Шифр «НЕР»

МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ДЕЯКИХ ПИТАНЬ ФІЗИКИ МІКРОСВІТУ В КУРСІ ФІЗИКИ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Суми – 2019

ЗМІСТ

ВСТУП..... 3

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПИТАНЬ ФІЗИКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК У КУРСІ ФІЗИКИ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ 5

1.1. Стандартна модель фізики елементарних частинок як фізична теорія..... 5

1.2. Педагогічні умови вивчення фізики мікросвіту у шкільному курсі фізики 9

2. МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ МІКРОСВІТУ У КУРСІ ФІЗИКИ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ 14

2.1. Методичні основи вивчення окремих питань фізики мікросвіту у шкільному курсі фізики..... 14

2.2 Вивчення основ детектування частинок з використанням CERN Open Data Portal 18

ВИСНОВКИ..... 27

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 28

ВСТУП

Актуальність теми

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:

- 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;
- 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;
- 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. Цим і обумовлена актуальність роботи.

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.

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.

Апробація та впровадження результатів роботи. Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких наукових конференціях: IV Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених «Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики» (Суми, 2018); Міжнародна науково-практична конференція «Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця» (Суми, 2018); впроваджені під час навчання фізики у 2018-2019 навчальному році у Великобобрицькій ЗОШ І-ІІІ ступенів Верхньосироватської сільської ради Сумської області (довідка про впровадження від 7.02.2019).

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПИТАНЬ ФІЗИКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК У КУРСІ ФІЗИКИ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ

1.1. Стандартна модель фізики елементарних частинок як фізична теорія

Визначальним для системи загальної середньої освіти має бути забезпечення відповідності змісту понять та законів шкільного курсу фізики сучасній фізичній науці [4]. 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. Їх перелік поданий у пояснювальній частині навчальних програм з фізики [9]. 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 [9].

Перш за все, під час розгляду Стандартної моделі фізики елементарних частинок як фізичної теорії ключове значення мають **фундаментальні досліди**, що складають її *емпіричний базис*, а також, досліди, що *підтверджують* її логічні *наслідки*.

До фундаментальних можна віднести, насамперед, експерименти, які ставили під сумнів усталені класичні уявлення про будову речовини – це досліди Міллікена з визначення елементарного електричного заряду (1909 р.) та Резерфорда про розсіювання α-частинок речовиною (1911 р.). Так виникли перші теоретичні узагальнення у вигляді квантових постулатів Бора, які отримали подальше підтвердження у дослідах Д. Франка і Г. Герца. З іншого боку, передумовою розвитку теорії стали досліди, 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.,), р+ і р- 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 досліди, 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).

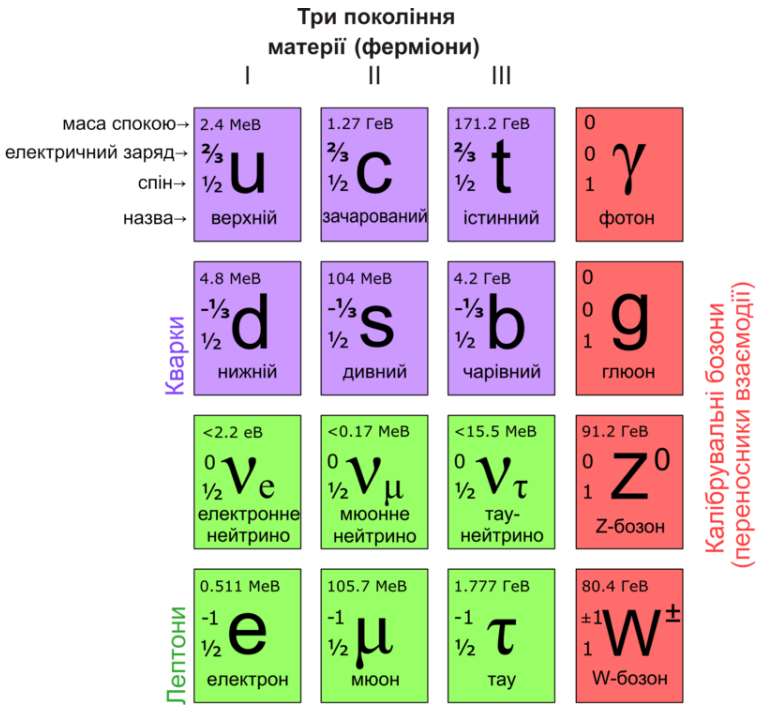


Рис. 1. Стандартна модель елементарних частинок [15]

Теоретичні узагальнення Стандартної моделі сформульовані у вигляді системи рівнянь Лагранжа (т. зв. Лагранжіан) [14]. 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 (γ) 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.

1.2. Педагогічні умови вивчення фізики мікросвіту у шкільному курсі фізики

Щоб з'ясувати стан вивчення основних понять Стандартної моделі фізики елементарних частинок у закладах загальної середньої освіти, було проведено аналіз відповідних освітніх стандартів [3] та навчальних програм з фізики [9].

Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти [3] 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, нами 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 неточностей 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 [8]. 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 α-частинками тонких металевих пластинок. Після цього представляють модель атома, запропоновану Резерфордом [6;7;10].

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).

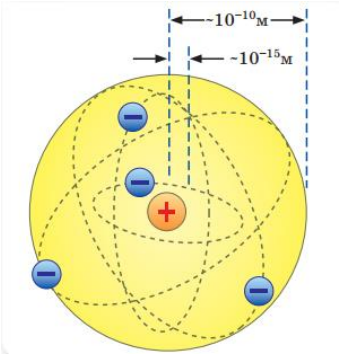


Рис. 2. Модель атома у підручнику з фізики [6]

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

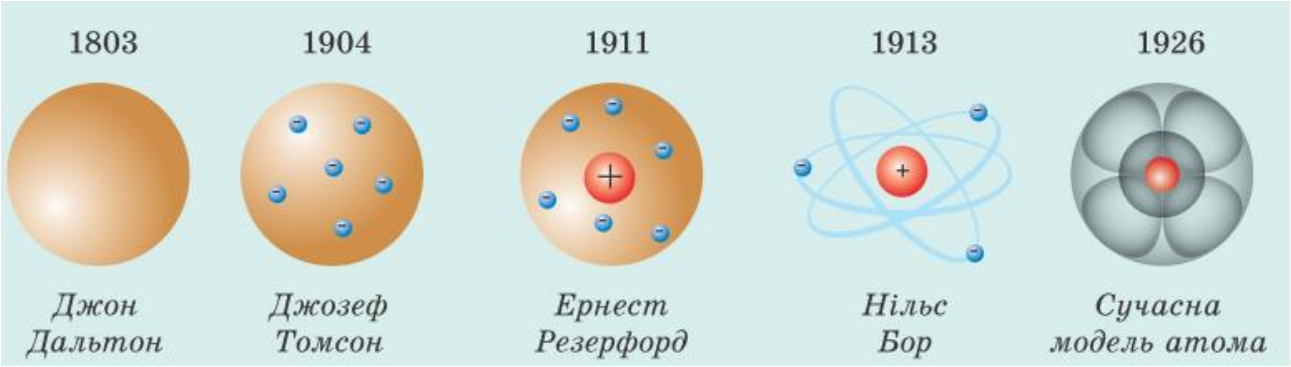
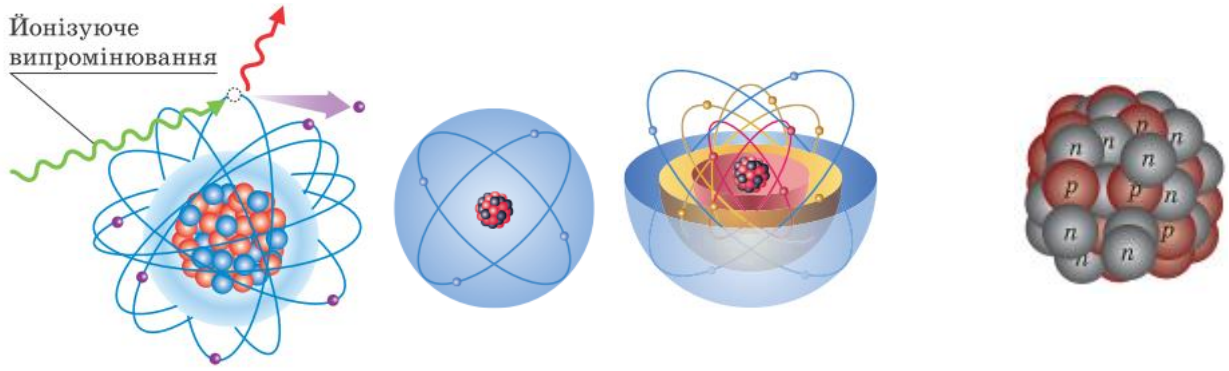


Рис. 3. «Еволюція» моделі атома [1]

На рисунку наведено «сучасну модель атома 1926 року», а також вказано, що «електрони усереднені атома найімовірніше виявити в певній області» [1]. 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.

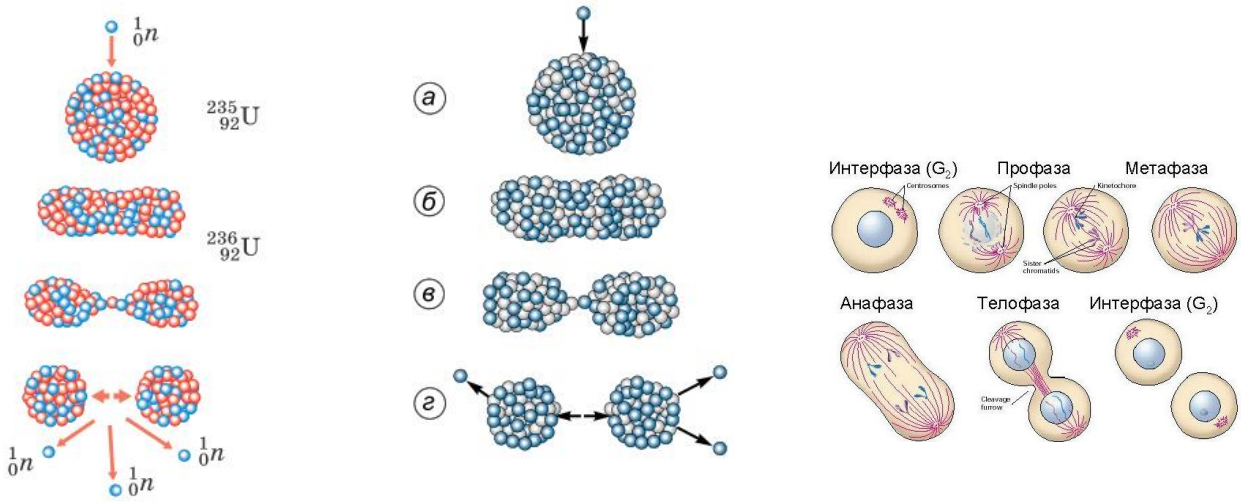
Дещо інші моделі ядра зустрічаються переважно у текстах параграфів, де розглядається радіоактивність, радіоактивне випромінювання та ізотопи. Тут вже вказують, що атомне ядро складається з елементарних частинок – нуклонів (протонів і нейтронів) та говорять про існування, так званих, ядерних сил. Далі основна увага зосереджується на вивченні ізотопів. 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]).



а) б) в)

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

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



а б в

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.

Щодо основного інструменту дослідження елементарних частинок –

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 [1]. 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.).

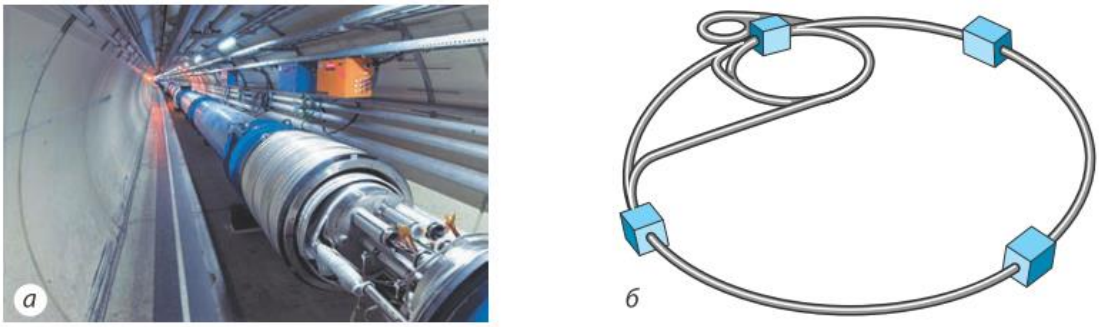


Рис. 6. ВАК у підручнику з фізики

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 мусили 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.

2. МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ МІКРОСВІТУ У КУРСІ ФІЗИКИ ЗАКЛАДІВ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

2.1. Методичні основи 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. Нами запропоновані деякі ілюстрації, спрямовані на запобігання формуванню неправильних уявлень учнів.

Ми пропонуємо 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: матеріальна точка (у механіці), ідеальний газ (у молекулярній фізиці), точковий заряд (в електродинаміці) та 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 і 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 [13].

Варто зауважити, що, замість Стандартної моделі фізики елементарних частинок, ми використовуємо 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.

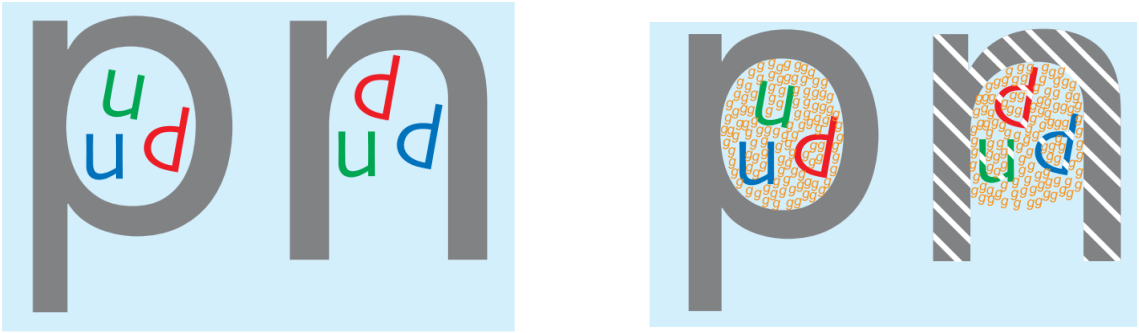
Ще однією проблемою у фізиці мікросвіту є те, як найкраще говорити про частинки та атоми взагалі. Це особливо проблематично у випадку «уявних» частинок. Отже, для підготовки цілісної навчальної одиниці потрібні ретельні корегування ключових термінів та перефразування або відхід від використання термінів, що можуть ввести в оману.

Дійсно, на початку розробки нашого навчального блоку ми виявили кілька термінів та фраз, які учні оцінили як незрозумілі. Однак ми з’ясували, що шляхом внесення незначних корегувань до цих термінів та незначних перефразувань, школярі демонстрували значно краще розуміння. Наприклад, замість використання терміну *"ядро"* ми 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

учнями. Дійсно, наші 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, ми пропонуємо 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 ми пропонуємо 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.



а б

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 антикольрового заряду. Тут ми розробили альтернативу 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 виявилося 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 [11]. 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:

$$\boxed{F_{Л} = q\upsilon B\sin\alpha},$$

де α – кут між напрямками $\vec{\upsilon}$ та $\vec{B}$.

Напрям 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 вказував напрям руху частинки , то відхилений на 90^0 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 $\oplus$ (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 $\vec{B}$ або чим швидше рухається частинка $\vec{\upsilon}$, тим більша сила Лоренца а, отже, більший вигин треку.

Частинки ми можемо детектувати за їхніми траекторіями. Розглянемо деякі основні частинки, які можна ідентифікувати за допомогою детекторів.

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 МеВ/с².

Фотон – стабільна елементарна частинка, що належить до сімейства бозонів. Фотон не має маси та електричного заряду. Фотон є носієм електромагнітної сили.

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.

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 ТеВ 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 ТеВ.

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.

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 [11].

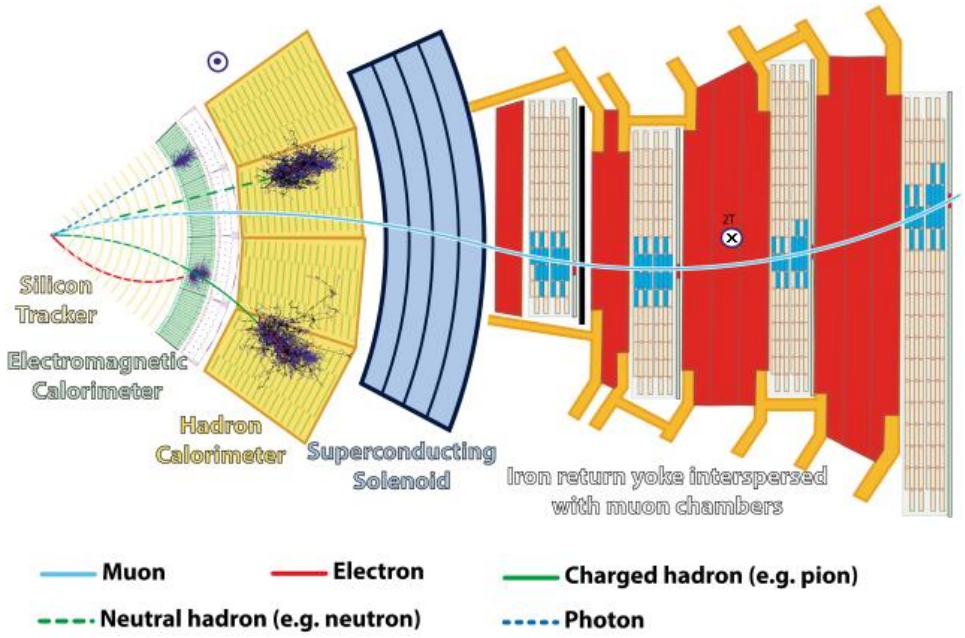


Рис. 10. CMS

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

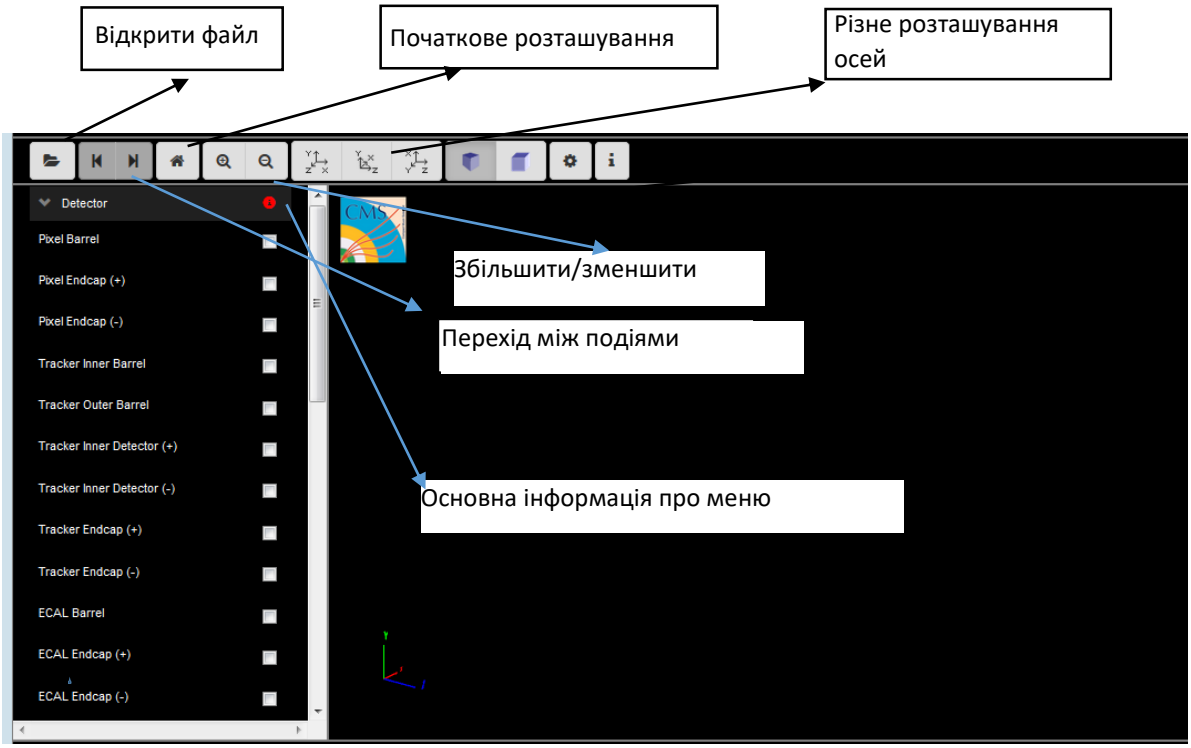


Рис. 12.

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

• З'явиться це вікно:

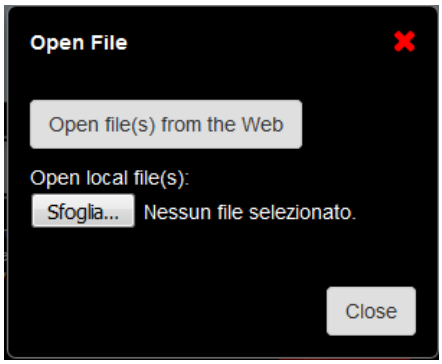


Рис. 13.

• Виберіть відкриття файлів з Інтернету. Ці файли знаходяться в порталі відкритих даних CERN.

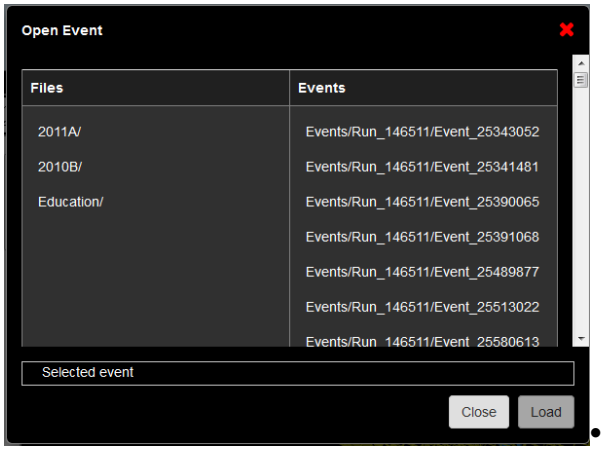


Рис. 14.

У папці «Освіта» можна знайти кілька цікавих прикладів.

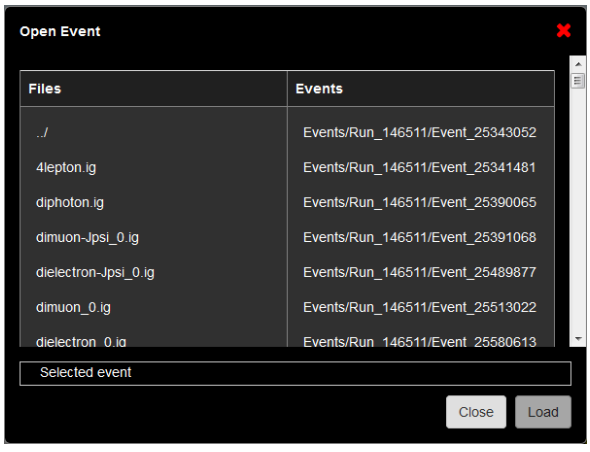


Рис. 15.

Як приклад ми відкриємо файл dimuon_0.ig. Натисніть на подію і виберіть "Завантажити".

Після завантаження виберіть "Закрити". Це те, що ви побачите:

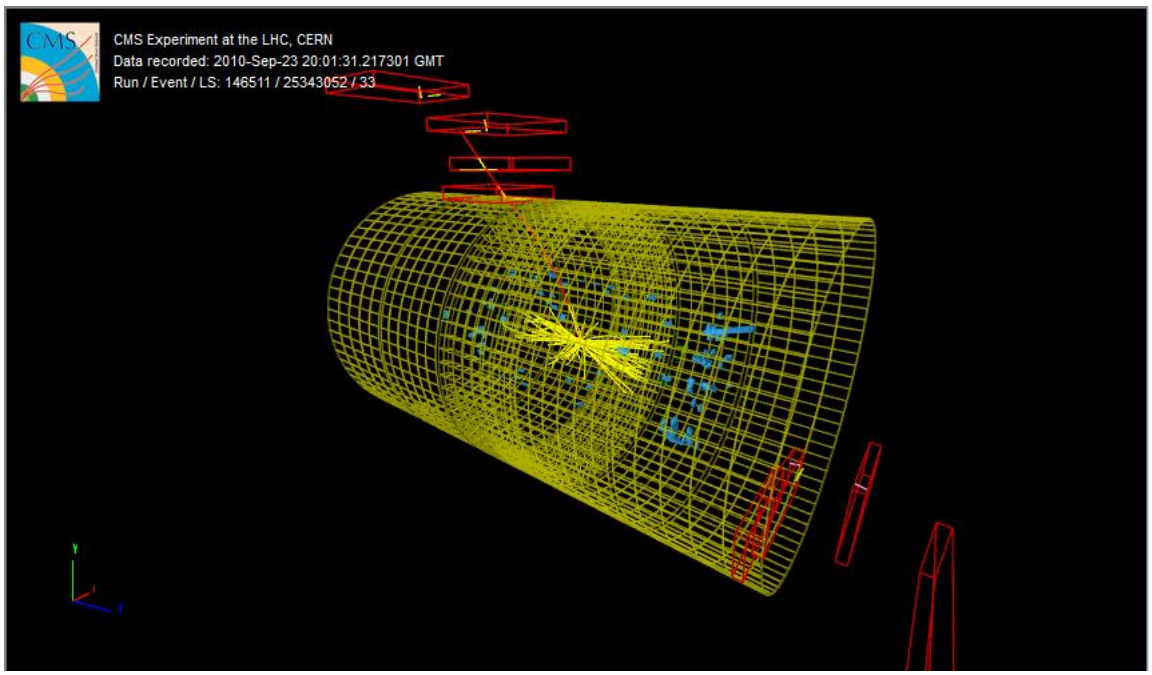


Рис. 16.

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:

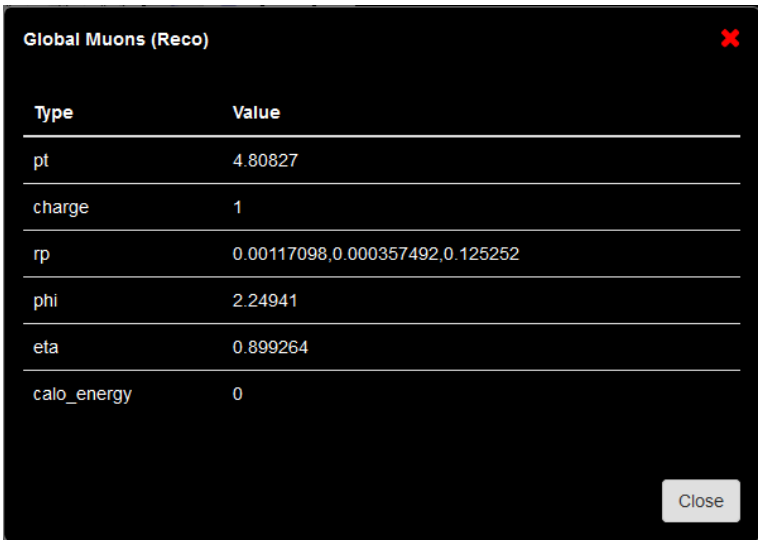


Рис. 17.

• 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:

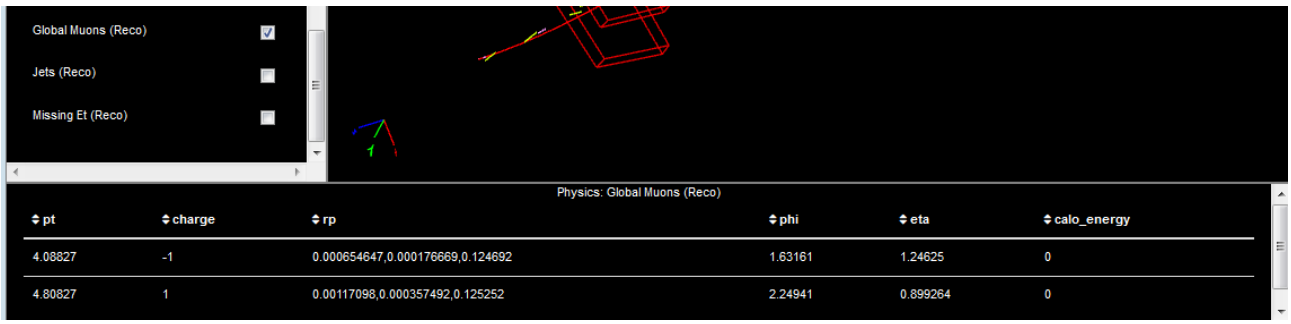


Рис. 18.

Ми пропонуємо використовувати ці дані під час проведення занять, щоб учні могли ознайомитися з різними частинами детектора та наслідками зіткнень різних частинок з утворенням треків.

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. За результатами аналізу систематизовано найбільш поширені помилки й характерні неточності, які засвідчили труднощі у розумінні учнями основних понять та теорій. Встановлено необхідність проведення узагальнюючих занять, спрямованих на формування в учнів цілісних уявлень про Стандартну модель фізики елементарних частинок як завершену й доказову фізичну теорію.

2. Запропоновано методику введення деяких основних понять з фізики мікросвіту та дібрано відповідні цифрові моделі з метою більш ефективного засвоєння учнями навчального матеріалу. Пропонується термін «частинка» використовувати лише для опису елементарних частинок, складні частинки можуть бути точно означені як системи частинок. 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. Аналогічно, використання ключового терміну «орбітальний простір» виявилося дуже корисним для розуміння учнями моделі атома.

3. 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., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.А. Фізика. Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти. ТОВ «Видавництво «Ранок», 2017.
2. Біологія: підручник для 10-го класу (рівень стандарту, академічний рівень). (авт. Балан П.Г., Вервес Ю.Г., Поліщук В.П.). – К., Генеза, 2010.
3. Державні стандарти загальної середньої освіти. – Режим доступу : https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/derzhavni-standarti
4. Завражна О.М, Однодворець Л.В., Пасько О.О., Салтикова А.І.. Методика вивчення деяких питань сучасної фізики у загальноосвітніх навчальних закладах.// Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології, 3 (67), 2017 – С. 186-198
5. Засєкіна Т.М., Засєкін Д.О. Фізика. Підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти. – ТОВ «Український освітянський центр «Оріон», 2018.
6. Засєкіна Т.М., Засєкін Д.О. Фізика. Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти. – ТОВ «Український освітянський центр «Оріон», 2017.
7. Коршак Є.В. Фізика. 10 клас: Підручник для загальноосв. навч. закладів: рівень стандарту / Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко, В.Ф. Савченко. – К. : Ґенеза, - 2010.
8. Лебединська Ю.С. Стан вивчення фізики елементарних частинок у курсі фізики загальноосвітньої школи.// Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця (НПК-2018): матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 6-7 грудня 2018 р. м. Суми - Суми, 2018 – С. 25-26.
9. Освітні програми. – Режим доступу : https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi
10. Сиротюк В.Д. Фізика. Підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти. – ТОВ "Видавництво "Генеза". – 2018.
11. CERN OpenData Portal. – Режим доступу : http://opendata.cern.ch/

12. Wiener G. J., Schmeling S. M. and Hopf M An alternative proposal for the graphical representation of anticolor charge Phys. Teach. accepted (2017).
13. Wiener G. J., Schmeling S. M., Hopf M. Introducing 12 year-olds to elementary particles. Phys. Educ. 52, 2017 – p. 044001-044008.
14. Woithe, J., Wiener, G. J., & Van der Veken, F. F.. Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics!. Physics Education, 52(3), 2017 – p. 034001.
15. https://uk.wikipedia.org/wiki/Стандартна_модель#/media/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles_ua.png