

Пасько О. О., Однодворець Л. В.

ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Пасько О. О., Однодворець Л. В.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ
ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ
У НАВЧАННІ ФІЗИКИ**

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми
Сумський державний університет
2021

УДК 53(091)+53.05(075.8)

П 12

Рецензенти:

Р. І. Холодов – доктор фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи Інституту прикладної фізики НАН України;
Ю. О. Шкурдода – доктор фізико-математичних наук, доцент кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 6 від 24 грудня 2020 року)*

Пасько О. О.

П 12 Фундаментальний фізичний експеримент у навчанні фізики : навчальний посібник / О. О. Пасько, Л. В. Однорець. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 121 с.

У навчальному посібнику поєднано матеріал із дисциплін «Історія фізики» та «Навчальний фізичний експеримент». Видання містить стислий огляд розвитку фізичної науки в різні часові періоди. Водночас акцентовано саме на фундаментальних експериментах, що свого часу вплинули на подальший розвиток фізики, та теоретичних узагальненнях їх результатів, розкрита роль фундаментального експерименту у вивченні фізики в закладах загальної середньої освіти. Висвітлені загальні питання методики й техніки проведення навчального фізичного експерименту. Значна увага приділена методичним особливостям застосування сучасних цифрових освітніх засобів і мультимедійних технологій у навчальному експерименті.

Призначений для студентів закладів вищої освіти спеціальності «Середня освіта (фізика)».

УДК 53(091)+53.05(075.8)

© Пасько О. О., Однорець Л. В., 2021
© Сумський державний університет, 2021

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ В РОЗВИТКУ ФІЗИЧНОЇ НАУКИ	8
1.1 Історія фізики як науки.	
Розвиток фізичної науки давнього періоду	8
1.1.1 Закономірності розвитку фізичної науки	8
1.1.2 Періодизація розвитку фізичної науки.....	9
1.1.3 Фізика в епоху Античності.....	10
1.2 Розвиток фізичної науки в епоху Відродження	15
1.2.1 Зародження експериментального методу у фізиці. Г. Галілей.....	15
1.2.2 Закони Кеплера.....	18
1.2.3 Становлення класичної фізики.	
Закони Ньютона	19
1.3 Розвиток окремих галузей фізики.....	22
1.3.1 Розвиток уявлень про природу світла	22
1.3.2 Становлення атомно-молекулярного вчення про матерію.....	24
1.3.3 Становлення електромагнітної теорії.....	26
1.3.4 Будова атома. Відкриття електрона.....	28
1.4 Рентгенівське випромінювання.	
Радіоактивність	31
1.4.1 Досліди Рентгена.	
Відкриття рентгенівського випромінювання	31
1.4.2 Відкриття радіоактивності.....	33
1.4.3 Разючі способи застосування явища радіоактивності	36
1.5 Фізика ХХ століття.....	37
1.5.1 Розвиток поглядів на будову атома	37
1.5.2 Розвиток квантових уявлень	40

1.6 Підтвердження теорії квантів: фотоэффект, ефект Комптона. Становлення квантової механіки.....	44
1.6.1 Відкриття та пояснення фотоэффекту	44
1.6.2 Ефект Комптона	46
1.7 Виникнення і становлення теорії відносності	49
1.7.1 Експерименти з визначення швидкості світла	49
1.7.2 Зародження спеціальної теорії відносності	51
1.7.3 Загальна теорія відносності.....	55
1.8 Сучасна фізика. Розвиток фізики ядра та елементарних частинок.....	56
1.8.1 Відкриття елементарних частинок	56
1.8.3 Гравітаційні хвилі.....	62
Список літератури до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2 НАВЧАЛЬНИЙ	
ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ	66
2.1 Навчальний фізичний експеримент у вивченні фізики в закладах загальної середньої освіти.....	66
2.1.1 Роль і місце навчального експерименту у викладанні фізики	66
2.1.2 Система навчального експерименту з фізики.....	70
2.2 Шкільний кабінет фізики та його обладнання	72
2.2.1 Перелік засобів навчання та обладнання навчального і загального призначення	72
2.2.2 Техніка безпеки під час проведення навчального фізичного експерименту.....	75
2.3 Демонстраційний експеримент із фізики.....	78
2.3.1 Зміст і значення демонструвань із фізики	78
2.3.2 Методичні вимоги до демонстраційних дослідів	80
2.3.3 Методика та техніка демонструвань	81
2.4 Лабораторний експеримент із фізики.....	84
2.4.1 Фронтальні лабораторні досліді і роботи	84
2.4.2 Фізичний практикум	88

2.5 Вимірювання фізичних величин.	
Точність і похибка вимірювань	89
2.5.1 Вимірювання, види вимірювань	89
2.5.2 Точність вимірювання	91
2.5.3 Види похибок вимірювань.	
Обчислення похибок вимірювань	92
2.5.4 Оцінювання результатів вимірювань та обчислень	94
2.6 Використання мультимедійних засобів у навчальному фізичному експерименті.....	95
2.6.1 Роль і місце мультимедійних засобів у навчальному процесі з фізики.....	95
2.6.2 Методичні й технічні вимоги до проведення демонстрацій із використанням технології мультимедіа	96
2.6.3 Використання засобів мультимедіа під час проведення лабораторних робіт.....	99
2.7 Удосконалення навчального експерименту з фізики засобами сучасної цифрової техніки.....	101
2.7.1 Сучасні цифрові засоби навчання.....	101
2.7.2 Напрями застосування цифрової техніки під час проведення демонстраційних дослідів із фізики	104
2.7.3 Впровадження цифрових вимірювань у шкільний фізичний лабораторний експеримент	105
2.8 Домашні дослідження та спостереження учнів	107
2.8.1 Домашні спостереження	107
2.8.2 Домашні дослідження.....	108
2.8.3 Експериментальні завдання.....	110
Список літератури до розділу 2	113

ВСТУП

Хто насправді першим отримав вираз загальновідомого закону Кулона?

Невже творчий спадок Роберта Гука налічує тільки один його закон?

Яке явище випадково було відкрите завдяки тому, що погода в Парижі кілька днів поспіль була хмарною?

Хто та єдина жінка, нагороджена Нобелівською премією двічі у двох різних галузях науки?

А хто з учених так і не отримав Нобелівської премії, хоча номінувався загалом 84 рази?

Про кого після вручення Нобелівської премії з фізики одна з датських газет написала: «Нагорода присуджена відомому футболісту...»?

А чи знаєте, хто з найвидатніших фізиків ХХ століття, не пославшись на періоджерела, втрапив у пожиттєві чвари з іншими відомими науковцями?

Відповіді на ці та безліч інших загадок приховує історія фізичної науки. Природничо-наукове пізнання бере свій початок у найдавніших спостереженнях та експериментах. Саме експеримент є першорядною ланкою між емпіричним і теоретичним рівнями пізнання. Від початку зародження перших наукових уявлень і донині була здійснена незліченна кількість експериментів. Однак найбільш вагому роль серед них відіграють так звані фундаментальні дослідження, постановка яких дала відповіді на найважливіші запитання свого часу, змінила хід розвитку науки. Саме про ці експерименти в єдності з теоретичними узагальненнями, що впливали з них, буде йти мова в першому розділі посібника, присвяченого висвітленню історії розвитку фізичної науки.

Безсумнівно, історія фізики органічно доповнює вивчення інших фізичних дисциплін та є важливою складовою змістової, методологічної та загальнокультурної підготовки майбутнього вчителя фізики. Під час вивчення історії фізики як навчальної дисципліни студенти здійснюють: обговорення змісту фундаментальних дослідів у їхньому історичному розвитку; осмислення структури та змісту фізичної теорії зі з'ясуванням етапів і стадій її становлення; розв'язування завдань історичного змісту; виконання творчих теоретичних і практичних проєктів з історичної тематики.

Водночас фізичний експеримент має велике значення не лише в наукових дослідженнях, а й відіграє першорядну роль у вивченні самої фізики. Навчальний експеримент одночасно є джерелом знань, методом навчання і засобом наочності в навчанні фізики. До того ж навчання фізики з використанням історичних матеріалів сприяє поліпшенню засвоєння школярами навчального матеріалу, глибшому осмисленню ними питань методології пізнання, формуванню наукового стилю мислення, усвідомленню закономірностей розвитку науки та ролі особистості в науці, баченню взаєморозвитку та взаємного впливу наук одна на одну в процесі їх історичного розвитку.

Висвітленню загальних питань методики й техніки проведення навчального фізичного експерименту в закладах загальної середньої освіти присвячений другий розділ посібника.

Матеріал розрахований на самостійну роботу студентів над питаннями, що розглядають на лекціях, під час їхньої підготовки до атестаційних заходів.

Розділ 1

РОЛЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ В РОЗВИТКУ ФІЗИЧНОЇ НАУКИ

1.1 Історія фізики як науки. Розвиток фізичної науки давнього періоду

1.1.1 Закономірності розвитку фізичної науки

Допитливу людину всякчас цікавить питання: а звідки ми знаємо та чому можемо бути впевнені, що у світі все відбувається саме так, як це стверджує фізика? Наприклад, що в ядрі гелію два протони і два нейтрони, що Земля має власне магнітне поле, що світло є електромагнітною хвилею і поширюється зі швидкістю 300 000 км/с. Відповідь на ці та інші запитання дає експеримент.

Людство дійшло висновку, що пізнання природи відбувається в такій послідовності: спостережуване явище → гіпотеза → експеримент → висновки. Дійсно, після спостереження певного явища чи процесу ми намагаємося його пояснити, висловити припущення щодо причини появи; перевірка цих припущень вимагає проведення експерименту; якщо передбачення узгоджується з експериментом, вчені роблять висновки та теоретичні узагальнення із застосуванням найбільш сучасного на відповідний момент математичного апарату.

На перший погляд, ланцюг пізнання є нескладним і містить послідовну систему цілком виконуваних дій. Однак в історії науки відомі приклади, коли його реалізація від початку до кінця тривала цілі століття! Найвідоміший із них – загальний устрій Всесвіту. Модель світоустрою деякі мислителі почали пропонувати задовго до нової ери літочислення, так стала панівною система світобудови Птолемея. За нею центром світу була нерухома планета

Земля (геоцентрична), а навколо неї рухалося Сонце та інші планети. Але згодом стало зрозуміло, що передбачення щодо положень небесних тіл на сферичному небосхилі не узгоджуються зі спостереженнями. Саме це змусило польського астронома Миколая Коперника в середині XVI століття відмовитися від геоцентричної моделі і висунути принципово іншу – геліоцентричну, за якою в центрі було Сонце, а Земля визначалася лише як одна з планет, що відрізняються орбітами. У становленні цієї моделі світоустрою вирішальну роль відіграв саме експеримент.

За роки розвитку науки була проведена безліч експериментів. Проте є серед них так звані фундаментальні – вирішальні досліди, проведення яких дало відповіді на найважливіші питання свого часу, змінила хід розвитку науки. Про ці експерименти і йтиметься в межах нашого курсу в єдності з теоретичними узагальненнями, що впливають із них.

1.1.2 Періодизація розвитку фізичної науки

Перший період розвитку фізики іноді називають *донауковим*. Уже шумери, вавилоняни та єгиптяни мали деякі цінні знання з окремих питань фізики, які, однак, були випадковими та несистематичними. Наступний, тривалий, етап охоплює період від часів Арістотеля до початку XVII століття, тобто Античність і Середньовіччя. Цей період називають *метафізичним* (метафізика – вчення про причини і початки буття і знання). Початок третього етапу, етапу *класичної фізики*, пов'язують з одним із засновників точного природознавства, італійським вченим Галілео Галілеєм і основоположником класичної фізики, англійським математиком, механіком і астрономом Ісааком Ньютоном. Цей етап тривав до кінця XIX століття. Саме тоді були закладені основи тієї класичної фізики, яку й нині вивчають у школах

і використовують у більшості практичних розрахунків у техніці. Цей період становить основу фізики-науки.

До початку XX століття з'явилися експериментальні результати, які складно було пояснити в межах класичних уявлень, ці уявлення зазнали корінного перегляду. Унаслідок цього відкрився новий етап у розвитку фізики – *етап сучасної фізики*, що містить у собі не тільки класичні але й квантові уявлення.

1.1.3 Фізика в епоху Античності

У Стародавній Греції існувала філософська школа, де збиралися кращі вчені того часу. Там обговорювалися різні питання – від устрою світу до управління державою. Цю школу створив знаменитий грецький філософ Платон. У 366 р. до н. е. в Академії Платона з'явився новий учень на ім'я Арістотель. Тоді йому було 18 років. Арістотель провів у товаристві Платона сімнадцять років. Платон передав своєму геніальному учневі чи не всі свої знання.

Ім'я Арістотеля на багато століть стало беззаперечним авторитетом у науці. В основі світу за Арістотелем лежала геоцентрична система. Його дослідження належать до галузі механіки, акустики, оптики. Особливого інтересу серед науковців здобула праця «Метафізика», у якій подано так звану метатеорію природознавства, яка містить і загальну теорію природи, і теорію пізнання. У роботі описані загальнонаукові поняття: матерія й форма (з яких, за Арістотелем, складаються всі речі), велика увага приділена рухові (кількісні та якісні зміни, завдяки яким реалізується явище). Вчення Арістотеля про рух панувало у фізиці до епохи Відродження, а низка принципів уявлень залишається актуальною й донині.

Давньогрецький фізик, математик та інженер Архімед здійснив безліч геометричних відкриттів, заклав основи гідростатики і механіки, створив винаходи, які послужили

відправною точкою для подальшого розвитку науки. Роботи Архімеда стосувалися майже всіх галузей математики того часу. Саме Архімед обчислив число «пі» – відношення довжини кола до діаметра – і довів, що воно однакове для будь-якого кола. Крашним своїм досягненням він вважав визначення площі поверхні та об'єму кулі – завдання, яке раніше ніхто розв'язати не міг.

Займаючись практичними питаннями, Архімед досліджував принципи, за якими працюють «прості механізми». Так, саме Архімед дав перше письмове пояснення принципу дії важеля, пов'язане з поняттям сили, вантажу і плеча. Це і є знамените «золоте правило» античної механіки: що виграється в силі, те втрачається у відстані. Для стану рівноваги: $F_{\text{тяж.}} \cdot l_1 = F \cdot l_2$.

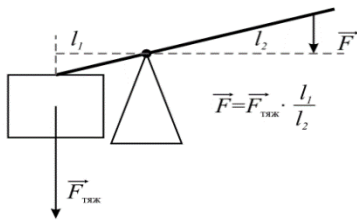


Рисунок 1.1 – Важіль

Звідси випливає, що можна отримати виграш у силі завдяки довжині плеча. Якщо $l_2 > l_1$ у кілька разів, то виграш у прикладеній силі буде значним – вона виявиться набагато меншою від сили тяжіння, що діє на вантаж, який піднімають. За легендою, ус-

відомивши значення свого відкриття, Архімед вигукнув: «Дайте мені точку опори, і я переверну Землю!».

З часів послідовників Архімеда механіку стали вважати наукою про прості механізми: важіль, блок, клин і гвинт. Два останніх засновані на властивостях похилої площини, закон для якої, щоправда, сам Архімед не знав. Ще одним механізмом, поширеним у давнину, був нерухомий блок. Існує легенда, ніби побудований Гієроном у подарунок єгипетському царю Птолемею важкий багатопалубний корабель «Сиракузи» ніяк не вдавалося спустити

на воду. Архімед спорудив систему блоків, за допомогою якої стало можливо виконати цю роботу.

Багато робіт Архімеда стосувалися гідростатики та плавання тіл. Перша праця з гідростатики «Про тіла, що плавають у воді», написана раніше 212 р. до н. е., дійшла до нас у перекладі на латинську мову, на жаль, не повністю. Поява цих робіт була безпосередньо пов'язаною з розв'язанням технічних завдань. Вивчаючи сили, що діють на тіла, і серед них – силу тяжіння, Архімед відкрив закон, згідно з яким на тіло, занурене в рідину, діє сила, рівна вазі витісненої ним рідини. Це відкриття пов'язане з легендою, що передають багато істориків. Згідно з легендою, Гієрон, правитель Сиракуз, доручив йому з'ясувати, чи зроблена його корона цілком із золота або ж у неї підмішане срібло. Над цим завданням Архімед міркував досить довго, поки не допоміг випадок. Одного разу, піднявши ногу у воді, Архімед констатував із подивом, що у воді нога була легшою. Він зрозумів, що це явище дасть йому ключ до розгадки завдання. З криком «Еврика!» (Знайшов!) він вискочив із ванни, забувши про все на світі. Часто цю розповідь пов'язують із відкриттям закону Архімеда, хоча, насправді, він стосується способу визначення об'єму тіл неправильної форми.

Чи не найдавніший фізичний експеримент був проведений ще у III столітті до нашої ери Ератосфеном Керенським (275–194 до н. е.). Він стосувався визначення радіусу Землі. Ератосфен порівнював напрямок вертикалі, проведеної до даної ділянки поверхні земної кулі, з напрямком паралельного пучка сонячних променів у двох пунктах, віддалених один від одного на відому відстань (рис. 1.2). Ератосфен використовував факт про те, що в день літнього сонцестояння в місті Сієна сонце освітлює дно глибокого колодязя, а отже, перебуває в зеніті (місто розташоване на лінії північного тропіка), чого не спостерігалося в Олександрії,

яка віддалена від Сієни на 800 км. Цього дня Ератосфен виміряв висоту Сонця в Олександрії. Відхилення від вертикалі було $7^{\circ}12'$, що становить приблизно 0,02 від повного кола. А отже, було встановлено, що довжина кола по меридіану дорівнює 40 000 км, а радіус Землі – 6 300 км. Варто зауважити, що перші вимірювання довжини градуса меридіана в Європі було здійснено Ж. Фернелем у 1528 році, тобто приблизно на 1 800 років пізніше. Ним була отримана величина – 110,6 км, що відповідає радіусу Землі близько 6 340 км (сучасне значення – близько 6 371 км).

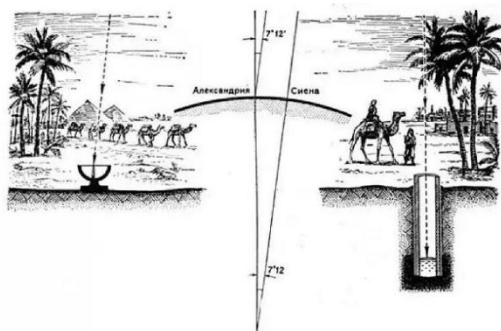


Рисунок 1.2 – Схема експерименту Ератосфена

Крім того, Ератосфен доволі точно визначив схилення Сонця в день сонцестояння як $11/166$ кола, або $23,855^{\circ}$.

Відомі й інші чудові грецькі вчені та винахідники. Герона вважають найвидатнішим інженером за всю історію людства. Лише через майже 2 000 років були знайдені і перекладені на сучасні мови арабські списки його праць. Герон вивчав геометрію, механіку, гідростатику, оптику. Він дав точні й наближені формули розрахунку різних фігур, винайшов низку приладів і автоматів, зокрема прилад для вимірювання протяжності доріг, що діяв за тим самим принципом, що й сучасні таксометри, водяний годинник. Саме Герон створив першу модель парової машини – еолі-

піл (рис. 1.3). У цій моделі він продемонстрував принцип реактивного руху.

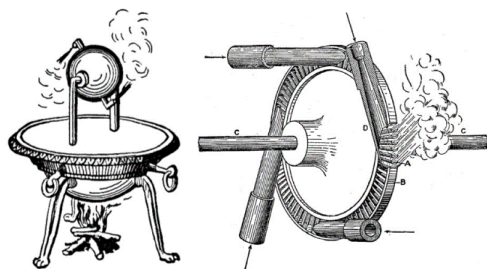


Рисунок 1.3 – Парова турбіна Герона (еоліпіл)

Пристрій мав цілковито запаяний котел із двома трубками на кришці. На трубках встановлювали порожнисту кулю, що могла обертатися, на поверхні кулі були встановлені два або чотири Г-подібних сопла. У котел через отвір заливали воду, отвір закривали пробкою, і котел встановлювали над вогнем. Коли вода закипала, утворювалася пара, яка по трубках надходила в кулю та Г-подібні патрубки. За достатнього тиску струменя пара, вириваючись із сопел, швидко обертала кулю.

Еоліпіл не виконував жодної корисної роботи, тому так і залишився потішною іграшкою. Лише в 1884 році англійський інженер Чарльз Парсонс винайшов першу парову турбіну, яку використовували на практиці. Її конструкція була настільки ефективною, що турбіни незабаром замінили парові двигуни на електростанціях. Прообразом майбутніх парових турбін був винахід Герона.

1.2 Становлення класичної фізики у XVII столітті

1.2.1 Зародження експериментального методу у фізиці. Г. Галілей

Зародження класичної фізики, яку вивчають у закладах освіти сьогодні, почалося в період, відомий в історії як епоха Відродження. Переворот у науковому світогляді в середині XVI століття здійснив польський астроном і математик Миколай Коперник (1473–1543), запропонувавши геліоцентричну систему світобудови. Основи загального наукового методу пізнання – точний кількісний експеримент і математичний опис явищ – заклав у своїх роботах італійський мислитель Галілео Вінченцо Боннайотті ді Галілей (1564–1642).

Телескоп Галілея. У 1608 році в Нідерландах була винайдена зорова труба – інструмент для спостереження за віддаленими об'єктами, який використовували переважно у військових цілях. Галілей першим спрямував зорову трубу в небо та помістив її на штатив, перетворивши на телескоп. Перша зорова труба Галілея мала триразове збільшення. Постійно удосконалюючи її та покращуючи лінзи, Галілей, зрештою, домогся 30-кратного збільшення – гранично можливого технічно для такої конструкції. За допомогою цього інструмента він здійснив перший телескопічний огляд небесних тіл, зробивши неочікувані відкриття: гори на Місяці, фази Венери, чотири головних супутники Юпітера, плями на Сонці. Була виявлена зоряна природа нашої галактики – Молочного Шляху.

Експерименти Галілея з похилою площиною. Експерименти Галілея міцно асоціюють із киданням куль із Пізанської вежі. Вчені ж вважають ці експерименти, ймовірно, міфом. Достеменно відомо, що Галілей проводив досліди з тілами, які скочуються похилою площиною. Дослідник винайшов спосіб, що дозволяє нібито уповільнити швидкість

падіння тіла: у своїх експериментах він використовував вузьку дошку довжиною близько п'яти метрів із жолобом, що був вистелений пергаментом для зменшення тертя. Жолобом, який встановлювали під різними кутами до горизонту, скочувалася бронзова куля. Для вимірювання часу використовували водяний годинник. За результатами цих дослідів Галілей зробив два важливих висновки: 1) усі тіла під час падіння рухаються однаково: почавши падати одночасно, вони рухаються з однаковою швидкістю; 2) рух відбувається з постійним прискоренням: за кожну наступну секунду швидкість тіла зростає на однакову величину.

Відомий історик науки Олександр Койре відзначав, що «думка замінити вільне падіння тіл рухом похилою площиною є, справді, ознакою геніальності». Галілеєва похила площина, по суті, є першою експериментальною установкою. Недарма існує вислів: «Наука спустилася з небес на землю похилою площиною Галілея».

Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту. Близько до розв'язку задачі про політ гарматних ядер підійшли Леонардо да Вінчі та італійський математик Тарталья (1499–1557). Останній зумів продемонструвати, що найбільшої дальності польоту снарядів можна досягти за умови пострілу під кутом 45° до горизонту. Галілей істотно розвинув теорію цього питання. Вчений запропонував метод розрахунку траєкторій руху тіла для будь-яких кутів вильоту й для будь-яких початкових швидкостей. Він уперше використав геометричне додавання швидкостей, тобто наблизився до векторного представлення швидкості.

Ідеї, висловлені Галілеєм, розвивав далі Християн Гюйгенс (1629–1695). Вчений довів, що тіло під час падіння з деякої висоти, долаючи різні шляхи, набуває однакової кінцевої швидкості, яка не залежить від форми траєкторії,

а залежить лише від висоти падіння, і за відсутності опору воно може піднятися на висоту, що дорівнює початковій висоті. Це положення, що, по суті, є вираженням закону збереження механічної енергії, Гюйгенс використав у теорії фізичного маятника. Одним із найважливіших відкриттів Гюйгенса є винахід маятникового годинника, який він запатентував у 1657 році. Крім того, Гюйгенс самостійно вдосконалив зорову трубу, за допомогою якої відкрив кільця і супутники Сатурна.

Мислений експеримент Г. Галілея. Найвідоміша з астрономічних робіт Галілея, що вийшла в серпні 1632 року у Флоренції і є результатом більш ніж тридцятирічної праці і роздумів вченого, – «Діалог про дві найголовніші системи світу». У ній автор розглядає проблеми руху, вивчає коливання маятників, обговорює акустичні явища: отримання звуку з допомогою коливань, частота яких визначає висоту тону звуку, поширення хвиль у повітрі, явище резонансу, акустичні інтервали. Отже, Галілей заклав основи сучасної акустики. Особливе значення для фізики має дослідження Галілеєм явища інерції. У роботі наведені міркування, що під час руху тіла горизонтально за умови переходу від шорсткої поверхні до гладкої для збереження його швидкості потрібна все менша сила. А якщо між тілом і поверхнею буде шар мастила, то, рушивши, воно буде зберігати свій стан без прикладання зовнішньої сили. Теоретично можна уявити, що коли тертя звести до нуля, тіло буде рухатися без прикладання сили нескінченно довго. Міркування Галілея є прикладом мисленого експерименту, якими так багата фізика.

Принцип відносності. Саме в мисленому експерименті, описаному в «Діалогах...», Галілей обґрунтовує принцип відносності – один із основоположних у класичній фізиці. Він пропонує читачеві усамітнитися в каюті нерухомого корабля, спостерігаючи, як літають у приміщенні комахи,

плавають в акваріумі риби, а з підвішеної до стелі посудини крапає вода. Згідно з міркуваннями автора, якщо рух буде рівномірним, у всіх зазначених діях не буде ані найменшої зміни і з жодної з них неможливо судити, рухається корабель чи ні.

1.2.2 Закони Кеплера

Відповідно до світобудови Коперника вважали, що планети обертаються навколо Сонця ідеальними коловими орбітами. Однак на практиці виявляли певні розбіжності: реальні координати планет дещо відрізнялися від розрахункових. Щоб досягти кращого збігу розрахункових результатів зі спостережуваним переміщенням планети, було введено додаткові величини: епіцикли, деференти, ексцентри й екванти. У 1600 році, працюючи у знаменитого датського астронома Тихо Браге та маючи в розпорядженні його багаторічні таблиці спостережень, Йоганн Кеплер (1571–1630) досліджував рух Марса. Він перебрав всілякі комбінації величин, але точність у збігу кутових координат планет становила 8'. Цей результат не задовольнив Кеплера. У підсумку, досліджуючи хаотичну купу незалежних одне від одного спостережень, не об'єднаних ні загальною ідеєю, ні єдиним принципом, Кеплер дійшов парадоксального на той час висновку, що орбіта Марса має бути не колом, а еліпсом, в одному з фокусів якого розташоване Сонце – твердження, відоме сьогодні як перший закон Кеплера. Згодом Кеплер отримав іще два закони, які цілком розв'язували проблему розуміння та опису руху планет.

Закони Кеплера були отримані на основі спостережень, тобто емпіричним способом. Теоретичне ж їхнє обґрунтування було отримане пізніше із відкриттям закону всесвітнього тяжіння.

1.2.3 Оптичні дослідження Ньютона. Побудова Ньютоном класичної механіки. Відкриття закону всесвітнього тяжіння

У 1665 році Ісаак Ньютон закінчив Кембриджський університет і планував працювати в рідному коледжі. Однак чума, що вирувала тоді в Англії, змусила його майже на два роки усамітнитися на своїй фермі у Вулсторпі. Саме тоді молодий вчений і здійснив свої основні відкриття.

Перша наукова робота Ньютона стосувалася *оптики*. У 1665 році він почав дослідження призматичного спектра, заклавши основи наукової спектроскопії: він встановив факт різного заломлення променів різного кольору, подальшу нерозкладність монохроматичного пучка, з'ясував вплив форми щілини на частоту спектра, вперше застосував метод схрещених призм. У 1668 році Ньютон побудував першу модель телескопа-рефлектора.

Роль Ньютона в *механіці* аналогічна ролі Евкліда в геометрії. Як Евклід систематизував відомі знання з геометрії, надавши їм аксіоматичної структури, так і Ньютон здійснив систематизацію окремих розрізнених ідей у механіці. Завдяки йому «неозорий масив даних про рух величезних небесних тіл і дрібних піщинок вдалося звести до трьох законів руху та фундаментального закону всесвітнього тяжіння – так народилася перша наукова картина світу». Закон всесвітнього тяжіння і три закони механіки, що стали основою класичної механіки, Ньютон сформулював у фундаментальній праці «Математичні основи натуральної філософії» (1687).

Працюючи над законами механіки, Ньютон розробив *математичний апарат*, що став головним інструментом класичної фізики. У математиці Ньютон розділяє з німецьким вченим і філософом Готфрідом Вільгельмом Лейбніцем (1646–1716) славу творця диференціального й інтегрального числення. Він першим побудував диференціальне

числення, отримавши можливість розв'язувати найрізноманітніші математичні та фізичні задачі: без математичного поняття похідної функції немає фізичного поняття швидкості руху, без диференціальних рівнянь немає законів класичної механіки.

Експеримент Кавендіша. Отриманий Ньютоном закон всесвітнього тяжіння не містив жодного числового значення мас небесних тіл, зокрема й Землі. Крім того, гравітаційна стала, яка фігурує в сучасному законі всесвітнього тяжіння, була відсутньою до початку XIX століття. Вчені того часу користувалися в розрахунках відносними величинами. Оскільки завдання опису рухів небесних тіл стосувалося здебільшого астрономії, постала необхідність визначення середньої густини Землі. Знаючи значення густини ρ та радіусу R Землі (можна знайти її масу), а також прискорення вільного падіння g на її поверхні, можна обчислити гравітаційну сталу G .

Перші досліді з визначення густини Землі були здійснені в середині XVIII століття. Експеримент був запропонований Джоном Мічеллом, який сконструював ключову деталь в експериментальній установці – торсійний підвіс у крутильних терезах. Однак вчений помер, так і не провівши досліді. Після його смерті експериментальна установка перейшла до Генрі Кавендіша. Він модифікував пристрій, провів експеримент та опублікував його результати. Установка (рис. 1.4) складалася з дерев'яного коромисла з прикріпленими до його кінців свинцевими кулями масою 159 кг кожна. Коромисло було підвішене на нитці з посрібленої міді довжиною 1 м. До цих куль підносили кулі меншого розміру. Унаслідок дії гравітаційних сил коромисло закручувалося на певний кут. Кут повороту коромисла визначався за допомогою променя світла, пущеного на дзеркальце на коромислі і відбитого в мікроскоп. Щоб визначити густину Землі, необхідно встановити силу, яка потрібна

для відхилення коромисла на відому відстань. Зробити це можна за допомогою приведення коромисла в рух і визначення часу його коливань.

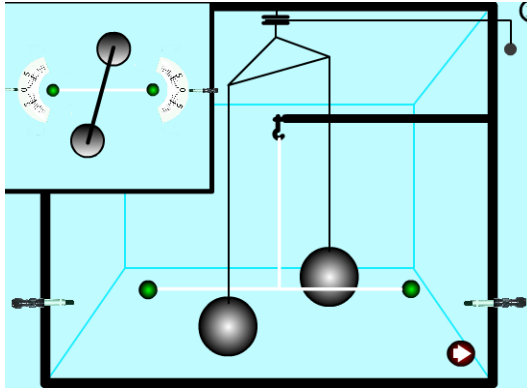


Рисунок 1.4 – Крутильні терези Г. Кавендіша

Сама ж гравітаційна стала G у нинішньому вигляді вперше була введена в закон всесвітнього тяжіння вже у XX столітті після переходу до єдиної метричної системи мір. Числове значення G було обчислене на основі значення середньої густини Землі. Точність виміряного значення G із часів Кавендіша збільшилася, але і його результат був досить близьким до сучасного.

Цікаво, що Г. Кавендіш був вельми потайливою людиною. Більшість його робіт залишалися невідомими до 1879 року, коли Дж. К. Максвелл опублікував рукописи, які зберігали в бібліотеці кембриджського університету. Лише тоді стало відомо, що Кавендіш здійснив низку експериментальних відкриттів, пізніше встановлених іншими дослідниками. Зокрема вчений ще в 1771 році, на 12 років раніше від Шарля Огюстена Кулона, за допомогою дослідів отримав закон взаємодії електричних мас, що нині має назву закону Кулона.

1.3 Розвиток основних напрямів класичної фізики у XVIII столітті

Наступне XVIII століття не дало жодного вченого на зразок Г. Галілея, Х. Гюйгенса чи І. Ньютона. Головний внесок століття в розвиток фізики – узагальнення всіх наукових досягнень і їхня систематизація за допомогою математичного аналізу. Як наслідок, сформувалась експериментальна та теоретична фізика. Механіка перетворилась із геометричної на аналітичну, поряд із небесною механікою виникла математична фізика.

1.3.1 Розвиток уявлень про природу світла

До другої половини XVII століття оптика була одним із розділів геометрії. З винайденням зорової труби постала проблема усунення сферичної й хроматичної аберацій в оптичних приладах. У 1655 році було вперше описане явище дифракції світла. Усе це вимагало створення дієвої системи оптичних уявлень, визначених гіпотез про природу світла. Назріла необхідність побудови фізичного підґрунтя оптики.

У 1678 році Християн Гюйгенс припустив, що світло – це періодичні коливання, що поширюються з певною кінцевою швидкістю в усіх напрямках від джерела світла. Вчений розробив геометрію, яка пояснювала, як світлові хвилі поведуться у разі зустрічі з перешкодою. Він описав фронт хвилі як геометричне місце точок, кожна з яких, зі свого боку, стає джерелом світлових коливань і посиляє нові хвильові обурення у всіх напрямках. Ця теорія пояснювала широке коло спостережуваних світлових явищ.

Однак тридцять років потому Ісаак Ньютон здійснив спробу спростувати хвильову теорію Гюйгенса. Ньютон стверджував, що явища відбивання і заломлення світла можна пояснити, тільки якщо світло складається з частинок – «корпускул», оскільки хвилі не поширюються прямолінійно.

Авторитет Ньютона відіграв значну роль у поширенні корпускулярної теорії світла, і в оптичних поглядах до кінця XVIII століття панував саме цей підхід. Водночас кольори на тонких плівках, кільця Ньютона, дифракційні явища вимагали визнання хвильової складової у світлових променях. Лише корпускулярна гіпотеза не давала можливості інтерпретувати ці явища.

У 1801 році молодий англійський лікар Томас Юнг (1773–1829) висунув гіпотезу, що світне тіло збуджує коливальні рухи в ефірі, а сприйняття кольорів залежить від частоти коливань, збуджених світлом на сітківці. Юнг ввів поняття частоти коливань і довжини хвилі, установив співвідношення між ними та швидкістю поширення хвилі. У 1804 році Юнг провів дві публічні демонстрації, які довели правоту Гюйгенса. Перший експеримент довів, як поведуть себе хвилі на поверхні води у хвильовій ванні. Потім Юнг продемонстрував дослід, який згодом отримав назву «дослід Юнга». Першу щілину (рис. 1.5) використовують для створення точкового джерела світла з єдиним хвильовим фронтом. Далі на шляху хвильового фронту встановлюють ще дві щілини, які формують вже два точкових джерела. Від цих джерел світло поширюється у всіх напрямках, крім зворотного. У кожній точці екрану хвилі накладаються: пік із піком створює ще більшу амплітуду хвилі (та яскравість світла). У разі накладання западин відбувається те ж саме. Коли ж пік зустрічається із западиною, амплітуди знищують одна одну, і хвиля в цій точці зникає. Тобто хвилі інтерферують. Світловий візерунок на екрані доводить, що світло поводить себе як хвилі у хвильовій ванні, а отже, має хвильову природу.

У 1818 році французький фізик Огюстен Френель (1788–1827) репрезентував «Мемуар про дифракцію світла», у якому запропонував об'єднати принцип інтерференції

Юнга з принципом Гюйгенса. Ця ідея дозволила побудувати першу кількісну теорію дифракційних явищ.

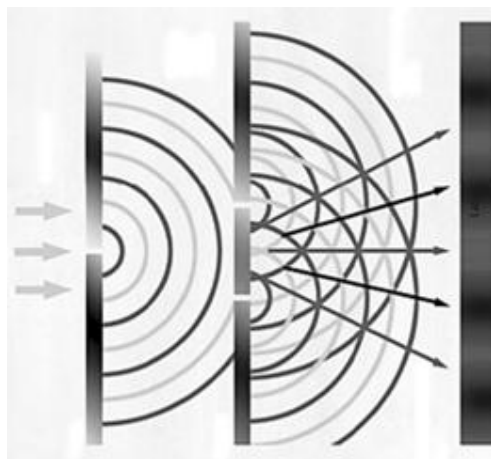


Рисунок 1.5 – Схема експерименту Юнга

Наприкінці 1808 року Етьєн Луї Малюс відкриває новий оптичний факт – поляризацію світла під час відбивання. Френель у 1816 році ставить низку експериментів, які свідчать, що інтерференція поляризованих променів відбувається тільки за паралельного розташування площин поляризації. Дослідження поляризаційних явищ сприяли виникненню уявлень про світло як поперечну електромагнітну хвилю.

1.3.2 Еволюція атомно-молекулярного вчення про матерію

До початку XIX століття вчені ґрунтовно вивчили повітря і встановили, що фактично це суміш газів – двоокису вуглецю, азоту і кисню. У 1738 році Даніель Бернуллі (1700–1782) теоретично обґрунтував тиск газу на підставі уявлень про слабкі, але часті зіткнення зі стінками посудини

частинок, що перебувають у постійному русі. З досліджень Блеза Паскаля було відомо про зв'язок тиску з погодою. Англійський хімік і фізик Джон Дальтон (1766–1844) припустив, що загальний тиск повітря можна розділити на «парціальні тиски» різних газів, що входять до складу повітря. Це твердження відоме сьогодні як закон Дальтона. Вчений провів низку експериментів у спробах проаналізувати, як саме водень і кисень з'єднуються і дають воду. Досліди довели, що елементи об'єднуються у сполуки в чітко фіксованих співвідношеннях, причому завжди цілих чисел. Дальтон сформулював це у вигляді «закону кратних відношень».

У 1803 році Дальтон припустив, що гази складаються з безлічі невидимих малих частинок – «атомів». Саме він увів у хімію фундаментальне поняття атомної маси і, прийнявши за одиницю атомної маси масу атома водню, визначив атомні маси деяких елементів.

У 1811 році Амедео Авогадро (1776–1856) установив закон, що нині має його ім'я: за однакових температур і тисків у рівних об'ємах газів міститься однакова кількість молекул. Водночас Авогадро допускав, що молекула одного і того самого елемента може складатися з декількох атомів.

Питання про розміри молекул намагався вирішити за допомогою дослідів Джон Вільям Стретт (лорд Релей) (1842–1919). Він провів такий дослід: на поверхню води крапнув краплю оливкової олії, яка розтеклася поверхнею води, утворивши плівку. Коли розтікання припинилося, це означало, що поверхня води покрита лише одним шаром молекул олії. Поділивши об'єм краплі V на площу масляної плівки S , фізик знайшов діаметр однієї молекули, який виявився рівним $d \sim 1,6 \cdot 10^{-7}$ см.

1.3.3 Становлення електромагнітної теорії

До першої половині XVIII століття єдиним джерелом електрики була електризація тертям. У 1676 році астроном Жан Пікар вночі, переносючи барометр, помітив, що час від часу порожня частина трубки із ртуттю світиться. У 1705 році англійський експериментатор Френсіс Хоксбі отримав світіння обертової скляної кулі. Саме він став використовувати скляну паличку, що електризувалася під час натирання шовком. Заряд скляної палички, потертої об шовк, вважали позитивним. Шарль Франсуа де Дюфе в 1733 році сформулював поняття про два види зарядів – «смоляний» і «скляний». Він першим експериментально довів, що різні тіла по-різному електризуються під час тертя.

Кулю, що обертається, Йоган Вінклер (1703–1770) замінив на скляну трубку, яку обертали педальним механізмом. Трубку натирали шкіряними подушечками, розділеними кінським волоссям. Подушечки були з'єднані із Землею. Машина давала іскри. Пізніше циліндр замінили на скляні диски та отримали електрофорну машину.

У 1745 році фізик із Лейдена Пітер ван Мушенбрук (1660–1707) зробив у горловині банки з водою отвір і вставив у нього цвях. Потім цей цвях на деякий час він з'єднав з електричною машиною, а, відокремивши, доторкнувся до нього рукою. Мушенбрук відчув сильний удар, який викликав оніміння руки й плеча. Пляшка з водою була замінена банкою з обкладами із металеві фольги зсередини і ззовні. Так було створено плоский конденсатор, який отримав назву «лейденська банка».

Італійський фізик Алессандро Вольта (1745–1827) сконструював в 1800 році потужне джерело постійного струму, так званий «вольтів стовп» – першу електричну батарею. З його допомогою були зроблені вирішальні відкриття електромагнітних властивостей тіл у наступному XIX столітті.

Ханс Крістіан Ерстед (1777–1851), професор Копенгагенського університету в Данії, у квітні 1820 року провів лекцію на тему теплової дії електричного струму в металевих дротах, використовуючи для демонстрації «вольтів стовп». На столі для наступної лекції був компас. Коли Ерстед увімкнув струм, він помітив, що стрілка компаса відхилилася в бік провідника, що був під напругою. Коли вчений розімкнув коло, стрілка компаса повернулася в колишнє положення і стала вказувати, як завжди, на північ. Ерстед зрозумів, що це може означати одне – електричний струм перетворює провідник на тимчасовий магніт. Повідомлення Ерстеда викликало загальний вибух інтересу. Через лічені місяці після доповіді Ерстеда французький фізик Андре-Марі Ампер (1775–1836) повідомив, що два провідники зі струмом поводяться так само, як провідник зі струмом і магніт. Ще він відкрив полярність сил магнітного поля, яка змінюється в разі зміни напрямку струму. Якщо струми протікають у протилежних напрямках, провідники взаємно відштовхуються, якщо ж струми мають однакові напрями – притягаються.

Англійський фізик і хімік Майкл Фарадей (1791–1867) у 1831 році відкрив явище електромагнітної індукції, довівши, що зв'язок електрики й магнетизму взаємний. Досліди Фарадея з електромагнітної індукції чітко показали, що електрорушійна сила індукції пропорційна швидкості зміни магнітного поля.

До середини 1860-х років шотландський математик Джеймс Клерк Максвелл (1831–1869) став провідним фахівцем у вивченні електромагнетизму. Майже десять років Максвелл вивчав, як змінюється магнітне силове поле, і з'ясував, що зміни силового поля передаються зі швидкістю світла. Проглядався очевидний зв'язок між явищем поширення світлових хвиль, електричним струмом і магнітними силами. Дослідник поставив собі за мету об'єднати

ці наукові факти загальною теорією. Результатом стала теорія електромагнітного поля, математичним описом якої стали рівняння, опубліковані Максвеллом у 1865 році.

Частина фізиків виступила проти теорії Максвелла. Міжнародна наукова думка змінилася після дослідів Генріха Герца (1857–1894), який майже через 20 років у серії експериментів продемонстрував генерацію та прийом електромагнітних хвиль. Провівши численні досліди з різними взаємними положеннями генератора і приймача, Герц дійшов висновку, що існують електромагнітні хвилі, які поширюються зі скінченною швидкістю.

1.3.4 Будова атома. Відкриття електрона

Протягом усієї другої половини XIX століття фізики активно вивчали феномен так званого катодного випромінювання. Найпростішим апаратом, у якому вони спостерігалися, була герметична скляна трубка, заповнена розрідженим газом. З кожного краю трубки був припаяний електрод: катод, що з'єднувався з негативним полюсом електричної батареї, та анод, під'єднаний до позитивного полюса. У 1895 році французький фізик Жан Перен експериментально довів: заряд катодних променів негативний, вони рухаються прямолінійно, але можуть відхилятися магнітним полем.

У 1897 році Джозеф Джон Томсон (1856–1940), провівши низку дослідів, з'ясував, що швидкість руху частинок набагато нижча від швидкості світла. У своїх дослідах Томсон використовував удосконалену катодно-променеву трубку (рис. 1.6), конструкція якої була доповнена електричними котушками, що створювали магнітне поле всередині трубки, і набором паралельних електричних конденсаторних пластин, що створювали всередині трубки електричне поле. Завдяки цьому з'явилася можливість вивчати поведінку катодних променів під впливом і магнітного, і

електричного полів. Ці промені відхилялися в разі дії окремо обох полів, а за певного співвідношення між ними пучки не змінювали прямої траєкторії. Це співвідношення полів залежало від швидкості частинок.

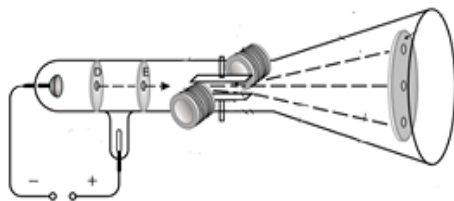


Рисунок 1.6 – Схема дослідів Томсона

Провівши низку вимірювань, Томсон з'ясував, що швидкість руху катодно-променевої частинки («корпускулу») набагато нижча від швидкості світла. Це свідчило про те, що частинки повинні мати масу. Томсон виміряв питомий заряд (відношення заряду до маси e/m) катодно-променевої частинки – «корпускулу» – за відхиленням катодних променів в електричному і магнітному полях. Аналізуючи отриманий результат, Томсон дійшов висновку, що маса цих частинок значно менша від маси найлегшого іона водню. Він висунув гіпотезу про існування матерії у стані ще більш тонкого дроблення, ніж атоми. Протягом наступних двох років вчений з'ясував, що катодні промені – це потік електронів, випромінюваних катодом.

Отже, існування електрона було встановлено. Однак не було жодного дослідів, у якому були б задіяні окремі електрони. А деякі вчені взагалі ставилися до існування електрона вельми скептично. Так, Вільгельм Рентген до 1906–1907 рр. вимагав, щоб слово «електрон» не вживали у Фізичному інституті Мюнхенського університету. Він

вважав його недоведеною гіпотезою, яку застосовують нерідко без достатніх підстав.

Постало питання про вивчення властивостей окремого електрона. Перші вимірювання електричного заряду електрона були здійснені Робертом Міллікеном (1868–1953). Під час експерименту Міллікена (рис. 1.7) крихітні краплі олії, що мають електричний заряд, опускалися під дією сили тяжіння у просторі між двома паралельними горизонтальними пластинами, під'єднаними до потужної електричної батареї. Напруженість електричного поля між пластинами підбиралася такою, щоб крапля «зависала» в повітрі: сила тяжіння була скомпенсована спрямованою вгору силою з боку електричного поля. Маса краплі визначалася заздалегідь за допомогою вимірювання сталої швидкості падіння краплі в повітрі за відсутності поля.

Оскільки розміри краплі мікроскопічні, вона не може отримати великого заряду, а отже, величина заряду краплі буде кратна одиничному заряду електрона. Отже, за умови поступового зниження зовнішньої напруги краплі олії періодично «випадають в осад». Відповідно до значення напруги, за якого осідає чергова порція аерозолі, можна визначити абсолютну величину одиничного заряду.

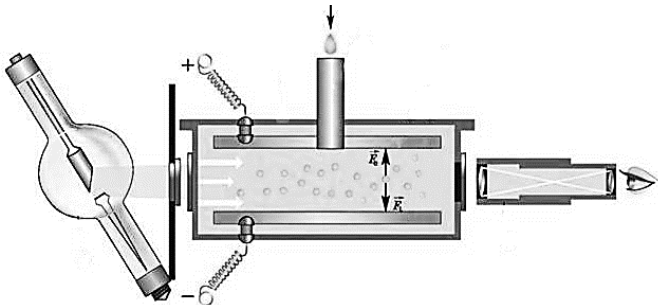


Рисунок 1.7 – Схема досліду Міллікена

Накопичивши достатньо експериментальних даних для статистичного оброблення, Міллікен обчислив величину одиничного заряду та опублікував отримані результати, які містили розраховану максимально точно для тих років величину одиничного електричного заряду – $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Нагородою за титанічну працю стала Нобелівська премія з фізики, присуджена Міллікену в 1923 році.

1.4 Відкриття й дослідження рентгенівських променів і радіоактивності

1.4.1 Досліди Рентгена. Відкриття рентгенівського випромінювання

Протягом усієї другої половини XIX століття фізики активно вивчали феномен так званого катодного випромінювання. Відкриття невидимого діапазону електромагнітного спектра сталося майже випадково.

Увечері 8 листопада 1895 року фізик Вільгельм Конрад Рентген (1845–1923) проводив у своїй лабораторії експеримент, використовуючи звичні для фізиків того часу прилади: іскровий індуктор із переривачем, газорозрядну трубку та флуоресцентний екран. Катодна трубка була досить простим пристроєм. Це скляний балон, з якого відкачали повітря. Катод служить джерелом електронів, а анод є джерелом рентгенівських променів (рис. 1.8). Усередині відкачаного об'єму розташовані два електроди (анод і катод), на які подають високу напругу. Антикатод зрізають під кутом приблизно 45° до вісі трубки, тому рентгенівське випромінювання поширюється в напрямі нормалі до вісі трубки. Електричне поле, створюване високою напругою, розганяє електрони. Для отримання електронів настільки високих енергій у трубці створюється вакуум на рівні 10^{-6} мм рт. ст. Рентгенівські промені утворюються за

допомогою перетворення енергії під час зіткнення катодних променів зі стінкою трубки і поширюються на всі боки зі швидкістю світла.

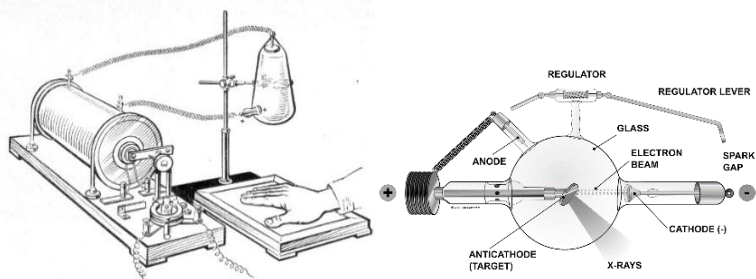


Рисунок 1.8 – Схема досліду Рентгена

Обгорнувши вакуумну трубку світлонепроникним чорним папером, який затримував всі видимі й ультрафіолетові промені, Рентген увімкнув струм високої напруги. Водночас у затемненому приміщенні лабораторії вчений помітив дивний спалах флуоресцентних кристалів, які лежали на лабораторному столі. Паперова ширма, яка була покрита шаром тетраціаноплатинату барію, теж засяяла блідо-зеленим світлом. Коли Рентген помістив між трубою й ширмою кілька предметів: книгу, шматок листового алюмінію, важки в дерев'яній коробці та інші речі, він із подивом установив, що всі ці речовини пронизуються променями більш чи менш сильно. Тіньові зображення різних речей відображалися на екрані. Але найбільш бентежні хвилини цієї пам'ятної листопадової ночі, напевно, настали тоді, коли фізик побачив скелет своєї руки, яку він тримав між розрядним апаратом і світловим екраном. Стаття Рентгена під назвою «Про новий рід променів» була опублікована вже 28 грудня 1895 року в журналі Вюрцбурзького фізико-медичного товариства.

Поряд зі своїм впливом на техніку й медицину відкриття Рентгена мало глибокі теоретичні наслідки. Незважаючи на величезний інтерес до нього, знадобилося майже десять років, щоб у знання про X-промені додалося щось нове. Тільки в 1906 році англійський фізик Чарльз Гловер Баркла (1877–1944) здійснив поляризацію рентгенівських променів (1906 р.) та виявив, що потік рентгенівського випромінювання високої енергії на речовину викликає вторинне флуоресцентне рентгенівське випромінювання, яке отримало назву характеристичного. Пізніше Генрі Мозлі в серії експериментів (1913 рік) виміряв довжини хвиль первинного характеристичного випромінювання, отриманих бомбардуванням електронами різних елементів, і вивів співвідношення між довжиною хвилі й атомним номером. У 1912 році було відкрите явище дифракції рентгенівських променів під час проходження через кристали, що остаточно підтвердило їхню електромагнітну природу. Ці експерименти, а також винахід у 1913 році Вільямом Генрі Брегом рентгенівського спектрометра заклали основу для проведення електрохімічного рентгенівського аналізу: рентгенівська спектроскопія виявилася вельми важливим інструментом для розуміння структури атома.

1.4.2 Відкриття радіоактивності

Після того як Рентген відкрив X-промені, Антуан Анрі Беккерель (1852–1908) зрозумів, що мінерали, які стають фосфоресцентними у видимому світлі, можуть випускати рентгенівські промені. Будучи мінералогом, Беккерель мав велику колекцію мінералів, багато з яких проявляли фосфоресценцію. Він вважав, що мінерали під впливом денного світла в темний час доби самі випромінюють світло. Експеримент Беккереля полягав у тому, щоб на обгорнуту в чорний папір фотопластинку помістити фосфоресцентний урановий мінерал і подіяти яскравим сонячним

світлом. Після розгортання паперу пластина мала чітке зображення уранового мінералу. Спочатку Беккерель був переконаний, що його припущення підтвердилося. Однак у лютому 1896 року протягом декількох днів у Парижі було хмарно. Беккерель припинив свої експерименти, помістивши урановий мінерал і загорнуту фотопластинку в шухляду. Через кілька днів він відкрив пластину, чекаючи слабого зображення від невеликої кількості залишкової фосфоресценції. Яким же було його здивування, коли він знайшов зображення настільки ж інтенсивним, як в оригінальному експерименті за сонячного світла. Тепер він зробив правильний висновок, що випромінювання мінералу не залежить від опромінення світлом, його випускає сам уран, навіть у темряві.

Беккерель не відразу зрозумів, що проникаюча радіація пов'язана з природою урану, проте незабаром упевнився в цій думці. Беккерель установив, що інтенсивність випромінювання визначається тільки кількістю урану в препараті й абсолютно не залежить від того, у які сполуки він входить. Тобто ця властивість притаманна не сполукам, а хімічному елементу – урану.

Відкриття спочатку, як це нерідко буває, не справило на фізиків належного враження. Але завдяки дослідженням подружжя Кюрі, з якими Беккерель співпрацював, і увазі до його робіт Ернеста Резерфорда інтерес до цього відкриття значно виріс. У 1898 році Марія та П'єр Кюрі виявили радіоактивність торію, пізніше вони відкрили радіоактивні елементи полоній і радій. Нове явище за пропозицією подружжя Кюрі отримало назву «радіоактивність» (що означає здатність випускати промені). Активність нового елемента – полонію – виявилася у 400 разів вищою за активність урану. З відкриття полонію й радію почався новий етап в історії радіоактивності.

За відкриття радіоактивності Беккерель і подружжя Кюрі отримали Нобелівську премію з фізики. Марія Кюрі отримувала цю найпрестижнішу наукову відзнаку двічі, причому у двох галузях науки – з фізики в 1903 році та з хімії в 1911 році за відкриття елементів радію та полонію.

У 1899 році Ернест Резерфорд (1871–1937), вивчаючи іонізацію газів випромінюванням з урану, виділив два типи: α -випромінювання, яке виробляє набагато більшу частину іонізації, але його поглинає один аркуш паперу. β -випромінювання викликає набагато меншу іонізацію і здатне проникати через кілька міліметрів алюмінію й міді. У 1900 році було виявлене γ -випромінювання. Віллард встановив, що випромінювання радію здатне проникати через 20 см заліза або кілька сантиметрів свинцю. Було встановлено, що γ -випромінювання – це електромагнітне випромінювання, схоже на світло, але його фотони мають набагато меншу довжину хвилі та більш високі енергії.

У 1903 році англійські вчені Вільям Рамзай та Фредерік Содді доводять, що радій безперервно виділяє невелику кількість газу – гелію. Це був перший приклад ядерного перетворення. Трохи пізніше Резерфорд і Содді на підставі гіпотези, висловленої Складовською-Кюрі, публікують статтю «Теорія радіоактивних перетворень», у якій стверджують, що радіоактивні елементи, навіть коли вони здаються незмінними, перебувають у стані мимовільного розпаду: чим швидше процес їхнього перетворення, тим більша їхня активність.

Дослідження Марії Кюрі продовжила її старша дочка Ірен. У 1934 році Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі відкрили штучну радіоактивність легких елементів. Вони виявили, що випромінювання, яке виникає під час бомбардування алюмінію α -частинками, описує закон радіоактивного розпаду. Вони також отримали і перший штучний радіоактивний

ізопоп. За відкриття штучної радіоактивності подружжю була присуджена Нобелівська премія з хімії в 1935 році.

1.4.3 Різючі способи застосування явища радіоактивності

Світломаса постійної дії – склад, який неперервно фосфоресцює. Його додавали у фарбу та наносили переважно на шкали та стрілки аналогових приладів, годинники, шкали з приладових дощок військової техніки. Найбільш відомий із цих приладів – радянський компас Андріанова. Пізніше було встановлено, що жінки, які наносили цю фарбу на стрілки приладів у воєнний час, мали серйозні проблеми із здоров'ям.

Побутові предмети з уранового скла (vaseline glass) мали привабливий зелений колір і світилися в темряві. Це могли бути графіни, підноси та цілі сервізи.

Гама-джерела використовували як рівнеміри в каменоломнях та кар'єрах, у гамма-дефектоскопії й іншій промисловості.

Зубна паста, крем і навіть шоколад – куди лишень не додавали радіоактивні елементи, вважаючи їх мало не пацасєю для підтримання здоров'я та навіть омолодження. «Світися в темряві!» – просто і лаконічно звучав рекламний слоган із пудрою-кремом, у яку додавали радій. А ще можна було придбати спеціальні «збагачувачі» для води, які містили в собі уран: варіюючи кількість «пластин» збагачувача, можна було отримувати воду «потрібної» радіоактивності. Чеська пекарня «Hirrtman-Blach» саме на такій воді пекла свій хліб.

Про жахливі наслідки вживання та використання цих продуктів ми можемо лише здогадуватися.

1.5 Становлення сучасної фізики

1.5.1 Розвиток поглядів на будову атома

Те, що атом має складну будову і в його складі є частинки, які мають позитивний і негативний заряди, до кінця XIX століття було вже відомо. Але внутрішня будова атома, як і раніше, залишалася загадкою. Ключову роль у пізнанні будови атомів відіграло вивчення атомних спектрів.

Нагріті тіла випромінюють світло, позбуваючись надлишку енергії. Звичайне денне світло випускає поверхня Сонця, розігріта до $6\,000^{\circ}\text{C}$. Різні елементи в сильно розігрітому стані можуть випромінювати світло, яке можна розкласти на хвилі, з яких воно складається, за допомогою спектрометра. Ізольовані атоми у вигляді розрідженого газу або парів металів теж випромінюють спектр, що складається з окремих спектральних ліній. Атомні спектри – це оптичні спектри, що утворюються під час випромінювання або поглинання світла (електромагнітних хвиль) вільними або слабо зв'язаними атомами. Такі спектри мають, зокрема, одноатомні гази. Атомні спектри є лінійчатими, вони складаються з окремих спектральних ліній, які характеризують певну довжину хвилі, і для простих атомів групуються в спектральні серії. Атомні спектри можна спостерігати у вигляді яскравих кольорових ліній за умови світіння газів або парів в електричній дузі або розряді (спектри випромінювання) й у вигляді темних ліній (спектри поглинання).

Докладне вивчення атомних спектрів почалося з водню. Водень у так званій водневій лампі розігрівається сильним електричним розрядом. Світло лампи, пройшовши через призму, дає спектр, що складається з окремих ліній. Спектр випромінювання водню виявився не суцільним, як у сонячного світла, а лінійчатим. Насамперед в експериментах було помічено, що лінії в спектрах розташовані не безладно, а серіями. Відстань між лініями в серії закономірно

зменшується в міру переходу від довгих хвиль до коротких. Швейцарський фізик Йоганн Якоб Бальмер у 1885 році встановив, що довжини хвиль серії у видимій частині спектра водню можуть бути подані формулою $\lambda = \lambda_0(n^2/(n^2 - 4))$, де $\lambda_0 = \text{const}$, $n = 3, 4, 5, \dots$

Пізніше, із вдосконаленням спектрометрів, були відкриті серії ліній в ультрафіолетовій та в інфрачервоній областях. Виявлене явище вимагало пояснення, яке довгий час вчені не могли знайти. Фізики висували різні гіпотези щодо будови атома. Спочатку цю загадку вчені намагалися розгадати за допомогою побудови моделей на основі уявлень класичної електродинаміки та механіки.

У 1904 році з'явилися публікації про будову атома, одна з яких належала англійському фізику Джозефу Джону Томсону, інша – японському фізику Хантаро Нагаока.

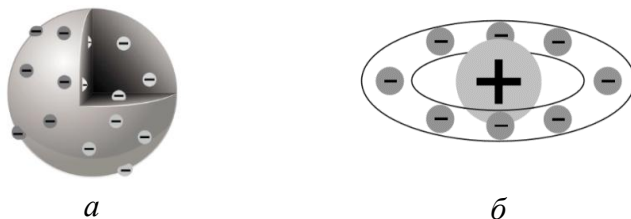


Рисунок 1.9 – Моделі атома:

а – «пудингова модель» Томсона; б – модель Нагаоки

Томсон прагнув побудувати модель атома, яка дозволила б пояснити всі його відомі властивості. В атомі Томсона позитивний заряд «розмазаний» по сфері, у яку вкраплені, як родзинки в пудинг, електрони. Електрони утримують всередині позитивно зарядженої сфери сили пружності. Ті ж самі електрони, які містяться поблизу поверхні, можуть бути досить легко «вибиті», залишаючи іонізований атом. Японський фізик Хантаро Нагаока (1865–1950) у 1904 році висунув гіпотезу про те, що атом складається з важкого

позитивно зарядженого ядра, оточеного кільцями з великого числа електронів. Нагаока уявляв будову атома, аналогічну Сатурну з його кільцями.

Однак нові дослідні факти спростували моделі й Нагаоки, й Томсона. У 1909–1910 рр. фізики Ганс Вільгельм Гейгер і Ернест Марсден за завданням Резерфорда проводили досліди, бомбардуючи α -частинками тонку золоту фольгу (рис. 1.10).

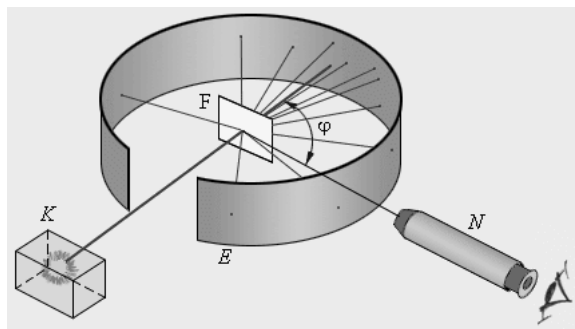


Рисунок 1.10 – Схема дослідження Резерфорда

За умови, що модель атома Томсона правильна, дослід мав довести, що частинки вільно проходять через металеві перешкоди. Експериментальна установка мала герметичну свинцеву камеру (2), всередину якої поміщували радій (1). Альфа-частинки, що випускав радій, проходили через вузький отвір у свинцевій пластині, утворюючи добре колімований пучок (3), який падав на мішень із тонкої золоті фольги (5). Перед початком чергової серії спостережень із камери викачували повітря. Підрахунок α -частинок здійснювали за сцинтиляціями (спалахами) на екрані із сірчаного цинку (4). Змінюючи положення екрана, можна було реєструвати частинки, що відбилися від мішені під будь-яким кутом. Спалахи спостерігали через віконце у стінці

камери за допомогою мікроскопа з 50-кратним збільшенням. Резерфорд і Гейгер візуально підраховали, що впродовж секунди з випромінювача масою 0,001 г вилітає 130 000 α -частинок. Результати експериментів засвідчили, що деякі частинки відхилялися від прямолінійного поширення (6) на 90° , а іноді й більше та навіть відскакували назад (7). Щоб пояснити таку поведінку α -частинок, Резерфорд запропонував більш достовірну і принципово нову ядерну модель. Оскільки атом електрично нейтральний, то негативно заряджені електрони за такою моделлю повинні були обертатися в об'ємі навколо позитивно зарядженого ядра з радіусом близько 10^{-10} м. Ця модель атома отримала назву *планетарної* через свою подібність із будовою планетних систем.

1.5.2 Зародження квантових уявлень

Тепер перед фізиками постало нерозв'язане питання: «Чому електрони не падають на ядро?» Якщо припустити, що їх утримує відцентрова сила, то, водночас, виникає інше утруднення: електричний заряд, що рухається в магнітному полі ядра, неминуче повинен випромінювати енергію. Це впливало з теорії Максвелла. Якщо б атом постійно випромінював енергію, він би не міг існувати протягом тривалого часу. Класична фізика виявилася безсилою перед цією проблемою.

Вчені розуміли, що теплове випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що випускає речовина, виникає воно завдяки енергії теплового руху її атомів і молекул. Модель фізичного тіла, яке за будь-якої температури поглинає все електромагнітне випромінювання в усіх діапазонах хвиль, було назване *абсолютно чорним тілом*. У 1879 році австрійський фізик Йозеф Стефан (1835–1893) експериментально встановив закон пропорційності енергії випромінювання абсолютно чорного тіла абсолютній

температурі у четвертому степені. У 1884 році цю залежність теоретично на основі класичної електродинаміки встановив Людвіг Больцман. Звідси назва – закон Стефана – Больцмана.

Нагріті тверді тіла, рідини й навіть щільні гази випромінюють неперервний спектр частот. Німецький фізик Вільгельм виявив, що крива випромінювання переміщується в область більш коротких або більш довгих хвиль у міру того, як температура відповідно підвищується або знижується згідно зі співвідношенням $\lambda_{\max}T = \text{const}$ (закон зміщення Віна). Цей закон отримав експериментальне підтвердження в експериментах із випромінюванням, що випускає маленький отвір у порожнині чорного тіла. За відкриття законів випромінювання у 1911 році Віну була присуджена Нобелівська премія. Однак зміст самої формули залишався незрозумілим. Для малих частот вона була непридатна. Виникла парадоксальна ситуація, що отримала назву «ультрафіолетова катастрофа». Одна формула була отримана теоретично, але призводила до абсурду; інша розв'язувала проблему у високих частотах, але була відверто неправильною за низьких. Недолік крився в основах теорії.

Вихід із цієї ситуації знайшов Макс Планк. Вчений висловив досить радикальне припущення: у процесах випромінювання енергія може бути віддана або поглинута не будь-якими довільними кількостями, а лише конкретними неподільними порціями. Кожна така порція-квант має енергію, пропорційну частоті випромінювання: $E = h\nu$. Коефіцієнт пропорційності h Планк назвав «елементарним квантом дії». Сьогодні його називають сталою Планка. Це одна з універсальних числових констант, що входить у численні формули й фізичні закони, які описують поведінку матерії та енергії в масштабах мікросвіту. Прийняття сьогодні значення сталої Планка – $(6,6260755 \pm 0,00023) \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Значення, обчислене Планком, відрізнялося від сучасного приблизно на 1 %.

У 1912 році на квантову гіпотезу Планка звернув увагу молодий датський фізик Нільс Бор (1885–1962). У моделі Резерфорда електрони теж рухалися по орбітах, втрачаючи енергію (унаслідок цього орбіти мали бути «спіральноними» й електрон падав би на ядро атома). У цьому разі спектри випромінювання атомів мали бути схожими на неперервний сонячний спектр, однак спектр випромінювання атома водню виявився лінійчатим.

Отже, Бор запропонував вважати аксіомою той факт, що тільки на постійних, стаціонарних, орбітах електрон може перебувати стійко, не падаючи на ядро. Бор припустив, що електрони в атомах теж не можуть втрачати енергію безперервно, а одночасно повинні здійснювати квантові переходи з однієї орбіти на іншу. Інакше кажучи, лінійчаті спектри випромінюють атоми речовини, коли електрони в атомі переходять з одного стану в інший. Тобто в разі переходу атома з одного стаціонарного стану з енергією E_1 в інший стаціонарний стан з енергією E_2 випускається або поглинається один квант енергії. Ці два припущення пізніше були названі постулатами Бора.

Експерименти Франка-Герца, проведені в 1913 році, підтвердили припущення Бора про те, що спектри атомів пояснюють наявність дискретних енергетичних рівнів, які можуть порушуватися внаслідок розсіювання електронів на атомі. Ідея досліду полягала у вимірюванні кількості енергії, яка передається атому під час його співударів з електронами. Було встановлено, що електрони втрачають енергію цілком конкретними «порціями».

У 1922 році Нільсу Бору була присуджена Нобелівська премія з фізики «за заслуги в дослідженні будови атомів і випромінювання, що випускається ними». Цікаво, що тоді одна з датських газет повідомила читачам: «Улюбленцеві

публіки, відомому футболісту Нільсу Бору присуджена Нобелівська премія». Знаменитий фізик був ще й талановитим футболістом. Нільс був другим запасним воротарем, він неодноразово грав за збірну команду Данії. Пізніше фізик захоплювався лижним спортом і вітрильними перегонами.

Відтепер теоретичні та експериментальні результати добре узгоджувалися. Утім... Теорія Бора правильно пояснювала лінійчатий спектр лише для атома водню. Уже спроба пояснити будову атома гелію зазнавала невдачі. А далі розвиток подій дуже нагадував історію з моделлю Птолемея та теорією Кеплера. Довелося «підправити» постулати Бора. У 1916–1918 роках Арнольд Зоммерфельд (1868–1951) додає до колових орбіт електронів еліптичні стаціонарні орбіти та вводить нові квантові числа. Протягом 1910-х – початку 1920-х років за допомогою вдосконаленої теорії була успішно розв'язана низка задач: пояснена природа коливальних та обертальних спектрів молекул, відкритий спін електрона, що пояснило існування напівцілих квантових чисел. За досягнення в галузі квантової теорії атома в період із 1917 року до 1951 року Зоммерфельда чи не щорічно номінували на здобуття Нобелівської премії – загалом 84 рази! Однак вчений так і не був нею нагороджений.

До кінця 1920-х років основні досягнення з так званої старої квантової теорії (розвиток борівської моделі атома) втрачали актуальність, оскільки, як і в разі з моделлю світобудови Птолемея, додаткові побудови пояснювали експериментальні результати фрагментарно.

Труднощі й суперечності накопичувалися та потребували нових теоретичних узагальнень, мова про які йтиме далі.

1.6 Підтвердження теорії квантів: фотоефект, ефект Комптона. Становлення квантової механіки

1.6.1 Відкриття та пояснення фотоефекту

З електронами пов'язане важливе для фізики явище, що отримало назву фотоефекту. Фотоефект – це випускання електронів тілами під дією світла. Ефект був відкритий у 1887 році Г. Герцем. Він виявив, що розряд між двома металевими кульками (проходження іскри) помітно полегшується, тобто відбувається за меншої напруги, якщо їх освітити ультрафіолетовим світлом. Факт викликав інтерес серед фізиків. У 1888 році німецький фізик Вільгельм Гальвакс (1859–1922) досліджував описане Герцем явище. Він освітлював металевий диск, з'єднаний з електроскопом. Поруч із диском був поміщений з'єднаний з іншим електроскопом екран з отвором для пропускання світла на диск. Гальвакс виявив, що якщо диск був заряджений негативно, то під дією світла він втрачав цей заряд, а екран набував негативного заряду. Якщо ж диск був заряджений позитивно, то світло на нього не впливало. Він також переконався в тому, що тіло, на яке діяли ультрафіолетові промені, набувало позитивного заряду. Чому виникали такі зміни?

Закони фотоефекту були встановлені Філіпом Ленардом та Олександром Столетовим на межі ХХ століття: вчені визначали кількість вибитих електронів і їхню швидкість залежно від інтенсивності випромінювання, була встановлена залежність виникнення струму від матеріалу (точніше від спектра його поглинання), що сьогодні називають червоною межею фотоефекту.

Молодий фізик, тоді нікому не відомий клерк патентного бюро в Цюриху (Швейцарія), Альберт Ейнштейн запропонував своє пояснення на основі гіпотези М. Планка про те, що світло випромінюється та поглинається певними

порціями, причому енергію кожної такої порції можна визначити за формулою $E = h\nu$, де h – стала Планка.

Ейнштейн зробив наступний крок у розвитку квантових уявлень. Він дійшов висновку, що і світло має переривчасту дискретну структуру. Він стверджував: світло не тільки випромінюється квантами, як того вимагала гіпотеза Планка, а й поширюється також квантами: електромагнітна хвиля складається з окремих порцій – квантів, згодом названих фотонами. Під час взаємодії з речовиною фотон цілком передає всю свою енергію певному електрону. Частину цієї енергії електрон може розсіяти під час зіткнень з атомами речовини. Частина ж енергії електрона витрачається на подолання потенціального бар'єра на межі «метал – вакуум». На думку Ейнштейна, якась частина енергії – E витрачається на те, щоб вирвати електрон з атома, а інша частина – $(mv^2)/2$ на те, щоб розігнати його до швидкості v , тобто надати йому кінетичну енергію. Обидва ці твердження можна коротко записати у вигляді простого рівняння: $h\nu = E + (mv^2)/2$. Цю формулу називають рівнянням Ейнштейна для фотоефекту.

За допомогою рівняння Ейнштейна можна пояснити всі закономірності зовнішнього фотоефекту. Оскільки електрони утримують у металі сили притягання, для їхнього вибивання з поверхні металу потрібна мінімальна енергія, названа роботою виходу $A_{\text{вих.}}$, що залежить від властивостей матеріалу катода. Для більшості металів вона становить кілька електрон-вольт.

Якщо частота світла, що падає, недостатня для вибивання електрона з поверхні металу, то фотострум дорівнює нулю. Ефект фотоелектронної емісії спостерігають, коли енергія квантів електромагнітного випромінювання, що падає, більша від роботи виходу електронів із матеріалу катода. Граничну енергію фотоелектронної емісії визначають

із виразу $h\nu > A_{\text{вих}}$, де ν – гранична частота фотоелектронної емісії (відома як червона межа фотоефекту).

Якщо тепер на анод подати деяку негативну напругу, то зовсім не у всіх електронів вистачить енергії, щоб подолати відштовхування від анода. І цілком очевидно, що чим вища це напруга, тим важче буде електронам її подолати. За деякої величини цієї напруги (коли добуток eU буде дорівнювати кінетичній енергії електронів) фотострум повністю припиниться. Ця напруга називається заперіною (U_3) і залежить вона від довжини світлової хвилі.

1.6.2 Ефект Комптона

Важливу роль у підтвердженні теорії квантів відіграв ефект Комптона, названий на честь його відкривача Артура Комптона (1892–1962). Комптон почав свої дослідження у 1922 році. А роком пізніше вони разом із нідерландсько-американським фізиком Петером Джозефом Вільямом Дебаєм (1884–1966) дали теоретичну інтерпретацію результатам дослідів.

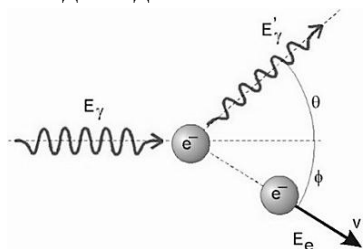


Рисунок 1.11 – Суть дослідів Комптона

Комптон вивчав розсіювання рентгенівського випромінювання різними речовинами і виявив, що частота розсіяного світла менша від частоти світла, що падає. Пояснити ефект Комптона в межах класичної електродинаміки неможливо. З погляду класичної фізики електромагнітна хвиля є неперервною і внаслідок розсіювання на вільних електронах змінювати свою довжину хвилі не повинна. Інша річ, якщо фотони дійсно можна уподібнити частинкам, то вони, крім енергії, повинні мати й імпульс. Крім того, імпульс фотонів, якщо він у них існує, повинен бути пов'язаний з енер-

гією тією ж самою формулою, що і в механіці. Відповідь на питання, чи справді фотон має імпульс, дали експерименти Комптона. Вчений досліджував процес зіткнення фотонів з електронами. Якщо фотон має імпульс, то під час зіткнення з електроном сумарний імпульс повинен зберігатися, що в досліді має виявлятися аналогічно до зіткнення більярдних куль. За образним висловлюванням М. Борна ефект Комптона – це гра в більярд фотонами та електронами. Вузький пучок монохроматичних рентгенівських променів подавався на невеликій зразок із графіту. Рентгенівські промені, як відомо, мають високу проникну здатність: вони проходять крізь шар графіту, й одночасно частина з них розсіюється в усі боки на атомах графіту. Розсіяні промені уловлювали під різноманітним кутами, а за допомогою рентгенівського спектрографа вимірювали довжину хвилі розсіяного світла. Енергія розсіяних фотонів, передбачена фотонною теорією, повністю збігалася з експериментальними даними. Зменшення енергії фотона після комптонівського розсіювання отримало назву комптонівського зміщення.

Досліди Комптона підтвердили, що світло можна розглядати як потік корпускул-фотонів, енергія й імпульс яких визначається частотою світла. Відкриття ефекту Комптона ще раз підтвердило двоїсту природу випромінювання, так званий дуалізм «хвиля – частинка»: спочатку рентгенівське випромінювання поводить як хвиля, потім взаємодіє з електроном як частинка (фотон) і після зіткнення знову поводить як подібно до хвилі.

1.6.3 Формування квантової механіки

Початок зародження квантової механіки поклали роботи М. Планка з теорії випромінювання абсолютно чорного тіла, у яких уперше була використана ідея кванта дії, та припущення А. Ейнштейна про розгляд структури самого

випромінювання у вигляді певних порцій – корпускул, світлових квантів. Експериментальні факти підтверджували корпускулярну природу, але водночас існували і докази хвильової природи випромінювання. Була потрібна нова теорія, що пояснювала б і корпускулярні, і хвильові властивості світла.

Професор Паризького університету Луї де Бройль припустив, що кванти світла і частинки матерії єдині за своєю сутністю і повинні описуватися однаково. У статтях 1922 року де Бройль пропонує розглядати кванти світла як частинки з нескінченно малою масою, які рухаються зі швидкостями, що залежать від їхньої частоти, дуже близькими до швидкості світла. Він постулював існування хвилі, яку згодом назвали хвилею де Бройля, пов'язаною з рухом частинки. За допомогою міркувань, заснованих на перетвореннях Лоренца, він довів, що частота ω і довжина λ цієї хвилі пов'язані з динамічними характеристиками частинки – енергією $E = \hbar\omega$ та імпульсом $p = \hbar k$. У дисертації, захищеній у 1924 році, де Бройль запропонував замінити принцип інерції Галілея принципом, згідно з яким частинка рухається по одному з променів фазової хвилі. Експериментально ця гіпотеза була підтверджена в 1927 році американськими фізиками Клінтоном Девісоном і Лестером Джермером, які виявили явище дифракції електронів на кристалі нікелю. Внесок Луї де Бройля у створення квантової механіки отримав високу оцінку. У 1929 році йому була присуджена Нобелівська премія з фізики «За відкриття хвильової природи електрона».

Дисертація де Бройля викликала позитивні відгуки Ейнштейна та справила враження на Ервіна Шредінгера – австрійського фізика-теоретика. Шредінгер розвинув концепцію фазової хвилі й отримав нерелятивістське хвильове рівняння. Записавши фазову хвилю де Бройля у вигляді $\Psi = \Psi(x, t)$, вчений довів, що функція природно пов'язана

з певним коливальним процесом в атомі. Уперше уявлення про хвилі, які не передають енергію або імпульс, а визначають ймовірність, було подане в теорії Бора – Крамерса – Слетера у 1924 році.

Дослідження подвійної природи електрона виявило неможливість одночасного точного визначення його координати та швидкості, які б досконалі засоби вимірювання не використовували. Натомість, науковці можуть лише оцінити ймовірність його перебування в певному місці. Причина цього – взаємодія мікрооб’єкта з макроскопічним приладом. Цю проблему першим усвідомив молодий німецький фізик-теоретик Вернер Гейзенберг. Почавши зі складних математичних формул, він поступово прийшов простого співвідношення, що дає загальний опис ефекту впливу інструментів вимірювання на вимірювані об’єкти мікросвіту. Унаслідок цього Гейзенберг сформулював *принцип невизначеності*: підвищення точності визначення одного параметра (координати) збільшує неточність у визначенні зв’язаного з ним параметра (імпульсу). Принцип дає обмеження, які не можна усунути жодними удосконаленнями приладу. Принцип невизначеності демонструє межі застосування до мікрочастинок модельних уявлень про них як про механічні тіла.

1.7 Виникнення і становлення теорії відносності

1.7.1 Експерименти з визначення швидкості світла

До XVII століття вважали, що світло поширюється миттєво. Сумніви щодо нескінченності швидкості світла мав Галілей. У «Діалогах про дві найголовніші системи світу» він запропонував спосіб її визначення за допомогою закриття й відкриття ліхтаря, розташованого на відстані кількох миль. Невідомо, чи намагався вчений провести

такий експеримент, однак через дуже велику швидкість світла вимірювання не могло бути точним.

Уперше швидкість світла визначив у 1676 році Оле Крістенсен Ремер за зміною інтервалів часу між затемненнями супутників Юпітера. У 1728 її встановив Джеймс Бредлі на підставі спостережень аберації світла зірок.

Фактично дослід, описаний у роботі Г. Галілея, повторив у 1849 році (через 250 років) Арман Іпполіт Луї Фізо. Він першим виміряв швидкість світла за часом проходження ним точно відомої відстані.

Під час експерименту Фізо (рис 1.12 *a*) пучок світла від джерела *S*, відбитий напівпрозорим дзеркалом *N*, періодично переривався зубчастим диском *W*, що обертався. Промінь проходив відстань *MN* і, відбившись від дзеркала *M*, повертався до диска. Потрапляючи на зубець, світло не досягало спостерігача, а, потрапивши у проміжок між зубцями, спостерігалось через окуляр *E*. Знаючи швидкість обертання диска, можна було знайти час проходження світлом відстані *MN*, а отже, знайти значення швидкості світла.

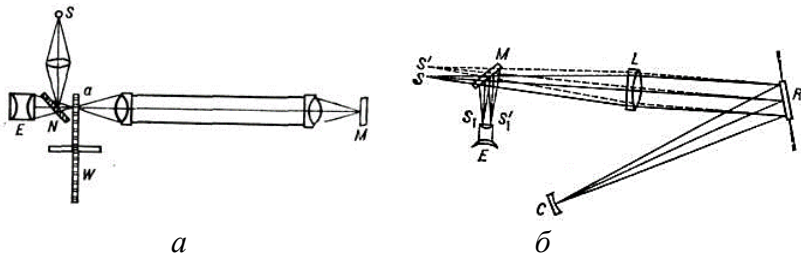


Рисунок 1.12 – Визначення швидкості світла:
a – методом Фізо; *б* – методом Фуко

Оскільки показник заломлення повітря близький до 1, то наземні вимірювання дають величину дуже близьку до швидкості світла. Фізо отримав значення $c = 313\,300$ км/с. У 1862 році Жан Бернар Леон Фуко застосував замість

зубчастого диска дзеркало, що швидко оберталося (рис. 1.12 б). Метод вимірювання швидкості світла полягав у послідовному відбиванні пучка світла S від дзеркала R , яке швидко обертається (512 об./с), потім від нерухомого дзеркала C , розташованого на точно виміряній відстані, а потім знову від першого дзеркала R , що встигло повернутися на деякий малий кут. M – напівпрозоре дзеркало; L – об'єктив; E – окуляр. Швидкість світла можна знайти, вимірюючи зсув SS' .

Фуко встановив, що швидкість світла дорівнює $298\,000 \pm 500$ км/с. Схеми та основні ідеї дослідів Фізо і Фуко були багато разів використані під час наступних вимірювань швидкості світла. Отримане Альбертом Майкельсоном у 1926 році значення $299\,796$ км/с було тоді найточнішим і увійшло в міжнародні таблиці фізичних величин.

Визначення швидкості світла відіграли велику роль у фізиці, додатково підтвердивши хвильову теорію світла. Був також встановлений зв'язок оптики з теорією електромагнетизму: отримане значення швидкості світла збіглося зі швидкістю електромагнітних хвиль. Цей збіг став одним із відправних пунктів під час створення Максвеллом електромагнітної теорії.

1.7.2 Зародження спеціальної теорії відносності

Наприкінці XIX століття у фізиці виникла кризова ситуація. Суть кризи полягала в тому, що певні передбачення двох базових наукових теорій, – теорії Ньютона (ньютонівської механіки) та теорії Максвелла (максвелівської електродинаміки), явно суперечили одна одній. У теорії Ньютона стверджувалось, що швидкість руху будь-якого фізичного об'єкта є відносною, тобто такою, яка залежить від вибору системи відліку. Математичним відображенням цього твердження є класичний закон додавання швидкостей. З іншого боку, теорія Максвелла стверджувала, що

швидкість світлових фотонів є абсолютно незмінною величиною, що чисельно дорівнює $3 \cdot 10^8$ м/с. Отже, відповідаючи на одне і те ж саме запитання про швидкість руху світлових фотонів (швидкість світла у вакуумі), теорія Ньютона і теорія Максвелла давали кардинально різні відповіді. У цій ситуації вчені шукали певні недоліки в електродинаміці Максвелла. Але експериментальні факти безумовно доводили, що теорія Максвелла є справедливою.

У 1887 році американські фізики Альберт Майкельсон і Генрі Морлі провели експеримент, який мав довести, що ефір реально існує та слугує середовищем, у якому поширюється світло й інші електромагнітні хвилі.

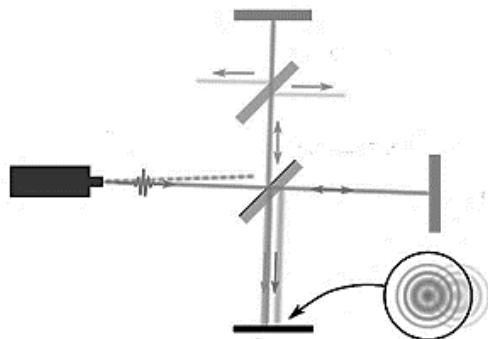


Рисунок 1.13 – Інтерферометр Майкельсона

Вчені використали інтерферометр (рис. 1.13) – оптичний вимірювальний прилад, у якому промінь світла розщеплюється надвоє напівпрозорим дзеркалом (посріблена з одного боку скляна пластина, яка частково пропускає світлові промені, а частково відбиває їх). Унаслідок цього промінь від джерела розщеплюється на два когерентних промені, які розходяться під прямим кутом, відбиваються від двох рівновіддалених напівпрозорих дзеркал-відбивачів і повертаються на напівпрозоре дзеркало. Результуючий

пучок світла від дзеркала дозволяє спостерігати інтерференційну картину і виявляти найменшу десинхронізацію (запізнення одного променя щодо іншого) двох променів.

Спостерігаючи протягом року за своєю установкою, Майкельсон і Морлі не виявили жодних зміщень в інтерференційній картині. Так, вчені беззаперечно довели, що швидкість світла не залежить ані від швидкості руху джерела світла, ані від швидкості руху спостерігача.

Вихід із цієї кризової ситуації запропонував німецький фізик Альберт Ейнштейн (1879–1955). У 1905 році в кількох випусках німецького фізичного журналу «Аннали фізики» з'явилися статті маловідомого молодого фізика – випускника Цюрихського політехнічного інституту. Ці роботи стосувалися основ фізичної науки та згодом принесли їхньому автору безсмертну славу. Ейнштейн у статті «До електродинаміки рухомих середовищ», глибоко проаналізувавши поняття одночасності подій, довів збереження рівнянь Максвелла щодо перетворень Лоренца, сформулював свій принцип відносності та принцип сталості швидкості світла і на їхній основі створив спеціальну теорію відносності (СТВ).

Він цілком слушно вирішив, оскільки факт постійності швидкості світла є надійно експериментально доведеним, то нема підстав сумніватися в його достовірності. З іншого боку, нема жодних підстав сумніватися і в достовірності теорії Ньютона та того принципу, який лежить в основі цієї теорії і називається принципом відносності. Крім того, Ейнштейн зрозумів, якщо виходити з цих двох базових принципів, то можна не лише розв'язати ті суперечності, що існують між ньютонівською механікою та максвелівською електродинамікою, а й об'єднати ці, на перший погляд, абсолютно різні науки в єдине ціле. Реалізуючи цю ідею, Ейнштейн у 1905 році створив свою знамениту теорію відносності. В основі цієї теорії лежать два

твердження: 1) принцип відносності: у всіх інерціальних системах відліку, тобто таких системах, де працює перший закон Ньютона, усі фізичні процеси відбуваються абсолютно однаково; 2) принцип постійності швидкості світла: у всіх інерціальних системах відліку, швидкість світла у вакуумі залишається незмінною і чисельно рівною $3 \cdot 10^8$ м/с. Водночас ця швидкість є гранично великою.

За легендою, прозріння прийшло до Ейнштейна, коли вчений нібито їхав у трамваї по Берну. Поглянувши на вуличний годинник, він раптово усвідомив, що якщо б трамвай зараз розігнався до швидкості світла, то в його сприйнятті цей годинник зупинився б – часу навколо не існувало б. Того дня Ейнштейн усвідомив, що опис будь-якої фізичної події або явища залежить від системи відліку, у якій перебуває спостерігач. Якщо пасажир трамваю, наприклад, упустить окуляри, то для нього вони впадуть вертикально вниз, а для пішохода, який стоїть на вулиці, окуляри будуть падати за параболою, оскільки трамвай рухається, тоді як окуляри падають. Однак є й універсальні речі, що під час переходу з однієї системи відліку в іншу залишаються незмінними. Це – закони природи. Теорія відносності виходить із положення, що закони природи одні і ті ж самі для всіх систем відліку, що рухаються з постійною швидкістю.

Відповідно до положень релятивістської динаміки в 1905 році Ейнштейн сформулював закон взаємозв'язку маси й енергії. Вихідним пунктом міркувань, які привели вченого до дивного висновку про те, що маса й енергія єдині, був висновок, згідно з яким світло наздогнати неможливо. Виявилось, що маса речовини може не зберігатися, частково перетворюючись на енергію. Ейнштейн висловив припущення про можливість таких перетворень маси в різні форми енергії. На підставі цих тверджень Ейнштейн довів, що наші уявлення про час і простір, теперішнє,

минуле та майбутнє, одночасність і неодночасність подій, масу та енергію, закон додавання швидкостей і про багато інших фундаментальних речей не зовсім відповідають дійсності.

Спеціальна теорія відносності (СТВ) Альберта Ейнштейна йшла в розріз з усякою логікою і багатьом здалася повним безглуздям.

1.7.3 Загальна теорія відносності

До 1916 року Ейнштейн розширив спеціальну теорію відносності до загальної (ЗТВ). Це дозволило йому виправити помилки механізмів класичної фізики під час розгляду рухів дуже великих об'єктів, таких як планети і зорі. Нова теорія Ейнштейна могла повною мірою пояснити природні явища в усіх тонкощах, тоді як СТВ лише передбачала, що буде, якщо об'єкт летить зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Завжди вважали, що найкоротша відстань між точками – це пряма, але Ейнштейн довів, що і пряма лінія іноді може бути викривленою.

Причина цього викривлення в тому, що будь-яка маса спотворює простір-час, а масивні об'єкти, такі як зорі, можуть спотворювати його досить сильно. Ейнштейн пояснив дію сил тяжіння з погляду викривлення простору-часу. Усі маси злегка «провалюють» площину простору-часу, перетворюючи її у «гравітаційні вирви», а найважчі – у «гравітаційні колодязі». Отже, яблуко, що падає на землю, просто скочується вниз у величезну гравітаційну вирву Землі. Земля ж обертається по краю ще глибшої вирви, створюваної Сонцем. Фатального падіння вниз не відбувається, оскільки Земля має певну швидкість, подібно до кульки в рулетці. Минуло чимало років, перш ніж обидві теорії відносності були схвалені науковим співтовариством.

Однак теоретична думка не зупинилася, і сьогодні є групи фізиків, які вивчають не розв'язану досі проблему об'єднання СТВ з квантовою теорією.

1.8 Розвиток фізики ядра та елементарних частинок. Сучасні проблеми та перспективи розвитку фізики

1.8.1 Відкриття елементарних частинок

Англійському фізику Генрі Мозлі було лише 25 років, коли він установив, що ядра всіх елементів можна впорядкувати за унікальними атомним номерами. У 1917 році з'ясували, що запропонований Мозлі атомний номер – це, по суті, кількість протонів у ядрі. На жаль, сам Мозлі загинув двома роками раніше на одному з фронтів Першої світової війни. Надзвичайно важливе відкриття Мозлі вказувало на те, що позитивно заряджені атомні ядра складаються з частинок, які мають електричний заряд. У цьому разі ядро Гідрогену має містити одну таку частинку тощо. Це стало відправною точкою для початку пошуків позитивно заряджених субатомних частинок.

Першим таке припущення висловив ще Ернест Резерфорд. Він припустив, що позитивний заряд ядра переносить частинка, яку назвав *протоном* (з лат. «перший»). Виходило, що ядро водню містило тільки протон. Наступним відкриттям стало те, що протон має електричний заряд, що дорівнює заряду електрона, але протилежний за знаком, проте маса протона майже у 2 000 разів більша.

Важливою характеристикою атома була його атомна маса. Ядро Гідрогену мало один протон, тому його атомна маса дорівнювала атомному номеру. Однак для інших елементів такої рівності не спостерігалось. До 1920-х років у науковому середовищі поширилася думка, що за цю невраховану масу відповідає якась незаряджена частинка в

ядрі атома. Загалом можна було відзначити, що атомна маса легких елементів дорівнювала атомному номеру, помноженому на два. Виникло припущення, що маса невідомої нейтральної частинки була така ж сама, як у протона.

На початку 1930-х років дослідники відкрили новий тип випромінювання, який реєструвався, коли високоенергетичні альфа-частинки потрапляли у зразок берилію або бору. Це випромінювання не мало електричного заряду, а його енергія набагато перевищувала енергію гамма-променів. У 1932 році англійський фізик Джеймс Чедвік проводив експерименти, спрямовуючи невідоме випромінювання на газу однорідного складу й отримуючи молекули інших мас. За результатами дослідів Чедвік розрахував масу частинок, які утворювали невідоме випромінювання. Вчений з'ясував, що маса невідомої частинки повинна бути близькою до маси протона. Нову частинку назвали *нейтрон* (від лат. «neutral» нейтральний).

У 1929 році дослідники навчилися реєструвати частинки, що випускаються під час проходження високоенергетичних космічних променів через атмосферу. Серед відомих вони виявили дивну частинку, схожу на електрон, але з позитивним зарядом. Пізніше в 1932 році Карл Андерсон побачив аналогічну картину в конденсаційній камері. Цю нову частинку він назвав *позитроном*.

У 1930-ті роки японський фізик-теоретик Хідекі Юкава намагався зрозуміти, що ж скріплює атомні ядра. Електромагнітні сили мали б розштовхувати однойменно заряджені протони. Отже, у природі має існувати сила, що переважає електростатичне відштовхування і зберігає ядро з нуклонів (протонів і нейтронів) від руйнування. Згодом було встановлено, що така сила існує. Вона обумовлена сильною ядерною взаємодією. Але діють ці сили на відстанях менших від розміру атома й не досягають навіть радіуса першої орбіти. У 1934 році Юкава припустив, що

сильну взаємодію переносять частинки середньої маси, що мають проміжне положення між масами електрона і протона. У 1936 році в дощі космічних променів була відкрита частинка з такою масою, названа μ -мезон (мю-мезон). Але вона виявилася у 207 разів важчою від електрона, тому не узгоджувалася з теорією Юкави. Згодом її перейменували в мюон, який посів місце в сімействі лептонів. У 1945 році в космічних променях був спійманий перший справжній мезон – π -мезон (пі-мезон, піон). Він мав масу, що дорівнює двом третинам маси протона, існував мільярдні долі секунди, а потім розпадався.

За передбачення існування мезонів і теоретичні дослідження природи ядерних сил Хідекі Юкаві в 1949 році була присуджена Нобелівська премія з фізики.

1.8.2 Етапи становлення фізики елементарних частинок

У часи зародження фізики атомного ядра більшість основоположних відкриттів було зроблено з використанням природних джерел радіоактивного випромінювання та найпростіших детектувальних пристроїв. Згодом техніка прискорення і детектування частинок ускладнювалася, експериментальні установки вдосконалювалися. Успіхи у фізиці елементарних частинок все більшою мірою визначалися прогресом у цій сфері.

У 1929 році молодий професор Каліфорнійського університету Ернест Орландо Лоуренс зрозумів, що здійснити резонансне прискорення частинок можливо не тільки на прямолінійній траєкторії. Він взяв металевий порожній циліндр, розрізав його вздовж вісі й розсунув половинки (зараз їх називають дуантами). Циліндр необхідно розмістити між полюсами електромагніту, а в його центрі помістити джерело заряджених частинок. У постійному магнітному полі під дією сили Лоренца вони починають закручуватися

і рухатися колами фіксованого радіуса (водночас у камері має бути вакуум). Такий пристрій можна перетворити на прискорювач.

Для цього в щілини між дуантами треба подати змінне електричне поле, частота якого збігається з частотою обертання частинок (остання залежить від заряду, напруженості магнітного поля й маси частинок і не залежить від їхньої швидкості). Лоуренс називав свій винахід «протоновою каруселлю», нині він має назву циклотрона.

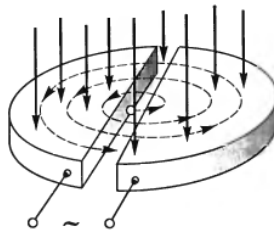


Рисунок 1.14 – Принцип роботи прискорювача елементарних частинок

Водночас задача прискорення частинок у циклотроні має принципову складність. У міру прискорення частинки, згідно зі спеціальною теорією відносності, зростає її маса. Це призводить до порушення процесу – через певне число обертів магнітне поле замість прискорення починає гальмувати частинки. Щоб релятивістські частинки продовжували розганятися в резонансному режимі, необхідно або поступово збільшувати напруженість магнітного поля (зменшуючи радіус їхньої траєкторії), або зменшувати частоту коливань електричного потенціалу на дуантах, змушуючи її слідувати за зниженням частоти обертання частинок, або узгоджено змінювати параметри обох полів. Уся історія прискорювачів майже до останнього часу – це пошук способів синхронізації руху частинок у такт зі

змінним електричним полем. У 1944 році радянський фізик Володимир Векслер запропонував розв'язання вказаної проблеми: змінювати частоту прискорювального електричного поля за певним законом (у подальшому такий прискорювач отримав назву синхроциклотрон). Сам принцип прискорення був названий «принципом автофазування». У листопаді 1946 році американські вчені спорудили і запустили протонний фазотрон – перший прискорювач, заснований на принципі автофазування. З початку 50-х років ХХ ст. прискорювачі перетворилися на основний інструмент із дослідження елементарних частинок. Найбільший прискорювач – Великий адронний колайдер (ВАК) побудувала у 2008 році Європейська організація з ядерних досліджень (CERN) на кордоні Швейцарії та Франції поблизу м. Женеви (рис. 1.15). Створення найбільшого у світі адронного колайдера коштувало близько дев'яти мільярдів доларів.



Рисунок 1.15 – Великий адронний колайдер у CERN

У ВАК пучки частинок можуть прискорюватися до колосальної енергії – 6,5 TeV кожен. І після цього їх спрямовують до двох прискорювальних кілець. В одному кільці пучок циркулює за годинниковою стрілкою, тоді як в іншому – у протилежному напрямку. Потрібно 4 хвилини 20 секунд для заповнення кожного кільця ВАК і 20 хвилин,

щоб частинки досягли максимальної енергії. Електромагніти навколо детекторів часток генерують магнітні поля для створення сили Лоренца. Заряджені частинки одночасно розганяються до 99,9999 % від швидкості світла В експериментах два пучки приводяться у зіткнення в чотирьох точках, у яких розташовані детектори ALICE, ATLAS, CMS та LHCb. Загальна енергія в точці зіткнення – близько 13 TeV. Складні сенсори зчитують усю інформацію, отриману після зіткнення цих частинок. Дані, зафіксовані під час зіткнень, аналізує мережа суперкомп'ютерів, розміщених по всьому світу в країнах-партнерах проекту.

Сучасна теорія субатомної фізики має назву «Стандартна модель». Вона є одним із найважливіших узагальнень, яке класифікує елементарні частинки відповідно до їхніх зарядів та описує, як вони взаємодіють через фундаментальні взаємодії. Стандартна модель розділяє елементарні частинки на ферміони, на які діють сили, і бозони, які переносять сили між ферміонами. Серед ферміонів виділяють шість кварків (три з електричним зарядом $1/3$ і ще три – із зарядом $2/3$ в одиницях заряду електрона), а шість лептонів внутрішньої структури не мають і подані трьома поколіннями нейтрино свого «аромату» і відповідно трьома пов'язаними з ними зарядженими частинками. Єдиним стабільним лептоном є електрон. Кварки беруть участь у сильній взаємодії. Сильну взаємодію переносять глюони (усього, ймовірно, 8 незалежних типів), електромагнітну взаємодію передають кванти електромагнітного випромінювання – фотони, а слабку – три калібрувальні бозони.

Дотепер усі прогнози «Стандартної моделі» підтверджувалися експериментами з великою точністю. Водночас спостереження астрономів доводять, що Всесвіт більш складний, ніж його пояснює ця сучасна теорія: галактики обертаються швидше, ніж мали б, розширення Всесвіту прискорюється, а не сповільнюється. Крім того, Стандартна

модель не може пояснити гравітацію. Тому вчені вважають, що мають існувати ще не виявлені частинки. Передбачають, що ця квантова теорія є лише частиною більш широкої теорії. Отже, будь-які невідповідності між прогнозами «Стандартної моделі» та експериментальними результатами можуть призвести до нових фундаментальних відкриттів.

1.8.3 Передбачення й відкриття гравітаційних хвиль

До 1935 року про Всесвіт судили за світлом, яке від нього отримують. Згодом Карл Янський, американський радіоінженер, довів, що віддалені об'єкти у Всесвіті можна досліджувати за допомогою радіохвиль. Відповідно до теорії відносності масивні об'єкти у Всесвіті, переміщуючись, деформують «полотно» простору-часу, і ця деформація поширюється у просторі зі швидкістю світла. Будь-який об'єкт викликає спотворення, пропорційні його розміру.

У 2016 році телескопи лазерно-інтерферометричної гравітаційно-хвильової обсерваторії LIGO зафіксували хвилі, створювані гравітацією. Були виявлені гравітаційні хвилі, що виходять від двох чорних дір, які обертаються одна навколо одної. LIGO була спроектована для спостереження за гравітаційними хвилями за допомогою вимірювання розширення і скорочення простору-часу. Цього досягають за допомогою лазерів, спрямованих один на одного. Якщо простір не змінюється, лазерні промені накладаються й нейтралізують один одного. Якщо фіксують гравітаційну хвилю, промінь одного з лазерів проходить відстань, яка дещо відрізняється, що помітно на картині його взаємодії з іншим лазером. Щоб усунути вплив земних вібрацій, що викликають коливання приладів, обладнані дві обсерваторії: у Луїзіані та Вашингтоні. Гравітаційні хвилі будуть однаковими, але сейсмічна активність у цих місцях буде різною, що дозволить визначити діапазон відхилень.

У 2016 році, через 16 років досліджень, LIGO змогла зафіксувати гравітаційні хвилі від чорних дір. Космічний телескоп для спостереження за гравітацією у Всесвіті, має бути відправлений на орбіту в 2030-х роках.

Контрольні питання

1. Які існують періоди в розвитку історії фізики?
2. Що вважають метафізикою?
3. Хто був найвидатнішим учнем грецького філософа Платона?
4. Які значні відкриття в механіці здійснив Архімед?
5. Який був недолік геліоцентричної системи Коперника?
6. Які астрономічні відкриття були зроблені Галілеєм?
7. Яка роль Тихо Браге в астрономічних відкриттях Кеплера?
8. Хто вперше експериментально довів зв'язок між електричними і магнітними явищами?
9. Хто і на підставі якого явища вперше розрахував елементарний електричний заряд?
10. Яке відкриття в першій половині XIX століття відіграло визначальну роль у розвитку теорії електромагнетизму?
11. Як була встановлена природа рентгенівських променів?
12. Як відбувалося відкриття радіоактивності?
13. Ким і коли була відкрита штучна радіоактивність?
14. Хто вперше застосував квантову теорію для пояснення будови атома?
15. Хто із вчених-фізиків працював над створенням квантової електродинаміки? Які суперечності вона розв'язувала?

Список літератури до розділу 1

1. Алексеєва К. Подвиг в ім'я науки : до 150-річчя від дня народження Марії Складовської-Кюрі / К. Алексеєва, О. Нижник // Фізика та астрономія в рідній школі. – Київ : Педагогічна преса, 2017. – № 6. – С. 41–46.

2. Арнольд В. И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук – первые шаги математического анализа и теории катастроф, от эвольвент до квазикристаллов. – Серия «Современная математика для студентов». – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 96 с.

3. Голин Г. М. Кавендиш Г. Опыты по определению плотности Земли / Г. М. Голин, С. Р. Филонович // Классики физической науки. – Москва, 1989. – С. 255–268.

4. Джексон Том. Физика. Иллюстрированная хронология науки / Т. Джексон ; пер. с англ. А. В. Банкрашкова. – Москва : Издательство АСТ, 2016. – 168 с.

5. Кессельман В. На кого упало яблоко : настоящая история великих открытий / В. Кессельман. – Москва : Ломоносовъ, 2014. – 208 с.

6. Кессельман В. С. Физика в инфографике. От гномона до кванта / В. С. Кессельман. – Москва : АСТ, 2016. – 208 с.

7. Кудрявцев П. С. Курс истории физики : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ. спец. / П. С. Кудрявцев. – 2 изд., испр. и доп. – Москва : Просвещение, 1982. – 448 с.

8. Лауэ М. История физики / И. В. Кузнецов. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 229 с.

9. Липсон Г. Великие эксперименты в физике / Г. Липсон ; пер. с англ. И. Б. Виханского, В. А. Кузьмина ; под ред. В. И. Рыдника. – Москва : Вузовская книга, 2011. – 196 с.

10. Локтев В. М. Дещо про всесвітньо відомі фізичні експерименти / В. М. Локтев. – Режим доступу : <https://kpi.ua/experiments> (23.07.2020).

11. Мазейкина М. Ю. От кинематических законов Галилея и Кеплера к динамическим законам Ньютона: методика изложения классической механики / М. Ю. Мазейкина, А. С. Неграш // Молодой ученый. – 2012. – № 5 (40). – С. 452–460.

12. Повар С. Дослід Майкельсона на шляху створення спеціальної теорії відносності: методичні пропозиції / С. Повар, К. Герасимова // Фізика та астрономія в рідній школі. – Київ : Педагогічна преса. – 2017. – № 1. – С. 17–19.

13. Сусь Б. А. Про фізичний зміст хвиль де Бройля / Б. А. Сусь, Б. Б. Сусь // Фізика та астрономія в рідній школі. – 2017. – № 4. – С. 7–10.

14. CERN OpenData Portal. – Режим доступу : <http://opendata.cern.ch/>.

15. Woithe J. Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics! / J. Woithe, G. J. Wiener, F. F. Van der Veken // Physics Education. – № 52(3). – 2017. – P. 034001.

Розділ 2 НАВЧАЛЬНИЙ ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1 Навчальний фізичний експеримент у вивченні фізики в закладах загальної середньої освіти

2.1.1 Роль і місце навчального експерименту у викладанні фізики

Фізичний експеримент відіграє вагомий роль не тільки в науковому дослідженні, а й у вивченні самої фізики. Ознайомлення учнів із фундаментальними фізичними експериментами створює необхідну експериментальну базу для вивчення фізики, дає змогу вказати школярам їхнє місце у структурі сучасної науки. Однак специфіка сприйняття учнями навчального матеріалу та педагогічні завдання, що стоять перед курсом фізики, який вивчають у закладах загальної середньої освіти, не дозволяють обмежити навчальний процес ознайомленням лише з фундаментальними дослідженнями. З педагогічного погляду необхідна постановка *навчальних* експериментів, що мають велике дидактичне значення. Навчання фізики полягає в такому доборі та розгортанні матеріалу, за якого за допомогою послідовних, логічних операцій і раціонально підібраних дослідів за мінімальної витрати часу й оптимальної напруги розумових здібностей учнів можна було сформулювати основні фізичні поняття, дати уявлення про основні фізичні закони й теорії, розвинути мислення та інтелектуальний потенціал тих, хто навчається.

Процес навчання фізики має полягати в послідовному формуванні нових (для учнів) понять, теорій, законів на основі певних фундаментальних положень, що спираються на дослід. У цьому процесі однаковою мірою відображено індуктивний характер встановлення основних фізичних закономірностей на основі експерименту та дедуктивний

характер виведення наслідків зі встановлених у такий спосіб закономірностей із використанням доступного для учнів математичного апарату.

У навчальному процесі з фізики навчальний експеримент може бути використаний на різних етапах вивчення матеріалу та з різною дидактичною метою:

1. *Побудження та активізація пізнавального інтересу тих, хто навчається*, до вивчення предмета на перших уроках фізики. Позитивна пізнавальна мотивація до предмета майбутньої діяльності й самої діяльності обумовлює високу інтелектуальну активність учнів, яка й забезпечує їхній інтелектуальний розвиток. Уже на перших уроках фізики в 7 класі необхідно підкреслити, що фізика як природнича наука бере свій початок із досліду. Зокрема ще в давні часи люди виявили властивість одного з видів залізної руди притягувати залізні предмети. Пізніше була помічена властивість магніту одним кінцем указувати на північ, а іншим – на південь, яка була використана для створення компасу. Але найбільш важливі властивості магніту стали відомі лише тоді, коли їх почали вивчати вчені – вони встановили, що магніти не тільки взаємно притягуються, а й відштовхуються. Учням буде доцільно продемонструвати притягання та відштовхування магнітів. І лише в XIX столітті англійський вчений Майкл Фарадей відкрив, що за допомогою магніту можна одержати електричний струм. Потрібно продемонструвати світіння електричної лампи від магнітоелектричної машини. Звернути увагу учнів на магніти в машині. Зазначити, що нині все промислове виробництво електричної енергії побудоване на використанні явища, відкритого Фарадеєм.

2. *Постановка навчальної проблеми, яка потребує розв'язання та отримання учнями нових знань*. Навчальний експеримент, особливо якщо він має проблемний характер, стає «поштовхом» до активної пізнавальної діяльності учнів.

Наприклад, під час вивчення тиску газу у 8 класі проблемна ситуація може бути створена за допомогою демонстрування такого досліду: під ковпаком повітряного насоса розміщена металева банка, закрита гумовою плівкою. Після відкачування повітря з-під ковпака спостерігають за прогинанням плівки. Учитель ставить перед учнями завдання: пояснити причину прогинання плівки, що закриває посудину, під час відкачування повітря з-під ковпака.

3. *Управління пізнавальною діяльністю учнів* під час вивчення нового матеріалу. Під час демонстрації досліду вчитель має можливість акцентувати увагу на найбільш важливих деталях експерименту, покращуючи розуміння сутності демонстрованих фізичних явищ і процесів. Наприклад, повідомляючи про існування двох видів електричних зарядів, вчитель демонструє дослід: на тримач поміщена ебонітова паличка, потерта хутром, до неї спочатку підносять скляну паличку, потерту папером, а потім таку ж саму ебонітову паличку, потерту хутром. Спостерігаючи за тим, як взаємодіють ці палички, доходять відповідного висновку.

4. *Установлення фізичних закономірностей* і перевірка деяких їхніх наслідків. Зокрема для з'ясування умов плавання тіл у 7 класі проводять лабораторну роботу, де учні порівнюють архімедову силу та силу тяжіння, які діють на занурене в рідину тіло. Для обчислення архімедової сили школярі використовують результати вимірювання зміни об'єму води в мензурці після занурення в неї пробірки з піском. Для обчислення сили тяжіння використовують результати вимірювання маси пробірки з піском на важільних терезах. Порівнюючи результати обчислень, школярі самостійно мають дійти висновків: тіло спливає на поверхню, коли сила тяжіння менша від сили Архімеда; тіло плаває в рідині, коли сила тяжіння дорівнює силі

Архімеда; тіло тоне, коли сила тяжіння більша за силу Архімеда.

5. *Перевірка припущень*, що були висунуті учнями у процесі обговорення навчальних проблемних ситуацій. Так, під час вивчення тиску в 7 класі, з'ясувавши, що тиск газу на стінки посудини пояснюють ударами рухомих молекул, висловлюють припущення, що тиск газу має залежати від його температури. Це припущення перевіряють на досліді з вилітанням пробки із пробірки з водою під час її нагрівання.

6. *Демонстрування прикладів застосування фізичних явищ і процесів у різних сферах*: техніці, технологіях і побуті. Наприклад, після вивчення руху зарядженої частинки в однорідному магнітному полі повторюють, які сили діють на неї з боку електричного та магнітного полів. Після цього повідомляють, що вказані фізичні закономірності покладено в основу роботи прискорювачів елементарних частинок – основних сучасних інструментів із їхнього дослідження. Розповідають, що найбільший у світі прискорювач побудований у 2008 році у ЦЕРНі, за його допомогою у 2012 році здійснили відкриття нової частинки – бозону Хігса, про яке знає увесь світ. Насправді ж, принцип роботи циклічного прискорювача можна продемонструвати у класі із застосуванням зовсім нескладного обладнання. Демонструють дослід так: до стінок круглої пластикової посудини приклеєні смужки фольги, які через одну з'єднані з різними полюсами електрофорної машини. Помістивши кульку на одну зі смужок, після приведення в дію електрофорної машини спостерігають прискорений рух кульки, зумовлений різницею потенціалів між смужками фольги. Ознайомлення школярів з об'єктами техніко-технологічного характеру дозволяє поглибити й систематизувати знання учнів із фізики та проілюструвати зв'язок фізики з технікою та сучасними технологіями.

7. Виняткове значення навчальний експеримент має у *формуванні в учнів експериментаторських умінь* і навичок, умінь аналізувати явища, узагальнювати одержані дані. Правильно організоване демонстрування вчителем фізичного явища чи процесу є для учнів зразком діяльності під час самостійної організації та проведення експерименту.

8. *Розвиток творчості та креативності учнів.* Розвитку активності й творчого мислення учнів більшою мірою сприяють домашні досліди та спостереження, які учні виконують перед вивченням нового матеріалу.

Однією з умов успішного формування в учнів необхідних практичних умінь, дослідницьких навичок та особистісного досвіду експериментаторської діяльності є система раціонально підбраного та ретельно поставленого навчального експерименту.

2.1.2 Система навчального експерименту з фізики

Навчальний фізичний експеримент у школі реалізують у таких формах: 1) *демонстраційний* експеримент, що виконує переважно вчитель, призначений для одночасного сприйняття всіма учнями класу; 2) *лабораторний* експеримент, який виконують учні. Обидва ці види експерименту доповнюють один одного. Демонстраційний експеримент необхідний у тих випадках, коли потрібне активне управління ходом думок учнів під час вивчення явищ і законів. Лабораторний – як метод організації навчальної діяльності школярів, що передбачає опанування учнями певної системи вмінь, які загалом являють собою так зване узагальнене експериментальне вміння.

Узагальнене експериментальне вміння містить:

1) *уміння планувати експеримент*: формулювати мету, визначати й обґрунтовувати експериментальний метод, складати план досліду й визначати найкращі умови для його проведення, обирати оптимальні значення вимірюваних

величин та умови спостережень, зважаючи на наявні експериментальні засоби;

2) *уміння підготувати експеримент*: добирати необхідне обладнання й вимірювальні прилади, збирати дослідні установки чи моделі, раціонально розташовувати прилади, досягаючи безпечного проведення досліду;

3) *уміння спостерігати*: визначати мету й об'єкт спостереження, встановлювати характерні ознаки перебігу фізичних явищ і процесів, виділяти їхні суттєві ознаки;

4) *уміння вимірювати фізичні величини*, користуючись різними вимірювальними приладами, зокрема цифровими пристроями та комплексами, визначати ціну поділки шкали приладу, знімати покази з приладів;

5) *уміння обробляти результати експерименту*, обчислювати значення величин і похибки вимірювань, скласти таблиці одержаних даних, використовувати для цього комп'ютерне програмне забезпечення, готувати звіт про проведену роботу, записувати значення фізичних величин у стандартизованому вигляді тощо;

б) *уміння інтерпретувати результати експерименту*, описувати спостережувані явища й процеси, застосовуючи фізичну термінологію, оцінювати їхню істинність, встановлювати функціональні залежності, будувати графіки, робити висновки на підставі попередньо сформульованих гіпотез.

Формування узагальненого експериментального вміння – процес довготривалий, який вимагає планомірної спільної роботи вчителя та учнів упродовж усього навчання фізики в школі.

2.2 Шкільний кабінет фізики та його обладнання

2.2.1 Перелік засобів навчання та обладнання навчального і загального призначення

Успішність і виразність демонстраційних дослідів залежать, передусім, від наявного в кабінеті фізики обладнання, однак значну роль відіграє пристосованість самої аудиторії фізичного кабінету до постановки експерименту. Рационально обладнана аудиторія фізичного кабінету забезпечує зручність у повсякденній роботі вчителя.

Сучасний кабінет фізики в закладах загальної середньої освіти повинен відповідати певним критеріям: складатися із двох приміщень – *аудиторії для навчання та лабораторнської*. Плани облаштування кабінетів можуть бути різними залежно від площі та форми приміщень. Для забезпечення електроживленням приладів і пристроїв під час виконання демонстраційних дослідів, лабораторних робіт, практикумів, гурткових і факультативних занять у кабінеті встановлюють щит живлення від мережі змінної напруги 220 В, обладнаний пристроєм захисного відключення. У кабінеті має бути система водопостачання та водовідведення. Низку дослідів ставлять у затемненому приміщенні, тому необхідно організувати затемнення аудиторії. Це можуть бути як сучасні ролети-«блекаут», так і спеціальні чорні портъери з виїзним механізмом.

Кабінет фізики має бути обладнаним відповідними *спеціальними меблями* – лабораторними столами для учнів, стільцями, шафами для зберігання приладдя, посібників.

Робоче місце вчителя обладнують *демонстраційним столом*. Від якості цього столу і його оснащення багато в чому залежить якість проведення демонстраційних дослідів. Головною особливістю демонстраційного столу є його значні розміри та висота (3000 × 750 × 900 мм). На одній зі стінок столу потрібно встановити розетки, до яких підвести

змінний електричний струм від щита живлення. Біля розеток повинні бути чіткі, добре видимі написи 220 В. Тумби столу оснащують шухлядами для зберігання інструментів, приладів, матеріалів, ящиків-підставок, лабораторних штативів і приладдя до них, що використовують для проведення дослідів. Під час установки столу потрібно вжити всіх заходів, для того щоб кришка столу була чітко горизонтальна. Стіл повинен бути встановлений на відстані не менше ніж 1 м від класної дошки. Для кращої видимості демонстрованих дослідів стіл необхідно встановити на невисоке (20 – 25 см) підвищення. Поруч із демонстраційним столом необхідно мати допоміжний стіл для приладів дещо нижчий за висотою (ним може бути практично будь-який стіл).

Праворуч від демонстраційного столу на помості зручно мати невеликий письмовий стіл для вчителя. У ящиках цього столу зручно зберігати різну документацію: плани й конспекти уроків, підручники, збірники завдань, довідники та інші книги, підготовлені до уроку. Окремий письмовий стіл вчителю вкрай необхідний, оскільки демонстраційний стіл доволі високий і зайнятий зазвичай приладами. Крім того, вчитель, який сидить за демонстраційним столом, заважає учням, які працюють біля класної дошки.

В аудиторії кабінету фізики необхідно мати велику класну дошку оптимально темно-зеленого кольору. Нижній край дошки повинен бути трохи вище від демонстраційного столу, а верхній – не вище ніж 2 м від рівня помосту. Таке розташування дошки забезпечує гарну видимість для учнів. Значення класної дошки у викладанні фізики величезне, і від умілого її використання багато в чому залежить успіх роботи вчителя.

До *учнівських столів* у кабінеті фізики підводять змінний електричний струм до 42 В. Відстань між демонстраційним столом та учнівськими столами повинна бути

не менше ніж 80 см. Відстань від зовнішньої й внутрішньої стін до столів учнів має бути не менше ніж 60 см, прохід між столами – 100 см.

Лаборантська за вимогами пожежної безпеки повинна мати два виходи – до класу і в коридор чи інше суміжне приміщення.

Кабінет фізики належить до приміщення з підвищеною небезпекою, тому повинен мати вогнегасник, медичну аптечку, інструкцію щодо поводження в кабінеті.

У кабінеті фізики має бути обладнання кількох типів: 1) *обладнання загального призначення*: штативи, метроном, секундомір, терези технічні та електронні, водонагрівач, проєкційний апарат, мікроскоп, осцилограф; 2) *спеціальне обладнання*: прилади та посуд для демонстраційних і фронтальних експериментів, лабораторних робіт, набори інструментів, реактиви та ін.; 3) *мультимедійне обладнання*: мультимедійний проєктор, інтерактивна дошка чи екран, навчальний комп'ютерний комплекс; 4) *цифрові вимірювальні комп'ютерні комплекси* для вчителя та учнів.

Зазвичай прилади зберігають у *спеціальних шафах*. На полицях прилади розміщують відповідно до розділів фізики, де їх використовують. Дрібні деталі приладів і різноманітні пристосування, необхідні під час проведення дослідів, складають у коробки та ставлять поруч із приладами. Посуд (крім того, що підібраний для конкретних дослідів) зберігають в окремій шафі.

Вчитель відповідає як за збереження приладів, так і за підтримання їх у робочому стані.

Інвентаризація – один зі способів забезпечення достовірності даних бухгалтерського обліку та фінансової звітності. Для обліку матеріальних активів педагог має вести *інвентарну книгу*. До неї вносять усі придбані навчальним закладом прилади. В інвентарну книгу вносять усі прилади в порядку їхнього надходження. Кожному внесеному прила-

ду присвоюють інвентарний номер, який потім має бути зазначений і безпосередньо на приладі. У разі псування приладу, коли його ремонт неможливий, вчитель із працівником бухгалтерії складає акт списання відповідно до встановленого зразка. *Матеріальна книга* слугує для обліку придбаних у кабінет матеріалів і фіксації їхнього витрачення. У цю книгу заносять і малоцінні фізичні прилади.

2.2.2 Техніка безпеки під час проведення навчального фізичного експерименту

Учитель повинен бути добре обізнаний із правилами техніки безпеки, бути прикладом суворого їхнього дотримання й вимагати цього від учнів.

Робота з нагрівальними приладами і легкозаймистими речовинами

1. Застосовувати в навчальному експерименті нагрівальні прилади, що працюють на бензині чи гасі, забороняється.

2. Не можна залишати на робочому столі після демонстрування досліду гарячі прилади, які можуть стати причиною опіків учнів.

3. Неприпустимо залишати без догляду, навіть на короткий час, увімкнені нагрівальні прилади.

4. Не використовувати електричні плитки з відкритими нагрівними спіралями.

5. Щоб запобігти вибуху спиртівки, не допустимим є вигорання спирту більш як на 2/3 об'єму посудини.

6. Не можна користуватися для запалювання спиртівки іншою спиртівкою, яка вже горить.

Робота з електричним струмом

1. Складати електричні кола, робити в них перемикання можна тільки за умови вимкненого джерела живлення.

2. Вмикати коло можна лише з дозволу викладача.

3. Якщо напруга в зовнішній мережі зникла, треба вимкнути всі прилади, які були під напругою.

4. У процесі роботи не можна торкатися руками до затискачів і провідників із струмом, вносити зміни у складені кола.

5. Заборонена робота з несправною апаратурою і її ремонт без дозволу викладача.

6. Наявність напруги на затискачах приладів або елементах кола потрібно перевіряти тільки вимірювальними приладами.

7. Працюючи з випрямлячами, перед приєднанням дротів потрібно перевірити, чи розряджені конденсатори фільтрів.

8. Під час вимикання шнурів із розеток треба братися руками за корпус штепсельної вилки, а не за шнур.

9. Розбираючи електричне коло, спочатку потрібно від'єднати джерело струму, а потім решту приладів.

Робота з вакуумними і газорозрядними приладами

1. У всіх дослідах, пов'язаних із відкачуванням (або нагнітанням) повітря з тонкостінних скляних посудин, потрібно застосовувати захисні чохла. Водночас можна користуватися тільки круглодонними колбами.

2. Особливо обережно необхідно поводитися з електронно-променевими трубками. Балон електронно-променевої трубки зазнає дії значної сили зовнішнього тиску внаслідок високого вакууму всередині. Незначний удар по трубці може спричинити вибух, і обламки скла можуть поранити присутніх. Треба про це пам'ятати і під час роботи з посудинами Дьюара, електронними лампами та іншими порожнистими приладами.

3. Категорично заборонене використання у школах трубок Рентгена незалежно від їхньої потужності й конструкції.

4. Щоб запобігти шкідливому опроміненню учнів і вчителя, заборонене проведення дослідів із вакуумними трубками для вивчення катодних променів.

Робота із джерелами випромінювання

1. Працюючи з потужними джерелами світла, особливо з джерелами, багатими на ультрафіолетові промені, треба користуватися спеціальними окулярами.

2. Не можна дивитися на джерело світла через збірну лінзу.

3. Не допустима безпосередня дія на учнів світла від потужних джерел: електричної дуги, ламп від проєкційної апаратури, стробоскопа та ін. Працюючи з такими приладами, потрібно користуватися захисними кожухами й фільтрами.

4. Проводячи досліди з лазером, стежте за тим, щоб промінь лазера не попав у очі присутніх.

5. Категорично заборонене використання в дослідях радіоактивних препаратів.

Робота з деякими хімічними речовинами

1. Щоб запобігти неправильному використанню хімічних речовин, треба на кожній посудині мати етикетку з відповідним написом.

2. Категорично заборонене визначення речовини «на смак».

3. Категорично заборонене зберігання у фізичному кабінеті будь-яких вибухових речовин.

4. Зберігання й використання ртуті в шкільних кабінетах фізики заборонене.

5. Заборонене використання в дослідях сірчистого ефіру.

2.3 Демонстраційний експеримент із фізики

2.3.1 Зміст і значення демонструвань із фізики

Під *демонструванням* досліду йдеться про пред'явлення одночасно всім учням класу об'єкта їхньої пізнавальної діяльності або окремих його ознак за допомогою таких приладів, пристроїв й інших засобів, які забезпечують наочність того, що демонструють.

У процесі демонстрування вчитель здійснює керування відчуттями й сприйняттями школярів, на основі яких у них формуються певні уявлення про об'єкт вивчення. Демонстраційні досліди доцільні в таких випадках.

Спостереження явища. Спостереження – джерело первинних уявлень про досліджуване явище. Спланований і виразно поставлений демонстраційний дослід дає змогу з'ясувати істотні ознаки явища, установити його зв'язок з іншими відомими учням явищами, визначити кількісні співвідношення, що характеризують це явище.

Введення фізичної величини. Насамперед експеримент доцільний для виявлення властивості, яку характеризує фізична величина, яку вивчають. Крім того, дослід дає змогу продемонструвати учням спосіб вимірювання конкретної фізичної величини та ознайомити їх із відповідним вимірювальним приладом. В окремих випадках у демонстраційних дослідах доцільне проведення безпосередніх вимірювань фізичних величин.

Підтвердження висунутої гіпотези. Експеримент планують і реалізують на підставі твердження про істотну ознаку, припущення про істинність якої необхідно перевірити. За результатами досліду одержані результати порівнюють із висунутою на початку гіпотезою.

Демонстрація фундаментальних дослідів. Відтворення ключових історичних експериментів на демонстраційному

столі забезпечує засвоєння учнями основ наукових знань та опанування способом наукового мислення.

Конструювання приладів, в основі роботи яких лежить щойно вивчене фізичне явище, закон чи принцип.

Демонстраційний експеримент у навчальному процесі з фізики відіграє вагомую роль, оскільки його використання дає змогу: 1) проілюструвати зміст встановлених у науці закономірностей і фізичних законів у доступній для учнів формі; 2) продемонструвати школярам основи експериментального методу вивчення фізичних явищ; 3) забезпечити наочність у навчанні; 4) формувати в учнів експериментаторські уміння та навички; 5) посилити пізнавальну мотивацію школярів під час вивчення фізики.

Демонстраційні досліди є складовою спільної діяльності вчителя та учнів. У зв'язку з цим важливого значення набуває раціональне поєднання демонстрування досліду зі словом учителя. Спільна діяльність вчителя та учнів під час проведення демонстраційного експерименту передбачає: пред'явлення дослідної установки, пояснення її будови, звертання уваги учнів на те, за чим необхідно спостерігати; виконання демонстрації; фіксування результату спостереження, висновки з нього. Отже, демонстраційний фізичний експеримент завжди відображає етапи вольової, свідомої, цілеспрямованої діяльності – усвідомлення мети діяльності, складання її плану, виконання цього плану, роботу з результатом.

У навчальній програмі з фізики вказаний обов'язковий мінімум демонстраційних дослідів із кожної теми. Ці досліді разом із лабораторними роботами є експериментальною основою фізичної освіти учнів.

Водночас ефективність демонстраційних дослідів залежить від методики їхнього застосування в навчальному процесі.

2.3.2 Дидактичні вимоги до демонстраційних дослідів

Після з'ясування ролі і визначення місця демонстраційного експерименту в навчанні фізики залишається актуальним питання, як необхідно демонструвати досліди, щоб вони мали необхідний педагогічний ефект.

Основні методичні вимоги до демонструвань дослідів.

Наукова достовірність. Ця вимога означає вибір такого варіанта досліду, у якому спостережуваний ефект безпомилково може бути пояснений досліджуваним явищем.

Доступність. З різних варіантів дослідів необхідно обирати ті, які відповідають підготовці учнів у цей момент.

Наочність. Під «наочністю» йдеться про чітку й зрозумілу постановку досліду. Для цього потрібно складати найбільш прості установки, використовувати вже знайомі учням прилади. Учитель завжди повинен намагатися досягти потрібного результату найпростішими засобами.

Переконливість. Кожне демонстрування не має викликати сумнівів у достовірності отриманих результатів. Тому, проводячи демонстраційний дослід, треба повністю унеможливити або зводити до мінімуму різні побічні явища, які можуть відвертати увагу учнів від основного.

Надійність. Невдале демонстрування завжди порушує нормальний хід уроку, підриває авторитет учителя та призводить до дезорганізації роботи в класі. Дослід варто підготувати й випробувати заздалегідь; вибрати прилади, узгоджені між собою, зважаючи на їхні технічні характеристики; передбачити можливі невдачі та вжити потрібних заходів (запасні лампочки, запобіжники тощо).

Проведення будь-якого досліду має здійснюватись із суворим дотриманням правил техніки безпеки!

2.3.3 Методика та техніка демонструвань

Сукупність методів і прийомів, що забезпечують ефективність демонстрацій, найкраще сприйняття їх учнями, називають *методикою* демонстрування.

Сукупність прийомів поведінки з обладнанням демонстраційного експерименту у процесі підготовки й проведення демонстрацій, які забезпечують їхню точність і виразність, називають *технікою* демонстрування. Технологія демонстрування досліду охоплює такі аспекти.

Постановка мети. Учням має бути зрозуміло, для чого проводитиметься конкретний дослід і на що вони повинні звернути увагу під час його проведення. У цьому разі демонстрація викликає інтерес у школярів і спонукає їх до активної розумової діяльності.

Кількість демонстрацій і темп проведення досліду. Темп демонстрування досліду має відповідати темпу усного викладу матеріалу та швидкості його сприйняття учнями. Якщо дослід протікає швидше, ніж це сприймають учні, його потрібно повторити. І, навпаки, невиправдано тривала демонстрація досліду зменшує інтерес до спостережуваного явища, призводить до втрати часу й порушує відповідність темпу викладу темпу сприйняття.

Установку для демонстрації доцільно *збирати на очах учнів* безпосередньо перед проведенням досліду. Це полегшує його розуміння та сприйняття учнями. Тільки у випадках, які потребують тривалого налагодження приладів, установку можна зібрати заздалегідь. Водночас перед демонструванням необхідно пояснити учням її основні елементи та їхнє призначення.

Під час демонстрування складних для розуміння процесів доцільно провести *серію дослідів*, подаючи досліджуване явище декількома способами або з різних поглядів.

Досліди, які виконують на демонстраційному столі учителя, є об'єктом спостережень всіх учнів класу, тому забезпечення *доброї видимості* з усіх робочих місць учнів під час демонстрування – одна з найважливіших вимог до нього. Ігнорування цієї вимоги, зазвичай, призводить до порушення дисципліни і втрати учнями інтересу до питань, що розглядають на уроці. З цією метою використовують такі прийоми.

Правильне використання демонстраційного столу. Усі демонстраційні досліди потрібно проводити на демонстраційному столі. Прилади необхідно розставити так, щоб вони не перекривали один одного. Учителю під час демонстрування досліду рекомендують стояти збоку або позаду приладів, щоб його дії було добре видно класу. Водночас прилади, які не використовують, доцільно розмістити на допоміжному столі поряд із демонстраційним.

Застосування підставок. У низці дослідів для забезпечення видимості деяких приладів їх потрібно поставити вище за рівень демонстраційного столу. З цією метою використовують підставки: підйомні столики, бруски, штативи як фабричні, так і саморобні.

Застосування документ-камери. Якщо демонстраційні прилади або установки загалом мають горизонтальне розміщення, перебіг цих дослідів доцільно вивести на екран або поверхню мультимедійної дошки, використовуючи документ-камеру чи вебкамеру. За їхньої відсутності в кабінеті можна використати похиле плоске дзеркало, встановивши його під кутом 45° до поверхні столу.

Застосування екранів, фону. Використання контрастного фону підвищує ефектність досліду, робить його більш виразним. На практиці найчастіше користуються екранами чорного й білого кольорів. Біле тло використовують у випадках, коли прилади пофарбовані в темний колір. Досліди з підфарбованою рідиною теж краще видно на

білому тлі. Темне тло, навпаки, застосовують у тих випадках, коли прилади, що застосовують, пофарбовані у світлі тони. На темному тлі демонструють нагрівання провідника струмом.

Застосування великих шкал. Щоб учні могли з місць здійснювати відлік показань приладів, шкали демонстраційних приладів мають бути великих розмірів.

Підфарбовування рідин. Під час демонстрування дослідів із рідинами з метою кращої видимості їх необхідно підфарбовувати. З цією метою доцільно використовувати розчини фуксину, фенолфталеїну, хвойного концентрату.

Проектування приладів на екран. У тих випадках, коли жоден із вищевказаних прийомів не забезпечує гарної видимості досліду, рекомендують застосовувати проектування на екран. Проектування буває тіньове і світлове. За тіньового проектування отримують на екрані тінь від приладу або установки, за зображенням якої спостерігають за перебігом явища. Так, у тіньовій проекції спостерігають за потоком гарячого повітря, який підіймається над свічкою або обігрівачем. За світлового проектування прилад або явище демонструють на екрані за допомогою проекційного ліхтаря. У такий спосіб демонструють підняття й опускання рідини в капілярних трубках.

Загальний план діяльності під час проведення демонстраційних дослідів такий:

- 1) визначають мету досліду;
- 2) визначають прилади й матеріали, які використовуватимуть під час проведення досліду;
- 3) звертають увагу учнів на те, за чим треба спостерігати;
- 4) демонструють дослід;
- 5) аналізують явище, яке спостерігалось, та роблять відповідні висновки.

2.4 Лабораторний експеримент із фізики

На відміну від демонстраційних дослідів, у яких учні є лише пасивними спостерігачами, виконання лабораторних робіт спрямоване на освоєння досвіду самостійного вивчення фізичних явищ, перевірки фізичних законів, вивчення технічних пристроїв і передбачає активну участь школярів у проведенні експерименту для формування навичок організації експериментальної роботи, маніпуляцій із фізичними приладами.

У практиці викладання набули поширення дві основні форми організації лабораторних занять: фронтальні лабораторні роботи та роботи фізичного практикуму.

2.4.1 Фронтальні лабораторні досліді і роботи

На фронтальних лабораторних заняттях усі учні класу одночасно виконують роботу на одну тему, працюючи з однаковим обладнанням. Фронтальні лабораторні роботи можуть бути тривалими, розрахованими на все навчальне заняття (45 хвилин), і короткочасними (10–15 хвилин). За короткий час можуть бути проведені такі роботи: визначення густини твердого тіла (7 клас), градування пружини та вимірювання сил динамометром (8 клас), вимірювання напруги на різних ділянках електричного кола (8 клас) та ін. Займаючи небагато часу на уроці, такі роботи значно підвищують ефективність викладання фізики. Водночас вони готують учнів до проведення більш складних робіт і збільшують кількість операцій із приладами, необхідних для формування у школярів практичних навичок.

Плануючи лабораторні роботи, потрібно пам'ятати, що час виконання тієї чи іншої роботи, її місце в навчальному процесі визначають насамперед завданнями, які ставлять перед цією лабораторною роботою. На підставі їхньої мети лабораторні роботи умовно можна розділити на такі

групи, кожна з яких має раціональну методику проведення:

1. *Роботи з прямого вимірювання фізичних величин.* Роботи цього типу мають на меті формування в учнів умінь користуватися вимірювальними приладами. Роботу проводять після вивчення фізичної величини, для визначення значення якої існує вимірювальний прилад. Напередодні виконання лабораторної роботи учнів знайомлять із вимірювальним приладом, розглядають його будову та принцип дії, далі вчитель демонструє правила користування приладом, після цього обов'язково проводять фронтальний дослід. Виконання цього досліду передбачає відтворення учнями систем дій, що продемонстрував учитель. Наступний урок присвячений виконанню лабораторної роботи. У цьому разі інструктажу щодо маніпуляцій із вимірювальним приладом немає, оскільки зразок діяльності був продемонстрований учням на попередньому уроці. Звіт до цього типу робіт містить: назву, завдання до роботи, вимірювальний прилад (обов'язково зазначають одиницю вимірювання, ціну поділки, межі вимірювання), таблицю з результатами вимірювання, обчислення похибки, висновки.

2. *Роботи з непрямого вимірювання фізичних величин.* Метою виконання робіт цього типу є визначення фізичної величини на основі її зв'язку з іншими величинами, для яких є вимірювальні прилади. Ці роботи доцільно проводити для контролю знань і вмінь учнів. План виконання роботи передбачає: 1) визначення формули, з якої можна знайти дану фізичну величину; 2) з'ясування, які величини з даної формули необхідно виміряти, а які взяти з довідкових таблиць; 3) складання схеми експерименту, вибір потрібних приладів і матеріалів; 4) здійснення вимірювань необхідних фізичних величин; 5) виконання обчислень; 6) висновки. Звіт до робіт цього типу містить: назву, завдання, вихідну формулу, схему дослідної установки,

таблицю з результатами вимірювань, обчислення похибок, висновки.

3. *Роботи з вивчення фізичних явищ.* Ці роботи доцільно проводити безпосередньо перед вивченням фізичного явища. Учні мають самостійно побачити явище, виявити його зовнішні ознаки. Це стане предметом подальшого вивчення. В іншому разі експеримент вже не викликає інтересу в учнів і не спрямований на формування у школярів умінь здійснення спостережень і розвитку їхньої активності й самостійності. Для цієї групи лабораторних робіт необхідний детальний інструктаж вчителя. Учням необхідно розповісти та продемонструвати, як виконувати досліди, на що звернути увагу, як скласти звіт. У звіті дають опис приладів, матеріалів, умов, за яких спостерігали явище, його ознаки.

4. *Роботи з вивчення технічних пристроїв.* Мета проведення робіт цієї групи – ознайомлення з будовою та принципом роботи технічних пристроїв, формування умінь використання інструкцій від побутових пристроїв. До цих робіт потрібні письмові інструкції, у яких поданий опис пристрою, як його зібрати та перевірити дію.

5. *Роботи з вивчення фізичних законів.* Залежно від педагогічних завдань роботи цього типу можна проводити за принципом робіт другої або третьої групи. У першому випадку вони спрямовані на засвоєння встановлених зв'язків, у другому – мають дослідницький характер.

Заняття, присвячене виконанню лабораторної роботи, планують по-різному залежно від мети і типу роботи. Найбільш поширеною є така схема проведення фронтального лабораторного заняття: вступна бесіда; виконання експерименту учнями й оброблення лише результатів вимірювання; підбиття підсумків роботи.

Вступна бесіда має на меті виявити готовність учнів до свідомого виконання лабораторної роботи, що досягають

за допомогою проведення фронтального опитування за матеріалом, знання якого необхідне для виконання роботи. Після цього вчитель формулює мету роботи. Порядок виконання роботи та оформлення звіту учні визначають самостійно або обговорюють з учителем залежно від типу роботи. За потреби вчитель дає короткі вказівки про правила поводження з приладами й матеріалами.

Виконання експерименту учнями. Беручись за виконання лабораторної роботи, учні ознайомлюються з приладами, перевіряють, чи все необхідне є на столах. Потім відповідно до встановленого плану роботи вони самостійно проводять досліді й вимірювання, результати вимірювань заносять у таблицю. Учитель, проходячи між рядами, стежить за роботою учнів, дає практичні вказівки, за необхідності надає індивідуальну допомогу.

Перевірка звітів і оцінювання лабораторних робіт учнів. Звіти про виконання лабораторної роботи мають бути ретельно перевірені вчителем як із погляду змісту, так і з погляду якості оформлення. Усі лабораторні роботи необхідно оцінити. Існують загальні критерії оцінювання навчальних досягнень учнів під час виконання лабораторних і практичних робіт. Вони враховують ступінь самостійності учня в роботі, правильність і точність результатів вимірювань та обчислень, грамотність оформлення звіту. Обов'язковим під час оцінювання є врахування дотримання учнями правил техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт.

Підбиття підсумків роботи. На наступному уроці після перевірки зошитів учнів потрібно провести коротке обговорення результатів роботи. Учитель повинен заздалегідь знати, які приблизно результати можуть отримати учні в цій роботі та якою є максимально допустима похибка.

Для успішного проведення лабораторних робіт у фізичному кабінеті необхідно мати типові лабораторне

обладнання в такій кількості, щоб під час виконання робіт можна було ставити один комплект на 1–2 учні. Тільки за цієї умови буде забезпечений необхідний рівень проведення лабораторних занять.

2.4.2 Фізичний практикум

Вищим ступенем самостійного експерименту учнів є фізичний практикум. Метою фізичного практикуму є закріплення вивченого теоретичного матеріалу та подальший розвиток експериментаторських умінь.

Підготовка й проведення фізичного практикуму має певні особливості. Роботи фізичного практикуму проводять у кінці семестру чи навчального року. За змістом роботи фізичного практикуму більш трудомісткі, їх виконують зі складнішим фізичним обладнанням, ніж фронтальні роботи, і для їхнього виконання, зазвичай, потрібно більше часу. Для виконання робіт учнів класу ділять на групи, зазвичай, по два або чотири. Під час уроку кожна робоча група виконує одну з робіт практикуму, водночас різні групи учнів виконують різні роботи. Роботи виконують учні не в такій послідовності, у якій вивчали курс, а в порядку, установленому складеним учителем графіком. За весь цикл практикуму кожна група повинна виконати всі заплановані роботи.

Щоб учень мав можливість удома підготуватися до виконання тієї чи іншої роботи практикуму, графік виконання робіт завчасно доводять до відома учнів.

Роботи школярі виконують за інструкціями, які можуть міститися в навчальному посібнику або бути складені безпосередньо вчителем. *Інструкція для учня* має містити: номер роботи та її назву; завдання; необхідні прилади та матеріали; схеми експериментальних установок; стислий опис нового для учнів приладу, що використовувався в роботі; рекомендації з укладання звіту та розрахунку похибок; контрольні питання; основні поняття, зміст яких школярям

необхідно повторити. Перед відповідним заняттям учні отримують інструкції до своїх робіт. Удома школярі повторюють необхідний матеріал і заносять у спеціальний зошит те, що передбачає інструкція. Водночас зошит для звітів доцільно поділити на дві частини – з однією частиною учень працює вдома, інша – на перевірці у вчителя. Насамкінець обидві частини скріплюють.

Уроки фізичного практикуму містять такі етапи: організаційний; ввідний і поточний інструктаж з охорони праці й техніки безпеки; виконання учнями експериментів; підбиття підсумків.

Під час проведення роботи вчитель, обходячи робочі місця учнів, проводить опитування щодо знання ними теоретичного матеріалу та на полях їхніх зошитів ставить відповідні відмітки. Загальну оцінку виставляють після оцінювання результатів експериментальної частини роботи.

Після виконання роботи учні повинні підготувати звіт. Орієнтовно *письмовий звіт* має містити: номер роботи та її назву; завдання; необхідні прилади та матеріали; схеми експериментальних установок; таблицю результатів вимірювань та обчислень; обчислення; графіки; розрахункові похибок; відповіді на контрольні питання.

Аби запобігти взаємному запозиченню результатів робіт практикуму, вчителів доцільно змінювати вимірювані параметри експериментальної установки.

2.5 Вимірювання фізичних величин. Точність і похибка вимірювань

2.5.1 Вимірювання, види вимірювань

Порівняння фізичної величини з однорідною величиною, умовно взятою за одиницю, називають *вимірюванням*. Реєструє фізичну величину вимірювальний прилад. Кожен вимірювальний прилад має шкалу. Риски чи інші знаки,

нанесені на шкалі, мають назву *позначок*. Біля деяких позначок зображені цифри, що вказують значення фізичної величини в певних одиницях вимірювання. Відстані між сусідніми позначками називаються *поділками*.

Під час вимірювання на значення фізичної величини вказують *покажчики*: у секундоміра – стрілка, у термометра – рівень рідини у трубці. Якщо покажчик вимірювального приладу зміщується на одну поділку, то значення фізичної величини змінюється на число, яке називають *ціною поділки*. Щоб визначити ціну поділки шкали вимірювального приладу, потрібно виконати такі дії: 1) з'ясувати одиницю вимірювання приладу; 2) знайти різницю двох сусідніх цифр на шкалі; 3) знайти кількість поділок між позначками, біля яких стоять цифри; 4) поділити різницю між цифрами (значеннями фізичної величини) на кількість поділок між ними.

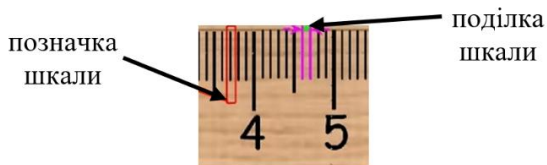


Рисунок 2.1 – Шкала вимірювального приладу

Щоб правильно зняти показання приладу, необхідно під час вимірювання дотримуватися певних правил: 1) на шкалу приладу треба дивитися перпендикулярно до неї; 2) нульова позначка шкали має збігатися з початком відліку; 3) якщо покажчик приладу розміщений між поділками, то результат треба округлити в бік ближчої поділки, а якщо посередині – то до більшого значення; 4) показання приладу не можна знімати за межами шкали; 5) результат вимірювання не може бути точнішим за значення ціни поділки.

2.5.2 Точність вимірювання

Унаслідок недосконалості вимірювальних приладів і внеску наших органів чуттів після будь-якого вимірювання ми отримуємо лише наближене значення – дещо більше або менше від істинного значення вимірюваної величини.

Точність вимірювання – характеристика якості вимірювання, що відображає ступінь близькості результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Чим менше результат вимірювання відхиляється від істинного значення величини, тим вища точність вимірювання. Наприклад, довжину зошита можна виміряти сантиметровою стрічкою з ціною поділки 1 см, а можна лінійкою з міліметровими поділками. Очевидно, що в кожному з цих випадків точність вимірювання буде різною: 0,5 см у першому та 0,5 мм у другому. Для більш точних вимірювань можна скористатися штангенциркулем із ціною поділки 0,1 мм або 0,05 мм.

Отже, точність вимірювань залежить від ціни поділки шкали приладу – чим менша ціна поділки, тим вища точність вимірювання. Отже, якщо студент, користуючись штангенциркулем (точність якого дорівнює 0,1 мм), знайшов довжину вимірюваного об'єкта, що дорівнює 4 мм, то записати цей результат треба як 4,0 мм, показавши, що вимірювання здійснене з точністю до 0,1 мм, яку допускає цей вимірювальний прилад. Очевидно, що під час користування мікрометром (точність якого 0,01 мм), коли вимірюваний об'єкт дорівнює 4 мм, цей результат вимірювання треба записати 4,00 мм.

Крім того, на точність вимірювання впливає правильність застосування вимірювального приладу, розташування очей щодо шкали приладу під час відліку поділок, тому важливо правильно знімати показання приладу.

Отже, в учнів необхідно сформулювати чітке уявлення щодо того, що будь-яке вимірювання виконують наближено

зі ступенем точності, яке задовольняє практичним або науковим цілям. Тому основне завдання експериментатора полягає не в пошуку істинного значення досліджуваної величини, а у визначенні меж, у яких воно перебуває під час застосування даного методу вимірювання та конкретних приладів й інструментів.

2.5.3 Види похибок вимірювань. Обчислення похибок вимірювань

У фізиці неточність, яку допускають під час вимірювання, називають *похибкою* вимірювань.

Виникнення похибок під час вимірювань зумовлене двома чинниками: неточний метод вимірювання, неточності самого вимірювального приладу. Ці похибки називають *систематичними*. Повне усунення цих похибок неможливе. Зменшення їх досягають застосуванням більш досконалих приладів і методів вимірювань. В умовах школи, де для вимірювань застосовують недосконалі вимірювальні прилади, систематичні похибки можуть досягати значної величини.

Крім систематичних, існують так звані *випадкові* похибки, що залежать від діяльності самого експериментатора. Так, учень, роблячи відлік за шкалою будь-якого вимірювального приладу (лінійка, мензурка, терези, амперметр, термометр тощо), завжди припускається деякої похибки. Якщо випадкові похибки не можуть бути зовсім усунуті, то їхній вплив на спотворення результату може бути значно зменшений за допомогою обчислення середнього арифметичного значення вимірюваної величини з декількох вимірювань. Якщо за значної кількості вимірювань один із результатів сильно відхиляється від всіх інших, його потрібно відкинути як очевидно хибний. Порівняння результату конкретного вимірювання з величиною середнього арифметич-

ного є кращим критерієм для оцінювання істинності, ніж порівняння його з табличними даними.

Варто пам'ятати, що, користуючись вимірювальною апаратурою шкільного типу, не можна отримати результат, який збігається з табличними даними. У довідкових таблицях вказують дані для хімічно чистих речовин або їхніх сплавів: питома вага, питома теплоємність, питомий опір тощо. Тим часом тіла, що застосовують у навчальних закладах у лабораторних роботах, здебільшого, не є хімічно чистими, а домішки порушують їхні властивості. Цілком очевидно, що числові результати, отримані в лабораторних вимірюваннях, можуть не збігатися з табличними даними.

У такому разі для всіх тіл, що використовують у лабораторних роботах, викладач має сам визначити узагальнені середні значення. Для цього треба пронумерувати тіла, що застосовують у лабораторних роботах, і у спеціальний зошит (електронний документ) після кожної лабораторної роботи заносити числовий результат вимірювання для даного тіла. Накопичений числовий матеріал дозволить обчислити середнє арифметичне значення і в такий спосіб отримати «табличні» дані найбільш ймовірних значень для фізичних величин, що визначають у процесі лабораторних робіт із конкретними тілами шкільного кабінету. Під час подальших вимірювань з'явиться можливість порівнювати результати учнівських вимірювань із даними власного табличного довідника.

За способом числового вираження розрізняють два види похибок: абсолютні та відносні.

Абсолютну похибку визначають різницею між дійсним значенням величини і результатом вимірювання.

Відносну похибку виражають відношенням абсолютної похибки до вимірюваної величини.

Наприклад, якщо учень робить відлік за шкалою термометра з ціною поділки 1° , припускаючись похибки меншої,

ніж половина ціни поділки, то абсолютна похибка буде дорівнювати $\pm 0,5^\circ$. Відносну похибку можна обчислити, взявши відношення абсолютної, у цьому разі вона дорівнює $\pm 0,5^\circ$ до вимірюваної величини, наприклад, 80° . Тоді відносна похибка буде дорівнювати:

$$\Delta t / t = \pm 0,5/80 = \pm 0,006 = \pm 0,6 \%$$

2.5.4 Оцінювання результатів вимірювань та обчислень

Під час виконання лабораторних робіт із непрямих вимірювань учні, здійснивши кілька вимірювань різних величин, виконують обчислення за формулами для знаходження шуканої величини. З яким ступенем точності повинні проводитися ці обчислення? Під час знаходження результату обчислення, зазвичай, усі математичні дії виконують не далі того знаку після коми, який виявляється першим сумнівним.

Розглянемо, як можна з'ясувати, який із десяткових знаків (або значущих цифр) є сумнівним. Наприклад, для знаходження густини речовини, з якої виготовлено тіло, знайдені об'єм тіла, виміряний мензуркою з поділками 1 см^3 , який дорівнює 12 см^3 , та маса – за допомогою терезів, що дорівнює $97,98 \text{ г}$. Обчислене значення густини водночас $\rho = 8,165 \text{ г/см}^3$. Загальна відносна похибка у цьому разі дорівнюватиме сумі відносних похибок об'єму та маси

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta m}{m} = \frac{0,5}{12} + \frac{0,5}{97,98} = 0,04 + 0,005 \approx 0,04.$$

Відносну похибку під час зважування можна не брати до уваги, оскільки вона майже в 10 разів менша за відносну похибку під час вимірювання об'єму. Отже, відносна похибка для густини становить 4%. Тоді абсолютна похибка дорівнюватиме $\Delta \rho = 8,165 \cdot 0,04 = 0,326$. А запис величини, з урахуванням похибки: $\rho' = \rho \pm \Delta \rho = 8,165 \pm 0,326$.

А отже, щонайменше перший десятковий знак під час обчислення результату вже є сумнівним. Тому обчислення треба обмежити першим десятковим знаком, тобто результат округлити до десятих і взяти рівним 8,2. Отже, розглянутий нами приклад доводить, що визначення максимально можливої похибки визначає ступінь точності обчислення результату.

Правила підрахунку десяткових знаків (або значущих цифр) та округлення чисел:

1) під час додавання й віднімання в підсумку має бути стільки десяткових знаків, скільки їх має число з меншою кількістю знаків;

2) під час множення й ділення в підсумку треба залишити стільки значущих цифр (не рахуючи нулів, що стоять із лівого боку), скільки їх має одне з даних чисел із найменшою їхньою кількістю;

3) коли у процесі обчислень доводиться знаходити проміжні числові значення, то треба зберігати на одну цифру більше, ніж це вказане у двох перших правилах;

4) округлення здійснюють за традиційним правилом.

2.6 Використання мультимедійних засобів у навчальному фізичному експерименті

2.6.1 Роль і місце мультимедійних засобів у навчальному процесі з фізики

У курсі фізики можна виокремити певні досліди, сприйняття яких і виділення в побаченому головного для отримання правильних висновків виявляється для школярів складним. Передусім мова йде про випадки, коли реальна фізична демонстрація може показати лише зовнішні прояви властивості об'єкта, не пояснюючи механізм, який ці властивості зумовлює.

Крім того, проведення реального демонстраційного експерименту в низці випадків пов'язане з певними труднощами: 1) дуже швидкий або досить повільний перебіг процесів (деформація тіл під час їхнього зіткнення, дифузія у твердих тілах тощо); 2) надзвичайно великі або дуже малі масштаби системи, яку необхідно продемонструвати в класі (наприклад, опис руху астрономічних об'єктів чи демонстрація броунівського руху); 3) необхідно показати механізм виникнення (протікання) певних фізичних явищ чи процесів (наприклад, пояснення природи сили пружності).

Для глибокого і повного розуміння школярами властивостей фізичних об'єктів необхідне їхнє додаткове моделювання, яке дозволяє виділити ті істотні ознаки, які безпосередньо не спостерігаються під час натурної демонстрації.

Водночас постановка демонстраційних дослідів ускладнюється дефіцитом навчального обладнання – демонстраційних приладів, пристроїв, моделей. Унаслідок цього у свідомості учнів не створюються необхідні образи і уявлення про істотні ознаки окремих одиниць навчального змісту шкільного курсу фізики.

Реалізації демонстраційного експерименту на принципово новому рівні може сприяти впровадження у шкільну практику мультимедійних технологій і засобів навчання.

2.6.2 Методичні й технічні вимоги до проведення демонстрацій із використанням технології мультимедіа

Структура і зміст діяльності, пов'язаної з демонстраційним навчальним експериментом, впливають із загального плану проведення наукового експерименту. Водночас послідовність дій, з яких складається діяльність, навчальний фізичний експеримент передбачає, що кожна з них може бути виконана будь-яким суб'єктом навчального процесу. Загалом указана система дій матиме такий вигляд:

1. На підставі логіки вивчення конкретного фрагмента навчального матеріалу, визначають мету експерименту, його завдання або висувають гіпотезу, яку треба перевірити.

2. З'ясовують, яким способом можна розв'язати сформульоване перед цим завдання, зокрема з'ясовують принципіву схему дослідної установки.

3. Вибирають необхідні прилади і матеріали.

4. Складають (реально чи віртуально) дослідну установку.

5. Визначають послідовність операцій під час виконання дослідів.

6. Звертають увагу учнів на те, за чим спостерігати. Виконують (демонструють) дослід. Фіксують результати спостережень.

7. Аналізують одержані результати.

8. Формулюють відповідні висновки.

Цей план діяльності визначає узагальнене експериментальне вміння, наведене в навчальній програмі з фізики, яке повинно стати одним із результатів вивчення фізики.

Використання засобів мультимедіа у процесі підготовки та проведення демонстраційного експерименту можливе в таких формах.

1. Технічний засіб для відображення та оброблення експериментальних даних.

1) виведення на екран чи поверхню мультимедійної дошки даних із вимірювальних пристроїв (датчиків), з'єднаних із комп'ютером, для подальшого їхнього оброблення та візуалізації результатів експерименту;

2) трансляція досліду на екран чи мультимедійну дошку з використанням вебкамери або документ-камери для забезпечення гарної видимості горизонтально розміщених демонстраційних приладів.

2. *Доповнення натурного експерименту демонстрацією комп'ютерної моделі* виправдане та доцільне в таких випадках:

1) необхідна візуалізація процесів, які не спостерігаються у звичайному експерименті, але реально протікають (наприклад, зміна проміжків між атомами чи молекулами речовини під час деформації тіла);

2) потрібно сконцентрувати увагу учнів на деталях досліду, важливих для розуміння сутності спостережуваного явища;

3) необхідно показати дрібні деталі установки, будову та функціонування пристрою тощо.

3. *Віртуальний демонстраційний експеримент* – відтворення демонстрацій фізичних явищ чи процесів на екрані або поверхні мультимедійної дошки.

До віртуальних об'єктів або процесів відносять електронні моделі як реальних, так і уявних об'єктів і процесів. Їхнє використання під час вивчення фізики доцільне в таких випадках:

1) реальна фізична демонстрація може показати лише зовнішні прояви фізичного процесу, не відображаючи сутнісних зв'язків між явищами (величинами), необхідних для усвідомленого розуміння;

2) вивчення явища чи процесу в умовах шкільного фізичного кабінету малоефективне або неможливе (швидкоплинні, довготривалі фізичні процеси тощо);

3) явище в принципі не можна спостерігати (наприклад, неодноразовість подій у спеціальній теорії відносності).

Визначена вище послідовність дій зберігається і для віртуального демонстраційного фізичного експерименту. Водночас під час його проведення набувають значення такі *вимоги* до екранних зображень фізичних об'єктів:

1) віртуальне обладнання для дослідів повинно відображати реальні демонстраційні прилади, пристрої, моделі;

2) зображення, їхні зміни повинні з'являтися на екрані після попереднього обговорення суб'єктами навчального процесу й ухвалення відповідних рішень;

3) розміщення приладів, що утворюють дослідну установку, однакове для реальних і комп'ютерних демонстрацій.

Виконання цих вимог покладене на розробників відповідних мультимедійних продуктів, що потребує використання спеціальних знань із психології та фізіології сприймання об'єктів за допомогою різних органів чуттів.

2.6.3 Використання засобів мультимедіа під час проведення лабораторних робіт

Для традиційної організації лабораторного експерименту з фізики характерні такі особливості: 1) нестача фізичних приладів у достатній кількості для постановки дослідів; 2) якості вимірювальних приладів разом із недосконалістю методів вимірювання та оброблення експериментальних даних у підсумку призводять до втрати точності результатів роботи; 3) виконання лабораторної роботи спрямоване на опанування школярами запланованої системи навичок і не містить елементів творчості.

Під час підготовки школярів до виконання роботи діяльність вчителя полягає в ознайомленні їх із темою роботи, з'ясуванні її мети. Далі вчитель пояснює, а за необхідності демонструє будову приладів, необхідних для її виконання, наголошує на правилах користування ними, для окремих груп робіт демонструє, як виконувати дослід. Унаслідок цього учні мають отримати точні уявлення про те, що вони мають робити, як та в якій послідовності.

Способи задіяння мультимедійних засобів у діяльність із підготовки та проведення лабораторних робіт можуть бути такими:

1. Доповнення натурального лабораторного експерименту:

1) дають можливість попередньо ознайомити учнів з експериментом, який їм належить виконати згодом на реальній установці: а) ілюстрація змісту і логіки проведення відповідного натурального досліду; б) візуалізація установки та порядку її роботи; в) імітація дій з управління роботою установки і зняття показань приладів;

2) полегшують оброблення даних реального фізичного експерименту;

3) спрощують пред'явлення результатів досліду (у формі спостережуваних ефектів, таблиць, схем, діаграм, графіків функціональних залежностей).

II. Проведення віртуальних лабораторних робіт, якщо реальний експеримент утруднений, і під час виконання творчих завдань:

1) дослідження особливостей поведінки моделі фізичного явища за різних значень його параметрів та у різних умовах (наприклад, фізичні параметри мають екстремальні значення);

2) дослідження особливостей поведінки моделей технічних об'єктів і їхніх систем (зокрема у проєктній діяльності).

Загалом можливі такі варіанти послідовностей дій вчителя та учнів під час виконання віртуальної лабораторної роботи:

1. Учитель за допомогою мультимедійної дошки знайомить учнів із роботою комп'ютерної моделі. Під керівництвом вчителя школярі виконують віртуальну лабораторну роботу на власних робочих місцях (за персональними комп'ютерами), використовуючи комп'ютерну модель і письмову інструкцію до лабораторної роботи.

2. Віртуальний дослід виконує фронтально один із учнів, інші – спостерігають і фіксують експериментальні дані, обробляють їх, формулюють висновки, обговорюють результати експерименту і межі застосування комп'ютерних

моделей. У разі лабораторного практикуму обговорення проводять у групах.

3. Лабораторні роботи з використанням реальних приладів і віртуального середовища можуть бути виконані учнями паралельно.

Важливо підкреслити, що віртуальна реальність – лише уявна модель реального світу, яку використовують для його пізнання. Комп'ютерне моделювання фізичного експерименту має стати його гармонійним доповненням, а не замінювати реальний експеримент. Натурні досліди, віртуальні моделі фізичних явищ і процесів, пояснення вчителя, навчальний текст – усе це в комплексі має визначати принципово нову якість подання навчального матеріалу.

2.7 Удосконалення навчального експерименту з фізики засобами сучасної цифрової техніки

2.7.1 Сучасні цифрові засоби навчання

Традиційно в навчальному процесі для відображення результатів вимірювань найчастіше використовують аналогові вимірювальні прилади. Учні під час проведення фізичного експерименту переважно працюють із важільними терезами, гальванометрами, амперметрами, вольтметрами та іншими вимірювальними приладами, які насправді відповідають рівню технічного розвитку 60–70-х років минулого століття. Утім у повсякденному вжитку інформацію про значення тих самих фізичних величин (масу, температуру, тиск, вологість час тощо) учні, зазвичай, одержують за допомогою різних цифрових приладів, комп'ютерної техніки та власних гаджетів. Тому нині склалася ситуація, за якої для учнів навчальний матеріал із фізики і світ навколишньої природи й техніки – речі зовсім не пов'язані між собою.

Одним із основних напрямів розвитку навчального фізичного експерименту має стати модернізація наявного

традиційного обладнання для проведення реального експерименту та застосування можливостей засобів сучасної цифрової електроніки, репрезентованих на ринку побутового обладнання й вимірювальної техніки.

Порівняно з аналоговими приладами цифрові мають певні *переваги*. Насамперед – це висока точність, широкий діапазон вимірювань, висока швидкодія, отримання результатів вимірювання у зручній для зчитування формі, можливість цифрового перетворення та введення вимірювальної інформації в комп'ютер, автоматичне калібрування, автоматизація процесу вимірювання. *Недоліками* цифрових приладів є складність їхньої будови, порівняно висока вартість і менша, ніж у відповідних аналогових приладів, надійність.

Однак для навчального процесу важлива не сама цифрова технологія, а те, наскільки її впровадження сприяє досягненню саме освітніх цілей. Дидактичні вимоги до використання вимірювальних приладів для фізичного навчального експерименту полягають у тому, що для учня має бути зрозумілою будова та принцип дії приладу, він повинен уміти визначати ціну поділки, зчитувати покази та оцінювати похибку вимірювань. У разі аналогових приладів учні порівняно легко вивчають їхню будову та засвоюють принцип дії. Однак значно складніше їм вдається визначити ціну поділки та зняти покази зі шкали приладу. Як засвідчує практика, із цифровими приладами ситуація інша. Принцип дії та будова цифрових вимірювальних приладів є для школярів настільки складними, що з учнями немає сенсу розглядати ці питання взагалі. Зняття ж показів із цифрових приладів не викликає в учнів труднощів. А питання оцінювання похибок вимірювання викликає труднощі у використанні як аналогових, так і цифрових приладів.

Очевидно, що кожен із вказаних типів приладів має як істотні переваги порівняно з іншими, так і суттєві недо-

ліки. Тому вдосконалення навчального експерименту з фізики має відбуватися за допомогою раціонального поєднання традиційних і цифрових засобів.

На підставі того, у якому виді навчального фізичного експерименту буде застосовуватися даний вимірювальний прилад, можна сформулювати певні вимоги до його характеристик і зовнішнього вигляду. Зокрема вимірювальні прилади, призначені для демонстраційного експерименту, повинні забезпечувати гарну видимість показів для учнів усього класу. З цією метою такі прилади повинні мати вертикальне розташування, широкі межі вимірювання та цифри великих розмірів на числових індикаторах. Вимірювальні прилади для фронтальних лабораторних робіт мають бути невеликих розмірів, розміщуватися горизонтально, мати невисокий клас точності (зазвичай 4,0) та неширокі межі вимірювання. У роботах фізичного практикуму використовують вимірювальні прилади підвищеного класу точності з широкими межами вимірювання, нерідко багатофункціональні. Під час проведення домашнього експерименту доцільно використовувати розповсюджені вимірювальні прилади, які є вдома в більшості учнів.

Передусім із широкого спектра репрезентованих на ринку засобів у навчальному експерименті з фізики доцільно використовувати:

- електронні вимірники лінійних розмірів: рулетки, штангенциркулі, кувіметри, лазерні та ультразвукові віддалеміри;

- електронні вимірники часу й температури;

- багатофункціональні й широкодіпазонні мультиметри та цифрові прилади для вимірювань значень різних величин (швидкості руху, сили звуку, вологості, опору, ємності, індуктивності, освітленості тощо);

- квантові випромінювачі різних діапазонів: лазерні указки, світлодіоди, пульти керування;

– приймачі електромагнітного випромінювання: універсальні індикатори, цифрові фотоапарати й відеокамери, тепловізори тощо.

Останнім часом спостерігається тенденція оснащення навчальних закладів універсальними цифровими пристроями, які відповідають рівню розвитку сучасної техніки, санітарно-гігієнічним і методичним вимогам. Нині до складу Типового переліку засобів навчання та обладнання навчальних кабінетів додані цифрові вимірювальні комплекси та наведені вимоги до їхньої комплектації й основні характеристики окремих складових.

Цифровий вимірювальний комп'ютерний комплекс – сучасний засіб навчання, що є спеціально розробленою системою, яка складається з аналогово-цифрового перетворювача та певного набору датчиків.

Сьогодні на ринку наданий широкий спектр цифрових освітніх комплексів, призначених для проведення демонстраційних дослідів, лабораторних робіт, організації навчальних досліджень («Einstein», «Vernier», «COBRA 3» і «COBRA 4» від Phywe та ін.). Основні відмінності між продуктами для навчальних закладів від різних виробників – точність вимірювань, кількість датчиків, якість виготовлення.

Упровадження цифрових вимірювальних комплексів у навчальний експеримент із фізики є одним із перспективних способів його оновлення й удосконалення, приведення у відповідність із досягненнями сучасної науки й техніки.

2.7.2 Напрями застосування цифрової техніки під час проведення демонстраційних дослідів із фізики

Застосування цифрового вимірювального комп'ютерного комплексу під час проведення фізичних демонстрацій дає змогу істотно розширити можливості демонстраційного експерименту: збір даних експерименту в реальному часі,

зокрема з декількох датчиків одночасно; налаштування демонстрації даних із всіх датчиків в одному вікні; використання широкого діапазону інструментів для аналізу даних; різні способи візуалізації даних: графіки, таблиці, діаграми; експорт даних у MS Excel та інші програми; здійснення прямих вимірювань деяких величин, які неможливо виконати аналоговими приладами.

Для прикладу варто розглянути введення поняття індуктивності котушки в 11 класі. У серії дослідів із демонстрування залежності індуктивності від параметрів котушки та середовища, що виконують із використанням традиційних аналогових приладів, про зміну індуктивності із внесенням осердя та під час зміни кількості витків у котушці судять опосередковано за зміною показів амперметра. Безпосередньо продемонструвати залежність індуктивності котушки від її параметрів та середовища можна прямим вимірюванням індуктивності за допомогою спеціального датчика. Результати дослідів із вимірювання індуктивності котушки без осердя та в разі його внесення доцільно подати у вигляді графіків ($L = L(t)$) та вивести їх на екран одночасно. Аналогічно порівняти графіки зміни індуктивності котушки за зміни кількості витків.

Наостанок варто додати, що традиційні цифрові прилади в демонстраційному експерименті можуть використовуватися лише після відповідного доопрацювання, яке дасть змогу виводити результати вимірювань на екран чи табло.

2.7.3 Впровадження цифрових вимірювань у шкільний фізичний лабораторний експеримент

Використання цифрових вимірювальних приладів у лабораторному експерименті з фізики дозволить розширити його можливості, зокрема завдяки підвищенню точності та відтворюваності вимірювань, зменшення часу на здійснен-

ня вимірювань, автоматизації обчислень та інтерпретації результатів експерименту.

Формування початкових практичних навичок роботи з електронними вимірювальними приладами варто розпочинати вже з перших уроків вивчення фізики в 7 класі. Одночасно можна запропонувати провести вимірювання цифровим та аналоговим приладом, а результати вимірювань порівняти.

Наприклад, під час виконання лабораторної роботи «Вимірювання розмірів малих тіл» семикласникам можна запропонувати визначити діаметр тіл малого розміру (дріб, горох) спочатку методом рядів, використовуючи лінійку, а потім, вимірявши безпосередньо електронним штангенциркулем. Порівняти результати. Схожий підхід можна використати під час виконання лабораторної роботи «Вимірювання маси тіла». Учні виконують лабораторну роботу, зважуючи досліджуване тіло на важільних терезах. Вчитель під час приймання від групи учнів звіту про роботу використовує електронні терези для зважування тіла. У присутності учня, поклавши на шальку електронних терезів тіло, вчитель робить відмітку на полях зошита про результати зважування у звіті поряд із результатами, одержаними учнями. Порівняння результатів вчитель враховує під час оцінювання, сприяючи його об'єктивності. Отже, це є першими кроками до формування цілісних уявлень про можливість та особливості цифрової техніки.

Крім того, у навчальному експерименті з фізики доцільно використовувати лабораторні секундоміри, мультиметри з датчиками для вимірювання температури. На відміну від термометрів, які часом складно розмістити в потрібному місці експериментальної установки, датчики-термопари встановити значно зручніше.

Використання цифрових засобів під час проведення навчальних занять із фізики виправдане та ефективне тільки

тоді, коли воно сприяє підвищенню їхньої результативності, а організація навчального процесу спрямована на розширення можливостей традиційних засобів чи усунення недоліків у їхній роботі.

2.8 Домашні досліді та спостереження учнів

Є загально визнаним, що знання учня будуть міцними, якщо їх набувають не за допомогою механічного запам'ятовування, а як продукти власних міркувань, що закріпилися внаслідок його власної творчої діяльності. Зазвичай у межах навчального заняття вчителю складно застосовувати спеціальні методики з розвитку творчих здібностей учнів, їхнього креативного мислення. Значно більші потенційні можливості має домашня навчально-пізнавальна діяльність. Домашні експериментальні роботи є особливим видом домашніх завдань, під час виконання яких учні, використовуючи предмети домашнього вжитку, найпростіші саморобні прилади, проводять спостереження та досліді.

2.8.1 Домашні спостереження

Домашні спостереження учнів містять спостереження явищ природи, застосування і використання знань із фізики в побуті, техніці. Для вивчення фізики роль домашніх спостережень дуже велика, а для вироблення навичок самостійних досліджень – значно більша, ніж класні демонстрації вчителя.

Домашні спостереження учень організовує сам, тоді як демонстрації організовує вчитель. Пізнавальне значення домашніх спостережень полягає в тому, що за їхньою допомогою вчитель збагачує життєвий досвід учнів, забезпечує зв'язок навчання із життям.

Завдання щодо виконання домашніх спостережень передбачає збирання фактичного матеріалу щодо перебігу певного явища чи процесу або ж спостереження за яви-

щами, які характеризуються довготривалістю їхнього протікання.

Проведенню домашніх спостережень має передувати вичерпний інструктаж вчителя. Учні під час спостережень доволі часто помічають ознаки, які не є суттєвими для встановлення певних закономірностей. Наприклад, спостерігаючи за рухом гілочки, з якої злетіла пташка, учні помічають, що гілочка коливається. Тим часом для розуміння III закону Ньютона важливим є спостереження того, що в момент злітання пташки гілочка відхиляється у протилежний бік. Якщо учнів заздалегідь попередити, на що саме звернути увагу під час спостереження, то вони помітять характерну й потрібну для узагальнення ознаку явища.

Результати домашніх спостережень мають бути використані у процесі пояснення нового навчального матеріалу чи під час його закріплення. Наприклад, перед вивченням вологості повітря та принципу дії психрометра перед учнями доцільно поставити завдання: переконатися на досліді, що поверхня, з якої випаровується рідина (вода), охолоджується, тобто її температура знижується. Для цього пропонують подмухати на сухі долоні, а потім – на мокрі. Далі потрібно взяти два кімнатних термометри. Шматочок вати змочити водою та прикріпити до нижнього краю одного з термометрів. Спостерігати за показаннями термометрів і пояснити різницю в показах.

2.8.2 Домашні дослід

Домашні дослід більшою мірою сприяють розвитку самостійності та експериментаторських умінь, ніж фронтальний експеримент, оскільки вдома учень організовує дослід самостійно. Він повинен створити або вибрати умови для вдалого проведення експерименту, знайти необхідні предмети домашнього вжитку, а в окремих випадках виго-

товити прилад чи окремі деталі до нього. Це розвиває творчість і винахідливість.

Якщо враховувати забезпеченість учнів необхідними для виконання дослідів приладами, то домашні експериментальні роботи можна поділити на три види: 1) роботи, у яких учні користуються предметами домашнього вжитку та підручними матеріалами; 2) роботи, у яких учні експериментують із саморобними приладами; 3) роботи, які виконують на приладах, що випускає промисловість. Найбільш просто організувати роботи першого виду. Однак найвищу дидактичну цінність мають саме два інших види робіт.

Домашні експериментальні роботи можуть бути як кількісними, так і якісними. На першому концентрі навчання фізики варто віддати перевагу якісним роботам.

Пропонуючи домашні досліди, необхідно ставити перед учнями конкретне завдання, пропонувати запитання, відповіді на які може дати експеримент. Наприклад, з'ясувати, як взаємодіють наелектризований предмет і струмінь води з крана. Найдоцільніше, формулювати завдання експерименту за допомогою постановки певної навчальної проблеми. Розпочинати необхідно з цікавих і простих дослідів, поступово переходячи до все більш складних завдань із більш глибоким рівнем проблемності. Шкільний курс фізики насичений описами дослідів, які або підтверджують наукові припущення, або, навпаки, потребують теоретичного обґрунтування.

Необхідно надавати учням свободу щодо вибору прийомів і засобів виконання домашнього експерименту. Пропоновані вчителем домашні досліди можуть бути лише прикладом. Необхідність самостійно обирати спосіб розв'язання проблеми потребує від учнів кмітливості та винахідливості, сприяє розвитку творчості й креативності. Само-

діяльність та ініціативу вихованців у цьому питанні потрібно всіляко заохочувати.

За результатами виконання домашніх дослідів учні повинні оформити відповідні звіти. Висновки щодо виконаної роботи мають бути обговорені та проаналізовані на наступному уроці у класі.

Одним із видів експериментальної домашньої роботи може бути виготовлення саморобних найпростіших приладів і моделей. Наприклад, завдання може бути сформульоване так: виготовте електроскоп із матеріалів, які маєте вдома, та випробуйте його в роботі.

У більш складних випадках учням треба давати докладний опис (з кресленнями чи зображеннями) окремих деталей, способів його виготовлення та складання. Наприклад, створити барометр – прилад для вимірювання атмосферного тиску, використовуючи таке устаткування: банку з широким горлом, повітряну кульку, ножиці, соломинку, круглу гумку, картон, скотч.

Виконуючи такі завдання, учні здобувають досвід створення нового продукту, набувають конструкторських навичок, ознайомлюються з технологією оброблення певних матеріалів. Кращі моделі й прилади варто демонструвати у класі.

2.8.3 Експериментальні завдання

На відміну від завдань попереднього типу, розв'язування експериментальних завдань доцільно пропонувати учням після вивчення нового матеріалу. У таких завданнях учень має не відтворювати вивчений раніше матеріал, а застосувати отримані знання та уміння до нових ситуацій.

Розв'язування експериментального завдання має таку послідовність дій: формулювання завдання; аналіз умови та вхідних даних; постановка дослідів, проведення вимірювань; розрахунки; аналіз отриманого результату.

Наприклад, після вивчення сили тертя учням доцільно запропонувати домашнє експериментальне завдання з визначення коефіцієнта тертя між підшвами взуття людини та різними поверхнями. Дослід необхідно проводити в парі. Як поверхні можна використати дошку, шматки різних матеріалів: лінолеум, гумовий килимок тощо. Також знадобиться довга лінійка або метр. У ході досліду один з учасників стає на дошку, інший піднімає її за один край доти, поки перший почне з неї зісковзувати. Вимірявши висоту підйому дошки h у момент зісковзування з неї людини та довжину дошки l , можна розрахувати коефіцієнт тертя для цієї поверхні. Дослід повторити для кількох інших поверхонь. Зробити висновки.

Також можна запропонувати учням визначити роботу, що здійснює людина під час підйому на N -й поверх. У цьому разі учень за допомогою ваг має визначити свою масу, лінійкою виміряти середню висоту сходинки у своєму будинку та підрахувати загальну кількість сходинок до свого поверху. Насамкінець, потрібно обчислити роботу, що здійснюють під час підйому на N -й поверх за формулою $A = mgnh$, де A – робота; m – маса тіла; n – кількість сходинок; h – середня висота сходинки.

Впровадження домашніх експериментальних завдань у навчальний процес підвищує інтерес до вивчення фізики. Водночас діяльність учителя щодо розвитку інтелектуальних і творчих здібностей учнів поширюється і на самостійну домашню роботу.

Перевагою домашніх дослідів, спостережень та експериментальних завдань є можливість самовизначення кожного учня зі способом їхнього виконання відповідно до рівня засвоєння навчального матеріалу, індивідуальних пізнавальних інтересів та інтелектуальних можливостей.

Контрольні питання

1. У чому полягає роль фізичного експерименту в навчанні фізики?
2. Укажіть загальний план діяльності під час проведення демонстраційних дослідів.
3. Які типи лабораторних робіт ви знаєте? Яке місце кожного з них у навчальному процесі?
4. Який вид навчального фізичного експерименту передбачає використання найпростіших приладів, які можна виготовити вдома або з побутовими приладами?
5. Укажіть способи використання мультимедійних засобів у навчальному експерименті з фізики.
6. Яка роль цифрових засобів у навчальному експерименті з фізики?
7. Що означає виміряти будь-яку фізичну величину?
8. Назвіть, які існують види вимірювань.
9. Що називають похибкою вимірювання?
10. Від чого залежить точність вимірювання?
11. Що таке інструментальна похибка вимірювального приладу? Чим вона визначається?
12. Що вважають методикою та технікою демонстрування дослідів?
13. Які існують методичні вимоги до демонструвань?
14. Яких правил безпеки потрібно дотримуватися під час роботи з нагрівальними приладами і легкозаймистими речовинами; електроприладами; склом; деякими хімічними речовинами; вакуумними і газорозрядними приладами; джерелами випромінювання?

Список літератури до розділу 2

1. Альбін К. В. Методика викладання фізики / К. В. Альбін та ін. – Київ : Вища школа, 1970. – 300 с.
2. Величко С. П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики в середній школі : монографія / С. П. Величко. – Кіровоград : КДПУ, 1998. – 302 с.
3. Пінчук О. П. Використання цифрового обладнання навчального експерименту як актуальна проблема природничої освіти / О. П. Пінчук, О. М. Соколюк // STEM-освіта та Інтернет речей у природничих університетах / Редакційно-видавничий відділ НУБіП України. – 2018. – С. 141–144.
4. Горячкин Е. Н. Методика преподавания физики в семилетней школе. Том 2. Методика и техника физического эксперимента : [пособие для учителей и руководство для студентов учительских институтов] / Е. Н. Горячкин. – Москва : Учпедгиз, 1948. – 530 с.
5. Давиденко С. М. Цифрові вимірювальні прилади у навчальному фізичному експерименті в середній школі / С. М. Давиденко, Л. М. Кнорозок, М. П. Руденко // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – 2016. – Вип. 138. – С. 51–53. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuP_2016_138_12.
6. Зуев П. В. Простые опыты по физике в школе и дома : методическое пособие для учителей / В. П. Зуев. – Москва : ФЛИНТА, 2012. – 141 с.
7. Каленик В. І. Питання загальної методики навчання фізики : пробний навчальний посібник / В. І. Каленик, М. В. Каленик. – Суми : Редакційно-видавничий відділ СДПУ ім. А. С. Макаренка, 2000. – 125 с.

8. Каленик М. Методика віртуального демонстраційного фізичного експерименту / М. Каленик, О. Пасько // Фізика та астрономія в школі : науково-методичний журнал. – 2009. – № 1. – С. 29–32.

9. Коршак Є. В. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту / Є. В. Коршак, Б. Ю. Миргородський. – Київ : Вища школа, 1981. – 280 с.

10. Левшенюк В. Я. Впровадження приладів на основі електроніки нового покоління у шкільний навчальний фізичний експеримент / В. Я. Левшенюк // Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі : зб. наук. праць. – Київ : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2013. – Вип. 11. – С. 40–46.

11. Литвинова С. Г. Система комп'ютерного моделювання об'єктів і процесів та особливості її використання в навчальному процесі закладів загальної середньої освіти / С. Г. Литвинова // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2018. – Т. 64. – № 2. – С. 48–65. Режим доступу : <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/2111/1330>.

12. Манойленко Н. В. Впровадження цифрових вимірювань в шкільний фізичний експеримент./ Н. В. Манойленко, В. П. Вовкотруб, Н. О. Ментова : зб. наук. праць Кам'янець-Подільського державного університету. Серія педагогічна: Дидактика фізики і підручники фізики (астрономії) в умовах формування європейського простору вищої освіти. – КПДУ : Інформаційно-видавничий відділ, 2017. – Вип. 12. – Ч. IV. – С. 181–183.

13. Методика преподавания физики в 7–8 классах средней школы : пособие для учителя / А. В. Усова,

В. П. Орехов, С. Е. Каменецкий др. – Москва : Просвещение, 1990. – 319 с.

14. Навчальні програми. – Режим доступу : <http://mon.gov.ua/activity/education/zagalnaserednya/navchalni-programy.html>.

15. Про затвердження типового переліку засобів навчання та обладнання для навчальних кабінетів і STEM-лабораторій : Наказ Міністерства освіти і науки України від 29.04.2020 № 574. – Режим доступу : <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-tipovogo-pereliku-zasobiv-navchannya-ta-obladnannya-dlya-navchalnih-kabinetiv-i-stem-laboratorij>.

16. Пасько О. О. Використання мультимедійних освітніх засобів у навчанні механіки учнів загальноосвітніх навчальних закладів : методичний посібник / О. О. Пасько. – Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2013. – 76 с.

17. Ржепецький В. П. Практикум з методики і техніки демонстраційного експерименту в курсі фізики середньої школи : посібник для студ. фіз.-мат. факультетів / В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : КПІ ДВНЗ «КНУ», 2015. – 244 с.

18. Розвиток фізичних компетентностей у дослідницькій діяльності учнів : посібник для вчителя / укладач А. М. Северинова. – Черкаси, 2017. – 53 с.

19. Сальник І. В. Мобільні пристрої та сучасне освітнє програмне забезпечення у навчанні фізики в закладах загальної середньої освіти / І. В. Сальник // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2019. – Том 73. – № 5.

20. Сліпухіна І. Цифровий вимірювальний комплекс як формувальний чинник STEM-орієнтованого освітнього

середовища / І. Сліпухіна, І. Чернецький // Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету. – 2016. – № 1. – С. 200–209.

21. Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика / Н. М. Шахмаев, В. Ф. Шилов. – Москва : Просвещение, 1989. – 235 с.

Іменний покажчик

Авогадро Амедео 25
Ампер Андре-Марі 27
Арістотель 9, 10
Архімед 11, 12

Бальмер Йоганн Якоб 38
Беккерель Антуан Анрі 34
Бернуллі Даніель 24
Больцман Людвіг 41
Бор Нільс 42, 43, 44, 49
Борн Макс 48
Браге Тихо 18
Брег Вільям Генрі 33
Бредлі Джеймс 51

ван Мушенбрук Пітер 26
Векслер Володимир 61
Він Вільгельм 41
Вінклер Йоган 26
Вольта Алессандро 26

Галілей Галілео 9, 15, 16, 17, 22, 50, 51
Гальвакс Вільгельм 45
Гейгер Ганс Вільгельм 39, 40
Гейзенберг Вернер 50
Герон 13, 14
Герц Генріх 28, 43, 44
Гюйгенс Християн 16, 17, 22, 23

Дальтон Джон 25
Де Бройль Луї 49
Де Дюфе Шарль Франсуа 26

Дебай Петер Джозеф Вільям 47
Девісон Клінтон 49
Джермер Лестер 49

Ейнштейн Альберт 45, 46, 48, 54, 55, 56
Ератосфен Керенський 12, 13
Ерстед Ханс Крістіан 27

Жоліо-Кюрі Ірен 36
Жоліо-Кюрі Фредерік 36

Зоммерфельд Арнольд 44

Кавендіш Генрі 20, 21
Кеплер Йоганн 18, 43
Комптон Артур 47
Коперник Миколай 9, 15, 18
Крамерс Гендрік 49
Кулон Шарль Огюстен 21
Кюрі Маря 35, 36
Кюрі П'єр 35

Ленард Філіп 45
Лоренц Гендрік Антон 49
Лоуренс Ернест Орландо 60

Майкельсон Альберт 52, 53, 54
Максвелл Джеймс Клерк 21, 27, 28, 41, 52, 53
Малюс Етьєн Луї 24
Марсден Ернест 39
Міллікен Роберт 30, 31
Мічелл Джон 20
Мозлі Генрі 33, 57
Морлі Генрі 53, 54

Нагаока Хантаро 39
Ньютон Ісаак 9, 19, 20, 22, 23, 52, 53

Парсонс Чарльз 14
Паскаль Блез 25
Перен Жан 28
Пікар Жан 26
Планк Макс 42, 45, 48
Платон 10
Птолемей 8, 43, 44

Рамзай Вільям 35
Резерфорд Ернест 35, 39, 40, 57
Ремер Оле Крістенсен 51
Рентген Вільгельм Конрад 30, 31, 32, 33

Слетер Джон Кларк 49
Содді Фредерік 35, 36
Стефан Йозеф 41
Столетов Олександр 45
Стретт Джон Вільям 25

Томсон Джозеф Джон 28, 29
Томсон Джозеф Джон 39

Фарадей Майкл 27
Фізо Арман Іпполіт Луї 51
Френель Огюстен 23, 24
Фуко Жан Бернар Леон 51

Хоксбі Френсіс 26

Чедвік Джеймс 58

Шредінгер Ервін 49

Юкава Хідекі 59

Юнг Томас 23

Янський Карл 63

Електронне навчальне видання

Пасько Ольга Олександрівна,
Однодворець Лариса Валентинівна

**ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ
ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ
У НАВЧАННІ ФІЗИКИ**

Навчальний посібник

Дизайн обкладинки О. О. Пасько
Редактор І. О. Кругляк
Комп'ютерне верстання О. О. Пасько

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 7,21. Обл. вид. арк. 7,68.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.