

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД  
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»

Навчально-науковий інститут фізики, математики  
та інформаційних технологій

Кафедра фізико-технічних систем та інформатики

Лейба Оксана Геннадіївна

ТЕМА РОБОТИ:

**МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ  
«ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ»**

Магістерська робота  
за спеціальністю 014.08 «Середня освіта. Фізика»

Особистий підпис – \_\_\_\_\_

Науковий керівник – \_\_\_\_\_ Козуб Ю.Г., доктор технічних наук, професор

Зав. кафедри – \_\_\_\_\_ Козуб Ю.Г., доктор технічних наук, професор

Полтава - 2025

## АНОТАЦІЯ

Лейба О.Г.

Тема: МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ  
«ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ

Спеціальність: 014.08 „Середня освіта. Фізика”

Установа: ДЗ ЛНУ імені Т.Шевченка, 2025р.

Магістерська робота містить: 61 с., 18 рис., 12 джерел.

**Об’єкт дослідження:** процес навчання фізики у загальноосвітніх навчальних закладах.

**Предмет дослідження:** методика навчання окремих питань фізики мікросвіту.

**Мета і завдання дослідження:** метою роботи є розробити методику вивчення окремих питань фізики мікросвіту, надання знань про будову, характеристики та властивості найменших елементів нашого Всесвіту: атомних ядер та елементарних частинок.

**Результати роботи:** висвітлені принципи роботи прискорювачів та детекторів елементарних частинок; описані склад і будова атомних ядер, моделі ядер і ядерних сил; природа  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -випромінювання; класифікація ядерних реакцій; закон радіоактивного розпаду; будова і принципи дії ядерних реакторів і ядерної і термоядерної бомб; надана сучасна класифікація елементарних частинок; мова фейнманівських діаграм; закони збереження у світі елементарних частинок; моделі сильної і слабкої взаємодії.

Здійснено психолого-педагогічний аналіз вивчення питань фізики мікросвіту у курсі загальноосвітніх навчальних закладів та досліджено сучасний стан викладання цих питань. Розроблено ефективні способи

організації навчально-пошукової діяльності з ознайомлення учнів із властивостями елементарних частинок та методами їх детектування з використанням порталу відкритих даних OpenData, представленого на сайті Міжнародної організації ядерних досліджень.

Ключові слова: ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ, МІКРОСВІТ, ЯДРО, ЗДОБУВАЧ ОСВІТИ, МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ

## ABSTRACT

Leyba O.G.

Subject: METHODOLOGICAL FEATURES OF TEACHING THE TOPIC  
"ELEMENTARY PARTICLES

Spetsialnist: Specialty: 014.08 „ Secondary education. Physics"

Install: Institution: DZ LNU named after T. Shevchenko, 2025.

Graduation robot mistit: 86 pages, 32 figures, 12 tab., 3 applic., 63 sources.

Object of research: the process of teaching physics in general educational institutions.

Subject of research: a method of teaching certain issues of the physics of the microcosm.

The aim of: The purpose of the work is to develop a methodology for studying certain issues of the physics of the microcosm, providing knowledge about the structure, characteristics and properties of the smallest elements of our universe: atomic nuclei and elementary particles.

Results of the work. The working principles of accelerators and detectors of elementary particles are highlighted; the composition and structure of atomic nuclei, models of nuclei and nuclear forces are described; nature of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -radiation; classification of nuclear reactions; the law of radioactive decay; structure and principles of operation of nuclear reactors and nuclear and thermonuclear bombs; modern classification of elementary particles is provided; the language of Feynman diagrams; laws of conservation of elementary particles in the world; models of strong and weak interaction.

Visnovki. is in / consists of / is associated with / A psychological-pedagogical analysis of the study of the physics of the microcosm in the course of general educational institutions was carried out and the current state of teaching of these issues was investigated. Effective methods of organizing educational and research activities have been developed to acquaint students with the properties of elementary particles and methods of their detection using the open data portal OpenData, presented on the website of the International Organization for Nuclear Research.

Keywords: PHYSICS ELEMENTARY PARTICLES, MICROSCOFT, SCHOOL, STUDY METHODS

<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
 <b>РОЗДІЛ 1. МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ» В КУРСІ ФІЗИКИ В ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ</b>	
 <b>1.1 Хронологічний шлях відкриття у фізиці ядра та елементарних частинок.....</b>	<b>13</b>
 <b>1.2 Структура класичного вивчення теми «Елементарні частинки» в ЗОШ України. Стандартна модель фізики елементарних частинок.....</b>	<b>17</b>
 <b>1.3 Методичні засади викладання теми «Елементарні частинки» в курсі фізики .....</b>	<b>22</b>
 <b>1.4 Формування навчально-пізнавальних компетенцій під час вивчення відомостей про елементарні частинки в курсі фізики 11 класу.....</b>	<b>35</b>
 <b>1.5 Протиріччя між класичною методикою вивчення теми та сучасним станом й розвитком наукових знань про елементарні частинки.....</b>	<b>42</b>
 <b>РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ПІДХОДИ, СФОРМОВАНІ НА РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ В КОНТЕКСТІ НОВИХ УСВІДОМЛЕНЬ ТА ДОКАЗІВ ПРО ФІЗИКУ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК</b>	

<b>2.1 Методичні іновації вивчення окремих питань фізики мікросвіту у шкільному курсі фізики.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 Вивчення основ детектування частинок з використанням CERN Open Data Portal.....</b>	<b>50</b>
<b>2.3 Алгоритм використання CERN Open Data Portal.....</b>	<b>54</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>60</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>62</b>

## **ВСТУП**

Фізика ядра та елементарних частинок - це сучасна галузь фізики, яка вивчає найбільші та найменші структури у природі, розкриває таємниці атомного та субатомного світу. Ця дисципліна виявилася дуже важливою для розуміння основних законів Всесвіту, і вона постійно розвивається завдяки новим відкриттям та дослідженням.

**Об'єкт дослідження:** процес навчання фізики у загальноосвітніх навчальних закладах.

**Предмет дослідження:** методика навчання окремих питань фізики мікросвіту.

**Мета і завдання дослідження:**

Метою роботи є розробити методику вивчення окремих питань фізики мікросвіту, надання знань про будову, характеристики та властивості найменших елементів нашого Всесвіту: атомних ядер та елементарних частинок.

Для реалізації мети дослідження передбачалося виконання таких завдань:

1. Здійснити аналіз психолого-педагогічних умов вивчення питань фізики мікросвіту у курсі фізики загальноосвітньої школи для визначення труднощів, пов'язаних з розумінням учнями основних одиниць її змісту.
2. Запропонувати можливі способи подолання виявлених труднощів під час навчання фізики.
3. Запропонувати методику введення деяких основних понять з фізики мікросвіту та дібрати відповідні цифрові моделі.



4. Розробити способи організації навчально-пошукової діяльності для більш ефективного засвоєння учнями навчального матеріалу.

**Завдання теми:**

*Методичні:*

1. Сформувати сучасну картину мікросвіту як складову частину природничо-наукової картини світу;
2. Сформувати уявлення про значення фізики атомного ядра та елементарних частинок для практичної діяльності людей;
3. Здійснювати інтелектуальне, естетичне та гуманітарне виховання студентів.

*Пізнавальні:*

1. Засвоїти предмет, структуру і роль фізики атомного ядра та елементарних частинок у формуванні сучасної природничо-наукової картини світу;
2. Засвоїти основні принципи, методи і результати досліджень структури, фізичної природи та властивостей атомних ядер та елементарних частинок;
3. Вивчити основні фізичні характеристики і будову атомних ядер та елементарних частинок;
4. Здобути уявлення про основні етапи розвитку фізики атомного ядра та елементарних частинок і найбільш видатних вчених, які внесли вагомий внесок у розвиток даної галузі фізики.

*Практичні:*

1. Навчитися викладати на сучасному рівні даний розділ фізики в загальноосвітніх та спеціалізованих середніх навчальних закладах;

2. Навчитися розв'язувати задачі і виконувати вправи, запропоновані в шкільних підручниках, та їм подібні.

### **Міждисциплінарні зв'язки:**

Під час вивчення фізики атомного ядра та елементарних частинок необхідні відомості з класичної механіки, квантової механіки та електродинаміки. Математичний апарат фізики атомного ядра та елементарних частинок спирається на теорію ймовірностей, теорію диференціальних рівнянь, лінійну алгебру (лінійні оператори, матриці), теорію спеціальних функцій.

### **Фахові компетенції, що формуються під час вивчення дисципліни:**

- соціально-особистісні: здатність учитися; здатність до критики й самокритики; креативність, здатність до системного мислення; адаптивність і комунікабельність;
- загальнонаукові: базові уявлення про основи філософії; базові знання фундаментальних розділів математики; базові знання в галузі сучасних інформаційних технологій; базові знання фізики, хімії, біології;
- інструментальні: здатність до письмової й усної комунікації рідною мовою; знання іншої мови (мов); навички роботи з комп'ютером; навички управління інформацією; навички роботою у мережі Інтернет; дослідницькі навички.
- загальнопрофесійні: мати базові уявлення про матерію, її рух та форми існування; мати уявлення про фундаментальні взаємодії, їх характеристики та фундаментальні фізичні константи; мати уявлення про фундаментальні експерименти у фізиці; мати уявлення про моделі простору і часу та їх властивості; мати уявлення про фундаментальні фізичні теорії та межі їх застосування; мати

уявлення про фізичну картину світу та її структуру; мати уявлення про історію розвитку фізики, її сучасний стан та внесок українських вчених у світову фізичну науку;

- спеціалізовано-професійні: здатність здійснювати методичну діяльність під час навчання учнів фізики; здатність організовувати навчальний процес з фізики в школі на засадах особистісно-орієнтованого, діяльнісного та компетентнісного підходів; здатність здійснювати об'єктивний контроль і оцінювання навчальних досягнень учнів з фізики; здатність керувати дослідницькою діяльністю учнів з фізики на уроках і в позакласній роботі; здатність використовувати теоретичні знання й практичні навички для оволодіння основами теорії й методів фізичних досліджень.

### **Очікувані результати навчання:**

Розуміння – принципів роботи прискорювачів та детекторів елементарних частинок; складу і будови атомних ядер, моделей ядер і ядерних сил; природи  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -випромінювання; класифікації ядерних реакцій; закону радіоактивного розпаду; будови і принципів дії ядерних реакторів і ядерної і термоядерної бомб; сучасної класифікації елементарних частинок; мови фейнманівських діаграм; законів збереження у світі елементарних частинок; моделей сильної і слабкої взаємодії.

Усвідомлення – сучасної фізичної картини світу на макрорівні як складової природничо-наукової картини світу; головних принципів, методів і результатів досліджень структури, фізичної природи атомних ядер та елементарних частинок; необхідності виокремлення двох груп частинок: фундаментальних ферміонів і фундаментальних бозонів; необхідності об'єднання фундаментальних взаємодій.

Знати: предмет та головні задачі фізики атомного ядра та елементарних частинок; будову та принцип роботи прискорювачів та детекторів

елементарних частинок; склад і будову атомних ядер, моделі ядер і ядерних сил; природу  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -випромінювання; класифікацію ядерних реакцій; закон радіоактивного розпаду; будову і принцип дії ядерних реакторів, ядерної і термоядерної бомб; сучасну класифікацію елементарних частинок; фундаментальні ферміони (кварки і лептони); мову фейнманівських діаграм; закони збереження у світі елементарних частинок; поняття про ізотонічний спіні; властивості адронів; модель сильної взаємодії (обмін глюонами); особливості слабкої взаємодії; властивості лептонів; поняття про теорію електрослабкої взаємодії; поняття про Велике об'єднання.

Вміти: розраховувати параметри прискорювачів елементарних частинок; визначати склад атомних ядер у Періодичній таблиці Д. Менделєєва, енергію зв'язку атомних ядер, енергетичний вихід ядерних реакцій; застосовувати закон радіоактивного розпаду; записувати рівняння ядерних реакцій і визначати їх тип; застосовувати закони збереження для елементарних частинок; інтерпретувати кваркові діаграми.

### **Апробація та впровадження результатів роботи:**

Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких наукових конференціях:

- II Міжнародна міждисциплінарна науково-практична конференція «Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти» (Полтава, 25-27.04.2024р.)
- впроваджені під час навчання фізики у 2023-2024 навчальному році у Лисичанській ЗОШ I-III ступенів Сєвєродонецької міської ради Луганської області.

## РОЗДІЛ 1. МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ» В КУРСІ ФІЗИКИ В ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

### 1.1 Хронологічний шлях відкриття у фізиці ядра та елементарних частинок, починаючи з давніх часів і до сучасності, наступний

1. Давні часи: Введення терміну "елементарна частинка" Фалесом в 2500 році до нашої ери відзначало початок інтересу до мікросвіту матерії. II. У II столітті до нашої ери з'явилося поняття атома, яке вказувало на окрему одиницю речовини. Вже в античних часах філософи і природознавці роздумували про структуру речовини та природу матерії. Демокріт (приблизно 460-370 рр до н.е.) висунув гіпотезу про існування атомів - найменших недільних частинок речовини.
2. XVII-XIX століття: Наукові дослідження в галузі хімії та електрики привели до відкриття елементарних електрично заряджених частинок, таких як електрони та протони. Джозеф Джон Томсон відкрив електрони у 1897 році, а Ернест Резерфорд у 1911 році відкрив, що атоми містять мініатюрне, заряджене ядро.
3. На момент 1919 року, розвиток знань про елементарні частинки був ще в початковій стадії. Найважливішими були ядро атома з відповідним зарядом, визначеним за номером в таблиці Менделєєва, і 67 68 69 електрон, який обертався навколо ядра і мав елементарний негативний заряд. Його позначили:

$$e^-, \quad q = -1, \quad m = 0,511 \text{ MeV}, \quad m = 1m_e, \quad s = \pm \frac{1}{2}.$$

Третьою елементарною частинкою був квант електромагнітного випромінювання, який як раз і зв'язував електрон з ядром. Його називали фотон:  $\gamma, \quad q = 0, \quad m = 0, \quad s = \pm 1.$

4. У 1932 році, із аналізу мас ядер з таблиці Менделєєва, було

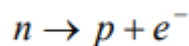
припущено, що ядро повинно складатись із двох компонентів, які мають приблизно однакову масу, але одна з них має електричний заряд, тоді як інша залишається нейтральною.

$$\text{Протон: } p, \quad q = +1, \quad m = 938,2 \text{ MeV}, \quad m = 1836,1 m_e, \quad s = \pm \frac{1}{2}.$$

$$\text{Нейтрон: } n, \quad q = 0, \quad m = 939,5 \text{ MeV}, \quad m = 1838,6 m_e, \quad s = \pm \frac{1}{2}.$$

В 1932 році Джеймс Чедвік відкрив нейтрони - нейтральні частинки, які також складають ядро атома. У ті ж самі роки вчені, такі як Фермі, Дірак, Бозе і Енштейн, спробували пояснити колективну поведінку елементарних частинок, запропонувавши статистичні розподіли (закони), що характеризують їхню поведінку. За тодішньою наукою частинки із цілим спіном відповідали за певний тип взаємодії і були відомі як кванти взаємодії. Для цих частинок застосовувалася статистика Бозе-Енштейна. Комунікаційні взаємозв'язки і оператори для таких частинок були Ермітовими, і згідно з цією статистикою, в одному стані могла перебувати будь-яка кількість частинок. Частинки із напівцілим спіном підпорядковувалися статистиці Фермі-Дірака і називалися ферміонами. Оператори для них були антиермітовими та відповідали принципу Паулі, який забороняв більше одного ферміона перебувати в одному і тому ж стані.

5. В 1935 році при дослідженні властивостей  $\beta$  – розпаду виявилось, що в реакції:



не зберігався власний орбітальний момент, так само не зберігався і закон збереження імпульсу:

$$m v_n \neq m v_e + m v_p.$$

Для того, щоб вище записані формули працювали, вчені гіпотетично ввели нову частинку, яку назвали нейтрино. Її характеристики наступні:

$$\nu, \quad q=0, \quad m \cong 0, \quad s = \pm \frac{1}{2}.$$

Цього ж року при дослідженні у високих шарах атмосфери камери Вільсона була сфотографовано ряд спільних подій:



, де

- I частинка – це був електрон;
- II частинка – вважали тим же самим –  $e^-$ , який рухався в протилежну сторону.

Пізніше, в результаті експериментів та розрахунків, ці частинки були названі античастинками, тож на малюнку зображено не два електрони, а електрон і його античастинку-партнера, яку отримала назву позитрон.

Процес, що описує взаємодію між частинкою і її античастинкою, відомий як анігіляція, під час якого вся маса і енергія цих частинок перетворюється на енергію випромінювання.

Перед тим, як провзаємодіяти електрон та позитрон створюють квазічастинку, яку називають позитронієм. Енергетичний спектр позитронію подібний до енергетичного спектру атома водню. Пізніше було виявлено, що кожна частинка має свого партнера-античастинку:

$$\begin{aligned} e^- &\rightarrow e^+, \\ n &\rightarrow \tilde{n} \text{ антинейтрон}, \\ p &\rightarrow \tilde{p} \text{ антипротон}, \\ \nu &\rightarrow \tilde{\nu} \text{ антинейтроно}, \\ \gamma &\rightarrow \gamma. \end{aligned}$$

6. 1930-1940-ті роки: Довели, що ядро складається з протонів і нейтронів, але фізика ядра ще лише починала формуватися як окрема галузь.
7. 1950-1960-ті роки: Розвиток акселераторів частинок, таких як циклотрони і синхрофазотрони, дозволив виявляти нові елементарні частинки, наприклад, піони та каони.
8. 1960-1970-ті роки: Відкриття кварків, основних будівельних блоків баріонів та мезонів, революціонізувало розуміння структури атомного ядра та субатомного світу.
9. Сучасність: Сучасна фізика ядра та елементарних частинок - це динамічна дисципліна, яка не тільки дозволяє нам зрозуміти основні закони Всесвіту, але і має безпосереднє практичне застосування, включаючи медичну та енергетичну галузі.

Уроки фізики в 10-11 класах загально освітніх навчальних закладах мають надати чітке розуміння про основні концепції фізики ядра та елементарних частинок, дослідити властивості атомного ядра, розглянути реакції ядерного синтезу і розпаду, а також вивчити основні елементарні частинки та їхню роль у структурі матерії. Таке всеохоплююче ставлення до теми «Елементарні частинки» в курсі фізики допоможе набуті відповідних компетенцій та здобути глибокі знання і розуміння важливих фізичних процесів, що відбуваються на ядерному та субатомному рівні.



## **1.2 Структура класичного вивчення теми «Елементарні частинки» в ЗОШ України. Стандартна модель фізики елементарних частинок.**

Визначальним для системи загальної середньої освіти має бути забезпечення відповідності змісту понять та законів шкільного курсу фізики сучасній фізичній науці. Реалізація цієї відповідності можлива шляхом генералізації навчального матеріалу з курсу фізики старшої школи навколо структури фізичної теорії як провідної форми наукового знання. Так, формування сучасної фізичної картини світу як результату вивчення фізики, завершується розглядом фундаментальних взаємодій, що пояснюються Стандартною моделлю фізики елементарних частинок.

На сьогодні Стандартна модель фізики елементарних частинок є одним із найважливіших узагальнень фізики високих енергій. Більше того, вона може бути розглянута як фізична теорія, яка класифікує елементарні частинки відповідно до їхніх зарядів та описує, як вони взаємодіють через фундаментальні взаємодії.

Ознайомлення учнів зі структурою фізичної теорії під час вивчення фізики розв'язує подвійну задачу: забезпечує засвоєння основ наукових знань та опанування способом наукового мислення. У методиці навчання фізики сформовано повні набори істотних ознак, що створюють цілісне уявлення про кожну одиницю навчального змісту шкільного курсу фізики, зокрема, і про фізичну теорію. Формування знання про фізичну теорію передбачає засвоєння повного набору істотних ознак, що створюють цілісне уявлення про неї та систему дій, що ґрунтуються на цих знаннях.

Таким чином, загальна характеристика фізичної теорії має містити:

- перелік наукових фактів, які стали підставою розроблення теорії, її емпіричний базис;
- понятійне ядро теорії, визначення базових понять і моделей;

- основні положення, ідеї та принципи, покладені в основу теорії;
- рівняння й закони, що визначають математичний апарат теорії;
- коло явищ і властивостей тіл, які дана теорія може пояснити або передбачити їхній перебіг;
- межі застосування теорії.

Перш за все, під час розгляду Стандартної моделі фізики елементарних частинок як фізичної теорії ключове значення мають фундаментальні дослід, що складають її емпіричний базис, а також, дослід, що підтверджують її логічні наслідки. До фундаментальних можна віднести, насамперед, експерименти, які ставили під сумнів усталені класичні уявлення про будову речовини – це дослід Міллікена з визначення елементарного електричного заряду (1909 р.) та Резерфорда про розсіювання  $\alpha$ -частинок речовиною (1911 р.). Так виникли перші теоретичні узагальнення у вигляді квантових постулатів Бора, які отримали подальше підтвердження у досліді Д. Франка і Г. Герца. З іншого боку, передумовою розвитку теорії стали дослід, що підтверджували хвильову природу світла. На них ґрунтувалися припущення М. Планка (1900 р.) про квантування енергії та теорія фотоефекту А. Ейнштейна (1905 р.), що узгоджувалися з відомими експериментами А. Комптона (1924 р.). Новим витком у розвитку теорії стало відкриття елементарних частинок, зокрема, нейтрона (Дж. Чедвик, 1932), позитрона – античастинки електрона (К.Д. Андерсон, 1932 р.), мюона (1936 р.),  $p^+$  і  $p^-$  мезонів (1947 р.). Кінець 40-х - початок 50-х рр. ознаменувалися відкриттям великої групи частинок, що отримали назву «дивних» з-за незвичних властивостей. Перші частинки цієї групи було знайдено у космічних променях, наступні ж відкриття нових частинок було здійснено на прискорювачах – установках, які створюють пучки високоенергетичних протонів та електронів.

З початку 50-х років і донині прискорювачі перетворилися на основний інструмент з дослідження елементарних частинок. Минаючи фундаментальні дослідження, неможливо з достатньою науковістю та без логічних протиріч висвітлити у шкільному курсі основу фізичної теорії. Водночас, відтворення цих експериментів у шкільних умовах становить неабиякі труднощі. Тому, значні перспективи в реалізації подібних фундаментальних дослідів мають засоби комп'ютерного моделювання.

**Понятійне ядро** Стандартної моделі фізики елементарних частинок утворюють базові поняття – елементарна частинка, фундаментальні взаємодії, античастинка. Початковою сходинкою для її створення була модель атома, яка еволюціонувала відповідно до розвитку фізичної науки.

**Основні положення** Стандартної моделі можна сформулювати у вигляді таких тверджень:

1. Уся речовина утворена 12-ма фундаментальними частинками (рис. 1) – ферміонами трьох поколінь, із яких 6 лептонів (електрон, мюон, тау-лептон, та три види нейтрино), а також 6 кварків (u, d, s, c, b, t).

2. Кварки беруть участь в сильних, слабких та електромагнітних взаємодіях; заряджені лептони (електрон, мюон, тау-лептон) – у слабких та електромагнітних; нейтрино – лише у слабких взаємодіях.

3. Існування усіх трьох типів взаємодій пояснюються завдяки постулюванню симетрії відносно трьох типів калібрувальних перетворень (незалежності фізичних теорій від певних перетворень).

Три покоління матерії (ферміони)				
	I	II	III	
маса спокою→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
електричний заряд→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
спін→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
назва→	верхній	зачарований	істинний	фотон
Кварки	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>d</b> нижній	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>s</b> дивний	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>b</b> чарівний	0 0 0 <b>g</b> глюон
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_e</math></b> електронне нейтрино	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\mu</math></b> мюонне нейтрино	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\tau</math></b> тау- нейтрино	91.2 GeV 0 0 <b><math>Z^0</math></b> Z-бозон
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ <b>e</b> електрон	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\mu</math></b> мюон	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\tau</math></b> тау	80.4 GeV $\pm 1$ 1 <b><math>W^\pm</math></b> W-бозон
Лептони				Калібрувальні бозони (переносники взаємодії)

Рис. 1. Стандартна модель елементарних частинок [15]

Теоретичні узагальнення Стандартної моделі сформульовані у вигляді системи рівнянь Лагранжа (т. зв. Лагранжіан). Цей математичний апарат є занадто складним для розгляду його у курсі фізики закладів загальної середньої освіти. Таким чином, під час узагальнення основних положень фізики елементарних частинок доцільно лише повідомити учням про їх існування без відповідних деталізацій.

Стандартна модель фізики елементарних частинок забезпечує унікальний та «елегантний» опис трьох із чотирьох фундаментальних взаємодій (крім гравітації) між елементарними частинками. Частинки з електричним зарядом впливають на електромагнітну взаємодію (її вивчає квантова електродинаміка), частинки зі слабким зарядом залежать від слабкої взаємодії (квантова фотодинаміка), а ті, що мають колірний заряд, впливають на сильну взаємодію (квантова хромодинаміка). Взаємодії опосередковані їх

відповідними частинками взаємодії: фотонами ( $\gamma$ ) для електромагнітної взаємодії, слабкими бозонами ( $W^-$ ,  $W^+$ ,  $Z^0$ ) для слабкої взаємодії та глюонами ( $g$ ) для сильної взаємодії.

### **Межі застосування:**

Дотепер всі прогнози Стандартної моделі підтверджувалися експериментами з великою точністю. У ході останнього успішного експерименту, що проводився на Великому адронному коллайдері (CERN) та завершився у 2012 році, було виявлено так званий бозон Хіггса [14]. Це підтвердило припущення, яке пов'язує елементарні частинки зі своєю відповідною масою. Разом з тим, очевидно, що вона не може бути останнім словом у фізиці мікросвіту, оскільки містить багато зовнішніх параметрів, а також не враховує гравітацію. Передбачається, що ця квантова теорія поля є лише частиною більш широкої теорії. Справді, Стандартна модель описує лише близько 5% Всесвіту. У межах цієї теорії немає пояснення існування не темної матерії, яка становить приблизно 25% Всесвіту та темної енергії, яка, за припущеннями, складає залишкові 70% Всесвіту [14]. Їх опис може бути досягнуто лише за допомогою теорій, що виходять за межі Стандартної моделі фізики частинок.

Отже, будь-які невідповідності між прогнозами Стандартної моделі та експериментальними результатами можуть призвести до нових фундаментальних відкриттів.

### 1.3 Методичні засади викладання теми «Елементарні частинки» в курсі фізики 11 класу

Щоб з'ясувати стан вивчення основних понять Стандартної моделі фізики елементарних частинок у закладах загальної середньої освіти, було проведено аналіз відповідних освітніх стандартів та навчальних програм з фізики.

Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти містить такі питання, пов'язані з фізикою мікросвіту у шкільному курсі фізики:

- основи фізичних теорій, що вивчають властивості речовин і поля,
- наукові методи пізнання, основні поняття, моделі і закони фізики для пояснення властивостей речовини і поля,
- прояв фундаментальних взаємодій на різних рівнях фізичного світу.

Відповідно до навчальних програм 11-го класу (діючої та нової) і на рівні стандарту, й на профільному рівні, вивчають питання «Елементарні частинки. Загальна характеристика елементарних частинок (класифікація). Кварки. Космічне випромінювання». При цьому у новій програмі вказаний перелік питань розширено. До них додаються такі: «Методи реєстрації елементарних частинок. Частинки і античастинки. Анігіляція». Основи вивчення руху заряджених частинок в однорідному магнітному полі розглядають у розділі «Електромагнітне поле». Тут вивчаються питання «Рух заряджених частинок в однорідному полі. Використання сили Лоренца в техніці. Циклотрон».

У навчальних результатах вказано «учні ... розуміють ..., принцип дії циклотрона», «здатні пояснити дію магнітного поля на заряджені частинки...». Ці ж самі питання залишаються і в новій програмі, та ці ж самі

результати навчання відображені у діяльнісному компоненті вивчення фізики. Поряд із цим, для якісної оцінки проблеми вивчення питань фізики мікросвіту у процесі навчання фізики, виявлення утруднень та протиріч у розумінні школярами атомної моделі матерії, класифікації елементарних частинок, їх взаємодії, фізичних основ роботи прискорювачів заряджених частинок, було проведене анкетування учнів основної (9 клас) та старшої (11 клас) школи. У ході аналізу відповідей учнів в обох вікових групах було виявлено кілька типових невідповідностей та деякі помилкові уявлення у розумінні школярами одного з ключових понять фізики мікросвіту – моделі атома. Учні як середніх, так і старших класів зображували атом у вигляді моделі, яка не відображає ані неперервний рух частинок, які його утворюють, ані існування «порожнього простору» навколо них. Перш за все, це можна пояснити тим, що у повсякденному житті школярі спостерігають суцільний (а не дискретний) характер матерії, тому, як правило, віддають перевагу опису матерії як цілісної субстанції. По-друге, формуванню таких помилкових уявлень у деякій мірі сприяють некоректні ілюстрації у підручниках. Такі уявлення школярів формуються під впливом матеріалу підручників та відповідних ілюстрацій, наведених у них. Щодо висвітлення цих тем у навчальній літературі, було проведено аналіз підручників з фізики рекомендованих Міністерством освіти і науки України для використання в основній і старшій школі закладів загальної середньої освіти. Традиційно ознайомлення учнів із будовою атома відбувається з дотриманням принципу історизму. Спочатку розглядають модель атома Бора та вказується на неможливості пояснення у рамках цієї моделі результатів дослідів Резерфорда щодо проходження  $\alpha$ -частинками тонких металевих пластинок. Після цього представляють модель атома, запропоновану Резерфордом. У більшості підручників у текстах параграфів, присвячених будові атома наведено ілюстрації, на яких ядро зображене як певна цілісна субстанція, що має позитивний заряд, навколо якої розташовуються орбіти з електронами (рис.2).

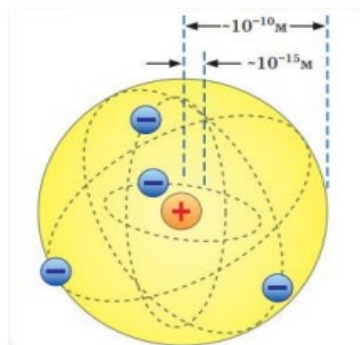


Рис. 2. Модель атома у підручнику з фізики |

У підручнику, створеному авторським колективом на чолі з В. Г. Бар'яхтар, у параграфі присвяченому дослідженню Резерфорда та моделі будови атома наведений рисунок «Еволюція» моделі атома (рис. 3.).

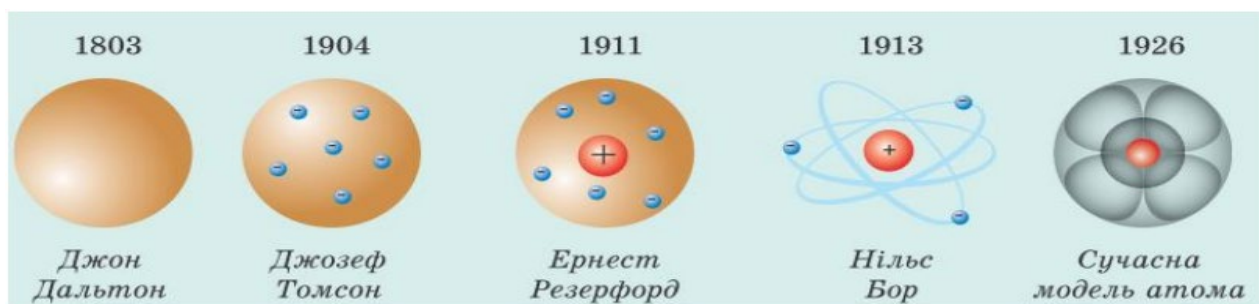


Рис. 3. «Еволюція» моделі атома [1]

На рисунку наведено «сучасну модель атома 1926 року», а також вказано, що «електрони усереднені атома найімовірніше виявити в певній області». Не зрозумілим залишається яким чином відбулася ця еволюція від моделі атома Резерфорда і куди поділись електрони, які зображувались раніше у вигляді синіх кульок зі знаком «мінус». Ядро у цій моделі залишається червоною кулькою в центрі атома, але вже не вказується його заряд. При цьому, у наступних поясненнях використовується планетарна модель атома. Деякі інші моделі ядра зустрічаються переважно у текстах параграфів, де розглядається радіоактивність, радіоактивне випромінювання та ізографи. Тут вже вказують, що атомне ядро складається з елементарних частинок – нуклонів (протонів і нейтронів) та говорять про існування, так званих, ядерних сил. Далі основна увага зосереджується на вивченні ізографів. При цьому ядро



зображене як утворення зі «склеєних» між собою протонів та нейтронів, а також електронів у вигляді кульок різного кольору (рис. 4. а [1], б [10], в [6]).

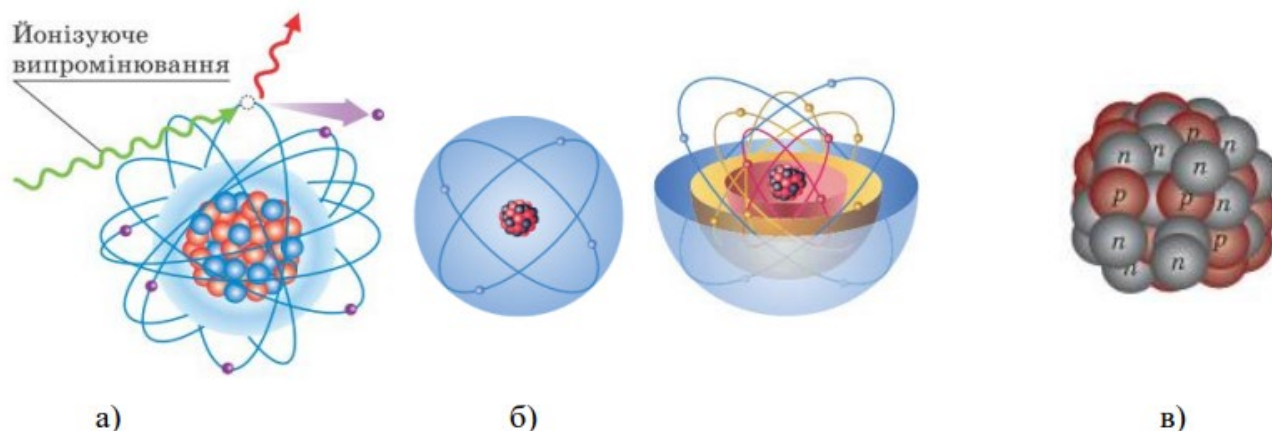


Рис. 4. Моделі атома та атомного ядра у підручниках з фізики

Важливо зазначити, що під час вивчення ядерних реакцій у деяких підручниках наведено схему поділу ядра Урану (рис. 4 а [1], б [10]), яка зображена аналогічно до механізму поділу клітини, який вивчається у біології (рис. 5).

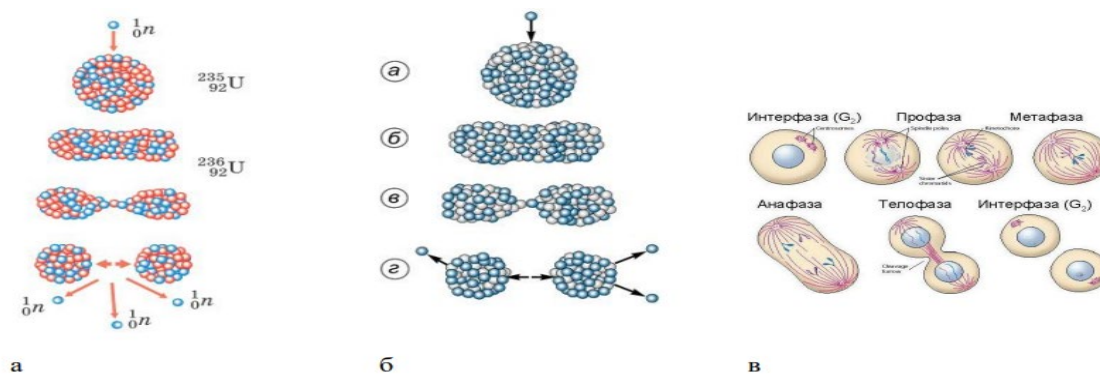


Рис. 5. Порівняння схеми поділу ядра у підручниках з фізики та поділу клітини у підручнику біології [2]

Щодо інших питань фізики мікросвіту – класифікації частинок та їх характеристик, учні виявляли певні фрагментарні знання, вказавши переважно ті з них, які входять до складу атома. Справді, у старшій школі після повторення будови атома школярів знайомлять з деякими елементарними частинками – електронами, позитронами, кварками, мезонами. Однак формування цілісних систематизованих уявлень про фізику мікросвіту не здійснюється.

## **Програма курсу фізики в ЗОШ:**

1. **Вступ.** Предмет фізики атомного ядра і елементарних частинок. Історія розвитку даного розділу фізики. Масштаби явищ мікросвіту. Фундаментальні взаємодії. Місце фізики атомного ядра і фізики високих енергій в природничих науках.
2. **Методи дослідження в ядерній фізиці та фізиці елементарних частинок.** Джерела та детектори частинок. Принцип дії прискорювача елементарних частинок. Основні типи прискорювачів: лінійні та циклічні (фазотрони, синхротрони, синхрофазотрони), коллайдери. Детектори елементарних частинок: трекові детектори, метод товстошарових емульсій, камера Вільсона, пухиркова камера. Лічильники частинок. Лічильники Черенкова. Мас-спектрометрія. Метод розсіювання. Досліди Резерфорда.
3. **Атомне ядро.** Протонно-нейтронний склад ядер. Основні характеристики ядер: зарядове та масове числа. Ізотопи та ізобари. Основні характеристики ядер: розміри та форма ядер, маса та енергія зв'язку, спин, магнітний момент.
4. **Моделі ядра.** Краплинна модель ядра. Формула Вейцеккера. Магічні числа і стабільність ядер. Поняття про оболонкову модель.
5. **Ядерні сили.** Обмінна взаємодія. Піонна модель. Рівняння Клейна-Гордона-Фока. Потенціал Юкави. Основні властивості ядерних сил.

6. **Ядерні перетворення – 1.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – випромінювання.** Природа  $\alpha$ -випромінювання. Природа  $\beta$ -перетворень ядер. Ядерна ізомерія. Ефект Мессбауера. Природа  $\gamma$ -випромінювання. Відкриття нейтрино.
7. **Ядерні перетворення – 2. Закони радіоактивного розпаду.** Закони радіоактивного розпаду у диференціальній та інтегральній формах. Стала розпаду та активність речовини. Радіоактивні сімейства. Застосування закону радіоактивного розпаду: у геології, археології, геохронології.
8. **Ядерні перетворення – 3. Ядерні реакції.** Класифікація ядерних реакцій за типом частинок, які поглинаються або породжуються в процесі реакції. Класифікація ядерних реакцій за енергією процесу. Класифікація ядерних реакцій за типом процесу (розпад, синтез). Швидкості реакцій. Принцип дії та будова ядерного (атомного) реактору. Перспективи створення термоядерного реактору.
9. **Сучасна класифікація елементарних частинок.** Класифікація елементарних частинок за масою. Класифікація елементарних частинок за статистикою. Фундаментальні ферміони: лептони та кварки. Фундаментальні бозони.
10. **Симетрії у мікросвіті.** Симетричні властивості простору й часу. Поняття про групи. Рівняння Дірака. Античастинки. Мова фейнманівських діаграм.
11. **Закони збереження у світі елементарних частинок.** Закон збереження парності. *CPT*-теорема. Закон збереження

кулонівського заряду. Окремі закони збереження: баріонного та лептонного зарядів, дивності. Закон збереження гіперзаряду.

**12. Сильна взаємодія.** Класифікація адронів. Адрони і кварки. Кваркові діаграми. Ізотопічний спін. Група  $SU(2)$ .  $SU(3)$  - симетрія. Мультиплети у просторі гіперзаряду - ізоспін. Колір та глюони. Квантова хромодинаміка (КХД). Асимптотична свобода та конфайнмент.

**13. Слабка взаємодія.** Слабкі розпади. Слабкі реакції. Властивості лептонів. Дзеркальна асиметрія. Порушення окремих законів збереження.

**14. Теорія електрослабкої взаємодії. Перспективи подальшого об'єднання.** Особливості слабкої взаємодії. Проміжні  $W$ - та  $Z$ -бозони. Велике об'єднання. Бозон Хіггса. Нестабільний протон. Монополь Дірака.

**15. Проблеми. Перспективи.** Суперсиметрія. Змішування кварків. Нейтринні осциляції. Кварк-глюонна плазма. Елементарні частинки – струни?

## Методи навчання

### 1. Пояснювально-ілюстративний :

Основне його призначення—допомогти засвоєнню знань завдяки поєднанню живого слова вчителя з підручником, картою та іншими наочними посібниками. Вчитель організовує навчання так, щоб учні засвоїли відібрану ним готову навчальну інформацію. Це стосується насамперед тем, в яких розглядаються складні теоретичні питання.

Основні його прийоми:

- 1) **Розповідь** — живий, емоційний, не дуже тривалий в часі (5-10 хв у 5-7 кл, 110-15 хв у 8-10 кл) виклад будь-якого питання теми. Залежно від змісту розрізняють **описові, художні, науково-популярні** розповіді. Розповідь-опис—це послідовний виклад ознак, особливостей, властивостей, якостей предметів і явищ навколишнього світу. Художня розповідь застосовується для образного переказу фактів або історичних подій. Для ознайомлення з різними науковими гіпотезами, дослідженнями використовують науково-популярну розповідь, в якій є порівняння, аналіз, синтез, узагальнення.
- 2) **Пояснення**, на відміну від розповіді має доказовий характер і застосовується як спосіб вивчення географічних закономірностей, механізмів процесів, явищ. Під час пояснення вчитель використовує схематичні рисунки, математичні формули, картографічний матеріал.
- 3) **Бесіда** — це діалог вчителя та учнів, який передбачає формулювання запитань, з допомогою яких учні відтворюють раніше набуті знання або самостійно роблять висновок. Перевага бесіди полягає в тому, що вона сприяє розвитку активності і самостійності учнів. Залежно від дидактичної мети розрізняють вступну (на початку уроку з метою виявлення рівня підготовки учнів до сприймання матеріалів), повідомлювальну (застосовується під час аналізу наочних посібників, схем, таблиць, малюнків) і підсумкову бесіду з метою узагальнення і систематизації вивченого.
- 4) Набувати нових знань учні можуть і завдяки **роботі з підручником** (посібником).
- 5) **Ілюстрування та демонстрування** — це дуже поширені в фізиці прийоми, які передбачають показ конкретних предметів і явищ в натуральному вигляді чи у вигляді зображень. Ілюстрації подаються в статичному виді або у вигляді експериментів, демонстрацій тощо.

Демонстрація передбачає показ матеріалів в динаміці (показ слайдів, відеофрагментів, робота з комп'ютерними програмами). Для демонстрації переважно потрібні ТЗН.

## 2. Евристичний :

Суть цього методу полягає в *організації на уроках пошукової діяльності* учнів. Перед школярами висувається пізнавальна задача, і вони під керівництвом учителя «відкривають» нові для себе знання.

Головним прийомом роботи, що лежить в основі евристичного методу, є **евристична бесіда**. Нею користуються тоді, коли в учнів є попередні знання, спираючись на які на основі спостереження за мовним матеріалом діти більш чи менш самостійно можуть прийти до узагальнення, зробити потрібний висновок.

Перш ніж користуватися евристичною бесідою, учитель повинен визначити, які знання з вивчених раніше тем школярі засвоїли, які з них будуть опорними під час виведення нового правила чи закономірності, дібрати відповідний матеріал для спостереження і організації пошуку, врахувати можливості дітей даного класу для участі в евристичній бесіді, продумати зміст і логіку послідовності запитань.

Пошукова діяльність учнів на уроці здійснюється за кількома етапами:

- 1) на першому етапі відбувається актуалізація опорних знань школярів, тобто повторення того матеріалу, який є опорним для усвідомлення нових знань;
- 2) на другому етапі учням пропонується пізнавальна задача, вони усвідомлюють необхідність її вирішення;
- 3) на третьому етапі вчитель у ході евристичної бесіди спрямовує дітей на аналіз фактів і формування власних висновків.

## 3. Метод проблемного навчання:

Цей метод також спрямований на активізацію пошукової діяльності школярів. Як довели сучасні психологи, педагоги і методисти, під час організації навчання з використанням проблемного методу учні вчаться мислити логічно, науково, творчо, а навчальний матеріал стає для них змістовнішим і цікавішим. Учні самі «відкривають» і самі знаходять невідомі їм раніше знання і докази.

Головними прийомами, що лежать в основі проблемного методу, є спостереження за теоретичним матеріалом, яке викликає проблемну ситуацію, та евристична бесіда, яка допомагає вийти з ситуації інтелектуального утруднення.

**Створення проблемної ситуації** — одне з найважливіших питань у теорії і практиці проблемного навчання. Обов'язково в процесі діяльності учні наštовхнулись на щось нове, незрозуміле з першого погляду, що дивує і тривожить їх.

Поштовхом до пошуків шляхів виходу з проблемної ситуації є суперечливість між відомим і невідомим. Учні зустрічаються саме із суперечливістю між наявними у них знаннями і необхідністю докласти їх до аналізу нового матеріалу. Діти усвідомлюють, що їхніх знань не вистачає для виконання завдання і потрібно шукати нові. Виникає проблемна ситуація. Пошук шляхів розв'язання проблемної ситуації спонукає учнів до самостійних роздумів, тобто до самостійного осмислення фізичного явища, яке вивчають.

Шляхи створення проблемної ситуації на уроках фізики різноманітні:

- створення ситуації вибору;
- класифікація матеріалу за певною ознакою;
- виконання певного практичного завдання;
- спеціально організоване порівняння явищ і фактів.

Отже, проблемна ситуація виникає внаслідок постановки перед учнями проблемного завдання чи запитання. Проблемними завданнями з фізики

вважаються такі, що містять суперечливість, яка властива самому фізичному явищу. В одних випадках діти можуть розв'язати її самостійно, в інших — з допомогою вчителя. У проблемному завданні поєднується певна новизна питання із зрозумілістю і доступністю її розкриття.

Знайти вихід із проблемної ситуації школярам допомагає вчитель, використовуючи евристичну бесіду.

#### **4. Дослідницький метод:**

Його мета – розкрити нові аспекти фізичного явища, які не висвітлювались раніше, - розвивати вміння самостійно аналізувати та робити висновки. Це досягається шляхом постановки проблемних питань, дослідницьких завдань.

Цей метод близький до евристичного. Відмінність – у наступному:

- при евристичному вчитель ставить завдання і в значній мірі спрямовує пошук учнів, вчить прийомам;
- при дослідницькому учні, уже, володіючи прийомами, самостійно вирішують складні завдання на базі нового матеріалу, самостійно приходять до узагальнених суджень.

Дослідницький метод може застосовуватись на звичайних уроках, але частіше на уроках семінарського типу, уроках-конференціях, факультативних заняттях.

Прийоми:

- висунення вчителем проблеми для всього класу, при чому ряд аспектів цієї проблеми розробляється групою учнів чи індивідуально;
- вчитель пропонує теми для семінарських занять і учні беруть цікаві їм для доповіді, співдоповіді, чи роблять виступ в ролі опонента;



- вчитель пропонує учням для аналізу перелік наукових запитань, які не вивчалися за програмою; або ж аналогічні запитання обираються самим учнем. Пропонуючи теми, вчитель консультує, спрямовує пошук.

Види діяльності:

- самостійний аналіз частини, епізода чи цілого фізичного явища, що не вивчався за програмою;

- зіставлення в тематичному, проблемному, теоретичному плані двох чи кількох фізичних явищ;

- зіставлення, аналіз двох чи кількох точок зору на конкретне фізичне явище в цілому, обґрунтування своєї думки;

- зіставлення власної думки з визнаними світовим науковим товариством думках та висновках.

Результати цих видів діяльності можуть бути оформлені в доповіді, твори, реферати, статті для газети. Застосування цього методу стимулює учнів до пошуку, - вчить користуватися каталогом; - знаходити потрібні для використання завдання книги; - конспектувати, цитувати.

## **5. Репродуктивний метод :**

Сутність поняття «шкільна лекція» в отриманні знань у готовому вигляді в слові, лекції вчителя, підручнику, посібнику, науково-популярних книгах, статтях. Це не догматичний метод. Елемент творчості тут значний: все залежить від якості подачі.

Думка учня теж розвивається при застосуванні репродуктивного методу:

- вчитель читає проблемну лекцію, а учень слідує за логікою викладу, складає тезисний план;

- вчитель дає різні точки зору на проблеми і пропонує шляхи до вирішення.

Використовуючи цей метод, вчитель може не тільки давати ті чи інші знання, але й конкретно показати, як можна оволодіти певними вміннями.

Наприклад, представити аналіз невеликого, проведеного наочно в класі або побаченого на екрані експерименту, при тому звернути увагу на метод аналізу, прийоми, а потім доручити виконати аналогічну роботу самостійно на іншому матеріалі. Значення репродуктивного методу – не тільки в повідомленні нових знань, але і в розкритті перспектив розвитку мислення, спостережливості, винахідливості в контексті нових ідей, думок тощо.

Визначимо прийоми, через які реалізується репродуктивний метод:

- слово учителя: учитель вдається до даного прийому, коли виникає потреба довести до учнів якусь невеличку інформацію, наприклад, на початку уроку, підбиваючи підсумки виконання учнями домашнього завдання чи написання ними дослідницької роботи або пояснюючи їм зміст та умови виконання домашнього завдання тощо;
- розповідь учителя: поширене слово, яке він застосовує тоді, коли викладає біографічні відомості про життя та наукову діяльність дослідника, про факти громадсько-політичного життя, про історико-культурні явища життя, які мають причетність до діяльності науковця, про історико-порівняльні паралелі щодо світової та української науки тощо;
- лекція: поняття „шкільна лекція” трохи відрізняється від поняття „лекція” своєю специфікою, суть якої полягає у тому, що шкільною лекцією вважається усний виклад певної теми. Ще однією, так би мовити, зовнішньою ознакою лекції є те, що у повній мірі цей прийом доцільно використовувати у старших класах, а у середніх лише частково, як елемент в організації та проведенні уроків;
- завдання за підручником чи посібником: обов’язковий атрибут побудови грамотного та ефективного навчання. Навчити учнів

працювати з підручником та іншими видами інформаційних документів, шукати потрібну інформацію, конспектувати – це базові навички для подальшого невинного навчання впродовж усього життя.

Види діяльності:

- запис планів, конспектування лекцій;
- складання тез прочитаних статей;
- підготовка усних відповідей за матеріалами лекції;
- складання хронометричних таблиць.

Цей метод забезпечує свідомість і міцність знань.

#### **1.4 Формування навчально-пізнавальних компетенцій під час вивчення відомостей про елементарні частинки у курсі фізики 11 класу**

Перед сучасною школою постають нові цілі — підготовка ініціативних і відповідальних особистостей, здатних самотійно здобувати знання, приймати фахові рішення, адаптуватись до умов життя в інформаційному і високотехнологічному суспільстві. Немає потреби доводити важливість знань, умінь, інтелектуального і духовного розвитку для кожної молодої людини, яка попри величезний інформаційний потік повинна критично мислити і повсякчас уміти аргументовано відстоювати власну позицію, зважено оцінювати інші думки і погляди.

Одним із шляхів модернізації освіти, який дозволить вирішувати вказані вище завдання, є упровадження компетентнісного підходу, що передбачає формування в учнів готовності до застосування набутих знань, умінь і навичок в реальних умовах на практиці.

Відомості про природу елементарних частинок, їх взаємодію та взаємоперетворення, як правило, викликають у старшокласників підвищений

інтерес, оскільки мова йде про сучасний стан розвитку фізичної науки. Успіхи квантової фізики завжди перебувають у центрі уваги інтелектуальної частини суспільства і це цілком природно, адже вони мають досить широкий спектр застосування — від надзвичайних властивостей речовини, отриманих через використання нанотехнологій, до відкриття і дослідження таємниць еволюції Всесвіту. Важливо побудувати вивчення матеріалу таким чином, щоб підтримати цей інтерес і спонукати учнів до засвоєння вказаних відомостей через активну діяльність. Це покращить формування у них відповідних навчально-пізнавальних компетентностей.

Найголовніші аспекти теоретичної бази ґрунтуються на таких постулатах фізики. Умовно мікросвіт поділяють на три рівні, які характеризуються масштабом  $R$  та енергією  $E$  :

- перший рівень — молекулярно-атомний, для якого  $R \sim 10^{-8} \dots 10^{-15} \text{ м}$ ,  $E \sim 1 \dots 10 \text{ еВ}$ ;
- другий рівень відповідає ядерній взаємодії, для якої  $R \sim 10^{-14} \dots 10^{-15} \text{ м}$ ,  $E \sim 10^6 \dots 10^8 \text{ еВ}$ ;
- на третьому рівні розташовані частинки, які не відносяться до молекул, атомів або ядер (за винятком ядра атома водню — протона). Ці частинки традиційно названі елементарними (або суб'ядерними).

Які саме частинки відносити до класу елементарних, до певної міри визначається науковцями, що працюють в цій царині науки.

Рівень елементарних частинок поділено на два під-рівні: адрони і фундаментальні частинки. Фундаментальні поділяють ще на три класи: лептони, кварки і переносники взаємодій.

Цілком природно, що з означенням цих частинок виникають методичні труднощі. У підручнику елементарними частинками "...називають субатомні частинки (частинки, з яких складаються атоми). У підручнику спочатку викладено відомості про етапи розвитку фізики елементарних частинок і

вказується, що існують безструктурні елементарні частинки (фундаментальні) і такі що мають структуру. Потім наводиться означення: “Елементарна частинка — збірний термін, що відноситься до мікрооб’єктів у суб’ядерному масштабі”. У підручнику означення даного поняття взагалі відсутнє (§59 “Елементарні частинки”, стор. 303-305). У науково-методичній літературі, як правило, загострюється увага на необхідності формування змісту поняття “елементарна частинка”.

Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти даного поняття з означення і з’ясувати, що слід розуміти під терміном “елементарна частинка” . Натомість автори пропонують зосередитись на узагальненні вже пройденого: “На даному етапі навчання задача полягає перш за все в тому, щоб повторити та узагальнити відомості про властивості вже вивчених елементарних частинок”. Остання теза цілком виправдана, проте існує набагато більше елементарних частинок, ніж ті, з якими учні вже ознайомлені (наприклад, античастинки). Можна вказати на ще одну, на наш погляд, важливу методичну особливість вивчення відомостей про мікрочастинки. Вивченню даної теми передую навчальний матеріал з квантової оптики і елементів квантової механіки, при вивченні якого в учнів формується поняття про дискретний характер випромінювання і поглинання енергії, про кванти світла та квантову теорію загалом, її значення в сучасній фізиці. Вивчається цілий ряд явищ і квантових механізмів, які пояснюються на основі квантової теорії (фотоефект, ефект Комптона, дослід Боте, квантові переходи тощо). В процесі вивчення цього навчального матеріалу вводиться поняття “фотон”. Інші частинки, якими необхідно “оперувати” для опису вказаних явищ і процесів, учням вже відомі з курсу фізики основної школи, курсу хімії та біології. Тому цілком закономірною є рекомендація спиратися на вже засвоєний учнями навчальний матеріал про мікрочастинки.

Однак, аналіз навчального матеріалу на якому відбувається формування поняття “елементарна частинка” показує, що ці уявлення переважно класичні,

оскільки відносяться до розділів фізики, де явища розглядаються на рівні класичних уявлень. Так, поняття електрона вперше вводиться у курсі природознавства, як складова атома, потім конкретизується у курсі хімії і фізики в основній школі (електричний струм, будова атома). Крім цього, для пояснення механізму протікання явищ фотоефекту, тиску світла, ефекту Комптона тощо почасти залучається класичний підхід при якому елементарні частинки розглядаються як сповна класичні.

Як вже відзначалося вище, у методичній літературі пропонується формування (або узагальнення) поняття “елементарна частинка” розпочати з уточнення його дефініції. Такий підхід є не зовсім ефективним, оскільки учні запам'ятовують чергове означення як догму без його практичного використання. Навчальний матеріал про елементарні частинки не містить формул або законів, правил, принципів, які б дозволяли широко використовувати розв'язування навчальних фізичних задач, посильних для учнів 11 класу.

Традиційно у методиці існував підхід, який передбачав спочатку формування теоретичних знань, а потім їх закріплення на практиці — під час розв'язування задач, виконанні фронтальних лабораторних робіт, вивченні наступного нового навчального матеріалу тощо. Така послідовність відбувалась як в межах одного уроку чи системи уроків, так і на рівні програм при вивченні відповідних тем чи розділів. Передбачалося, що учні спочатку мають набути знань, а потім отримані знання використовуватимуть на практиці, хоча шкільний досвід свідчить, що на справді, до застосування знань, як правило, справа не доходила. Учні намагаються прозвітувати перед учителем про засвоєний матеріал, який у більшій частині швидко забувається. Після цього їм необхідно засвоїти нові знання і т.д.

Опитування, проведенні серед учителів, свідчать, що 75-80% усіх опитаних намагаються використати відведений час для повідомлення нових знань, натомість спираються на вже сформовані поняття фрагментарно, лише під час

актуалізації навчального матеріалу (3-5 хв уроку) і трохи більше приділяють увагу закріпленню нового навчального матеріалу. За таких умов учень на занятті — пасивний слухач, який лише сприймає і запам'ятовує інформацію, щоб згодом відтворити її перед учителем.

Для того аби організувати вивчення відомостей про елементарні частинки як активне навчання, є пропозиція розпочати не з уточнення означення, а з виокремлення суттєвих ознак поняття “елементарна частинка”. Для цього можна організувати дискусію і сформулювати перед учнями просте, на перший погляд, запитання: з чого складається тіло? Можливі відповіді учнів: з молекул, атомів, нуклонів і т.д. Учитель пояснює, що відповідь на це запитання залежить від того, яку конкретну задачу розв'язує дослідник. Для ілюстрації цієї тези (або щоб підвести учнів до її усвідомлення), можна вдатися до **методів інтерактивного навчання**, організувавши дискусію між “хіміками”, “класичними фізиками” та “фізиками високих енергій”. Перша група дасть відповідь — із молекул і атомів, друга відповідь — із протонів, нейтронів і електронів, а представники фізики високих енергій повідомлять сучасні уявлення — протони і нейтрони складаються із кварків. Чи означає це, що відповіді “хіміків” і “класичних фізиків” неправильні? Для того, аби з'ясувати хто ж зрештою правий, учитель організовує бесіду під час якої доводить до відома учнів наступне.

Відповідь на питання “з чого складається дане тіло?” визначається вибором структурної частинки макроскопічної системи. А це визначається тим, яку задачу слід розв'язати дослідникові. Нехай задача полягає в тому, що необхідно пояснити спостережуване явище. Вчені-фізики шукають пояснення певної властивості макроскопічного тіла за наступною логікою:

- з'ясовують з яких мікроскопічних частинок складається тіло;
- як рухаються частинки;
- досліджують, який конкретно рух частинок “відповідає” за явище чи процес, який слід пояснити.

Для пояснення різних властивостей тіл, необхідно заглиблюватись на різний рівень будови речовини — про це знають і з цим погоджуються усі три групи учнів (фізики, хіміки і представники фізики високих енергій). Адже досліджувана властивість тіла диктує, наскільки глибоко слід проникати в структурну організацію матерії і тим самим визначає, які саме частинки у даній задачі можуть бути прийняті за структурні одиниці тіла.

Виникає наступне питання: чи тотожні поняття “елементарна частинка” і “структурна одиниця тіла”? Для того аби відповісти на дане питання, варто згадати метод дослідження будови речовини, який самі науковці називають ще як “метод осколків”. Учням нагадують дослід Резерфорда. Щоб дізнатися про складові певної частинки (наприклад, атома в досліді Резерфорда), її розбивають на “осколки”, бомбардуючи іншими частинками. Власне спосіб розбивання може бути яким завгодно. Проте, характер осколків залежить від того, наскільки значне зусилля було прикладене дослідником. Таким чином, поняття “структурна одиниця тіла” лише до певної міри співпадає із поняттям “елементарна частинка”, проте дані поняття нетотожні. Поняття “структурна одиниця” залежить від того, наскільки значне зусилля буде прикладене на розщеплення тіла або відповідної частинки на складові. Можна стверджувати більше — одна й та ж мікрочастинка за одних умов може бути структурною складовою матерії, а при інших умовах її не можна віднести до структурної одиниці. Останню тезу варто обґрунтувати на конкретних прикладах.

Приклад №1: Досліджується полікристал на певні властивості — міцність, пластичність, електропровідність, теплопровідність, температура плавлення. Для проведення таких досліджень достатньо знати, що полікристал має дрібнокристалічну структуру — складається із великої кількості дрібних хаотично розташованих кристалів — кристалітів (або кристалічних зерен) [1]. У даному випадку кристаліт — структурна одиниця полікристалу. Якщо дослідження буде вимагати відповіді на питання “яка природа спостережуваної електропровідності?”, то потрібно з'ясовувати, з чого



складається кристаліт. Якщо із нейтральних атомів, то даний кристал є напівпровідником, якщо ж з йонів — метал. Якщо досліджуваний кристал є металом, необхідно з'ясувати особливості будови його кристалічної ґратки: атом втратив  $Z$  валентних електронів тому йони у вузлах ґратки мають заряд  $+Ze$  і слугують для вільних електронів джерелом поля, під дією сил якого рухаються вільні електрони. Отже, у даному випадку структурні одиниці речовини — йони із зарядом  $+Ze$  і електрони, які покинули атоми.

Існують задачі, вивчення яких потребує глибшого занурення у структурну організацію матерії. Наприклад, якщо розглядати явище відбивання металами електромагнітних хвиль (у курсі фізики це явище розглядається лише як їх властивість, без з'ясування механізму його протікання), то слід врахувати наявність у металах вільних електронів. Якщо ж вивчати поглинання світла металами, наприклад, фотоефект, то слід врахувати будову атомів і з'ясувати в якому стані перебуває електрон. Тепер роль структурних одиниць відіграють усі вільні електрони (а не лише валентні) і ядра атомів. Зрештою, якщо досліджувати ядерні реакції, то ядра не можна вважати структурними одиницями. Такими будуть нуклони, що входять до складу ядер.

Отже, чи є частинка структурною одиницею залежить, по-перше, від властивостей речовини, які досліджуються і, по-друге, від того, наскільки дрібними виявляться осколки, на які розділяють речовину. Властивості, які необхідно дослідити, часто змушують дослідника визначати масштаб осколків. Іноді це вимагає значних енерговитрат. Чим менший масштаб розглядуваних деталей, тим більше значення енергій необхідно витратити (саме тому фізику елементарних частинок називають ще фізикою високих енергій). Останнє твердження впливає із принципу невизначеностей: для виявлення деталей структури із розмірами порядку потрібні зондуючі частинки з імпульсами  $p$ , не меншими. Наприклад, енергія 1000 Гев відповідає мінімальним відстаням  $10^{-19}$  м.

Завершити вивчення відомостей про елементарні частинки варто викладом навчального матеріалу про експериментальну перевірку положень фізики високих енергій. З цією метою учитель розповідав про Великий адронний колайдер (англ. Large Hadron Collider, скорочено LHC) і Tevatron. Описана вище методика вивчення відомостей про елементарні частинки на уроках фізики в 11 класі, дозволяє формувати в учнів навчально-пізнавальні компетентності.

### **1.5 Протиріччя між класичною методикою вивчення теми та сучасним станом й розвитком наукових знань про елементарні частинки**

Фізика як природнича наука, є базисом усього сучасного природознавства. У проекції на освіту, зміст дисципліни «фізика» має відображувати сучасний стан розвитку та найвагоміші досягнення сучасної науки. Лише за останнє десятиліття у фізиці відбулися відкриття найвищого рівня. Переважно вони стосувалися фізики мікросвіту. Натомість курс фізики у загальноосвітніх школах в Україні продовжує існувати як система догм без будь-якої практичної спрямованості. На превеликий жаль, він цілком позбавлений питань, які розкривали б суть сучасного стану науки та актуальних відкриттів (хоча б найважливіших).

Реформування освіти хоча і триває з часу здобуття Україною незалежності, проте даної проблеми до цього часу не вирішено. В освіті продовжують існувати протиріччя:

- 1) між властивим фізиці поєднанням фундаментальності й практичності та високим ступенем затеоретизованості курсу фізики у загальноосвітніх школах і, як наслідок, низькою мотивацією школярів до його вивчення;
- 2) між необхідністю посилення практичної спрямованості курсу фізики у закладах середньої освіти та значним відставанням освітніх стандартів та навчальних програм і від сучасного рівня розвитку фізики, як науки;

- 3) між потребою держави, зокрема, закладів вищої освіти та роботодавців у вузькопрофільних фахівцях інженерно-технічного спрямування та недостатнім рівнем підготовки випускників ЗНЗ з фізики.

Виникає потреба в актуалізації курсу фізики ЗОШ приведенням його у певну відповідність із рівнем розвитку науки, особливо це стосується фізики мікросвіту.

Де-які питання теорії викликають протиріччя. Так, в ході класифікації частинок та їх характеристик, учні виявляють певні фрагментарні знання, вказавши переважно ті з них, які входять до складу атома. Справді, у старшій школі після повторення будови атома школярів знайомлять з деякими елементарними частинками – електронами, позитронами, кварками, мезонами. Однак формування цілісних систематизованих уявлень про фізику мікросвіту не здійснюється.

Щодо основного інструменту дослідження елементарних частинок – 13 прискорювачів, ознайомлення з якими передбачене під час вивчення теми «Рух заряджених частинок в однорідному полі» варто зазначити, що згадка про це питання є лише в одному з підручників. У розділі IV «Фізика атома та атомного ядра. Фізичні основи атомної енергетики» в анотації до розділу мимохіть згадується Великий адронний колайдер: «Кількість фахівців-фізиків збільшилася в сотні разів, було створено величезні підприємства для виробництва фізичних приладів і обладнання». Наведено рисунок (рис. 6.).

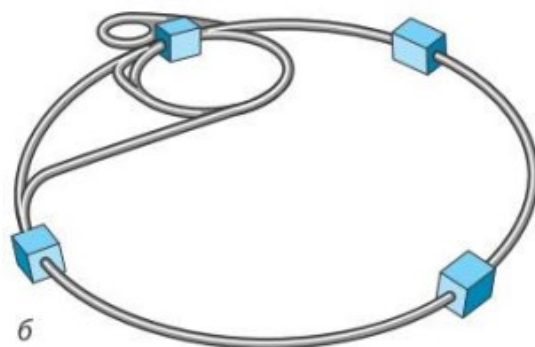


Рис. 6. ВАК у підручнику з фізики

У тексті йдеться: «Найбільша на сьогодні дослідницька установка – прискорювач заряджених частинок, перший запуск якого відбувся в 2008 р. ... Вражають розміри цього прискорювача: елементарні частинки розганяються у величезному кільці завдовжки 26 км. Країни Європи мушили об'єднати свої зусилля, щоб побудувати це диво техніки».

Таким чином, всебічний аналіз зазначеної проблеми показав, що питання фізики мікросвіту розглядаються у різних темах шкільного курсу фізики у різний час. А отже, для формування цілісної наукової картини світу та підготовки учнів до усвідомленого сприйняття принципово нового підходу до структури матерії необхідні певні узагальнення. Одним із можливих варіантів вирішення вказаної проблеми є, по-перше, обов'язкова корекція знань учнів про істотні ознаки окремих одиниць навчального змісту (зокрема, формування уявлень про модель атома відповідно до стану розвитку сучасної фізичної науки). По-друге, поглиблення знань учнів з питань, що стосуються класифікації елементарних частинок, пов'язаних із ними фундаментальних взаємодій. По-третє, більш детальне ознайомлення школярів з принципом роботи прискорювачів елементарних частинок як основного засобу дослідження мікросвіту.

## **РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ПІДХОДИ, СФОРМОВАНІ НА РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ В КОНТЕКСТІ НОВИХ УСВІДОМЛЕНЬ ТА ДОКАЗІВ ПРО ФІЗИКУ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИН.**

### **2.1. Методичні іновації вивчення окремих питань фізики мікросвіту у шкільному курсі фізики**

Основна складність під час вивчення понять фізики мікросвіту полягає у тому, що її описує квантова механіка, яка має абстрактний характер, і характеристики об'єктів неможливо пояснити, використовуючи традиційну графіку. Таким чином, під час пояснення, наприклад, основних властивостей елементарних частинок, необхідно застосувати коректні фізичні моделі.

Нижче запропоновані деякі ілюстрації, спрямовані на запобігання формуванню неправильних уявлень учнів.

Так, буде доцільно спочатку вводити субатомні структури матерії. Мета цього блоку полягає у побудові адекватної моделі атома, яка відповідає принципу історизму, але при цьому орієнтована на сучасний опис атомів. Отже, вона об'єднує електрони та кварки як елементарні частинки, а протони та нейтрони розглядаються вже як системи частинок, що складаються з елементарних. Глюони вивчаються пізніше, разом із фундаментальними взаємодіями.

Навчальний блок базується на таких ключових ідеях щодо субатомної структури матерії:

1. Матерія – це все, до чого можна доторкнутися практично або гіпотетично.
2. Реальність описується моделями:
  - а) матеріальна точка (у механіці),
  - б) ідеальний газ (у молекулярній фізиці),
  - в) точковий заряд (в електродинаміці),
  - г) модель фізики частинок (в атомній та ядерній фізиці).
3. У моделі мікросвіту ключовим поняттям є атом.
4. У цій моделі атом поділяється на дві області:
  - ядерний простір,
  - орбітальний простір.
5. У ядерному просторі розташовані протони та нейтрони.
6. Протони та нейтрони – це системи частинок, що складаються з кварків.

7. Кварки неподільні. У цій моделі вони називаються елементарними частинками.

8. В орбітальному просторі, ймовірно, містяться електрони.

9. Електрони неподільні. У цій моделі вони називаються елементарними частинками.

10. У цій моделі, окрім частинок, є лише порожній простір. Коли мова заходить про фізику мікросвіту, то однією з найбільших проблем є її абстрактність. Тому не дивно, що ця тема мало представлена у шкільному курсі фізики. Зрештою, фізичний експеримент у цьому випадку обмежений, фізично точні пояснення навряд чи є адекватними для рівня загальної середньої освіти, а внаслідок незбагненно-малих розмірів відсутня можливість створення коректного реального графічного зображення. Однак, є можливість звернутися до засобів моделювання.

Варто зауважити, що, замість Стандартної моделі фізики елементарних частинок, можна використовувати її спрощену версію "модель фізики частинок". У зв'язку із цим, оригінальний термін замінено його спрощеним аналогом. Цей приклад веде до обговорення другої основної концепції, лінгвістичної точності, яка відіграє значну роль у розвитку навчальної одиниці.

Ще однією проблемою у фізиці мікросвіту є те, як найкраще говорити про частинки та атоми взагалі. Це особливо проблематично у випадку «уявних» частинок. Отже, для підготовки цілісної навчальної одиниці потрібні ретельні корегування ключових термінів та перефразування або відхід від використання термінів, що можуть ввести в оману. Дійсно, на початку розробки даного навчального блоку легко виявити кілька термінів та фраз, які учні оцінили як незрозумілі. Однак можна з'ясувати, що шляхом внесення незначних корегувань до цих термінів та незначних перефразувань, школярі демонстрували значно краще розуміння.

Наприклад, замість використання терміну "ядро" пропонуємо використовувати поняття "ядерний простір". Оскільки учні часто стверджували, що протони і нейтрони були вбудовані в ядро та не могли пояснити, з чого може бути зроблено це «ядро». Означення «ядерний простір» виявилася більш простою для сприйняття 16 учнями. Результати показують, що це словосполучення належним чином висвітлює розташування ядерного простору та мінімізує потенційні неправильні уявлення про ядро як окремий об'єкт. Аналогічним чином, вводимо "орбітальний простір", під яким розуміємо простір, у якому, ймовірно, перебувають електрони. Це дає змогу посилити імовірнісний аспект орбітального простору, однозначно уникаючи будь-якого оманливого поняття, ніби електрони, рухаються навколо по планетоподібних орбітах.

Крім того, в навчальному блоці чітко розрізняються поняття "частинки" та "системи частинок". Це означає, що лише елементарні частинки – лептони та кварки – позначаються як частинки, а баріони та мезони вводяться як системи частинок, "що утворені з частинок". Наші дослідження показали, що завдяки цій незначній модифікації можна уникнути можливих неправильних уявлень про протони, що охоплюють кварки, як желе.

Оскільки дослідження в галузі освіти показують, що візуальні ілюстрації є важливими для передачі наукових ідей під час навчання, тому доцільно використовувати нові графічні зображення частинок та систем частинок. Ці ілюстрації спрямовані на візуалізацію субатомних об'єктів, уникаючи при цьому будь-яких хибних уявлень про їх потенційний вигляд. Тому замість використання сфер можна зображувати частинки та системи частинок, використовуючи їхні відповідні літери (див. рис. 7а). Щоб забезпечити чітке розрізнення, елементарні частинки зображуються кольоровими літерами, а системи частинок – сірими літерами. Зокрема, червоний, зелений та синій призначені для кварків, щоб забезпечити пропедевтику формування поняття «кольорових» кварків, яке буде введено пізніше.

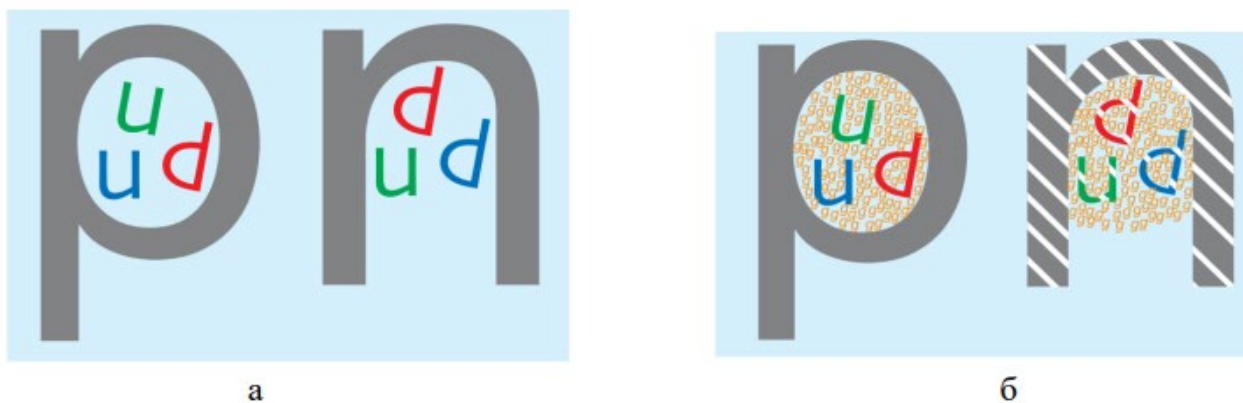


Рис. 7. Візуалізація будови складних частинок та античастинок

Крім того, оскільки навчальна одиниця також включає в себе поняття античастинок та системи античастинок, необхідна графічна візуалізація антикольорового заряду. Тут є альтернатива загальноприйнятому методу додаткового кольору, за допомогою якого античастинки та античастинкові системи ідентифікуються за допомогою смуг, а не зміни кольору (див. рис. 7б)). Обґрунтування цього нового підходу полягає в тому, щоб уникнути будь-якого перекривання вмісту з раніше встановленими знаннями оптики, оскільки це може бути спричинити шкоду навчанню. Натомість, використовуючи смужки, дається чітке розходження між частинками та античастинками, що також полегшує розуміння учнів модельного аспекту фізики мікросвіту.

Запропоноване альтернативне представлення античастинок було перевірено учнями старшої школи (вікова група 16-17 років) та вчителями фізики, які відзначили цю пропозицію як корисніший спосіб розрізняти частинки від античастинок. Зокрема, обидві групи вказали, що використання смуг є простішим для розуміння та більш інформативним. Саме в цьому сенсі використання смуг для представлення античастинок виявилось особливо корисним для навчання.

Для представлення атомної моделі, яка вводиться у верхню частину навчального блоку, також використовується буквена ілюстрація (див. рис. 8). Її мета – якісно представити атом і висвітлити різницю між ядерним та орбітальним простором.





Рис. 8. Візуалізація моделі атома

На наступних етапах ця ілюстрація атомної моделі дозволяє вводити різні орбітальні форми в межах орбітального простору без використання некоректних термінів, таких як «орбіти» або «оболонки». Проте, щоб продемонструвати більш реалістичне співвідношення розмірів, доцільно додатково використовувати цифрові анімації.

## 2.2 Вивчення основ детектування частинок з використанням CERN Open Data Portal

Одним з методів вивчення частинок є дослідження їх треків за допомогою сучасних детекторів. Давайте спробуємо розглянути основи роботи детектора частинок та знайти частинку за її треком використовуючи дані з детектора CMS, які тепер доступні на домашній сторінці ЦЕРНу.

Ці дані можна візуалізувати, наприклад, в інтерактивному візуалізаторі, який доступний на порталі OpenData ЦЕРНу. Детектор CMS є загальним детектором на великому адронному колайдері. Тепер учні можуть «виявити» частинки, які детектор CMS фіксує за допомогою інтерактивного візуалізатора експериментів з OpenData.

По-перше, учні мають розуміти, як працює детектор. Якщо заряджена частинка починає рухатися в однорідному магнітному полі перпендикулярно до ліній індукції, то вона буде рухатися по колу. Вперше формулу для сили, з якою магнітне поле діє на рухому заряджену частинку, встановив нідерландський фізик Х. Лоренц (1853-1928 рр.), Тому цю силу називають силою Лоренца:

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між напрямками  $\vec{v}$  та  $\vec{B}$ .

Напрямок сили Лоренца, яка діє на позитивний заряд, що влетів у магнітне поле, знаходять за правилом лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітної індукції входили у долоню, а чотири витягнутих пальці вказували напрям руху частинки, то відхилений на  $90^\circ$  великий палець вкаже напрям сили Лоренца.

Якщо частинка заряджена негативно (наприклад, електрон), то напрям протилежний (правило правої руки). На рисунку 9 представлені треки трьох

різних частинок. Всі вони рухаються зліва направо в магнітному полі. Напрямок магнітного поля показаний на рисунку позначкою (надходить від спостерігача й проникає у площину паперу).



Рис. 9.

Перший трек є прямою лінією. Частинка не має заряду, тому вона не відчуває сили.

Другий трек вигнутий вгору. Ця частинка має негативний заряд.

Останній трек увігнутий вниз. Ця частинка має позитивний заряд.

Отже, чим сильніше магнітне поле  $B$  р або чим швидше рухається частинка  $v$  р, тим більша сила Лоренца а, отже, більший вигин треку. Частинки ми можемо детектувати за їхніми траєкторіями.

Розглянемо деякі основні частинки, які можна ідентифікувати за допомогою детекторів:

- 1) Електрон – це стабільна елементарна частинка, що належить до «ферміонного» сімейства частинок. Він має електричний заряд «-1», тоді як протилежна йому частинка, позитрон, має електричний +1. Електрон має масу приблизно  $0,5 \text{ MeV}/c^2$ .
- 2) Фотон – стабільна елементарна частинка, що належить до сімейства бозонів. Фотон не має маси та електричного заряду. Фотон є носієм електромагнітної сили.
- 3) Адрон – «важка» композитна частинка, яка складається з двох або більше кварків. Як, наприклад, протони і нейтрони. На противагу їм існують більш легкі лептони, такі як електрони і мюони.

- 4) Мюон – елементарна частинка, яка має електричний заряд «-1». Властивості мюонів подібні до властивостей електрона, але мюон приблизно в 200 важчий за електрон. Але, для того щоб утворились нові частинки необхідно зіштовхнути частинки з високими енергіями.

Для цього використовують прискорювачі заряджених частинок. Комплекс прискорювачів у ЦЕРНі є послідовністю прискорювачів, які прискорюють частинки до все більш високих енергій. Кожен прискорювач підвищує енергію пучка частинок, перш ніж вводити пучок в наступний прискорювач в послідовності.



Рис. 10. Великий адронний колайдер у ЦЕРНі

У Великому адронному колайдері (LHC) - останньому елементі в цьому ланцюжку - пучки частинок прискорюються до енергії 6,5 TeV кожен. І після цього протони, нарешті, спрямовують до двох прискорюючих кілець LHC. Промінь в одному кільці циркулює за годинниковою стрілкою, тоді як промінь в іншому – проти годинникової стрілки. Потрібно 4 хвилини і 20 секунд для заповнення кожного кільця LHC, і 20 хвилин, щоб протони досягли максимальної енергії. Пучки циркулюють протягом багатьох годин всередині кілець LHC. Два пучки приводяться у зіткнення в чотирьох точках, у яких розташовані детектори ALICE, ATLAS, CMS та LHCb. Загальна енергія в точці зіткнення дорівнює 13 TeV.

Електромагніти навколо детекторів часток генерують магнітні поля для створення сили Лоренца. З точки зору фізики, ключем до ідентичності

частинки є її імпульс. Саме він і визначає кривизну її траєкторії: частинки з високим імпульсом рухаються майже прямолінійно, у випадку малого імпульсу рух відбувається по спіралях всередині детектора. 21 Як і мисливці можуть ідентифікувати тварину, дивлячись на сліди, які вона залишає на брудній землі чи на снігу, фізики ідентифікують субатомні частинки досліджуючи треки, які вони залишають у детекторах.

Щоб учні зрозуміли вказаний принцип, їх необхідно познайомити з принципом роботи детекторів частинок. Сучасні детектори частинок складаються з шарів – піддетекторів або калориметрів, кожен із яких призначений для пошуку конкретних властивостей або конкретних типів частинок. Трекери – відстежувальні пристрої, що виявляють шляхи електрично заряджених частинок при їх проходженні та взаємодії з відповідною речовиною. Більшість пристроїв відстеження не створюють видимих треків частинок, а записують ті невеликі електричні сигнали, викликані частинками, коли вони рухаються всередині пристрою. Комп'ютерна програма потім реконструює записані шаблони треків. Трекер повністю виготовлений із кремнію.

Електромагнітний калориметр дає змогу визначити втрати енергії частинок при проходженні, коли вони взаємодіють з електрично зарядженими частинками у речовині.

Електромагнітний калориметр слугує для визначення енергій електронів і фотонів. Він виготовлений з кристалів, з'єднаних з фотодіодами.

Адронний калориметр вимірює енергію частинок «адронів» з кварків і глюонів.

Калориметри можуть зупиняти більшість відомих частинок, крім мюонів і нейтрино. Мюон може проникати через багатометровий шар заліза без взаємодії і не зупиняється жодним із калориметрів. Його ідентифікують за

допомогою детектора мюонів. Візуальний дисплей CMS може використовуватися для візуалізації даних, отриманих у детекторі CMS.

## 2.3 Алгоритм використання CERN Open Data Portal

Деякі основні відомості про функціональність кнопок верхньої частини. Меню зліва містить різні частини детектора. Перш ніж почати користуватися програмою, важливо ознайомитися з різними частинами детектора CMS і функціями кожного з них.

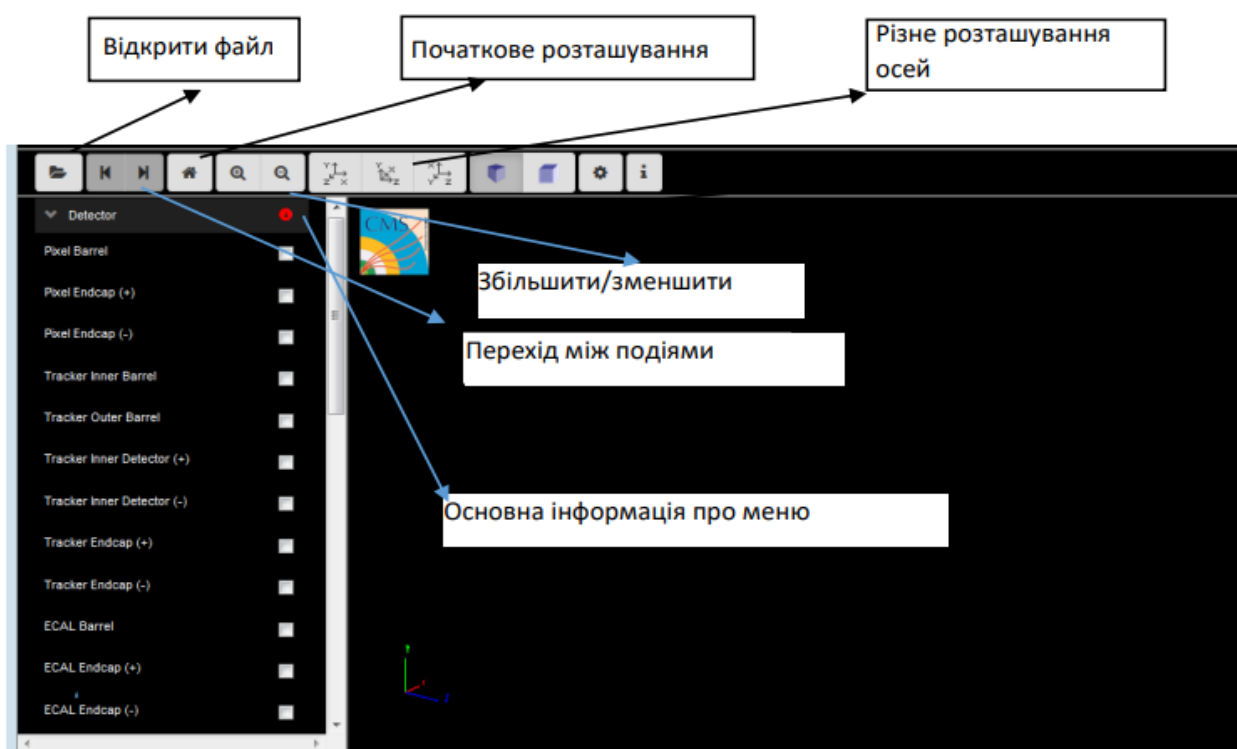


Рис. 12.

Отже, тепер ми готові відкрити подію та переглянути реальні дані. Що таке подія? Подія є фундаментальною взаємодією, яка відбувається, коли частинка стикається в детекторі. У події фізики частинок вхідні частинки розсіюються або руйнуються і в залежності від енергії можуть утворюватися сотні частинок. Події можна візуалізувати та вивчити за допомогою інструмента «візуалізувати події». Щоб відкрити набір даних:

- Натисніть кнопку відкритих даних

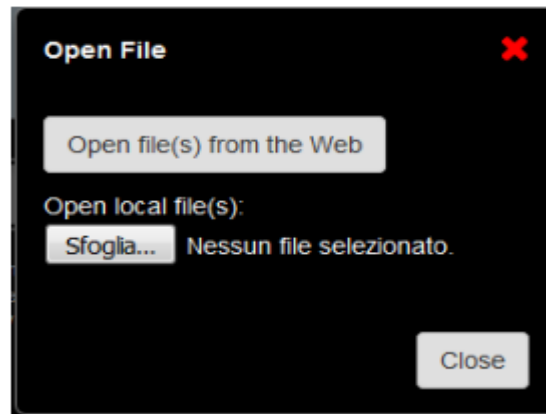


Рис. 13.

- З'явиться це вікно:
- Виберіть відкриття файлів з Інтернету.

Ці файли знаходяться в порталі відкритих даних CERN.

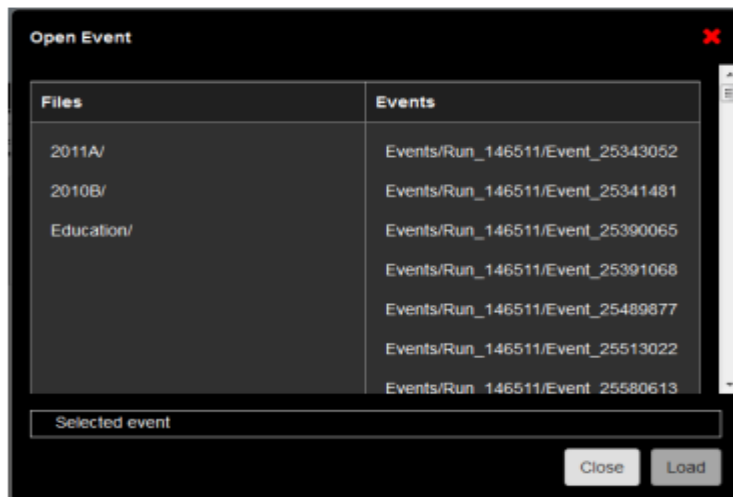


Рис. 14.

До уваги, кілька цікавих прикладів:



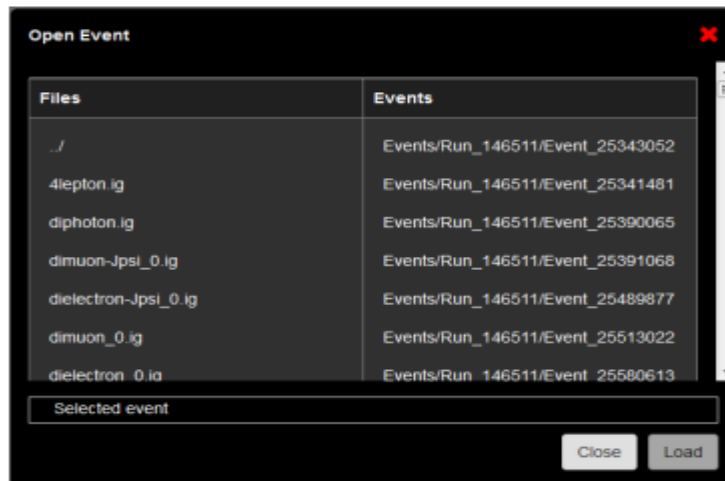


Рис. 15.

Як приклад відкриємо файл `dimuon_0.ig`. Натисніть на подію і виберіть "Завантажити". Після завантаження виберіть "Закрити".

Це те, що ви побачите:

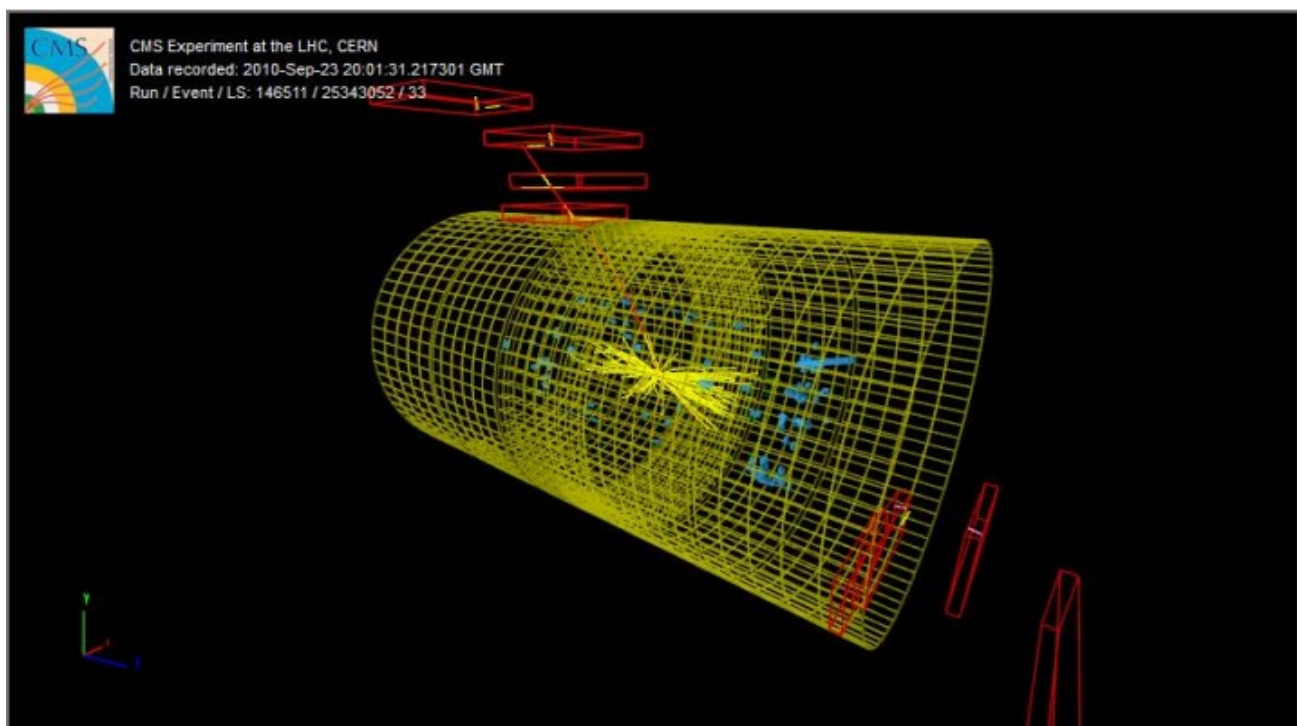


Рис. 16.

Розглянемо ліве меню візуалізатора на рисунку 16.

Воно має 8 підменю: Detector (Детектор): відповідає різним частинам детектора, які нами були розглянуті раніше.



У якості посилання вибрано лише зовнішнє значення HCAL Imported (Імпортовані): недоступні.

Provenance (Походження): перегляньте інформацію про подію на екрані.

Tracking (Відстеження): відповідає системі відстеження. Спочатку показані зіткнення у кластерах. З їх допомогою можна відстежувати реконструйовані треки.

- Si Pixel Clusters:: (червоні точки)
- Si Strip Clusters: (червоні точки)
- Перегляди записів відстеження: (жовті точки)
- Відповідність трекеру Dets: (жовті прямокутники)
- Записані треки (жовті доріжки): Реконструйовані треки (вибрані) електронів і фотонів.

**ECAL:** Реконструйовані потрапляння в циліндр і кінцевий детектори .

- Barrel Rec Hits (Selected) (зелені точки)
- Preshower Rec. Hits : недоступно
- Endcap Rec. Hits (Selected) (зелені точки)

**HCAL** Реконструйовані удари показані в кожній частині детектора.

Barrel Rec. Hits (Selected) (сині розділи)

Endcap Rec. Hits (Selected) (сині розділи)

Outer Rec. Hits (сині розділи)

Forward Rec. Hits (сині розділи)

**Мюон**

- Matching Muon Chambers (вибрані): відповідають реконструйованим мюонам. (червоні порожні томи)
- CSC Segments (вибрані): камери катодних смуг. (рожеві сегменти)
- RPC Rec. Hits (вибрані): Резистивні пластини - хіти. (жовті сегменти)
- DT Rec. Segments (4D) (вибрані): Дрейфові трубки реконструйовані сегменти. (жовті сегменти)
- DT. Rec. Hits: Дрейфні трубки реконструювали попадання. (зелені сегменти)

### **Фізика**

- Electron tracks (Треки електронів): вони з'являтимуться лише в меню, якщо знайдено електрони. (зелені треки)
- Tracker Muons: Трек мюона в трекері. (червоні доріжки)
- Stand-alone Muons (Автономні мюони): виявлення в мюонних камерах. (червоні доріжки)
- Global Muons (вибраний): реконструйований трек мюонів. (червоні доріжки)
- Jets: потік частинок в ECAL і HCAL (жовті піраміди)
- Missing Et (Втрачені частинки): недоступно.

У цьому випадку нас цікавлять два мюони. Ми можемо отримати інформацію про дані, пов'язані з цими двома мюонами, використовуючи два різних варіанти. • Клацання доріжки мюона у візуалізаторі.

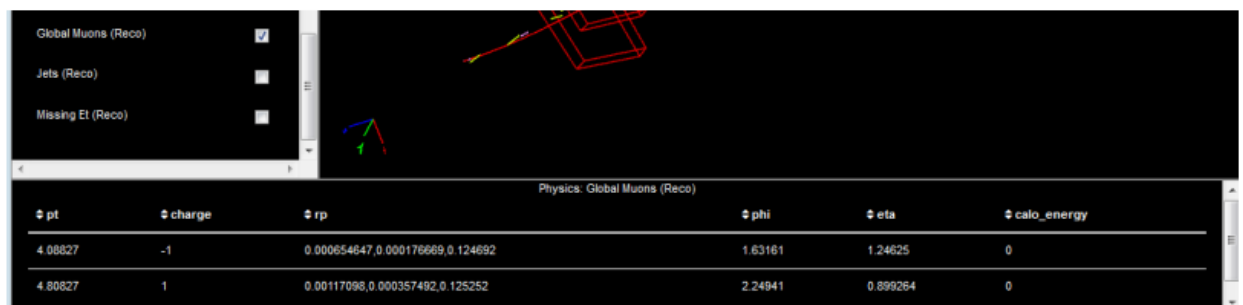
Ви отримаєте це вікно:



Type	Value
pt	4.80827
charge	1
rp	0.00117098,0.000357492,0.125252
phi	2.24941
eta	0.899264
calo_energy	0

Close

- За допомогою пункту меню Global Muons. Просто натисніть на назву і в нижній частині візуалізатора з'явиться нова таблиця з даними. Це буде виглядати так:



pt	charge	rp	phi	eta	calo_energy
4.08827	-1	0.000654647,0.000176669,0.124692	1.63161	1.24625	0
4.80827	1	0.00117098,0.000357492,0.125252	2.24941	0.899264	0

Рис. 18.

Пропозиція використовувати ці дані під час проведення занять, щоб учні могли ознайомитися з різними частинами детектора та наслідками зіткнень різних частинок з утворенням треків – це відмінна альтернатива класичному практичному заняттю. Крім того, на порталі OpenData у папці «Освіта» представлені різні набори даних, які можна демонструвати. У наведеному вище прикладі було розглянуто розпад Z-бозона на два мюони. Залежно від набору даних, які відкриває користувач, візуалізація може бути різною.

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено психолого-педагогічний аналіз вивчення питань фізики мікросвіту у курсі загальноосвітніх навчальних закладів та досліджено сучасний стан викладання цих питань.
2. За результатами аналізу систематизовано найбільш поширені помилки й характерні неточності, які засвідчили труднощі у розумінні учнями основних понять та теорій.
3. Встановлено необхідність проведення узагальнюючих занять, спрямованих на формування в учнів цілісних уявлень про Стандартну модель фізики елементарних частинок як завершену й доказову фізичну теорію.
4. Запропоновано методику введення деяких основних понять з фізики мікросвіту та дібрано відповідні цифрові моделі з метою більш ефективного засвоєння учнями навчального матеріалу.
5. Пропонується термін «частинка» використовувати лише для опису елементарних частинок, складні частинки можуть бути точно означені як системи частинок.
6. Введення «ядерного простору» разом з стандартним вживанням дефініції «ядро» значно полегшує формування сучасних наукових уявлень про модель атома та створює підґрунтя для коректного опису протонів і нейтронів в ньому.
7. Аналогічно, використання ключового терміну «орбітальний простір» виявилось дуже корисним для розуміння учнями моделі атома.

8. Розроблено ефективні способи організації навчально-пошукової діяльності з ознайомлення учнів із властивостями елементарних частинок та методами їх детектування з використанням порталу відкритих даних OpenData, представленого на сайті Міжнародної організації ядерних досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бар'яхтар В.Г. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Підручник для загальноосвіт. навч. закл. / В.Г. Бар'яхтар, Ф.Я. Божинова, М.М. Кірюхін, О.О. Кірюхіна. - Х.: Видваництво "Ранок", 2011. - 320 с.
2. Бугайов О.І. Вивчення атомної та ядерної фізики в школі. Посібник для вчителів / О.І.Бугайов. - К.: Рад. школа, 1982. - 158 с.
3. Булавін Л. А. Ядерна фізика : підручник / Л. А. Булавін, В. К. Тартаковський. – Київ : Знання, 2005. – 431 с 2.
4. Засєкіна Т.М. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (академічний рівень, профільний рівень) / Т.М. Засєкіна, Д.О. Засєкін. - Харків: Синіця, 2011. - 336 с.
5. Каганов М. Об абстракции в физике / М.И.Каганов // Квант. - 2003. - №1. - С. 2-10.
6. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Ч. 2 / В.П.Орехов, А.В.Усова, С.Е.Каменецкий и др., Под ред. В.П.Орехова, А.В.Усовой. - М.: Просвещение, 1980. - 351 с.
7. Пометун О.І. Енциклопедія інтерактивного навчання./О.І. Пометун - К., 2007. - 144 с.
8. Сиротюк В.Д. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (рівень стандарту) / В.Д. Сиротюк, В.І. Баштовий. - Харків: Синіця, 2011. - 304 с.
9. Степанчиков Д. А. Збірник задач з квантової фізики / Д. А. Степанчиков—ЖДУ, 2007. — 36 с.
10. Теория и методика обучения физике в школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студ. пед. вузов / С.Е. Каменецкий, Н.С.Пурышева, Т.И.Носова и др.; Под ред. С.Е.Каменецкого. - М. «Академия», 2000. - 384 с.

11. Терещук С.С. МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ВІДОМОСТЕЙ ПРО ЕЛЕМЕНТАРНІ ЧАСТИНКИ У КУРСІ ФІЗИКИ СТАРШОЇ ШКОЛИ : наукова стаття / С.С. Терещук // НАУКОВІ ЗАПИСКИ (Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти). – в.5. – ст. 166-169.
12. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М.Яворский, А.А.Детлаф. - М.: Наука, 1990. - 624 с.