

УДК 372.853.53

Микола Садовий,
доктор педагогічних наук, професор,
проректор з наукової роботи
Кіровоградського державного
педагогічного університету
імені Володимира Винниченка

ДОТРИМАННЯ ПРИНЦИПУ ІСТОРИЗМУ ПРИ ВИВЧЕННІ МОДЕЛЕЙ БУДОВИ АТОМА У СТАРШІЙ ШКОЛІ

У статті проведено аналіз революційних та еволюційних змін в історії становлення поглядів вчених на одну з фундаментальних частин сучасної фізики (моделі будови атома) та особливості її висвітлення в змісті фізичної освіти в загальноосвітній школі на основі використання принципу історизму.

Ключові слова: модель атома, теорія атома, ядро, електрон.

В статье проведен анализ революционных и эволюционных изменений в истории становления взглядов ученых на одну из фундаментальных частей современной физики (модели строения атома) и особенности ее освещения в содержании физического образования в общеобразовательной школе на основе использования принципа историзма.

Ключевые слова: модель атома, теория атома, ядро, электрон.

The article conducts analysis and evolution's revolutionary changes in the history of the formation of scientists' opinions on one of the fundamental parts of physics Suchan (model of atomic structure) and especially its coverage of the content of physical education in secondary school based on the use of the principle of historicism.

Key words: model of the atom, the theory of the atom, the nucleus, the electron.

Удосконалення фізичної освіти є однією з центральних проблем освітянської галузі. Вона постійно перебуває в центрі уваги світового наукового та громадського співтовариства. Нові вимоги до рівня наукової грамотності та загальної культури суспільства диктується завданнями виживання людини як біологічного виду і соціального об'єкта, а також взаємозв'язками умов процвітання суспільства з задоволенням інтелектуальних потреб кожної людини. Перебудова системи загальної середньої освіти в Україні започаткована Державною національною програмою «Освіта» («Україна XXI століття»), передбачає посилення

методологічної спрямованості та впровадження нової концепції фізичної освіти, альтернативних навчальних програм, підручників та посібників з фізики.

Проблема історизму в навчанні фізики на сучасному етапі її розвитку здебільшого пов'язується з генералізацією знань на основі фундаментальних фізичних теорій. Крім того, дотримання при вивченні фізики принципу історизму сприяє підвищенню зацікавленості учнів до вивчення цієї науки.

Мета дослідження полягає в проведенні аналізу революційних та еволюційних змін в історії становлення поглядів вчених на одну з фундаментальних частин сучасної фізики (моделі будови атома) та особливості її висвітлення в змісті фізичної освіти в загальноосвітній школі на основі використання принципу історизму.

Навчання моделей атома у методичних дослідженнях практично не розглядалося. У посібниках та підручниках з курсу загальної фізики середньої та вищої школи вивчення моделей атома пов'язане з іменами Томсона (так вказано у підручниках) та Е. Резерфорда. Прізвище Томсон зустрічається у більше ніж 20 темах фізики. У цьому зв'язку постає ряд історичних неточностей. Незрозуміло про якого Томсона йде мова, коли розглядаються моделі атома. Відомими вченими були Дж. Дж. Томсон, його син Дж. П. Томсон, У. Томсон (всі лауреати Нобелівської премії). Крім цього всі три займалися моделюванням будови атома. Ми вважаємо, що слід у змісті курсу фізики визначити, про якого Томсона йде мова при розгляді того чи іншого явища.

В історії фізики відомі й інші дослідники, які успішно займалися вивченням будови атома і мали своє бачення його структури.

Ще у 1886 р. великий російський вчений О. М. Бутлеров висловив думку про те, що атом подільний. Цього ж року М. Гольдштейн відкрив додатньо заряджені частки, у яких заряд був рівний заряду електрона, але протилежний за знаком, а маса частинок співпадала з масою атома водню. Ці частки були названі протонами.

Мало відомими є і роботи Б. М. Чечеріна (1828–1904) та М. О. Морозова (1854–1946). Вони ще у 1888 році вважали, що атом є системою, яка складається із позитивно зарядженої центральної маси і оточуючих його від'ємних оболонок. Частинки з від'ємним зарядом мають найбільшу рухливість, а загальне число оболонок зростає із збільшенням атомної маси елемента. Між центральною масою і масами, що обертаються, діє сила притягання, подібно силі тяжіння. Атом нагадує сонячну систему.

У 1901 р. Ж. Перен висловив думку, що атом складається із позитивно зарядженого ядра, оточеного від'ємними електронами, які рухаються за визначеними «орбітами» з швидкостями, які відповідають частотам світлових хвиль.

У. Томсон у 1902 р. у статті «Епінус атомізований» запропонував власну модель, яка полягала у тому, що атом – це куляста хмарка позитивної електрики з вкрапленими в неї електронами, які знаходяться у деяких стійких положеннях, але можуть зміщуватися і здійснювати коливання під дією зовнішнього електричного поля, рис. 1.

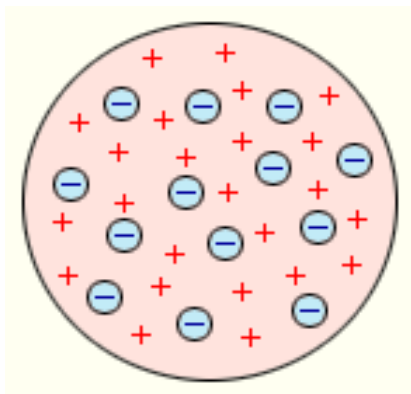


Рис. 1. Модель атома У. Томсона

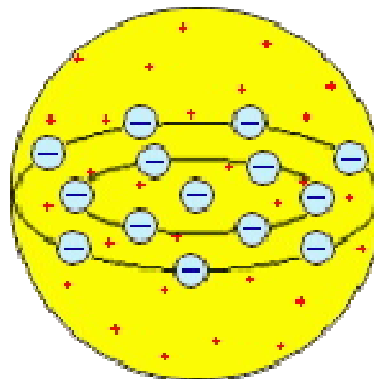


Рис. 2. Модель атома Дж. Дж. Томсона

Найпростіший атом – атом водню – представляє собою позитивно заряджену кулю, у центрі якої знаходиться електрон.

На нашу думку, доцільно більш ґрунтовно розглянути з учнями як Дж. Дж. Томсон у 1904 р. описав іншу модель атома. Він продовжив ідеї У. Томсона, але електрони розмістив всередині позитивно зарядженої кулі, що має розміри атома, розміщені в одній площині і утворюють концентричні кільця. Загальне число електронів в атомі зростає з атомною масою елементів. Електрони можуть знаходитися всередині позитивно зарядженої кулі у спокої, а можуть обертатися навколо її центра.

Доступним для учнів є спосіб Дж. Дж. Томсона експериментальної перевірки запропонованої моделі за допомогою запозиченої ідеї, закладеної у методі дослідження фізичних явищ американського фізика А. Н. Майера (1879 р.), але для інших цілей. Він полягав у наступному. Коркові пробки з'єднувалися в диск. В них зверху вставлялися однакові намагнічені голки однаковим полюсом до верху, вони моделювали електрони. Диск плаває на воді, над плаваючим диском поміщається магніт протилежним полюсом до полюса голок. Він слугує прообразом додатньо зарядженої сфери. Таку модель можна виготовити у будь-якій школі.

Далі визначаються наближені розміри прообразу такої позитивно зарядженої кулі, визначені за законами класичної електростатики. Вони узгоджувалися з реальними розмірами атомів $R \approx 10^{-8}$ см. Якщо напруженість електричного поля всередині кулі $\mathbf{E}(r) = \frac{e}{R^2} \mathbf{r}$ ($0 \leq r \leq R$), де e –

додатній заряд кулі, то «квазіпружна» сила, що діє на електрон $F(r) = \frac{e^2}{R^2} r = -kr$. Тоді електрон буде здійснювати коливання з частотою.

Радіус додатньо зарядженої кулі можна оцінити як $R = \left(\frac{e^2}{m\omega^2}\right)^{\frac{1}{3}}$. Для частот спектру, що випромінюється атомами ($\lambda \approx 0,6$ мкм і $\omega \approx 3 \cdot 10^{15}$ рад/с) величина $R \approx 3 \cdot 10^{-8}$ см.

З допомогою такої теорії Дж. Дж. Томсон пояснює природу лінійчатих спектрів та хімічних закономірностей елементів. Поняття хімічного елемента зводиться до поняття про атом. Звідси висновок, що запропонована теорія пояснює хімічні властивості елементів. Розміщення електронів по кільцях у моделі Дж. Дж. Томсона співставляється з подібністю до вертикальних стовпців періодичної таблиці. Вчений число електронів у атомі обґрунтовував висновками з дослідження поглинання катодних променів речовиною. Коефіцієнт поглинання катодних променів дослідник зв'язував з числом електронів у атомі речовини. Тоді число електронів у атомі рівне атомній масі речовини. Рівність числа електронів у атомній масі Дж. Дж. Томсон визначав з закономірностей дисперсії світла при проходженні через одноатомний газ.

Таким чином учні можуть зробити висновок: Дж. Дж. Томсон довів, що до складу атомів входять малих розмірів від'ємно заряджені електрони; електрони розміщені по кільцях у атомі, що підтверджено дослідями Майєра і Вуда; обґрунтував кількість електронів у атомі. Головним недоліком моделі Дж. Дж. Томсона була помилка у визначенні розміщення додатного заряду у атомі.

Логічно повідомляємо учням, що дослідження продовжувалися. Японський фізик Х. Нагаока у 1904 р. запропонував свою планетарну модель атома, рис. 3. У ній атом подібний будові планети Сатурн. Роль самої планети відіграє позитивно заряджена куля. Це основна частина ядра, навколо якої, подібно кільцям Сатурна, обертаються електрони.

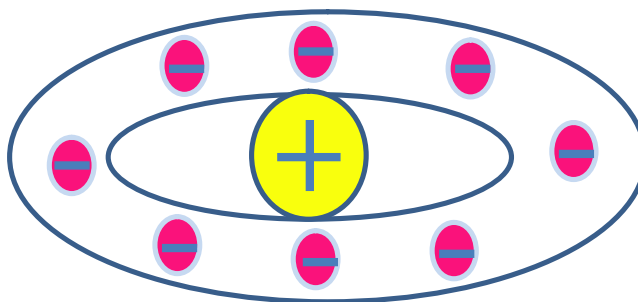


Рис. 3. Модель атома Нагаока.

У цей же час Ф. Ленард (1904 р.) вислови ідею, що атом складається із нейтральних частинок, кожна з яких є електричним дуплетом, «дінамидами». Частинки мають досить малий радіус, порядку $3 \cdot 10^{-12}$ м, а відповідно більша частина атома є пустою, рис. 4.

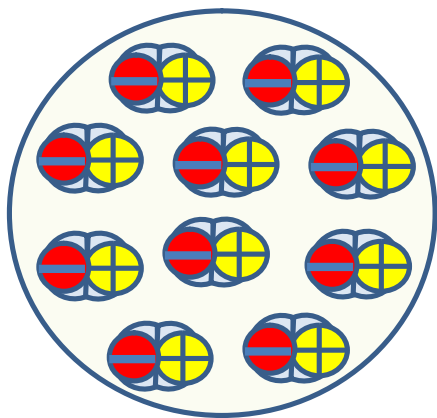


Рис. 4. Модель атома Ленарда

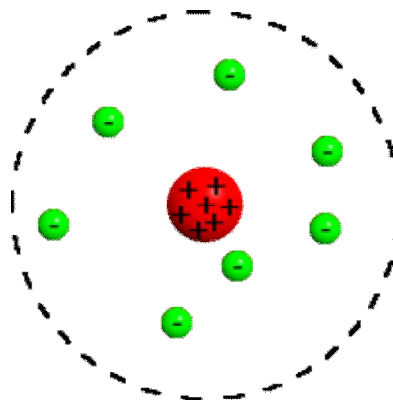


Рис. 5. Модель атома Резерфорда

Слід наголосити увагу учнів на історичних фактах. Свою модель атома Е. Резерфорд проголосив у 1911 році після проведення дослідів з розсіювання альфа частинок на тонкій фользі золота, рис. 5. Основний висновок вченого полягав у тому, що майже вся маса атома знаходиться у центрі додатньо зарядженого ядра, навколо якого рухаються електрони, як планети навколо Сонця. Позитивний заряд, зосереджений у ядрі атома. Потенційна енергія взаємодії альфа частинок з таким ядром рівна

$$U = \frac{2Zq_e q_\alpha}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

, де Z – число додатніх зарядів ядра. Число частинок, розсіяних за одиницю часу в одиничний тілесний кут рівне $d\varphi = \sin\varphi d\varphi d\alpha$ і

$$\frac{dN}{d\varphi} = n \left(\frac{2q_e Z q_\alpha}{4\pi\epsilon_0 4E_\alpha} \right)^2 \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

визначалося за формулою:

де n – густина потоку альфа частинок; φ – кут розсіювання альфа частинок, E_α – їх енергія. З формули випливало, що для даного матеріалу фольги, густини потоку і повної енергії альфа частинок E_α і величина, що підтвердилося проведеними дослідями. Крім того, формула Резерфорда дозволила визначити число Z позитивних зарядів у ядрі атомів матеріалу, що розсіює фольга. Виявилось, що Z відповідає порядковому номеру елемента в періодичній таблиці Д. І. Менделєєва. З висновку про нейтральність атома безпосередньо впливало, що число електронів у атомі також рівне Z .

Суперечності між класичною моделлю будови атома Резерфорда і явищами, що реально спостерігаються, показані у таблиці 1.

Порівняння теоретичних та експериментальних результатів Е. Резерфорда

№ п/п	Теоретичні передбачення	Результати експерименту
1	Ядро-електрон складає нестійку систему	Атоми є стійкими структурами речовини
2	Електрони з атома постійно випромінюють енергію.	Випромінювання здійснюється лише збудженими електронами .
3	Спектр випромінювання атомів є суцільним.	Випромінювання атомів має лінійний спектр. Він залежить від будови і властивостей атомів різних речовин.

Недоліком планетарної моделі була її несумісність із законами класичної фізики. Якщо електрони рухаються навколо ядра як планети навколо Сонця, то їхній рух прискорений. Отже, за законами класичної електродинаміки вони повинні були б випромінювати електромагнітні хвилі, втратити енергію й падати на ядро. Але ядро є стійкою системою.

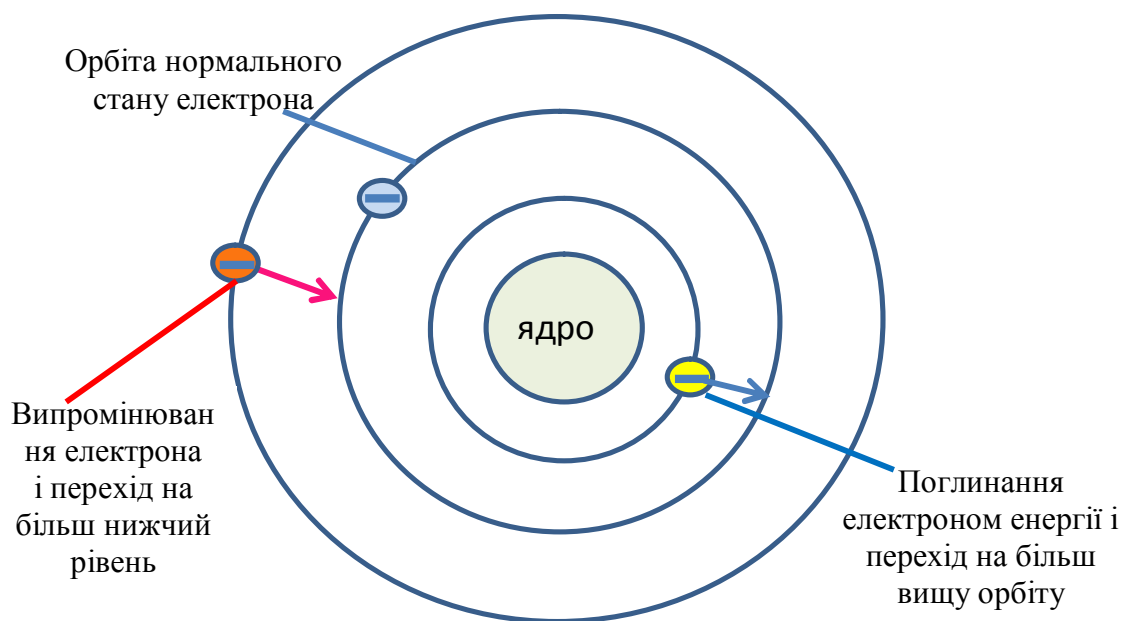


Рис. 6. Модель атома Бора

Н. Бор зрозумів, що моделі Б. М. Чечеріна, М. О. Морозова, Х. Нагаока, Е. Резерфорда, У. Томсона, Дж. Дж. Томсона є обмеженими, але раціональними. Основний недолік пропонуваніх планетарних моделей полягав у їх несумісності із законами класичної фізики. Якщо електрони рухаються навколо ядра як планети навколо Сонця, то їхній рух прискорений, а тому за законами класичної електродинаміки вони повинні були б випромінювати неперервно, а це не співпадало з дослідом.

Модель Е. Резерфорда у частині розміщення ядра не є суперечливою. Слід зосередити увагу учнів на тому, що залишилося розібратися з розміщенням і поведінкою електронів у атомі. Щоб усунути недоліки моделей атома вказаних вчених Н. Бор ввів припущення, що електрони в атомі можуть рухатися тільки на певних стаціонарних орбітах, рис. 6.

На цих орбітах електрони не поглинають і не випромінюють енергію. Випромінювання здійснюється тільки в моменти переходу електрона з однієї орбіти на іншу. Стаціонарними орбітами є лише ті орбіти, на яких кількість руху електрона рівна цілому числу постійних Планка: $m_e v r = n \hbar$, де m_e – маса електрона, v – швидкість руху електрона, n – номер орбіти, r – радіус орбіти.

Використовуючи закони класичної механіки про рівність сили притягання електрона зі сторони ядра і доцентровою силою, що діє на обертаючий електрон, Н. Бор одержав вирази для радіуса стаціонарної

орбіти і енергію електрона на цій орбіті.

$$R_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{Zm_e e^2} n^2,$$

$$E_n = -\frac{Z^2 m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2 n^2}.$$

Поряд з позитивними наслідками теорія Бора мала недоліки:

1. В теорії зроблено намагання усунути її внутрішню суперечливість та непослідовність, що проявляється через поєднання класичної фізики та квантово-механічних постулатів.

2. Теорія не змогла пояснити відмінність інтенсивностей спектральних ліній випромінювання, тобто не було пояснення тому, що деякі енергетичні переходи виявляються більш вірогідними, ніж інші.

3. Користуючись її положеннями, не можна створити теоретичні моделі більш складних атомних систем, наприклад, гелію у якого є лише два електрони в атомі.

Було відомо, що спектри випромінювання газів представляють собою окремі лінії або групи (серії) близько розташованих ліній, причому кожному газу відповідає свій лінійчатий спектр. І. Бальмер (1885 р.) дослідив спектр випромінювання водню і встановив, що спектр може бути

описаний наступною формулою $\nu = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, де $R = R'$ – постійна Рідберга; m, n – цілі числа. При цьому $n = m+1, m+2, m+3, \dots$, число m визначає серію, а n – окремі лінії в спектрі. При дослідженні спектрів випромінювання різних газів були отримані наступні емпіричні формули, що підтверджували з високим ступенем точності експериментальні дані, але вони не мали теоретичного обґрунтування:

$m=1$	серія Лаймана (УФ діапазон) $\nu = R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4 \dots$
$m=2$	серія Бальмера (видимий діапазон)	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5 \dots$
$m=3$	серія Пашена (ІК діапазон)	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6 \dots$
$m=4$	серія брекетах (ІК діапазон)	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7 \dots$
$m=5$	серія Пфундом (ІК діапазон)	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8 \dots$
$m=6$	серія Хемфрі (ІК діапазон)	$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	

На рисунку 7 зображені експериментальні переходи, обраховані згідно вказаних формул.

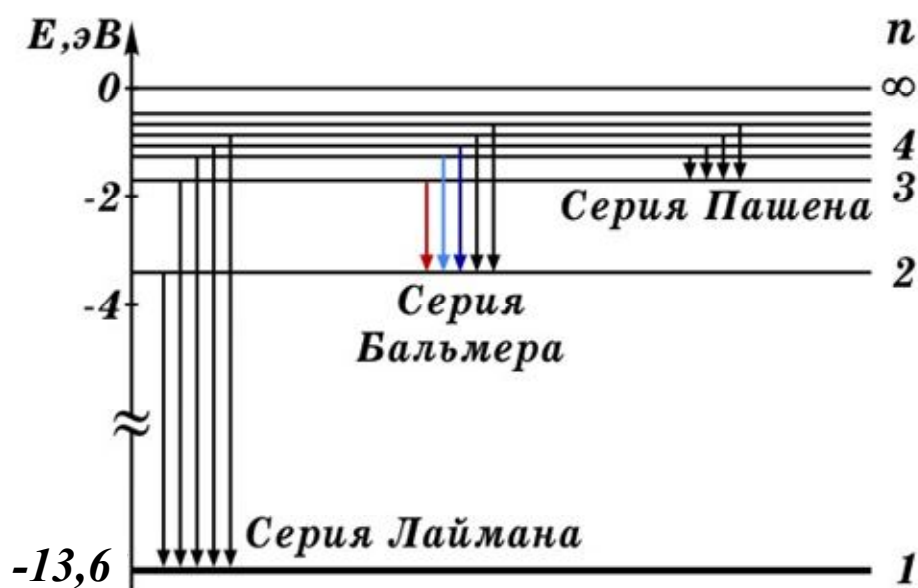


Рис. 7. Енергетична модель атома

В наступні роки завдяки роботам М. Борна, Зомерфельда, Л. де Бройля були побудовані дві теорії квантової механіки – теорії поведінки електрона в атомі – Е. Шредінгера та В. Гейзенберга. П. Діраком, П. Дебаєм та іншим вченим розвинено послідовну квантову теорію атома.

На рисунку 8 зображено модель атома згідно сучасних уявлень.

Класична фізика бере свій початок з XVII ст. і одержує завершення в кінці XIX ст. Найбільш яскраві сторінки в її історії вписали такі вчені як І. Ньютон, М. Фарадей, Дж. Максвелл. Основою класичної фізики, її наріжним каменем було вчення про неперервність змін. Проте на самому

початку ХХ століття відбувся перегляд основ фізики з відкриттям німецького фізика Макса Планка (1858–1947). До свого відкриття він прийшов, вивчаючи теплове випромінювання абсолютно чорних тіл.

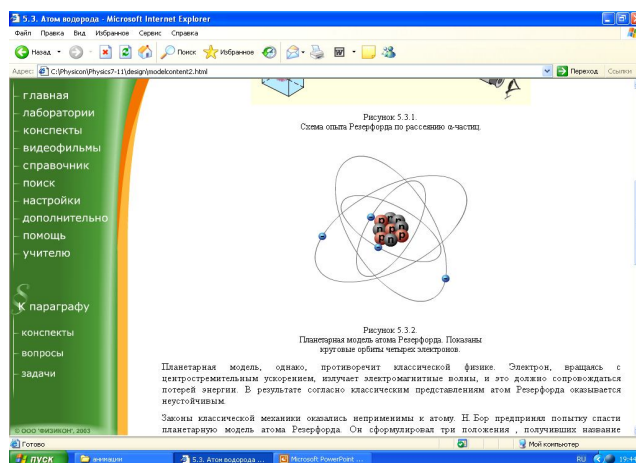


Рис. 8. Узагальнена модель атома

Таким чином, у статті розкрито основний зміст історичних моделей атома, показана їх відмінність і обмеженість. Усунення вказаних неточностей та означення авторських атомних моделей буде сприяти формуванню наукових знань учнів, які відповідають науковій картині світу. Такий підхід буде сприяти утвердженню у свідомості учнів думки, що наукова істина встановлюється в результаті складних теоретичних та практичних пошуків.

Знання з історії науки сприяють кращому розумінню учнями сучасного стану фізики та її основних напрямків, отже перспектива подальших досліджень пов'язана з історичним аналізом становлення інших фундаментальних фізичних понять, теорій, законів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Густав Герц Из первых лет квантовой физики / Густав Герц // УФН. – М., 1977. – Т. 122, Вып. 3. – С. 497.
2. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. Астрономія. 7–12 класи. – Київ : Ірпінь, 2005. – 80 с.
3. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи. Профільний рівень [Електронний ресурс]. – Київ, 2010. – Режим доступу до програми : <http://www.mon.gov.ua/index.php/ua/diyalnist/osvita>.
4. Садовий М. І. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття : навчальний посібник [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] / Садовий М. І., Трифонова О. М. – Кіровоград : ПП «Ексклюзив-Систем», 2012. – 415 с.