

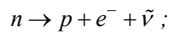
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛОГІЙ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕМИ «ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ»

У статті запропонована система фізичних аналогій та теоретично обґрунтовано дидактичну доцільність використання їх при викладанні теми „Ядерні реакції” в курсі ядерної фізики. Запропонована таблиця таких аналогій до фотоядерних реакцій. Вказані межі застосування таких аналогій.

Ключові слова: ядерні реакції, метод аналогій.

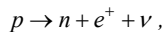
Постановка проблеми. При викладанні теми „Ядерні реакції” в курсі ядерної фізики викладачі часто стикаються з проблемою важкого сприйняття студентами матеріалу цього розділу. Часто для студентів стають незрозумілими питання взаємного перетворення частинок в реакціях, умови застосовності корпускулярного і хвильового підходу до пояснення механізмів протікання ядерних реакцій, фізичний зміст порогу, перерізу, виходу, каналів реакції, закони збереження, правила відбору, тощо. Як приклад наведемо ситуацію з поясненням β -розпаду, часто незрозумілим пересічному студенту.

ЗАДАЧА. Реакція β^- – розпаду пояснюється перетворенням нейтрона в протон за схемою:



Це можливо, бо $m_n > m_p$ на $2,5m_e$ і нейтрон дійсно нестабільний.

Як пояснити реакцію β^+ – розпаду за схемою:



якщо $m_p < m_n$ і вільний протон дійсно так не розпадається, він стабільний?

Складність теми і всього розділу ядерної фізики приводить до того, що студент заздалегідь погоджується з думкою, що навчальний матеріал з цього розділу фізики знаходиться за межами його наочно-образного мислення і практично не доступний для розуміння. У таких умовах викладачі вимушені шукати прийоми і засоби, які б полегшували вивчення тем ядерної фізики. В ролі дуже дієвого засобу полегшення сприйняття нової фізики часто використовують метод аналогій.

Аналіз актуальних досліджень. Про види аналогій і їх застосування в квантовій фізиці докладно викладено в [5; 6]. У [5] наведений список авторів, які займалися впровадженням методу аналогій в навчальний процес викладання фізики і, зокрема, таких її розділів як квантова, атомна і ядерна фізики. Необхідною умовою успішного застосування цього методу за думкою багатьох авторів є вдалість підбору таких аналогій, з якими студент стикався раніше при вивченні попередніх розділів фізики, чи навіть інших предметів.

Мета статті: запропонувати аналогії, які могли б значно полегшити студентам вивчення теми „Ядерні реакції”, обґрунтувати коректність їх застосування і вказати їх відмінності від об’єкту вивчення.

Виклад основного матеріалу. При вивченні ядерних реакцій перш за все ми пропонуємо звертати увагу студентів на аналогію між ядерною і хімічною реакцією. Такі аналогії вбачають цілий ряд авторів [7, с.105; 8, с.410-413]. Для запису ядерних реакцій використовують найбільш наочний і універсальний запис, аналогічний прийнятному в хімії: зліва пишеться сума частинок, потім ставиться стрілка, яка вказує напрямок протікання процесу, після чого справа пишеться сума кінцевих продуктів реакції. Наприклад, $p + {}^7_3\text{Li} \rightarrow \alpha + \alpha$.

Але захопившись аналогічністю запису ядерних і хімічних реакцій часто забувають наголошувати про їх принципову відмінність. Під час хімічних реакцій відбувається перетворення молекул – з розпадом складної молекули на більш прості, або з утворенням молекули з більш простих, або з обмінами атомами в реагуючих молекулах. Проте елементарний (атомний) склад речовин в таких реакціях не змі-

нюється. Під час же ядерних реакцій відбувається значно глибше перетворення речовини. Тут відбувається перетворення самих елементів, якщо користуватись мовою хімії.

Як і в хімічних реакціях, в ядерних – енергія в одних випадках виділяється, а в інших, навпаки, поглинається. Реакції першого типу є екзоенергетичними (відповідно до назви екзотермічних хімічних реакцій), другого типу – ендоенергетичними. У першому випадку енергія реакції Q позитивна, у другому – негативна. Глибока різниця між хімічними і ядерними реакціями проявляється ще й в тому, що енергія ядерних реакцій на кілька порядків величина більша ніж енергія хімічних реакцій. Наприклад, при утворенні 1 моля води (18г) звільняється енергія приблизно в 400000 разів менша, ніж поглинається при утворенні 18 г речовини в реакції ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$.

Для пояснення ядерних реакцій, на нашу думку, корисно приводити аналогії, вперше запропоновані Я.І. Френкелем. Він, виходячи з теорії компаунд-ядра Н. Бора (1936 р.), підійшов до пояснення процесу розпаду ядра зі своєрідного погляду, який виявився дуже плідним. Якщо розглядати ядро як фермі-рідину або фермі-газ [3, с.292-293; 4, с.278-280; 7, с.134-136; 8, с.422-426;], то при такому підході енергія ядра (ансамбль великої кількості частинок, які безперервно обмінюються своєю енергією) є аналогом теплової енергії руху молекул цієї фермі-рідини або фермі-газу. Користуючись методами статистичної термодинаміки, можна ввести поняття ентропії і температури ядра. З цього погляду підвищення середньої енергії частинок ядра при захопленні падаючої частинки можна описати через підвищення температури, а виліт частинки – через випаровування, яке супроводжується зниженням температури.

Середня кінетична енергія нуклонів в ядрі 10 MeV , що відповідає для ідеального газу температурі $11,6 \cdot 10^{10}\text{ K}$. Проте з точки зору термодинамічних умов в ядрі цю температуру слід вважати низькою. Це впливає з того, що захоплення однієї частинки ядром помітно підвищує, а „випаровування” помітно знижує температуру ядра. Якщо характеризувати температуру ядра величиною kT , то для ядер з $A = 100$ при енергії збудження $5\text{-}20\text{ MeV}$ вона складає $0,9\text{-}1,5\text{ MeV}$, а для ядер з $A = 200$ і при таких же енергіях збудження – $0,7\text{-}1,2\text{ MeV}$.

Таку аналогію „нагрівання” ядра і „випаровування” нуклонів часто використовують для якісного передбачення ходу реакції при різних енергіях налітаючих частинок. Зрозуміло, що коли ця енергія мала, то вилітання частинки з ядра малоймовірно, а коли вона становить декілька сотень MeV „нагрівання” є достатньо високим і стає можливим „випаровування” навіть декількох частинок. Я.І. Френкель, Л.Д. Ландау, Н. Бор використали аналогічні термодинамічні міркування для кількісних розрахунків. Н. Бор [1, с.337] ілюструє термодинамічну картину ядерної реакції (див. *рис. 1*). На малюнку справа зображений ядерний „термометр” з відповідними для ядерних температур поділками 10^{10}град C або MeV . Спочатку ядро перебуває в нормальному стані (1), його контури гладенькі, а температура дорівнює нулю. Про попаданні нейтрона з кінетичною енергією 10 MeV енергія ядра збільшується на 18 MeV , а температура підвищується приблизно до 1 MeV (2). При цьому ядро починає коливатись, що ілюструється його неправильним контуром. На наступному малюнку (3) показано вилітання („випаровування”) частинки з ядра; його температура при цьому спадає, але не повертається до нуля, оскільки малоймовірно, щоб частинка забрала всю енергію збудження. Ко-

ливання ядра тривають, але з меншою амплітудою. На останньому етапі (4) решта енергії збудження виноситься у вигляді електромагнітного випромінювання, і температура спадає знову до нуля.

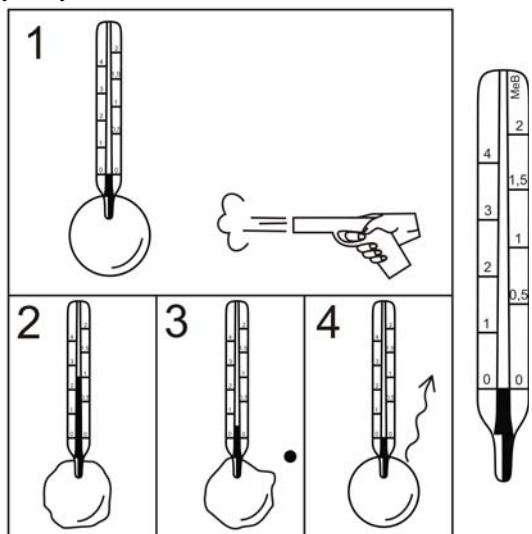


Рис. 1

Недоліки термодинамічних аналогій ядерних реакцій:

1. Застосування поняття температури складеного ядра некоректне, оскільки число частинок навіть у важких ядрах не настільки велике, щоб можна було вводити фізичні величини статистичної фізики.
2. Термодинамічна картина збудження ядра і його розпаду повинна бути уточнена в тому розумінні, що нуклони ядра є не простим газом, а виродженим фермі-газом. У ядрі частина нуклонів “заморожена” і енергія збудження розподіляється не між всіма нуклонами, а лише між “не замороженими”. Чим менше їх у ядрі, тим вища буде температура. Однак, при збільшенні енергії збудження відбувається “розморожування” нуклонів ядра (нуклони з заповнених рівнів піднімаються на більш високі незаповнені енергетичні рівні). В [4, с.279] показано, що число нуклонів, між якими відбувається розподіл енергії збудження, зростає пропорційно \sqrt{E} , і температура ядра зростає за таким же законом. Таким чином, при збільшенні енергії збудження температура фермі-газу зростає повільніше ніж для звичайного газу, для якого температура зростає пропорційно енергії газу.
3. В моделі випаровування кутовий розподіл вилітаючих частинок з ядра повинен бути ізотропним, оскільки складене ядро в процесі встановлення теплової рівноваги повністю “забуває” як воно утворилось. Експеримент показує явно виражену анізотропію.
4. Нейтрони, що “випаровуються” з ядра повинні мати максвелівський розподіл за швидкостями. Для низько-енергетичної частини спектру вилітаючих нейтронів він дійсно має горб максвелівського типу, але при високих енергіях він спадає повільніше, ніж в розподілі Максвела (має „немаксвелівський” хвіст).
5. „Випаровування” повільних протонів неможливе із-за кулонівського бар’єру. Експеримент показує виліт протонів із ядра зі значною інтенсивністю в реакціях на середніх і навіть важких ядрах.

Для опису взаємодії нейтронів з ядром в реакціях (n, p) , (n, n') , (n, α) та інших надзвичайно продуктивною є оптична аналогія і, побудована на її основі, оптична модель ядра. Згідно цієї моделі [3, с.294-295; 7, с.136-138; 8, с.431], ядро є суцільним середовищем, яке поглинає і заломлює дебройлівські хвилі падаючих на нього частинок. В квантовій механіці доводиться, що аналогом комплексного показника заломлення такого середовища є комплексний потенціал ядерної взаємодії. Користуючись такою аналогією можна показати, що пружне розсіяння частинки на ядрі аналогічне розсіянню світла без зміни частоти (релеєвське

або когерентне розсіяння), а непружне розсіяння частинки – непружному розсіянню фотонів (комбінаційне розсіяння). Граничним випадком оптичної моделі є модель чорного тіла, згідно якої ядро поглинає всі падаючі на нього нейтрони і розсіяння є суто дифракційним.

При поясненні механізму фотоядерних реакцій типу (γ, p) , (γ, n) , (γ, α) корисним є порівняння ядра з твердим тілом. Таке порівняння коректне з наступних причин. Розподіл рівнів енергії ядра суттєво відрізняється від розподілу рівнів енергії атома внаслідок того, що взаємодія електронів атома набагато менша ніж їх взаємодія з ядром. В ядрі немає ніякого виділеного центра і нуклони ядра взаємодіють надзвичайно сильно. В атомі електрони групуються по оболонках, екрануючи ядро для зовнішніх оболонок. Тому різниця між енергіями зв’язку різних електронів дуже велика. Отже, потенціальна яма атома заповнена майже до країв і енергія збудження атома у більшості випадків концентрується на одному електроні. Якщо енергія, яка надається атому, перевищує енергію іонізації, то це призведе до звільнення електрона з атома, але не до перерозподілу енергії між електронами.

В ядрі інші енергетичні умови. Глибина його потенціальної ями становить близько 20 MeV, а енергія зв’язку найслабше зв’язаного нуклона 8 MeV, тобто яма заповнена зайнятими рівнями приблизно наполовину. Число вільних рівнів надзвичайно велике і верхні рівні утворюють квазі-неперервну послідовність. Істотне при цьому те, що ці рівні належать всьому ядру і зумовлені колективним рухом всіх його нуклонів. Енергетичний спектр ядра таким чином нагадує спектр рівнів речовини в конденсованому стані, наприклад, – кристалічного твердого тіла. За таких умов коректним є застосування аналогії зовнішнього фотоефекту до фотоядерних реакцій. Явище зовнішнього фотоефекту детально вивчалось в середній школі і ВНЗ, на цю тему проводились лабораторні роботи і практичні заняття, тому студентам психологічно легко застосовувати дану аналогію. На цю аналогію звертали увагу ще в [2; 9]. Так в [9] автори говорять про подібність фотоядерних реакцій до явища іонізації атомів і зовнішнього фотоефекту: «По аналогії зі збудженням і іонізацією атомів під дією світла можна припустити, що складене ядро також може бути збуджене або „іонізуватись”, тобто розкладатись променями відповідної енергії». Фотоядерні реакції відбуваються при умові, що енергія γ -кванта більша за енергію зв’язку $E_{зв}$ нуклона в ядрі, подібно до того, як для існування зовнішнього фотоефекту необхідно, щоб енергія падаючого випромінювання була більшою за роботу виходу A електронів з металу. Взаємодія γ -квантів з ядром відбувається за допомогою борівського механізму утворення компаунд-ядра, але для взаємодії з важкими ядрами можливий механізм прямого виривання протона з поверхневого шару ядра і в цьому є ще один приклад аналогії з зовнішнім фотоефектом. Таким чином, для фотоядерних реакцій можна застосувати таку таблицю аналогій.

Таблиця аналогій зовнішнього і ядерного фотоефектів

Зовнішній фотоефект	Ядерний фотоефект
Рівняння Ейнштейна $\hbar\omega = A + T$	Умова фотоядерної реакції $\hbar\omega = E_{зв} + T$
Необхідна умова явища $E_{\gamma} > A$	Необхідна умова реакції $E_{\gamma} > E_p (E_n, E_{\alpha})$
A – робота виходу електрона з поверхні металу	$E_{зв}$ – енергія зв’язку нуклона в ядрі

Відмінності між зовнішнім і ядерним фотоефектами:

1. Значна анізотропія швидких протонів в реакціях на важких ядрах. В зовнішньому фотоефекті для електронів характерна ізотропія.
2. Для ядерного фотоефекту характерний так званий „гігантський резонанс” перерізу реакції (імовірність реакції резонансно залежить від частоти падаючого γ -випромінювання). Для зовнішнього фотоефекту така залежність відсутня.

Гігантський резонанс перерізу реакції ядерного фотоефекту в свою чергу можна пояснити за допомогою аналогій і розробленого на їх основі механізму, запропонованого А. Мігдалом (1945 р.). Він запропонував модель дипольного поглинання ядрами γ – фотонів. Зовнішнє електричне поле викликає зміщення заряджених протонів відносно незаряджених нейтронів. Під дією змінного електромагнітного поля падаючої електромагнітної хвилі виникають коливання протонів відносно нейтронів, аналогічні коливанням системи із двох твердих кульок, з'єднаних пружиною. Якщо частота зовнішньої періодичної сили близька до частоти власних коливань системи $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$, (k – коефіцієнт жорсткості, M – маса системи), то спостерігається резонанс. Це і буде відповідати максимуму функції збудження, а, отже, і максимуму імовірності фотоядерної реакції. Роль пружини в такому ядрі виконує ядерне притягання протонів і нейтронів.

Для прямих ядерних реакцій типу зриву („стриппінг“: (d, p) або (d, n)), на нашу думку, корисним було б застосування аналогії дисоціації молекул речовини, а реакцію пружного розсіяння нейтронів на ядрах можна з достатньою мірою точності вивчати за законами зіткнення твердих куль.

Висновки:

1. Використання фізичних аналогій при поясненні механізмів протікання ядерних реакцій потребує їх чіткої аргументації.

2. Запропоновані аналогії ядерних реакцій доречні, обґрунтовані, фізичні, значно полегшують вивчення студентами зазначеної теми.

3. При використанні вибраних аналогій відповідних ядерних реакцій обов'язковим є зазначення відмінностей між аналогією і відповідною реакцією, межі застосування даної аналогії.

Ефективне формування понять про ядерні реакції повинно підкріплюватись конкретними результатами відпо-

відних експериментів, що не завжди присутнє при викладанні даної теми.

Список використаних джерел:

1. Бор Н. Превращение атомных ядер. [текст] / Н. Бор // Успехи физических наук. – 1937. – Т. XVIII. – С. 337.
2. Бор Н. Ядерный фотоэффект [текст] / Н. Бор // Успехи физических наук. – 1938. – Т. XX, вып. 3. – С. 341-343.
3. Вальтер А. К. Ядерная физика [текст] / А. К. Вальтер, И. И. Залобовский. – Х. : Издательство ХГУ им. А. М. Горького, 1963. – 368 с.
4. Колпаков П. Е. Основы ядерной физики [текст] / П. Е. Колпаков. – М. : Просвещение, 1968. – 400 с.
5. Лебедь О. О. Психолого-дидактичні особливості впровадження методу аналогій у навчання квантової фізики [текст] / О. О. Лебедь, А. В. Рибалко // Наукові записки Кіровоградського держ. пед. універ. ім. В. Винниченка. – 2010. – Вип. 90. – С. 161-168.
6. Лебедь О. О. Використання оптико-механічних аналогій при викладанні квантової фізики студентам педагогічних та інженерних спеціальностей. [текст] / О. О. Лебедь // Вісник Чернігівського державного пед. університету. – 2010 – Вип. 77. – С. 223-226.
7. Широков Ю. М. Ядерная физика [текст] / Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. – М. : Наука, 1972. – 672 с.
8. Шпольський Е. В. Атомна фізика : В 2 т. [текст] / Е. В. Шпольський. – К. : Радянська школа, 1953. – Т. 2.
9. Чадвик. Ядерный фото-эффект (разложение дейтона γ -лучами) [текст] / Чадвик, Гольдгабер // Успехи физических наук. – 1934. – Т. XIV, вып. 8. – С. 953-956.

The article suggested a system of physical analogies and theoretical substantiations for didactical expediency of exploitation of teaching the topic “Nuclear reactions” in the course of nuclear physics. The proposed table such analogies to photonuclear reactions. These limits used of such analogies.

Key words: nuclear reactions, analogy method.

Отримано: 12.07.2010

УДК 37.015.31:514

І. В. Житарюк

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ УМІНЬ СТАРШОКЛАСНИКІВ НА УРОКАХ ГЕОМЕТРІЇ: КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД

У статті висвітлено основні аспекти формування інформаційних умінь старшокласників на уроках геометрії з позицій компетентісного підходу. Визначено й уточнено зміст інформаційних процесів, характерних для реалізації кожного етапу продуктивної самостійної навчально-пізнавальної діяльності учнів. Наведено приклади інтерпретації текстової, графічної та символічної інформації.

Ключові слова: геометрія, інформація, інформаційні уміння, старшокласник, компетентісний підхід, навчально-пізнавальна діяльність.

Актуальність дослідження. Одним з провідних напрямків удосконалення вищої освіти у сфері підготовки науково-педагогічних кадрів є інтеграція наукових досліджень та освітнього процесу, які вважають ресурсом розвитку суспільства й економіки. Підготовка та перепідготовка вчителів потребує сьогодні нової, компетентісної парадигми середньої освіти, головне завдання якої не лише засвоєння регламентованого навчальною програмою обсягу знань, а й оволодіння методами пошуку нових знань та їх застосування до розв'язання особистих і соціально значущих завдань.

Потреба в особистісному та професійному самовизначенні, розгляд навчально-пізнавальної діяльності (НПД) як засобу щодо підготовки подальшого вибору життєвого шляху учнями постає, як правило, у старших класах. Цей період відповідає розвитку навчально-пізнавальної компетентності (НПК), оскільки у старшокласників виникає інтерес до самоосвіти, готовність до спілкування з викладачами; спостерігається прагнення до проведення аналогій, висловлення власних гіпотез, узагальнення отриманих знань тощо. Розвиток НПК старшокласників здійснюється засобами і можливостями кожної навчальної дисципліни, зок-

рема курс геометрії дозволяє зробити певний вклад у розв'язання зазначеної проблеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі математики Ж. Адамар, Г. Вейль, Н.Я. Віленкін, Б.В. Гнєденко, М.О. Давидов, В.К. Дзядик, А.М. Колмогоров, П.П. Коровкін, Л.Д. Кудрявцев, М.М. Лузін, О.В. Погорелов, Д. Пойа, О.Я. Хінчин, М.І. Шкіль та ін. внесли вагомий вклад у розробку питань, пов'язаних із загальними проблемами математичної освіти усіх рівнів та з формуванням математичних компетентностей учителя математики і суб'єктів навчання.

Питання формування інформаційної культури вчителя математики, використання сучасних інформаційно-комунікативних технологій у процесі навчання математики учнів загальноосвітніх навчальних закладів відображено у працях Ю.В. Горюшка, А.П. Єршова, М.І. Жалдака, В.М. Жильцова, Н.В. Морзе, С.І. Кузнецова, В.М. Монахова, О.В. Співаковського та ін.

Виокремленню і визначенню змісту освітніх компетенцій присвячено праці І.М. Аллагулова, В.В. Ачкана, А.Н. Дахина, Л.І. Зайцева, В.В. Краєвського, О.Е. Ледньова, Дж. Равена, С.А. Ракова, І.Д. Фруміна, О.В. Харитоновой,