ або $E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4; \quad const = m_0^2 \cdot c^4$	$\vec{P} = m\vec{v};$ $E = mgh + \frac{mv^2}{2}$
Формула додавання швидкостей	$v = \frac{(v' + u)}{1 + \frac{v'u}{c^2}}$	$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$
Значення кінетичної енергії	$W = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$	$W = \frac{mv^2}{2}$
Зміна кінетичної енергії	$\Delta(\Sigma W) = c^2 \Delta(\Sigma m)$	$\Delta(\Sigma W) = A$
Зображення координат	Світова точка події (x, y, z, t)	Координата точки (x, y, z)

Звідси випливає ряд висновків, зокрема, про те, що простір і час неможливо розглядати незалежно один від іншого, так як вони утворюють єдину чотиривимірну багатообразність. Все у світі необхідно характеризувати чотирма координатами. Компоненти складають чотиривимірний вектор. Всі величини описуються тензорами певного рангу. Такий підхід до опису нашого Всесвіту привів до глибокого об'єднання різних фізичних величин, удалось уточнити зв'язки між ними [83, с. 291-292]. В основу геометрії чотиривимірного світу було покладено інтервал, або нескінченно малу відстань між двома подіями. Замість тривимірного вектора імпульсу і незалежної енергії маємо «4-імпульс». Компоненти електричного \vec{E} і магнітного поля \vec{H} об'єднані в антисиметричний тензор 2-го рангу $F_{\mu\nu} = (\vec{E}\vec{H})$. Його компоненти можна записати у вигляді таблиці-матриці:

$$F_{\mu\nu} = \begin{vmatrix} 0 & +H_z & -H_y & -iE_x \\ -H_z & 0 & +H_x & -iE_y \\ +H_y & -H_x & 0 & -iE_z \\ +iE_x & +E_y & +iE_z & 0 \end{vmatrix}$$

Зміст подібного об'єднання досить чітко проявляється у СТВ при переході від однієї системи координат до іншої, яка рухається відносно першої, тобто при лоренцевих перетвореннях. Тоді, якщо у першій системі мало місце одне електричне поле, наприклад, нерухомого зряду, то у рухомій системі будуть відмінні від нуля всі компоненти магнітного поля. Теорія відносності вимагає, щоб усі рівняння не лише електромагнітного поля, а також рівняння руху частинок, мали чотиривимірну форму. Так СТВ завершила довготривалий період об'єднання електричних, магнітних і світлових явищ.

Однією з важливих особливостей поля тяжіння, яка була покладена А. Ейнштейном у основу нової теорії, є те, що тяжіння абсолютно однаково діє на різні тіла, надає їм однакові прискорення незалежно від мас, хімічного складу та інших властивостей. Так, на поверхні Землі всі тіла падають під впливом її поля тяжіння з однаковим прискоренням – прискоренням вільного падіння. Цей факт був встановлений Г. Галілеєм і може бути сформульований як принцип точної пропорційності гравітаційної (важкої) m_T маси, яка визначає взаємодію тіла з полем тяжіння і входить у формулу всесвітнього тяжіння та інерційної маси m_i , яка визначає опір тіла діючій на нього силі й входить у рівняння другого закону Ньютона [140]. Тоді $m_i = m_T$, бо коефіцієнти пропорційності однакові при виборі певної системи одиниць вимірювання. Тіла різної маси і природи у заданому полі тяжіння рухаються з однаковим прискоренням, коли їх початкові швидкості однакові. Цей факт показує глибоку аналогію між рухом тіл у полі тяжіння і рухом тіл за відсутності тяжіння, але відносно системи відліку, яка рухається прискорено. Образно кажучи, можна «знищити» у даній точці істинне гравітаційне поле введенням системи відліку, яка рухається з прискоренням вільного падіння. Розвиваючи дану думку, А. Ейнштейн передбачив, що не лише механічний рух, але загалом всі фізичні процеси у істинному гравітаційному полі й у прискореній системі за відсутності тяжіння протікають однаково, за однаковими законами. Цей принцип одержав назву «сильного принципу еквівалентності» на відміну від «слабкого принципу еквівалентності», який відноситься лише до законів класичної механіки. Гравітаційний «заряд» будь-якого тіла пропорційний його масі. Тому відношення «заряду» до маси є величина постійна для всіх тіл і

рівна гравітаційній постійній. Що ж до величини прискорення падіння всіх тіл у гравітаційному полі, то до появи ЗТВ це явище не знаходило свого пояснення. Суть думки А. Ейнштейна у тому, що гравітаційне поле пов'язане з викривленням простору часу. Поле тяжіння вперше об'єднується з простором і часом. Якщо простір і час не викривлені, то маємо чотиривимірну геометрію Пуанкаре-Мінковського. Це означає, що за відсутності поля тяжіння маємо інваріантність усіх рівнянь відносно лоренцевих перетворень.

Таким чином, А. Ейнштейн прийшов до принципу еквівалентності, який він сформулював у своїй автобіографії: «В полі тяжіння (малої просторової протяжності) усе відбувається так, як в просторі без тяжіння, якщо в нього замість «інерціальної» системи відліку ввести систему, прискорену відносно неї» [140, с. 282]. Принцип можна сформулювати й інакше: спостерігач ніякими дослідженнями у своїй системі відліку не може відрізнити, чи знаходиться він у гравітаційному полі, чи прискорено рухається. Для випадку уявного експерименту з вільно падаючим ліфтом принцип еквівалентності справедливий для невеликої частини простору і має локальний характер.

Розглянута система відліку імітує однорідне гравітаційне поле. Але поля, які створюються тілами, не є такими. Сферичне поле тяжіння Землі має різний напрям прискорення у різних її точках. Спостерігачі у різних системах, які встановили зв'язок між собою, виявляють, що вони рухаються прискорено один відносно іншого. Цим самим вони виявляють, що істинне поле тяжіння відсутнє, тобто істинне поле тяжіння не зводиться просто до введення прискореної системи відліку у звичайному просторі, або точніше, у плоскому просторі-часі спеціальної теорії відносності. Виходячи з принципу еквівалентності, А. Ейнштейн показав, що за умови, коли істинне гравітаційне поле є прискореним, у кожній точці системи відліку, то у будь-якій кінцевій області простір-час виявиться викривленим – неевклідовим. Спостерігач сприймає цей рух як рух з викривленими траєкторіями у тривимірному просторі-часі зі змінною швидкістю. У заданому полі тяжіння всі тіла, незалежно від їх маси і складу, за однакових початкових умов будуть рухатись вздовж одних і тих же геодезичних ліній. Тому зміна швидкостей будь-яких тіл у даному полі буде однаковою. Однаковість прискорень означає точну пропорційність

важкої (гравітаційної) й інертної мас, ці маси відрізнити неможливо. Кривизна простору-часу створюється джерелами гравітаційного поля і є його властивістю. Викривлення простору-часу визначається не лише масою речовини тіл, а й всіма видами енергії, якими володіє система. Ця ідея привела вчених до висновку про еквівалентності маси та енергії. Згідно цієї ідеї, тяжіння залежить не лише від розподілу мас у просторі, а й від їх руху, від тисків й напружень у тілах, від електромагнітного й інших фізичних полів.

СТВ встановлена як теорія фізичних процесів у плоскому просторі. Проте це не означає, що не можна перейти від плоских до криволінійних координат. Математично це має вигляд $ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$, де $i, k = 1, 2, 3, 4$; x_1, x_2, x_3 – просторові координати, x_4 – часова координата, g_{ik} – гравітаційне прискорення. З фізичної точки зору перехід до довільних координат означає і перехід від інерційної системи до системи, яка рухається з прискоренням. У загальному випадку прискорення у різних точках може бути різним. У ЗТВ простір-час є викривленим, тому необхідно користуватись криволінійними координатами і загальним виразом $ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$. Знаючи g_{ik} як функцію чотирьох координат, можна визначити всі геометричні властивості простору-часу. Величини g_{ik} визначають метрику простору-часу, а сукупність всіх g_{ik} називають метричним тензором. За наявності поля тяжіння величина g_{ik} у різних точках різна, відповідно темп протяжності часу залежить від поля тяжіння. Чим сильніше поле, тим повільніше протікає час у порівнянні з протіканням часу для спостерігача, який знаходиться поза полем.

На основі ріманової метрики, Т. Картан ввів геометрію чотиривимірного не лише викривленого світу, а й узагальненого, який має властивості ще й кручення. У 1921 р. Е. Калуца намагався об'єднати гравітацію і електромагнетизм на основі п'ятивимірної геометрії. Зміст п'ятої координати було розкрито В.І. Родичевим та Ю.В. Румером як дія або власний час. П'ятивимірна метрика була використана О. Клейном у 1926 р. для першого викладу релятивістського квантового хвильового рівняння, яке описує безспінові частинки [83].

Рівняння тяжіння Ейнштейна зв'язують величини g_{ik} з величинами, які характеризують матерію, що створює поле: густиною, потоками

імпульсу, енергією тощо. Ці рівняння мають вигляд: $R_{ik} - g_{ik} \frac{R}{2} = \frac{8\pi G T_{ik}}{c^4}$.

Тут R_{ik} – тензор Річчі, який виражається через g_{ik} першими і другими похідними за координатами. T_{ik} – тензор енергії-імпульсу матерії, компоненти якого виражаються через густину, потоки імпульсу й інші величини, що характеризують матерію і її рух (фізична матерія виражається через речовину та поле). $R = R_{ik} g_{ik}$, де g_{ik} виражається через символи Кронекера. Пізніше А. Ейнштейн зробив спробу удосконалити дане рівняння, додавши космологічний член Λg_{ik} для побудови моделі Всесвіту. Проте у середині 20 років учень Б.Б. Голіцина О.О. Фрідман показав, що рівняння Ейнштейна без додаткового Λ -члена приводить до нестандартної моделі Всесвіту, яка еволюціонує. У 1929 р. американський учений Е. Хаббл відкрив закон червоного зміщення для галактик, що стало підтвердженням цієї моделі.

Таким чином, рівняння А. Ейнштейна визначає породження, розподіл і поширення гравітаційного поля під впливом будь-якої речовини. Нелінійний характер гравітаційного поля указує, що воно породжується і самим гравітаційним полем. У випадку слабкого гравітаційного поля, яке існує у плоскому просторі, а речовина є нерухомою, складні рівняння Ейнштейна переходять у пуассонівське рівняння ньютонівської теорії тяжіння $\Delta\phi = 4\pi G\rho$.

У 1907 р. А. Ейнштейн вперше поставив питання про поширення принципу відносності на прискоренні системи відліку. Він застосував знайдений ним принцип для розгляду поведінки годинника та світлового променя у гравітаційному полі й одержав результат, який привів до висновку про викривлення світлового променя у цьому полі. Числове значення викривлення було у два рази меншим, оскільки не враховувалась кривизна поверхні, яка тоді ще не була відома. Після врахування кривизни поверхні теоретичні розрахунки співпали з даними астрономічних досліджень. Г. Галілей прямими дослідженнями спростував твердження Арістотеля, що швидкість падіння важких тіл залежить від їх мас (у випадку відсутності опору).

З цього моменту розпочинається фізика досліду і математичної теорії. Спостереження Г. Галілея привели до висновку про рівність гравітаційної і інерційної мас. Угорський вчений Л. Етвеш дослідом з крутильними

вагами довів рівність інерційної і важкої маси з точністю до $0,5 \cdot 10^{-7}$. У 1909 р. Д. Пекар і Е. Фекете підтвердили результат Л. Етвеша з точністю до 10^{-8} . Американські фізики довели точність до 10^{-10} , а В.Б. Брагінський – до 10^{-12} . На цей час була достовірно відома рівність інерційної та важкої (гравітаційної) мас.

Із цього факту А. Ейнштейн і робить висновок, що у однорідному полі тяжіння будуть еквівалентні нерухома, напрямлена вздовж від'ємної осі z система K і друга K' , яка рухається у вільному просторі вздовж позитивного напрямку осі z з постійним прискоренням γ . А. Ейнштейн стверджує, що у обох системах справедливі рівняння руху вільної матеріальної точки такого вигляду: $\frac{d^2 x_v}{dt^2} = 0$; $\frac{d^2 y_v}{dt^2} = 0$; $\frac{d^2 z_v}{dt^2} = -\gamma$; для прискореної системи K' рівняння слідує з принципу Галілея. А. Ейнштейн підкреслює, що цей дослідний факт про однаковість прискорення падіння усіх падаючих у гравітаційному полі тіл є одним із найбільш загальних фактів, встановлених спостереженнями.

У 1911 р. А. Ейнштейн висуває постулат еквівалентності обох систем для будь-яких фізичних явищ, а через рік вчений говорить про принцип еквівалентності для гіпотези про фізичну еквівалентність прискореної системи координат полю тяжіння. У 1916 році А. Ейнштейн чітко формулює основні принципи, які лежать в основі ЗТВ. Принцип відносності набуває такого змісту: закони фізики повинні бути складені так, щоб вони були справедливими для довільних систем, що рухаються. Математичною мовою це означає: закони природи повинні бути виражені через рівняння, справедливі у всіх координатних системах, тобто ці рівняння повинні бути коваріантними відносно будь-яких підстановок.

Внутрішня логіка ЗТВ була настільки переконливою, що ще до першого астрономічного підтвердження у 1919 р. теорії її ідеї привернули увагу авторитетних дослідників Д. Гільберта, О. Клейна, Г. Лоренца, Г. Гоффмана, Л. Інфельда та інших. Зокрема досить простим способом В.О. Фок вивів рівняння руху для тіла, яке має кінцевий об'єм, застосувавши гармонічні координати де Доплера [130].

Цікавими є роботи, насамперед, математиків Г. Вейля, Т. Картана, Ван Схотена, О. Еддінгтона, А. Ейнштейна і багатьох інших вчених, які висунули і розвивали програму об'єднаного опису всіх полів і всієї

речовини на базі геометризованої картини світу. Ця програма не вдалась так як ігнорувала квантовий характер атомних явищ. У її основі ніяк не відображено факт існування електрона, протона, нейтрона та інших елементарних частинок.

ЗТВ – неквантова теорія. В цьому відношенні вона подібна класичній електродинаміці Максвелла. Загальні підходи до аналізу проблем сучасної фізики показали, що гравітаційне поле повинне підкорятись квантовим законам так само як і електромагнітне. Інакше виникають суперечності з принципом неозначеності для електронів, фотонів тощо. Застосування квантової теорії до гравітації показує, що гравітаційні хвилі можна розглядати як потік квантів – гравітонів, які уявляються як нейтральні частинки з нульовою масою спокою і спіном 2 у одиницях \hbar . Із теорії розмірності випливає, що квантові ефекти у гравітації є визначальними, коли радіус кривизни простору-часу є рівним величині $r_{пл} = \sqrt{\frac{Gh}{2\pi c^3}}$, $r_{пл} \approx 10^{-35}$ м – планківська довжина. За інших умов ЗТВ є непридатною.

Гіпотеза про можливість гравітаційних хвиль була чи не найперше висловлена Б.Б. Голіциним у середині 90 років XIX ст. у неопублікованому листуванні з П.М. Лебедевим (Архів АН СРСР) [24; 83]. Ця ідея була розглянута у зв'язку з гіпотезою П.М. Лебедева про можливість «дігравітаційної» константи типу діелектричної проникності. Ідеї цього листування не відображені у науці, проте заслуговують і нині на увагу. Напевне, на таку, образно кажучи, обережність Б.Б. Голіцина вплинули негативні і, як не прикро, помилкові відгуки на дисертаційне дослідження Б.Б. Голіцина з проблем випромінювання абсолютно чорного тіла підготовлені О.Г. Столетовим. Тоді навіть О.Г. Столетов не міг збагнути новітніх ідей, які вели до квантової теорії.

Сингулярні стани виникають у ході гравітаційного колапсу. Сингулярність у минулому була властива Всесвіту, що розширюється. Послідовної квантової теорії тяжіння, яку б можна було застосувати до сингулярних станів не існує. При енергії $W \approx \sqrt{\frac{hc^5}{2\pi G}} \approx 10^{16}$ ерг = 10^9 Дж всі види фізичних взаємодій, напевне, проявляються як єдина взаємодія.

Квантові ефекти приводять до народження частинок в полі тяжіння чорних дірок. Для чорних дірок, які виникають із зірок, що мають масу, рівну з сонячною, ці ефекти досить малі. Вони є значимі для чорних дірок масою менше 10^{12} кг, які можуть виникати на ранніх етапах розширення Всесвіту.

Класична космологія однозначно вирішувала питання про просторово-часову нескінченність Всесвіту. Такий розв'язок був прямим наслідком евклідових уявлень про простір, який складав основу ньютонівської класичної фізики і космології.

Із ЗТВ впливає факт існування поперечного ефекту Доплера, який спостерігається у напрямку перпендикуляра до лінії, яка сполучає джерело світла з приймачем. Такий ефект повинен спостерігатись при русі джерела по колу, у центрі якого знаходиться приймач. Явище поперечного ефекту Доплера було експериментально підтверджено у 1938 р. при спостереженні свічення каналових променів. Внаслідок руху атомів і молекул спостерігалось розширення спектральних ліній.

Дослідження червоних зміщень у спектрах ряду туманностей американським вченим В. Слайфером (1919 р.) показали, що туманності віддаляються від Землі з швидкістю 1800 км/с.

Американські астрономи Е. Хаббл і М. Хьюмасон (1928 р.) виявили червоне зміщення при вивченні спектра галактики NGC 7619. Її швидкість склала 380 км/с. Пізніше вони виявили, що деякі галактики в області Великої Ведмедиці рухаються з швидкістю 40000 км/с, а швидкість віддалених галактик складає 65000 км/с. Е. Хаббл у 1929 р. відкрив закон (закон Хаббла) про збільшення швидкостей галактик із збільшенням їх відстані r від Землі: $v = Hr$, де $H = 75$ км/Мпс – стала Хаббла (парсек рівний 3,26 світлових років). Звідси виходить, що більш віддалені галактики повинні мати більшу величину червоного зміщення. Закон Хаббла справедливий для швидкостей $v \leq 0,1c = 3 \cdot 10^7$ м/с. Тому суттєве відхилення від закону Хаббла має місце для найбільш віддалених галактик. Для галактик, які знаходяться на відстані порядку мільярда світлових років від Землі, швидкість їх віддалення на 10000 км/с перевищує розраховану за законом Хаббла. Це означає, що людство живе у нестабільному Всесвіті, який постійно розвивається і про який дуже мало відомо. У теорії Ейнштейна допускалось, що розміри Всесвіту

визначаються кількістю матерії, яка міститься у ній. Густина матерії, а відповідно і метричні властивості простору не змінюються з часом. Радянський вчений О.О. Фрідман у 1922 р. висунув теорію, за якою Всесвіт змінюється у часі, змінюється його метрика, а тому змінюється і відстань між будь-якими об'єктами. Він висунув дві моделі: замкнута модель, подібна до поверхні кулі, і відкрита – сідлоподібна поверхня з постійною від'ємною кривизною.

Кривизна простору весь час змінюється, оскільки постійно змінюється густина речовини. Якраз густина речовини і визначає, яка з цих моделей відповідає сучасним уявленням про Всесвіт. Результати досліджень радіогалактик, квазарів, реліктового космічного випромінювання дозволяють з великою імовірністю вважати, що нині розширюється та частина метagalактики, у якій знаходиться наша і найближчі до неї галактики. Не виключено, що у нескінченному Всесвіті може проходити і протилежне явище – зближення галактик. Пульсація видимого Всесвіту – його стиснення і розширення можна вважати як локальні і тимчасові, як природні, а не виключні явища, як епізоди у нескінченному розвитку безмежного Всесвіту.

Деяке критичне значення середньої густини речовини і випромінювання у Всесвіті відповідає евклідовому світовому простору. У цьому випадку Всесвіт розширюється від первинного точкового сингулярного стану. Коли густина менша критичної, то простір набуває властивостей геометрії Лобачевського [81] і необмежено розширяється. Якщо густина більша критичної, то простір виявляється рімановим і розширення змінюється на стиск, який продовжується до первинного сингулярного стану. Відповідно змінюються масштаби Всесвіту. Якщо середня густина матерії у Всесвіті перевищує $2 \cdot 10^{-26}$ кг/м³, то простір закривається у гігантську гіперсферу [50]. Дослідження вчених дають оцінку густини мас галактик $5 \cdot 10^{-28}$ кг/м³. У дійсності середня густина матерії у Всесвіті може бути більшою за рахунок метagalактичного іонізованого водню, нейтрино і зірок, які погасли (колапсували). Не виключено, що нині середня густина більша за критичну. Тому важко віддати перевагу тій чи іншій моделі.

Відкриття ХХ століття квазарів, реліктового випромінювання (1964 р.), передбаченого Г. Гамовим на основі теорії «гарячого» Всесвіту,

дають підставу зробити висновок, що наш Всесвіт розширюється, еволюціонує. Деякі квазари мають настільки велике червоне зміщення спектральних ліній, що їх швидкості, розраховані за ефектом Доплера, повинні наближатись до швидкості світла. Це означає, що світло, яке ми сприймаємо, було випромінене квазарами багато мільярдів років тому, напевне ще на початку розширення Всесвіту.

Космологія Фрідмана-Лемерта дала відповідь на запитання: з чого все розпочалось? Вважається, що все розпочалось з «Великого вибуху» і розширення просторової структури Всесвіту. Теоретичному ж опису піддаються процеси, які почали відбуватись дещо пізніше «катаклізми». Початкова стадія еволюції розпочинається з мас густиною порядку 10^{96} кг/м³, кривизною простору і вибухового розширення, яке сповільнюється у часі. Із космологічних рівнянь випливає, що кривизна може бути рівною нулю лише при певному критичному значенні густини

$$\rho = \frac{3c^2 H^2}{G}$$
. Якщо $\rho > \rho_{кр}$, то світ буде замкнутим, а якщо $\rho \leq \rho_{кр}$, світ є

відкритим. Ці два положення релятивістської космології є достатніми для загального характеру еволюції Всесвіту, але вони не дають відповіді на запитання про початкові характеристики стану. Згідно теорії «гарячого» Всесвіту передбачається висока початкова температура $T > 10^{13}$ К. За таких умов не могли виникнути молекули чи навіть ядра. Існувала суміш елементарних частинок (включаючи фотони і нейтрино). На основі фізики елементарних частинок можна розрахувати поведінку такої суміші при різних температурах. На початку кількість речовини дещо перевищувала кількість аниречовини. Плазма швидко охолоджувалась, тому процеси анігіляції пар протонів і антипротонів, електронів і позитронів переважали зворотні процеси їх народження. Коли процес анігіляції частинок і античастинок завершився, залишились надлишкові електрони і протони та значна частина випромінювання.

Рівняння космології дозволяють знайти закон розширення однорідного і ізотропного Всесвіту та зміни її фізичних параметрів у процесі розширення. Оскільки початкове розширення проходило з великою швидкістю, то висока температура і велика густина могли існувати досить короткий час. Коли $t \approx 0,01$ с, то густина становила 10^{13} кг/м³. У цей момент повинні уже існувати фотони, електрони,

позитрони, нейтрино і антинейтрино. Наступні перетворення до моменту $t \approx 3$ хв. пов'язані з виникненням легких ядер: $2/3$ водню і $1/3$ гелію. Всі останні хімічні елементи синтезуються із цього дозіркового простору. У момент формування атомів гелію та водню пройшло $t \approx 10^6$ років. Речовина стає прозорою для фотонів, і вони й нині спостерігаються у вигляді реліктового випромінювання. На початку розширення здійснюється дуже швидко, але в цей момент процеси перетворення елементарних частинок проходять ще з більшою швидкістю. В результаті цього установлюється послідовність станів термодинамічної рівноваги. Такі стани повністю описуються макроскопічними параметрами, які визначаються швидкістю розширення і не залежать від попередньої історії їх розвитку. Загальні закони фізики надійно перевірені при ядерних густинах порядку 10^{17} кг/м³. Таку густину мав Всесвіт через 10^{-4} с від початку розширення. Тому фізичні властивості Всесвіту, який розвивається, надійно піддаються вивченню, починаючи від 10^{-4} с від початку сингулярності.

Висновки про нестационарність моделі Всесвіту надійно підтверджені космологічним червоним зміщенням. Кривизна тримірного простору поки що не визначена. Щодо вимірювання часу життя Всесвіту, то, якби розширення проходило з постійною швидкістю, то час від початкового вибуху до нинішнього моменту становив би 13 мільярдів років. Але розширення проходить із сповільненням. Тому тут потрібно вводити поправки.

Існує ряд інших проблем релятивістської теорії Всесвіту. До них, зокрема, відноситься вивчення стану речовини з густиною, більшою за ядерну густину, підходи до вивчення сингулярності, питання топології простору-часу, проблема віку Всесвіту тощо. Процес переходу космічної матерії з «точкового» стану на стадію катастрофічного розширення залишається поза теорією. Невідомо, що було до «Великого вибуху». Можливо, що стану розширення передував стан стиску. Радянський вчений Я.Б. Зельдович назвав астрофізичний пошук реліктового нейтрино «експериментом віку». У розв'язанні назрілих наукових проблем учені покладають надію на формуючу нині гравітаційно-польову астрономію, де домінуючою є ЗТВ.

5.4. Проблеми теплового випромінювання (зародження атомної та квантової фізики)

Виникнення атомної фізики було підготовлено дослідженнями взаємних відносин випромінювання і речовини. Ці дослідження складали три групи: генерація випромінювання речовиною і структура випромінювання; розсіювання випромінювання речовиною; поглинання випромінювання речовиною.

В кінці XIX ст. вважалось, що у науці практично всі механічні, теплові, електричні, світлові явища пояснювались класичною теорією. Виняток складали чотири малопомітні проблеми: дослід Майкельсона, розподіл енергії у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла, спектральні закономірності та фотоефект. Вони склали суперечності. Початок XX ст. можна назвати епохою Планка-Ейнштейна-Резерфорда-Бора. Розробка зазначених проблем (сконцентрована в Німеччині) була пов'язана зі швидким розвитком промислового розвитку держави, експериментальною роботою Берлінською палатою мір і ваг.

Внутрішня логіка розвитку проблеми випромінювання, привела до створення нових галузей науки і техніки: електроніки, радіотехніки, рентгенотехніки, спектрального аналізу тощо. Класична фізика дала дві формули для пояснення розподілу енергії у спектрі абсолютно чорного тіла: формулу Віна та Релея-Джінса. Але О. Луммер та Е. Прингсхейм на дослідах показали, що перша з них справедлива для коротких хвиль, а Г. Рубенс і Ф. Курльбаум довели, що друга описує довгохвильову частину оптичного спектра.

Макс Карл Ернст Планк (23.04.1858–4.10.1947 р.р.) – німецький фізик, лауреат Нобелівської премії, найбільшим досягненням якого вважається теорія випромінювання абсолютно чорного тіла, що стала відправною точкою для побудови квантової механіки. До найважливіших досягнень відносяться: створення квантової гіпотези, яка дозволила розв'язати одну з найважливіших проблем термодинаміки – проблему «ультрафіолетової катастрофи» (за створення квантової гіпотези отримав Нобелівську



Рис. 112. Макс Карл Ернст Планк

премію 1918 року), а також вивід рівнянь релятивістської динаміки та термодинаміки.

В цей же період М. Планк також займався вивченням закономірностей випромінювання: як знайти $E_\nu = f(\nu)$ за даними експериментів; як знайти середню енергію вібратора Герца; як теоретично обґрунтувати одержані результати. До гіпотез відносяться: гіпотеза про рівноймовірність розподілу енергії за резонаторами; гіпотеза про те, що енергія випромінювання різних кольорів (частот) складається з дрібних частинок енергії. М. Планк вважав, що у замкнутому пустому об'ємі при заданій температурі розподіл енергії за довжинами хвиль не залежить від матеріалу, з якого виготовлено даний об'єм, тому для його стінок можна обирати будь-яку будову, що зручна для здійснення обрахунків. Згідно уявлень класичної електродинаміки М. Планк підрахував середню густину випромінювання E_ν в інтервалі частот від ν до $d\nu$ і встановив зв'язок між E_ν та середньою енергією вібратора U : $E_\nu = \frac{8\pi\nu^2 U d\nu}{c^3}$.

Наступна думка М. Планка полягала у тому, як знайти U . Для цього було використано дослідницький підхід Міхельсона-Віна з розподілу енергії у спектрі абсолютно чорного тіла та друге начало термодинаміки. Він виходив з передбачення, що, якщо ентропія системи резонаторів S є відомою функцією енергії коливання резонаторів U , то можна знайти закон розподілу енергії у спектрі чорного випромінювання. М. Планк встановив рівняння зв'язку ентропії і середньої енергії осцилятора

$$\frac{1}{R} = \frac{d^2 S}{dU^2} = \frac{c}{U}$$

і у 1908 р. вивів формулу Віна, яку одержав з чисто термодинамічних міркувань. У своїй автобіографії вчений писав: «Цей зв'язок був настільки дивовижно простим, що деякий час я вважав його абсолютно загальним...» [87, с. 659]. Проте, експерименти Ф. Курльбаума та Г. Рубенса показали, що з ростом температури інтенсивність випромінювання чорного тіла завжди пропорційна температурі, а у Віна інтенсивність випромінювання K_ν залишалась сталою при збільшенні температури. Тому закон Віна задовольняв лише короткохвильову частину спектра випромінювання. Тоді для високих температур енергія осцилятора теж буде пропорційною температурі $U = \frac{c^3 K_\nu}{8\pi\nu^2}$. Відповідно

можна прослідкувати хід роздумів до граничного випадку для високих температур. Аналогічно це обрахування було зроблено і для низьких температур теж до граничного випадку. За граничним випадком має місце

загальна формула $\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T} = \frac{\alpha \ln(\beta + U)}{U}$, з якої обраховується значення

енергії осцилятора $U = \frac{\nu c_1}{\frac{c'_\nu}{e^{\frac{U}{T}} - 1}}$, де c_1 , c' , α , β – сталі величини. Якщо

значення U підставити у вираз для E_ν , то одержимо формулу Планка

$E_\nu = \frac{c_1 \nu^3}{\frac{c'_\nu}{e^{\frac{U}{T}} - 1}} = \frac{c_1 \lambda^5}{\frac{c'}{e^{\lambda T} - 1}}$. Про свої дослідження М. Планк повідомив

товаришів. «На наступний день вранці мене відшукав колега Рубенс та розповів мені, що він після кінця засідання, глибоко вночі порівняв мою формулу і дані своїх вимірів та знайшов скрізь відповідність. Точно так як Луммер та Прингсхейм, які спочатку думали, що вони встановили відхилення, скоро зняли свої заперечення, тому що, як повідомив мені усно Прийнгсхейм, знайдені відхилення були викликані помилкою в обрахунках. В пізніших вимірюваннях формула була знову підтверджена, і притому тим точніше, чим тоньшими були використовувані експериментальні методи» [87, с. 329].

Джон Релей (12.11.1842–30.06.1919 р.р.) свій закон вивів у тому ж 1900 році, що і М. Планк, виходячи з закону рівномірного розподілу енергії за ступенями вільності. Посилань на роботи Д. Релея М. Планк ні у



Рис. 113. Джон Релей

1900, ні у 1901 році не робить. До формули Релея-Джінса прийшов і Г. Лоренц, розглядаючи випромінювання електронами при зміні їх швидкості руху в металі у момент зіткнення з молекулами. У своєму первинному вигляді формула Планка скоріше емпірична, ніж теоретична.

Із жовтня до середини грудня 1900 р. М. Планк займався пошуками теоретичного обґрунтування знайденої формули. У період з 1901 до 1905 р. проблему абсолютно чорного тіла намагались пояснити Г. Лоренц, Д. Томсон, Д. Джінс.

А. Ейнштейн висунув гіпотезу, що кванти величини $h\nu$ існують не лише у процесі випромінювання та поглинання, а мають і самостійне існування. Це дало йому змогу пояснити явище фотоефекту, закони фотохімії, Доплер-ефекту. Висновки А. Ейнштейна підтвердили експериментально А. Комптон, О. Річардсон (1912 р.), Р. Мілікен (1916 р.), І. Штарк (1908 р.), В. Штейнбінг (1909 р.).

В. Нернст розширив область застосування теорії квантів і вивів формулу Планка з уяви про наявність дискретних порцій енергії.

Протягом тривалого часу сам М. Планк не мав чіткості у теорії квантів. Перше десятиліття ХХ століття не привернуло уваги вчених (за виключенням А. Ейнштейна) до проблеми квантів. М. Планк у 1912 р. висуває нову ідею, що випромінювання є квантовий процес, а поглинання – неперервний, який описується законами класичної електродинаміки. В цьому ж році він розглядає поглинання з точки зору електродинаміки, а випромінювання світла і стаціонарний розподіл променистої енергії – з точки зору статистичної механіки. Критикуючи А. Пуанкаре, М. Планк висуває так звану другу теорію, яка була відкинута дослідями Франка і Герца (1912 р.). У 1914 р. М. Планк продовжує відступати на позиції класичної фізики і висуває нову, третю теорію, за якою випромінювання як і поглинання випромінювання осцилятором є процес неперервний, що підкоряється законам класичної електродинаміки. Квантова перервність має місце лише при обміні енергією при зіткненні осцилятора з вільними частинками речовини. У 1915 р. досліди Фоккера змусили М. Планка відмовитись від третьої теорії.

Пояснити сталу Планка з точки зору класичної електродинаміки намагались багато вчених, зокрема, А. Хаас (поклав у основу модель Томсона і одержав значення постійної Планка), Г. Лоренц (розвинув точку зору А. Хааса), А.Ф. Іоффе (ввів поняття атомів світла. Моделлю випромінювання є ідеальний газ, якщо замість маси молекули взяти постійну h , а замість кінетичної енергії - $h\nu$).

5.5. Розробка А. Ейнштейном і П. Дебаєм квантової теорії теплоємності твердих тіл

Поняття про квантову теорію теплоємності. Тепловий рух у твердих тілах реалізується сукупністю коливальних рухів частинок-осциляторів.

Згідно з класичною теорією теплоємності твердих тіл, теорема Больцмана про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності застосовується як до твердих тіл, так і до газів [53]. Класична теорія теплоємності приводить до емпіричного закону Дюлонга і Пті (1819 р.): атомна теплоємність усіх хімічно простих кристалічних твердих тіл приблизно дорівнює $3R$. Поширення закону Дюлонга і Пті на сполуки приводить до закону Неймана-Коппа: молярна теплоємність сполук приблизно дорівнює сумі атомних теплоємностей компонент сполук. Закон Дюлонга і Пті наближено виконується для багатьох твердих тіл при температурах, близьких до кімнатної та вищих. Проте цей закон зовсім не описує зменшення C_V при зниженні температури. Таким чином, класична теорія теплоємності не пояснює в повній мірі залежності C_V від температури. Це є наслідком того, що в рамках класичної теорії здійснюється тільки загальний підрахунок числа ступенів вільності частинок, без диференціації їх відносно частоти коливань.

У рамках квантової теорії вдалося більш-менш задовільно пояснити температурну залежність C_V твердих тіл. У 1870 р. А. Ейнштейн запропонував науці наступну модель для динаміки кристалічної решітки твердого тіла: теплові властивості решітки, яка складається з N коливальних частинок, можна трактувати як властивості системи з N необмежених одновимірних гармонічних осциляторів, які мають однакову власну частоту коливань ν . Гармонічні осцилятори А. Ейнштейна мають квантовий характер, тобто їм властиві лише строго певні дискретні значення енергії.

Тоді середнє значення енергії $\bar{\varepsilon}$ квантового осцилятора, яка припадає на один ступінь вільності, можна записати як:
$$\bar{\varepsilon} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (*)$$
 При високих температурах ($h\nu \ll kT$) з (*) дістаємо класичний результат $\bar{\varepsilon} = kT$. При низьких температурах ($h\nu \gg kT$), коли енергія теплового руху частинок, яка припадає на один ступінь вільності, стає одного порядку з квантом енергії, з формули (*) маємо:
$$\bar{\varepsilon} = h\nu e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

Ввівши поняття характеристичної температури А. Ейнштейн θ_E ($\theta_E = \frac{h\nu_E}{k}$, де ν_E – частота Ейнштейна), на основі (*) одержав:

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 3RF_E\left(\frac{\theta_E}{T}\right), \quad \text{де} \quad F_E\left(\frac{\theta_E}{T}\right) = \left(\frac{\theta_E}{T}\right)^2 \exp\left(\frac{\theta_E}{T}\right) \left(\exp\left(\frac{\theta_E}{T}\right) - 1\right)^{-1} -$$

функція А. Ейнштейна.

Очевидно, що найбільший внесок у температурну залежність $C_V(T)$ при $T \rightarrow 0$, за теорією А. Ейнштейна, вносить експоненціальний множник. Проте C_V для твердих тіл при $T \rightarrow 0$ зменшується не за експоненціальним законом, а пропорційно T^3 .

Цей результат знаходить своє пояснення в теорії Дебая (1912 р.). Таким чином, модель А. Ейнштейна дала можливість лише якісно пояснити факт зменшення C_V при $T \rightarrow 0$. З фізичної точки зору модель А. Ейнштейна не строго передає реальну дійсність, оскільки згідно з нею гармонічні осцилятори решітки розглядаються як цілком незалежні один від другого.

Дебай розглядав тверде тіло, за припущення сильних взаємодій між частинками, а саме тіло як суцільне неперервне середовище, т.б. гомогенний пружно ізотропний континуум, в якому встановлюватиметься система пружних стоячих хвиль. Коливання у твердому тілі Дебай розглядав як коливання струни. Дискретний характер кристалічної решітки та її атомна структура підтверджується лише тим, що число можливих коливань решітки обмежене $3N$ ступенями вільності N частинок, які становлять решітку. Отже, коливання частинок у твердому тілі розглядаються як набір поздовжніх і поперечних стоячих хвиль певного спектру частот, найвища з яких визначається відстанню між сусідніми частинками. Їй відповідає довжина хвилі $\lambda_{min} = 2r_0$. На відміну від коливань «суцільного» тіла, частота якого могла б бути як завгодно великою, спектр коливань кристала «зрізаний» зверху $\nu_{max} \neq \infty$, що, звичайно, зумовлено дискретністю його структури. Згідно з дослідними даними, спектр пружних коливань решітки охоплює інтервал частот від акустичних ($\nu_{min} \approx 10^4$ Гц) до зовсім високих ($\nu_{max} \approx 10^{12} - 10^{14}$ Гц), які відповідають інфрачервоній області. Це оптичні коливання. Дебай проаналізував структуру енергетичного спектру пружних коливань твердого тіла, розглядаючи його як квантову систему зв'язаних тривимірних осциляторів.

Дебай довів кубічну залежність C_V від температури, що більш близька до експериментальної ніж в А. Ейнштейна. Вона відома під назвою закону кубів Дебая. Дослід підтверджує закон кубів Дебая для ряду твердих тіл.

Пізніше значний внесок у теорію теплоємності зробили Борн і Карман, Тарасов, Ліфшиць, Баур і Вундерліх (для полімерів).

5.6. Теорія Дж. Максвелла і квантова теорія світла М. Планка та А. Ейнштейна

У другій половині XIX ст. Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879 р.р.) сформулював струнке вчення про електромагнітне поле, у розвитку якого дійшов висновку про існування електромагнітних хвиль і тотожність їх до світлових хвиль. До цього висновку приводять рівняння Дж. Максвелла. Як відомо, ці рівняння стверджують, що зміна в часі електричного поля веде до виникнення в просторі магнітного поля і, навпаки, зміна в часі магнітного поля зумовлює появу електричного поля.

Визначивши швидкість поширення хвилі в напрямі осі x для вакууму ($\epsilon = 1, \mu = 1$) за електромагнітними величинами і порівнявши її зі швидкістю світла за вимірами Фізо, Дж. Максвелл констатував винятковий їх збіг. З цього почалося формування електромагнітної теорії і світла.

Здавалося, теорія Дж. Максвелла є однією з найбільш досконалих теорій про природу світла. Але, як буває у розвитку науки, з'явилися нові факти, які не можна було пояснити з уявлень про світло як неперервний потік електромагнітних хвиль. Такими були закономірності фотоефекту і спектрів випромінювання.

А. Ейнштейн висунув гіпотезу про те, що кванти величини $h\nu$ існують не лише в процесі поглинання і випромінювання, але мають і самостійне існування, і застосував цю гіпотезу до фотоефекту. Він пояснив добре відомі особливості фотоелектричного ефекту, а також такі, які не пояснювалися з точки зору хвильової теорії світла, і сформулював



Рис. 114. Джеймс Клерк Максвелл

основний закон фотоелектричного ефекту: $\frac{mv^2}{2} = h\nu - A$, де $\frac{mv^2}{2}$ – максимальна кінетична енергія фотоелектрона, A – робота виходу електрону. Тоді, природно, витікає існування граничного значення ν для здійснення фотоелектричного ефекту.

Рівняння А. Ейнштейна було перевірено експериментально у 1912 р. Комптоном і Річардсоном і в 1916 р. Міллікеном. Воно повністю пояснює фотоелектричний ефект, що неможливо для класичної фізики, оскільки вона вимагає запізнення у часі, пов'язаного з необхідністю накопичення у речовині, яку опромінюють, необхідної кількості енергії.

5.7. Моделі атома

Минуло дві тисячі років, коли уявлення, що кожне тіло складається з атомів та молекул (зародилось ще у древній Греції), які перебувають у безперервному русі, оформились у молекулярно-кінетичну теорію (МКТ) будови речовини як перший науковий крок до квантових уявлень. Видатними творцями її були Р. Бошкович, Ф. Бекон, Р. Декарт, Дж. Локк, М.В. Ломоносов, Дж. Дальтон, У. Прют, Л. Больцман і Д.І. Менделєєв. У 70 роки ХІХ століття під атомами розуміли неподільні частинки, з яких складається Всесвіт [64; 134].

Друга половина ХІХ ст. характеризується накопиченням фактів на користь атомно-молекулярної будови речовини та складної будови атома. Електрон з року в рік утверджував себе як елементарна частинка, яка входить до складу атома, а через спектри речовин вивчались властивості їх атомів.

Передумовою для створення моделей атома була серія досліджень. У 1843 р. А. Беккерель відкрив фотографічний ефект і фосфоресценцію під дією інфрачервоного випромінювання, О. Браве висунув твердження, що атоми у кристалах упорядковані у кристалічній ґратці, І. Гітторф установив рух іонів в електролітах, Е. Митчерліх вказував, що спектроскопія є ключ до розуміння внутрішньої будови атомів і молекул, Й. Бальмер встановив формулу для визначення довжин хвиль в атомі водню, Д. Стоней у 1874 р. висловив думку про дискретність електрики, У. Крукс провів досліди з катодними променями, А. Майкельсон у 1881 р. відкрив надтонку структуру спектральних ліній, С. Ленглі у 1884 р.

виконав експериментальні дослідження з розподілу енергії в спектрі теплового випромінювання абсолютно чорного тіла, Г. Герц у 1887 р. відкрив зовнішній фотоефект [134, с. 98-124].

Д. Максвелл у статті «Атом» для енциклопедії писав: «Атом є тіло, яке не можна розсікти навпіл» [69, с. 76].

Виявлення явища радіоактивності А. Беккерелем (1896 р.), експериментальне відкриття електрона Дж. Томсоном (1897 р.), привели до проблеми виявлення складної будови атома, що підтвердили Марія і П'єр Кюрі 1999 р., Е. Резерфорд виконав цикл робіт з радіоактивного перетворення елементів, а 14 грудня 1900 р. М. Планк започаткував нову, квантову фізику [134, с. 128-135].

Розвиток досліджень радіоактивного випромінювання, з одного боку, і квантової теорії, з іншого, привели до створення квантової моделі атома Резерфорда-Бора-Зоммерфельда [105].

Випромінювання і поглинання світла речовиною проходить у атомах і молекулах. Тому гіпотеза про кванти повинна зайняти своє місце у вивченні будови атомів і молекул. На основі будови атома Резерфорда, насамперед для пояснення закономірностей атомних спектрів, виникла квантова теорія атомів. У 1897–1899 роках Е. Вихерт, Дж. Дж. Томсон, Ф. Ленард виміряли заряд, масу і швидкість руху електронів. У цей період розпочались дослідження зі створення моделі атома із позитивно і негативно заряджених частинок. Передбачалось розв'язати три завдання:

- установити зв'язок між випромінюванням і поглинанням спектральних ліній і коливаннями електронів у атомі;
- пояснити закономірності Періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва;
- пояснити явище природної радіоактивності.

Фізики розуміли, що спектри розріджених газів є «мовою атомів». Складність спектрів указувала на складний механізм атома-випромінювача. Виникнення електромагнітної теорії світла Максвелла-Герца й ідея атомності електрики Гельмгольца-Стоней підвела до ідеї про атом, як системи електромагнітних випромінювачів. Д. Стоней приходить до висновку, що причиною спектрів є орбітальний рух електронів у атомі. Вчений висуває ідею збурення орбітального руху електронів слабкими силами, які приводять до прецесії еліптичної орбіти. Наслідком цього є

дуплети спектральних ліній. Автор схильний до думки, що всі лінії подвійні й їх спостереження залежать від роздільної здатності приладів. Такою була перша модель електромагнітного атома, який випромінює. Через 5 років голландський вчений П. Зеєман відкрив явище, назване його ім'ям. Г. Лоренц тлумачив явище як вплив магнітного поля на орбітальний рух електронів. Як наслідок спостерігається збурення електронної орбіти і розчеплення спектральної лінії.

У 1902 році модель атома запропонував В. Томсон (Кельвін). У ній передбачався рівномірний розподіл позитивного заряду у всьому об'ємі атома. В середині цієї хмари знаходяться електрони. Аналізуючи дану модель атома Дж.Дж. Томсон уявляв, що позитивний заряд, як і у Кельвіна, рівномірно розміщений у сфері з радіусом, який обраховується на основі кінетичної теорії газів, а електрони розміщені всередині сфери у одній площині. Сумарний заряд електронів рівний позитивному заряду атома. Дж.Дж. Томсон дослідив таку схему з малим числом електронів і прийшов до висновку, що електрони розташовані на рівній відстані від центру позитивно наелектризованої сфери. Позитивний заряд за класичною електродинамікою, не міг бути позитивно зарядженою частинкою, бо така система була б нестійкою. Якщо число електронів зростає, то вони розміщуються у вигляді сферичних оболонок чи кілець. Така модель пояснювала дисперсію, аберацію, частково описувала деякі спектральні закономірності, але була обмежена.

Модель Томсона є динамічною, а не статичною. Корпускули у кожній оболонці, кільці здійснюють періодичні коливання. Спектр кожного елемента відповідає корпускулярним групам і проявляється через ряд ліній. Дж.Дж. Томсон дає фізичну інтерпретацію валентності, робить реальну спробу пояснити ряд хімічних властивостей атомів і Періодичного закону Д.І. Менделєєва. Російський хімік Л.А. Чугуєв писав, що атоми моделі Томсона дійсно розкривають багато закономірностей Періодичної системи елементів. Теорія кільчатої будови атомів є сміливою спробою знайти новий шлях для розв'язання глибокої проблеми хімії.

Наступну модель запропонував Ф. Ленард (1902 р.). Він досліджував проходження катодних променів через речовину і помітив, що більша частина атомного об'єму не чинила ніякого опору катодним променям. У

нього немає роздільно існуючих електронів і позитивних зарядів. Атом Ленарда складається з особливих частинок «динамідів», які створюють електричний дуплет, що має масу. Всі «динаміди» однакові, а атом складається з такої їх кількості, щоб забезпечувалась маса даного атома. Радіус їх незначний. Якщо радіус атома порядку 10^{-10} м, то динаміди складають порядок $0,3 \cdot 10^{-13}$ м. Остання частина атома – пустота. Дана модель цікава однією деталлю – наявністю значної пустоти в атомі.

У 1904 р. новий варіант моделі атома запропонував професор токійського університету Х. Нагаока: «Система, яку я пропоную обговорити, складається з великого числа частинок рівної маси, що розташовані за колом на рівних кутових інтервалах і відштовхують одна одну з силами обернено пропорційними до квадрата відстані; у центрі кола розташовується частинка великої маси, що притягує інші частинки за тим же законом. Якщо ці частинки, що відштовхуються, обертаються майже з однією і тією ж швидкістю навколо притягуючого центру, система загалом залишається стабільною для невеликих обурень, припускаючи, що притягуюча сила досить велика. Ця система відрізняється від системи Сатурну, розглянутої Максвеллом тим, що вона складається з частинок, що відштовхуються, замість супутників, що притягуються. Даний випадок, очевидно, може бути приблизно здійснений, якщо ми замінимо ці супутники негативними електронами і притягуючий центр позитивно зарядженою часткою. Дослідження катодних променів і радіоактивності показали, що така система може розглядатися як ідеальний атом. У своїй лекції про електрон сер Олівер Лодж звернув увагу на систему Сатурну, яка, ймовірно, має ту ж будову, що й запропонована система атома». Учений сам бачив недоліки цієї системи, бо електрони системи повинні перейти у стан спокою внаслідок передачі енергії при випромінюванні. Квантові уявлення у системі були відсутні, але вона цікава ідеєю ядра і позаядерними електронами.

25 вересня 1905 р. на з'їзді німецьких природодослідників та лікарів В. Він говорив, що простіше всього було б уявити атом як планетарну систему, яка складається із позитивно зарядженого центра, навколо якого обертались, подібно планетам, негативно заряджені електрони. Така система не може бути незмінною внаслідок випромінювання енергії електронами. Тому змушені повернутись до системи, у якій електрони

знаходяться у відносному спокої або мають малі швидкості, що є сумнівним. До речі планетарна модель атома була запропонована у 1901 р. Ж. Перреном.

Роботи Е. Резерфорда з розсіювання альфа-променів привели до створення сучасної планетарної моделі атома.

Перше успішне застосування теорії квантів до спектроскопії молекулярних спектрів належить Н. Б'єрруму, який у 1912 р. намагався пояснити особливості найбільш короткої області інфрачервоного спектра. Після створення теорії Н. Бора виявилось необхідним сумістити спектральні лінії Б'єррума не з дійсним обертанням електронів, а з переходом їх з одного стану і другий. П.С. Еренфест покращив квантову теорію обертання.

У 1902 р. Д. Штарк висунув гіпотезу, що позитивний іон атома є носієм електромагнітного випромінювання і утворює лінійчатий спектр певного хімічного елементу.

Точку зору Д. Штарка не сприйняв В. Він, який вважав, що лінійчаті спектри утворюють нейтральні атоми, а світло є результатом рекомбінації від'ємного електрона і позитивного іона. В. Віна підтримав Ф. Хортон на основі спостережень п'яти ліній спектра ртуті.

А. Конвей у 1907 р. вперше висунув принцип: у кожен окремий момент часу атом випромінює одну спектральну лінію; повний спектр виникає від великої кількості атомів; для випромінювання атом повинен бути переведений у збуджений стан; у збудженому стані лише один електрон атома зазнає коливань з частотою, яка відповідає частоті спектральної лінії, що випромінюється. Наступного розвитку ідеї А. Конвея не зазнали.

У 1910 р. Р. Бівен установив, що згідно теорії Лоренца спектральні явища вимагають великої кількості атомів, кожен з яких у даний момент часу знаходиться в індивідуальному стані і відповідає не за весь спектр в цілому, а лише за одну лінію у спектрі.

І. Рідберг (1900 р.) і В. Рітц (1908 р.) встановили закономірність, що хвильові числа усіх ліній головної і побічних серій є різницею термів. Вони сформулювали комбінаційний принцип, згідно якого спектру будь-якого елемента відповідає набір таких термів, що хвильові числа ліній

спектру цього елемента є різницею цих термів, взятих попарно. Різним комбінаціям цих термів відповідають різні спектральні лінії.

Безпосереднім попередником Н. Бора був Д. Нікольсон. Він займався астрономією, досліджував спектри деяких туманностей і сонячної корони і у ряді робіт ввів у спектроскопію модель атома Резерфорда. Під впливом Е. Резерфорда вчений уявляв, що у кожному атомі 4-5 електронів рухається навколо ядра одним кільцем, намагався розрахувати цю модель з допомогою указанного Нагаока максвеллівського методу кілець Сатурна, сформулював кількісний вираз квантування у застосуванні до атом: кутовий момент атома може зростати чи зменшуватись лише на дискретну величину. Наслідуючи А. Конвею і Р. Бівену вважав, що різні лінії у спектрі виникають у різних атомах. Атом може існувати у різних станах, які нагадують енергетичні рівні осциляторів Планка. Д. Нікольсон все ж притримувався ще класичних ідей щодо відношення частот спектральних ліній, які він ототожнював з частотами коливань динамічної системи. Забуття його робіт є несправедливим, бо Н. Бор багато що використав з уявлень Д. Нікольсона.

Всі окремі дослідницькі спроби узагальнив у липні 1913 р. двадцятивосьмирічний данський учений Н. Бор. Стала Планка в теорії Бора – це величина, яка характеризує як випромінювання атомом енергії, так і значення якої визначає дискретний ряд стійких станів електронів. Продовжуючи дослідження Д. Нікольсона, Н. Бор прийшов до висновку про необхідність сполучення квантового принципу і моделі атома Резерфорда. Основна його ідея полягала у тому, що він визнав передбачення про неможливість наочного класичного уявлення у часі поведінки електрона протягом переходу атома з одного стану у другий. До цього єдиним позачасовим явищем у класичній фізиці була сила тяжіння, яка поширюється від тіла до тіла миттєво, тобто поза часом. Так у новій фізиці знову виникли позачасові процеси.

Теорія Бора була підтверджена експериментально. Вона дала можливість пояснити закономірності у лінійчатих спектрах атомів, ряд явищ флуоресценції, розщеплення спектральних ліній у електричному полі – штарк-ефект, нормальний ефект Зеємана тощо. Другий тріумф теорії Бора пов'язаний з відкриттям елемента з номером 72 Г. Урбеном у 1911 р.

Розширення теорії Бора на більш загальний випадок, а не лише на випадок колових орбіт, було зроблено Зоммерфельдом.

Проте, як і у своїх принципових основах, так і при розв'язанні задач з атомом гелію класична теорія Бора на початку 20 років ХХ ст. пережила серйозну кризу. Основний і принциповий недолік теорії Бора-Зоммерфельда у тому, що вона визначає множину класичних орбіт і на останній стадії обчислень відкидає більшість з них. У розв'язанні конкретних завдань зі складними атомами методи класичної теорії привели до розходження з дослідом.

Аналіз недоліків теорії Н. Бора показав, що вона неспроможна пояснити всі особливості мікросвіту, що її не можна віднести до логічно струнких теорій, бо в своїй основі вона штучно поєднує класичну механіку з деякими квантовими принципами.

А. Ейнштейн у своїй класичній роботі 1917 р. про світлові кванти [141] зробив крок у бік корпускулярної теорії світла. Він припустив, що атом випромінює, «вистрілюючи» квант світла у тому чи іншому напрямі.

Ця ідея знайшла блискуче підтвердження у відкритті, зробленому американським фізиком А. Комптоном, який досліджував розсіяння рентгенівського проміння речовиною, що містить слабо пов'язані електрони, встановив, що частота (довжина хвилі) розсіяних рентгенівських променів змінюється в залежності від кута розсіювання:

$$\Delta\lambda = 2\lambda_0 \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$
 Це просте пояснення ефекту сприяло закріпленню уявлень про кванти світла як про частинки, для яких А. Комптон запропонував термін «фотон».

5.8. Квантова механіка Л. де Бройля, Е. Шредінгера та В. Гейзенберга

Вчені, які зацікавились ідеєю квантів дії, намагались знайти механізм опису поведінки і властивостей електронів в атомі. Найбільш вдалими з них були у Л. де Бройля та Е. Шредінгера (щодо хвильових властивостей). В. Гейзенберг створив матричну квантову механіку опису електронів в атомі з точки зору корпускулярних властивостей. Ці дві теорії відразу були об'єднані в одну квантову механіку і властивості електронів у атомі з точки зору хвильових і квантових підходів.

У 20 роках ХІХ ст. відбувся великий злам у фізичній теорії, який не мав аналогів за своєю швидкістю, з якою майже неперервно одні теорії змінювались на інші, ще більш радикальні. Ні електронна теорія в дев'яності роки, ні спеціальна теорія відносності у 1905–1908 р.р., ні загальна теорія відносності у 1911–1919 р.р. не знали такого швидкого темпу виникнення і початкового розвитку своїх основ.

У 1923 р. Л. де Бройль прийшов до думки про хвилі матерії; у 1924 р. була опублікована дисертація Л. де Бройля, у наступному році – більш систематичний виклад нової теорії; у тому ж 1925 р. – перший варіант квантової механіки В. Гейзенберга; потім на протязі одного року В. Гейзенберг, М. Борн та П. Йордан створили матричну механіку, Е. Шредінгер відкрив славнозвісне хвильове рівняння, М. Борн, В. Вінер, К. Еккарт, П. Дірак, Е. Шредінгер та інші показали еквівалентність хвильової механіки де Бройля-Шредінгера і квантової механіки Гейзенберга-Йордана-Борна; було створено операторне представлення квантової механіки; П. Йордан і П. Дірак висунули теорію перетворень; у наступному, 1927 р. залишило інтерпретувати цю теорію, що і було зроблено В. Гейзенбергом і Н. Бором у роботах про принцип неперервності.

Після 1927 р. квантова механіка переживає період швидкого розвитку застосувань.

Важливим стало питання: які частинки буде описувати нова механіка.

На підставі уявлень про кванти, що мають імпульс $\frac{h\nu}{c}$, гіпотези

Саккура-Тетроде про елементарний фазовий об'єм, Ш. Бозе розробив метод статистичного розподілу об'єктів за станами і сформував квантову статистику – Бозе-Ейнштейна. Ця статистика застосовується до частинок з нульовим або цілочисловим спіном (0, 1, 2, ...) у одиницях \hbar . Вона запропонована Ш. Бозе для квантів світла і розвинена А. Ейнштейном для молекул ідеального газу. В квантовій механіці стан системи частинки описується хвильовою функцією, яка залежить від координат і спінів частинок. Для цього виду статистики функція, яка описує стан частинки, симетрична відносно перестановок будь-якої пари тотожних частинок, їх координат і спінів. Число заповнених квантових станів за таких хвильових функцій нічим не обмежене, в одному й тому ж стані може знаходитись будь-яке число однакових частинок [128].

Квантова механіка В. Гейзенберга ґрунтується на матричному описі поведінки електрона в атомі. У матричній механіці Гейзенберга-Борна-Йордана канонічним змінним q і p класичної механіки відповідали матриці \bar{q} і \bar{p} , тому має місце співвідношення: $\bar{p}\bar{q} - \bar{q}\bar{p} = \frac{h}{2\pi i}$.

Оперуючи нескінченими матрицями, В. Гейзенберг, В. Паулі, М. Борн та П. Йордан створили матричну квантову механіку.

Е. Шредінгер проаналізував ідею Л. де Бройля про дуалізм рухомої частинки електрона та оптико-механічну аналогію Ферма. Для одновимірного вільного руху частинки вздовж осі Ox з постійною енергією E рівняння, яке задовольняє хвилю де Бройля, має вигляд: $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{P^2}{\hbar^2}\psi = 0$,

де $P = \sqrt{2mE}$. Це рівняння містить квантові умови. $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m[E - U(x)]}{\hbar^2}\psi = 0$ – стаціонарне рівняння Шредінгера, яке є узагальнюючим рівнянням для руху частинки в потенціальному полі. Таким чином, проблема квантування звелася до добре відомої у математиці проблеми власних значень.

П. Дірак, В. Паулі, К. Еккарт, М. Борн, В. Віннер довели, що хвильова квантова механіка Е. Шредінгера і матрична квантова механіка В. Гейзенберга зводяться до єдиної квантової механіки [134, с. 172, 208].

Поява нових ідей завжди викликала гостру дискусію у фізиці та філософії. Однак закони квантової механіки все більше приймаються фізиками як основні закони, що пояснюють властивості електрона в атомі, а відповідно і будову та властивості атома.

Завершення теорії опису електронів привело до проблем опису поведінки та властивостей інших частинок, названих елементарними. Це і складає проблеми науки фізики на сучасному етапі.

5.9. Проникнення фізичних методів дослідження в астрономію

Кожна епоха в розвитку природознавства характеризується певним підходом до вивчення й розуміння природних явищ, певним стилем наукового мислення.

Так, наприклад, в епоху панування класичної фізики, яка досягла найбільшого розквіту на кінець XIX ст., цей підхід характеризувався

прагненням звести всю різноманітність світових процесів і явищ до механічного руху, до суто механічних закономірностей. Учені тієї епохи були глибоко переконані в тому, що будь-яке явище в принципі може бути розраховане з абсолютною точністю, що можуть бути точно передобчислені і будь-які, скільки завгодно віддалені його наслідки. Це був так званий механістичний детермінізм – уявлення про те, що всі майбутні події однозначно визначені наперед умовами, що існують у даний момент. Вважалося також, що на будь-яке питання, поставлене природі, можна дістати певну однозначну відповідь типу «так» чи «ні». Можливість будь-яких випадкових подій повністю відкидалась.

Однак подальший розвиток природознавства переконливо показав неправомірність таких уявлень і сприяв утвердженню діалектико-матеріалістичних поглядів на світ.

Постійне вдосконалення способів пізнання особливо добре можна простежити на прикладі астрономії. Протягом сторіч астрономія була оптичною наукою. З усієї багатющої сукупності електромагнітних випромінювань, що пронизують космічний простір, дослідники Всесвіту могли вивчати лише видиме світло.

І хоч в атмосфері Землі, крім «оптичного вікна», існує ще й «радіовікно», аж до кінця першої половини ХХ ст. космічні радіохвилі не вивчалися, незважаючи на те, що радіо було винайдене на самому початку ХХ ст. Це пояснюється тим, що енергія космічного радіовипромінювання мізерно мала, а приймальні прилади, достатньо чутливі для його реєстрації, з'явилися тільки після закінчення другої світової війни.

Радіоастрономічні дослідження одразу набагато розширили можливості вивчення космічних процесів і за порівняно короткий час дали безліч унікальних відомостей про Всесвіт. Радіохвилі добре проходять крізь міжзоряне середовище і тому містять інформацію про такі космічні об'єкти, від яких світлові промені до нас не доходять. Крім того, космічне радіовипромінювання дуже в багатьох випадках пов'язане з бурхливими фізичними процесами, що відбуваються в різних куточках Всесвіту. А саме такі процеси становлять найбільший інтерес для науки.

Завдяки розвитку космічної техніки астрономія перетворилася на всехвильову науку. Зокрема, дуже цікаві дослідження в інфрачервоних, ультрафіолетових і рентгенівських променях проводились на радянських

пілотованих станціях «Салют», а також на радянських і американських штучних супутниках Землі. Особливо цінні відомості були здобуті в рентгенівському і гамма-діапазонах електромагнітних хвиль.

Вся історія розвитку фізики, астрономії, а також інших природничих наук переконливо свідчить про безмежні можливості людського пізнання, про те, що в міру виникнення тих чи інших наукових завдань рано чи пізно людина знаходить і методи їх розв'язання.

Проблема природи зірок і джерела невичерпної енергії була поставлена щонайменше більше 2000 років тому, але вирішувалася довгі століття чисто умоглядно. Вже деякі старогрецькі натурфілософи рахували зірки розжареними тілами. Але міцно ідея гарячих зірок, подібних до Сонця, затвердилася лише як одне із наслідків революції Коперника.

Відкриття в середині XIX століття закону про збереження енергії гостро поставила питання про фізичне джерело енергії Сонця і зірок. Першою спробою його вирішення була гіпотеза Р. Майера (1848 рік) про розігрівання Сонця за рахунок падіння на нього метеоритів. Але до більш обґрунтованого наукового дослідження проблеми можна було приступити лише після відкриття Г. Кірхгофом і Р. Бунзенем в 1859 році спектрального аналізу. В результаті вже в 1861 році була дана відповідь на питання, що ще недавно вважалося нерозв'язним: Кірхгоф першим визначив хімічний склад сонячної атмосфери. Так була створена основа для формування науково обґрунтованої картини природи зірок.

З ім'ям видатного американського астронома-спостерігача Едвіна Пауелла Хаббла (1889–1953 р.р.) пов'язане створення сучасної позагалактичної астрономії і відкриття універсальної космологічної закономірності – ефекту «розширення Всесвіту».

У першій чверті XX століття завдяки великим успіхам у різних областях астрофізики і вдосконаленню астрономічної наглядової техніки відродився інтерес до вивчення світу туманностей. Природа туманностей, серед яких, як з'ясувалося до цього часу, більшість складала спіральні, все ще залишалася не встановленою. Правда, з впровадженням методу спектрального аналізу в таких туманностях був відкритий характерний для зірок спектр з лініями поглинання (В. Хеггінс, 1867 рік).

5.10. Відкриття явища надпровідності і надтекучості та їх теоретичне пояснення

Гелій – інертний газ. Змусити його вступити в які-небудь реакції поки не вдалося. Молекула гелію одноатомна.

В історії відкриття, дослідження й застосування цього елемента зустрічаються імена багатьох великих фізиків і хіміків різних країн. Гелієм цікавилися, з гелієм працювали: Жансен (Франція), Лок'єр, Рамзай, Крукс, Резерфорд (Англія), Пальмієрі (Італія), Кеєзом, Камерлинг-Оннес (Голландія), Фейнман, Онсагер (США), Капица, Кикоїн, Ландау (Радянський Союз) і багато інших великих учених.

В ядрі гелію насичені обидві внутрішньоядерні оболонки – і протонна, і нейтронна. Електронний дублет, що оточує це ядро, теж насичений. Звідси виникають і феноменальна хімічна інертність гелію і рекордно малі розміри його атома.

Гелій був відкритий в атмосфері Сонця на 13 років раніше, ніж на Землі. Точніше кажучи, у спектрі сонячної корони була відкрита яскраво-жовта лінія *D*, а що за нею ховалося, стало достеменно відомо лише після того, як гелій одержали з земних мінералів, що містять радіоактивні елементи.

Гелій на Сонці відкрили француз Ж. Жансен, що проводив спостереження в Індії 19 серпня 1868 р., і англієць Дж.Н. Лок'єр – 20 жовтня того ж року. Листи обох учених прийшли в Париж в один день і були зачитані на засіданні Паризької Академії наук 26 жовтня з інтервалом у кілька хвилин. Академіки, вражені настільки дивним збігом, постановили викарбувати на честь цієї події золоту медаль.

У 1881 р. про відкриття гелію у вулканічних газах повідомив італійський вчений Пальмієрі. Однак його повідомлення, згодом підтвержене, мало хто із учених прийняв усерйоз. Удруге земний гелій був відкритий Рамзаєм в 1895 р.

У земній корі налічується 29 ізотопів, при радіоактивному розпаді яких утворюються альфа-частинки – високоактивні, що володіють великою енергією ядра атомів гелію.

За кількістю гелію, зосередженого в гірській породі або мінералі, можна судити про їхній абсолютний вік. В основі цих вимірів лежать

закони радіоактивного розпаду: так, половина урану-238 за 4,52 млрд. років перетворюється в гелій і свинець.

Надтекучість, унікальний стан рідини, що виникає в гелії при дуже низьких температурах. Надтекуча рідина відрізняється від звичайних рідин тим, що її в'язкість дорівнює нулю. Вона може протікати через найтонші капіляри без усякого опору. Незвичайні властивості надтекучої рідини пояснюються тим, що поведіння рідини в цілому визначається законами квантової механіки.

Два ізотопи гелію – рідкий ${}^3\text{He}$ й рідкий ${}^4\text{He}$ – це єдині рідини, які стають надтекучими при низьких температурах (атом ${}^3\text{He}$ має такі ж хімічні властивості, як й атом ${}^4\text{He}$, але в його ядрі одним нейтроном менше).

Рідкий ${}^4\text{He}$, що вперше був отриманий в 1908 р., має температуру кипіння 4,2 К (нуль абсолютної термодинамічної шкали відповідає температурі $-273,16^{\circ}\text{C}$). Відкачавши пари над поверхнею рідкого гелію, можна понизити температуру рідини приблизно до 1 К. У 1930 р. вчені звернули увагу на те, що при охолодженні рідкого гелію нижче 2,17 К різко змінюються його деякі властивості. Найбільш помітною зміною є припинення кипіння, що вказує на різке збільшення теплопровідності. Теплоємність теж різко збільшується, а в'язкість, вимірювана в тонких капілярних трубках, падає до нуля. Все це показує, що в рідкому ${}^4\text{He}$ при температурі нижче 2,17 К відбувається фазовий перехід у надтекучий стан.

В 1940–1941 р.р. фізики Л. Ландау й Л. Тиса незалежно один від одного запропонували теоретичну модель надтекучого гелію.

Рідкий ізотоп ${}^3\text{He}$ почали досліджувати лише в 1949 р. У перших експериментах ${}^3\text{He}$ не набув надтекучості при температурах вище 1 К. Однак фізики-теоретики стверджували, що ця рідина може стати надтекучою, якщо її охолодити до температур нижче 1 К. Завдяки удосконаленню техніки низьких температур групі вчених з Корнеллського університету вдалося охолодити рідкий ${}^3\text{He}$ до температур нижче 0,003 К і виявити фазовий перехід у рідині. Наступні вимірювання підтвердили, що рідкий ${}^3\text{He}$ стає надтекучим при охолодженні до наднизьких температур.

Надпровідність – квантове явище протікання електричного струму в твердому тілі без втрат. Явище надпровідності було відкрито в 1911 році

голландським науковцем Камерлінг-Оннесом, лауреатом Нобелівської премії 1913 року, який працював у Лейденському університеті (Голландія) досяг успіху в скрапленні гелію. Скраплений гелій дозволив досягти рекордно низької температури – близько 4 К. Отримавши рідкий гелій, Камерлінг-Оннес почав займатись вивченням властивостей різних матеріалів при гелієвих температурах.

Одним із запитань, які цікавили вченого, було вивчення опору металів при наднизьких температурах. Було відомо, що з ростом температури R (опір) зростає. Отже, можна очікувати, що із зменшенням температури R буде зменшуватись. А от до якої межі?

Усього за відкриття в області надпровідності було видано п'ять Нобелівських премій з фізики: в 1913, 1972, 1973, 1987 та 2003 роках.

Після відкриття Камерлінг-Оннеса надпровідність була встановлена в інших матеріалах та сплавах. Важливим наріжним каменем у дослідженні властивостей надпровідників було відкриття ідеального діамagnetизму

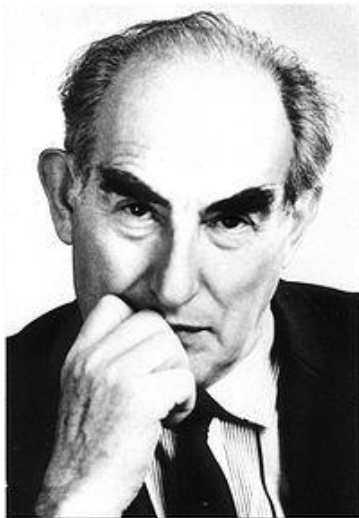


Рис. 115. Віталій Лазаревич Гінзбург



Рис. 116. Лев Давидович Ландау

надпровідників (або виштовхування зовнішнього магнітного поля з надпровідника), відомого як ефект Мейснера-Оксенфельда в 1933 році. В 1935 році брати Фріц та Хайнц Лондони запропонували першу теорію надпровідності, яка хоча й була повністю феноменологічною, проте пояснювала ефект Мейснера-Оксенфельда. Наступним кроком була запропонована в 1950 році **Віталієм Лазаревичем Гінзбургом** (21.09.(04.10)1916–08.11.2009 р.р.) та **Львом Давидовичем Ландау** (09(22).01.1908–01.04.1968 р.р.) нова феноменологічна теорія, яка вперше враховувала квантово-механічну природу явища. В межах цієї теорії

Олексієм Абрикосовим в 1957 році було передбачено існування надпровідників II роду. В тому ж році Джон Бардін, Леон Купер та Джон Роберт Шріффер опублікували роботу, в якій дали мікроскопічне пояснення явища надпровідності, яке одержало назву Теорії Бардіна-Купера-Шріффера.

Явище надпровідності існує для низки матеріалів, не обов'язково добрих провідників при звичайних температурах. Перехід до надпровідного стану відбувається при певній температурі, яку називають критичною температурою надпровідного переходу. Надпровідність, проте, може бути зруйнована, якщо помістити зразок у зовнішнє магнітне поле, яке перевищує певне критичне значення. Це критичне магнітне поле зменшується при збільшенні температури.

Побудована в 1950 р. теорія Гінзбурга-Ландау описує надпровідність феноменологічно, за допомогою параметру порядку, який пізніше зв'язали з хвильовою функцією куперівських пар. Теорія дозволила успішно аналізувати поведінку надпровідника в магнітному полі.

Фізики напружено працювали над створенням теорії надпровідності і приблизно за 50 років з 1911 до 1957 року загальні риси теорії були сформовані. Спочатку, в 50-х роках виникла феноменологічна теорія надпровідності, яка успішно пояснювала поведінку надпровідників у магнітних полях, а в 1957 році Джон Бардін, Леон Ніл Купер й Джон Роберт Шріффер запропонували мікроскопічну теорію надпровідності, за яку в 1972 році одержали Нобелівську премію.

5.11. Створення квантових генераторів

Квантовий генератор – загальна назва джерел електромагнітного випромінювання, що працюють на основі вимушеного випромінювання атомів і молекул. Залежно від того, яку довжину хвилі випромінює квантовий генератор, він може називатися по різному: лазер, мазер, разер, газер.

Вперше на можливість створення квантового генератора вказав радянський фізик В.А. Фабрикант в кінці 40 років XX ст. Перший мазер на молекулах аміаку був зроблений в 1954 році одночасно і незалежно у Фізичному інституті Академії наук СРСР Н.Г. Басовим і А.М. Прохоровим і в Колумбійському університеті Ч. Таунсом зі

співробітниками. В 1964 році за цю роботу їм була присуджена Нобелівська премія.

Голографія – набір технологій для точного запису, відтворення і переформатування хвильових полів. Це – спосіб одержання об'ємних зображень предметів на фотопластинці (голограми) за допомогою когерентного випромінювання лазера. Голограма фіксує не саме зображення предмета, а структуру відбитої від нього світлової хвилі (її амплітуду та фазу). Для отримання голограми необхідно, щоб на фотографічну пластинку одночасно потрапили два когерентних світлових пучки: предметний, відбитий від об'єкта та опорний – що приходить безпосередньо від лазера. Світло обох пучків інтерферує, створюючи на пластинці чергування дуже вузьких темних і світлих смуг – інтерференційну картину.

Метод одержання голограми запропонував у 1948 р. Денніс Габор, він же застосував термін «голограма». За цей винахід він одержав Нобелівську премію.

Голографія почала бурхливо розвиватися та набула великого практичного значення після того, як в результаті фундаментальних досліджень з квантової електроніки, виконаних радянськими фізиками – академіками Н.Г. Басовим і А.М. Прохоровим та американським ученим Чарльзом Таунсом, в 1960 р. був створений перший лазер. У тому ж році професором Т. Маймамом був сконструйований імпульсний лазер на рубіні. Ця система (на відміну від безперервного лазера) дає потужні та короткі, тривалістю в кілька наносекунд (10^{-9} сек), лазерні імпульси, що дозволяють фіксувати на голограмі рухомі об'єкти. Перший портрет людини був знятий з допомогою рубінового лазера в 1967 році.

Початок образотворчої голографії було покладено роботами Емметта Лейт і Юріс Упатнієкса з Мічиганського Технологічного Інституту (США), які одержали в 1962 р. першу об'ємну голограму, що відновлюється в лазерному світлі. Схема запису голограм, запропонована цими вченими, тепер використовується в голографічних лабораторіях у всьому світі.

Вирішальне значення для розвитку образотворчої голографії мали роботи академіка Ю.Н. Денисюка, виконані в 60–70 роках ХХ ст. Він вперше отримав голограми, що дозволяють відтворювати об'ємні

зображення в звичайному, білому світлі. Практично вся сучасна образотворча голографія базується на методах, запропонованих Денисюком.

Перші високоякісні голограми за методом Ю.Н. Денисюка були виконані в 1968 р. в СРСР – Г.А. Соболева та Д.А. Стаселько, а в США – Л. Зіберт.

В 1969 р. Стівен Бентоніт з Polaroid Research Laboratories (США) виготовив голограму, видиму в звичайному білому світлі. Голограми, винайдені Бентоніт, були названі райдужними, оскільки вони переливаються всіма кольорами веселки, з яких складається біле світло. Відкриття Бентоніт дало змогу розпочати масове виробництво недорогих голограм шляхом «штамбування» інтерференційних картин на пластик. Голограми саме такого типу застосовуються сьогодні для захисту від підробок документів, банківських карток і т.д. Завдяки Бентоніт голографія здобула популярність у широких верствах суспільства.

У 1977 р. Ллойд Кросс отримав мультиплексну голограму, що складається з безлічі звичайних фотографій об'єкта, знятих з багатьох точок зору, що лежать в горизонтальній площині. При переміщенні такої голограми в полі зору можна побачити всі зазняті кадри.

З середини 70 років ХХ ст. ведуться розробки систем голографічного кінематографа. У Росії значні успіхи в цьому напрямку були досягнуті фахівцями Науково-дослідного кіно-фото інституту (НІКФІ) в Москві під керівництвом В.Г. Комара. В даний час голографія продовжує активно розвиватися, і з кожним роком в цій області з'являються нові цікаві рішення. Немає сумніву, що в майбутньому образотворчій голографії належить зайняти в житті людей ще більш значне місце.

6. ВАЖЛИВІ НАПРЯМКИ І ВІДКРИТТЯ ФІЗИКИ ХХ СТОЛІТТЯ

- 6.1. *Зміст фізики другої половини ХХ ст.*
- 6.2. *Становлення поглядів про походження та будову Всесвіту.*
- 6.3. *Еволюція наукової картини світу.*
- 6.4. *Гіпотези будови ядер.*
- 6.5. *Фізика ядер.*
- 6.6. *Елементарні частинки та їх систематика.*
- 6.7. *Адрони.*
- 6.8. *Зародження та розвиток прискорювачів елементарних частинок.*
- 6.9. *Закони збереження у мікросвіті.*
- 6.10. *Фундаментальні взаємодії.*

6.1. Зміст фізики другої половини ХХ ст.

Зміст фізики доповнився такими поняттями як: симетрії у мікросвіті, класифікація ядер та їх властивостей, термоядерні реакції, Великий вибух, темна енергія, темна матерія, чорні дірки, реліктове випромінювання, теорії про ланцюгові процеси термоядерних реакцій (в її основу покладено: а) протонно-протонний ланцюг; б) вуглецево-азотний цикл; в) вигоряння гелію; г) реакція захоплення нейтронів), властивості ядер (які вдало можна показати через поняття «долини стійкості»), обертання часу, фундаментальні взаємодії, кваркова модель будови речовини, рівні сучасного розвитку кваркових моделей, поширення кваркових моделей на формування моделей Всесвіту.

Зроблені спроби класифікації елементарних частинок.

Значного розвитку зазнали теорії про фундаментальні взаємодії. Крім того, що було відкрито чотири взаємодії, робились спроби їх об'єднання. В межах Стандартної моделі у 1960–1964 р.р. **Стівен Вайнберг** (народився 03.05.1933 р.), **Шелдон Лі Глешоу** (народився 05.12.1932 р.), **Абдус Салам** (29.01.1926–21.11.1996 р.р.) об'єднали слабку та електромагнітну взаємодії в одну – електрослабку, визначили умови такого об'єднання, а також у вигляді гіпотез показали за яких умов є перспективи Великого об'єднання та Супер-об'єднання.



Рис. 117. Стівен Вайнберг



Рис. 118. Шелдон Лі Глешоу

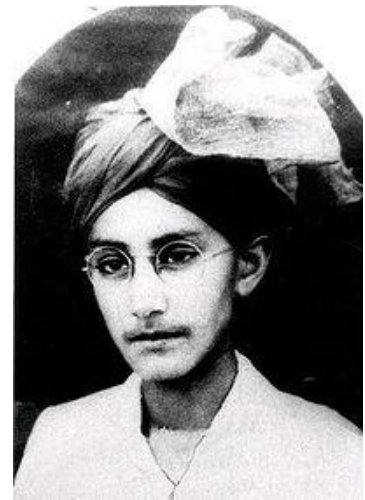


Рис. 119. Абдус Салам

6.2. Становлення поглядів про походження та будову Всесвіту

Темна енергія. Термін «Великий вибух» ввів відомий астрофізик Фред Хол. Вихідною ідеєю у нього слугував початок розбігання Галактик. За його гіпотезою розбігання Всесвіту розпочалось 13,7 мільярда років тому. Цю таємничу точку називають сингулярністю. У сингулярності відбувся за невідомих нам причин вибух, який «розкидав» навколо всю речовину з такою швидкістю, що вона летить до цього часу. З підрахунком вибуху в астрофізиків виникають великі труднощі не лише з матерією, а й з часом. Значна частина космологів вважає, що до «Великого вибуху» не існувало простору та часу.

Дві групи вчених, одна в США, а друга в Австралії, майже одночасно виявили, що найбільш далекі наднові зірки світять не так яскраво, як цього чекали, виходячи з того, що Всесвіт заповнено матерією, яка гравітує за законом Ньютона: обернено пропорційно квадрату відстані. Це означає, що вони розташовані від нас далі, ніж повинні були знаходитись, якби Всесвіт розширювався у полі звичайних гравітаційних сил. Таким чином, з достовірністю 99 % можна стверджувати, що у Всесвіті повинна бути ще якась додаткова енергія, здатна на космологічних відстанях протистояти гравітаційному притяганням матерії. Така додаткова енергія дістала назву «темна енергія» [107, с. 111].

У Всесвіті існує величезна кількість Галактик. З розвитком науки і технології астрономи розробили і сконструювали «Космічний Телескоп Хаббл». Вони спостерігали сотні скупчень яскравих точок-зірок у нашій галактиці «Чумацький Шлях» і найближчих галактиках.

У першому випуску журналу «Саенс» опублікована серія повідомлень про спостереження Кульових Скупчень. Американські астрономи Краус і Чабойєр (Krauss and Chaboyer) одержали оцінку віку самих ранніх кульових скупчень і Всесвіту, що становить, щонайменше 11,2 мільярди років. Їхні спостереження та аналіз підтверджують гіпотезу про домінування «темної енергії» у Всесвіті (енергії невидимої речовини, що володіє масою).

За наявними оцінками, прискорення розширення Всесвіту почалося приблизно 5 млрд. років тому. Передбачається, що до цього воно уповільнювалося, завдяки гравітаційній дії темної матерії та баріонної матерії. Густина темної матерії у Всесвіті, що розширюється, зменшується швидше, ніж густина темної енергії. Зрештою, темна енергія починає домінувати. Наприклад, коли об'єм Всесвіту подвоюється, густина темної матерії зменшується удвічі, а густина темної енергії залишається майже незмінною.

Ще далеко не все відомо про темну енергію. Зокрема, вчені роздумують, чи стискується темна енергія і чи змінюються її властивості з часом.

Темна матерія. Центральною проблемою сучасної космології вважається пошук базових складових таємничої «темної матерії» – невидимої для існуючих нині приладів субстанції, яка, на думку науковців, становить основну масу речовини у Всесвіті [102].

За останні кілька десятиліть космології (науці про походження та будову Всесвіту) вдалося відповісти на чимало запитань, які століттями хвилювали уяву людини. Серед найбільш вражаючих успіхів – побудова достатньо стрункої та логічної моделі Великого Вибуху, першопричини виникнення матеріального світу навколо нас, розробка й експериментальне підтвердження теорії розширення Всесвіту, виявлення багатьох нових космічних об'єктів тощо.

Проте, завдяки цим науковим досягненням сучасна космологія й астрофізика зіткнулися з низкою незрозумілих явищ, що ставить під серйозний сумнів фундаментальні основи новітніх теорій, які розробляють учені. Зокрема це стосується такого поняття як «темна матерія». Сам факт її існування наука сьогодні вже практично не заперечує: отримані шляхом різноманітних складних методик дані про ненормальну специфіку

гравітаційної поведінки космічних об'єктів переконливо свідчать про існування потужної невидимої сили. Якби не ця «темна сила», відомі науці звичайні складові речовини у Всесвіті, що беруть участь у гравітаційній взаємодії, були б не в стані підтримувати існуючий світовий порядок.

Хоч термін «темна матерія» і досить відомий, але тривалий час він існував лише теоретично. Адже лише результати недавніх спостережень надали прямі докази існування темної матерії. Темна матерія або прихована маса – це загальна назва астрономічних об'єктів, які недоступні прямому спостереженню сучасними засобами астрономії, бо не мають електромагнітного випромінювання з достатньою для виявлення інтенсивністю. «Темною матерією» називають відсутність світла від матерії, а не самої матерії.

«Першовідкривачем» цієї загадкової субстанції вважається Фріц Цвіккі, який у 1933 році опублікував роботу, яка містила припущення про наявність у Всесвіті значної кількості невідомої науці форми речовини. Незважаючи на те, що астрофізика та фізика мікросвіту тоді знаходилися тільки на зорі великих відкриттів ХХ ст., у наступні десятиліття дослідження вчених так і не змогли ні спростувати, ні підтвердити ранній здогад Ф. Цвіккі. З розвитком космонавтики і створенням потужніших телескопів та іншої апаратури ідея про явне превалювання «темної матерії» над відомими науці формами поступово стала домінувати.

Втім, аж до недавнього часу існував досить широкий спектр думок щодо того, яку саме частку в масі Всесвіту становить загадкова «темна речовина»: йшлося про її співвідношення від 80 % до 96 %. Після ретельного опрацювання даних про будову і склад п'яти галактичних кластерів (великих скупчень галактик), які знаходяться на відстані від 1,4 до 4 млрд. світлових років від нашої планети, астрофізики з Кембриджського університету заявили, що їм вдалося встановити доволі точну цифру – 87 %. Як повідомив керівник дослідницького проекту Стівен Аллен, що зірки в галактиках і міжгалактична речовина становлять лише близько 13 % від загальної маси речовини в кластерах. Інша маса, на думку С. Алена, припадає на частку «темної матерії» [156].

Фізики та астрономи вивчають нині темну матерію за її впливом на світну матерію, яку можна спостерігати.

Канадські вчені за допомогою 3,6-метрового телескопа CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) зуміли побачити величезне скупчення темної матерії у Всесвіті.

Як повідомив у своїй доповіді Людовік ван Ваербек асистент професора в інституті фізики й астрономії при університеті Британської Колумбії: «Скупчення мають 270 млн. світлових років у діаметрі, тому цей факт є великим кроком уперед в усвідомленні реальних об'ємів темної матерії у Всесвіті».

Нинішню гігантську хмару темної матерії фахівцям вдалося виявити завдяки нещодавно розробленій техніці слабкого гравітаційного ефекту лінзи. Учені пояснюють, що ця техніка нагадує вивчення об'єктів за аналогією з рентгенівським апаратом, коли через ближчі структури можна побачити дальші.

За повідомленням журналу «New Scientist», група астрономів з Аризонського університету за допомогою рентгенівського телескопа «Чандра» спостерігали за процесом зіткнення й злиття двох скупчень галактик, що знаходяться на відстані 100 мільйонів світлових років від Сонячної системи в районі сузір'я Кіля. Після зіткнення та злиття галактик, утворилася хмара газу.

На даний момент вчені-експерти ще не спроможні точно встановити склад темної матерії. По суті, вивчення темної матерії перебуває на початковій стадії досліджень. Існує багато кандидатів на невидиму масу: одні – відносно прості, інші – досить екзотичні [102, с. 105].

Астрофізики схиляються до того, що найімовірнішими кандидатами на роль справжніх представників неловимої «темної матерії» варто вважати дотепер не виявлені WIMPs-частинки. Найпопулярнішими різновидами WIMPs у сучасній астрофізиці вважаються масивні нейтрино, а також екзотичні нейтраліно й аксіони.

Шанси впіймати перших «надлегких» представників WIMPs (до яких належить нейтраліно) на існуючих суперприскорювачах (чиказькому теватроні або женецькому LHC) оцінюються спеціалістами досить високо. А на випадок, якщо цього зробити не вдасться, фізики підготували проект нового суперколайдера.

У 2011 році Нобелівську премію з фізики отримали Сол Перлматтер (США), Браян П. Шмідт (Австралія), Адам Рісс (США) за відкриття

прискороного розширення Всесвіту за допомогою спостережень над далекими надновими.

Космічні промені. Космічні промені – потік ядер атомів та елементарних частинок високої енергії, які приходять на Землю із космосу. Такі частинки називаються первинними. Ті частинки, які народжуються внаслідок взаємодії з атмосферою називаються вторинними.

Ще Ш. Кулон при дослідженні взаємодії заряджених тіл (1785–1789 р.р.) установив втрату зарядів, які не захищені від космічних променів. Після відкриття радіоактивності фізики по-іншому розглядали явище, яке спостерігав Ш. Кулон.

Космічні промені відкрили випадково. Їх виявили, коли почали працювати з електроскопами. У 1903 р. Ю. Ельстер, Г. Гейтель, Ч. Вільсон, Е. Резерфорд, Г. Кук знову повернулись до дослідів Ш. Кулона з електроскопами. Заряджені прилади поміщали у посудини зі свинцевими екранами і без них. Певний період вважали, що на розряд електроскопа впливало гамма-випромінювання радіоактивних речовин, які розсіяні у земній корі. Протягом першого десятиліття ХХ століття ці вчені спостерігали слабку іонізацію повітря при відсутності будь-яких джерел іонізації. Німецький вчений Г. Вульф та шведський метеоролог А. Гоккель довели неземне походження джерела іонізації повітря.

Під час проведення дослідів (1908–1911 р.р.) Д. Пачині прийшов до висновку про недостатність пояснення розряджання електроскопу лише гамма-випромінюванням земних радіоактивних елементів. Випромінювання має позаземне походження [64, с. 444].

У 1909 р. швейцарський учений Геккель помістив електроскоп на повітряну кулю і виявив, що на висоті 4000 метрів електроскоп розряджається швидше ніж на рівні моря [64, с. 444].

Німецький вчений В.Ф. Гесс протягом 1911–1912 років здійснив сім підйомів на повітряних кулях (максимальна висота підйому становила 5350 м) з герметично закупореними електрометрами [49, с. 358]. Було встановлено, що до висоти 1000 м над рівнем моря іонізація повільно зменшується, а потім починає повільно зростати, на висоті 3000-4000 м починає перевищувати іонізацію на рівні моря. З наслідками висновків В.Ф. Гесса не погодився В. Кольхерстер. Він у 1913–1914 роках здійснив

п'ять польотів на повітряних кулях, досяг висоти 9300 м і підтвердив висновки В.Ф. Гесса. Остаточно неземне походження космічних променів довів у 1923–1926 роках Р.А. Міллікен, який теж не вірив висновкам В.Ф. Гесса. Р. Міллікен ввів поняття космічних променів. Застосування куль-зондів дозволили досягти 15500 м. Датою відкриття космічних променів вважається 1912 рік, а першовідкривачем космічних променів вважають В.Ф. Гесса за це відкриття йому в 1936 р. присуджена Нобелівська премія.

Дослідження космічних променів в наступному мають такі віхи: 1925 р. Л.В. Мисовський та І.Є. Тамм в СРСР, Р.А. Міллікен і Дж. Камерон в США незалежно вивчали поглинання космічних променів у озерній воді та виявили проникаюче випромінювання. В цьому ж році Г. Гофман (Німеччина) виявив наявність м'якої компоненти в космічних променях на рівні моря. В 1923–1927 р.р. Д.В. Скобельцин у камері Вільсона вивчав ефект Комптона і після поміщення установки в магнітне поле започаткував новий напрямок фізичного експерименту, який дозволив виявити йому «ультра-бета-частинки» групами по три в камері. На той час домінувала гіпотеза про фотонну природу космічних променів. Нідерландський вчений Я. Клей у 1927 р., пропливаючи біля о. Ява на шляху до Голландії, виявив за допомогою камери Вільсона широтний ефект космічних променів: зменшення їх інтенсивності на 15 % при наближенні до екватора порівнянно з іншими широтами. В. Боте та В. Кольхерстер у 1929 р. за наслідками дослідів з газорозрядними лічильниками Гейгера-Мюллера пояснив результати Я. Клея. Б. Россі розробив нову методику досліджень космічних променів з одночасною реєстрацією частинок в трьох газорозрядних лічильниках. У 1932 році він виявив м'яку та жорстку компоненти в космічних променях. О. Клейн (Швеція) і І. Нішин у 1929 р. розробили теорію комптонівського розсіювання фотонів, де враховувався стан з від'ємною енергією, яка була введена П. Діраком у 1928 р.

У 1932 р. за методом Скобельцина К.А. Андерсон виявив у космічних променях позитрон, який раніше передбачив П. Дірак.

Наступні дослідження мали такі результати:

- Х.А. Бете (1930–1932 р.р., Німеччина) та Ф. Блох (1933 р., США) одержали формулу для розрахунку іонізаційних втрат заряджених частинок;

- Х.А. Бете та В. Гайтлер (1934 р., Англія) розробили теорію радіаційних процесів і вивели формулу для обчислення ефективних поперечних перерізів гальмівного випромінювання електронів та утворення гамма-квантом електрон-позитронних пар;

- П. Оже (1935 р., Франція) і Б. Россі довели наявність двох компонентів у космічних променях: м'яку (поглинається десятисантиметровим шаром свинцю) і жорстку, яка не поглинається навіть метровим шаром свинцю;

- С.М. Вернов розробив метод автоматичного вимірювання інтенсивності космічного випромінювання шляхом передачі радіосигналами від двох розділених двосантиметровим шаром свинцю лічильників Гейгера-Мюллера. У 1936–1939 р.р. він виміряв широтний ефект у стратосфері в діапазоні від 5 до 56 градусів і встановив закономірність, що основна частина первинного космічного випромінювання складається з заряджених частинок;

- П.М. Блекет (Англія) та Дж. Оккіаліні (Італія) у 1938 р. за допомогою камери Вільсона, якою керували телескопом із двох лічильників Гейгера-Мюллера, виявили лінії вторинних заряджених частинок, які вперше спостерігав Д.В. Скобельцин у 1929 р. у вигляді груп треків «ультра-бета-частинок». У 1937 р. індійський вчений Г. Баба і В. Гайтлер в Англії та незалежно від них Дж. Карлсон і Р. Оппенгеймер в США побудували каскадну теорію електронно-фотонних ливнів;

- Х. Юкава у 1935 р. висунув гіпотезу про існування нестабільних частинок – мезонів – квантів обмінних ядерних сил з масою 200-300 мас електронів;

- К.Д. Андерсон і С.Г. Неддермейер у 1937 р. спостерігали у камері Вільсона, поміщеній у магнітне поле, після проходження свинцевої чи платинової пластини космічних променів частинки з масою у 100 разів більшою за масу електрона. Спочатку думали, що це частинки Юкави, але дещо пізніше виявилось, що це є нові частинки – мюони [134, с. 364];

Широкі атмосферні ливні виявили у 1938 р. П. Оже і незалежно В. Кольхерстер.

Друга світова війна внесла корективи у дослідження космічних променів. Лише 1947 року з'явилися перші публікації з проблеми. Виникли два напрямки досліджень: ядерно-фізичний і космофізичний. За ядерно-фізичним напрямком є відкриття π -мезонів і дивних частинок, а космофізичний – зв'язаний з розвитком космічної техніки.

- Ч.М.Дж. Латтес (Бразилія), Дж. Оккіаліні (Італія), С-Ф. Пауелл (Англія) вивчали проходження заряджених частинок в ядерних емульсіях на вершині Пік-де-Міді на висоті 2800 м в Альпах і на горі Чакалтай на висоті 5500 м в Болівії відкрили нову частинку π -мезон. Після відкриття π -мезона Дж. Рочестер і К. Батлер виявили два випадки розпаду важких частинок у камері Вільсона. Це були K -мезони;

- Р. Арментерос, К. Баркер, К. Батлер, А. Кашон і А. Чепмен у камері Вільсона відкрили лямбда-гіперон, а через рік (замість А. Чепмена у групі ввійшов С. Йорк) спостерігали ксі-гіперон;

А. Бонетті, Л. Ревісетті, М. Понетті, Г. Томазині у 1953 р. відкрили у космічних променях ядерних емульсій сігма-гіперон. Це була остання частинка, виявлена у космічних променях.

- починаючи з 1945 р. започатковано вивчення широких атмосферних ливнів. Їх проводили Г.Т. Задепіна (СРСР) – ядерно-каскадні процеси, Дж. Нішімура, К. Камата – теоретична структура функції електронно-фотонного ливня, В. Гейзенберг, Е. Фермі, І.Я. Померанчук, Л.Д. Ландау заклали основи теорії народження вторинних частинок;

- нова ера у вивченні космічних променів наступила після перших польотів штучного супутника Землі у 1957 р. В. Аллен за допомогою супутника «Експлорер-1» і «Експлорер-3» виявили внутрішній радіаційний пояс, а С.М. Вернов, А.І. Лебединський і А.Е. Чудаков за допомогою штучного супутника Землі – зовнішній;

- наступні дослідження за допомогою виносних апаратів дозволили виявити секторну структуру міжпланетного магнітного поля, вивчити будову магнітосфери, виявити явище переполюсовки загального магнітного поля Сонця;

- у 60 р.р. ХХ ст. стала інтенсивно розвиватись нейтронна астрономія. Ще у 1946 р. Б.М. Понтекорво (СРСР) запропонував хлор-аргонну реакцію для реєстрації сонячних електронних нейтрино. Починаючи з 1967 р. Р. Девісон в США розпочав дослідження з виявлення

електронних нейтрино, які виходять з ядра Сонця. У 1978 р. введено до ладу підземний сцинтиляційний телескоп Баксанської нейтронної обсерваторії для реєстрації галактичних нейтрино, які генеруються під час спалахів наднових зірок. Програма реалізовувалась Г.Т. Задепиним і А.Е. Чудаковим. У 80 роках ХХ століття розпочались пошуки протонного розпаду в соляній шахті м. Артемівська (Україна). Така картина світових комічних досліджень.

У 50 роки ХХ ст. під керівництвом радянських вчених С.Н. Вернова та Г.Б. Христиансена розпочато дослідження випромінювання енергетичного спектра космічних променів за допомогою установок, які реєструють широкі атмосферні ливні. У середині 70 років минулого століття вони прийшли до відкриття перелому в енергетичному спектрі первинного космічного випромінювання при енергії $3 \cdot 10^{15}$ еВ. Це напевне пов'язано з енергетичним порогом утримання космічних променів у нашій Галактиці. Крім цього було встановлено, що енергетичний спектр космічних променів досягає 10^{20} еВ; фон космічних променів нижче 10^{15} еВ – практично ізотропний, а вище 10^{17} - 10^{19} еВ – анізотропний, що вказує на його як галактичне, так і позагалактичне походження.

Нині дослідження у галузі космічних променів ще не завершені і здійснюються при розв'язанні трьох задач:

– вимірювання енергетичного спектру первинних космічних частинок в області енергій більших за 10^{17} еВ і з'ясування галактичного чи негалактичного його походження;

– вимірювання хімічного складу первинних космічних частинок при енергії 10^{14} - 10^{15} еВ;

– пошук та вивчення локальних джерел космічних частинок у Галактиці.

На рубежі ХХ та ХХІ століть в науці стали розгортатись події, які нагадують стик минулих періодів. На міжнародних конференціях доповіді про космологію звучать все обгрунтованіше. Приводиться узагальнений матеріал таких конференцій, зроблений доктором фізико-математичних наук К. Ксанфомаліті. Мова йде про відкриття, які приводять до глибокої ревізії уявлень про Всесвіт.

6.3. Еволюція наукової картини світу

Наукова картина світу створювалась на основі знань природничих наук, серед яких знання фізики мали провідне значення. Проте сучасні філософсько-методологічні дослідження поняття наукової картини світу як форми узагальнення здобутих наукових знань дають змогу бачити її історичну мінливість через розкриття переходів від однієї наукової картини світу до іншої внаслідок зміни теорій, які пояснюють природничі явища, а також внаслідок зростання значимості окремих галузей природознавства (наприклад, біології, екології, інформатики).

Розвиток природознавства не є монотонним процесом кількісного накопичення знань про навколишній світ. У розвитку науки час від часу виникають переломні етапи, так звані наукові революції, в результаті яких відбувається вихід на якісно новий рівень знань, радикальна зміна колишнього бачення світу або картини світу. Відповідно, під час наукової революції ці уявлення змінюються корінним чином.

Ключовими у фізичній картині світу є три фундаментальні категорії: уявлення про простір-час; елементарні «цеглини», з яких побудована матерія та взаємодії, які скріплюють ці «цеглини» в єдине ціле. Тому зміна фізичної картини світу завжди пов'язана із переглядом цих фундаментальних категорій. В історії фізики такий перегляд відбувався декілька разів, в результаті були побудовані механістична, електромагнітна та квантово-релятивістська (квантово-польова) картини світу. Початок ХХІ ст. характеризується тим, що відбувається чергова революція у фізиці, яка веде до побудови нової еволюційно-синергетичної картини світу.

Історія людства знає дві глобальні наукові революції: ХVІ–ХVІІ ст. і науково-технічну революцію ХХ ст., які привели до кардинальної зміни уявлень про фундаментальні основи світобудови, простір, час і відповідно картини світу. Наукова революція ХVІ–ХVІІ ст. була революційним стрибком перш за все в науках, що вивчають механічну форму руху матерії. В результаті відбулося становлення класичного природознавства, яке у свою чергу створило, так звану, *механістичну картину світу*. Становлення механістичної картини світу пов'язують з іменами Галілея, Кеплера, і особливо, Ньютона. Її формування відбувалося декілька сторіч і завершилося практично лише в середині ХІХ ст.

Основу цієї картини світу складає ідея атомізму, згідно з якою всі тіла складаються з неподільних першоелементів-атомів, що знаходяться в безперервному тепловому русі. Ще одним першоелементом буття є всепроникний ефір, який заповнює весь простір і є середовищем, в якому розповсюджується світло.

Світ в механістичній картині був побудований на єдиному фундаменті – на законах механіки Ньютона. Всі перетворення та явища в природі, що спостерігаються зводились в ній на рівні мікроявищ до механіки атомів і молекул – їх переміщенням, зіткненням, зчепленням, роз'єднанням.

Електромагнітна картина світу почала формуватися в другій половині ХІХ ст. на основі досліджень в області електромагнетизму. В основному вона була завершена протягом трьох десятиріч. Головну роль в становленні цієї картини відіграли дослідження Фарадея і Максвела, які ввели поняття фізичного поля.

Перш за все, кардинально мінялися погляди на матерію: сукупність неподільних атомів переставала бути кінцевою межею подільності матерії, як таке приймалося єдине абсолютно безперервне нескінченне поле з силовими точковими центрами – електричними зарядами і хвильовими рухами в ньому. Рух розумівся не тільки як просте механічне переміщення, первинним відносно до цієї форми руху ставало розповсюдження коливань у полі, яке описувалося не законами механіки, а законами електродинаміки.

Матерія в цій картині існує в двох видах – речовини і поля, між якими є непрохідна грань: речовина не перетворюється в поле і навпаки.

Але у відносно короткий період з 1885 до 1905 р.р. були зроблені відкриття, які засвідчили, що ні про яке завершення фізики, як науки, не може бути й мови. Перерахуємо стисло деякі найважливіші відкриття того часу: встановлення законів теплового випромінювання, спостереження серій спектральних ліній водню, явище фотоефекту, рентгенівське випромінювання, радіоактивність та ін. Природа нових відкриттів не була зрозуміла, вони не уклалися в рамки існуючих на той час уявлень.

Почали ставитися під сумнів основоположні принципи фізики: закон збереження енергії, друге начало термодинаміки та ін. Цей період, який А. Пуанкаре назвав кризою фізики, ознаменував початок другої

глобальної революції у фізиці. ХІХ ст. підвело людство до розуміння діалектики природи.

Дана революція була пов'язана з кардинальним переглядом початкових ідеалізацій простору, часу, руху в контексті створення теорії відносності та розробки квантової механіки у фізиці. Фактично сучасна наука значною мірою є наукою, пов'язаною з *квантово-релятивістською картиною світу*, яка була створена в процесі цієї революції.

Під кінець третього десятиріччя ХХ століття практично всі найголовніші постулати, раніше висунуті наукою, виявилися спростованими.

Були зроблені наступні відкриття:

- атоми мають внутрішню будову;
- поняття чотиривимірного просторово-часового континууму;
- час тече по-різному для тих, хто рухається з різною швидкістю;
- планети рухаються за своїми орбітами тому, що сам простір, в якому вони рухаються, викривлений;
- корпускулярно-хвильовий дуалізм та принцип невизначеності Гейзенберга;
- відкриті слабка і сильна взаємодії;
- всі чотири поля на корпускулярній мові інтерпретуються як фундаментальні (калібрувальні) бозони (частинки з цілим спіном).

Речовина складається з молекул, молекули – з атомів, атоми – з електронів і ядер. Наряду з речовиною існує антиречовина. Атомні ядра складаються з протонів і нейтронів (нуклонів), які, у свою чергу, утворюються з кварків і антикварків. Останні самі собою – у вільному стані, не існують і не мають ніяких окремих частин, на відміну від електронів і позитронів. Врешті-решт речовина складається з фундаментальних ферміонів (частинок з напівцілим спіном) – шести лептонів і шести кварків (не рахуючи антилептонів і антикварків).

У цій картині світу основним матеріальним об'єктом є всюдисуще квантове поле, перехід якого з одного стану в інший змінює число частинок. Кожній фундаментальній взаємодії властиві свої переносники-бозони. Для гравітації – це гравітони, для електромагнітної взаємодії – фотони, сильна взаємодія забезпечується глюонами, слабка – трьома

важкими бозонами. Ці чотири типи взаємодій лежать в основі всіх інших відомих форм руху матерії.

Квантово-релятивістська наукова картина світу стала першим результатом новітньої революції в природознавстві.

Наприкінці ХХ ст. – початку ХХІ ст. у фізиці виникла ситуація, яка дуже нагадує ситуацію 1885–1905 р.р. Виявилось, що евристичний потенціал більшості фундаментальних теорій, створених в 70-80 роках минулого сторіччя, практично вичерпаний. Наприклад, у фізиці високих енергій відкриті всі суб'ядерні частинки, передбачені так званою «Стандартною моделлю», повністю вичерпала себе і стандартна модель «гарячого» Всесвіту в космології. Разом з цим продовжується накопичення фактів, що знаходяться в суперечності з пануючою в теперішній час парадигмою. Зроблені відкриття, які мають принциповий характер. Перерахуємо деякі з них: одержання швидкостей передачі інформації, що більші ніж швидкість світла, виявлення маси спокою нейтрино, відкриття прискореного розльоту матерії Всесвіту, встановлення фрактального характеру світу, відкриття явищ стохастичності, самоорганізації та енерго-інформаційного обміну у природі та ін. Знову відбувається перегляд уявлень про простір, час, першоелементи матерії.

За останніми даними спостереження Всесвіту (станом на 2002 р.) стало зрозуміло, що людство до цього часу має інформацію лише про чотири відсотки його матерії, тобто виявилось, що основна частина матерії у Всесвіті (96 %) поки що людству невідома (так звана прихована маса та темна енергія).

У жовтні 2003 року були підведені підсумки дуже точних двохрічних досліджень анізотропії реліктового випромінювання за допомогою космічного апарата НАСА Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Аналіз результатів досліджень дозволив встановити, що Всесвіт, у якому ми живемо, є замкненим, він має деяку симетрію, тобто не є кулястим.

В результаті аналізу подій, що відбуваються у фізиці в останні десятиріччя, можна зробити висновок, що людство вступає у чергову глобальну революцію в процесі пізнання дійсності, яка за своєю глибиною і наслідками, очевидно, перевершить революцію ХХ століття. Вона

характеризується тим, що наукові знання включаються практично у всі сфери соціального життя людства, а сама наукова діяльність стає тісно пов'язаною з революцією у засобах збереження і одержання інформації.

У теперішній час нова картина світу, яку можна назвати *еволюційно-синергетичною*, тільки розпочинає будуватися, але розгляд сучасних фізичних теорій дозволяє уявити її основний каркас:

Згідно з теорією суперструн єдиний простір-час Всесвіту є багатовимірним (скоріше за все одинадцятивимірним), всі елементарні частинки, які відомі сьогодні або будуть відкриті в майбутньому, є певними збудженими станами струни, що коливається у багатовимірному просторі. Простір-час стає найфундаментальнішим поняттям у фізиці. У 1995 році Едвард Уїттен (Принстонський університет) запропонував узагальнення теорії суперструн так звану *M*-теорію (буква *M* вибрана у зв'язку з тим, що цю теорію називають магічною або містичною).

Основою всього існуючого в новій картині світу є фізичний вакуум. Сучасні теорії суттєво змінили погляд на вакуум, який у класичних картинах світу вважався простором, вільним від матерії. Вакуум сучасних теорій – це система полів (електромагнітних, електрон-позитронних, піонних та ін.), які здійснюють нульові коливання, в результаті вакуум має енергію, тиск та інші фізичні параметри. Фізичний вакуум бере безпосередню участь у формуванні кількісних і якісних властивостей фізичних об'єктів. Такі властивості частинок, як спін, маса, заряд, з'являються завдяки їх взаємодії з вакуумом.

Зв'язок між віртуальними частинками і вакуумом має динамічну природу.

Нерозривна єдність Всесвіту виявляється не тільки в світі нескінченно малого, але й в мегасвіті – цей факт вже одержав визнання в сучасній фізиці і космології.

Таким чином, фізика, як і будь-яка інша природнича наука, постійно розвивається. Вона весь час розвивається і поповнює свою багатоманітність фактів все новими і новими даними.

6.4. Гіпотези будови ядер

Протонно-електронна гіпотеза про склад ядра Ж. Перрена і П. Оже передбачала наявність у ядрах K_{19}^{40} електронів понад протонів та

нейтронів, які відповідальні за бета-розпад. П. Дірак приєднався до такої моделі [33].

Д.Д. Іваненко, Є.В. Гапон у 1932 р. [36, с. 453] висунули нейтронно-протонну гіпотезу складу ядра. Згідно цієї гіпотези атомні ядра складаються лише із важких частинок – нуклонів: протонів і нейтронів без будь-якої участі легких частинок – електронів чи позитронів (лептони). Випромінювання електронів при бета-розпаді уявлялось як породження цих частинок. Протон і нейтрон розглядались як елементарні частинки, які зберігають свою індивідуальність. Дана гіпотеза зняла суперечності попередньої (комбінації ядра з протонів і електронів не давали змоги одержати правильне значення спіна, пояснити одержане значення енергії зв'язку) і склала основу для сучасних уявлень про склад ядра. Складність нейтронно-протонної теорії складала проблема випромінювання ядрами електронів при бета-розпаді. Тоді не були відомі реакції утворення пар електрон-позитрон гамма-квантами і навпаки. Якраз використали нейтронно-електронну будову ядра П. Блеккет і Дж. Оккіаліні, коли обґрунтували у 1933 р. вказані взаємоперетворення [36, с. 454]. В. Гейзенберг перший із західних вчених приєднався до нуклонної моделі ядер і здійснив подальший її розвиток. Після цього розпочався інтенсивний пошук структури складних ядер за допомогою фізичних моделей ядер.

У 1934 р. І.Є. Тамм висловив ідею, що взаємодія між нуклонами здійснюється за допомогою певних віртуальних частинок. Відомими на той час частинками (фотон, електрон, позитрон) пояснити таке неможливо.

У 1935 році японський учений Х. Юкава висунув гіпотезу, що ядерні сили зумовлені гіпотетичними частинками мезонами, маса яких лежить у межах 200-300 мас електронів.

У 1936 р. К. Андерсен і С. Неддерман виявили у космічних променях частинки з масою 207 мас електрона. Їх було названо мюонами.

У 1947 р. Дж. Оккіаліні та С. Поуелл відкрили у космічному промінні ще один тип мезонів, які назвали піонами. Вони і є носіями ядерних сил. Велику роботу у з'ясуванні характеру обмінних сил виконали Е. Майорана, В. Гейзенберг, Ю. Вігнер, Дж. Бартлет. Проте ні класична, ні мезонна квантова теорії не дають повної відповіді на дані експерименту.

Залишається не до кінця вирішеним питання про характер зв'язку нуклона з мезонним полем.

До відомих моделей атомних ядер слід віднести: краплинну модель Н. Бора та Я.І. Френкеля; оболонкову модель М. Гепперт-Маейр (1949 р.), О. Гаксель, Х. Ієнсен (1950 р.); ротаційна модель Дж. Рейнуотер, Н. Бор, Б. Моттelson (1950 р.). Згідно цієї моделі ядро є еліпсоїдом обертання; узагальнена модель Н. Бора, Б. Моттelson (1952–1953 р.р.) як певний синтез краплинної моделі і моделі ядерних оболонок; оптична модель. Крім цих теорій у 1963 р. Х. Ієнсен та М. Гепперт-Маейр одержали Нобелівську премію за оболонкову теоретичну модель ядра.

Після 1932 року теорії електрона-позитрона, електрона та електромагнітного поля практично втратили свою привабливість і розвивалась головним чином у зв'язку з ядерними процесами бета-розпаду і K -захоплення. Такий стан змінився лише у 1947 році після виявлення незначного зсуву енергетичного рівня електрона $2s_{\frac{1}{2}}$ у порівнянні з рівнем $2p_{\frac{1}{2}}$ спочатку в атомі водню, а потім і у інших частинок [36, с. 444]. Виявилось, що електрон взаємодіє не лише з реальним кулонівським зовнішнім полем протона чи іншими полями, а і з наявними флуктуаціями, випадковими коливаннями електромагнітного поля (вакуумного). До цього вважалось, що у вакуумі (пустоті) середнє значення електромагнітного поля рівне нулю і відповідно визначається найнижчим енергетичним рівнем стану системи. Флуктуації ж надають електрону додаткову кінетичну енергію і ослабляють енергію притягання до протона. Як наслідок енергетичні рівні виявились дещо зсунуті вгору. Така інтерпретація лембівського зсуву є відкриттям своєрідних додаткових взаємодій частинок з вакуумом електромагнітного поля (фотонів). Виявилось, що вакуум має своєрідні властивості (початок теорії вакууму поклав П. Дірак). Так у науці фізики було покладено кінець помилковим тенденціям, які передбачали нехтування нульовими флуктуаціями фотонів і електронно-позитронного поля як таких, що не спостерігаються і ведуть до нескінчених значень різних величин [36, с. 445]. Крім цього можливі випадкові флуктуації заряду, хоч в цілому середнє значення вакууму рівне нулю. Це дістало назву поляризації

вакууму. Тому лембівський зсув пояснюється взаємодією електрона з вакуумними фотонами, взаємодії пар електрон-позитронів з вакуумом (впливу поляризації вакууму, на яку приходиться $\frac{1}{25}$ величини лембівського зсуву, що спостерігається). Магнітний момент електрона дещо перевищує значення борівського магнетрона. Вимірювання Куша, Франкля і Лібеса враховують поправки

$$\mu = eh \frac{\left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{0,7\alpha^2}{\pi^2}\right)}{4\pi mc},$$

де $\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc}$ – стала тонкої структури. У лембівському зсуві необхідно ще врахувати й інші поправки: поправка на співрух самих ядер (для водню протона); поправка на те, що заряд ядра, зокрема, дейтрона не є точковим, а розподілений об'ємом дейтрона (роботи Д. Швінгера, Е. Сальпетера, Д.Д. Іваненка, Н. Колесникова, Е. Теодоровича); поправка на врахування неточкового характеру протона, заряд якого розміщено в об'ємі радіуса $0,8 \cdot 10^{-15}$ м (роботи Хофштадтера).

6.5. Фізика ядер

Після відкриття нейтрона і встановлення складу ядер фундаментальною подією було відкриття штучної радіоактивності і позитронний розпад (подружжя Жоліо-Кюрі, 1934 р.). Значна частина ізотопів була одержана групою Е. Фермі (Сегре, Разетті, Альмаді, Понтекорво, 1934 р.). За ці роботи подружжя Жоліо-Кюрі і Е. Фермі одержали Нобелівські премії. Нейтронне бомбардування урану було розшифровано на початку 1939 р. групами Е. Фермі, І. Кюрі та П. Савич, Л. Мейтнер на основі експериментів О. Гана і Ф. Штрассмена. Г.М. Флеров і К.О. Петржак у ленінградській лабораторії І.В. Курчатова відкрили самовільний поділ ядер урану. Крім урану вдалось виявити ділення багатьох ізотопів протактинію, торію та нових трансуранових елементів як спонтанне, так і за допомогою бомбардування нейтронами, протонами, альфа-частинками, гамма-променями, мезонами, електронами. Основи теорії поділу були розроблені Я.І. Френкелем, Н. Бором і

Дж. Уілером на базі феноменологічної трактовки ядра. Кожен затрачений на поділ нейтрон не лише поновлюється, а й дає додатковий нейтрон, який може викликати поділ наступного ядра. Виникла надія на ланцюгову реакцію. Перші її розрахунки провели у 1939–1940 р.р. Ж. Перрен, Я.С. Зельдович, Ю.Б. Харитон. Друга світова війна загальмувала дані дослідження в Європі.

У грудні 1942 р. у Чикаго Е. Фермі побудував перший ядерний реактор для здійснення керованої ланцюгової реакції поділу ядер урану. У 1945 р. США здійснили ядерні вибухи у військових цілях. Дещо пізніше ядерні бомби були виготовлені в СРСР, а пізніше – в Англії. Нині більше десяти держав світу мають ядерну зброю і більше десяти можуть її виробляти. Можна визначити період з 1942 до 1957 рік – як період технічної ядерної фізики.

Нині вважається загальноприйнятим, що всі хімічні елементи Сонячної системи утворились понад 5 млн. років тому завдяки гравітаційному стисканню величезних мас галактичного водню. Надмірна температура забезпечила синтез складних ядер з ядер водню. У природі так сталось, що період напіврозпаду ізотопів з порядковим номером більшим за 92 набагато менший за час існування Землі. Внаслідок радіоактивного розпаду всі вони розпались. Найбільш важкими ізотопами на Землі є ізотопи урану. Ізотопи з зарядовим числом більшим за 92 синтезовані у лабораторних умовах та історично названі трансурановими. Так, ізотоп з порядковим номером 93 нептуній, одержано при бомбардуванні ізотопу ${}_{92}^{238}\text{U}$ нейтронами після бета-розпаду. Внаслідок наступного бета-розпаду ізотоп нептунію перетворюється у плутоній під номером 94. В природних мінералах знайдені мікрокількості найбільш довгоживучого трансуранового елемента плутонію. Елементи від нептунію до менделєєвію вперше штучно були одержані в ядерних реакціях під дією нейтронів та прискорених альфа-частинок. Прискорення необхідне для подолання кулонівського відштовхування ядра.

У США при бомбардуванні плутонію нейтронами одержали елемент з $Z = 95$ – америцій. На честь Марії та П'єра Кюрі названо 96-й елемент Періодичної системи, який утворюється при бомбардуванні ядер ${}_{95}^{241}\text{Am}$ нейтронами. При бомбардуванні нейтронами ядер плутонію синтезовано

берклій $Z = 97$ та каліфорній $Z = 98$ (Каліфорнійський університет у м. Берклі).

Інші елементи реакторним способом синтезувати не вдалось, так як опромінене ядро поглинає один або малу кількість нейтронів.

У 1952 р. на острові Бікіні США провели випробування водневої бомби й у коралах було виявлено незначну кількість елементів із $Z = 99$ ейнштейній та $Z = 100$ фермій. У 1955 р. одержали елемент з $Z = 101$ менделевій. До речі, елементи з $Z = 93$ до $Z = 101$ були вперше одержані в США під керівництвом Г. Сіборга і А. Гіорса.

З ростом номера елемента зменшується стабільність їх ядер, а відповідно зростають труднощі їх одержання, ідентифікації і дослідження. Хімічна ідентифікація синтезованих трансуранових елементів ґрунтується на передбаченні їх місця у таблиці Менделєєва. Таке передбачення зробив американський учений Г. Сіборг. Він установив, що елементи, наступні за актинієм – актиніди ($Z = 89-103$), це хімічні аналогії лантанідів ($Z = 57-71$). Недостатня густина нейтронів не давала можливість таким способом одержати елементи з порядковим номером більшим за 100. Для здійснення таких реакції починаючи з 1957 р. методом бомбардування атомних ядер одного елемента ядрами іншого елемента стали розвивати синтез нових трансменделєєвських елементів у ядерних реакціях з багато зарядовими іонами елементів більш важчих ніж гелій – вуглець, бор, неон.

Г.М. Фльоров у Об'єднаному інституті ядерних досліджень (ОІЯД) м. Дубна розробив спосіб одержання трансуранових елементів шляхом бомбардування важких ядер легкими або середніми ядрами. Практична реалізація розробленого методу стала можливою після вводу в дію потужного прискорювача багато зарядових іонів 310 сантиметрового циклотрона у Дубні. У 1963 р. при бомбардуванні ${}^{238}_{92}\text{U}$ іонами ${}^{22}_{10}\text{Ne}$ одержано елемент $Z = 102$ нобелій. Через рік синтезовано 104 елемент курчатовій ${}^{242}_{94}\text{Pu} + {}^{25}_{10}\text{Ne} \rightarrow {}^{260}_{104}\text{Ku} + 4{}^1_0\text{n}$, а у 1965 р. при бомбардуванні ${}^{243}_{95}\text{Am}$ іонами ${}^{18}_8\text{O}$ одержано елемент $Z = 103$ лоуренсій. З одержанням 103 елемента завершено синтез усіх 14 актинідів.

105 елемент нільсборій одержали у Дубні в 1970 р. при реакції ${}^{243}_{95}\text{Am} + {}^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow {}^{260}_{105}\text{X} + 5{}^1_0\text{n}$, а пізніше у Берклі (США).

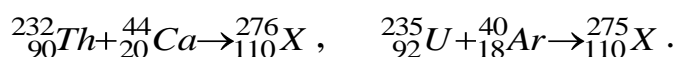
Для просунення у область ще більш важких елементів вимагались

нові підходи. У 1973 р. у лабораторії Г.М. Флерова розроблено метод синтезу більш важких ядер, де використано особливості оболонкової структури ядер. Було показано, що при певній енергії зіткнення двічі магічного ядра свинцю-208 і ядра кальцію або аргона проходить їх «м'який дотик» і утворюється складне ядро з порівняно невеликою енергією збудження. Для переходу такого збудженого стану ядра в основний стан достатньо одного-двох нейтронів чи каскаду гамма-променів. Так швидко знімається збудження і різко зменшується імовірність поділу ядра. У 1973 р. співробітник Г.М. Флорова Ю.Ц. Оганесян за мішень брав свинець. В результаті реакції ${}^{207}_{82}\text{Pb} + {}^{54}_{24}\text{Cr} \rightarrow {}^{259}_{106}\text{X} + 2{}^1_0\text{n}$ одержано 106 елемент, а у 1976 р. проведено реакцію ${}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^{54}_{24}\text{Cr} \rightarrow {}^{261}_{107}\text{X} + 2{}^1_0\text{n}$ і синтезовано 107 елемент. Спроби синтезувати 109 елемент у реакції вісмуту і заліза не дали позитивних результатів. Німецькі вчені у Дармштадті (німецьке Товариство з вивчення важких іонів) методом Оганесяна також одержали 107-й елемент і у 1982 р. протягом 12 діб зареєстрували одну подію, яка претендувала на розпад 109 елемента. Час життя трансактинідів виявився у діапазоні $10^2 - 10^{-2}$ с, що дало можливість вивчати їх хімічні властивості. Як наслідок виявилось, що найбільш чутливим способом ідентифікації нових елементів є радіохімічне виділення продуктів послідовного альфа-розпаду досліджуваного ядра ізотопу важких актинічних елементів, хімічні властивості яких добре відомі. Були розроблені хімічні методики, які ґрунтувались на іонообмінній хроматографії, створені чутливі детектори, які з високою ефективністю реєстрували досить рідкі події й однозначно ідентифікували окремі атоми нових елементів на фоні десятків і сотень мільярдів других атомів.

У Дубні протягом 260 годинного досліду було зареєстровано 8 подій, які підтверджували утворення ядер 109 елемента. Два ізотопи 108 елемента одержано у 1984 р. ${}^{207}_{82}\text{Pb} + {}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{264}_{108}\text{X} + {}^1_0\text{n}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb} + {}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^{265}_{108}\text{X} + {}^1_0\text{n}$. Елементи із $Z = 102-110$ одержані в СРСР у м. Дубна.

У дослідженнях проведених під керівництвом Г.М. Флерова показали, що біля двох десятків ізотопів виявлених елементів мають підвищену стійкість до спонтанного поділу і переважно піддаються альфа-розпаду. Імовірність спонтанного розпаду виявилась набагато порядків меншою,

ніж це передбачалось класичною моделлю ядра як краплини рідини. Відносно висока стабільність ядер трансактинідів і факт існування цих елементів є проявом оболонкової структури атомних ядер. Для одержання нових більш важких елементів необхідно вибирати оптимальний тип ядерної реакції синтезу й енергію прискорених іонів. Проте з ростом маси і заряду прискорених іонів швидко спадає вихід реакції «холодного» злиття. При синтезі 109 елемента учені прийшли до межі експериментальних можливостей. Тому для одержання 110 елемента і більш важких Г.М. Флеров запропонував використати ядерні реакції проміжні між традиційними реакціями і реакціями «холодного» злиття: опромінення легких актинічних елементів масивними снарядами – іонами аргону, кальцію тощо. У 1987 р. завершено цикл експериментів з синтезу ядер 110 елемента у реакціях торію-232 і кальцію-44, а також урану-235 і аргону-40. Виявлено ядро, що ділиться, з періодом піврозпаду 0,01 с.



У 1987 р. у м. Дубні синтезовано 110 елемент при бомбардуванні ядер торію і ізотопів урану потужним пучком прискорених ядер кальцію і аргону. Було одержано близько 40 ядер 110 елемента.

Весною 1993 р. ученими Лабораторії ім. Лоуренса та ОІЯД на прискорювачі У-400 проведено експеримент з синтезу важких ізотопів елемента 106 у реакціях повного злиття прискорених іонів ${}_{10}^{22}\text{Ne}$ з ядрами мішені кюрій ${}_{96}^{248}\text{Cm}$. Експеримент продовжувався 30 днів і завершився відкриттям двох нейтронно збиткових елементів 106 з масовим числом 265 та 266. Радіоактивний розпад обох нових ядер здійснюється альфа-розпадом, а не спонтанним їх діленням на два осколки. Це вказує на нову область надважких елементів стабільних відносно спонтанного поділу, а відповідно і на нові перспективи для робіт з синтезу нових елементів таблиці Менделєєва.

У липні 2000 року в Об'єднаному інституті ядерних досліджень був синтезований 116-й елемент, в жовтні 2006 року – 118-й елемент. Тепер же заповнена клітинка таблиці Д.І. Менделєєва між ними – 117-а. У нового елемента поки немає офіційної назви, але серед учених він вже здобув популярність як «унунсептій».

Роботи з синтезу «унунсептію» почалися в липні 2009 року.

Експеримент тривав більше півроку. За цей час вдалося зареєструвати шість подій «народження» нового 117 елемента з масою 293 (сума мас берклію-249 і кальцію-48 мінус 4). Час життя нових ізотопів елементів 115, 113 і 111 вимірюється секундами. Але його цілком вистачає, щоб досліджувати їх хімічні властивості існуючими експресними радіохімічними методами. Наприклад, перевіряється періодичність зміни хімічних властивостей важких елементів на основі фундаментальних законів квантової електродинаміки, що описують електронну структуру надважких атомів. Такі експерименти з відкритими ізотопами елементів 112 і 114 зараз проводяться у лабораторії ядерних досліджень об'єднаного інституту ядерних досліджень у м. Дубні у співпраці з ведучими радіохімічними лабораторіями світу з участю і українських.

Таким чином, у розвитку ядерної фізики можна виділити 1932 р. – відкриття нейтрона, 1934 р. – відкриття штучної радіоактивності, 1939 р. – здійснення поділу урану, 1942 р. – побудова уранового реактора. За цей період розв'язувались дві принципові проблеми: теорія бета-розпаду і передбачення нейтрино; структура ядер, проблема ядерних сил і передбачення мезонів.

6.6. Елементарні частинки та їх систематика

Багато вчених другої половини ХІХ століття були переконані, що атом неподільний [66; 68]. Вони вважали атом елементарною частинкою. На тому етапі розвитку знання наукою про елементарні частинки була хімія.

Найбільш вивченими є перші історично відкриті елементарні частинки – електрон, протон, позитрон, фотон, нейтрон. Ідею про елементарну «порцію» електрики висунув у 1881 р. Г. Гельмгольц [18; 19] на основі узагальнень законів електролізу М. Фарадея [125]. Дж.Томсон, Г. Лоренц у 1880–1890 р.р. розвинули теорію елементарних електричних зарядів. На початку 1897 р. у Кавендішській лабораторії Дж. Томсон [119] експериментально виявив електрони у потоці катодних променів. Ці досліди висунули лабораторію на провідне місце у світі. Це сприяло розвитку школи Томсона і вихованню таких учених як Е. Резерфорд, П. Ланжевен, У. Брегг, О. Річардсон, У. Вільсон та ін. У 1911 р. Р. Міллікен та І.Ф. Йоффе одержали досить точне значення величини

елементарного заряду [75], а Р. Берджем (1929 р.) уточнив його [36]. Протягом 60 років не було знайдено ні частин електрона, ні будь-яких частинок з меншою власною масою.

Відкриття величини елементарного заряду – електрона (назву дав Дж. Стоні у 1891 р.) привели до виникнення моделей атома. Інтенсивне дослідження бета-розпаду привели до початку розвитку сучасної атомної фізики. Головними етапами розвитку атомної фізики були: встановлення радіуса квантової орбіти електрона у атомі водню (А. Шидлов, Р. Хаас); квантування колового руху атомних об'єктів (Н. Бор, 1913 р.); квантування еліптичних орбіт (А. Зоммерфельд, У. Вільсон); встановлення статистичного характеру випромінювання та поглинання електроном; виявлення власного магнітного моменту електрона; встановлення принципу Паулі; побудова квантової механіки електронів (Е. Шредінгер, В. Гейзенберг); дослідження хвильових властивостей електрона; механіка Клейна-Гордона; механіка Дірака. Такий шлях дослідження властивостей електронів і становлення їх теорії.

У 1900 р. М. Планк і у 1905 р. А. Ейнштейн показали, що світло складається з порцій – фотонів. У 1911 р. Е. Резерфорд відкрив протон.

У 1928–1929 р.р. П. Дірак передбачив, а у 1932 р. К. Андерсен виявив позитрони. П. Дірак у 1928 р. встановив релятивістське квантове рівняння руху електрона, яке добре підтверджувалось експериментальними даними. Проте виникла проблема. Згідно релятивістського співвідношення між енергією й імпульсом, енергія набуває не лише додатніх, а і від'ємних значень $E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m^2 c^4}$. У неквантовій фізиці неможливо перейти неперервно від найменшого позитивного значення $E_0 = +m^2 c^2$ до найменшого від'ємного значення енергії $E_0 = -m^2 c^2$. У квантовій теорії допускаються переходи із зміною енергії стрибком (в даному випадку $\Delta E_0 = 2m^2 c^2$) [36, с. 438]. На початку навіть Е. Шредінгер [137], П. Паулі [94], В.О. Фок [129] ставили під сумнів правильність рівняння Дірака. П. Дірак [32] інтерпретував такий результат через існування нової (четвертої після електрона, протона і нейтрона) частинки – позитрона. Електрон – частинка, яка знаходиться на додатньому рівні енергії. Звичайний стан світу є середовищем з повністю заповненими самими низькими від'ємними значеннями енергії. Нерухомий електрон має

найменшу енергію $E_0 = m^2 c^2$. Якщо позбутися одного із електронів від'ємної енергії, то у середовищі заповнених рівнів виникає «дірка». Вона буде відповідати античастинці – позитрону. Перехід електрона у незайняте місце серед від'ємних рівнів приведе до зникнення пари електрон-позитрон і виділення енергії спокою обох частинок $2m^2 c^2$ у вигляді гамма-променів. П. Дірак у 1931 р. зумів підрахувати ймовірність анігіляції таких частинок. Через деякий час було розраховано обернений процес народження пари частинок при зіткненні гамма-кванта з ядром. Експериментально позитрон було виявлено американським ученим С. Андерсом 1932 р. у складі космічних променів. Передбачені процеси анігіляції спостерігались дослідно у 1933 р. Це було першим проявом взаємоперетворення елементарних частинок.

Такі міркування привели П. Блеккета, Дж. Оккіаліні (Манчестер, 1933 р.), П. Оже (Париж) до розуміння космічних ливнів і народження нових фотонів другого покоління. Теорію каскадних ливнів розробляли В. Гайтлер, Х. Баба, Р. Опенгеймер, Ч. Карлсон, Л.Д. Ландау, Ю.Б. Румер, Д.Д. Іваненко, А.П. Соколов, І.Є. Тамм, Беленький.

Найбільшим джерелом елементарних частинок вважаються космічні промені, датою відкриття яких є 1912 рік. За це відкриття В.Ф. Гессу в 1936 р. присуджена Нобелівська премія.

Все ж лише у 1932–1933 роках завдяки новим дослідженням удалось вивести фізику космічних частинок із невизначеності. Цьому сприяли неодноразові експедиції під керівництвом А. Компотна у різні місця земної кулі, які підтвердили геомагнітний ефект (зменшення інтенсивності в екваторіальних широтах порівняно з полярними на 10%). Крім цього були сконструйовані принципово нові засоби спостереження космічних (і не лише) частинок, нові засоби реєстрації і прискорення елементарних частинок. П. Блеккет (одержав Нобелівську премію) зі своїм учнем Дж. Оккіаліні сконструювали камеру Вільсона, яка керувалась лічильниками Гейзера і стали одержувати фотографії реального проходження заряджених частинок. К. Андерсен помітив на фотографіях слід частинки з протилежним зарядом щодо електрона. Його невпевненість у відкритті позитрона у 1933 р. зникла після підтвердження цього дослідями П. Блеккета і Дж. Оккіаліні. Така коротка історія становлення фізики космічних променів. Із 1932 до середини 50 років

минулого століття у космічних проміннях були відкриті всі нові елементарні частинки: позитрон, мюони (μ^\pm мезони), заряджені і нейтральні піони π^+ , π^- , π^0 , важкі К-мезони, перші гіперони (Λ, Σ, Ξ), маса яких була більша нейтронів. Відкриті частинки називались по різному. Тому вчені у 1954 р. запропонували нову класифікацію і нове позначення елементарних частинок: легкі мезони (мюони і піони); важкі мезони (частинки важчі піона і легші протона); гіперони (частинки з масою між нейтроном і дейтоном).

У 1934 р. подружжя Жоліо-Кюрі одержали штучні радіоактивні атомні ядра, які випромінювали позитрони. Після відкриття позитрона релятивістська квантова механіка передбачає наявність античастинок у всіх заряджених частинок. Так антипротон було відкрито у 1955 р. групою Е. Сегре. Дещо пізніше такі передбачення поширились і на нейтральні частинки, які описуються комплексними функціями (нейтрон, K^0 -мезон). Проте для фотонів π -мезонів й інших систем частинок, які описуються звичайними хвильовими функціями не існує античастинок [36, с. 440].

Існування нейтрона було передбачено Е. Резерфордом у 1920 р. проте відкриття його здійснено у 1932 р. Це насамперед пояснюється відсутністю у нього заряду. Для реєстрації таких частинок були розроблені методи у 30 роки минулого століття. Обставини епохального відкриття були такими. У 1928 р. німецький вчений В. Боте провів ряд дослідів з опромінення пучком альфа-частинок ядер ізотопу берилію (тонка фольга) Be_4^9 . Він помітив виникнення нейтрального випромінювання високого ступеня проникності. Спочатку це випромінювання сприйняли за гамма-промені. Експерименти Фредеріка і Ірен Жоліо-Кюрі показали, що промені Боте мають здатність надавати помітний імпульс протонам. Таке можливе лише для гамма-променів великої енергії (порядку 1 мільярда електронвольт). Це співставимо з енергією спокою протонів, а не гамма-променів, для яких ядерні випромінювання лежать у межах сотень тисяч і мільйонів електронвольт.

С. Глессон та Робертс у 1921 році у Кавендішській лабораторії зробили невдалу спробу відкрити нейтрон. Через 12 років учень Е. Резерфорда Д. Чедвік пояснив випромінюванням нейтральних частинок за масою майже рівною масі протона. Таке пояснення дослідів Боте та Ірен і Фредеріка Жоліо-Кюрі у Кавендішській лабораторії не була

випадковою, бо якраз там раніше було висловлено ідею існування нейтронів. Досить швидко нейтрони були виявлені у реакціях з другими ядрами.

Постало питання про їх роль у будові ядра та про їх природу. Виникли дві гіпотези про склад ядра: протонно-електронна і нейтронно-протонна. У 1932–1942 роках здійснюються активні дослідження якраз цих проблем.

З відкриттям електронів та позитронів своєрідно постала проблема сутності електромагнітного поля і фотонів. Знамениті максвеллівські рівняння (1864 р.) [161] були уточнені і деталізовані Г. Лоренцом, Г. Герцем та Д. Лармором [145]. Спеціальна теорія відносності, яка виникла на ґрунті електродинаміки, дала поштовх її розвитку. Після попередніх робіт В.А. Міхельсона, Б.Б. Голіцина, В. Віна М. Планк розвинув теорію теплового електромагнітного випромінювання з допомогою кванта дії. А. Ейнштейн розвинув нові ідеї М. Планка. У 20 роки ХХ ст. після відкриття комптон-ефекту і його інтерпретації як зіткнення фотона з електроном, суперечності між корпускулярною та хвильовою картиною світу загострились. Розв'язок настав після створення квантової теорії. П. Дірак (1927 р.), В. Гейзенберг, В. Паулі здійснили послідовне «вторинне» квантування електромагнітного поля, у якому здійснено співставлення корпускулярних і хвильових властивостей. Пізніше було визначено спін фотона. У 1898 р. російський фізик О.І. Садовський теоретично визначив момент кількості руху електромагнітного поля. Ефект Садовського було підтверджено американським ученим Бетом у 1935 р. Отже, квантове узагальнення рівнянь Максвелла є рівняннями частинок позбавлених маси спокою, зі спіном рівним 1, які описуються векторною хвильовою функцією $A_\nu = (A\varphi)$. В наступному теорія електромагнітного поля і теорія електронів-позитронів (породжують одні одних і взаємно перетворюються) розвивалась спільно під назвою квантової електродинаміки. Відкриття лембовського зсуву і додаткового магнітного моменту електрона дали новий поштовх у розвитку теорії квантової електродинаміки. П. Фейман, Д. Швінгер у 1947–1950 р.р. запропонували «вторинне» квантування електромагнітного поля. Перехід від геометричної оптики до хвильової (до рівнянь Максвелла) дає опис

хвильових властивостей електромагнітного поля. Нерелятивістське рівняння Шредінгера чи квантово-релятивістське рівняння Клеймана-Гордона і Дірка є процесом первинного квантування. Частинкам притаманні хвильові властивості, а їх поведінка описується ψ -функціями. Діраківські хвильові ψ -функції, як і клейман-гордонські ϕ -функції розглядаються як компоненти потенціалів деякого поля (аналогічні звичайним потенціалам максвеллівського поля) можна піддати вторинному квантуванню. Квантами електронно-позитронного поля будуть електрони-позитрони.

Після побудови прискорювачів елементарних частинок у 50 роки ХХ ст. картина у дослідженні елементарних частинок різко змінилась. Розпочалось інтенсивне відкриття нових частинок та нових елементів Періодичної системи. Дослідження космічних променів відійшло на другий план.

Одним із найбільших досягнень науки ХХ ст. стало відкриття античастинок – двійників елементарних частинок: будь-яка частинка може виникати в парі з античастинкою і зникати в результаті взаємодії з античастинкою, перетворюючись у інші частинки. У 1955 році групою Е. Сегре було відкрито антипротон, в 1957 році – антинейтрон. Такі теоретичні уявлення та результати експериментів привели до припущення про існування антиатома і антиречовини.

При аналізі бета-розпаду В. Паулі передбачив нову частинку нейтрино, а у 1956 р. К. Коен і Ф. Райнес експериментально виявили антинейтрино. У 1937 р. К. Андерсен і С. Неддермаєйр у космічному промінні виявили μ -мезони. У 1947 р. С. Пауелл і Дж. Оккіаліні виявили додатні і від'ємні π -мезони. У 50 роки були відкриті гіперони, каони. У 1955 р. відкрито антипротон, у 1956 р. – антинейтрон. У 60 роки виявлені усі античастинки відповідні гіперонам. У 1964 р. відкрито омега-мінус-гіперон. У 1974 р. виявлена йот-частинка. У 1975 р. одержані перші відомості про існування важкого тау-лептона. М. Перл був у складі стенфордської групи, яка у 1966 р. намагалась виявити нові заряджені лептони шляхом реалізації нового підходу – зіткнення пучків прискорених електронів і позитронів. Проведені досліди аж до 1974 р. успіху не мали. В цей час у Стенфордському університеті працювали дві групи, які виявили частинки у склад яких входив чарівний с-кварк. Група під

керівництвом Б. Ріхтера працювала на установці SPEAR (200-метрове електрон-позитронне кільце).

Наступні дослідження М. Перла дозволили у 1976 р. заявити про спостереження нової частинки – важкого лептона з масою 1777 ГеВ. Цю частинку він позначив буквою τ . У 1977 р. підтвердження існування τ -частинки поступило із Гамбурга де працював детектор DORIS, а пізніше із інших установок.

У 1977 р. С. Хебра відкрив іпсилон-мезон.

Центром уваги наукових досліджень поступово стають первинні космічні промені. Починаючи з 80-х років реєстрація різних компонентів космічних променів у широкому діапазоні енергій проводиться наземною світовою мережею на рівні моря, у горах, у шахтах, у стратосфері, на штучних супутниках Землі, на міжпланетних автоматичних станціях.

Проте останні два десятиліття дослідження космічних променів поновились. У 1998 р. Державною премією Російської Федерації відзначені вчені за спорудження Баксанської нейтронної обсерваторії та дослідження, що проведені на ній. Відомо, що нейтрино виникає при розпадах частинок і ядер у надрах Сонця і зірок при взаємодії космічних променів з між зірковим середовищем. Ці промені несуть важливу інформацію про Всесвіт. Але такі частинки дуже слабо взаємодіють з речовиною і реєструвати їх досить складно. Щоб зафіксувати нейтрино апаратуру слід розмістити під водою, під шаром льоду чи скалистих порід. Першим у світі комплексом підземних (підземна фізика) і наземних лабораторій з вивчення цих частинок є Баксанська нейтронна обсерваторія у передгір'ях Кавказу. Приладами лабораторії, які за рівнем чутливості є кращими у світі, вперше виміряно потік мюонних нейтрино, які пройшли товщу земної кулі та оцінено їх фізичні характеристики. Тут вперше у фізичних дослідженнях виконана робота з реєстрації розпаду протона, час життя якого перевищує 10^{30} років. Вимірювання повного потоку сонячного нейтрино дозволяє стверджувати, що Стандартна сонячна модель, яка описує процеси у надрах нашого світила невірна. Це є одним з найважливіших досягнень фізики останнього десятиліття.

Будівництво Національної італійської лабораторії Гран-Сассо (100 км на схід від Риму) здійснювалось з середини 90 років ХХ ст. Тунелі підземної обсерваторії для вивчення космічних променів мають розміри з

футбольне поле. Специфіка лабораторії у тому, що вона займається пошуком монополів – гіпотетичних частинок, які мають один магнітний полюс.

Однією з останніх теорій походження елементарних частинок є теорія Фермі, у якій передбачується механізм прискорення за рахунок співударів протонів з хаотично рухомою у космічному просторі іонізованою речовиною. У космічних променях сконцентрована енергія у середньому величиною у 6 млрд. еВ з максимумом у області 20 млрд. еВ (у 1000 разів більша енергії радіоактивного випромінювання, у 150 разів більша за максимально прискорену частинку, у 30 разів більша за енергію поділу ядер урану). На порядок денний постала проблема сучасної наукової картини світу.

Існує декілька підходів до аналізу проблеми кваркової систематики елементарних частинок [9; 23]. Заслуговує на увагу спосіб, який ґрунтується на виявленні закономірності унітарної симетрії. У цій систематиці сильно взаємодіючі частинки поділяються на 8 чи 10 частинок з однаковими спінами, баріонним зарядом і парністю. Маса, електричний заряд, ізотопічний спіні в них різні. Зміст унітарної симетрії полягає в тому, що нехтуючи різницею в масах частинок мультиплету, виявляємо подібність поведінки у процесах сильних взаємодій. Дана гіпотеза користувалась особливим успіхом, коли в 1964 році в Брукхевенській лабораторії, на її основі, було відкрито омега-мінус-гіперон.

Інший підхід до систематики елементарних частинок ґрунтується на тому факті, що всі гіперони, відрізняючись один від одного багатьма фізичними параметрами (масою, електричним зарядом, спіном), мають спільність властивостей. Ця спільність полягає в тому, що кожен баріон після випускання одного чи кількох мезонів перетворюється в нуклон – протон чи нейтрон. Мезони є квантами ядерного поля. На цій основі розпад гіперона можна розглядати як процес переходу нуклона із збудженого стану в нормальний з випромінюванням кванта ядерного поля. При такому підході знімається питання про велику кількість елементарних частинок. З усієї сукупності баріонів елементарними є лише нуклони, а всі інші більш масивні частинки розглядаються як збуджені стани нуклона.

Після відкриття у 1932 р. нейтрона і введення гіпотези нейтрино у

фізиці завершилась монополія електромагнітної взаємодії і розпочався період утвердження уявлень про сильну і слабку взаємодію. Е. Фермі у 1952 р. виявив складну структуру нуклона. Дослідження з розсіювання піонів нуклонами виявило збуджені стани нуклона: Δ -ізобара з масою 1,24 ГеВ, спіном $3/2$ і додатньою просторовою парністю. Ідея про структуру адронів утвердилась у фізиці елементарних частинок у 1956 р. після дослідів з розсіювання електронів нуклонами і ядрами (Хофштадтер).

Останні спроби класифікації елементарних частинок пов'язані з принципом, що фундаментальними частинками є фотони, глюони, бозони W , W^+ , Z^0 і гравітони, які відповідають за фундаментальні взаємодії, а всі інші є елементарними. Узагальнено це показано на рис. 120. Використання рисунка дає можливість наочно побудувати цілісну картину як взаємодій, так і частинок, які причетні до них.

Слабка взаємодія – це особлива взаємодія, яка проявляється у всіх процесах, в яких бере участь нейтрино. Таке відбувається при захопленні нейтрино ядрами, при бета-розпаді, при розпаді π^+ , π^- мезонів і мюонів.

Силу взаємодії двох частинок можна охарактеризувати потенціальною енергією при їх зближенні на деяку відстань. Якщо порівняти енергію сильної, слабкої, електромагнітної та гравітаційної взаємодії двох протонів на відстані $r \approx 10^{-15}$ м, то помітно, що на такій відстані сильна взаємодія проявляється у повній мірі. Для електромагнітної взаємодії ця енергія становить ~ 1 МеВ, сильної ~ 50 МеВ, слабкої $\sim 10^{-6}$ МеВ, а для гравітаційної $\sim 10^{-30}$ еВ. Співвідношення між цими взаємодіями становить $1:10^{-2}:10^{-14}:10^{-38}$ еВ.

Таким чином, частинки розділяють на класи за характером взаємодій: фотон має електромагнітну взаємодію. Лептони – електрон, мюон, нейтрино, та їх античастинки. Їм властива слабка взаємодія. Вони піддаються і електрослабкій взаємодії, теорія якої створена у 1964 р, а у 1979 р. вчені Салам, Глешоу за її створення одержали Нобелівську премію.

Глюони відповідальні за сильну взаємодію, яка проявляється у адронів, що складаються з кварків. В цілому ж адронам властиві всі чотири взаємодії. За часом життя адрони поділяються на короткоживучі частинки – резонанси і довго живучі – адрони. Одну групу складають мезони – сильно взаємодіючі частинки кванти ядерного поля. Другу групу складають баріони – нуклони, які мають баріонний заряд. Самі легкі баріони – нейтрон і протон.

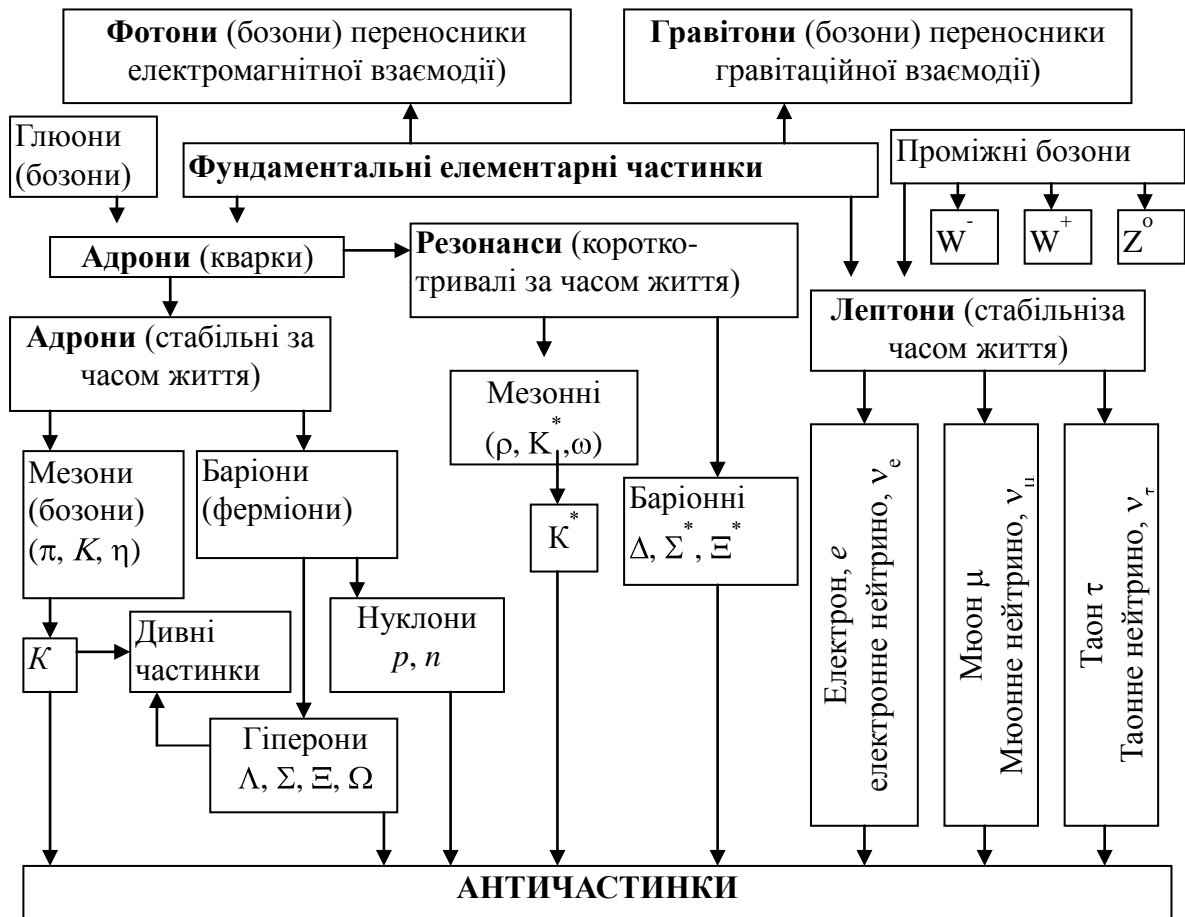


Рис. 120. Класифікація елементарних частинок

Адрони-баріони – частинки, беруть участь у сильних взаємодіях. Час їх життя $\sim 10^{-23}$ с. Але є адрони з часом життя $\sim 10^{-8} - 10^{-13}$ с. Розпади цих довгоживучих частинок обумовлюються слабкими взаємодіями.

Ми пропонуємо класифікацію адронів здійснювати за їх квантовими числами: масою, електричним зарядом, спіном, магнітним моментом, часом життя, значенням баріонного заряду. Баріонні та електричні заряди – це єдині заряди, які характеризуються сильнодіючими частинками. Нові заряди дістали назву ароматів, чарівних і т.д. В 50-х роках минулого століття відкрили дивні частинки, і ввели квантове число – дивність.

6.7. Адрони

Після відкриття дивних частинок виникла проблема модернізації моделі Фермі-Янга. У 1956 р. С. Саката запропонував нову модель, у якій фундаментальними адронами вважались p , n , Λ та їх античастинки. У межах цієї моделі дістали значну кількість цікавих фізичних результатів, які описують мезонні мультиплети, але неспроможні правильно описати мультиплети баріонів. У рамках теорії унітарної симетрії виникли свої

труднощі. Необґрунтовано були виключені з розгляду унітарні триплети, оскільки треба було припустити існування частинок з дробовими значеннями гіпер-заряду Y .

Розвиток робіт з класифікації адронів з самого початку супроводжувались спробами виділити серед них частинки більш первісні за інші, які б могли бути основою для побудови всіх адронів.

У 1964 р. М. Гелл-Манн і незалежно Дж. Цвейг висунули гіпотезу про кварки, як основи для побудови адронів. Термін «кварк» запозичений з роману ірландського письменника Дж. Джойса «Поминки по Фіннеганові», головний герой якого у снах часто чув слова про три кварки. Крім цього у 1964 році М. Гелл-Манн і незалежно від нього Дж. Цвейг визнали й існування дробового значення гіперзаряду і ввели до розгляду три гіпотетичні частинки, які є новою різновидністю сильно взаємодіючих частинок і входять до складу адронів. Нові частинки Дж. Цвейг назвав тузами, а М. Гелл-Манн – кварками [17, с. 45-96; 82]. Загальноживаною стала остання назва, а відповідно і кваркова модель елементарних частинок. Кварки були введені для побудови з них усіх відомих на той час адронів. Баріони компонувались із трьох кварків.

Існує третій підхід до систематики на основі гіпотези про кварки. Для вилучення з розгляду у кварковій моделі дробових електричних зарядів американські вчені Дж. Беркен і С. Глешоу [23; 45, с. 35] ввели у розгляд четвертий кварк. Він характеризується квантовим числом s , яке називається чарівністю. Він має три кольори і йому відповідає своя античастинка.

Цей підхід будується на припущенні, що всі відомі частинки складаються з ще більш елементарних – трьох сортів кварків. Усі відомі на 1963 рік (час висунення гіпотези) адрони теоретично можна було побудувати з трьох типів кварків. Четвертий сорт кварків (чарівні), зв'язаний з лептонами. Оскільки лептонів є чотири: електрон, мюон і два типи нейтрино, то і кварків має бути чотири типи. Останнім часом сім'я лептонів нараховує шість членів. Це порушило б симетрію між лептонами і кварками, які розглядаються як «цеглини світопобудови», коли б не два нових кварки: красивий та істинний.

Для вивчення проблем класифікації чи об'єднання множини об'єктів у споріднене сімейство використовується спеціальний розділ математики

– теорія груп. Особливо продуктивними у фізиці виявились групи перетворення, які відповідають різним симетриям – групам симетрій. Якщо у класичній фізиці розглядалась симетрія простору і часу (останні відповідають за фундаментальні закони збереження енергії та імпульсу і моменту кількості руху), то у фізиці мікросвіту добавились нові динамічні симетрії, які є відповідальними за закони збереження фундаментальних параметрів, що характеризують внутрішній стан елементарних частинок.

Але цим не завершується евристичний потенціал супермультиплетної класифікації адронів з групи симетрії SU(3). На її основі в 1963 році М. Гелл-Манн і Г. Цвейг розвинули *кваркову модель*. В рамках цієї групи симетрії кварки складають сімейство з трьох членів (u , d і s) із спіном $\frac{1}{2}$ (і відповідно антикварків). Всі останні квантові числа у кварків різні. До нової особливості кварків відноситься те, що вони мають не цілі електричні заряди. Уява про кварки обумовила перегляд думки про абсолютність елементарного заряду електрона, бо u -кварк має заряд $+\frac{2}{3}e$, а d -кварк має заряд $-\frac{1}{3}e$, s -кварк має заряд $-\frac{1}{3}e$. Перегляд уявлення про значення електричного заряду складає певну трудність, але використання кварків для утворення адронів є досить простим. Зокрема, протон утворений двома u -кварками і одним d -кварком. Це можна записати в такому вигляді uud . Якщо скласти значення електричних зарядів визначених кварків $\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e$, то одержимо заряд протона $+1e$. Аналогічний механізм побудови решти квантових чисел адронів. Розподіл адронів на баріони та мезони визначає і два шляхи побудови адронів з кварків. Якщо баріони складаються з трьох кварків, то мезони утворюються із кварка і антикварка. Наприклад, π^+ -мезон утворюється із u -кварка і d -антикварка. В 1969 році на прискорювачі в науковому центрі м. Стендорф виявили, що всередині нуклонів розміщені точкові частинки. Припущено, що вони і є кварками. Зіткнення з ними різко змінюють напрям руху електронів (досліди з розсіювання електронів нуклонами), що нагадує досліди Е. Резерфорда, коли було виявлено ядро.

Існує гіпотеза, що у вільному стані кварки не існують. Кварки майже

вільні в адронах, але якщо зробити спробу звідти їх вивільнити – вступає в силу сильна взаємодія, яка перешкоджає їх вильоту. У гравітаційних та електромагнітних взаємодіях сили взаємодії обернено пропорційні квадрату відстані. При сильних взаємодіях кварків всередині адронів сили взаємодії незначні на малих відстанях і різко зростають, коли кварки починають розходитись. В 70 роки виявилась обмеженість трикваркової моделі теорії сильних взаємодій. Для конструювання «дивних» частинок було введено s -кварк. В 1974 році група Б. Ріхтера відкрила чарівні частинки. Їх назвали пси-частинками Ψ . Група вчених під керівництвом С. Тінга відкрили J -кварк, який містить в своїй структурі четвертий чарівний s -кварк. Оскільки мова йде про одну і ту ж частинку, то її назвали $\frac{J}{\Psi}$ -кварк. Її маса становить 3,096 МеВ, вона довговічна, ширина її спектра $\Gamma = 60$ кеВ. Ширина спектра для частинок такої ж енергії на три порядки більша (10-70 МеВ). Такий факт вказує на заборону якогось з квантових чисел і вимагає введення нового квантового числа. В даному випадку таким числом є c , яке вказує на чарівність – charm.

В 1976–1977 роках Ледерман виявив іпсилон-мезон Y при бомбардуванні мішені з міді та свинцю пучком протонів з енергією 400 ГеВ. Такий надважкий мезон при масі 9459 МеВ має відносно малу ширину спектра $\Gamma \approx 0,04$ МеВ. Властивості такої частинки не вкладались у схему чотири кваркової моделі. Виникла необхідність ввести п'ятий b -кварк і його антикварк. Кварк b має свій аромат, який називають красотою, іноді дном. Краса зберігається при сильних і електромагнітних взаємодіях і може порушуватись при слабких взаємодіях.

За п'ятим кварком послідувало введення досить масивного шостого t -кварка. Нині поки що немає підстав передбачати існування інших ароматів кварків. Якщо ж вони виникнуть, то спосіб конструювання їх відомий. Диференціація кварків в рамках кожного аромата веде до побудови нової квантово-польової теорії сильних взаємодій. Відкриття τ -лептона порушило лептон-кваркову симетрію (у 1995 р. М. Перлу було присуджено Нобелівську премію за відкриття τ -лептона – представника третього покоління елементарних частинок [109]). Введення b -кварка частково відновило цю симетрію. Для повного відновлення симетрії має існувати шостий кварк. Його позначають символом t і називають

істинним.

Всі кварки (шість різновидів u, d, s, c, b, t – ароматів) мають спін і баріонний заряд.

У рамках традиційної квантово-польової мезодинаміки успішно об'єднано множину адронів у певну упорядковану конструкцію. Така ідея супермультиплетів була реалізована в 1962 році М. Гелл-Манном і Ю. Нейманом. В цьому угрупованні різні адрони об'єднані з дев'яти квантових параметрів (загальне значення спіна, значення ізотопного спіна, гіперзаряд тощо).

У фізиці є невелика кількість фундаментальних принципів, які не лише організують фізичні теорії, але і визначають сутність фізичної картини світу. Порухення цих принципів допускається лише у крайніх випадках. Існує випробований спосіб нейтралізації можливих порушень подібних принципів. Для цього достатньо допустити існування у природі невідомого поки що персонажа i , якщо врахувати його внесок у досліджуване явище, то справедливість фундаментального принципу буде повністю поновлена. Такі відновлювальні роботи породили і продовжують породжувати у сучасній фізиці багато елементарних частинок: нейтрон, нейтрино тощо. З аналогічним процесом зіткнулись і у першопочатковій *кварковій моделі*. Така модель свідчила, що порушується статистика Фермі-Дірака, яка є однією із концептуальних основ сучасної атомної фізики і фізики елементарних частинок. Мезони підлягають вимогам статистики. Інша картина одержується у випадку баріонів. Деякі з них утворюються трьома кварками з однаковими квантовими числами, наприклад uuu, ddd, sss , що несумісне з принципом заборони. Тому були спроби відмовитись від статистики Фермі-Дірака.

Проте при побудові баріонів доводиться припускати, що ідентичні кварки знаходяться у одному і тому ж стані. Це приводить до суперечності з принципами квантової механіки. Вихід із цієї ситуації знайшли у 1965 р. М.М. Боголюбов, П.В. Струмінський, А.Н. Тавхелідзе та незалежно від них Й. Намбу і М. Хан. Вони припустили, що кожен кварк u, d, s крім квантових характеристик має ще одне квантове число, яке може набувати трьох значень – ароматів.

Для переносу сильних взаємодій потрібен обмін з восьми різних частинок, які як і фотон є безмасовими і мають спін рівний 1. Ці векторні

бозони, названі глюонами, «склеюють» кварки в адронах. З трьох кольорів і антиколюорів можна скласти дев'ять комбінацій. Кожній з таких комбінацій відповідає глюон.

У фізику прийшли якісні зміни уявлень про сам механізм взаємодії. Глюони самі несуть кольоровий заряд на відміну від нейтрального фотона. А це означає, що вони знаходяться між собою у сильній взаємодії, випромінюють і поглинають один одного, змінюючи при цьому свій колір.

Нові концептуальні засоби дозволили пізнати закономірності більш вищого рівня і побудувати теорію сильних взаємодій, яка називається квантовою хромодинамікою (від грецького «хромос» – колір). Якщо рівняння електродинаміки лінійні, то рівняння квантової хромодинаміки принципово нелінійні. В цьому полягає факт взаємодії елементарних частинок. Введення в фізику адронів уявлення про колір змусило переглянути групи симетрії. На зміну групи симетрії $SU(3)$, яка мала справу з трьома ароматами кварків, прийшла кольорова $SU_c(3)$ симетрія. Вона віднесена до класу калібрувальних теорій. В теорії поля калібрувальні перетворення полягають в переході від одних значень, які визначають поле параметрів, до інших, які залишають незмінними фізичні характеристики поля даного експерименту.

Таким чином, у кварковій моделі Гелла-Мана існувало 18 фундаментальних частинок, з яких можна скомпонувати усі адрони. Це такі частинки: кварки з трьома кольорами, і трьома ароматами й антикварки з відповідними антикольорами й антиароматами.

6.8. Зародження та розвиток прискорювачів елементарних частинок

Дослідження атомного ядра та елементарних частинок починаючи з 1932 року тісно зв'язані з вивченням космічних променів [36, с. 457-489]. У середині 50 років були одержані нові потужні засоби прискорення заряджених частинок. Це дозволило у земних лабораторних умовах відкрити антипротон, антинейтрон, новий мезон із групи K -мезоні.

Перевірка нових фізичних теорій вимагає високих енергій. Зокрема, теорія електрослабкої взаємодії передбачає існування ряду важких частинок Z - і W -бозонів (частинок Хіггса) [53, с. 4]. Для їх народження потрібна енергія порядку $5,5 \cdot 10^3$ ГеВ. Для цього недостатня енергія

існуючих прискорювачів і зустрічних кілець. В історії прискорювачів є закономірність. Створення кожного нового покоління прискорювачів викликало передбачення теорій, які підтверджувались дослідами і викликали необхідність побудови більш досконалої та потужної техніки. За оцінками провідних учених [26, с. 4] нині фізична наука знаходиться на середині шляху, який би привів до швидкого проникнення у всі таємниці природи.

Прискорювачі перетворюють не лише фізику, а й техніку, технологію. Є прискорювачі для модифікації властивостей матеріалів (гума, поліетилен), прискорювачі для стерилізації (харчова промисловість, тваринництво, медицина), прискорювачі для накопичення радіоактивних ізотопів і для опромінення (терапія, діагностика) тощо.

На першому етапі розвиток прискорювальної техніки здійснювався трьома напрямками: прискорення електричним полем між електродами; використання вихрового електричного поля (трансформатор у якого первинна обмотка створює магнітне поле, а вторинною є пучок частинок, які прискорюються); резонансне прискорення (лінійне і циклічне).

Початкова ідея прискорення іонів електростатичним методом належить А. Рігі. У 1872 р. він спроектував відповідний генератор. На початку ХХ ст. до цієї ідеї знову повернувся лорд Кельвін. У цьому напрямку працювали Кулідж, Лауритсен, Туве, Браш. Найбільш вагомих результатів досягли одночасно Ван де Грааф, Д. Кокрофт, Е. Лоуренс. Електростатична багатодискова машина Воммельсдорфа давала напругу в 300000 В при потужності 1,2 кВт. Установа Ван де Граафа виробляла різницю потенціалів 2-5 МВ з корисною потужністю 6 кВт, а після модифікації – 15-20 МВ. Суттєвим недоліком такої установки був захист від штучної блискавки між електродом і стінами приміщення. Л. Альверс здійснив проект лінійного резонансного прискорювача, в якому дрейфові трубки не з'єднуються з генератором високої напруги. У ньому збуджується стояча електромагнітна хвиля, в якій вектор напруженості електричного поля паралельний осі трубки прискорювача.

Американський фізик Е. Лоуренс створив нову установку – циклотрон. Можливо цьому сприяло його знайомство з роботами німецького вченого Р. Відерое на зборах Академії наук в Берліні у вересні 1930 р. [64, с. 425]. Перша його модель мала діаметр 10 см і була зібрана з

скла та сургуча. Металева модель таких же розмірів була побудована у 1932 р. й прискорювала іони водню до енергії 1,25 МеВ. Цю дату приймають за народження циклотрона. Потім були побудовані прискорювачі з діаметром магніту 94 см й вагою 75 т. У 1937 р. діаметр магніту збільшено до 150 см і повну вагу 200 т при енергії 8 МеВ.

Прискорення іонів до релятивістських швидкостей здійснюється й фазотронами. Відмінність його від циклотрона у тому, що у ньому для прискорення частинок застосовується електричне поле, частота якого повільно змінюється (зміна частоти рівна частоті обертання частинки). Однією з основних умов для роботи фазотронів та більшості сучасних резонансних прискорювачів частинок до релятивістських швидкостей є автофазування, яке у 1944–1945 р.р. відкрив В.І. Векслер і незалежно від нього Е. Мак-Міллан. Прискорювач у якому режим прискорення частинок підтримується зміною магнітного поля називається синхротроном, а прискорювач, де поєднуються принцип дії синхротрона і фазотрона називають синхрофазотроном. До прискорювачів, у яких використовується постійне у часі магнітне поле називається мікротрон (ідея належить В.І. Векслеру).

В.І. Векслер і Е. Мак-Міллан у 1945 р. розробили синхроциклотрон (частота прикладеної до дуантів напруги зменшується у міру збільшення релятивістської маси частинки) і синхротрон (з ростом релятивістської маси електрона росте величина магнітного поля). Теорію бетатрону у 1940 р. розробив Я.П. Терлецький (прискорення здійснюється за рахунок електромагнітної індукції), а побудований Д. Керстом у 1940–1941 р.р.

Розміри прискорювачів нині оцінюються уже не метрами, а десятками кілометрів. Роботу таких установок забезпечують сотні спеціалістів. Електрична енергія лише для першої черги накопичувального кільця становить 200 МВт. Всі великі прискорювачі будуються за принципом жорсткого фокусування. Фазотрони ж відживають свій вік. Їх замінили ізохронні циклотрони. Розроблені методи «охолоджених» пучків. Від вакууму 10^{-6} Торр у прискорювачах перейшли до вакууму 10^{-10} Торр у накопичувальних кільцях. Електростатичний генератор Ван де Граафа дозволяв досягнути напруги до 7 мільйонів вольт. Сорок років тому в найбільш потужних установках протони прискорювались до енергії близько 30 ГеВ. Під час співудару таких протонів з нерухомими

протонами і нейтронами звільняється енергія 5 ГеВ. При співударі протонних і антипротонних пучків у великому прискорювальному-накопичувальному кільці SPS Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН, Швейцарія) у 80 роки ХХ ст. вивільнялась енергія 540 ГеВ, а в кінці ХХ ст. у лабораторії ім. Е. Фермі (США) стало доступним енерговиділення близько 2000 ГеВ.

Дж. Кокрофт і Е. Уолт (учні Е. Резерфорда) у Кавендишській лабораторії у квітні 1932 р. здійснили першу у світі ядерну реакцію (процес, що відбувається внаслідок взаємодії декількох складних атомних ядер або елементарних частинок) взаємодії протонів з ядрами літію. 10 жовтня 1932 р. К.Д. Синельников, А.К. Вальтер, О.І. Лейпунський, Г.Д. Латишев у Харківському ФТІ вперше у СРСР і друге в світі розщепили ядро атома літію прискореними протонами. Проте імовірність таких реакцій невелика. Для ґрунтовних досліджень вони не підходять. Генерація елементарних частинок здатних до взаємодії або розсіювання (коли відбувається перерозподіл енергії й імпульсу) потребує енергії у сотні електронвольт (виключенням є електрон-позитронна пара, народження якої проходить при енергії в 1 МеВ). Серед вихідних частинок у ядерній реакції повинне бути хоч би одне ядро. Ядерні реакції протікають у більшості під дією ядерних сил (сильна взаємодія), хоч реакція розпаду ядра під дією гамма-квантів високих енергій або швидких електронів відбувається під дією електромагнітних сил, а реакція зіткнення нейтрино з іншими частинками проходить при слабкій взаємодії [53, с. 446-457]. Реакції можуть протікати у природних (у надрах зірок, у космічних променях тощо) і штучних умовах. У штучних умовах найбільш поширеними реакціями є реакції під дією: нейтронів; протонів (Дж. Кокрофт, К.Д. Синельников); дейтронів (1935 р., Р. Опенгеймер, М. Філіпс); гамма-квантів (основи теорії розробив А.Б. Мігдал); частинок високої енергії. Згідно законів квантової механіки частинки можуть проникати у ядро і тунельним способом при недостатніх енергіях для подолання кулонівського бар'єру. В лабораторних умовах реакції здійснюються за допомогою прискорювачів.

За своїми конструкціями прискорювачі поділяються на дві групи: лінійні та циклічні. У 1964 р. у Харкові побудовано лінійний прискорювач електронів з максимальною енергією 1,8 ГеВ довжиною 240 м.

Найбільший лінійний прискорювач електронів побудований у 1966 році у США у Стенфордському університеті SLAC. Він має довжину 3050 м і прискорює електрони до 22,3 GeV. Через велику вартість таких прискорювачів тривалий час їх не будували. Нині ситуація значно змінилась і перспектива у лінійних прискорювачах електронів знову з'явилась.

До найбільших лінійних протонних прискорювачів доцільно віднести Серпухівський (Росія) з максимальною енергією 100 MeV, довжиною 80 м, побудований у 1967 р. та Батейвінський (США) з максимальною енергією 200 MeV, довжиною 145 м, побудований у 1970 р. У протонних прискорювачах вдалось досягти напруженість електричного поля порядку 1,5 MV на метр довжини. Для одержання невеликого за нинішніх масштабів прискорювача необхідна енергія у 150 GeV. Довжина такого лінійного прискорювача становить 100 км. Вздовж такої споруди необхідно побудувати потужні високочастотні станції.

У 1972 р. у Лос-Аламосі (США) розпочала роботу мезонна фабрика з максимальною енергією 800 MeV, довжиною 795 м. Максимальну енергію 600 MeV має аналогічна фабрика у м. Троїцьку (Росія) довжиною 430 м.

Іонний лінійний прискорювач максимальною енергією 10-14 MeV/нуклон, довжиною 110 м побудований у 1976 р. у Дармштадті (ФРН).

Циклічний протонний синхротрон PS у ЦЕРНі на енергію 30 GeV має радіус 30 м, у Протвіно (Росія) на 76 GeV – 200 м, у лабораторії ім. Е. Фермі (США) на 500 GeV – 1500 м.

Адрон-електронний прискорювач елементарних частинок – Hadron-Electron Ring Accelerator – HERA побудований під вулицями і будинками респектабельного району м. Гамбурга у 1995 р. Специфіка його у тому, що у ньому здійснюється зіткнення різних за своєю природою частинок.

У Греноблі (Франція) у кінці 90-х років завершено будівництво синхротрона за участю Франції, Німеччини, Італії, Іспанії, Великобританії, Швейцарії, Данії, Фінляндії, Норвегії, Швеції, Бельгії, і Нідерландів вартістю півмільярда доларів.

Останнім часом прискорювачі будуються так, щоб вони могли слугувати у якості зустрічного або одного із зустрічних кілець. Так сконструйований прискорювач SPS на енергію 400 GeV у ЦЕРНі

(Європейська організація ядерних досліджень). Аналогічно побудовано надпровідний прискорювач у лабораторії ім. Е. Фермі (США) на 1000 ГеВ, так спроектований прискорювально-накопичувальний комплекс у м. Серпухові (Росія).

Останнім часом одержали перспективу прискорювачі з протон-антипротонними пучками за методом електронного охолодження (Будкер) та методом стохастичного затухання (Ван-дер-Меер) [26, с. 19]. Перший з них успішно був випробуваний у Інституті ядерної фізики Сибірського відділення АН СРСР, а другий у ЦЕРНі.

Кінець ХХ - початок ХХІ століття характеризується новим етапом у розвитку прискорювальної техніки. У ЦЕРНі (з участю Росії) створено проект і завершено будівництво великого адронного прискорювача заряджених частинок ЛНС (2x8 ТеВ) зусиллями декількох держав. Прискорювач розміщується у тунелі, де працює з 1990 р. електрон-позитронний прискорювач LEP. Будівництво надпотужних прискорювачів уже не під силу одній державі. Прикладом може слугувати відмова США від будівництва найбільшого у світі прискорювача SSC [78, с. 4].

За останні 30 років учені світу з допомогою прискорювальної техніки описали взаємодію елементарних частинок, створили теорії, які описують ці взаємодії. Проте новітні теорії вимагають більш потужної і досконалої техніки, хоч кожні 7 років максимальна енергія частинок у існуючих прискорювачах збільшується на порядок. Розвиток такої техніки позитивно впливає на розвиток і створення наукоємних технологій у суспільстві.

Проект **Великого адронного колайдера (ВАК)** був задуманий 1984 року, його реалізацію почали 2001 р.

Запуск ВАК спершу планували на 8 липня 2008 року, але відбувся він 10 вересня. Запуск вважають успішним – пучок частинок з енергією 450 ГеВ проведено повним кільцем колайдера.

Офіційну церемонію відкриття Великого адронного колайдера було заплановано на 21 жовтня 2008 року. Але через аварію, яка сталася 19 вересня, ВАК запустили лише 20 листопада 2009 року.

30 березня 2010 року у Великому адронному колайдері вперше успішно здійснено зіткнення протонів, що рухалися зі швидкістю, наближеною до швидкості світла.

У квітні 2011 р. на ВАК був встановлений світовий рекорд пікової світимості для адронних колайдерів – $4,67 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.



Рис. 121. Великий адронний колайдер

16 березня 2012 року вперше вдалося розігнати протони до енергії 4 ТеВ. А 4 липня цього ж року колаборації ATLAS та CMS оголосили про знаходження бозона масою $125,3 \pm 0,6 \text{ ГеВ}$. Характеристики цієї частинки досить точно відповідають передбачуваному раніше бозону Хігса. Чи є ця частинка бозоном Хігса, поки що залишається під питанням. Вже у вересні були проведені пробні протон-іонні зіткнення, а 17 грудня вдало завершений перший етап протонних зіткнень.

Цікавим є той факт, що Великий адронний колайдер розрахований на функціонування впродовж лише 10 років, але науковці запевняють, що після завершення цього періоду на світі вже з'явиться набагато більший та потужніший його «родич».

6.9. Закони збереження у мікросвіті

У процесі перетворень частинок виконуються всі закони збереження. Значення їх у фізиці елементарних частинок особливе насамперед тим, що з їх допомогою можна передбачати можливі процеси у мікросвіті. Вони є єдиними джерелами інформації про властивості і поведінку частинок і поділяються на універсальні і наближені. Універсальні виконуються в усіх фундаментальних взаємодіях. Теорема Е. Нетер (1918 р.) узагальнила закони збереження, зв'язані з принципами інваріантності, у яких знаходять своє відображення геометричні симетрії (властивості простору-часу) або внутрішні симетрії (загальні властивості взаємодій) [17].

В таблиці 4 дана класифікація і прояв законів збереження у різних

взаємодіях.

До 1956 року вважалось загальноприйнятим збереження парності. Проте виникла проблема, яка полягала у тому, що два дивних мезони θ^+ і τ^+ мають різні схеми розпаду: $\theta^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$; $\tau^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$, хоч у всіх інших відношеннях цілком однакові. Розпад однієї частинки двома способами взагалі можливий, але у цьому випадку ставиться під сумнів справедливість закону збереження парності, оскільки виявилось, що парність θ^+ і τ^+ різна. Ц. Лі і Ч. Янг (1956 р.) висунули гіпотезу про незбереження парності у процесах, які пояснюються слабкими взаємодіями, а Ц. Ву (1957 р.) підтвердила це дослідно при вивченні кутового розподілу електронів, що вилітають із орієнтованих ядер радіоактивного кобальту ${}_{27}\text{Co}^{60}$ внаслідок β -розпаду.

Таблиця 4

Прояв законів збереження у взаємодіях

Закони збереження	Гравітаційна	Електромагнітна	Сильна	Слабка
Енергії, E	+	+	+	+
Імпульсу, \vec{p}	+	+	+	+
Момент імпульсу, \vec{M}	+	+	+	+
Електричного заряду, q		+	+	+
Баріонного заряду, B		+	+	+
Лептонного, електричного, мюонного і таонного заряду, L_e, L_μ, L_τ		+	+	+
Ізотопічного спіну, T		+	-	-
Гіперзаряду, Y		+	+	-
Дивності, S		+	+	-
Парності, P		+	+	-
Комбінованої парності, P_p		+	+	+
Чарівності, C		+	+	-
Краси, b		+	+	-

Після встановлення порушення закону парності у слабких взаємодіях Л.Д. Ландау висунув гіпотезу про те, що у всіх взаємодіях виконується симетрія відносно комбінованої інверсії.

6.10. Фундаментальні взаємодії

Головна особливість елементарних частинок – це їх здатність взаємоперетворюватись. Вони беруть участь у процесах пружних і непружних розсіювань, реакціях розпаду. Різні процеси з елементарними частинками помітно відрізняються за інтенсивністю їх перебігу. Відповідно до цього для елементарних частинок у існуючих посібниках та підручниках з фізики виділено чотири відомі *види фундаментальних взаємодій* [23]: сильна, електромагнітна, слабка і гравітаційна.

Інтенсивність взаємодії – безрозмірна величина, яка є комбінацією фундаментальних констант швидкості світла, сталої Планка та відповідного заряду даного типу взаємодії. Електромагнітна взаємодія характеризується сталим та виражається через e , c , h . Інтенсивність інших фундаментальних взаємодій визначається аналогічно з відповідними «зарядами». Радіус дії – розміри області у якій виявляється певний тип взаємодії. Час взаємодії обчислюється через ділення радіуса взаємодії на швидкість поширення дії.

Електромагнітна взаємодія на рівні атомних процесів описується сучасною квантовою електродинамікою, яка ґрунтується на працях Р. Фейнмана, Г. Бете, Р. Лейтона, М. Сендса [126], Е. Фермі [127], І.Є. Тамма [116], А.Б. Мигдала [73] та ін. Достовірність її перевірена експериментами на прискорювачах. Ця теорія є еталоном, за яким тепер розвиваються теорії інших фундаментальних взаємодій, і найбільш вивчена.

Електромагнітна взаємодія спостерігається між електрично зарядженими частинками через електричні поля і супроводжується процесами народження електронно-позитронних пар γ -фотонами, розпадом π^0 -мезона на два γ -фотони та ін. З погляду квантової механіки це рівнозначно тому, що електрично заряджені частинки або реально випромінюють чи поглинають фотони, або обмінюються ними. За інтенсивністю електромагнітна взаємодія у $10^2 \div 10^3$ рази менша сильної взаємодії. Тому для її прояву необхідний час $10^{-21} \div 10^{-20}$ с, бо час взаємодії обернено пропорційний інтенсивності.

Різні частинки неоднаково (за інтенсивністю) взаємодіють і через електромагнітне поле. Нейтральні частинки (нейтрони) зі спіном, відмінним від нуля, взаємодіють тільки через магнітне поле, джерелом

якого є магнітні моменти частинок. Ці сили значно менші за кулонівські. Ще слабша електромагнітна взаємодія між нейтральними і безспіновими частинками (нейтральними піонами). Такі частинки взаємодіють між собою через віртуальні частинки, які мають електричний заряд і магнітний момент. Це свідчить про незавершеність теорії фундаментальної електромагнітної взаємодії.

Сильна взаємодія має місце між нуклонами, антинуклонами, гіперонами і антигіперонами. У такій взаємодії не задіяні лептони і фотони. Для пояснення насичення і короткодії ядерних сил В. Гейзенберг висунув гіпотезу, що ядерні сили є «обмінні сили», подібні до сил хімічного зв'язку в молекулах. Ядерні сили між двома нуклонами забезпечуються третьою частинкою, яка називається віртуальною. Уявлення про обмінний механізм взаємодії нуклонів ґрунтується на міркуваннях аналогічних, які використані при створенні теорії електромагнітної взаємодії. Ця ідея стосовно до ядерної взаємодії була розвинута у працях І.Є. Тамма, Д.Д. Іваненка, В. Гейзенберга, Х. Юкави, К. Андерсона, С. Неддермайєра, Дж. Оккіаліні, С. Поуелла.

У 1934 р. І.Є. Тамм пояснив ядерні сили взаємодії між двома частинками обміном з якоюсь третьою. Він довів, що неможливо пояснити обмінний характер ядерної взаємодії за допомогою відомих на той час частинок (фотон, електрон, позитрон). Через рік Х. Юкава визначив характеристики такої віртуальної частинки з масою порядку 200 мас електрона – квант поля ядерних сил і назвав її μ -мезоном. У 1936 році К. Андерсон та С. Неддермайєр виявили у космічних частинках μ -мезон (мюон). Спочатку вважали, що це ті частинки, про які говорив Х. Юкава. Потім дослідним шляхом було доведено, що мюони практично не взаємодіють з ядрами. Пізніше італійські вчені Конверси, Панчині, Піччионі та Дж. Оккіаліні і С. Поуелл відкрили у космічному випромінюванні ще один тип мезонів, які назвали π -мезонами (піони). Вони і виявились носіями ядерних сил.

Для здійснення реакції сильної взаємодії з частинками великої маси потрібен час порядку 10^{-23} с. Реакція встигає відбутись під час зіткнень частинок високих енергій, відносна швидкість яких наближається до швидкості світла.

Сильні взаємодії обумовлюють зв'язок нуклонів у ядрі, пояснюють

процеси утворення гіперонів і мезонів при ядерних зіткненнях.

Усі частинки, які перебувають у сильній взаємодії називаються адронами. Єдиної закінченої теорії адронів та сильної взаємодії не створено. Основні властивості і взаємодію адронів пояснює квантова хромодинаміка. До виникнення квантової хромодинаміки механізм ядерних сил розглядався як результат обміну нуклонів піонами. Найбільша відстань, на якій проявляється сильна взаємодія, складає близько 10^{-15} м.

Одна з теорій *слабкої взаємодії* розвивалась за аналогією до квантової електродинаміки. Її сформулював у 1957 році Д. Швінгер. Вважалося, що механізм слабкої взаємодії має обмінний характер, тобто постулювалось існування нових частинок, які назвали проміжними бозонами. Вважалося, що вони відіграють таку ж роль, як фотони у електромагнітній взаємодії. Слабка взаємодія є короткодійою. Тому проміжні бозони повинні мати значну масу. Теорія передбачала існування заряджених проміжних бозонів W^{\pm} і нейтрального проміжного бозона Z^0 , маси яких повинні бути такі: $m_w \approx 80$ ГеВ, $m_z \approx 90$ ГеВ. У 1983 році за допомогою коллайдера ЦЕРНа (прискорювач у Швейцарії) [103] на зустрічних пучках протонів і антипротонів з енергіями 270 ГеВ у кожному пучку здійснили реакції $p+p \rightarrow W^+$ адрони; $p+p \rightarrow Z^0$ продукти розпаду. На основі експериментальних даних $m_w \approx (81 \pm 2)$ ГеВ, $m_z \approx (94 \pm 2)$ ГеВ. Отже, механізм слабкої взаємодії здійснюється обміном проміжними бозонами W^{\pm} і Z^0 , які є найважчими елементарними частинками.

Порівняння властивостей електромагнітної і слабкої взаємодії дають змогу виділити спільні з них. Це вказує на можливість їх об'єднання у одну. Основи такої теорії закладено у 1967 році працями С. Вайнберга, А. Салама і С. Глешоу. Ця теорія називається теорією електрослабкої взаємодії.

У слабкій взаємодії перебувають усі частинки, крім фотона. Слабка взаємодія обґрунтовує β -розпад ядер і спонтанний розпад майже усіх елементарних частинок. Для пояснення явища β -розпаду у 1934 році Е. Фермі висунув гіпотезу про існування особливого типу короткодійоючих сил, які викликають перехід $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$. Наступні дослідження показали, що введена Е. Фермі взаємодія має універсальний характер і зумовлює

розпад усіх нестабільних частинок. Слабка взаємодія вивчена недостатньо.

Гравітаційна взаємодія – найбільш слабка взаємодія з відомих [74]. Гравітація відіграє важливу роль у структурі Всесвіту на великих відстанях. У квантовій теорії поля «переносчиками» гравітаційної взаємодії вважаються гравітони – гіпотетичні частинки, існування яких експериментально не підтвержені.

У сильній, слабкій та електромагнітній взаємодії елементарні частинки залучені не однаково. Нейтрини бере участь лише у слабкій взаємодії, γ -кванти – лише у електромагнітній взаємодії. Значна кількість частинок (протони, нейтрони, π -мезони і ін.) здатні брати участь в усіх трьох типах взаємодій.

Сильній і електромагнітній взаємодії властива дзеркальна симетрія. Вона полягає у тому, що будь-які процеси, які є дзеркальним відображенням один другого, відбуваються з однаковою імовірністю.

Існує ряд теоретичних схем, у яких робляться спроби створити єдину теорію усіх частинок і усіх взаємодій. У цих схемах намагаються на спільній основі розглянути лептони, кварки, проміжні бозони і навіть гравітони. Проте ці схеми недосконалі.

У середині 1950 років було запропоновано перший варіант сучасної теорії елементарних частинок – стандартна модель: всі відомі елементарні частинки групуються у три сімейства кварків та лептонів [17]. Зв'язок між сімействами забезпечує набір особливих частинок, обмін якими створює сильну та електромагнітну взаємодію. До фундаментальних (істинно елементарних) частинок, з яких побудована речовина, ця теорія відносить 6 лептонів та 6 кварків. Електрослабкі взаємодії передаються чотирма частинками-переносчиками: фотон і три масивні проміжні векторні бозони. Сильна взаємодія переноситься за допомогою 8-и безмасовими частинками – глюонами. Крім цих 12 частинок передбачалось існування надважкого хіггсового бозона H^0 , поле якого породжує маси всіх існуючих частинок. Основи Стандартної моделі виявились неповними.

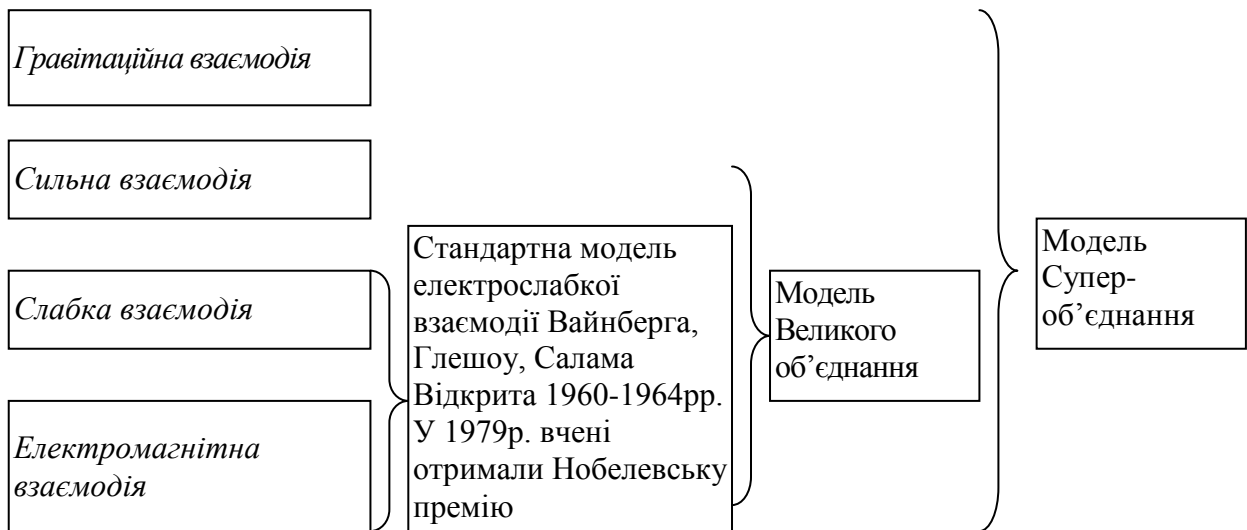


Рис. 122. Еволюція понять фундаментальних взаємодій

У 60 роках була створена неабелева калібрувальна теорія, в якій результат калібрувальних перетворень залежить від їх послідовності. Електромагнетизм і слабка взаємодія виявились проявом єдиної електрослабкої взаємодії. За її створення Ш. Глешоу, А. Салам, С. Вайнберг [13; 23] стали лауреатами Нобелівської премії з фізики за 1979 р. Неабелева теорія електрослабкої взаємодії передбачила існування нових частинок – проміжних бозонів W і Z . Їх виявили у 1983 році на прискорювачі Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН) у Женеві. Проте спроби застосувати теорію до конкретних розрахунків фізичних величин, які характеризують властивості нових W і Z частинок, як і багатьох інших, привели до нерозумних результатів. Математичні складності у теорії електрослабкої взаємодії були настільки значимі, що без комп'ютерної техніки та належного програмного забезпечення розв'язати їх не можливо.

У 1970 роки Г. Хофт та М. Велтман запропонували комп'ютерну програму, яка виконує роль фундаменту для перевірки різних підходів до розв'язку проблем електрослабкої взаємодії [108]. Неабелева калібрувальна теорія електрослабкої взаємодії завдяки їх роботам перетворилась у хорошо діючий інструмент для розрахунків параметрів елементарних частинок. З її допомогою точно визначені характеристики проміжних векторних бозонів W і Z та топ-кварка. Великі значення їх мас підтверджені у 1990 роках у експериментах на прискорювачі у ЦЕРНі.

7. ІСТОРІЯ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ

7.1. Становлення природничої науки на території нинішньої України до XVIII ст.

7.2. Розвиток наукової думки вітчизняних учених XVIII – XIX ст. Створення фізичних лабораторій та наукових шкіл.

7.3. Фундатори української фізичної науки XX століття.

7.4. Ігор Євгенович Тамм і Україна.

7.1. Становлення природничої науки на території нинішньої України до XVIII ст.

На території нинішньої України український народ живе років за 600-700 до того, як Христос народився [3, с. 5; 112, с. 74-264]. Але і раніше, років за тисячу перед тим, понад Чорним морем, вздовж річок, у лісах, на широких степових просторах жило багато напівдиких племен. Кожне плем'я жило саме собою. У кожного з них розвивались знаряддя праці, накопичувались певні філософські та природничі знання. До цих племен приїздили купці з Персидського та Індійських царств, фінікійці (Мала Азія) та греки. На узбережжі Чорного моря у гирлі річок Дніпра та Дону в III тисячолітті до н.е. фінікійці заснували свої контори, базари, які поступово переросли у торговельні міста. Згодом сюди прибули і греки. Найголовніші з таких грецьких осад були: на березі Гіпанісі (річка Буг) було велике торговельне місто Ольвія нині село Парутино; в Криму – Херсонес (Севастополь); на річці Тірасі (Дністер) – Тіра (Акерман); між Тірасом і Бористеном була колонія Одес чи Ордес (дещо на схід від теперішньої Одеси); там, де Чорне море сходиться з Азовським, була Пантикапея (Керч); у гирлах Танаїса (Дон) – Танаїс.

У таких центрах торгували зерном, рибою, шкірами, іншим збіжжям. Наш край ще дві з половиною тисяч років тому годував Грецію хлібом. Грецькі та фінікійські купці продавали вино, зброю, тканини, срібні та глиняні вази тощо. Ці історичні дані відомі якраз через грецьких мислителів, які описували діяльність купців. Зокрема, один з відомих мислителів Геродот, який жив 2400 років тому, особисто побував в наших краях і описав життя і діяльність племен, що названі греками – скіфами. Писані документи про цей довгий період можна віднайти ще й у арабів та римлян. Скіфські племена жили хуторцями, селами, пересувались на великих 4-х та 6-ти колісних возах з халабудами укритими з усіх сторін,

які слугували їм і оселями. Вони займались хліборобством, бджолярством, сіяли жито, ячмінь, просо, льон, мали табуни коней, худобу, уміли ловити рибу.

Мислитель описує величезну рівнину від Білого до Чорного і від Балтійського до Каспійського морів без значного підвищення і різких переходів. Одноманітність природних форм виключає регіональну схильність, веде народонаселення до одноманітності занять, звичаїв, віри, виключає ворожі зіткнення.

Сліди високорозвинутої древньої культури нині знайдені на території Північного Причорномор'я та Придністров'я.

Знахідки, які свідчать про сліди людського спілкування відносяться до раннього палеонтологічного часу. Основним видом діяльності людини на той час було збирання їстівних продуктів рослинництва і колективна охота на крупних звірів – мамонтів, довгоносих носорогів, бізонів. Знаряддям добування їжі слугували дерев'яні палиці, каміння, дрібні вироби з кості. Головним технічним досягненням було оволодіння вогнем. Наприкінці палеонтологічного періоду було винайдено лук. Стала можлива індивідуальна охота. Склався родовий устрій у класичній формі матриархату.

Епосі кам'яного віку (неоліту) властиві ряд технічних досягнень. Виготовлено сокиру, що дало змогу будувати човни і запровадити рибальство. В цей період почало розвиватись ткацтво, виготовлявся глиняний посуд. На кінець неоліту започатковано землеробство і тваринництво. Суспільство переходило від збиральних форм господарювання, охоти, риболовства до виробничих. Це викликало активне втручання людини в явища природи. Почало зароджуватись природознавство. На території півдня нашої країни виникла трипільська культура (містечко Трипіль поблизу Києва, IV-III ст. до н.е.). Племена, які створили цю культуру, проживали у великих селах і займались в основному землеробством (виробництво пшениці, ячменю, проса) та скотарством (велика і крупна рогата худоба, свині, коні). Високого рівня досягли різні виробництва: обробка каміння і кістки, ткацтво, гончарство, плавлення міді (головним чином для прикрас).

Широке використання металу приходить на період бронзи. В цей період здійснено розділення способів виробництва: тваринництво

відділилось від землеробства. Виник інтенсивний обмін між ними. Накопичувались багатства. Почали виникати війни за кращі землі та багатства. Виникла військова зброя. Здійснився перехід від матріархату до патріархату.

Близько VIII-VII століття до н.е. розпочався залізний вік – епоха залізного плуга, сокири і меча. Перед технічним прогресом відкрились нові горизонти. Виникли перші письмові джерела (головним чином грецькі). Грецькі племена, які проживали від гирла Дунаю, нижнього Бугу і Дніпра до Азовського моря і Дону називали скіфами. Нинішня наука говорить, що під назвою «скіфи» розумілись різні племена. Економічні зв'язки скіфів та ранніх слов'ян були досить тісними [120]. Східні слов'яни можуть вважати культуру Скіфського Причорномор'я частиною своєї культури. Степова Скіфія була кочівною. Головним видом господарської діяльності було тваринництво. В процесі розпаду родового устрою і зародження рабовласницького близько IV ст. до н.е. утворилось Скіфське царство. Економічною основою царства було рабство. У III–II ст. до н.е. столицею цього царства було місто Неаполіс (Сімферополь). Головна орда скіфів названа Царською жила біля Танаїса (Дону). На лівому боці Борисфена жили скіфи-кочівники. З обох боків Борисфена – скіфи-хлібороби і скіфи-орачі. Вони сіяли хліб на продаж, але самі його не вживали. Скіфи, що жили в низинах Бугу та Дністра, поблизу грецьких поселень, називались «каліпідами» – погребеними скіфами. На території нинішньої Київщини та Подільщини жили скіфські племена «неври», а ще північніше «андрофаги» (людоїди), «мелянхляйни» та «будини».

Приведені дані свідчать про розвиток продуктивних сил скіфів, які диктували і розвиток філософської та природничої науки.

Для розвитку Скіфії важливе значення мали тісні стосунки з грецькими рабовласницькими полісами – містами-державами Північного Причорномор'я. Такі міста утворились у IV ст. до н.е. як частина процесу грецької колонізації. Так виник Тирас (у гирлі Дністра), Ольвія (у гирлі Південного Буга та Дніпра). У V ст. до н.е. засновано Херсонес. Так на територію нинішньої України проникла антична наука. Скіфське царство проіснувало до III ст. нашої ери і було розгромлене готами. Скіфи поступово розсіялись серед інших угруповань людей.

На початку нашої ери Північне Причорномор'я було завойовано

римлянами. Джерела того часу повідомляють про слов'ян як особливу групу східноєвропейського населення, названого венетами. У літописних книгах можна віднайти інформацію про дві великі групи слов'янських племен: антів і склавів (східних і західних слов'ян).

У I ст. нашої ери слов'яни переживають новий етап свого розвитку: вони роблять рішучий крок від первіснообщинного ладу до класового. В основі цього процесу лежав розвиток основної галузі господарювання – землеробства. У лісостеповій зоні Східної Європи одержали поширення знаряддя обробки землі з металевими наконечниками, а у IV-VI ст. – плуг із залізним лемешем для перевертання зораної землі. Це зумовило значне підвищення продуктивності праці. Паралельно розвивалось залізновиробниче ремесло, кузнецька, гончарна, ювелірна справа. Розвивається товарне виробництво. Так здійснювалося друге суспільне розділення праці. Головною формою суспільної організації була територіальна сільська община. У візантійських джерелах зазначено, що у VI ст. у антів і славів було рабовласництво, яке швидко витіснилось феодальними відносинами. У середині I ст. у слов'ян було досить сильне політичне об'єднання державного типу, яке розпалося у VI-VII ст. внаслідок війн з аварами. У VI-IX ст. на уламках аварського об'єднання виникла потужна держава – Русь.

Абстрактне мислення виникло з появою математичних понять і, зокрема, рахунку. Біля Новгород-Сіверського на Чернігівщині на місці відомої палеонтологічної стоянки в Мезині (30–25 тисяч років тому) знайдено різні вироби з кісток, які покриті орнаментом. На орнаменті зображено різні позначки, аналіз яких дає змогу виділити ряд ідей: кількості і рахунку; ритму, який виражено у правильному зображенні фігур на орнаменті; міри і виміру (відстань між рисками нерівномірна); кута і нахилу рисок; первинні уявлення про геометричні фігури (трикутник, пряма, точка, квадрат); група з 14 рисок напевне відповідає наростанню Місяця до наповнення; первісний календар, який мав 10 місяців – 280 днів, що відповідає періоду вагітності, зони зигзагів орнаментів в сумі дорівнюють 365 днів – Сонячний рік. Такі знахідки виявлені біля села Лепесівка Хмельницької області.

Хронологічно існування трипільської культури співпадає з періодом виникнення і розвитку древньої цивілізації у Середземномор'ї – Єгипту,

Дворіччя, Крито-Микенській Греції. Вказані цивілізації характеризувались досить високим розвитком науки: математики, геометрії, будівельної, судноплавної, військової справи. Це підтверджують знахідки з берегів Удаю на Полтавщині на місці стоянки XV ст. до н.е., зокрема, бивня мамонта із зображенням таблиць фаз Місяця. Чисельні знахідки трипільського періоду IV-III ст. до н.е. містять зображення кругообігу в світі. На кованій голці знайдено чітке зображення Великої Ведмедиці.

У нижньому Придніпров'ї в курганах Великої Могили виявлено зображення 12 ялин з 365 гілками, що слугували календарем. Кургани мають чітку орієнтацію за сторонами світу.

В епоху бронзи (IV-I ст. до н.е.) мав місце товарний обмін між племенами. На лівобережжі Дніпра знайдено бронзові вироби уральських, кавказьких і трансильванських ливарників та ковалів.

На чашах XV ст. до н.е., які знайдені в Північному Причорномор'ї є зображення зодіаку знаку Тільця у формі перевернутої догори дном півсфери неба. Скіфсько-сарматські племена, які населяли Крим і Північне Причорномор'я в епоху IV ст. до н.е.-II ст. нашої ери, знаходились у тісному зв'язку з східнослов'янськими племенами і зазнавали впливу елінійської культури, яка була поширена в Херсонесі, Боспорі, Ольні та інших грецьких поселеннях. Поблизу села Таценки (неподалік Києва) виявлено зображення Сонця та сузір'я зодіаку. Прясло символізує колесо Сонця.

Скіфам Неаполіса, Красного (на Дніпрі) добре відомі були коло, прямокутник, паралелепіпед (виготовлення зерносховищ), бронзові дзеркала. При будівництві некрополя Неаполіса та вежі Зенона використана симетрія. Більш пізні скіфи значною мірою були обізнані з античною наукою. В околах Керчі та на Таманському півострові знайдені споруди з елементами повторення грецьких споруд.

Зодіак з точками весни та осені зображений на чашах, які знайшли поблизу Макіївки Донецької області.

Древні слов'яни, як самостійна історична сила у письмових джерелах фігурують з початку нашого тисячоліття. До епохи Київської Русі відомості про них досить скупі. Відомо, що починаючи з I-II ст. н.е. у слов'янському суспільстві виникає грошовий обіг, а це можливе при

наявності товарів і відповідно розвитку ремесла, землеробства, скотарства. Продуктивні сили не могли розвиватись без розвитку науки і зокрема математики, геометрії, астрономії, фізики. Древні слов'яни могли досить точно визначати вагу тіл. Встановлено, що вага самої древньої монети із древньоруських гривен кратна вазі римського динарію – 4,3 г у співвідношенні 1:20 та 1:40 [144]. Співпадають основні римські і древньоруські міри сипучих тіл: древньоруський четверик точно дорівнює римському квадранталу – 26,26 літра, а древньоруська полосмина відповідає римському медимну – 52,52 літра. Це свідчить, що у перші століття нашої ери склалась основна метрична система Древньої Русі. В цей час зародилась і писемність. Виключну цікавість має древньоруський календар IV–V століття, знайдений поблизу села Ромашки на Київщині. На орнаменті великого глечика відображено розклад сільськогосподарського циклу від 1 квітня до 6 серпня. Основні фіксовані дати: 4 червня – Яринин день; 24 червня – свято Купала, 20 липня – день бога громовержця, якому за християнським календарем відповідає день Іллі. Хронологічні інтервали між цими датами фіксовані символічним зображенням днів у вигляді маленьких квадратиків. Число цих квадратиків точно відповідає числу днів від одного язичного свята до іншого. Це є свідченням високого розвитку математики та астрономії.

Уявлення про Всесвіт малось у вигляді світового дерева: верх – гілля; крона – напрям росту, розвитку, життя; низ – коріння, згасання; середина – стовбур. Кожній частині дерева відповідає свій живий світ: звірі, птахи, дракони, риби, міфологічні істоти.

У древніх східних слов'ян мірами довжини були: мала п'ядь – відстань від великого до вказівного пальця рівна 19 см і велика п'ядь – відстань від великого пальця до мізинця рівна 22-23 см (четверть), п'ядь з кувертом, коли до малої п'яді додається ще довжина двох або трьох суглобів вказівного пальця, (в першому випадку маємо 27, у другому – 31); лікоть – відстань від кінця витягнутого великого пальця до ліктя в середньому рівна 46 см; сажень – найбільша відстань між кроками. Міра в 27 см – найбільш поширений формат цегли XII ст., ікон і архітектурних деталей.

Більшими мірами довжини в Київській Русі були рівнозначні верста (рівна 500 сажень) і поприще.

Близько II ст. на землях Середнього Придніпров'я з'явився гончарний круг, який з часом стандартизувався і набув оптимальної форми і розмірів.

В епоху утворення Київської Русі східні слов'яни розпались (під ударами аварських племен) на племена, які у VIII ст. утворили декілька великих політичних об'єднань. Арабські мислителі згадують про три політичні центри: Куябе (Куяве) – об'єднання південного племені слов'ян (київські поляни), Славія – об'єднання північних слов'ян з центром у Новгороді, Артанія – напевне південно-східні слов'яни. Об'єднання цих політичних центрів і поклало початок Київської Русі. Державна влада в Київській Русі зосереджувалась в руках великого князя, який опирався на дружину. На місцях представники княжої влади здійснювали збір мита, запроваджували правові акти. До середини X ст. була встановлена адміністративно-територіальна система з відповідними центрами. Протягом IX–XI ст. здійснювалась феодалізація суспільних відносин. Про це свідчить кодифікація норм ранньофеодального права Ярослава Мудрого.

988 р. у Київській Русі введено християнство, яке зміцнювало владу феодалів, князів та бояр. Разом із введенням християнства було ліквідовано залишки ізоляції різних племен, зміцнено зв'язки з Візантією, Дунайською Болгарією, Кавказом, європейськими державами.

Розвиток Київської Русі в IX–XI столітті проходив у боротьбі з кочовими народами Сходу і особливо з печенігами. Інтенсивно розвивається крупне землеробство. Основними формами суспільних відносин є відпрацьована рента (барщина) і рента продуктами (оброк). У великих містах Києві, Новгороді розвивається ремісне виробництво, торгівля, ковальсько-слюсарна, ливарна, гончарна, ювелірна справи, виготовляється зброя, обробляється мідь, золото, срібло, налагоджено виробництво скла.

Руські майстри віднайшли спосіб обробки залізної руди – болотної, озерної, дернової. З ряду галузей руські ремісники займали провідні позиції в Європі. До кінця X ст. виникла власна грошова одиниця у вигляді срібла. Зміцнювалась система феодального права, яка закріплювала владу феодалів. Все це вимагало розвитку освіти та науки у державі.

Першу школу в Києві заснував Володимир Святий. У ній вчилися в основному діти бояр. У школах вчили читати, писати, співати церковних

пісень, вчили грецьку мову. Із шкіл виходили священники, церковні служителі, писці, що переписували книги (на той час ще не вміли їх друкувати) та перекладачі. За Ярослава Мудрого оволодівали грамотою не тільки князі, дружина і духовенство, а і багато міщан. З писаних творів того часу до нас дійшли літопис Нестора, твори митрополита Іларіона, житіє Феодосія Печерського, вчення Володимира Мономаха тощо [3, с. 67-68].

Розвиток феодальних відносин привів до утворення міцних політичних центрів. З середини XI ст. єдина древньоруська держава почала дробитися. Окремі землі почали перетворюватись у феодальні князівства, які в свою чергу дробились. Найбільшими феодальними князівствами у XII–XIII ст. були: Володимир-Суздальське, Галицько-Волинське і Новгородське. Така роздробленість була закономірною для системи розширення і закріплення феодальної власності на землю, зміцнення феодальної знаті і викликала економічним і політичним зміцненням окремих феодальних центрів. Таке роздроблення супроводжувалось жорстокою міжусобною боротьбою князів за землі, села та міста. Проте в цілому ідея єдності всієї землі Руської зберігалась скрізь. Якщо до роздробленості тяжіли феодали, то ремісничо-торгове населення відстоювали тенденцію до політичної централізації і об'єднання земель, адже часті феодальні війни порушували торгово-економічні зв'язки між землями.

У таких умовах склалась і розвивалась висока для того часу матеріальна і духовна культура. Про це свідчать археологічні знахідки XI–XIII ст. знайдені поблизу Києва, Новгорода, Володимир-Суздаля, Чернігова, Смоленська та ін. Після хрещення Русі із Болгарії була перенесена єдина система алфавіту. На початку X ст. у Русі було два алфавіти: глаголиця і кирилиця. Дещо пізніше зміцніла кирилиця. Нині знайдені оригінали книг на церковно-слов'янській мові (в основному на староболгарській мові), яка близька до східнослов'янської мови.

У кінці X ст. виникли мережа шкіл у Київському, Полоцькому, Турово-Пінському, Новгородському князівствах. На основі літописів 988–1037 р.р. школи можна розділити на два типи: вищі – для дітей знаті та нижчі – для підготовки рядового церковного клира. Напевне були і посібники для навчання, бо перші письмові згадки про них датовані лише XV ст. Значну роль в освіті відігравали монастирі, де переписувались і

збирались книги. Один з найбільших з них є Києво-Печерський. Древньою пам'яткою писемності є «Остромирово евангелиє» (1056–1057 р.р.).

У Древній Русі розвивались природничо-наукові уявлення про природу в тісному зв'язку з церковними постулатами аналогічно середньовічних та візантійських духовних традицій. У віковому досвіді землеробства, скотарства, риболовства, деревообробці, будівництві, військовій справі нагромаджувались і передавались з покоління в покоління знання з властивостей речовин, астрономії, арифметики, біології, метеорології. Їх джерелами були «Шестидневи», «Палей», напевне, азбукники.

Етнографічні та історичні знання поширювались через твори Мефодія Патарського і Козьми Індикоплова. Географічні відомості накопичувались у хроніці літопису і безпосередніх наслідків руських мандрівників. Поширення набула перекладна література з грецької. Джерелом богословських і філософських знань у Древній Русі були твори візантійського церковного письменника Іоанна Дамаскіна (VIII ст.), які були перекладені з древньоболгарської мови. Джерелом філософських знань слугували збірники під назвою «Пчела». Крім творів церковного характеру тут поміщались окремі сторінки античних письменників та філософів. Помітним пам'ятником суспільної думки і літератури Київської Русі є «Повесть временных лет», яка проникнута ідеєю єдності слов'ян (початок XII ст.). Відомим твором древньоруського плетичного мистецтва другої половини XII ст. є «Слово о полку Игореве». Крім творчої мудрості народу, відданості своєму народу опосередковано викладено відомості про різні знання того часу.

Основними джерелами розвитку природничої науки в Київській Русі є деякі літературні твори, у яких розкривається те чи інше явище природи, твори природничо-наукового характеру та матеріальні пам'ятники древньоруської архітектури, ремесла і народної творчості. Найбільш древнім літературним джерелом математичних знань є твір монаха Кирика «Учение им же ведать человеку всех лет», який написано в 1134 р. Кирик народився у 1110 р., був близький до двору новгородського єпископа Нифонта.

У пам'ятці древньоруського права «Русская Правда» містяться загальні відомості з математичних, фізичних, біологічних, астрономічних знань. Окремі відомості про природничо-наукові знання викладені в

древньоруських пам'яток духовного змісту «Книги святих тайн Еноха» (XIII ст.) [111], «Християнської топографії», «Шестоднево» (547-549 рр.) Козьми Індикоплова, «Толкової палее» (XI-XII ст.).

У книзі «Книги святих тайн Еноха» приведена своєрідна космологічна схема побудови світу. Небо мислиться невизначених розмірів і форми простір, у якому рухається Сонце і Місяць. Вказаний простір має шість «воріт», через які Сонце проходить і заходить. Кожні «ворота» по 61,25 стадій. Рух Сонця уявляється як їзда на колісниці по колу з проходом через «ворота». Сонце рухається вдень і вночі. За рух Сонця вночі нічого не говориться. Річний рух Сонця становить 365,25 дня. Через перші ворота Сонце виходить 42 дні, через другі, треті, четверті і п'яті протягом 35 днів, через шості 42 дні. Сума складає 364 дні. Про 1,25 дня нічого не говориться (можлива описка). Місячний рік визначається рухом Місяця через 12 «східних воріт» із сходу на захід. Протяжність місячних місяців за днями складає 31, 35, 30, 30, 31, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 32. Сума становить 373 дні (напевне помилка переписування, бо в іншому місці вказується правильна цифра 354 дні). Причини невідповідності місячного та сонячного років не розкриваються [95].

За «Християнською топографією» Козьми Індикоплова світила рухаються вздовж небесних кіл. Йому відомі 12 знаків зодіаку, у кожному з яких знаходиться Сонце протягом місяця. Сонячний рік становить 365,25 дня, місячний – 354 дні. Потім пояснюється високосний рік. Астрономічні причини відмінності сонячного та місячного років не розкриваються. Земля у формі паралелепіпеда з нерівною поверхнею визначається як опора у вигляді волі і могутності бога.

У «Шестодневі» описуються розміри Землі, Сонця і Місяця.

Астрономічні і фізико-математичні відомості «Толкової палее» обмежуються розмірами світил.

Зодчі Київської Русі володіли знаннями про властивості матеріалів, мали навички архітектурних конструкцій. На жаль, документи чи інші повідомлення про будівельні роботи в Київській Русі не збереглися.

Критичні умови виникли для древньоруського князівства у XIII ст. У 1237–1242 р.р. монголи, шведські та німецькі феодали спустошили князівства. Після першого та другого нападу татар людей на Подніпров'ї стало менше. Освіта перемістилась у монастирі, а далі звелась нанівець. У

XIV ст. на території нинішньої України зникає письменство. Ця доба не залишила ніякого сліду в духовному житті нашого народу [3, с. 92].

Татаро-монголи нанесли значні збитки виробничим силам Русі. З другої половини XIV ст. у складних умовах в основному у великих містах розпочався підйом господарства країни. Особливо швидко розвивалось трипільне землеробство, тваринництво та промисли: риболовство, солеваріння та ін. Було створено двигун – водяне колесо, розпочалось виробництво вогнепальної зброї. Розвивалась архітектура, будівництво, малярство, різьбарство, орнаментика, малювання, музика, церковний спів тощо.

Великими центрами ремісничого виробництва стали Москва, Новгород, Твер, Нижній Новгород. Зміцнювались зв'язки із Заходом та Сходом. Ініціатива боротьби за об'єднання сил для боротьби з татарами взяла на себе Москва. В 1380 р. на Куликовому полі руські війська на чолі з Дмитрієм Донським розгромили завойовників. Об'єднувальну політику московських князів підтримали середні і дрібні феодалі, міське населення, церква, бояри. У 1480 р., після 240 р. поневолення, остаточно було ліквідовано татарське іго. Руська держава перетворилась у потужну велику імперію, яку протягом декількох століть Західна Європа взагалі не помічала.

Древня Русь вела запеклу боротьбу за звільнення не лише від іноземців, а і від феодальних порядків. Найбільш помітною така боротьба була у північній частині Русі, де розвиток економічних і політичних зв'язків був сильніший. Торгово-реміснича верхівка міст почала виступати за об'єднання земель. Все більш помітним у політичному житті стало відігравати Московське князівство. У кінці XIII ст. Москва перетворюється у помітний політичний і економічний центр. Протягом XIV ст. виникли об'єктивні умови початку об'єднання руських земель навколо Москви.

Руська централізована держава складалась у процесі ліквідації феодальної роздробленості як багатонаціональна держава. На загальній основі древньоруської народності поступово сформувались і розвивались три східнослов'янські народності, які в XVI столітті утворили три братські нації: російську, українську і білоруську.

На початку XIV ст. Білорусія була підкорена Литовським князівством. В 1345–1377 р.р. литовські феодалі захопили значну частину українських

земель: Київщину, Чернігово-Сіверщину, Волинь, Поділію, Галицію. Продовжувалась боротьба Угорщини за Закарпаття. До складу Молдавського князівства ввійшла Буковина. Прискорено здійснювався процес закріпачення селян. Українська народність зазнавала нового, після татар, соціального, національного і релігійного гніту. Такий стан затримував розвиток української економіки, науки, культури. В основі феодального устрою лежало натуральне господарство. Із другої половини XIV і першої половини XVI ст. повільними темпами здійснювалось відділення ремесла від сільського господарства. Ремісники об'єднувались у цехи. Повільно росли міста, які ставили свої вимоги до сільгоспвиробництва. Поряд з міськими ринками вирости сільськогосподарські, на яких товари скуплялись посередниками-купцями із найближчих міст. Посилився вивіз українських сільськогосподарських товарів з України на Захід. На Україні, як і у Білорусії, діяли всі три форми феодальної ренти: барщина, оброк сільськогосподарськими продуктами і грошова рента. У XV–XVI ст. на вільних землях із біглих від злиднів селян почало створюватись козацтво. З'єднана з Польщею і Литвою Україна позбулась стародавніх звичаїв, надбань науки, яка значною мірою розвивалась під впливом античної науки. Священники та архієреї тоді були мало освічені [3, с. 167].

В цей час почали створюватись церковні братства, де концентрувалась освіта. Засноване у Києві за Сагайдачного і митрополита Іова Борецького Богоявленське Братство стало одним з найміцніших і заможніших. Його школу за митрополита Петра Могили було перетворено в Академію. Поступово православне духовенство ставало більш освіченим. Братські школи відвідувало все більше дітей. Міщани, козаки посилали своїх дітей до шкіл, але багато міст і сіл під час війн, погромів було зруйновано. Народ покидав їх і втікав у більш спокійні міста. Значна частина людей загинула. Зникло немало міст, а з ними і братств разом зі школами. Гинули бібліотеки, твори науки. В ті часи з Києва та інших міст вчені люди в більшості переїздили на північ, насамперед до Москви.

У 1569 р. на спільному сеймі польських і литовських феодалів у Любліні було створено Річ Посполиту в рамках федерації. Україна ввійшла до складу Польщі. Ливонська війна завершилась перемир'ям між Росією та Річчю Посполитою на 10 років. На українських землях

продовжувалось розширення крупного землеволодіння, запроваджувалася католицька віра. Православна церква підкорялась римському папі із збереженням православних обрядів і старослов'янської мови у богослужінні. Соціальні суперечності наростали. Найбільшої гостроти вони набули під час визвольної війни під керівництвом Богдана Хмельницького. Головною рушійною силою тут було селянство. Як наслідок тривалого виснажливого протистояння в 1654 р. у Переяславі було проголошено про з'єднання України з Росією.

За таких умов в основному розвивалась українська література, гірше мистецтво, архітектура. Соціальні замовлення на природничо-наукові дослідження були досить примітивними. Важливим для розвитку української культури було книгодрукування. Перші книги старослов'янською мовою були надруковані в 1491 р. в Кракові гірничим інженером-механіком Швейпольтом Фіолем. Перша слов'яно-руська друкарня була заснована у Вільно в 20 роках XVI ст. Георгієм Лукичом Скориною (1485–1550 р.р.). У 1574 р. у м. Львові Іван Федоров надрукував «Апостол» і «Буквар» – перший український підручник для шкіл рідною мовою. У 1575 р. І. Федоров перейшов на службу до князя Острозького і організував друкарню в Острозі. В 1616 р. розпочала друк книг друкарня Києво-Печерського монастиря.

В історії розвитку науки на Русі можна виділити чотири періоди [112, с. 33, 326-330, 340, 714-719, 795-797]:

I. Від Рюрика до Андрія Боголюбського – період родового устрою.

II. Від Андрія Боголюбського (1169 р.) до початку XVII ст. – період боротьби родових і державних начал. Цей тривалий період мав внутрішні етапи розвитку: а) від Андрія Боголюбського до Івана Калити – початковий етап боротьби родових і державних відносин; б) від Івана Калити до Івана III – час об'єднання Русі навколо Москви; від Івана III до початку XVII ст. – період боротьби за утвердження державних відносин.

III. З початку XVII до середини XVIII ст. – період вступу Росії до європейських держав.

IV. З початку XVIII ст. до реформ 60-х років XIX ст. – новий період російської історії.

У XVI ст. в Україні розпочалось литво гармат, виготовлення пороху і зброї. Всі козачі війська мали військові майстерні. Значну військову

допомогу Україні надавала Росія. В цей період будуються вітряні та водяні двигуни для помолу муки, розвивається деревообробка, каменерізання. Розширення ремесла викликало організацію виробничо-ремісничого навчання. Термін навчання від 3 до 7 років шляхом індивідуального оволодіння ремеслом. Паралельно існували приходські та монастирські школи. Така мережа освіти існувала до XVIII ст.

У XVI–XVII ст. в Україні, Білорусії, Литві почали організовуватись братські школи. У цих школах навчались діти місцевого населення, як багатих, так і бідних людей. Перша така школа виникла у Львові у 1586 р. Її діяльність визначалась шкільним статутом. У ньому були викладені організаційні, педагогічні та методичні шкільні вимоги, чітко сформульовані обов'язки учителів, учнів та батьків. Статут написав Арсеній Еласонський. Учителів для школи підбирали і затверджували на зборах братства. Викладання велось рідною мовою. Навчання було платним. Від плати звільнялись найбідніші. В їх роботі відчутною була схоластика, переважали релігійні мотиви.

У Львівській братській школі було видано «Граматику доброглаголієвої елінословенської мови досконалого мистецтва осьми частин слова» під керівництвом Арсенія Еласонського. Другу граматику склав викладач Львівської братської школи Лаврентій Зізаний у 1596 р. Пізніше цю граматику замінили на книгу Меланія Смотрицького «Слов'янська граMATика».

Основним заняттям населення Росії у XVI ст. залишалось парове землеробство з удосконаленою сівозміною. Інтенсивно розвивались промисли і ремесло. Створювались місцеві ринки. Княжно-боярське землеволодіння дробилось і зміцнювалось дворянське землеволодіння. До середини XVI ст. монастирські землі складали третину приватного земельного фонду. Зміцнювалось кріпосництво. Ці процеси всіляко гальмували боярські угруповання. Протистояння привело до повстання в Москві у 1547 р. В такій політичній ситуації до влади прийшов цар Іван Грозний. Внутрішня і зовнішня політика була спрямована головним чином на зміцнення становища дворянства: роздавались нові землі, створено дворянське військове ополчення і стрілецькі війська, введено виборне земське самоуправління. До кінця 80 років XVI ст. кордони Росії завершувались Західним Сибіром.

Ріст політичної могутності Русі виразився у архітектурі Москви – Московський Кремль, Успенський, Благовещенський, Архангельський собори, Гранатова і Золота палати. Література набула публіцистичного характеру. В 1564 р. в Москві, в Печатному дворі Іван Федоров та Петро Мстиславець видали першу друковану книгу «Апостол». Деяко пізніше вони переїхали до Львова і друкували книги у Заблудові. У 1568 р. Никифор Тарасієв і Андроник Тимофеев Невежа відновили книгодрукування у Москві.

Природничо-наукові дослідження проводились у Троїце-Сергіївському, Кирило-Білозерському, Волоколамському, Соловецькому монастирях. При монастирях були школи: одні навчали грамоті, часослову, і псалтирю, а інші – граматику, математику тощо. Розвиток науки вимагав наукових кадрів, тому розпочалось навчання росіян за кордоном. Такої участі українці мало зазнали. В XVI ст. найбільшу зацікавленість викликали наукові роботи «Метафізика» ал Газалі, «Космографія», «Шестокрил» (астрономічні таблиці з короткими вказівками про їх використання).

Московський князь вважався «государем всія Русі», в тому числі України і Білорусії та ставив завдання створення єдиної Руської держави. В 1500 р. на сторону Москви перейшли чернігово-сіверські князі, які володіли Черніговом, Стародубом, Гомелем, Любовичем, Новгород-Сіверським і Рильським. Ці землі відійшли до складу Руської держави. В 1514 р. Москва оволоділа Смоленськом.

До середини XVI ст. для російської держави виникла необхідність вийти до Балтійського моря.

В XVII ст. в Російській імперії, поряд з феодалізмом, виникли початки промислового розвитку. Почав формуватись єдиний національний ринок, продовжувалось громадське розділення праці. Земський собор у 1649 році встановив порядок успадкування дворянських володінь і юридично оформив систему кріпосного права. Цим завершилась феодальна розпорошеність. Такі умови викликали і відповідний розвиток освіти, науки, техніки. В цей час у країнах Західної Європи прискорено розвивалась математика, природознавство, механіка, астрономія. Російська імперія, а відповідно й Україна відставали у науковому розвитку від Європейських держав на два-три століття.

7.2. Розвиток наукової думки вітчизняних учених XVIII–XIX ст. Створення фізичних лабораторій та наукових шкіл

Історія розвитку природознавства у Росії розпочалась з організації Петербурзької Академії наук (28 січня 1724 р.). До її завдань входила підготовка національних кадрів і просвітницька робота. Фізична наука в Академії проходила на базі першого в Росії фізичного кабінету (1714 р.), який при створенні Академії, було перетворено в окремий відділ кунсткамери. Проте справжній фізичний кабінет було започатковано з приходом до Академії Г.В. Крафта (1726 р.). На той час він був кращим у Європі і нараховував понад 350 приладів.

Виходячи з суспільно-політичних обставин період відносно повільного і слабкого розвитку фізики продовжувався від М.В. Ломоносова (1711–1765 р.р.) до другої половини шестидесятих років XIX ст., коли у Росії докорінно змінились виробничі відносини і швидкими темпами почала розвиватись промисловість. Такі зміни насамперед вплинули на розвиток науки і особливо фізики. Вказані зміни досить тісно пов'язані з іменем О.Г. Столетова. Остання чверть XIX століття характерна тим, що пора фізичних кабінетів відійшла у минуле. Вони у більшості перетворились у фізичні музеї.

Наступив час фізичних лабораторій. Перша така лабораторія була створена Г. Магнусом у Берліні. У 70 роки великі лабораторії та фізичні інститути виникли у Кембріджі, Оксфорді, Парижі, Берліні, Відні, Страсбурзі, Граці, Гейдельберзі. Першу в Росії наукову фізичну лабораторію сучасного типу заснував О.Г. Столетов. З нього розпочалось вивчення наукових фізичних проблем у фізичній лабораторії, а не лише з книг. О.Г. Столетов був першим вченим, який виступав з науковими доповідями на міжнародних конгресах від вітчизняних фізиків. Він став тим центром, до якого стікались фізики з усіх кінців Росії. До учнів О.Г. Столетова належать і Київські професори М.П. Авенаріус та М.М. Шиллер.

Дослідження О.Г. Столетова у галузі намагнічування м'якого заліза, актино-електричних явищ високо оцінювались далеко за межами Росії. З часів О.Г. Столетова розпочався систематичний і прискорений розвиток фізики у державі, проте ще не було тих фізичних шкіл, фізичних інститутів, які у другій половині XIX століття виникли у Західній Європі.

О.Г. Столетов мав велику кількість учнів, але не очолював наукову школу в нинішньому її розумінні [3, с. 6], мав виключний дар строгої наукової критики і приходив на допомогу людям, які мали вже обрані теми дослідження. Така допомога здійснювалась здебільшого у різних індивідуальних бесідах. О.Г. Столетов здійснював керівництво не шляхом щоденного вивчення результатів дослідження у лабораторіях, а шляхом загальної ідейної дії. Крім цього наукова школа передбачає колективне дослідження певної вузької проблеми, яка складається з завдань. Об'єктивні умови того часу склалися так, що О.Г. Столетову, як засновнику фізичної лабораторії бракувало зусиль сконцентруватись на певній вузькій проблемі дослідження. О.Г. Столетов розробив і створив курс експериментальної фізики з демонстраціями на більш високому рівні ніж у передових центрах Західної Європи [3, с. 7]. Але російська фізика епохи О.Г. Столетова мала суттєвий недолік: у неї була відсутня вища форма колективної наукової роботи за зразком школи Іоанна Гельмгольца, Августа Кундта, Дж.Дж. Томсона та ін. В роки наукової діяльності О.Г. Столетова фізика в Росії, з точки зору науковості, займала передові рубежі, проте не набула європейського розвитку в організаційному напрямку.

Період розвитку фізики у Росії від М.В. Ломоносова до О.Г. Столетова був підготовчим періодом до визнання фізики як науки, який особливо проявився у шестидесятих роках ХІХ століття. Цей підготовчий період можна назвати періодом поширення фізики не стільки в глибину, скільки у ширину [3, с. 29]. До ломоносівського періоду в Росії функціонували Києво-Могилянська академія (1631 р.), Львівський університет (1661 р.), Заїконоспаська слов'яно-греко-латинська академія (1682 р.). За столітній період після смерті М.В. Ломоносова було відкрито Московський (1755 р.) університет, Військово-медичну академію (1795 р.), Дерптський (Юріївський, 1802 р.), Виленський (1803 р.), Казанський (1804 р.), Харківський (1810 р.), Петербурзький (1819 р.), Київський (1834 р.), Новоросійський (Одеський, 1861 р.), Варшавський (1869 р.) університети. В 1916 році в Росії було 11 університетів. Статут університетів 1863 року встановив функціонування фізико-математичних факультетів [123, с. 35].

Одним з перших наукових вітчизняних навчальних закладів після

Острозької академії (1576 р.) була Києво-Могилянська академія, заснована Петром Могилою. Першим викладачем елементів фізики та астрономії у академії вважається професор філософії І. Гізель. Основу цих предметів складала фізика Арістотеля, здебільшого схоластична [47]. Такий підхід до вивчення природознавства не дав змоги М.В. Ломоносову продовжити навчання у Києво-Могилянській академії, куди він був направлений після закінчення навчання у Слов'яно-греко-латинській академії. Все ж Києво-Могилянська академія до початку XIX століття була найбільшим навчальним закладом на території України. Це був центр науки і культури держави.

Львівський університет є один з найстаріших у Європі. На той час Львів знаходився під владою Польщі і наслідував наукову ідеологію університетів Західної Європи. Подолати схоластику у викладанні навчальних предметів, в тому числі і фізики не було можливості. Близько 500 студентів навчались на філософському та теологічному факультетах і, як і 8 викладачів, не мали вільного вибору в науках. Друкарня університету забезпечувала книговидання з філософії, історії, астрономії, фізики тощо. У другій половині XVIII століття університет уже мав чотири факультети: богословський, філософський, медичний і юридичний. Фізика, як і раніше, входила до складу філософії. У цей час було започатковано першу астрономічну обсерваторію. Із 1772 до 1784 року Галичина перейшла під владу Австрії й університет практично не функціонував. У 1784 році університет було відновлено, професор фізики Ф. Гюссман організував кафедру фізики. З цього періоду у вузі розпочались систематичні наукові дослідження з фізики.

Зародження наукової періодичної літератури відноситься на період 1728-1769 років. В ці роки видання наукової періодики здійснювались виключно Петербурзькою Академією наук. До періодів депресії у російській науці відносяться 1765–1800 та 1815–1840 роки, коли розвиток наукової думки та періодики гальмувався політичною реакцією в Росії. Починаючи з 40 років XIX століття наступив період стабілізації розвитку наукових досліджень та періодичних наукових видань у наукових центрах та університетах. Серед них найбільшого поширення набули: «Записки Русского географического общества» (видавалися з 1846 р.); «Свод наблюдений в Главной физической и подчиненной ей обсерваториях»

(1847 р.); «Метеорологическое обозрение России» (1850–1862 р.р.); «Вестник естественных наук» (1854–1860 р.р.); «Библиотека естественных и математических наук» (1859 р.); «Университетские известия (киевские)» (1861 р.); «Записки императорской Академии наук» (1862 р.); «Труды общества испытателей природы при Харьковском университете» (1869 р.); «Записки Киевского общества естествоиспытателей» (1870 р.); «Записки Новороссийского общества естествоиспытателей» (1872 р.) та інші.

У галузі історії науки, як і у соціальной історії, основне значення має масова діяльність, а не лише діяльність окремих, навіть геніальних особистостей. На той час стан фізичної науки в Росії представляли вчені зі світовою славою Л. Ейлер, Д. Бернуллі, Ф. Епінус, Г. Гесс, О. Струве, Е. Ленц, Г. Якобі, Г. Крафт та інші. Вони були на російській службі «... якщо і не представляли російську науку, то, у всякому випадку, представляли стан науки в Росії» [3, с. 31]. Зростає кількість національних, відомих за межами держави, учених. До них відносяться В.В. Петров, М.І. Лобачевський, М.В. Остроградський, М.М. Пирогов, М.Ф. Ястржембський, Ф.Ф. Евальд, І.О. Вишнеградський, Ф.Ф. Петрушевський, Д.І. Менделєєв, П.Л. Чебишев, С.К. Котельников, С.Я. Румовський, М.С. Софронов.

Починаючи з другої половини ХІХ століття вітчизняна наука виступає вже в якості помітного члена світової науки. Проте наукові відкриття та здобутки вітчизняних учених здебільшого залишаються непоміченими.

Х. Гротгус прибалтійський вчений у 1818 р. відкрив явище прискореного окислення речовин вільним киснем під впливом світла. Він встановив вплив температури на поглинання і випромінювання світла речовинами. Це явище несправедливо називають законом А. Беккереля [138, с. 17]. Цього ж року Х. Гротгус сформулював перший закон фотохімії: тільки те світло, яке поглинається тілом, може спричинити в ньому хімічні перетворення [138, с. 17]. Нерідко відкриття цього закону приписується Дж. Гершелю (1842 р.) та Дж. Дрейперу (1843 р.).

Професор Московського університету М.Г. Павлов опублікував цикл лекцій, де вперше в світі висловив ідею про нуклеарно-планетарну будову атома як системи [84].

М.В. Остроградський у 1826 р. розв'язав задачу поширення хвиль на поверхні води [21].

У 1834 р. Б. Клапейрон – француз, який 1820–1830 р.р. працював у Росії, встановив рівняння стану ідеального газу для одного моля. Д.І. Менделєєв узагальнив його на довільну масу газів.

Теорію теплової смерті поряд з Л. Больцманом спростовував і М.М. Пирогов на основі статистичного підходу до тлумачення другого начала термодинаміки [94, с. 300-308].

Е.Х. Ленц у 1844 році (за чотири роки до Кірхгофа) сформулював закон розгалуження струмів в будь-якому колі [50].

Молекулярно-кінетичне обґрунтування другого начала термодинаміки дав один із засновників статистичної фізики М. Смолуховський, який працював у Львівському університеті [50].

Проблему кінетичної теорії тепла та газів розв'язав професор Одеського університету Б.В. Станкевич [50].

У Харківському університеті професор О.В. Гречанінов досліджував проблеми теплообміну між взаємодіючими речовинами, механіку викладали В.Г. Імшинецький, професор В.А. Стєклов, О.М. Ляпунов [1].

Внутрішнє тертя в газах та дифузію газів і пари через пористу перегородку вивчав І. Пулюй. Йому належать роботи з виготовлення ниток накалювання для електричних ламп, удосконалення телефонних станцій.

У 1897 р. професор кафедри теоретичної фізики Київського університету М.М. Шиллер уточнюючи поняття адіабатного процесу показав, що диференціальне рівняння другого начала термодинаміки повинно мати інтегруючий дільник, який становить універсальну функцію температури, тобто – отримав математичне формулювання другого начала термодинаміки виходячи з інших ніж Р. Клаузіс принципів. В університеті наукові проблеми механіки розглядав Г.К. Суслов, теоретичну механіку П.В. Воронець [21].

М.М. Бенардос, який у свій час навчався у Київському університеті, в 1882 році запропонував спосіб зварювання металів за допомогою електричної дуги [3].

У майстернях Київського політехнічного інституту В.П. Іжевський (1863–1926 р.р.) збудував першу електроплавильну піч.

Київський фізик і методист Г.Г. де-Менц у 1904 р. показав, що при температурі рідкого повітря формула Авенаріуса для визначення

терморушійної сили для багатьох термопар втрачає зміст.

Професор Новоросійського (Одеського) університету М.О. Умов експериментально підтвердив теоретичні висновки Дж. Максвелла з електромагнітної теорії. Крім цього, він ввів у фізику поняття руху і потоку енергії електромагнітного поля, встановив рівняння потоку густини енергії електромагнітного поля у середовищі. Вектор потоку енергії за одиницю часу через одиницю площі названий вектором Умова.

За ініціативою Ф.І. Шведова в Одеському університеті було створено перший у Росії фізико-хімічний інститут. Вчений дослідив проблему про спільну природу електричних і світлових явищ.

Певний внесок у прикладну механіку вніс професор В.М. Лігін. Протягом 1873–1896 р.р. він працював на кафедрі механіки в Одесі і читав лекції з усіх розділів теоретичної та прикладної механіки. В.М. Лігін створив науковий напрямок з дослідження кінематики механізмів. Його учнями та послідовниками були Х.І. Гохман, Д.М. Зейлігер, І.М. Занчевський [21, с. 132].

Професор Харківського університету О.П. Грузинцев на основі рівнянь Дж. Максвелла дослідив проблему поширення хвиль у різних середовищах, їх заломлення та поляризацію [1].

Поряд з нормальними умовами для дослідників були і такі, які гальмували цей процес. За чверть століття після смерті М.В. Ломоносова у Росії не було видано жодного підручника з фізики. Повстання О.Пугачова та ознаки французької революції, які все більше проявлялись на той період у Росії, зумовили Катерину II досягнути, що без належного розвитку науки і народної освіти не можна створити армії, здатної захищати інтереси суспільства. Це було причиною того, що у 1782 році була створена комісія з розвитку та створення мережі народних училищ. До її складу було включено Ф. Епінуса. В програми народних училищ була введена фізика, а також видано ряд підручників з різних галузей природознавства.

Підготовка до передбачуваного наступу Наполеона також зумовила Олександра I прийняти ряд заходів до розвитку науки і освіти. Проте, після перемоги над Наполеоном відразу наступив період реакції. Магницький пропонував Олександру I спалити дотла Казанський університет за безбожність і революційність. З університетів Петербурга, Москви звільняли кращих професорів. Вахмістр лейбгвардії Філатьєв,

попечитель Харківського навчального округу, призначив квартального наглядача Чанова професором філософії Харківського університету [1, с. 34]. Французький емігрант Жозеф де Местр переконував міністра освіти графа Разумовського у необхідності заборонити викладання природознавства у Росії.

Микола I продовжив визначену братом стратегію розвитку науки та освіти. Проте, після Кримської війни розвиток капіталістичних відносин посилювався, що вплинуло на розвиток цієї стратегії. Почали виникати об'єктивні умови для поступового зародження фізичних шкіл.

Першою помітною школою сучасного типу можна вважати школу П.М. Лебедева, якого після стажування у школі Августа Кундта, О.Г. Столетов залучив до роботи у Московському університеті. Молодий учений, підготовлений у відомій школі визначного експериментатора Августа Кундта, приступив до створення фізичної лабораторії та підготовки кадрів для роботи у ній. Вже у 1905 році у лабораторії працювало біля 30 дослідників. Початок школи Лебедева відноситься до другої половини дев'яностих років XIX ст. Найбільш значимі результати були досягнуті в 1905–1911 р.р. з електромагнітної теорії, сутності молекулярних сил та визначення тиску світла, дослідження властивостей електромагнітних хвиль на резонаторі, пояснення земного магнетизму. На жаль, після професорських репресій у Московському та інших університетах Росії та смерті вченого його школа припинила існування.

В цей же період була заснована фізична школа у Київському університеті М.П. Авенаріусам з проблем дослідження критичних параметрів різних рідин. До складу школи входили його учні О.І. Надеждін, В.І. Зайончевський та ін.

Таким чином, основоположниками засад фізичних шкіл в Росії можна вважати М.В. Ломоносова, О.Г. Столетова, П.М. Лебедева, М.П. Авенаріуса.

Перша світова та громадянська війна не сприяли створенню наукових шкіл у Росії, хоч наукові кадри і результати експериментальної роботи учених давали можливість створювати їх.

Першим, хто намагався теоретично визначити вигляд функції залежності енергії випромінювання чорного тіла за спектром від довжини світла і температури був В.О. Міхельсон (проходив стажування у

Г. Гельмгольца). Він вперше застосував закони статистичної фізики до атомних коливань і запровадив у теоретичній фізиці закон Планка і сучасні уявлення про кванти світла [30]. В.О. Міхельсон дав аналітичне обґрунтування другого начала термодинаміки.

Пізніше вигляд функції Кіргофа у Росії досліджували П.М. Лебедев, Б.Б. Голіцин. Останній, незалежно від В. Віна, у 1893 р. відкрив «закон зміщення» [35], провів (1904 р.) дослідження критичного стану окремих речовин оптичним методом (метод меніска). М. Планк був ознайомлений з роботами Б.Б. Голіцина і мав з ним листування [35, с. 72].

В 1905 році розпочав створення своєї школи О.С. Попов, але після чергового виклику до міністра народної освіти (О.С. Попов на той час був ректором електротехнічного інституту) з погрозами провести репресії серед професорів та студентів у електротехнічному інституті учений помер від крововиливу в мозок.

Суспільно-політичні події 1911–1920 років негативно вплинули на розвиток наукової школи кристалофізики під керівництвом Ю.В. Вульфа (1863–1925 р.р.).

У Харківському університеті першим професором фізики був А.І. Стойкович (1775–1832 р.р.) серб за національністю. Йому належать два підручники «Умозрительная и опытная физика» (1809 р.) і «Система физики» (1813 р.). Фізичний кабінет було організовано завдяки засновнику університету В.М. Каразіну. Вже у 1814 році у фізкабінеті нараховувалось 304 прилади. Проте ефективна наукова робота була розпочата у фізичному кабінеті лише після приходу на кафедру В.І. Лапшина. Зародження ознак фізичних наукових шкіл в університеті відноситься до досліджень О.П. Грузинцев та Д.О. Рожанського (1911–1914 р.р.) [1].

Роботи з фізики в Київському університеті на початковому етапі його становлення проходили невдало. Фізична лабораторія набула визнання і розвитку після дослідження критичного стану речовини у 1865 році М.П. Авенаріусом (1835–1895 р.р.). Крім цього вчений розкрив залежність електрорушійної сили термоелементів від температури (закон Авенаріуса). Учень О.Г. Столетова М.М. Шиллер (1848–1910 р.р.) прибув до Києва дещо пізніше і створив лабораторію дослідження пружності насичених газів. Їх учнями були В.І. Зайончевський, О.Е. Страус, О.І. Надеждін, К.М. Жук, які пізніше стали основоположниками наукових фізичних шкіл.

Після тривалих наукових відряджень (1904 р. працює у М. Планка, потім у професора Е. Варбурга; 1913–1921 р.р. працює в Інституті теоретичної фізики у А. Зоммерфельда) у 1921 році до Київського політехнічного інституту повертається Л.І. Кордаш. Тривалий час Л.І. Кордаш був практично єдиним фізиком-теоретиком на Україні.

У Новоросійському університеті, з самого початку його заснування, працювали визначні вчені Б.В. Станкевич, В.І. Лапшин, Ф.І. Шведов, а пізніше М.О. Умов (працював в університеті 22 роки). Цей час співпав з розквітом фізико-математичного факультету. Особливо значних успіхів було досягнуто з кінетичної теорії тепла і газів.

7.3. Фундатори української фізичної науки ХХ століття

З розвитком науки все складніше досягти результату в одиночку. Потрібна кооперація вчених, концентрація їх зусиль на вирішення визначеної проблеми. В Україні, як і в інших країнах, з розвитком науки починають формуватися і працювати визнані світовим науковим товариством наукові школи.

Наукова школа – очолюваний лідером колектив дослідників, творча співдружність вчених різних поколінь, об'єднаний єдністю принципів підходу до розв'язання тієї чи іншої проблеми та інтерпретації результатів, стилю роботи, досить широким поглядом на розвиток досліджень обраного наукового напрямку, який лежить в основі роботи оригінальної стрижневої ідеї. Школа не створюється якимось рішенням, як науково-дослідний інститут чи лабораторія. Вона формується під час копіткої праці наукового лідера і самовідданістю всіх її учасників. ***Наукова школа*** – специфічне неформальне об'єднання учених як фактор руху наукової думки вперед на шляху пізнання. Їх створення – є об'єктивним процесом розвитку досліджень і є соціальним замовленням суспільства коли наука стала безпосередньою продуктивною силою соціального прогресу [104].

Процес виникнення та становлення наукових шкіл у нашій державі поділяється на три етапи: зародження – 1905–1935 р.р. (1918–1928 р.р. період становлення нової науки); розвитку 1936–1941 і 1944–1960 р.р.; становлення 1961–1990 р.р.

Характерним є те, що до 1918 року у Росії було близько ста

дослідників-фізиків і 20 докторів наук, то уже у 1950 році фізиків дослідників у нашій країні нараховувалось понад 2 тисячі та близько 300 докторів наук.

Організаційні та координаційно-наукові функції розвитку науки в Україні склали систему після створення АН України в 1918 році академіком Володимиром Івановичем Вернадським. З самого початку академія була нового типу. До неї входили науково-дослідні інститути з різних галузей науки, обсерваторії, музеї, бібліотеки. 14 червня 1921 року постановою Уряду було затверджено «Статут Всеукраїнської Академії Наук». Через рік філія академії була відкрита у м. Харкові. У 1921 році у Дніпропетровському гірничому інституті створюються науково-дослідні кафедри електронної хімії, електромагнетизму, теоретичної механіки. Тут працювали відомі дослідники Л.В. Писаржевський, Я.І. Гордина, О. Динник.

О.Г. Гольдман, К.Д. Синельников (Український фізико-технічний інститут АН УРСР), професор Є.А. Кирилов (Одеський університет) поклали початок дослідженням фізичних властивостей напівпровідників в Україні. У 1923 році О.Г. Гольдман організував Київську науково-дослідну кафедру фізики, яку в 1929 році було реорганізовано у Київський науково-дослідний інститут фізики, нині Інститут фізики АН України, був першим його директором. Важливі експериментальні роботи провів В.Є. Лашкар'юв. Зокрема досліджувались випрямлячі, фотоелементи, фоторезистори, розроблялась технологія їх виготовлення. В.К. Гейхман, О.Г. Миселюк, О.М. Косоногова в інституті фізики АН УРСР виготовили перший вітчизняний сірчано-срібний фотоелемент (ФЕСС-У).

Першим науково-дослідним фізичним інститутом в УРСР був науково-дослідний інститут фізики АН УРСР у м. Одесі. Його відкрито у 1926 р. науковцями під керівництвом Є.А. Крилова, які вивчали явище фотоефекту.

У 1928 році в м. Харкові відкривається Український фізико-технічний інститут (УФТІ) з лабораторіями атомного ядра, низьких температур, надпровідності та магнітних явищ, електромагнітних коливань, кристалів. На початку 30 років минулого століття УФТІ (з кінця 30 років ХФТІ) центром теоретичної фізики країни. Тут Д.Д. Іваненко запропонував протонно-нейтронну модель ядра, а спільно з І.Є. Таммом створив

обмінну теорію. Харківські вчені перші в світі зацікавились фізикою плазми. На базі Дніпропетровського філіалу УФТІ (відкрито у 1931 р.) у 1933 р. засновано Дніпропетровський фізико-технічний інститут. У ньому проводились роботи з вивчення процесів горіння, вибухів, фазових перетворень, кристалізації металів та сплавів, високі тиски та теоретична фізика (В.І. Данилов, І.В. Радченко, В.Н. Гріднєв, В.І. Трефілов).

В середині 30-х років були закладені основи наукових досліджень і окреслені напрямки їх розвитку на декілька десятиліть. В цей час розпочали формуватись і досягли значних успіхів наукові школи Л.Д. Ландау, Л.В. Шубникова, К.Д. Синельникова, І.В. Обреїмова, В.І. Данилова, Н.Д. Морголіса, Г.В. Курдюмова, М.М. Боголюбова, Д.А. Рожанського. У другій половині ХХ століття виникли нові школи А.І. Ахієзера, І.М. Лівшиця, А.К. Вальтера, О.С. Давидова, С.І. Пекаря, Б.Г. Лазарева.

Дослідження діяльності наукових шкіл завершується в основному 90 роками ХХ ст. Це пояснюється тим, визнання тієї чи іншої наукової школи здійснюється за її наслідками роботи через 5-10 років після зародження. В Україні є ряд наукових центрів, у яких зароджуються нові наукові школи. Визнання цих шкіл у якості наукових – справа часу. Останнє двадцятиріччя ХХ ст. потребує подальшого вивчення. Це

пояснюється насамперед недостатністю літератури і тривалим періодом закритого користування новітніми досягненнями науки фізики.



Рис. 123. Ігор Євгенович Тамм

7.4. Ігор Євгенович Тамм і Україна

Родина Ігоря Євгеновича Тамма (8.07.1895–12.04.1971 р.р.) у 1898 р. переїхала в Єлисаветград (згодом Кіровоград, Україна). Тут майбутній Нобелівський лауреат і здобув свою першу освіту в чоловічій гімназії [106].

У 1904 році у Єлисаветграді було побудовано лікарню на вул. Костельній, що поблизу залізничного вокзалу, нині міська лікарня №2, й названа імені Святої Анни в пам'ять втраченої доньки Ганни Дмитрян. Установу забезпечено на той час найновішим медичним устаткуванням. Безпосередньо цією справою займалися земський лікар О.А. Юцевич, призначений керувати лікарнею та міський інженер Євген

Федорович Тамм (батько І.Є. Тамма). Так з'явилися у нашому місті найпереводіші елементи побуту початку ХХ століття, як біоасенізація та водяне опалення. Для лікарні придбали окрему динамомашину, чим зменшили витрати закладу, оскільки електричну енергію тоді можна було отримати лише від місцевого електротрамвайного товариства, що, як вважала сама Ганна Дмитрян, було б неощадливо. Ці розрахунки батько доручив зробити Ігорю, а водяного опалення Леоніду. А потім спільне обговорення. У звіті лікарні імені св. Анни за 1904–1905 роки, складеним О.А. Юцевичем, є такі слова: «Завдячуючи активній участі Є.Ф. Тамма та його глибоким знанням проблеми влаштування біологічної асенізації було вирішено на нараді у Г.М. Дмитрян» [86].

Ігор та його брат Леонід постійно зустрічались з робітниками заводу Ельворті, трамвайного депо (знаходилось на території стадіону факультету фізичного виховання), електростанції (була на місці пам'ятника Б. Хмельницькому) тощо. Ці зустрічі зробили свій вплив, у своєму житті брати завжди відстоювали принципи соціальної справедливості.

Не випадково брат Леонід став інженером-хіміком працював на Донбасі, був товаришем Наркому важкої промисловості С. Орджонікідзе. Сам І.Є. Тамм був делегатом першого Всеросійського з'їзду Рад від Єлисаветграда.

Сімейне виховання також сприяло формуванню у дітей високих моральних якостей, людяності.

Мати, Ольга Михайлівна Давидова за материнською лінією належала до сім'ї Кобилянських, предок яких курінний отаман Запорозької Січі одружився з дочкою кримського хана Гінея, а за батьківською лінією – із обрусілого грузинського роду.

З 1898 року й до закінчення чоловічої гімназії у 1913 р. Ігор мешкав із батьками в Єлисаветграді на другому поверсі двоповерхового будинку на вулиці Петрівській, нині вул. Шевченка, 46.

Згідно шкільного табелю, який у той час називався «Строкова відомість», хлопчик був здібним учнем. У 1907–1908 навчальному році у нього були «четвірки» із закону Божого, російської, латинської, англійської і французької мов.

У дореволюційні часи навіть у звичайних навчальних закладах середньої ланки школярі вивчали, як мінімум, три іноземні мови, що

згодом стало в нагоді Ігорю Євгеновичу. «Четвірки», що примітно, він отримував з алгебри (!). Тригонометрії й фізики 13-річні школярі тоді не вивчали. До речі, закралася в таблицю і одна трійка з малювання.

Наступного навчального року Ігор став навчатись краще. У нього у «відомості» красувалися одні «п'ятірки». Як свідчать сучасники в своїх спогадах, фізика в

преференціях
майбутнього
Нобелівського лауреата
стояла тоді на
останньому місці, а з
«внимання, прилежання
и поведення» він був
твердим хорошистом.



Рис. 124. Чоловіча гімназія

Уже пізніше, заповнюючи котрусь з анкет, Ігор Євгенович Тамм написав, що володіє англійською, французькою, німецькою, слабо українською, італійською, голландською мовами. Хоч в Україні І.Є. Тамм і проживав, та українську мову не вивчав у стінах Єлисаветградської чоловічої гімназії, у приміщенні якої тривалий час був Будинок офіцерів, а нині підрозділ управління МНС (вул. Шевченка, 2).

Ігор Євгенійович захоплювався математикою. Здавалося б, відповідним місцем для здобуття освіти міг виявитися фізико-математичний факультет Петербурзького або Харківського університетів. Але вибір був зупинений на Единбурзі. Як потім з'ясувалося, батьки Тамма, висуваючи міркування про те, що перебування за кордоном розширить його кругозір і дасть знання ще однієї мови (на додаток до німецького, якою він вже володів), насправді побоювалися, що в результаті ще більшого захоплення революційним запалом син закінчить свої університети в «місцях не так далеко віддалених».

В Единбурзі І.Є. Тамм навчався один рік. Тут він прослуховував підвищений курс математики у знаменитого Р. Уїттекера. Захоплення фізикою прийшло літом 1914 р., після вивчення праць Г.Гельмгольца, особливо його «Механіки». Та розпочалась перша світова війна.

Повернувшись із Англії, Ігор Євгенійович поступив на фізичний факультет Московського університету і в 1918 році закінчив його. Жадаючи до знань поступово витіснила політику.

А потім різноманітна робота у Єлисаветграді, на викладацькій роботі у Сімферополі, Одесі, Москві.

У вересні 1917 року І.Є. Тамм одружився з Наталією Василівною Шуйською. Позналилися вони ще літом 1911 року. Ігор навчався в одному класі з її братом Кирилом. Н.В. Шуйська походила з сім'ї багатих і достатньо освічених поміщиків, що володіли рядом маєтків у Херсонській губернії. Батько Наталії, Василь Іванович, мав досить відомий свій кінний завод. Після закінчення гімназії Наташа поїхала до Москви і поступила на Вищі жіночі курси. Дружина лише сприяла утвердженню набутих поглядів та переконань Ігоря Євгеновича, він мав надійну життєву опору.

Справедливим є твердження про необхідність наступності поколінь у вихованні, у становленні високоморальних якостей. У сім'ї Ігоря Євгеновича та Наталії Василівни Таммів у 1921 році народилась дочка Ірина, яка потім стала кандидатом наук, ученим-хіміком, фахівцем з вибухів. Ще через п'ять років вони уже мали сина Євгенія, майбутнього академіка фізика-експериментатора, що замінив О.М. Прохорова у його лабораторії, керівника збірної СРСР з альпінізму. Євген Ігорович Тамм більше відомий як заслужений тренер СРСР, начальник першої радянської експедиції на Еверест.

На початку 20 років ХХ столітті Ігор Євгенович переїхав до Москви і з головою пішов у теоретичну фізику. З 1922 року (з двома короткими перервами) і до кінця кар'єри діяльність І.Є. Тамма пов'язана з Москвою.

Першу свою наукову роботу І.Є. Тамма опублікував лише в 1924 р.

Протягом 1934–1941 років І.Є. Тамм очолює кафедру теоретичної фізики, працює в Московському державному університеті (МДУ), а з 1930 року – професор.

І.Є. Тамм працював професором і завідувачем кафедрою теоретичної фізики МДУ до 1937 р. Докторську дисертацію з фізико-математичних наук захистив у 1934 р., в тому ж році обраний членом-кореспондентом Академії наук СРСР. Коли Академія в 1934 році переїхала з Ленінграда до Москви, І.Є. Тамм став завідуючим сектором теоретичної фізики академічного Інституту ім. П.М. Лебедева (потім – Фізичний інститут

Академії наук СРСР). Цей пост він займав до кінця життя.

Головним захопленням І.Є. Тамма після фізики був альпінізм. Він зробив сходження на гори Фітнаргин (1929 р.), Тютюргу-баши (1930 р.), Башиль-Тау (1930 р.), Казбек (1935 р.), Ельбрус (1936 р.), Пік Ферсмана (1939 р.) та ін.

Помер І.Є. Тамм 12 квітня 1971 року. Він прожив 75 років.

Чи не головною рисою характеру І.Є. Тамма була внутрішня духовна незалежність – у великому і в малому, в житті і в науці. Вона зовсім не супроводжувалася забіякуватістю, фрондерством, протестом ради протесту або зубоскальством, якими нерідко замінюють продуману твердість позиції.

Так, Ігорю Євгеновичу вистачало наснаги, щоб досягти значних успіхів у науці – про що свідчать його нагороди та визнання. Адже, І.Є. Тамм був обраний членом багатьох наукових академій світу, в тому числі почесним членом Національної академії наук і мистецтв США (1961 р.), дійсним членом Польської академії наук (1959 р.), ординарним членом Королівської академії наук Швеції (1959 р.), почесним членом Національної академії наук у Нью-Йорку (США, 1970 р.), членом Німецької академії натуралістів «Леопольдіна» (НДР, 1964 р.). Нагороджений Золотою медаллю імені М.В. Ломоносова АН СРСР (1968 р.). Лауреат двох Сталінських премій СРСР (1946, 1953 р.р.). Нагороджений чотирма орденами Леніна (1953, 1954, 1956, 1965 р.р.), орденом Трудового Червоного Прапора (1945 р.), медалями.

До основних напрямків наукової діяльності відносяться:

- на початку 20 років першою галуззю наукових досліджень під керівництвом Л.І. Мандельштама, професора Одеського політехнічного інституту, з яким І.Є. Тамм підтримував тісні стосунки аж до його смерті у 1944 р., була електродинаміка анізотропних твердих тіл, що володіють самими різними фізичними властивостями і характеристиками та оптичні властивості кристалів;

- у середині 20 років зайнявся квантовою механікою, пояснив акустичні коливання і розсіяння світла в твердих середовищах, де вперше була висловлена ідея про кванти акустичних хвиль, пізніше названих «фононами», що широко використано в багатьох інших розділах фізики твердого тіла;

- у кінці 20 р.р. важливу роль в новій фізиці зіграла релятивістська квантова механіка. Англійський фізик П. Дірак розвинув релятивістську теорію електрона. У цій теорії, зокрема, передбачалося існування негативних енергетичних рівнів електрона – концепція, що відкидалася багатьма фізиками, оскільки позитрон (частинка, у всьому тотожна електрону, але що несе позитивний заряд) ще не був виявлений експериментально. Проте І.Є. Тамм довів, що розсіяння низькоенергетичних квантів світла на вільних електронах відбувається через проміжні стани електронів, що знаходяться при цьому в негативних енергетичних рівнях. У результаті він показав, що негативна енергія електрона є істотним елементом теорії електрона, запропонованої П. Діраком;

- вчений зробив два значні відкриття в квантовій теорії металів, популярній на початку 30 р.р. Разом із студентом С.П. Шубініним він зумів пояснити фотоелектричну емісію електронів металу, тобто емісію, викликану світловим опромінюванням. Друге відкриття – встановлення, що електрони поблизу поверхні кристала можуть знаходитися в особливих енергетичних станах, пізніше названих «таммівськими поверхневими рівнями», що надалі зіграло важливу роль при вивченні поверхневих ефектів і контактних властивостей металів і напівпровідників;

- розсіяння світла трактувалось І.Є. Таммом як зіткнення кванта світла фотона з квантом коливань ґраток, зіткнення, яке підкоряється законам збереження, тотожним або схожим з тими, які характерні для пружних і непружних зіткнень частинок. У 1931 р. англійський фізик Ч. Вільсон назвав їх «квантами пружності», І.Є. Тамм «звуковими квантами», а в 1932 р. Я.І. Френкель ввів для них нині настільки звичну назву «фонони». Уявлення про фонони, винятково було розвинене І.Є. Таммом у вигляді строгої теорії. Ця теорія не тільки пояснила виникнення і характерні особливості спектру комбінаційного розсіяння (число і взаємне розташування додаткових ліній щодо лінії, відповідної частоти падаючого світла), але і дозволила оцінити відносну інтенсивність всіх цих ліній – залежно від температури та інших умов, чого не можна було зробити, користуючись класичною теорією;

- одночасно він почав проводити теоретичні дослідження в області атомного ядра. Вивчивши експериментальні дані, Л.В. Альтшулер і С.О. Альтшулер передбачили, що нейтрон, не дивлячись на відсутність у

нього заряду, володіє негативним магнітним моментом (фізична величина, зв'язана, окрім іншого, із зарядом і спіном). Їх гіпотеза, до теперішнього часу, що підтвердилася, у той час розцінювалася багатьма фізиками-теоретиками як помилкова. У 1934 р. І.Є. Тамм спробував пояснити за допомогою своєї так званої бета-теорії природу сил, що утримують разом частинки ядра. Згідно цієї теорії, розпад ядер, викликаний випусканням бета-частинок (високошвидкісних електронів), приводить до появи особливого роду сил між будь-якими двома нуклонами (протонами і нейтронами). Використовуючи роботу Енріко Фермі з бета-розпаду, І.Є. Тамм досліджував, які ядерні сили могли б виникнути при обміні парами електронних нейтрино між будь-якими двома нуклонами, якщо такий ефект має місце. Він виявив, що бета-сили насправді існують, але дуже слабкі, щоб виконувати роль «ядерного клею». Рік потому японський фізик Хидекі Юкава постулював існування частинок, названих мезонами, процес обміну якими (а не електронами і нейтрино, як припускав І.Є. Тамм) забезпечує стійкість ядра;

- у 1934 і 1936 роках І.Є. Тамм запропонував наближений квантово-механічний метод для опису взаємодії елементарних частинок, швидкості яких близькі до швидкості світла. Розвинений далі російським хіміком П.Д. Данковим (метод Тамма-Данкова, 1945 рік), він широко використовується в теоретичних дослідженнях взаємодії типу нуклон-нуклон і нуклон-мезон. І.Є. Тамм також розробив каскадну теорію потоків космічних променів;

- у прикладній фізиці найбільшу популярність здобули виконані в 1950–1953 р.р. спільно з А.Д. Сахаровим роботи з утримання і термоізоляції плазми за допомогою магнітних полів (керований термоядерний синтез).

Підготував ґрунтовні праці з квантової теорії, ядерної фізики (теорія обмінних взаємодій), теорії випромінювання, фізики твердого тіла, фізики елементарних частинок. І.Є. Тамм був один із авторів теорії випромінювання Черенкова-Вавілова.

У 1945 рік дав наближений метод аналізу взаємодії частинок, відмінний від методу збурень. У 1950 році висловив ідею термоізоляції плазми сильним магнітним полем, сформулював концепцію магнітного термоядерного реактора. І.Є. Тамм створив школу фізиків-теоретиків.

Серед його учнів – С.П. Шубін, С.О. Альтшулер, Є.Л. Фейнберг, В.Л. Гінзбург, М.В. Келдиш, Д.І. Блохінцев, М.О. Марков, А.Д. Сахаров, В.Г. Кадишевський.

І.Є. Тамму, І.М. Франку і П.О. Черенкову в 1958 р. була присуджена Нобелівська премія з фізики «за відкриття і тлумачення ефекту Черенкова».

При всьому цьому І.Є. Тамм не стояв осторонь суспільного життя.

Перед початком першої світової війни він перевівся з Единбурзького університету на фізико-математичний факультет Московського університету. Студентів протягом перших двох років на військову службу не призивали. Але переконання і сам характер Ігоря не дозволяли залишатися осторонь. Тому навесні 1915 року вступив у Всеросійський земський союз Червоного Хреста і добровольцем відправився на фронт братом милосердя в польовий госпіталь. Під снарядами переносив поранених, доглядав їх.

Суспільний темперамент і принциповість І.Є. Тамма яскраво виявилися в 1950–1960 роки, коли він взяв активну участь в боротьбі з «лисенківщиною» в ідеології. У 1956 році за його наполяганням на фізичному факультеті МДУ була створена кафедра біофізики; проблеми переслідуваної генетики часто обговорювалися на керованому І.Є. Таммом загальномосковському семінарі у Фізичному інституті. У ці роки він неодноразово і відкрито виступав з доповідями і заявами про згубну роль агронома, академіка АН України Трофима Денисовича Лисенка в біології, про його псевдонаукову теорію.

У 1955 році І.Є. Тамм підписав «Лист трьохсот» – звернення найбільш відомих учених світу до керівників держав, що володіють ядерною зброєю із закликом припинити розробки у цій галузі та знищити ядерну зброю.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

абсолютна пустота	94, 95
абсолютна система координат (відліку)	156, 189, 200
абсолютна температура	173
абсолютний простір	104, 125, 157, 158, 180, 199, 205, 211
абсолютний рух	157
абсолютний центр світу	38
абсолютний час	104, 125, 157, 158, 199, 205, 211
абсолютність	90, 104, 120, 125, 156, 158, 170, 200
абсолютно чорне тіло	248, 268, 273, 274, 275, 281
автоматизація виробництва	12, 14, 236
адіабатний процес	129, 365
адрон	327-333, 337, 343
адрон-електронний прискорювач	337
академія	23, 35, 36, 42, 43, 73, 86, 89, 95, 102, 106, 118, 131, 132, 135, 139, 140, 141, 162, 163, 182, 183, 184, 186, 190, 230, 238, 239, 291, 294, 295, 335, 357, 361, 362, 363, 364, 370, 374, 375, 378
алгебра	50, 55, 90, 209, 373
алгебраїчні рівняння	22, 115, 183
алхімія	38, 43, 52, 55, 61, 105, 106, 110, 112, 215
альфа-розпад	317, 318
альфа-промені	246, 284
альфа-частинка	249, 291, 315, 322
анатомо-фізіологічні знання	69
анімізм	22, 50
антикварк	309, 330, 331, 333
антиматерія	253
антинейтрино	324, 272
антинейтрон	324, 333
антипротон	253, 271, 322, 324, 333, 343, 390
античастинка	253, 324, 327, 328, 329
античність	20, 47, 49, 58, 59, 66, 145, 181, 256
апарат вертикального зльоту і посадки	67
апейрон	26
Арабський період	16, 19, 50, 53-56
арифметика	26, 45, 49, 55, 57, 354
арифметичні дії	22, 55
аромат	328, 331, 332, 333
артилерія	73
архе	25, 27
архімедова спіраль	102
архітектура	49, 68, 354-356, 358, 360

астрологія	50, 74
астрономічні спостереження	21, 42, 55, 56, 72, 80, 83, 198, 259, 266, 289
астрономічні таблиці	58, 77, 78, 359, 360
астрономія	11-13, 22, 26, 41, 48, 56, 57, 64, 76, 79, 87, 112, 211, 289, 306, 360
атмосферний тиск	46, 90, 97
атмосферні явища	58
атом	13, 30-32, 37, 40, 41, 44, 51, 62, 80, 94, 100, 111, 137, 139, 141, 150, 151, 162, 204, 216, 217, 223, 232, 234, 235, 248-250, 288, 291, 292, 294, 302, 308, 309, 320, 336
атом водню	197, 250, 252, 280-286, 313, 317, 319, 320
атомізм	30, 31, 47, 49, 80, 88, 151, 152, 308
атомісти	30, 34, 35, 43, 47, 48, 93, 94, 141, 151, 166, 197
атомістична школа	34
атомна будова речовини	164
атомна маса	223-225, 231
атомна фізика	17
атомне ядро	41, 250, 313, 316, 317, 318, 321, 331, 336
баріон	326-330, 332
баріонний заряд	326, 328, 332, 340
барометр	100, 145
бета-сили	377
бета-розпад	246, 252, 312, 313, 315, 319, 320, 324, 327, 377
бета-частинка	303, 304, 377
бібліотека	40, 42, 49, 54, 357, 370
біокулярний зір	67
біологія	13, 212, 214, 219
блискавка	27, 146, 149, 334
блок	22, 24, 45
бозони	252, 309, 310, 327, 328, 333, 334, 339, 343, 344, 345
братські школи	357, 359
буття	30, 31, 133, 308
в'язкість	52, 292
вага	41, 50, 55, 85, 96, 115, 164, 176, 216, 225, 257, 351
ваги	58, 81
важіль	45, 50
важка маса	81

вакуум	17, 38, 104, 196, 201, 243, 279, 311, 313, 314, 335
вектор магнітної індукції	195
велика п'ядь	351
Велике об'єднання	297, 343
великий адронний колайдер	338, 339
великий адронний прискорювач LHC	301, 338
Великий вибух	297, 298
великі географічні відкриття	118
Венера	28, 47, 139, 198
верста	351
веселка	27, 60, 70, 90, 98, 186, 296
випромінювання	12, 94, 166, 167, 169, 173, 188, 191, 197, 204, 240, 243-248, 253, 254, 259, 268, 270-289, 294, 297, 300, 302, 304, 306, 308, 310, 312, 320, 322, 323, 326, 364, 367, 377
випромінювання Черенкова-Вавілова	377
висок	50
вихор	32, 90, 92, 103, 116, 120, 129, 131, 157
від'ємний заряд	146, 147
відбитий промінь	186, 295
відносність руху	24, 72, 153, 156, 157
Відродження	62-66, 79, 80, 84, 117, 213, 215, 237
візок Герона	46
вільна енергія	166, 173
вітер	27, 108, 201, 210
вітряк	46
внутрішня енергії	172
вогонь	20, 27, 34, 38, 51, 73, 145, 164
вода	8, 26, 34, 38, 51, 73, 85, 158, 163, 164, 168, 172, 198
водопровід	58
водяні хвилі	69
Всесвіт	8, 12, 15-19, 21, 34, 39, 43, 47, 48, 51, 52, 64, 65, 69-73, 77, 79, 83, 90-92, 111, 112, 134, 153, 156, 171, 212, 247, 248, 255, 262, 266, 268-272, 280, 289, 290, 297-301, 311, 325, 344, 351
гальванізм	178
гальванічний елемент	150
гамма-квант	304, 312, 321, 336
гамма-промені	246, 302, 315, 317, 321, 322
гвинт	22, 45, 239

геліоцентрична система	16, 19, 33, 42, 48, 64, 70-72, 77, 78, 91, 97, 101
генератор	236, 239, 240, 294, 334, 335
географічні карти	47
географічні координати	47
геометрична оптика	44, 54, 64, 98, 102, 110, 185, 190, 324
геометрична тінь	102
геометрія	22, 26, 44, 57, 124, 131, 205
геоцентрична система	39, 43, 47, 48, 55, 71, 77
гераклітська школа	25
гігрометр	65
гідравліка	67
гідродинаміка	48, 127, 131, 132, 143, 164
гідростатика	45, 57, 84, 96, 143
гідростатичний парадокс	96
гідростатичні ваги	81
гідротехнічні дослідження	67
гідротехнічні споруди	73
гіпер-заряд	329
гіперон	305, 321, 322, 324, 326, 342, 343
гіпотеза ефіру	180
гіпотетична фізика	88, 153-155
гіпотетичні частинки	312, 326, 329, 344
гіпотетичний метод дедукції	93, 152, 155, 157
глюон	310, 327, 328, 333, 344
годинник	46, 50, 58, 59, 81, 101, 102, 114, 120, 135, 259, 266
голограма	295
голографія	295, 296
горючість	160, 215
гравітаційна взаємодія	257, 301, 327, 331, 340, 341, 344
гравітаційна поле	135, 136, 257, 263-268
гравітаційна стала	130, 254, 257, 264
гравітаційні сили	157, 298
гравітони	268, 310, 327, 328, 344
граматика	49, 57, 359
грим	27
густина	81, 154, 157, 188, 259, 270-272, 299, 316
густина струму	207
далекодія	91, 92, 133, 134
дао	25, 52
даосизм	52
двигун	13, 39, 46, 67, 68, 150, 175, 179, 236-240, 356, 359

декартова система координат	89
деревообробні машини	68
десятинна система	22
детермінізм	27, 41, 289
деформація	120, 159
джерело світла	144, 183, 202, 269
дзеркало	43-45, 53, 56, 60, 98, 104, 180-183, 185, 247, 350
дивність	328, 340
дисперсія	98, 103, 104, 143, 282
диференціальне числення	55, 103, 110, 123, 258
дифракційна градка	181
дифракція	97, 98, 102, 104, 138, 181, 182, 184, 190, 191, 240, 249
дифузія	165, 365
діалектика	24, 26, 28, 57, 232, 309
діелектрик	150, 167, 194-196
дірка	253, 321
ДНК	37
довжина	50, 143, 195, 268, 337, 351
довжина хвилі	33, 181, 274, 278, 286
догма	33, 38, 43
додатній заряд	146, 147
домкрат	50
дослід	35, 68, 100, 146, 147, 176, 181, 182, 184, 191, 199, 201, 203, 246, 273, 279
дослід Майкельсона-Морлі	187-189, 191, 200-206, 273, 280
дослід Фізо	199, 201, 247, 300
дослідницькі програми	17
досократівський період	18, 23, 25
доцентрова сила	85, 103
доцентрове прискорення	84
другий закон механіки	86
друкарські машини	68
евклідовий простір	44, 136
еволюційно-синергетична картина світу	307, 311
ейдос	38
Еколого-гуманістичний період	16, 20
експеримент	36, 60, 79, 94, 99, 117, 247, 318, 319
експериментальний метод індукції	150, 157, 212, 219
експериментальні дослідження	60, 281
елейська школа	25, 29
електризація тіл	146, 173

електрика	26, 94, 142, 149, 174, 177, 236, 238
електрична атмосфера тіла	146
електричне поле	188, 190, 194-196, 202, 207, 209, 238, 246, 261-263, 279, 285, 334, 335, 337, 341
електричний заряд	141, 148, 149, 194, 197, 223, 238, 308, 319, 326, 328-330, 340, 342
електричний струм	179, 192, 236, 243, 292
електричний флюїд	146, 147, 148, 150
електричні розряди	100, 101
електричні сили	141, 142, 149, 195, 216
електричні явища	99, 101, 134, 145, 148, 150, 178, 193, 201, 202, 206, 241
електродвигун	236, 238, 239
електродинаміка	188, 192, 194, 197, 201, 203-209, 241, 250, 274, 276, 282, 308, 319, 323, 333, 341, 343, 375
електроліз	170, 194, 218, 319
електромагнітна взаємодія	327, 341, 342, 345
електромагнітна картина світу	307, 308
електромагнітна теорія ефіру	188
електромангнітне поле	134, 188, 189, 196, 279, 341
електрон	205, 252, 253, 280, 283, 284, 313, 319, 320, 321
електрон-позитронний прискорювач LEP	338
електропольова програма	17
електроскоп	141, 147, 302
електростатика	149, 169
електротехніка	236, 237
електрофорна машина	145, 148, 238
елементарний заряд	319, 320, 330
елементарні частинки	8, 13, 15, 17, 39, 41, 113, 197, 204, 250, 255, 258, 268, 271, 272, 280, 288, 297, 302, 311, 312, 319, 321, 322, 324, 326, 327, 329, 330-333, 336-339, 341, 343, 344, 345, 377
елементи	31, 34, 38, 39, 47, 51, 53, 112, 129, 214, 215, 221-233, 239, 245, 246, 255, 272, 291, 315, 316, 317, 372
еліати	37
Елінійський період	16, 18, 19, 50
еліпс	75, 77, 122, 128
Елліністичний період	16, 19, 40
емпіричне спостереження	38

енергетика	13, 176
енергетичний стан	253
енергія	165, 166, 172, 173, 177, 179, 188, 196, 247, 248, 253, 254, 257, 259, 274, 277, 280, 289, 297-299, 310, 320, 326, 327, 334-338, 343, 346
ентальпія	166, 173
ентропія	173, 274
епікурійська школа	39, 40
етапи розвитку	15, 16, 17
етимологія	53
ефект Доплера	187, 203, 267, 269, 271, 276
ефект Штарка	251, 284
ефір	38, 40, 142, 187-192, 200-202
ехо	144
живопис	57, 64-68
загальна теорія відносності (ЗТВ)	81, 208, 256-260, 264-269, 272, 287
загальна теорія пружності	185
задача про коливання струни	138
закон Авогадро	164
закон Архімеда	45, 102
закон Бойля-Маріотта	129
закон взаємодії зарядів	142
закон відбивання світла	46
закон вільного падіння тіл	81
закон Віна	274
закон внутрішнього тертя	103
закон всесвітнього тяжіння	103
закон Дюлонга і Пті	277
закон електромагнітної індукції	170, 194, 196
закон збереження баріонного заряду	340
закон збереження гіперзаряду	340
закон збереження дивності	340
закон збереження електричного заряду	141, 340
закон збереження живої сили	120
закон збереження і перетворення енергії	120, 174, 176, 178, 179, 340
закон збереження ізотопічного спіну	340
закон збереження імпульсу	120, 340
закон збереження кількості руху	90, 116
закон збереження комбінованої парності	340
закон збереження краси	340

закон збереження лептонного заряду	340
закон збереження матерії	138
закон збереження моменту імпульсу	340
закон збереження мюонного заряду	340
закон збереження парності	340
закон збереження руху	90
закон збереження таонного заряду	340
закон збереження чарівності	340
закон інерції	68, 84, 90
закон кубів Дебая	279
закон Малюса	186
закон Неймана-Коппа	277
закон опору в рідинах і газах	103
закон падіння освітленості	76
закон рівнозмінного руху	62
закон спаду гравітаційного поля з відстанню	136
закон тяжіння	77, 84
закон Хаббла	269
закони відбивання світла	69, 90
закони електролізу	170
закони заломлення світла	90, 99, 129
закони Кеплера	77, 103, 126, 130
закони класичної механіки	103
закони Ньютона	127, 192
закони освітленості	144
закони поширення світла	69, 90
закони руху планет	74
закони фотохімії	276, 364
закони хімічної атомістики	222
закономірність	9, 10, 11, 39, 52, 86, 127, 284, 304, 334
закономірності теплового руху	171
заломлення світла	43, 56, 76, 80, 90, 92, 97, 99, 129, 135, 152, 180
заряд	147, 148, 282, 314, 330, 333, 342
заряджені частинки	189, 197, 341
затемнення	26, 28, 55, 119, 259, 260
Західноєвропейський період	16, 20
збереження повної енергії	128, 129
збереження сили	68, 175
звукові хвилі	69
землеробні машини	68
змінний струм	236, 239
знаряддя праці	20
значення фізики	15
зорова труба	64, 80

ідеалізм	37, 39
ідеалістичний напрямок	32
ідеальний газ	165, 276
ідея теплороду	163, 164, 167, 173
ізолятори	146
ізотерми	212
ізотоп	234, 291, 292, 314, 315, 317-319, 322, 334
ізотопічний спін	326, 332, 340
ізотропний простір	136, 278, 306
імпульс сили	90
індуктивний метод	48, 87
Індустріальний період	16, 20
інертна маса	81, 257, 259
інерційний рух	38, 98
інерція	79, 85, 157, 207
інтегральне числення	103
інтенсивність	181, 186, 244, 245, 246, 274, 341, 376
інтенсивність взаємодії	341
інтерференція	98, 100, 102, 104, 138, 178, 182-185, 190, 191, 201, 240
інформатика	14
інфрачервона частина спектру	169, 278, 284
Іонійський (класичний) період	19
іонійці	31, 32, 34, 35, 37
іонний лінійний прискорювач	337
іскра	146
історія фізики	8, 45
йот-частинка	324
калориметр	144, 172
калориметрія	140-142, 173
камера обскура	56
картезіанська фізика	91
каталог зірок	57
катодні промені	197, 243, 244, 246
квадрирїй	57
квант	248, 249, 286, 342
квантова електродинаміка	250
квантова механіка	249
квантова програма	17
квантовий генератор	294
квантово-релятивістська (квантово-польова) картина світу	307, 309

кварк	17, 255, 309, 325, 327, 329-333, 344, 345
кваркова модель	297, 329, 330, 333
К-захоплення	313
кількісна теорія Місяця	130
кількість руху	90, 103, 107, 112, 115, 139, 154
кількість тепла	141, 176
кільця Ньютона	99, 104
кінетична енергія	165, 254, 280
клапан	100
класична механіка	81
класична фізика	17, 167, 273
клин	45, 50
книгодрукування	56
ковальські міхи	50
коефіцієнт ковзання	67
коефіцієнт тертя	67
колещатий замок для пістолета	68
коливальний рух	98, 173, 180, 259
колір	99, 104, 333
коловий рух	84
коловорот	45
компас	57
конденсатор	144, 145, 148, 195, 236
концепція обмеженого Всесвіту	39
координати	47, 125, 208, 262, 265, 267
координатний метод	61
корпускулярна теорія	104, 140, 180, 248
корпускулярно-хвильова теорія	104
корпускулярно-хвильовий дуалізм	254, 308, 309
космічні промені	302, 321, 325
космогонія	51
космологія	8, 51, 269, 271, 299
космос	12, 24, 25, 31, 74, 212, 302
краплинна модель ядра	313
красота	331
кругосвітня подорож	63
кут Брюстера	186
кут дифракції	181
кут зору	56
кутомір	50
лептон	309, 312, 324, 325, 327, 329, 331, 342, 344
лінза	61, 64, 81, 82, 180, 182, 200
лінійний протонний прискорювач	337
літальні апарати	61, 68

логіка	49, 227, 267, 273
логос	27, 28, 212
любителі мудрості	23
магдебурзькі напівкулі	100
магія	50, 52, 61, 311
магнетизм	26, 79, 94, 99, 119, 169, 177, 178, 190, 192, 367
магніт	26, 62, 99, 238
магнітне поле	188, 196, 246, 262, 294, 303, 304, 334, 335, 342
магнітний момент	253, 134, 314, 342
магнітна взаємодія	149
магнітні явища	99, 142
мала п'ядь	351
маса	91, 103, 107, 153-157, 223-225, 231, 259, 300, 310-312, 322, 326, 331
математика	22, 29, 35, 41, 55, 59, 74, 79, 112, 126, 132, 360
математична фізика	88, 136
математичний аналіз	68, 87, 107, 109, 128, 150
матеріалістичні уявлення	32
матерія	24, 25, 27, 37, 38, 136-140, 156, 157, 162, 163, 177, 202, 266, 297, 299, 300, 307, 308
матрична механіка	250, 288
маятник	81, 84, 101, 102, 114, 122, 143, 148, 256
маятниковий годинник	101
медицина	49, 174, 175, 218, 314
мезон	304, 305, 312, 313, 315, 319, 322, 324-333, 337, 390, 341-344, 377
мезонні мультиплети	329
меніск	76, 368
Меркурій	28, 47, 258
мета фізики	15
металургійні печі	68
метеорологія	354
метод електронного охолодження	338
метод історичного дослідження	9
механізм	24, 45, 46, 48, 67, 69, 76, 133, 145, 184, 218, 219, 239, 281, 286, 326, 330, 333, 342, 343, 366
механіка	41, 45, 53, 75, 114, 120, 124, 128, 132, 136, 137, 143, 166, 207, 208, 212, 249, 287, 288, 320, 322, 360
механіка центральних сил	128
механістична картина світу	307

механістичний світогляд	47
механічна програма	17
механічна форма руху матерії	141
механічний рух	37, 48, 137, 263
мікросвіт	17, 286, 297, 300, 330, 339
мікротрон	335
мілетська школа	25
місячне затемнення	32, 55
міфологія	22, 25
міцність матеріалів	81
моделі атома	243, 280, 281, 283-285
модель Всесвіту	272, 297
молекула	37, 145, 164-166, 214, 216, 217, 232, 234, 251, 269, 271, 275, 276, 280, 281, 287, 291, 294, 308, 309, 342
молекулярна механіка	141
молекулярно-кінетична теорія будови речовин	138, 165, 280
молекулярно-кінетична теорія тепла	139, 162
монохроматичність	98
мюон	304, 312, 322, 325, 327, 329, 342
надпровідність	292
надтекучість	292
напівпровідник	14, 254, 370, 376
напруга	148, 150, 334, 335
насос	100, 166
натурфілософія	15, 16, 18, 19, 23, 25
наукова ідеологія	16, 19, 48, 111, 112, 113
наукова школа	27, 28, 43, 362, 369
наукові товариства	89
небесний флюїд	91
нейтрино	252, 255, 270, 271, 272, 301, 306, 310, 319, 324, 325, 327, 329, 332, 336, 342, 377
нейтрон	252, 255, 268, 291, 292, 297, 309, 312, 314-320, 322, 323, 326, 327, 328, 336, 341, 344, 376, 377
необоротні процеси	166
неоплатонізм	50
неперервність	84, 94, 95, 204
непружний удар	115, 120
нескінчений інерційний рух	38
нуклон	17, 309, 312, 313, 326, 327, 330, 337, 342, 343, 377
НЬЮТОН	105

об'єм	22, 41, 50, 55, 95, 100, 101, 116, 125, 155, 157, 165, 170, 176, 196, 206, 209, 228, 276, 282, 287, 299, 301, 314
обмінна теорія	371
обмінні сили	313
оболонкова модель ядра	313
оборотні процеси	166
оброк	352
обценьки	50
одиниця вимірювання	50
однорідний простір	136
око	67, 80, 220
Олександрійський період	16, 19
оператор Лапласа	257
опір	67, 79, 86, 91, 153, 163, 195, 241, 263, 293
оптика	41, 56, 59, 69, 80, 133, 142, 151, 180
оптична вісь	76, 98
оптична труба	97
оптичне зображення	76
орбіта	74-77, 107, 309
освітленість	80, 144
осцилятор	251, 274-278 285
п'єзоелектрика	147
параман	51
парашут	68
парність	326, 340
парова турбіна	237
паровий двигун	46
паровий котел	100
пароплав	238
первісне мислення	21
передісторія фізики	17, 18
переміщення	65, 86, 115, 185, 308
перетворення Лоренца	81, 202, 203, 204, 206, 208, 210, 211
Періодична система хімічних елементів Д.І. Менделєєва	232-235
Періодичний закон	217, 221, 223, 226, 229, 230-235
перший закон механіки	86
перші начала	38, 39
перші причини	38, 39
першоелемент	30, 308, 310
першоматерія	25, 26, 37
питома вага	55, 65, 81

питома теплоємність	144
підводний човен	68
підзорна труба	72, 76
підйомні крани	61
піон	312, 322, 327, 342, 343
піроелектрика	147
піроцентрична система	33
пістолет	68
піфагорійці	28, 29, 33, 34, 41, 48, 70
піфагорська школа	25
планетний рух	120
плуг	50
повітря	27, 34, 38, 39, 51, 52, 73, 81, 100, 102, 111, 116, 141, 145, 154, 155, 158, 161, 164, 168, 175, 198, 246, 256, 302, 365
повітряний насос	100
повне внутрішнє віддзеркалення світла	76
подвійне променезаломлення	98, 186
подільність тіл	157
подільність частинок	91, 92, 94
позитрон	253, 271, 272, 303, 309, 312-315, 319-324, 342, 376
позитронний розпад	314
поле	37, 188, 196, 246, 263, 264, 268, 294, 303, 308, 333, 335, 344
політ	67
полум'я	27, 140
полюси магніту	254
поле тяжіння Землі	45, 264
поляризація	98, 194
поляризований промінь	186, 191, 193
полярність магніту	147
поприще	351
постійна дифракційної ґрадки	181
постійний струм	236, 238, 239, 240
потенціал	148, 159, 166, 173, 178, 257, 259, 310, 324, 330, 334
потенціальна енергія	157, 165, 176, 178, 327
потужність	78, 80, 209, 239, 334
похила площа	22, 24, 45, 96
поширення світла	66, 69, 98, 103, 135, 140, 144, 180, 182, 184, 190, 191, 200, 211, 247
праматерія	25, 27
прецесія	103, 133
принцип «резонанс»	140

принцип відносності	81, 84, 91, 115, 120, 128, 189, 204, 205, 207, 210, 211, 260, 266
принцип відносності руху	81
принцип детермінізму	27
принцип збереження матерії і руху	137, 150, 154, 156, 157
принцип інерції	84, 153, 157
принцип Карно	170, 171, 172
принцип найменшої дії	137, 207
принцип невизначеності	250, 268, 309
принцип незмінної причинності	31, 47, 174, 175
принцип Паулі (виключення)	251, 253, 320
принцип сумісного руху частинок	140
принцип суперпозиції сил	137
принципи збереження	34, 154, 157, 167, 170, 171, 191
принципом найменшого часу	46
природа	8, 11, 24, 37, 84, 111, 112, 149, 150, 157, 290
природа світла	66, 69
прискорення	40, 84, 86, 103, 114-118, 125, 128, 130, 131, 159, 218, 256, 257, 263-267, 299, 315, 321, 326, 333-335
прискорювач	297, 301, 316, 318, 324, 330, 333-338, 341, 343, 345
прихована маса	300, 310
причини далекозорості	76
причини короткозорості	76
провідники	146-150, 178, 192, 195, 196, 236, 238, 294
прокатні стани	68
промені	27, 43, 61, 92, 98, 139, 169, 180-183, 186, 190, 197, 242-246, 258, 259, 269, 282, 283, 285, 286, 302-306, 317, 319, 321, 322, 324-326, 333, 377
прості механізми	24, 45
простір	11, 12, 22, 31, 32, 34, 44, 52, 72, 100, 101, 103, 104, 111-114, 133, 136, 157, 162, 205, 208, 209, 258, 260, 261, 262, 264, 265, 269, 270, 289, 307-311, 355
протон	252, 253, 255, 268, 271, 291, 309, 312-315, 319, 320, 322, 323, 325-328, 330, 331, 336, 339, 343
пружинний хронометр	135
пружний удар	115, 120
прямолінійність поширення світла	69, 144
пустота	34, 38, 112, 151, 283

радіо	151, 237, 240-242, 289
радіоактивний розпад	197, 281, 291, 292, 315, 318
радіоактивність	243, 245, 246, 248, 255, 281, 283, 302, 308, 314, 319
радіоприймач	197, 241
реактивний двигун	46
реальні гази	166
резонанси	327
резонансні прискорювачі	334, 335
рейтер	58
реліктове випромінювання	270, 272, 297, 310
релятивістська програма	17
Ренесанс	62, 63
рентгенівське випромінювання	254, 308
рентгенівські апарати	243, 301
рентгенівські промені	242-245, 248, 286, 289
реперні точки	144
рефракція	76, 152
речовина	54, 89, 111, 145, 149, 160, 168, 191, 257, 266, 272, 300, 308, 309, 364, 365
Римський період	19, 23, 48
риторика	28, 49, 57
рівень	50
рівновага	67, 96, 137, 138, 142, 143, 150, 218, 272
рівняння Дірака	253, 254, 320, 324
рівняння Лапласа-Пуассона	257
рівняння Максвелла	192, 196, 197, 200, 202, 203, 279
рівняння руху другого роду	138
рівняння руху першого роду	138
рівняння Шредінгера	250, 251, 288, 324
робота виходу електрону	280
розміри зірок	81
розчинення	165
розширення Всесвіту	269, 271, 290, 299, 302
рух	22, 24, 29, 31, 32, 34, 37, 38, 48, 62, 67, 68, 70, 72, 77, 79, 83, 84, 86, 89, 91, 92, 96, 98, 102, 103, 111, 112, 114, 116, 119, 120, 122, 125, 127, 128, 131, 135, 137, 140, 152, 158, 163, 169, 173, 176, 188, 198, 199, 201, 206, 211, 239, 258, 259, 265, 266, 276, 280, 281, 282, 308, 355
рух колом	37, 112
рух планет	22, 56, 114, 158, 199
рух тіла під кутом до горизонту	86, 96

сажень	351
світ	15, 20, 29, 37, 39, 41, 51, 53, 57, 78, 85, 90, 91, 112, 131, 133, 138, 214, 271
світло	46, 62, 70, 91, 92, 98, 102, 104, 135, 157, 176, 180, 190, 199, 279, 284, 295, 320
світловий тиск (тиск світла)	196
світобудова	71
світогляд	6, 47, 53, 59, 61, 70, 87, 104, 105, 112, 13, 157, 188, 198, 199, 222, 256
середній вільний пробіг молекули	165
середньовіччя	49, 53, 57, 58, 62, 63, 220
сила	50, 60, 68, 74, 75, 79, 90, 96, 116, 125, 128, 129, 130, 136, 141, 142, 154, 157, 163, 169, 170, 174, 176, 185, 191, 234, 281, 283, 285, 300, 350, 356
сила Архімеда	120
сила інерції	81, 157
сила струму	174, 192
сильна взаємодія	309, 310, 327, 331, 336, 342-345
сильний принцип еквівалентності	263
симетрія	297, 310, 326, 329-333, 340, 344, 350
синхрофазотрон	335
синхроциклотрон	335
система відліку	81, 158, 159, 189, 198, 199, 200, 202, 263, 264, 266
системи рахунку	22
сифон	46, 50, 84
скептична школа	40, 43
слабка взаємодія	309, 327, 343, 344, 345
Сонячна система	103, 220
сонячне затемнення	26, 32, 55
софісти	28
спектр	12, 99, 104, 135, 169, 181, 234, 250, 252, 259, 269, 273, 278, 281, 282, 284, 285, 290, 291, 300, 306, 331, 367, 376
спектр випромінювання	273, 274, 279, 281
спектральний аналіз	98, 181, 217, 273, 290
спектральні лінії	259, 269, 271, 280, 281, 282, 284, 285, 308
спеціальна теорія відносності	104, 159, 203, 204, 209, 211, 258, 263, 287, 323
спін	252, 253, 268, 287, 309, 311, 312, 323, 326, 327, 328, 330, 332, 333, 340, 341, 377

спостереження	38, 50, 56, 68, 69, 72, 74, 77, 78, 79, 84, 99, 120, 131, 152, 155, 161, 198, 212, 213, 215, 258, 259, 260, 266, 267, 268, 291, 299, 308, 310, 321, 325
стала Планка	204, 268, 285
Стандартна модель	310, 345
статистика Фермі-Дірака	254, 332
стаціонарне рівняння Шредінгера	288
стійкість суден	45
стоїчеська школа	40
стойхейрон	27
суб'ядерна фізика	17
субмікросвіт	17
сузір'я	26, 301, 350
Супер-об'єднання	297, 345, 397
сферична аберація	70
схоластичний метод	68
таблиці логарифмів	79
таблиці синусів	58
танк	68
тваринна електрика	149
твердість	41, 52, 157, 375
текучість	52
телеграф	237
телеграфія	197
телескоп	72, 75, 76, 80, 81, 85, 97, 102, 104, 1090, 110, 120, 121, 130, 135, 143, 152, 180, 198, 199, 298, 300, 301, 304, 306
телефон	237, 242
телефонний зв'язок	237
темна енергія	297, 298, 299, 310
темна матерія	297, 299, 300
темна речовина	300
температура	14, 43, 116, 141, 160, 165, 168, 169, 172, 173, 181, 197, 271, 274, 275, 277, 278, 279, 292, 293, 294, 315, 364, 365, 367, 368, 370, 376
теорема про додавання швидкостей	207
теорема про форму Землі	130
теоретична фізика	101, 136, 371
теорії світла і тіней	69, 92, 97, 101-104, 120, 144, 158, 180, 181, 186, 187, 188, 191, 198, 200, 248, 259, 279, 281, 286
теорія веселки	98

теорія кольорів	98, 109
теорія «флогістона»	145
теорія бінокулярного зору	69
теорія вихорів	90, 116
теорія Гамільтона-Якобі	185
теорія Гейзенберга	252
теорія доцентрових сил	114, 120
теорія електрики	141, 142, 197
теорія електромагнітного поля	134, 189, 190, 279
теорія елементарних частинок	250, 326, 344
теорія коливання струни	144
теорія кольорів	69, 138, 139
теорія комет	130, 131
теорія лінз	76
теорія маятника	114, 122
теорія монокулярного зору	69
теорія Н. Бора	284-286
теорія перспективи	64
теорія поля	104, 113, 247, 250, 252, 260, 333, 344
теорія припливів	75, 85, 103, 113, 123, 130
теорія пружності повітря	141, 185
теорія розчинів	167
теорія руху ідеальної рідини	138
теорія струн	17, 311
теорія теплоємності	276, 277, 279
теорія теплороду	163, 164, 167
теорія удару	91, 113-116, 120, 154
теорія флогістону	145, 147, 160, 161, 162, 215
теплова машина	144
теплові теорії (теорії теплоти)	141, 145, 162, 165, 167, 171, 172
теорія теплового випромінювання	166, 167, 173, 377
теплоємність	141, 168, 169, 277, 292
теплопровідність	141, 165, 168, 292
теплота	140, 145, 162, 163, 164, 166-169, 171, 173
терм	284
термодинаміка	13, 139, 160, 164, 166, 167, 170, 171, 173, 175, 217, 273, 274, 309, 365, 368
термодинамічний метод дослідження	172
термодинамічний потенціал	166, 173
термодинамічні функції	166, 173
термоелектрика	169, 178
термоелектронна емісія	197
термометр	81, 100, 142, 144, 160, 163, 168, 181
термометрія	142, 160
термоскоп	81, 160, 169

термоядерні реакції	297, 377
техніка	13, 14, 21, 49, 50, 62, 69, 101, 132, 174, 175, 236, 237, 301
тиск	32, 46, 90, 97, 100, 116, 121, 164, 196, 197, 311
ткацтво	58
ткацькі верстати	68
торрічелева пустота	97
трактор	237
трансуранові елементи	314, 315, 316
трансформатор	236, 240, 334
турбогенератор	237
тяжіння	38, 39, 40, 45, 52, 73, 77, 79, 81, 84, 86, 92, 94, 98, 102, 103, 105, 106, 107, 114, 116, 117, 119-122, 124, 126, 128-135, 156-159, 176, 179, 256-259, 263-268, 285
удар	32, 91, 92, 120, 232
ультрафіолетова катастрофа	273
ультрафіолетова частина спектру	181
умови плавання тіл	45, 96
умови рівноваги	96, 138, 142
університет	36, 42, 46, 53, 55, 59, 60, 66, 74, 82, 83, 87, 101, 109, 139, 143, 178, 218, 219, 228, 230, 240, 243, 246, 251, 283, 292, 293, 294, 300, 301, 311, 316, 325, 337, 362, 363-370, 373, 374, 378
унітарна симетрія	326, 329
унітарна теорія	142, 216, 228
уран	14, 231, 244, 245, 246, 292, 314, 315, 318, 319, 326
фазотрон	335
феноменологічна концепція	87
ферміон	252, 255, 309, 328
фізика твердого тіла	250, 255, 375, 377
фізична картина світу	86, 90, 112, 211
фізична теорія	82, 204
фокус	76, 77, 98, 128, 130, 180, 181
фокусна відстань	99, 143, 202
формула Планка	275, 276
фортифікація	73
фотоефект	197, 248, 273, 276, 279, 281, 308, 370
фотометричний парадокс	78
фотон	253, 254, 268, 271, 272, 286, 303, 310, 312, 313, 314, 319-323, 327, 333, 341-344, 376

фотопластинка	245
фундаментальні взаємодії	250, 297-327, 341
функція Ейнштейна	278
хвилі де Бройля	249
хвиля	69, 98, 185, 190, 191, 196, 242, 254, 334
хвильова квантова механіка	251, 287, 288
хвильова теорія	43, 97, 98, 101, 102, 104, 120, 144, 158, 180, 181, 184, 185, 187, 188, 190, 198, 249, 279
хвильові функції	322, 323, 324
хімічні елементи	139, 214, 221, 223, 246, 272, 315
хімічна будова речовини	140, 222
хімія	11, 87, 214, 215, 216, 220, 221, 224, 319
X-промені	243
християнська філософія	16, 19
хроматична аберация	104, 135, 186
центр тяжіння	73
циклотрон	316, 334, 335
циркуль	50
чарівність	331
час	22, 37, 104, 111, 136, 262, 264
частота	98
частота Ейнштейна	277
частота коливань маятника	148
червоне зміщення	259, 269, 271, 272
число	22, 32, 33, 55, 165
чутливість ока	80
швидкість	38, 45, 75, 77, 84, 85, 86, 112, 121, 139, 165, 166, 188, 203, 207, 211, 266, 269, 279, 281, 341, 342
швидкість поширення звуку	129
швидкість світла	38, 66, 98, 159, 180, 187, 188, 199-204, 207, 247, 310, 342
школа	25, 27, 28, 29, 32, 34, 39, 43, 49, 73, 352, 357, 359, 362, 367, 369
шлях	39
штарк-ефект	285
штучна радіоактивність	314
явище повного внутрішнього відбивання	98
ядерна фізика	315, 318
ядро	25, 41, 291, 306, 313, 316, 317, 318, 321, 336
янтар	26

ДОДАТКИ

Додаток А. Список лауреатів Нобелівської премії з фізики

1900 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1901	 Вільгельм Конрад Рентген	Німеччина	«У знак визнання надзвичайно важливих заслуг перед наукою, що виявилися у відкритті променів, названих згодом на його честь».
1902	 Гендрік Антон Лоренц	Нідерланди	«За видатні заслуги в дослідженнях впливу магнетизму на радіаційні явища».
	 Пітер Зеєман	Нідерланди	
1903	 Антуан Анрі Беккерель (1/2 премії)	Франція	«У знак визнання його видатних заслуг, що виявилися у відкритті спонтанної радіоактивності».
	  П'єр Кюрі й Марія Кюрі (по 1/4 премії)	Франція	«За видатні заслуги в спільних дослідженнях явищ радіації».
1904	 Джон Вільям Стретт (лорд Релей)	Великобританія	«За дослідження густини найпоширеніших газів і за відкриття аргону в ході цих досліджень».
1905	 Філіп Едуард фон Ленард	Німеччина	«За роботи з дослідження катодних променів».

1906		Джозеф Джон Томсон	Великобританія	«У знак визнання заслуг в області теоретичних й експериментальних досліджень електропровідності в газах».
1907		Альберт Абрахам Майкельсон	США	«За створення точних оптичних інструментів і спектроскопічних і метрологічних досліджень, виконаних з їхньою допомогою».
1908		Габріель Ліппман	Франція	«За створення методу фотографічного відтворення кольорів на основі явища інтерференції».
1909		Гульєльмо Марконі	Італія	«За видатний внесок у створення бездротової телеграфії».
		Карл Фердинанд Браун	Німеччина	




1910 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1910	 Ян Дідерик ван дер Ваальс	Нідерланди	«За роботу над рівняннями агрегатних станів газів та рідин».
1911	 Вільгельм Він	Німеччина	«За відкриття в області законів, що керують тепловим випромінюванням».
1912	 Нільс Густав Дален	Швеція	«За винахід автоматичних регуляторів, що використовуються у сполученні з газовими акумуляторами для джерел світла на маяках і буюх».

1913		Гейке Камерлінг- Оннес	Нідерланди	«За дослідження властивостей речовини при низьких температурах, які привели до отримання рідкого гелію».
1914		Макс фон Лауе	Німеччина	«За відкриття дифракції рентгенівських променів у кристалах».
1915	 	Вільям Генрі Брегг й Вільям Лоренс Брегг	Великобританія	«За заслуги в дослідженні структури кристалів за допомогою рентгенівських променів».
1916	Премія не присуджувалась.			
1917		Чарлз Гловер Баркла	Великобританія	«За відкриття характеристичного рентгенівського випромінювання елементів».
1918		Макс Карл Еріст Людвіг Планк	Німеччина	«У знак визнання його заслуг у розвитку фізики завдяки відкриттю квантів енергії».
1919		Йоханнес Штарк	Німеччина	«За відкриття ефекта Доплера в каналних променях і розщеплення спектральних ліній в електричному полі».

1920 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1920	 Шарль Едуард Гільйом	Швейцарія	«Як визнання його заслуг перед точними вимірами у фізиці - відкриття аномалій у нікелевих сталевих сплавах».
1921	 Альберт Ейнштейн	Німеччина	«За заслуги перед теоретичною фізикою й особливо за відкриття закону фотоелектричного ефекту».
1922	 Нільс Бор	Данія	«За заслуги в дослідженні будови атомів і випромінювання, що випускається ними».
1923	 Роберт Ендрюс Міллікен	США	«За експерименти з визначення елементарного електричного заряду й вивчення фотоелектричного ефекту».
1924	 Манне Сігбан	Швеція	«Відкриття й дослідження в області рентгенівської спектроскопії».
1925	 Джеймс Франк	Німеччина	«За відкриття законів зіткнення електрона з атомом».
	 Густав Людвіг Герц	Німеччина	
1926	 Жан Батист Перрен	Франція	«За роботу з дискретної природи матерії й особливо за відкриття седиментаційної рівноваги».
1927	 Артур Голлі Комптон	США	«За відкриття ефекту, названого його ім'ям».

		Чарльз Томсон Різ Вільсон	Великобританія	«За метод візуального виявлення траєкторій електрично заряджених частинок за допомогою конденсації пари».
1928		Оуен Вільямс Річардсон	Великобританія	«За роботи з терміольних досліджень, і особливо за відкриття закону, що носить його ім'я».
1929		Луї Віктор де Бройль	Франція	«За відкриття хвильової природи електронів».

1930 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1930	 Чандрасекара Венката Раман	Індія	«Роботи з розсіювання світла й за відкриття ефекту, названого на його честь».
1931	Премія не присуджувалась.		
1932	 Вернер Карл Гейзенберг	Німеччина	«За створення квантової механіки, застосування якої привело, до відкриття алотропних формводню».
1933	 Ервін Шредінгер	Австрія	«За відкриття нових продуктивних форм атомної теорії».
	 Поль Адріен Моріс Дірак	Великобританія	
1934	Премія не присуджувалася		

1935		Джеймс Чедвік	Великобританія	«За відкриття нейтрона».
1936		Віктор Франц Гесс	Австрія	«За відкриття космічних променів».
		Карл Девід Андерсон	США	«За відкриття позитрона».
1937		Клінтон Джозеф Девіссон	США	«Експериментальне відкриття дифракції електронів в кристалах».
		Джордж Томсон	Великобританія	
1938		Енріко Фермі	Італія	«За докази існування нових радіоактивних елементів, отриманих при опроміненні нейтронами, і пов'язане із цим відкриття ядерних реакцій, що викликані повільними нейтронами».
1939		Ернест Орландо Лоуренс	США	«За винахід і створення циклотрона, за досягнуті за його допомогою результати, особливо за отримання штучних радіоактивних елементів».




1940 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1940	Премія не присуджувалася		
1941	Премія не присуджувалася		
1942	Премія не присуджувалася		
1943	 Отто Штерн	США	«Внесок у розвиток методу молекулярних пучків і відкриття та вимір магнітного моменту протона».
1944	 Ісідор Айзек Рабі	США	«За резонансний метод вимірів магнітних властивостей атомних ядер».
1945	 Вольфганг Паулі	Австрія	«За відкриття принципу заборони Паулі».
1946	 Персі Вільямс Бріджмен	США	«За винахід приладу, що дозволяє створювати надвисокі тиски, і за відкриття, зроблені у зв'язку із цим, у фізиці високих тисків».
1947	 Едвард Віктор Еплтон	Великобританія	«За дослідження фізики верхніх шарів атмосфери, особливо за відкриття так званого шару Еплтона».
1948	 Патрік Мейнард Стюарт Блекетт	Великобританія	«За вдосконалення методу камери Вільсона й зроблені у зв'язку із цим відкриттями в області ядерної фізики й космічної радіації».
1949	 Хідекі Юкава	Японія	«За пророкування існування мезонів на основі теоретичної роботи з ядерних сил».

1950 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1950	 Сесил Френк Павелл	Великобританія	«За розробку фотографічного методу дослідження ядерних процесів і відкриття мезонів, що був здійснених за допомогою цього методу».
1951	 Джон Дуглас Кокрофт	Великобританія	«За дослідницьку роботу з перетворення атомних ядер з допомогою штучно прискорених атомних частинок».
	 Ернест Томас Синтон Волтон	Ірландія	
1952	 Фелікс Блох	США	«За розвиток нових методів для точних ядерних магнітних вимірів і пов'язані із цим відкриття».
	 Едвард Міллс Перселл	США	
1953	 Фріц Церніке	Нідерланди	«Премія за обґрунтування фазово-контрастного методу, особливо за винахід фазово-контрастного мікроскопа».
1954	 Макс Борн	Великобританія	«За фундаментальні дослідження із квантової механіки, особливо за його статистичну інтерпретацію хвильової функції».
	 Вальтер Боті	ФРН	«За метод співпадання для виявлення космічних променів і зроблені у зв'язку із цим відкриття».




1955		Віллїс Юджин Лемб	США	«За відкриття, пов'язані з тонкою структурою спектра водню».
		Полїкарп Куш	США	
1956		Джон Бардїн	США	«За дослідження напівпровідників і відкриття транзисторного ефекту».
		Волтер Хаузер Браттейн	США	
		Вільям Бредфорд Шоклі	США	
1957		Лї Цзундао	КНР	«За передбачення при вивченні так званих законів парності, про незбереження симетричності (хіральність), що привело до важливих відкриттів в галузі квантової механіки».
		Чженьнїн Янг	КНР	
1958		Павло Олексїйович Черенков	СРСР	«За відкриття й тлумачення ефекту Черенкова».
		Ілля Михайлович Франк	СРСР	

		Ігор Євгенович Тамм	СРСР	
1959		Оуен Чемберлен	США	«За відкриття антипротона».
		Еміліо Джино Сегре	Італія	

1960 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1960	 Дональд Артур Глазер	США	«За винахід бульбашкової камери».
1961	 Роберт Хофштедтер	США	«За основні дослідження з розсіювання електронів на атомних ядрах і пов'язаних з ними відкриттів в області структури нуклонів».
	 Рудольф Людвіг Мессбауер	ФРН	«За дослідження резонансного поглинання гамма-випромінювання й відкриття у зв'язку із цим ефекту, що носить його ім'я».
1962	 Лев Давидович Ландау	СРСР	«За його піонерські теорії конденсованих середовищ й особливо рідкого гелію».
1963	 Юджин Пол Вігнер	США	«За внесок у теорію атомного ядра й елементарних частинок, особливо за допомогою відкриття додатка фундаментальних принципів симетрії».

		Марія Гепперт-Маєр	США	«За відкриття, що стосуються оболонкової структури ядра».
		Ганс Єнсєн	ФРН	
1964		Чарлз Хард Таунс (1/2 премії)	США	«За фундаментальні роботи в області квантової електроніки, що призвели до створення випромінювачів і підсилювачів на лазерно-мазерному принципі».
		Микола Геннадійович Басов(1/4 премії)	СРСР	
		Олександр Михайлович Прохоров (1/4 премії)	СРСР	
1965		Синітіро Томонага	Японія	«За фундаментальні роботи із квантової електродинаміки, що мали глибокі наслідки для фізики елементарних частинок».
		Джуліан Швінгер	США	
		Річард Філіпс Фейнман	США	
1966		Альфред Кастлер	Франція	«За відкриття й розробку оптичних методів дослідження резонансів Герца в атомах».

1967		Ганс Альбрехт Бете	США	«За внесок у теорію ядерних реакцій, особливо за відкриття, що стосуються джерел енергії зірок».
1968		Луїс Волтер Альварес	США	«За винятковий внесок у фізику елементарних частинок, зокрема за відкриття великого числа резонансів, що стало можливим завдяки розробленій ним техніці з використанням водневої бульбашкової камери й оригінальному аналізу даних».
1969		Маррі Гелл-Ман	США	«За відкриття, пов'язані із класифікацією елементарних частинок й їхніх взаємодій».

1970 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування	
1970		Ганнес Альфвен	Швеція	«За фундаментальні роботи й відкриття в магнітній гідродинаміці й плідні застосування їх у різних областях фізики».
		Луї Ежен Фелікс Неель	Франція	«За фундаментальні праці й відкриття, що стосуються антиферромагнетизму й ферромагнетизму, які спричинили важливі застосування в області фізики твердого тіла».
1971		Денніс Габор	Великобританія	«За винахід і розробку голографічного методу».

1972		Джон Бардін	США	«За створення теорії надпровідності, яку зазвичай називають теорією БКШ».
		Леон Ніл Купер	США	
		Джон Роберт Шріффер	США	
1973		Есакі Леон (Лео)	Японія	«За експериментальні відкриття тунельних явищ в напівпровідниках і надпровідниках».
		Івар Йевер	Норвегія, США	
		Брайан Девід Джозефсон	Великобританія	
1974		Мартін Райл	Великобританія	«За піонерські дослідження в області радіофізики».
		Ентоні Хьюїш	Великобританія	

1975		Оге Нільс Бор	Данія	«За відкриття взаємозв'язку між колективним рухом і рухом окремої частинки в атомному ядрі й розвиток теорії будови атомного ядра, що базується на цьому взаємозв'язку».
		Бен Рой Мотгельсон	Данія	
		Лео Джеймс Рейнуотер	США	
1976		Бертон Ріхтер	США	«За основний внесок по відкриттю важкої елементарної частинки нового типу».
		Семюел Тінг	США	
1977		Філіп Воррен Андерсон	США	«За фундаментальні теоретичні дослідження електронної структури магнітних і неупорядкованих систем».
		Невілл Френсіс Мотт	Великобританія	
		Джон Ван Флек	США	
1978		Петро Леонідович Капиця	СРСР	«За його базові дослідження й відкриття у фізиці низьких температур».
		Арно Аллан Пензіас	США	«За відкриття мікрохвильового реліктового випромінювання».

		Роберт Вудро Вільсон	США	
1979		Шелдон Лі Глешоу	США	«За внесок в об'єднану теорію слабких й електромагнітних взаємодій між елементарними частинками, у тому числі передбачення слабких нейтральних струмів».
		Абдус Салам	Пакистан	
		Стівен Вайнберг	США	

1980 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування	
1980		Джеймс Вотсон Кронін	США	«За відкриття порушень фундаментальних принципів у розпаді нейтральних К-мезонів».
		Вал Логсден Фітч	США	
1981		Ніколас Бломберген	США	«За внесок у розвиток лазерної спектроскопії».
		Артур Леонард Шавлов	США	
		Кай Сігбан	Швеція	«За внесок у розвиток електронної спектроскопії з високою роздільною здатністю».

1982		Кеннет Вільсон	США	«За теорію критичних явищ у зв'язку з фазовими переходами».
1983		Субраманьян Чандрасекар	Індія, США	«За теоретичні дослідження фізичних процесів, що грають важливу роль у будові і еволюції зірок».
		Вільям Альфред Фаулер	США	«За теоретичне й експериментальне дослідження ядерних реакцій, що мають важливе значення для утворення хімічних елементів Всесвіту».
1984		Карло Руббіа	Італія	«За вирішальний внесок у великий проект, здійснення якого привело до відкриття квантів поля W й Z - носіїв слабкої взаємодії».
		Симон ван дер Мер	Нідерланди	
1985		Клаус фон Клітцинг	ФРН	«За відкриття квантового ефекту Холла».
1986		Ернст Руска	ФРН	«За роботу над електронним мікроскопом».
		Герд Бінніг	ФРН	«За винахід скануючого тунельного мікроскопа».

		Генріх Рорер	Швейцарія	
1987		Георг Беднорц	ФРН	«За важливий прорив у фізиці, що виразився у відкритті надпровідності в керамічних матеріалах».
		Александр Мюллер	Швейцарія	
1988		Леон Ледерман	США	«За метод нейтринного променя й доказ двоїстої структури лептонів за допомогою відкриття мюонного нейтрино».
		Мелвін Шварц	США	
		Джек Стейнбергер	США	
1989		Норман Рамзей	США	«За винахід методу роздільних коливальних полів і його використання у водневому мазері й інших атомних годинниках».
		Ганс Демельт	США	
	Лауреат на nobelprize.org	Вольфганг Пауль	ФРН	

1990 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
1990	 Джером Фрідман	США	«За піонерські дослідження глибоко непружного розсіювання електронів на протонах і зв'язаних нейтронах, істотно важливих для розробки кваркової моделі у фізиці частинок».
	 Генрі Кендалл	США	
	 Річард Тейлор	Канада	
1991	 П'єр Жиль де Жен	Франція	«За виявлення того, що методи, розвинені для вивчення явищ упорядкованості в простих системах, можуть бути узагальнені на рідкі кристали й полімери».
1992	 Жорж Шарпак (Григорій Харпак)	Франція	«За відкриття й створення детектерів часток, зокрема багатодротової пропорційної камери».
1993	 Рассел Халс	США	«За відкриття нового типу пульсарів, що дало нові можливості у вивченні гравітації».
	 Джозеф Тейлор мол.	США	
1994	 Бертрам Брокхауз	Канада	«За створення нейтронної спектроскопії».

		Кліффорд Шалл	США	«За створення методу нейтронної дифракції».
1995		Мартін Перл	США	«За відкриття тау-лептона».
		Фредерік Рейнс	США	«За експериментальне виявлення нейтрино».
1996		Девід Лі	США	«За відкриття надплинності гелію-3».
		Дуглас Ошеров	США	
		Роберт Ричардсон	США	
1997		Стівен Чу	США	«За створення методів охолодження й уловлювання атомів лазерним променем».
		Клод Коен-Таннуджи	Франція	
		Вільям Філіпс	США	

1998		Роберт Лафлін	США	«За відкриття нової форми квантової рідини (при низьких температурах і сильному магнітному полі) у частинки з новими властивостями, що мають, зокрема, дробовий електричний заряд».
		Хорст Штермер	Німеччина	
		Деніел Цуї	США	
1999		Герард Хоофт	Нідерланди	«За прояснення квантової структури електрослабких взаємодій».
		Мартін Вельтман	Нідерланди	

2000 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування	
2000		Жорес Іванович Алфьоров	Росія	«За розробки в напівпровідниковій техніці».
		Герберт Кремер	Німеччина	

		Джек Кілбі	США	«За дослідження в області інтегральних схем».
2001		Ерік Корнелл	США	«Досягнення у вивченні процесів конденсації Бозе-Ейнштейна в середовищі вироджених газів і за початкові фундаментальні дослідження характеристик конденсатів».
		Карл Віман	США	
		Вольфганг Кеттерле	Німеччина	
2002		Раймонд Девіс молодший	США	«За створення нейтринної астрономії».
		Масатосі Косіба	Японія	
		Ріккардо Джакконі	США	
2003		Олексій Олексійович Абрикосов	Росія, США	«За створення теорії надпровідності другого роду та теорії надплинності рідкого гелію-3».
		Віталій Лазарович Гінзбург	Росія	
		Ентоні Леггет	Великобританія, США	

2004		Девід Гросс	США	«За відкриття асимптотичної свободи у теорії сильних взаємодій».
		Девід Політцер	США	
		Френк Вільчек	США	
2005		Рой Глаубер	США	«За внесок в квантову теорію оптичної когерентності; за внесок у розвиток лазерної високоточної спектроскопії і техніки прецизійного розрахунку світлового зрушення в оптичних стандартах частоти»
		Джон Голл	США	
		Теодор Генш	Німеччина	
2006		Джон Матер	США	«За відкриття анізотропії і чорнотільної структури енергетичного спектру космічного фонового випромінювання».
		Джордж Смут	США	
2007		Альбер Фер	Франція	«За відкриття ефекту гігантського магнетоопору»

		Петер Грюнберг	Німеччина	
2008		Макото Кобаясі	Японія	«За встановлення походження симетрії, що передбачає існування в природі щонайменше трьох сімейств кварків»
		Тосіхіде Масукава	Японія	
		Йоїчіро Намбу	США	
2009		Чарлз Куен Као	Гонконг, Великобританія, США	«За революційні відкриття стосовно передачі світла оптоволоконними лініями для оптичного зв'язку»
		Віллард Бойл	Канада, США	«За винахід напівпровідникової схеми для отримання зображень - ПЗЗ-сенсора»
		Джордж Сміт	США	

2010 роки

Рік	Лауреат	Країна	Обґрунтування
2010	 Андрій Гейм	Нідерланди	«за експерименти з двовимірним матеріалом графеном».
	 Костянтин Новоселов	Росія	
2011	 Сол Перлматтер	США	«за відкриття прискореного розширення Всесвіту за допомогою спостережень над далекими надновими».
	 Браян П. Шмідт	Австралія	
	 Адам Рісс	США	
2012	 Серж Арош	Франція	«за основоположні експериментальні методи, які уможливають вимірювання та маніпулювання окремими квантовими системами»
	 Девід Вайнленд	США	

Додаток Б. Періодизація розвитку наукової думки та методів дослідження від VII ст. до н.е. до XXI ст.н.е.

Періоди розвитку	Досократівський		Іонійський		Елінійський язичний			Римський	Х р и с т и я н с ь к и й					Еколого-гуманістичний																																																																					
	VI		III		I			V	VII XII		XIX			Західноєвропейський		Індустріальний																																																																			
Філософія	Фалес		Піфагорійська		Перипатетична Арістотеля			Християнська духовна		Перипатетична Богословна Платона, Арістотеля			Ідеалістична																																																																						
	Іонійська		Елінійська			Неоплатонізм		Матеріалістична																																																																											
Системи Всесвіту	VI		V		III			VI		XII			XVII																																																																						
	Піроцентрична Філолея		Геліоцентрична Самоського		Геоцентрична			Геоцентрична Птолемея		Геліоцентрична Коперніка																																																																									
Наукові ідеології	VII		III		III			XII		XVII			XX		XXI																																																																				
	Піфагорійська		Арістотелівська			Картезіанська		Ньютоніанська			Діалектичний																																																																								
Методи дослідження	VI		III			XVII		XX			XXI																																																																								
	Інтерактивний		Індуктивний			Дедуктивний			Інтерактивний																																																																										
Устрій	I		II		III			IV		V			VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		XIII		XIV		XV		XVI		XVII		XVIII		XIX		XX		XXI																																								
Століття	VII		VI		V			IV		III			II		I			0			I			II			III			IV			V			VI			VII			VIII			IX			X			XI			XII			XIII			XIV			XV			XVI			XVII			XVIII			XIX			XX			XXI		

~424~

Додаток В. Історія розвитку природознавчих наук (VII ст. до н.е. - XIX ст. н.е.)

Рис. В.1. Історія розвитку природознавчих наук (VII ст. до н.е. - III ст. н.е.)

Методологія науки		Піфагор	Лао Цзи	Арістотель	Мен Цзи			Ван Чун		
Теормеханіка						Герон				
Матаналіз					Архімед, Філон					
Експериментальна фізика										
Електрика		Фалес								
ФКС	У –Цзин, Фалес	Піфагор	Демокріт	Арістотель, Стратон	Архімед, Аполоній				Птолемей	
Техніка		Піфагор			Архімед	Герон	Варрона	Фронтин		Капелла
Геометрія		Піфагор	Кнідський, Демокріт	Евклід	Евклід, Ератосфен					
Гідродинаміка										
Атомістика	Даосизм, Вайшешика	Левкіп, Геракліт, Анаксагор, Фалес, Анаксимандр	Демокріт, Гіпократ, Емпедокл	Демокріт, Епікур	Епікур		Лукрецій Хун			
Астрономія				Лю Цзя Ші шен, Евдокл, Гераклід	Аполоній, Архімед, Ератосфен,	Гіппарх	Хуань Тань, Ціцерон	Чжань Хену, Ван Чун	Птолемей	
Геліоцентрична система				Евдос, Самоський	Самоський					
Геоцентрична система				Арістотель					Птолемей, Гіппарх	
Матеріалістична основа релігії	Локоята	Піфагор	Сократ	Ян Чжу, Філолей				Ван Чун	Птолемей	
Божа роль чисел		Піфагор		Платон	Самоський					
Теплота				Арістотель		Герон				Папп
Оптика		Анаксагор, Демокріт			Евклід	Герон			Птолемей	
	VII	VI	V	IV	III	II	I	I	II	III

Рис. В.2. Історія розвитку природознавчих наук (III ст. - XIII ст.)

Методологія науки										
Теормеханіка			Аль Хазіні			Філонон				Саксонський
Матаналіз										
Експериментальна фізика										Р.Бекон
Електрика										
ФКС			Ширакаці			аль Хорезми		Альхазен Біруні	Хайяма	
Техніка										
Геометрія								Біруні		
Гідродинаміка										
Атомістика										Скотт
Астрономія	Ши Шен			Абрахат				Анарцій		
Геліоцентрична система										
Геоцентрична система										Бернард, Тьеррі
Матеріалістична основа релігії										
Божа роль чисел										
Теплота										
Оптика								Альхазен		
	VI	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
										Вітеллія

Рис. В.3. Історія розвитку природознавчих наук (XIV ст. – XIX ст.)

Методологія науки				Декарт, Бекон, Галілей, Рен	Ньютон	
Теормеханіка	Брюсельський			Стевін, Гюйгенс, Уолліс, Галілей, Гук	Ньютон	Гамільтон Остроградський, Бошкович, Гаусс, Якобі
Матаналіз		Леонардо да Вінчі	Гільберт, Коперник	Стевін, Торрічеллі, Геріке, Грімальді, Бартолін, Бойль	Ньютон, Ейлер, Лейбніц, Клеро	Лагранж, Даламбер, Лаплас
Експериментальна фізика					Ньютон	
Електрика			Гільберт	Геріке, Бойль	Ньютон	
ФКС				Картезіанська школа, Декарт	Ньютоніанська школа	
Техніка					Уатт Аркرایт Ползунов Ньюкомен	
Геометрія						
Гідродинаміка				Бойль, Торрічеллі	Бернуллі	
Атомістика	Отрикула			Бойль, Галілей	Ломоносов	Голіцин, Авенаріс, Ендрюс, Ван дер Ваальс
Астрономія		Улугбек	Браге	Гюйгенс, Кеплер	Ломоносов, Гюйгенс, Гук, Рьомер, Ньютон	
Геліоцентрична система			Коперник, Бруно		Ньютон	
Геоцентрична система						
Матеріалістична основа релігії					Ломоносов, Ньютон	
Божа роль чисел					Берклі Юма Кант	
Теплота				Галілей	Крафт, Шталь, Ломоносов	Біо, Ламберт, Гесс, Гібс, Кіргоф, Менделєєв
Оптика		Леонардо да Вінчі	Мавролік	Галілей, Гюйгенс, Гук, Декарт, Ремер, Грімальді	Амонт, Ламберт, Гук, Брайлей, Гюйгенс, Ньютон, Вольта, Бугер	Юнг, Фізо, Фраунгофер, Малюс, Френель, Араго, Брюстер
	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агале́й Д.И. История города Харькова за 259 лет его существования. / Д.И.Агале́й, Д.П.Миллер. – Т. 1. – Харьков, 1905. – С. 34-391.
2. Агафошин Н.П. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И.Менделеева: [пособие для учащихся] / Агафошин Н.П. – М.: Просвещение, 1982. – 192 с.
3. Андрия́нов В.М. Нариси з історії розвитку фізики в Україні. / Андрия́нов В.М. – [2-е вид.]. – Рівне: ДАН, 1998. – 268 с.
4. Аристотель. Сочинения. / Аристотель. – М: Мисль, 1975. – Т. 1. – С. 20-217.
5. Бекон Ф. Новый органон / Бекон Ф. – М.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 135-485.
6. Билярский П.С. Материалы для биографии Ломоносова. / Билярский П.С. – СПб, 1865. – С. 313.
7. Биховский Б.Э. Пьер Гассенди и французский материализм XVII в. / Б.Э.Биховский // Научные труды Московского государственного экономического института. – Вып. 1. – М.: Изд-во МГЭИ, 1957. – С. 74-76.
8. Блекуелл Дж. Законы движения Декарта / Блекуелл Дж. //Физика на рубеже XVII-XVIII ст. – М.: Наука, 1974. – 248 с.
9. Боголюбов Н.Н. Введение в теорию квантовых полей. / Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков – [4-е изд., испр.]. – М.: Наука, 1984. – 600 с.
10. Большая советская энциклопедия. – [2-е изд.]. – Т. 25. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – С. 315-316.
11. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. / Вавилов С.И. – М.: Изд-во АН СССР, 1943. – С. 102-103.
12. Вавилов С.И. Собрание починений. / Вавилов С.И. – Т. III. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С.98.
13. Вайнберг С. Первые три минуты (Современный взгляд на происхождение Вселенной). / Вайнберг С. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
14. Галілей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. / Галілей Г. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – С. 89.
15. Гальвані Л. Избранные работы о животном электричестве. / Л.Гальвані, А.Вольта – М.-Л.: ОГИЗ, 1937. – С. 45-189.
16. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. / Гейзенберг В. – М.: Наука, 1990. – 399 с.
17. Гелл-Манн М. Сильное взаимодействие частицы. / Гелл-Манн М. – Дубна: ОИЯИ, 1964. – 167 с.
18. Гельмгольц Г. О сохранении силы. / Гельмгольц Г. – М.: ГИЗ, 1922. – С. 6-7.
19. Гельмгольц Г. Популярны́е речи. / Гельмгольц Г. – [2-е изд.] – Т. 1. – М.: СПб., 1898. – 124 с.
20. Герлак Г. Ньютон и Эпикур. / Г.Герлак //Физика на рубеже XVII-XVIII ст. – М.: Наука, 1974. – 248 с.
21. Геронимус Я.Л. Очерки о работах корефеев русской механики. / Геронимус Я.Л. – М.: Гостехиздат, 1952. – 519 с.

22. Гиббс Дж. Основные принципы статистической механики. / Гиббс Дж. – М.-Л.: ГТТИ, 1946. – С. 14-230.
23. Глэшоу Ш. Кварки с цветом и ароматом. / Ш.Глэшоу // УФН, 119. – Вып. 4. – 1976. – С. 26-42.
24. Голицин Б.Б. Обзор физики в современном ее состоянии. / Б.Б.Голицин //Ученые записки Императорского Юрьевского университета. – Юрьев: 1893. – № 3. – С. 12-13.
25. Голуб А.М. Периодичный закон Д.И.Менделеева – фундаментальный закон природы / А.М.Голуб, А.М.Петрусенко. – К.: Б.В., 1960. – 57 с.
26. Гольдин Л.Л. Об ускорителях. / Л.Л.Гольдин, В.И.Николаев. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
27. Гольдман О. Фізика в Україні у 10-ту річницю Радянської України. / О.Гольдман // Вісник природознавства. – 1927. – № 5-6. – С. 257-272.
28. Гончаренко С.У. Фізика, 11. / Гончаренко С.У. – К.: Освіта, 1995. – 446 с.
29. Горбов А.И. Флогістон. / А.И.Горбов // Энциклопедический словарь. – СПб., 1902. – Т. 71. – С. 139.
30. Гуриков В.А. К вопросу развития теории теплового излучения / В.А.Гуриков //Вопросы истории естествознания и техники. – Вып. 3-4 (56-57). – М.: Наука, 1977. – С. 69-72.
31. Декарт Р. Рассуждение о методе для руководства разума и отыскания истины в науках. / Декарт Р.; пер. и предисл. Г.Тымянского. – М.: Нова Москва, 1925. – С. 47-65.
32. Дирак П. Лекции по квантовой теории поля. / П.Дирак. – М.: Мир, 1971. – С. 10-78.
33. Дирак П. Принципы квантовой механики. / Дирак П.; пер. с англ. – М.: Наука, 1960. – С. 34-340.
34. Зоммерфельд А. Строение атома и спектра. / Зоммерфельд А.; пер. А.Ф.Иоффе и П.И.Лукирского. – Ч. 1. – М.-Л.: ГИЗ, 1926. – С. 5-967.
35. Зюков П.И. Научные связи М.Планка и Б.Б.Голицына. / П.И.Зюков. – М.: Наука, 1958. – С. 43-76.
36. Иваненко Д.Д. Элементарные частицы / Иваненко Д.Д. //Очерки развития основных физических идей. – М.: АН СССР, 1959. – С. 422-511.
37. Из предистории радио. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. – С. 24-124.
38. Изгур Н. Спектроскопия андронов и кварки / Н.Изгур, Г.Карл //Физика за рубежом. –М.: Наука, 1985. – С. 28-54. – (Серия А: исследования)
39. Илиопулос Д.Ж. Введение в калибровочные теории / Д.Ж.Илиопулос. //УФН – Т.128. – Вып. 4. – 1977. – С. 588.
40. Йордан П. Причинность и статистика в современной физике. / П.Йордан. //УФН. – Т. 7. – 1927. – С. 318.
41. Иоффе А.Ф. Макс Планк (Воспоминания) / А.Ф.Иоффе //Макс Планк 1858-1958. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С.90.

42. Капцов Н.А. Павел Николаевич Яблочков, 1847–1894: Его жизнь и деятельность / Капцов Н.А. – М.: Гостехиздат, 1957. – 96 с. – (Люди русской науки).
43. Кергон Р. Ньютон, Барроу и гипотетическая физика. / Р.Кергон //Физика на рубеже XVII-XVIII ст. –М.: Наука, 1974. – 248 с.
44. Кобзарев И.Ю. Ньютон и его время. Четыре очерка. / Кобзарев И.Ю. – М.: Знание, 1978. – 64 с.
45. Комар А.А. Кварки – новые субединицы материи. / Комар А.А. –М.: Знание, 1982. – 64 с.
46. Коперник, Галилей, Кеплер, Лаплас, Эйлер, Кетле. Биографические повествования (библиотека Ф. Павленкова). – Глава V. – Челябинск: Урал, 1997. – С. 7.
47. Копилевич Ю.Х. Возникновение научных Академий. / Копилевич Ю.Х. – Л.: Наука, 1974. – 267 с.
48. Кордун Г.Г. Історія фізики: [навч. посібн.]. / Кордун Г.Г. – [3-тє вид., перероб. і допов.]. – К.: Вища шк., 1993. – 280 с.
49. Кудрявцев П.С. История физики. / Кудрявцев П.С. – Т. III. От открытия квант до квантовой механики. – М.: Просвещение, 1971. – 424 с.
50. Кудрявцев П.С. Курс истории физики: [учеб. пос. для студ. физ.-мат. фак. ин-тов.] / Кудрявцев П.С. – М.: Просвещение, 1974. – 312 с.
51. Кузнецов Б.Г. Основные идеи квантовой механики. / Б.Г. Кузнецов. //Очерки развития основных физических идей. – М.: АН СССР, 1959. – С. 285-421.
52. Курчатов И.В. Расщепление атомного ядра. / Курчатов И.В. – Л-М.: ОНТИ, 1935. – С. 3-167.
53. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: [навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти]: у 3 т. / І.М.Кучерук, І.Т.Горбачук; за ред. І.М.Кучерука. – К.: Техніка, 1999. – Т. 3: Оптика. Квантова фізика. – 1999. – 520 с.
54. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: [в 9-ти томах]. / Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. – Т.9. – М.: Наука, 1973. – 504 с.
55. Ланжевен П. Избранные произведения. / Ланжевен П. – М.: Иностранная литература, 1949. – С. 396-397.
56. Лансберг Г.С. Оптика. / Лансберг Г.С. – [5-е изд.перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
57. Лебедев В.И. Очерки по истории точных наук / Лебедев В.И. – Вып. 4. – Петроград, 1920. – 72 с.
58. Леонардо да Вінчі. Избранные естественнонаучные произведения. / Леонардо да Вінчі. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 25.
59. Ли Ц.Д. Слабые взаимодействия. / Ц.Д.Ли, Ц.Ву – М.: Мир, 1968. – 216 с.
60. Ломоносов М.В. Полное собрание починений. / Ломоносов М.В. – Т. I. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 243.
61. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений. / Ломоносов М.В. – Т. II. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 11-649.

62. Лоренц Г.А. Теория и модели эфира. / Лоренц Г.А. – М-Л.: ОНТИ, 1936. – 68 с.
63. Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и излучения. – М.: Гостехиздат, 1953. – С. 16-204.
64. Лоцци М. История физики / Лоцци М.; [пер. с итальянского Э.Л.Бурштейна]. – М.: Мир, 1970. – 464 с.
65. Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии. / Майер Р. – М.: ГТТИ, 1933. – С. 78-133.
66. Майкельсон А.А. Исследования по оптике. / Майкельсон А.А. – М-Л.: ОНТИ, 1928. – 199 с.
67. Макареня А.А. Д.И.Менделеев. / А.А.Макареня, Ю.В.Рысев. – М.: Просвещение, 1983. – 128 с.
68. Максвелл Д. Трактат об электричестве и магнетизме: [в 2-х томах] / Максвелл Д.; пер. с англ. – М.: Наука, 1989. – Т. 1. – 416 с.; Т. 2 – 436 с.
69. Максвелл Д. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. / Максвелл Д. – М.: Гостехиздат, 1952. – 686 с.
70. Маркс К. Сочинения. / К.Маркс, Ф.Энгельс. – Т. 20. – М.: Политиздат, 1980. – С. 5-372.
71. Менделеев Д.И. Периодический закон / Менделеев Д.И. – М.: АН СССР, 1958. – 832 с.
72. Меншуткин Б.Н. Химия и пути ее развития. / Меншуткин Б.Н. – М-Л.: АН СССР, 1937. – 352 с.
73. Мигдал А.Б. Как рождаются физические теории. / Мигдал А.Б. – М.: Педагогика, 1984. – 127 с.
74. Мизнер Ч. Гравитация. / Ч.Мизнер, К.Торн, Дж.Уилер. – Т. 3. – М.: Мир, 1977. – 268 с.
75. Милликен Р. Электрон. / Р.Милликен; пер. В.А.Фока, под ред. С.И.Вавилова. – М.: ГИЗ, 1924. – С. 23-284.
76. Минченко Л.С. Физика Эйлера. / Л.С.Минченко //Труды института истории естествознания и техники. – Т. 19. – М.: Издательство ИИЕТ, 1957. – С. 263.
77. Мултановский В.В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе. / Мултановский В.В. – М.: Просвещение, 1977. – 168 с.
78. На важных направлениях научно-технического прогресса. // Физика в школе. – №2. – 1996. – С. 7-12.
79. На важных направлениях научно-технического прогресса. // Физика в школе. – №2. – 1994. – С. 4-8.
80. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Пер. и ред. Академика А.Н Крылова. – М.: Гостехиздат, 1937. – 265 с.
81. Об основах геометрии //Сборник классических работ по геометрии Лобачевского и развитию ее идей. – М.: Гостехиздат, 1956. – 278 с.
82. Оконь Л.Б. Физика элементарных частиц. / Оконь Л.Б. – М.: Наука, 1988. – 272 с.
83. Очерки развития основных физических идей / [под. ред. А.Т.Григорьян, Л.С.Полак] – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 512 с.

84. Павлов М.Г. Основания физики. / Павлов М.Г. – Ч. II. – М.: в типографии Н.Степанова, 1836. – С. 68-92.
85. Паули В. Теория относительности. / Паули В. – М-Л.: Гостехиздат, 1947. – 360 с.
86. Петраков В. Маленький Париж / Петраков В. – М, 2004. – С.25.
87. Планк М. Избранные труды. / Планк М. – М.: Изд-во АН СССР, 1975. – 788 с.
88. Планк М. Принцип сохранения энергии. / Планк М. – М-Л.: АН СРСР, 1938. – С. 183.
89. Платон. Избранные диалоги / Платон; [пер. с древнегреческого] – М.: Художественная литература, 1965. – 343 с.
90. Популярные речи. – Ч. II. – СПб.-М.: Изд. Моск. ун-та, 1899. – С. 5.
91. Пуанкаре А. Избранные труды. / Пуанкаре А. – Т. III. – М.: Гостехиздат. 1956. – 570 с.
92. Путилов К.А. Термодинамика. / Путилов К.А. – М.: Наука, 1971. – С. 40-55.
93. Радугин А.А. Философия: Курс лекций / Радугин А.А. –М.: Владос, 1995. – 304 с.
94. Развитие физики в России (Очерки): [пос. для учителей.]. / Ред. чл.-кор. АН СССР А.С.Предводителя и проф. Б.И.Спасский; сост. А.Ф.Кононков. – Т. 1. – М.: Просвещение, 1970. – 447 с.
95. Райнов Т.И. Наука в России XI-XVII веков. / Райнов Т.И. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – С. 37-139.
96. Раков Е.Г. Менделев – невоспетый герой?! / Раков Е.Г. // Химия. – 2000. – № 12.
97. Редин Е.К. Христианская топография Козьмы Индикоплова по греческим и русским спискам. / Редин Е.К. – Ч. 1. – М., 1916. – С. 45-78.
98. Рекало М.П. Современные представления о структуре адронов. / М.П.Рекало //Очерки по истории развития ядерной физики в СССР. – К.: Наук. думка, 1982. – С. 168-182.
99. Риман Б. Сочинения. / Риман Б. – М-Л.: Гостехиздат, 1948. – С. 23-443.
100. Рихман Г.В. Труды по физике. / Рихман Г.В. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 84.
101. Ронки В. Оптика Кеплера и оптика Ньютона / В.Ронки // Вопросы истории естествознания и техники. – Вып. 15. – 1963. – С. 66.
102. Рубін В. Темна матерія у Всесвіті / В.Рубін //Світ науки. – 2001. – № 2 (8). – С. 102-129.
103. Рябухин Ю.С. Ускоренные пучки и их применение. / Ю.С.Рябухин, А.В.Шальнов. – М.: Атомиздат, 1980. – 214 с.
104. Садовий М.І. Наукові школи в Україні: [наук.-метод. матеріали] / Садовий М.І. – Кіровоград: Принтер, 2002. – 160 с.
105. Садовий М.І., Кондратьєва Л.І., Гавриленко О.А. Нариси з еволюції основних фізичних ідей ХІХ-ХХ, початку ХХІ ст.: [наук.-метод. пос. для викл. пед. ВУЗів та майбутніх учителів.] / За ред. Садового М.І. – Кіровоград:

Ексклюзив-Систем, 2008. – 337 с.

106. Садовий М.І. Місія І.Є.Тамма: [навч.-метод. пос.] / М.І.Садовий, О.М.Трифорова. – Кіровоград: Сабоніт, 2011. – 134 с.

107. Садовий М.І. Окремі питання сучасної та традиційної фізики: [навч. посіб. для студ. пед. навч. закладів освіти] / М.І.Садовий, О.М.Трифорова. – Кіровоград: Вид-во ПП «Каліч О.Г.», 2007. – 138 с.

108. События и факты из мира науки и техники // Физика в школе. – № 4. – 2000. – С. 8-9.

109. События факты из мира науки и техники. // Физика в школе. – № 4. – 1996. – С. 9-10.

110. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – 1600 с.

111. Соколов М.И. Славянская книга Еноха Праведного. Тексты, латинский перевод и исследование. / Соколов М.И. – М., 1910. – С. 23-56.

112. Соловьев С.М. Сочинения: [в 18 кн.; Кн. 1. Т.1-2.] / Соловьев С.М.; отв. ред. И.Д.Ковальченко, С.С.Дмитриев; Вступ. ст. И.Д.Ковальченко, С.С.Дмитриева. – М.: Мысль, 1988. – 797 с.

113. Спасский Б.И. История физики: [учеб. пособие для вузов] / Спасский Б.И. – [2-е изд., перераб. и доп.] – Ч. I. – М.: Высшая школа, 1977. – 320 с.

114. Спасский Б.И. История физики: [учеб. пособие для вузов]. / Спасский Б.И. – [2-е изд., перераб. и доп.] – Ч. II. – М.: Высшая школа, 1977. – 312 с.

115. Степанов Б.И. Джозеф Блэк. / Б.И.Степанов // Наука и жизнь. – 1939. – № 9. – С. 8-10.

116. Тамм И.Е. Основы теории электричества. / Тамм И.Е. – М.: Наука, 1989. – 504 с.

117. Тет Н.Г. Обзор некоторых из новейших успехов физических знаний. / Тет Н.Г. – СПб., 1877. – С. 41-42.

118. Тиндаль Д. Теплота, рассматриваемая как род движения. / Тиндаль Д. – СПб, 1864. – С. 40.

119. Томсон Дж.Дж. Электричество и материя. / Томсон Дж.Дж. – М.: ГИЗ, 1928. – С. 56-169.

120. Третьяков П.Н. Восточнославянские племена. / Третьяков П.Н. – [2-е изд.]. – М.: Издательство АН СССР, 1953. – С. 67.

121. Трифонова О.М. Взаємозв'язки принципів науковості та наочності в умовах кредитно-модульної системи навчання квантової фізики студенті вищих навчальних закладів: дис. ... канд. педагог. наук: 13.00.02 / Трифонова Олена Михайлівна. – Кіровоград, 2009. – 216 с.

122. Трифонова О.М. Становлення основних ідей квантової механіки / О.М.Трифорова, М.І.Садовий // Фізика. Нові технології навчання: [зб. наук. праць студ.]. – Вип. 2. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2003. – С. 16-19.

123. Український фізичний журнал. – Том 47, № 2. – 2002. – С. 109-208.

124. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. / Фарадей М. – Т. I. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 730 с.

125. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. / Фарадей М. – Т. II. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 57-151.
126. Фейман Р. Феймановские лекции по физике / Р.Фейман, Р.Лейтон, М.Сендс; пер. с англ. – Т.8. – М.: Мир, 1968. – 272 с.
127. Ферми Э. Элементарные частицы. / Ферми Э. – М.: Иностранная литература, 1953. – С. 5-148.
128. Физический энциклопедический словарь / [гл. ред. А.М.Прохоров; ред. кол. Д.М.Алексеев, А.М.Бонч-Бруевич, А.С.Боровик-Романов и др.] – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.
129. Фок В.А. Квантовая механика. / В.А. Фок // Математика и естествознание в СРСР. – М-Л.: 1938. – С. 165-176.
130. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. / Фок В.А. – [2 изд.] – М.: Наука, 1961. – С. 23-132.
131. Франкфурт У.И. Закон сохранения и превращения энергии. / Франкфурт У.И. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
132. Френель О. Избранные труды по оптике. / Френель О. – М.: Гостехиздат, 1955. – С. 7-423.
133. Хвольсон О.Д. Курс физики./ Хвольсон О.Д. – Т. 3. – Берлин, 1923. – С. 359.
134. Храмов Ю.А. История физики. / Храмов Ю.А. – К.: Феникс, 2006. – 1176 с.
135. Хуторской А.В. Фундаментальные физические постоянные: [кн. для учителя]. / Хуторской А.В. – Минск: Нар. асвета, 1988. – 96 с.
136. Шпольский Э.В. Атомная физика. / Шпольский Э.В. – Т. 1. – М-Л.: ГТТИ, 1949. – 270 с.
137. Шредингер Е. Что такое жизнь? – с точки зрения физики. / Шредингер Е. – М.: Иностранная литература, 1947. – С. 24-234.
138. Шульга М.С. Хронологічний довідник вітчизняної фізики. / Шульга М.С. – К.: Вища школа, 1980. – 256 с.
139. Эйлер Л. Основы динамики точки. / Эйлер Л. – М-Л.: Наука, 1967. – С. 65.
140. Эйнштейн А. Сущность теории относительности. / Эйнштейн А. – М.: Иностранная литература, 1955. – С. 34-351.
141. Эйнштейн А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельт. – [4-е изд.] – М.: Наука, 1966. – 267 с.
142. Энгельс Ф. Диалектика природы. / Энгельс Ф. – М.: Госполитиздат, 1955. – С. 133, 145-146.
143. Эпинус Ф.У.С. Теория электричества и магнетизма. / Эпинус Ф.У.С. – Ленинград: АН СССР, 1951. – 565 с.
144. Янин В.Л. Древневесовые системы домонгольской Руси / Янин В.Л. – М.: Гостехиздат, 1954. – С.15-16.
145. 50 лет волн Герца. – М-Л.: изд. АН СССР, 1938. – 156 с.
146. Bacon Francis Works, ed. J.Spedding, R.Ellis and D.Heath / Bacon Francis – Boston, 1860-1864. – v. VIII. – P. 114.

147. Barrow Isaac. Mathematical Lectures Readin the Public Schools / Barrow Isaac. – London, 1724. – P. 58-239.
148. Caspar, Max. Kepler. – New York: Dover, 1993. – P. 18-328.
149. Cavendish H. The scientific papers. / Cavendish H. – v. 1-2. – Cambrige: 1921. – P. 12-140.
150. Descartes Rene. Principia philosophiae. / Descartes Rene. – v. II – Amsterdam, 1644. – P. 37-50.
151. Die Geschichte der physic in Grundzugen von Dr. Ferd. Rozenberger. Erster Tell. Geschichte der physik im altertum und im mittelalter. Braunschweig, Vifweg und Sohn, 1882. – 128 p.
152. Euler L. Nova theoria lucis et colorum. / Euler L. – t. I. – «Opuscula», 1746. – P. 80-274.
153. Galileo Galilei. Dialogues concerning Two New Sciences. / Galileo Galilei. – N.Y., 1914. – P. 47-67.
154. Hariott to Kepler, in Johann Kepler. Gesammelte Werke; ed. Max Caspar. – v. XV. – Munch, 1937-1963. – 368 p.
155. Hertz G. Gesammelte Werke, Bd. 1-3. Leipzig, 1895-1914. – P. 12-98.
156. http://postup.brama.com/020228/28_9_1.html
157. Isaac Newton's Papers and Letters // Correspondence of Isaac Newton. – v. III, 1688-1694. – Cambridge, 1961. – P. 234-281.
158. Johne J. Thomas Hariott, the Tycho of Optics. / Johne J. – Centaurus, 1959. v. 6. – P. 113-121.
159. Johnson F.R. Astronomical Thought in Renaissance England. / Johnson F.R. – Baltimore, 1937. – P. 227-228.
160. Lange L. Die geschichtliche Entwicklung der Bewegungsbegriffes. / Lange L. – Leipzig, 1886. – S. 140.
161. Maxwell J. A dynamical theory of the electromagnetic field. Trans. Roy. Soc., dec. 1864. – 214 p.
162. Newton Isaac. Unpublished Scientific Papers, ed. A.R.Hall and M.B.Hall. Cambridge, 1962. – P. 45-228.
163. Partington J.R. A history of chemistry. / Partington J.R. – v. 2. – New York: 1961. – P. 45.
164. Seeling C. Albert Einstein und die Schwiz / Seeling C. – Zurich, 1952. – P. 54-98.
165. Von Prof. Dr. MAX v. LAUE. Geschichte der physik. Gottingen. Dritte, durchgesehene Auflage. – Athenaum-Verlag Bonn: 1950. – 231 c.
166. Young Th. On the Theory of Light and Colours. / Young Th. – «Philos. Trans. Roy. Soc. London», 1802. – v. 91, part 1. – P.12-48.

Навчальний посібник

Садовий Микола Ілліч – д.пед.н., проф., професор кафедри фізики та методики її викладання, проректор з наукової роботи Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
Трифоновна Олена Михайлівна – к.пед.н., старший викладач кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка

Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття

друге видання перероблене і доповнене

Підписано до друку 27.05.2013. Формат 60×84 1/16. Папір офс. №1 Гарнітура TimesNewRoman. Офс.друк. Ум.друк.арк. 27,4. Тираж 300 прим. Зам №289

ЦЕНТР ОПЕРАТИВНОЇ ПОЛІГРАФІЇ «АВАНГАРД»,
м. Кіровоград, вул. Пашутінська, 12, оф. 4
Тел./факс: 24-86-34, 27-02-24
моб. /050/-531-73-72, 341-04-33
<http://avangard.kr.ua>, e-mail: info@avangard.kr.ua

