

цілісність і фундаментальність фізичних законів, принципів та понять.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики / Д.И.Блохинцев. – М. : Наука, 1976.
2. Глауберман А.Ю., Манакин Л.О. Фізика атома та квантова механіка / А.Ю. Глауберман, Л.О. Манакин. – К. : Вища школа, 1972.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика / Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. – М. : Наука, 1976.
4. Подопрігора Н.В. Закон збереження електричного заряду та його інваріантність відносно калібрувальних перетворень // Наукові записки. – Вип. 72. – Серія: Педагогічні науки.

– Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В.Винниченка. – 2007. – Ч.1. – С. 211-218.

5. Тарасов Л.В. Основы квантовой механики / Л.В.Тарасов. – М. : Высшая школа, 1978.

6. Тестов В.А. Фундаментальность образования: современные подходы / В.А.Тестов // Педагогика : научно-теоретический журнал. – 2006. – №4. – С. 3-9.

7. Штольский Э.В. Атомная физика / Э.В.Штольский. – М. : Наука, 1976. Т.2.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Подопрігора Наталія Володимирівна** – доцент кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В. Винниченка.

*Наукові інтереси:* проблеми дидактики фізики середньої і вищої школи.

## ОКРЕМІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ РОЗКРИТТЯ СТАНДАРТНОЇ ТА ДЕЯКИХ ІНШИХ ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

**Микола САДОВИЙ**

*У статті здійснено аналіз структури і змісту навчального матеріалу з сучасної фізики у вищих навчальних закладах та внесено пропозиції щодо їх удосконалення.*

*In the article the analysis of structure and maintenance of educational material is carried out from modern physics in higher educational establishments and suggestions are borne in relation to their improvement.*

**Постановка проблеми.** У методиці навчання фізики найбільш дослідженими є електромагнітна та слабка взаємодії. Нині інтенсивно проводяться роботи із завершення теорії сильної взаємодії. Багато ще не вирішених проблем залишається у теорії гравітаційної взаємодії. Тестування студентів старших курсів з виявлення сутності фундаментальних взаємодій показало, що окремо кожна взаємодію вони характеризують задовільно. Проте мало хто з студентів допускає думку про об'єднання всіх взаємодій єдиною теорією, що у процесах фізики високих енергій можливі одночасно всі чотири типи взаємодій.

Отже, метою даної статті є показати ґрунтовне дослідження

методики навчання фундаментальних взаємодій як єдиного цілого, як системи, де всі елементи (чотири взаємодії) тісно між собою пов'язані і одночасно мають місце у будь-якому взаємоперетворенні елементарних частинок. Інша справа, яка з них є домінуючою.

**Основний матеріал.** У цьому зв'язку навчання фундаментальних взаємодій ми пропонуємо здійснити дедуктивним способом від загального до одиничного. Пропедевтикою такого підходу може бути наступне. Студентам з шкільного курсу фізики відомі чотири види фундаментальних взаємодій. Тому ставимо проблемне завдання: якими теоріями можна пояснити електрику, земне притягання, світло, нейтрино, протони, магнетизм, бета-розпад, небесну механіку, піони, нейтрони, магнетизм, земну механіку.

Пропонуємо згрупувати вказані поняття за логічними зв'язками взаємодій та їх опису. В результаті їх аналізу за пропонованими критеріями одержимо наступні групи понять:

- 1) електрика, магнетизм, світло;

- 2) бета-розпад, нейтрино;
- 3) протони, нейтрони, піони;
- 4) земне тяжіння, небесна механіка, земна механіка;
- 5) Всесвіт.

Ці групи понять складають єдине ціле – систему явищ, процесів Природи, їх властивості, що вивчаються у курсі загальної та теоретичної фізики. Це єдине ціле повинно пояснюватись певною теорією взаємодій, описуватись певними законами. Виникає запитання: чи існує нині така теорія? Відповіді на це запитання у фізичній галузі науки ще не існує. Тоді аналізуємо визначені групи узагальнених понять і розглядаємо їх як підсистеми загальної системи природних явищ та процесів.

Земне тяжіння, земна механіка, небесна механіка – підсистема універсальної гравітації. Всесвіт складає геометрію простору-часу і разом з підсистемою універсальної гравітації складає більш загальну підсистему Загальної Теорії Відносності.

Електрика, магнетизм, світло входять у підсистему електромагнетизму – електромагнітної взаємодії.

Бета-розпад та нейтрино є структурними елементами підсистеми слабкої взаємодії, а разом з електромагнетизмом утворюють нову

більш загальну теорію електрослабкої взаємодії.

Протони, нейтрони, піони складають підсистему, де здійснюється сильна взаємодія, а разом з підсистемою електрослабкої взаємодії складають Стандартну Модель.

Таким чином, звертаємо увагу студентів, що на нинішньому етапі розвитку фізики маємо дві фундаментальні підсистеми: Стандартна Модель та Загальна Теорія Відносності. Така єдина система фундаментальної взаємодії дістала назву Великого об'єднання. Між виділеними групами понять існує незаперечний зв'язок. Зокрема електрика пов'язана з бета-частинками, протонами, земною та небесною механікою і т.д. Це ж саме можна стверджувати і про другі поняття. Отже у тому чи іншому природному явищі чи процесі завжди присутні різні види взаємодій, бо Природа єдина.

Зазначені міркування схематично викладені у вигляді блок-схеми (рис. 1). Запропонована методика викладу навчальної інформації у вказаному вигляді є досить наочною і змушує аналізувати природні явища у всій системі фізичних знань і визначати кожному поняттю, явищу, процесу місце у загальній системі.

Електрика	електромагнетизм – електромагнітна взаємодія	електрослабка взаємодія	Стандартна Модель	ВЕЛИКЕ ОБ'ЄДНАННЯ
Магнетизм				
Світло				
Бета розпад	слабка взаємодія			
Нейтрино				
Протони				
Нейтрони	сильна взаємодія			
Піони				
Земне тяжіння, земна механіка				
Небесна механіка	універсальна гравітація	Загальна Теорія Відносності		
Всесвіт			геометрія простору-часу	

Рис. 1. Блок-схема узагальнення фундаментальних взаємодій.

Визначивши методику становлення сильної взаємодії, ми пропонуємо розглянути ідею, як теорію сильних взаємодій, об'єднану з теорією електрослабких взаємодій – Стандартну Модель.

У науковій літературі таке об'єднання подається як Велике Об'єднання [3; 4]. Але таке об'єднання можливе, якщо враховувати гравітацію, що само собою є складним завданням. Важливим для розуміння студентами даного матеріалу є висвітлення думки частини вчених (зокрема С.Вайнберга), які вважають, що очевидні відмінності цих сил обумовлені певними подіями на ранній стадії Великого Вибуху (**Big Bang**). Дослідження деталей такої ранньої космічної історії, можливо, внесе помітні зміни до теорії гравітації й інших сил. Існує думка, що вдається завершити роботу над Великим Об'єднанням до 2050 р., але говорити про це упевнено ризиковано.

**Аналіз робіт** з даного напрямку показав, що за останні три-п'ять років значно оновились і розширились знання фізики з основ Стандартної Моделі, а рекомендовані Міністерством освіти і науки України посібники та підручники І.М.Кучерука, Д.В.Сивухіна та інші видані близько десяти років тому. Тому є необхідність уточнити зміст викладеного у них матеріалу з проблеми, що розглядається. Насамперед необхідно наголосити студентам, що Стандартна Модель є квантово-польовою теорією. Основні об'єкти дослідження такої теорії – є поля. До них входять електричні й магнітні поля електродинаміки ХІХ-ого століття. Коливання таких полів переносять масу, енергію та імпульс з одного місця простору в інше. З точки зору квантової механіки ці хвилі збираються в пакети, або кванти, які спостерігаються в лабораторії як елементарні частинки. Зокрема, квантом електромагнітного поля є частинка відома як фотон.

Нині вже є фактом, що Стандартна Модель охоплює поля для кожного типу елементарних частинок, спостережуваних у лабораторіях фізики високих енергій. Так квантами лептонних полів (**lepton fields**) є досить вивчені електрони, що становлять зовнішні оболонки звичайних атомів. До цих полів відносяться важкі частинки, відомі як мю-мезони і тау-мезони, а також відповідні їм електрично нейтральні частинки, відомі як нейтрино. Є також поля для кварків (**quarks**) різних типів, деякі з яких зв'язані разом усередині протонів і нейтронів, а також є складовими ядра звичайних атомів. Сили взаємодії між цими частинками обумовлені процесами обміну фотонами і частинками слабкої взаємодії, а також вісьмома типами глюонів (**gluon**), відповідальних за сильну взаємодію.

Схематично Стандартну Модель фізики елементарних частинок, що описує кожен частинку матерії і кожен силу як квантові поля, можна зобразити схематично (рис.2). Елементарні частинки матерії – три покоління ферміонів (а). Кожне покоління цих частинок має схожу структуру властивостей. Фундаментальні взаємодії переносяться бозонами (b), які поєднані згідно трьох споріднених симетрій. Крім того, одна або більша кількість частинок або полів Хіггса (c) породжують маси інших полів.

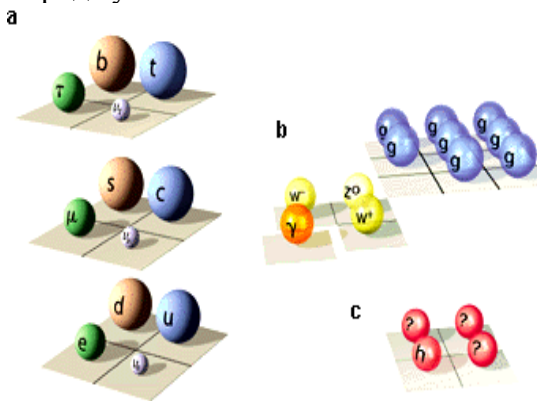


Рис. 2. Схема Стандартної Моделі фізики елементарних частинок

Необхідно звернути увагу студентів, що ці частинки демонструють широку різноманітність мас, в якій прихована ще не пізнана науковцями закономірність, де електрон у 350 000 разів легший, ніж найважчий кварк, а нейтрино ще легше, ніж електрон. Крім цього Стандартна Модель ще не дає механізму розрахунку будь-якої з цих мас, поки не будуть введені до неї додаткові скалярні поля. Термін «скаляр» означає, що ці поля не чутливі до напрямку в просторі, на відміну від електричних, магнітних та інших полів Стандартної Моделі. Зазначений підхід відкриває можливість таким полям заповнювати весь простір і не входить у суперечність до найбільш доведеного принципу фізики, згідно якого всі просторові напрями рівноправні. Навпаки, якби існувало ненульове магнітне поле у просторі, то можна було б визначити привілейований напрям, використовуючи звичайний компас. Взаємодія інших полів Стандартної Моделі з усепроникаючими скалярними полями, як вважають вчені, дає маси частинкам Стандартної Моделі, яка успішно описує три (електромагнетизм, слабкі і сильні) з чотирьох відомих взаємодій. Але у перспективі ще остаточно об'єднання із загальною теорією відносності, яка описує гравітацію і природу простору та часу.

Ми пропонуємо ознайомити студентів із станом завершеності існуючих моделей фундаментальних взаємодій. Зокрема, щоб завершити Стандартну Модель, потрібно підтвердити існування скалярних полів, про які вже говорилось і з'ясувати, скільки існує їх типів. А це вже проблема виявлення нових елементарних частинок, які часто називають частинками Хіггса, що можуть бути зареєстровані як кванти цих полів. Існує достатньо підстав

очікувати, що це завдання буде виконано до 2020 року, і покладаються великі надії на прискорювач Великий Адронний Коллайдер, що знаходиться у Європейській лабораторії фізики елементарних частинок поблизу Женеви (CERN). На таку роботу потрібно більше десяти років.

Найважча з відомих частинок Стандартної Моделі – вищий кварк, з масовим еквівалентом у 175 ГеВ. Зараз ще не виявлені частинки Хіггса. Як очікується, вони матимуть енергію в межах від 100 до декількох сотень ГеВ. Але є підстави вважати, що шкала нових мас, які з'являтимуться в рівняннях ще не сформульованої об'єднаної теорії, буде набагато більшою [1].

Відомо, що сили взаємодії зрівнюються за певної енергії. Коли взаємодії полів Стандартної Моделі екстраполуються в область високих енергій, вони всі стають рівними один одному при енергіях трохи більших за  $10^{16}$  ГеВ. Сила гравітації має величину енергії, яка не набагато вище, ніж  $10^{18}$  ГеВ. Запропоновані уточнення в теорії гравітації показують, що величина сили гравітації може порівнятися з іншими силами вже при  $10^{16}$  ГеВ. Варто наголосити студентам, що на нинішньому етапі розвитку фізики мають місце взаємодії елементарних частинок у масштабі приблизно від 1 до 350000 разів, тобто ці межі охоплюють інтервал від маси вищого кварка до електронної маси. Але це ніщо в порівнянні з відношенням фундаментальної шкали енергії Великого Об'єднання  $10^{16}$  ГеВ, а можливо й  $10^{18}$  ГеВ до енергетичної шкали приблизно у 100 ГеВ, що є типовою для Стандартної Моделі. Тоді постає нове основне завдання: проблеми ієрархії, як пояснити це величезне співвідношення, цей гігантський стрибок від одного рівня до наступного в послідовності

енергетичних шкал. Причому це відношення має бути не результатом підбору констант у рівняннях, а природним наслідком фундаментальних принципів.

Теоретики запропонували декілька цікавих ідей для природного вирішення проблеми ієрархії, включаючи новий принцип симетрії, відомий як суперсиметрія. Цей принцип також поліпшує точність, з якою сили взаємодій зближуються при  $10^{16}$  GeV. Тоді виникає нова сильна взаємодія, відома як техніколор (*technicolor*). Нова теорія містить додаткові сили, які об'єднані з сильними, слабкими та електромагнітними силами. Нові взаємодії стають переважаючими при енергіях набагато нижче  $10^{16}$  GeV.

Існуючі засоби експериментування ще не дозволяють виявляти їх безпосередньо, оскільки вони не діють на відомі частинки Стандартної Моделі, але вони діють на інші частинки, які є дуже масивними. Ці «надзвичайно важкі» частинки набагато легші, ніж  $10^{16}$  GeV, бо вони набувають своєї маси з енергією нової взаємодії, яка є сильною тільки далеко нижче  $10^{16}$  GeV. У цій картині, відомі частинки Стандартної Моделі взаємодіяли б з найважчими частинками, їх маси виникатимуть як вторинний ефект щодо слабкої взаємодії. Цей механізм вирішує проблему ієрархії, роблячи відомі частинки легшими, ніж найважчі частинки, які самі набагато легші, ніж  $10^{16}$  GeV.

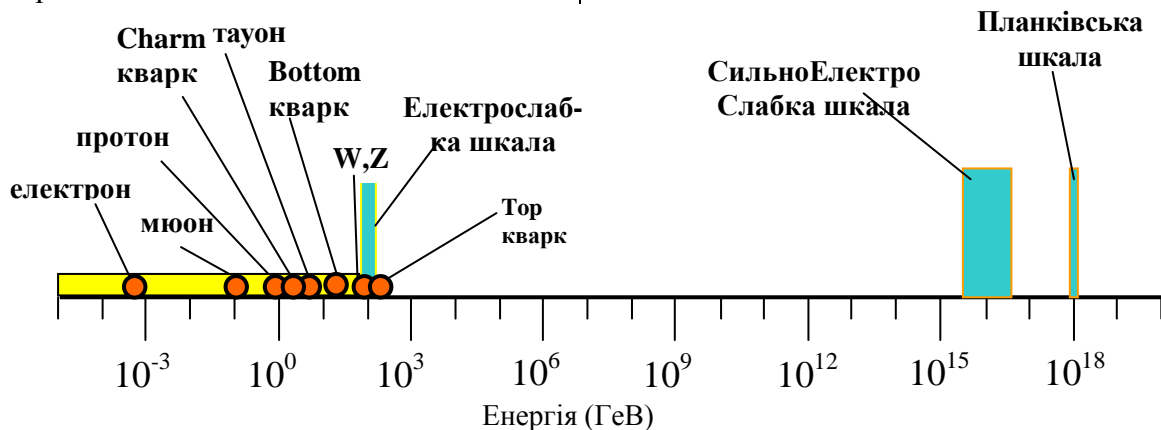


Рис. 3. Ієрархія енергетичних шкал

Проблема ієрархії є мірою наукового незнання. В експериментах, горизонтальна зона (рис. 3) задіяна енергія приблизно до 200 GeV, де реєструється цілий комплекс мас частинок, круглі зони і шкали енергій взаємодії, вертикальні смуги, які добре описані Стандартною Моделлю. Зараз ще є широкий проміжок між двома наступними енергетичними шкалами сильноелектрослабкого об'єднання  $10^{16}$  GeV і планківською шкалою, яка характерна для квантової гравітації  $10^{18}$  GeV.

Вказані ідеї мають загальну межу: вони вимагають існування ансамблю

нових частинок з масами не набагато більшими, ніж 1000 GeV. Якщо в цих ідеях є доля істини, то ці частинки мають бути виявлені до 2020 р. у Великому Адронному Коллайдері, а деякі з них можна виявити навіть раніше в Fermilab або CERN, хоча і не виключено, що для цього може знадобитися більш ніж десятиліття і нові прискорювачі, щоб досліджувати їх властивості повністю. Коли ці частинки будуть виявлені, а їх властивості виміряні, то можна буде дізнатися, чи пережила яка-небудь з них ранні моменти Великого Вибуху, а тепер стала «темною матерією» у

міжгалактичному просторі й складає основну частину існуючої маси Всесвіту. Здається вірогідним, що до 2050 р. науковці зрозуміють у чому причина такого величезного відношення енергетичних шкал.

Важливо створити студентам проблемну ситуацію: Що ж буде далі? Безумовно, поки що наука не спроможна поставити експерименти, в яких вивчались би процеси за енергій частинок  $10^{16}$  GeV. Зокрема, в існуючих технологіях діаметр прискорювача пропорційний енергії, наданій прискореним частинкам. Для прискорення частинки до енергії  $10^{16}$  GeV потрібен прискорювач діаметром в декілька світлових років. Навіть якщо і знайдеться інший спосіб концентрувати таку велику кількість енергії на окремій частинці, всеодно буде дуже важко виокремлювати корисну інформацію із спостереження над процесами при таких енергіях. Але навіть при тому, що ми не можемо вивчати процеси при енергіях біля  $10^{16}$  GeV безпосередньо, є позитивний момент, що ці процеси дають ефекти при доступних енергіях, які можуть бути зафіксовані експериментально, бо вони виходять за рамки дозволеного Стандартною Моделлю.

Стандартна Модель – квантова теорія поля спеціального вигляду, теорія «перенормування». Цей термін виник у 40-х роках минулого століття, коли фізики почали використовувати перші квантово-польові теорії для обчислення тонкої структури атомних рівнів. Було встановлено, що обчислення з використанням квантової теорії поля дають нескінченні величини. Така ситуація означає, що теорія або спотворена, або знаходиться поза межами застосування. Проте вчені знайшли спосіб оперування нескінченними величинами, включаючи їх за допомогою перевизначення або «перенормування» у деякі фізичні сталі

типу заряду і маси електрона. Версія Стандартної Моделі з однією скалярною частинкою має 18 таких констант. Теорії, в яких ця процедура спрацювала, називалися перенормувальними і мали простішу структуру, ніж неперенормувальні теорії.

Саме ця проста перенормувальна структура Стандартної Моделі дозволяє отримувати точні кількісні прогнози експериментальних результатів, прогнози, що підтвердили справедливість теорії. Зокрема, принцип перенормованості спільно з іншими принципами симетрії Стандартної Моделі забороняє процеси типу розпаду ізольованих протонів чи забороняє нейтрино мати масу. Фізики зазвичай вважали, що квантова теорія поля, яка має відношення до реальності, має бути перенормована. Цей принцип був пануючим у формулюваннях Стандартної Моделі. І той факт, що через фундаментальні причини, неможливо було сформулювати перенормування квантової теорії гравітації, сів серед теоретиків велику тривогу.

Нині ж стан речей змінився. Зараз розрізняються різні теорії елементарних частинок залежно від енергії даних процесів і реакцій. Взаємодія, обумовлена обміном дуже масивної частинки, буде надзвичайно слабкою за низьких енергій у порівнянні з масою. Одночасно інші ефекти також можуть бути пригнічені так само. Інтервал низьких енергій розглядається в ефективній теорії поля, в якій ці взаємодії є незначними. Стало зрозумілим, що будь-яка фундаментальна квантова теорія, сумісна зі спеціальною теорією відносності, перетворюється за низьких енергій у перенормовану теорію. Але нескінченність все ще не допускається в теорію, ці ефективні теорії не мають простої структури класичної

перенормованої теорії. Замість того, щоб повністю виключати додаткові складні взаємодії, їх роблять сильно пригніченими в інтервалі нижчому за деякий характерний енергетичний поріг.

Гравітація і є саме такою пригніченою неперенормованою взаємодією. Саме через слабкість сили взаємодії за низьких енергій робиться висновок, що її фундаментальна енергетична шкала становить приблизно  $10^{18}$  ГеВ. Інша пригнічена неперенормована взаємодія робила б протон нестабільним з періодом напіврозпаду з інтервалом від  $10^{31}$  до  $10^{34}$  років, який можливо не вдасться зафіксувати навіть і до 2050 р. [4]. Інша пригнічена неперенормована взаємодія наділила б нейтрино крихітної маси, приблизно  $10^{-11}$  ГеВ. Вже зараз є деякі докази, що маси нейтрино мають саме такий порядок; остаточно ж це питання буде узгоджено задовго до 2050 р. [3].

**Висновок.** Оскільки соціальне замовлення на знання зазнало змін в сторону їх прагматизму, безпосереднього перетворення набутих знань у продуктивну силу, а це в свою чергу вимагає необхідності якісного оновлення змісту і структури, насамперед програм, посібників,

методичного та інформаційно-комунікаційного забезпечення з метою організації студентів на особисту зацікавленість у засвоєнні новітніх наукових знань, ми вважаємо, що наведений вище матеріал сприятиме збагаченню змісту фізичної освіти та приведенню його у відповідність до сучасного рівня розвитку науки, потреб практики, суспільних вимог до вчителя фізики.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Tony M. Liss, Paul L. Tipton. The Discovery of the Top Quark. / Tony M. Liss and Paul L. Tipton // Scientific American. – September 1997. – P. 3-8.
2. Edward Witten. Duality, Spacetime and Quantum Mechanics / Edward Witten // Physics Today. – Vol. 50, No. 5. – May 1997. – P. 28-33.
3. Takaaki Kajita, Yoji Totsuka. Detecting Massive Neutrinos / Takaaki Kajita, Yoji Totsuka // Scientific American. – August 1999. – P. 11-17.
4. Vaynberg C. The Decay of the Proton / Vaynberg C. // Scientific American. – June 1981. – P. 17-23.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Садовий Микола Ілліч** – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені В. Винниченка.

*Наукові інтереси:* проблеми дидактики фізики.

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ЯК НЕВІД'ЄМНА КОМПОНЕНТА ПРАКТИКУМУ З ФІЗИКИ У ПЕДАГОГІЧНОМУ ВНЗ

**Ірина САЛЬНИК**

*У статті розглядаються теоретичні основи організації та проведення спеціального фізичного практикуму з питань сучасної фізики в педагогічному вищому навчальному закладі, шляхи адаптації сучасного наукового експерименту до умов навчальних фізичних лабораторій.*

*In the article theoretical bases of organization and leadthrough of the special physical practical work are examined on the questions of modern*

*physics in pedagogical higher educational establishment, ways of adaptation of modern scientific experiment to the terms of educational physical laboratories*

**Постановка проблеми.** Вже багато століть фізика є однією із найважливіших наук. Її світоглядні функції та роль у науково-технічному прогресі зумовлюють непересічну