

ФУНДАМЕНТАЛЬНІСТЬ СУЧАСНИХ ПОГЛЯДІВ НА МІКРОСВІТ ЯК ЧИННИК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОСТІ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН

Микола САДОВИЙ, Олена ТРИФОНОВА

В статті запропоновано ряд методичних пропозицій, які сприяють формуванню у майбутніх учителів сучасних поглядів на мікросвіт та забезпечують науковість викладання навчальних дисциплін.

The row of methodical suggestions which are instrumental in forming for the future teachers of modern looks to microworld and to provide scientific character of teaching of educational disciplines is offered in the article.

У системі вищої педагогічної освіти здійснюється підготовка вчителів та викладачів фізики для різних типів навчальних закладів. Навчати фізики в умовах еволюції України в інформаційний освітній світовий простір спроможний ерудований викладач, який глибоко знає свій предмет і закони сучасного розвитку цивілізації.

Фізика як наука про явища природи складає фундамент сучасного природознавства. Їй належить виключне місце в загальній системі знань, накопичених людством. Фізика демонструє той ідеал, до якого повинна прямувати будь-яка галузь знань, коли на основі порівняно невеликої кількості принципів, добре обґрунтованих експериментально, спираючись на потужний математичний апарат, можна одержати велику кількість чітких і логічно обґрунтованих наслідків і передбачити кінцевий результат процесу за вихідними даними. Послідовне вивчення курсу фізики формує специфічний логічний метод мислення, наукову інтуїцію, які виявляються надзвичайно плідними і в інших науках [6, с. 142].

Отже, студент повинен не лише засвоїти знання на більш високому рівні, в порівнянні з тим, який доступний майбутнім його учням, але й оволодіти методами отримання цих знань. В умовах стрімкого зростання обсягу знань, які накопичуються людством, і обмеженого терміну навчання у ВНЗ особливої ваги набуває науковий метод оволодіння знаннями, який озброює майбутнього фахівця методологією пояснення і засвоєння нового знання. Тому завдання сформувавати у студентів вміння відбирати найважливіше із всього потоку інформації, яка постійно збільшується, оперативно її опрацювати, визначити місце в майбутній роботі [6, с. 5-6].

При вивченні квантової фізики і, зокрема теми і проблем, пов'язаних з елементарними частинками, варто озброїти студентів знаннями, а також збагатити носії інформації низкою важливих сучасних досліджень та їх результатів.

Фізика елементарних частинок – передній край сучасної науки в цілому і сучасної фізики, зокрема. Мета досліджень в галузі фізики високих енергій – вивчення фундаментальної структури полів та їх носіїв, з чого складається фізичний і біологічний світ за сучасними уявленнями. Розуміння природи елементарних частинок, їх взаємодії і взаємоперетворень – необхідна ланка сучасного фізичного знання. Таке відповідає сучасному рівню пізнання структури матерії [7].

Зокрема, при вивченні розділу «Елементарні частинки» необхідно розробити методику навчання головних особливостей елементарних частинок – це їх здатність до взаємоперетворювання. Такі процеси мають місце у пружних і непружних розсіюваннях, реакціях розпаду тощо. Найважливішою ознакою, за якою класифікують частинки, є тип взаємодії їх з іншими частинками. Відомо чотири типи взаємодії: сильна, електромагнітна, слабка та гравітаційна. Тип взаємодії характеризуються такими основними факторами [1]: величиною сили взаємодії; законом залежності цієї сили від відстані; часом життя частинки, схемою розпаду.

Еволюцію понять фундаментальних взаємодій можна подати у вигляді такої схеми (рис. 1).

Усі фундаментальні взаємодії характеризуються такими числовими параметрами: інтенсивність, радіус дії, час життя, маса, джерела, порівняльна відмінність інтенсивностей [4]. При вивченні даного матеріалу слід наголосити, що інтенсивність взаємодії – безрозмірна величина, яка є комбінацією фундаментальних констант: швидкості світла, постійної Планка та відповідного заряду даного типу взаємодії; радіусу дії (розміри області, у якій виявляється певний тип взаємодії). Час взаємодії визначається через ділення радіуса взаємодії на швидкість поширення дії.

Електромагнітна взаємодія на рівні атомних процесів описується сучасною



Рис. 1. Еволюція понять фундаментальних взаємодій.

квантовою електродинамікою. Достовірність її перевірена експериментально на прискорювачах. Особливу увагу студентів варто звернути на те, що ця теорія є еталоном, за яким тепер розвиваються теорії інших фундаментальних взаємодій.

Електромагнітна взаємодія спостерігається між електрично зарядженими частинками через електричні поля і супроводжує процеси народження електронно-позитронних пар γ -фотонами, розпад π^0 -мезона на два γ -фотони та ін. З погляду квантової механіки це рівнозначно тому, що електрично зарядженні частинки або реально випромінюють чи поглинають фотони, або обмінюються ними. За інтенсивністю електромагнітна взаємодія у $10^2 - 10^3$ разів менша сильної взаємодії. Для її прояву необхідний час $10^{-21} - 10^{-20}$ с, бо час взаємодії обернено пропорційний інтенсивності.

Механізм електромагнітної взаємодії визначається обміном так званими віртуальними фотонами.

Згідно уявлень квантової механіки можливий такий процес: електрон, що знаходиться у спокої, може випромінювати квант електромагнітного випромінювання, при цьому сам не змінюється

$$e^- \rightarrow e^- + \gamma. \quad (1)$$

Маємо випадок порушення закону збереження енергії, бо в правій частині енергія більша на енергію фотона. Але згідно співвідношення невизначеності «енергія – час життя»:

$$\Delta E \cdot \Delta t = \hbar,$$

де ΔE – невизначеність в енергії, Δt – час життя такого стану. На короткий час енергія E може змінюватись на ΔE , причому, чим менший час життя в такому зміненому стані, тим енергія може більше відхилитися від енергії основного стану.

Отже, протягом короткого часу Δt енергія може не зберігатися. Саме тому можливий процес (1). Через проміжок часу $\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E} = \frac{\hbar}{\hbar\omega}$ фотон γ з енергією $\hbar\omega$ повинен повернутись назад до електрона. Такі короткоживучі фотони отримали назву віртуальних.

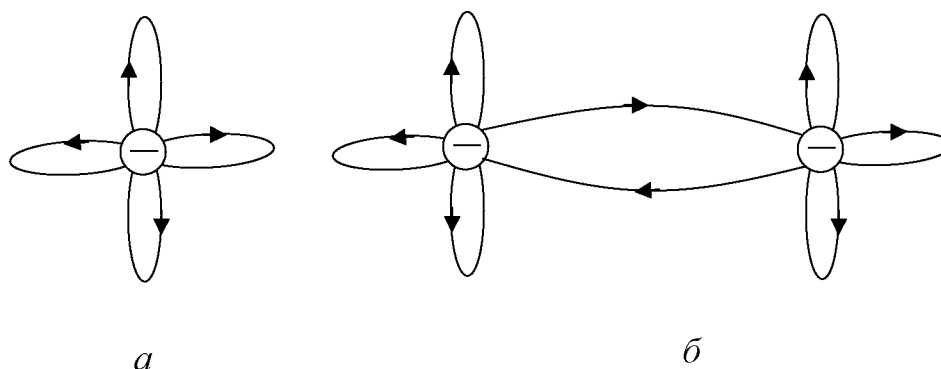


Рис. 2.

У результаті кожен електрон виявляється оточеним віртуальними фотонами, які випромінюються і поглинаються електроном (рис. 2, а). Вживається термін електрон оточений «фотонною шубою».

Віртуальні фотони не можна спостерігати, але якщо системі надати додаткову енергію, віртуальний фотон може відірватись від електрона і стати звичайним фотоном, який зі швидкістю світла поширюється в просторі. Якщо тепер один електрон виявиться розташованим достатньо близько до іншого, то можлива передача фотона сусідньому електрону. Останній, у свою чергу, може передавати фотон першому електрону (рис. 2, б), тобто маємо обмін віртуальними фотонами [1, с. 230].

У методиці вивчення цього типу взаємодії недостатньо розкрито випадки обмеження прояву електромагнітних сил через їхні властивості. Зокрема, наявність позитивно і негативно заряджених частинок пов'язане з утворенням деяких нейтральних систем, наприклад, атомів. Для сил взаємодії між такими системами радіус їх дії обмежений, хоч для кулонівських сил він нескінченно великий. Інша властивість полягає в тому, що різні частинки неоднаково взаємодіють через електромагнітне поле. Так нейтральні частинки (нейтрони) зі спіном, відмінним від нуля, взаємодіють тільки через магнітне поле, джерелом якого є магнітні моменти частинок. Ці сили значно менші за кулонівські. Ще слабшою є електромагнітна взаємодія між нейтральними і безспіновими частинками (нейтральними піонами). Такі частинки взаємодіють між собою через віртуальні частинки, що мають електричний заряд і магнітний момент. Це свідчить про незавершеність теорії фундаментальної електромагнітної взаємодії. Цей факт недостатньо розкривається в методиці навчання фізики як вищої, так і середньої школи.

Існує декілька теорій слабкої взаємодії. Одна з них розвивалась за аналогією до квантової електродинаміки. Її сформулював у 1957 році Ю. Швінгер. Вважається, що механізм слабкої взаємодії має обмінний характер, тобто постулювалось існування нових частинок, які називались проміжними бозонами. У поясненні слабкої взаємодії вони відіграють таку ж роль, що й фотони в електромагнітній взаємодії. Слабка

взаємодія – короткодійоча. Тому проміжні бозони повинні мати значну масу. Теорія передбачала існування заряджених проміжних бозонів W^+ і нейтрального проміжного бозона Z^0 , маси яких відповідно: $m_w \approx 80$ ГеВ та $m_z \approx 90$ ГеВ. У 1983 році за допомогою коллайдера ЦЕРНа (прискорювач у Швейцарії) на зустрічних пучках протонів і антропротонів з енергіями 270 ГеВ, у кожному пучку здійснили реакції: $p + p \rightarrow W^\pm + \text{адрони}$, $p + p \rightarrow z^0 + \text{продукти розпаду}$. На основі експериментальних даних визначено: $m_w \approx (81 \pm 2)$ ГеВ, $m_z \approx (94 \pm 2)$ ГеВ. Отже, механізм слабкої взаємодії забезпечується обміном проміжними бозонами W^\pm і Z^0 , які є найважчими елементарними частинками.

У методичній літературі для середньої та вищої школи не підкреслено, що у слабкій взаємодії перебувають усі частинки, крім фотона. Слабка взаємодія обґрунтовує β -розпад ядер і спонтанний розпад майже усіх елементарних частинок [5]. Для пояснення явища β -розпаду у 1934 році Е. Фермі висунув гіпотезу про існування особливого типу короткодійочих сил, які викликають перехід $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$. Наступні дослідження показали, що введена Е. Фермі взаємодія має універсальний характер і зумовлює розпад усіх нестабільних частинок.

Внаслідок слабкої взаємодії відбуваються розпади: заряджених π -мезонів і мюонів; розпад усіх дивних частинок, крім S^0 -гіперона; розпад очарованих частинок. Слабка взаємодія зумовлює усі процеси з участю нейтрино.

Будь-які реакції, кінцевим результатом яких є перетворення чотирьох протонів у ядро гелію з виділенням енергії, пояснюється слабкою взаємодією. Процес такого розпаду частинок у мікросвіті є повільним. Характерний час слабкої взаємодії складає $10^{-8} - 10^{-10}$ с. За цей час мікрочастинка може пройти у реєструючому пристрої відстань близько 3 см і залишити помітний слід. Слабка взаємодія вивчена недостатньо і не є завершеною.

Варто приділити увагу методистів на забезпечення порівняння властивостей електромагнітної і слабкої взаємодії, яке дає змогу виділити щось спільне у них. Це вказує на потенційну можливість їх об'єднання в одну. Основи такої теорії закладено у 1967 році працями С. Вайнберга, А. Салама і С. Глешоу. Ця теорія називається теорією електрослабкої взаємодії [8].

У методиці вивчення сильної взаємодії, яка має місце між нуклонами, антинуклонами, гіперонами і антигіперонами, майже не розкрито, що в ній не задіяні лептони і фотони. Для пояснення насичення і короткодії ядерних сил В. Гейзенберг висунув гіпотезу, що ядерні сили є «обмінними силами», подібні до сил хімічного зв'язку у молекулах.

Розрахунки показують, що загальна енергія системи з двох електронів зменшується. Це означає, що такий зв'язок двох частинок вигідний з енергетичної точки зору. Але якщо дві близько розташовані частинки мають меншу енергію, ніж далеко розташовані, це означає, що два електрона притягаються один до одного. У звичайних умовах це притягання набагато слабше за кулонівські сили відштовхування однойменних зарядів. Важливо наголосити увагу учнів (студентів), що ці сили, які отримали назву обмінних, все ж таки існують. Увагу студентів слід звернути на той факт, що обмінні сили відіграють велику роль у надпровідності.

Японський фізик Юкава запропонував використовувати аналогічний механізм для пояснення природи ядерних сил (тобто сильної взаємодії). Вони зарядонезалежні і проявляються тільки на дуже малих відстанях порядку розміру ядра (10^{-15} м). Якщо один нуклон (в межах співвідношення невизначеностей енергія–час життя) весь час

випромінює (поглинає) які-небудь віртуальні частинки, то можливий обмін такими частинками, в результаті чого і виникають величезні сили притягання [1, с. 231].

Ядерні сили між двома нуклонами забезпечуються третьою частинкою, яка називається віртуальною. Уявлення про обмінний механізм взаємодії нуклонів ґрунтується на міркуваннях, аналогічних тим, які використані при створенні теорії електромагнітної взаємодії. Ця ідея стосовно до ядерної взаємодії була розвинута у працях І.Є. Тамма, Д.Д. Іваненка, В. Гейзенберга, Х. Юкави, К. Адерсона, С. Неддермайера, Дж. Оккіаліні, С. Поуелла.

При вивченні взаємоперетворення частинок та віртуальних частинок доцільно використати принцип історизму, приділивши увагу історії дослідження ядерної взаємодії; слід виділити етапи, які стали визначальними для становлення та розвитку вчення про типи взаємодії. У 1934 р. І.Є. Тамм висловив ідею, що взаємодія між нуклонами здійснюється за допомогою певних віртуальних частинок. Він також довів, що неможливо пояснити обмінний характер ядерної взаємодії за допомогою відомих на той час частинок (фотон, електрон, позитрон). Через рік Х. Юкава зміг пояснити ядерні сили наявністю частинки – мезона. У 1936 році К. Андерсон та С. Неддермайер виявили у космічних частинках μ -мезон (мюон). Спочатку вважали, що це ті частинки, про які говорив Х. Юкава. Потім дослідним шляхом було доведено, що мюони практично не взаємодіють з ядрами. Лише у 1947 році Дж. Оккіаліні і С. Поуелл відкрили у космічному випромінюванні ще один тип мезонів, які назвали π -мезонами (піонами). Вони виявились носіями ядерних сил.

При викладанні даного матеріалу, не можна залишити поза увагою таку частинку, як нуклон. Він завжди оточений віртуальними частинками. Зі студентами важливо виконати розрахунки і дати оцінку маси однієї з таких віртуальних частинок.

Більшість елементарних частинок рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла. З такої швидкості віртуальна частинка може переміститись на

відстань l , а час до її повернення має порядок $\frac{l}{c}$. Із того факту, що ядерні сили

притягання виявляються лише на відстанях $< 10^{-15}$ м, природно зробити припущення, що $l \sim 10^{-15}$ м, а $\Delta t \sim 10^{-15} \text{ м} / 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \sim 10^{-23}$ с. Тепер можна знайти допустиму

невизначеність в енергії нуклона $\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t} \sim 270$ мас спокою електрона. Саме такого

порядку повинна бути енергія-маса частинок, що відіграють роль ядерного клею, що склеює нуклони. Значення $270m_e$ лежить між масою протона ($\sim 1830m_e$) і масою електрона m_e . Така частинка була названа мезоном.

Підтвердженням будь-якої теорії є дослід. Незаперечним є факт, що спочатку μ -мезон виявили дослідним шляхом, а потім теоретично обґрунтовували (див. таблицю 1). Його маса виявилась рівною $270m_e$. Крім того, мюон вільно пролітає крізь атмосферу, а отже, не бере участі у сильній взаємодії з ядрами атомів повітря. Отже, він не може відігравати роль носія сильної взаємодії. Пізніше виявили π -мезони з масою як раз $270m_e$. Саме віртуальні π -мезони і забезпечують сильну взаємодію, тобто зменшують енергію системи нуклонів на енергію зв'язку.

У таблиці 1 показано, що частинки, які відіграють роль клею (фотони, мезони), завжди мають цілий спінін (0, 1, ...), тобто це бозони. Частинки, які утворюють речовину і є об'єктами склеювання (нуклони, електрони), мають напівцілий спінін ($1/2, 3/2, \dots$), тобто представляють собою ферміони [1, с. 231-232]. Методика викладу цих важливих висновків майже не описана у найбільш поширених методичних посібників.

Сильні взаємодії обумовлюють зв'язок нуклонів у ядрі, пояснюють процеси утворення гіперонів і мезонів при ядерних зіткненнях [2; 3]. Механізм ядерної взаємодії полягає у обміні π -мезонами між нуклонами (p,p ; p,n ; n,n).

Методика вивчення адронів як у вищій, так і в середній школі ще не сформована до кінця. Усі частинки, які перебувають у сильній взаємодії, називаються адронами. Єдиної закінченої теорії адронів та сильної взаємодії не створено. Основні властивості та взаємодію адронів пояснює квантова хромодинаміка.

Таблиця 1

Елементарні частинки

Символ частинки	Енергія-маса	Спін	Загальні назви		
Ω^-	3273	3/2	Гіперони	Баріони	Адрони
Ξ^0, Ξ^-	2573, 2586	1/2			
$\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$	2343, 2334, 2343	1/2			
Λ^0	2184	1/2			
p, n	1836, 1839	1/2	Нуклони		
η^0	1074	0	Мезони		
K^+, K^0	966, 974	0			
π^+, π^0	273, 264	0			
μ^-	207	1/2			Лептони
e^-	1	1/2			
ν_e, ν_μ	0, 0	1/2			
γ		1			Фотон

До виникнення квантової хромодинаміки механізм ядерних сил розглядався як результат обміну нуклонів піонами. Згідно з новим підходом у ядерній взаємодії нуклон бере участь не як єдине ціле, а своїми складовими елементами – кварками. Обмін нуклонів, піонами не виключається й у квантовій хромодинаміці, але його інтерпретація змінюється. Кварк, що належить одному із нуклонів, переходить в інший нуклон, а його кварк переходить у перший нуклон. У результаті виникає ефективний обмін парою $q-q$, яка є піоном. Взаємодія між кварками здійснюється обміном глюонами. Подібно до того, як заряд є джерелом фотонного поля, кольорові заряди кварків є джерелами глюонних полів. Методика вивчення теорії кваркової будови елементарних частинок та речовини мало розроблена.

Найбільша відстань, на якій проявляється сильна взаємодія, складає близько 10^{15} м. За даною відстанню і швидкістю руху $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ можна визначити час, який

характерний для сильної взаємодії $\tau \approx \frac{r}{c} = \frac{10^{-15}}{3 \cdot 10^8} \approx 10^{-23}$ с. Сильна взаємодія

короткодійова. Ядерні сили мають неелектричний характер. Вони діють не лише між зарядженими протонами, але й між електрично нейтральними нейтронами. Установлено, що один і той же нуклон взаємодіє не з усіма нуклонами ядра, а лише з деякими сусідніми.

При вивченні фундаментальних взаємодій, не можна залишити поза увагою гравітаційну взаємодію, яка є найбільш слабкою взаємодією з відомих. Гравітація відіграє важливу роль у структурі великих мас Всесвіту на великих відстанях. У квантовій теорії поля "переносниками" гравітаційної взаємодії вважаються гравітони – гіпотетичні частинки, існування яких експериментально не підтверджено.

У методичних посібниках не розглянута методика класифікації частинок за взаємодіями. У сильній, слабкій та електромагнітній взаємодіях елементарні частинки залучені по-різному. Нейтрино бере участь лише у слабкій взаємодії, γ -кванти – лише у електромагнітній взаємодії. Значна кількість частинок (протони, нейтрони, π -мезони і ін.) здатні брати участь в усіх трьох типах взаємодій. Сильній і електромагнітній взаємодіям властива дзеркальна симетрія. Вона полягає у тому, що будь-які процеси, які є дзеркальним відображенням один другого, відбуваються з однаковою імовірністю.

Увагу студентів слід привернути до того, що дослідження елементарних частинок та їх взаємодій не завершене. Існує низкатеоретичних схем, у яких робляться спроби створити єдину теорію усіх взаємодій. У цих схемах є намагання на спільній основі розглянути лептони, кварки, проміжні бозони і навіть гравітони. Проте ці схеми залишаються недосконалими.

Щодо «великого об'єднання», то поки що вчені приходять до висновку, що частинки, подібні фотонам і бозонам, могли б грати роль носія енергії у всіх трьох взаємодіях. Ця частинка повинна мати велику масу і на сучасних прискорювачах виявити їх не можна. Необхідні більші потужності.

Квантова механіка пояснювала те, що не вкладалось уявлення в класичної фізики. Проте в середині 60-х років ХХ ст. були виявлені об'єкти, які були названі квазарами й квазарами (ніби зірки, ніби Галактики), які дають набагато більшу інтенсивність випромінювання, ніж наша Галактика. Відстань до них 1,5 - 2 мільярди світлових років. Яскраве ядро в них у тисячі разів менше, ніж у нашій Галактиці, але випромінювання в десятки разів більше (лише у видимій частині) за весь спектр нашої Галактики. Незвичайне і радіовипромінювання квазарів. Для квазарів воно не зафіксовано. Термоядерними реакціями на Сонці не можна пояснити ці процеси. Учені продовжують шукати відповіді на ці запитання.

Отже, ряд запропонованих методичних пропозицій можуть сприяти формуванню цілісної методики навчання елементарних частинок у системі вищої та середньої освіти.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бордовский Г. А., Бурсиан Э. В. Общая физика: Курс лекций с компьютерной поддержкой: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений: В 2 т. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2001. – Т. 2. – 296 с.:
2. Гелл-Манн М. Сильное взаимодействие частицы. – Дубна: ОИЯИ, 1964. – 167 с.
3. Комар А. А. Сильные взаимодействия и симметрии. – М.: Наука, 1973.
4. Кучерук І. М., Горбачук І. Т. Загальний курс фізики: Т. 3. Оптика. Квантова фізика. – К.: Техніка, 1999. – 520 с.
5. Ли Ц. Д., Ву Ц. Слабые взаимодействия. – М.: Мир, 1968. – 216 с.
6. Осадчук Л. І. Методика преподавания физики. Дидактические основы. – Киев-Одесса: Вища школа, 1984. – 351 с.
7. Садовий М. І. Становлення та розвиток фундаментальних ідей дискретності та неперервності у курсі фізики середньої школи. – Кіровоград: Прінт-Імідж, 2001. – 396 с.
8. Садовий М. І., Трифонова О. М. Особливості вивчення елементарних частинок у шкільному курсі фізики. // Наукові записки. Випуск 55. – Серія: Педагогічні науки – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2004 – 101-106 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Садовий Микола Ілліч – доктор педагогічних наук, професор КДПУ ім. В. Винниченка

Наукові інтереси: розвиток змісту і викладання квантової фізики.

Трифорова Олена Михайлівна – асистент кафедри фізики та методики її викладання, аспірант кафедри педагогіки КДПУ ім. В. Винниченка

Наукові інтереси: проблеми викладання природничих дисциплін в загальноосвітній та вищій школі.