

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет фізико-математичний
Кафедра фізики та методика її навчання

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
_____ Слюсаренко М.А.
(підпис)
«__» _____ 2023 р.

Реєстраційний № _____
«__»

**Методика розв'язання типових задач з розділу «Атомна фізика» в
профільній школі**

Кваліфікаційна робота студента
групи ФМм-22
ступінь вищої освіти магістр
спеціальності
014.08 Середня освіта (Фізика)
Буравіцина Ігоря Валерійовича

Керівник: доктор технічних наук,
професор кафедри фізики та методики
її навчання
Здещиц Валерій Максимович

Оцінка:
Національна шкала _____
Шкала ECTS _____ Кількість балів _____
Голова ЕК _____
(підпис) (прізвище, ініціали)
Члени ЕК _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

(підпис) (прізвище, ініціали)

(підпис) (прізвище, ініціали)

(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Буравіцин Ігор Валерійович, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Теоретичні відомості.	6
1.1 Державні вимоги що до рівня знань та навичок учнів.	6
1.2 Методика розв’язання задач. Алгоритм розв’язання задач та їх місце у навчальному процесі.	8
1.3 Теорія з курсу «Атомна та ядерна фізика» рекомендована для вивчення у профільній школі. Необхідна теоретична частина для розв’язку завдань з практичного блоку.	18
Висновки до розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. Аналіз розповсюджених шкільних підручників.	32
2.1 Засекіна Т. М. Фізика. 11 клас. 2019р. (Профільний рівень).	32
2.1.1 Загальний аналіз теорії.	32
2.1.2 Детальний аналіз прикладів розв’язання задач	33
2.2 Бар'яхтар В. Г. Фізика. 11 клас. (Академічний, Профільний рівень).	38
2.2.1 Загальний аналіз теорії.	38
2.2.2 Детальний аналіз прикладів розв’язання задач	40
Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. Приклади розв’язання типових завдань до кожної з тем курсу «Атомна фізика».	46
3.1 Типові задачі: Постулати Бора.	46
3.2 Типові задачі: спектри випромінювання атомів та молекул. Види спектрів. Рентгенівське випромінювання.	48
3.3 Типові задачі: склад атомного ядра. Радіоактивність.	49
3.4 Типові задачі: перетворення ядер у процесі радіоактивного розпаду. ...	52
3.5 Типові задачі: закон радіоактивного розпаду.	53
3.6 Типові задачі: активність. Радіоактивна рівновага	54
3.7 Типові задачі: елементи дозиметрії. Поглинання гамма-променів.	56
3.8 Типові задачі: методи реєстрації іонізуючого випромінювання.	57
3.9 Типові задачі: енергія зв’язку атомних ядер. Дефект маси та енергія зв’язку дейтрона.	57
3.10 Типові задачі: ядерні реакції. Закони збереження у ядерних реакціях. ...	58

3.11 Типові задачі: реакція ділення.	60
3.12 Типові задачі: енергія радіоактивного розпаду ядер.	61
3.13 Типові задачі: елементарні частинки.....	62
Висновки до розділу 3	63
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	68

Вступ

Кваліфікаційна робота присвячена методиці розв'язання типових задач з теми «Атомна фізика» у профільній школі. Результати роботи дозволять молодому вчителю, який тільки починає свій професійний шлях, знайти відповіді на запитання, які постануть перед ним у процесі роботи з точки зору вчителя – як педагога, та з точки зору фізика, як вченого. Розглянуті різні способи розв'язку типових завдань за вищезгаданною темою, сутність методик розв'язку та їх вплив на успішність учнів.

Мета дослідження – визначення оптимальних методів викладання навчального матеріалу та шляхів розв'язання практичних завдань.

Завдання:

1. Провести огляд джерел інформації на задану тему;
2. Проаналізувати методи викладання теми «Атомна фізика» в профільній школі, а також способи розв'язання типових завдань;
3. Визначити оптимальні методи викладання данної теми, скласти список типових задач та розв'язати їх.

Об'єкт дослідження – взаємодія вчителя та учня під час викладання теми «Атомна фізика» в профільній школі, методи навчання фізики та технологія розв'язання типових завдань.

Предмет дослідження – розв'язання задач у процесі викладання матеріалу з теми «Атомна фізика».

Методи дослідження:

- теоретичні – вивчення та аналіз допоміжної літератури;
- емпіричні – розв'язання практичних завдань з теми «Атомна фізика» та дослідження впливу різних методів викладання на результативність учнів.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

Розділ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Державні вимоги що до рівня знань та навичок учнів

Міністерство освіти і науки України висуває певні вимоги, що до рівня знань учнів у профільній школі 10-11 класів. Зупинимося на даних вимогах докладніше.

За навчальною програмою затвердженою у 2023 році, задля здобуття профільного рівня знань та усіх необхідних компетентностей, в учнів обраний предмет (у нашому випадку фізика) повинен мати не менше 6 академічних годин викладання на тиждень. У результаті навчання фізики очікується, що в учнів буде сформовано зазначені ключові компетенції, вони оволодіють знаннями з фізики, навчаться практично їх застосовувати та набудуть сучасних гуманістичних поглядів щодо перспектив і цілей використання науково-технічних надбань людства.

Шкільний курс фізики має концентричну будову, що зумовлено специфікою матеріалу, який вивчається, міжпредметними зв'язками та логікою розвитку формування та усвідомлення наукового знання. Зміст програм фізики старшої школи базується на знаннях і компетентностях, набутих учнями в основній школі, і є другим важливим етапом вивчення фізики. Матеріал програм курсу структуровано за фундаментальними фізичними теоріями.

Зміст навчання фізики в старшій школі сформовано з урахуванням того, що вже було вивчено учнями у базовому курсі фізики основної школи і не дублює його. У процесі опрацювання інформації з відповідних розділів фізики учень розширює, поглиблює знання, формує нові уміння, розширює компетентності шляхом вивчення понять фізики на якісно новому рівні, у тому числі за рахунок використання міжпредметних зв'язків, зокрема більш досконалого математичного апарату, яким учні ще не володіли у основній школі

тощо. Під час проведення практикуму з розв'язування фізичних задач, формулювання тем навчальних проєктів, постановці лабораторних і практичних робіт учитель добирає їх таким чином, щоб урахувати предметні компетентності, набуті учнями в основній школі.

Завданнями курсу фізики старшої школи є:

- формування в учнів системних знань з фізики та набуття відповідних умінь і навичок їх практичного застосування;

- оволодіння учнями науковим стилем мислення та методами фізичних досліджень, як методологією природничо-наукового пізнання, формування цілісного уявлення про сучасну природничо-наукову картину Всесвіту та усвідомлення ролі фізики у її побудові;

- оволодіння учнями методами, прийомами та алгоритмами розв'язання фізичних задач;

- набуття учнями експериментальних умінь планувати та проводити фізичні дослідження, досліди та експерименти, коректно здійснювати фізичні вимірювання та здійснювати обробку їх результатів, працювати в команді тощо;

- формування в учнів на основі знань з фізики, математики, інших предметів, а також умінь та навичок їх практичного застосування, відповідних компетенцій;

- набуття учнями навичок пошуку, відбору, аналізу, структурування, узагальнення та синтезу нової інформації; висування гіпотез, здійснення висновків;

Рівень профільного навчання фізики передбачає розвиток здібностей та формування в учнів знань з фізики на рівні, що може забезпечити молодим людям успішне здобуття освіти відповідного профілю у майбутньому.

Мета навчання фізики на профільному рівні узгоджується з метою повної загальної середньої освіти і полягає у формуванні та розвитку в учнів старшої школи системних фундаментальних знань з фізики, ключових компетентностей, провідними з яких є природничо-наукові компетентності, як результат успішного профільного навчання.

Вивчення такої фундаментальної науки як фізика не може обійтись від практичних завдань, а саме - задач. Розв'язування фізичних задач є обов'язковою складовою викладання фізики в школі. У вирішенні проблеми навчання фізики проблема навчання розв'язуванню фізичних задач займає окреме місце і є однією з найважливіших, найскладніших і найбагатогранніших. Навчитися розв'язувати задачі, не володіючи теоретичними знаннями, неможливо.

1.2 Методика розв'язання задач. Алгоритм розв'язання задач та їх місце у навчальному процесі

Розв'язання задач є обов'язковою складовою вивчення та засвоєння курсу фізики. Без них неможливо обійтись, але розв'язання завдань теж потребує певних вмінь і засвоєння відповідного алгоритму їх розв'язання, додатково до теоретичного матеріалу, яким володіє учень.

Наступний підрозділ буде присвячений розв'язанню задач, їх видам, методам їх розв'язання та тонкощам розуміння процесу їх розв'язку з точки зору фізики.

Як саме потрібно сприймати фізичну задачу? В.П. Орехов та А.В. Усова розглядали фізичну задачу як невелику проблему, яка розв'язується на основі законів і методів фізики, за допомогою логічних умовиводів, математичних дій та експерименту. Розв'язування фізичних задач виступає як мета і метод навчання і є його невід'ємною складовою, яка дозволяє:

- формувати і збагачувати фізичні поняття;
- розвивати фізичне мислення;
- формувати навички використання знань на практиці.

У педагогічній практиці фізичні задачі використовують для:

- створення проблеми і проблемної ситуації;
- повідомлення нових відомостей;
- формування практичних умінь і навичок;
- перевірки глибини і міцності знань;

- закріплення, узагальнення і повторення матеріалу;
- реалізації принципу політехнізму;
- розвиток творчих здібностей тощо.

Розв'язуванням задач в учнів виховують працелюбство, допитливість розуму, кмітливість, самостійність в судженнях, інтерес до навчання, волю і характер, стійкість у досягненні поставленої мети. Розв'язування задач - складова частина переважної більшості уроків з фізики, а також переважної більшості позаурочних і позашкільних занять. Місце задач на заняттях фізики неоднозначне. Задачі можуть розв'язуватись, коли викладається новий матеріал та у процесі закріплення знань. Особливого значення набуває розв'язування задач у ході перевірки виконання домашнього завдання. Виключного значення набувають практичні вправи, коли здійснюється поглиблення і закріплення сформованих понять. Крім цього вони використовуються у формуванні вмінь і навичок, повторенні пройденого матеріалу. Спеціальні заняття проводяться з учням у позаурочний час на фізичних гуртках; підготовці до проведення олімпіад. Задачі відрізняються одна від одної за ознаками. Класифікація задач за певними ознаками дозволяє раціонально здійснювати їх підбір та розробити методику їх розв'язування. Існують різні класифікації задач.

Нижче наведена одна з можливих класифікацій (рис. 1.1).

Приведену класифікацію задач не можна вважати за абсолютний факт, оскільки одна й та ж задача може бути віднесена до різних груп. Все ж педагогічна практика свідчить про її сприйняття, бо вона досить зручна в застосуванні. У цю класифікацію не ввійшли також якісні задачі.

Способи розв'язування задач

У шкільній практиці склалась система методів розв'язування задач:

- аналітичний,
- синтетичний,
- аналітико-синтетичний.

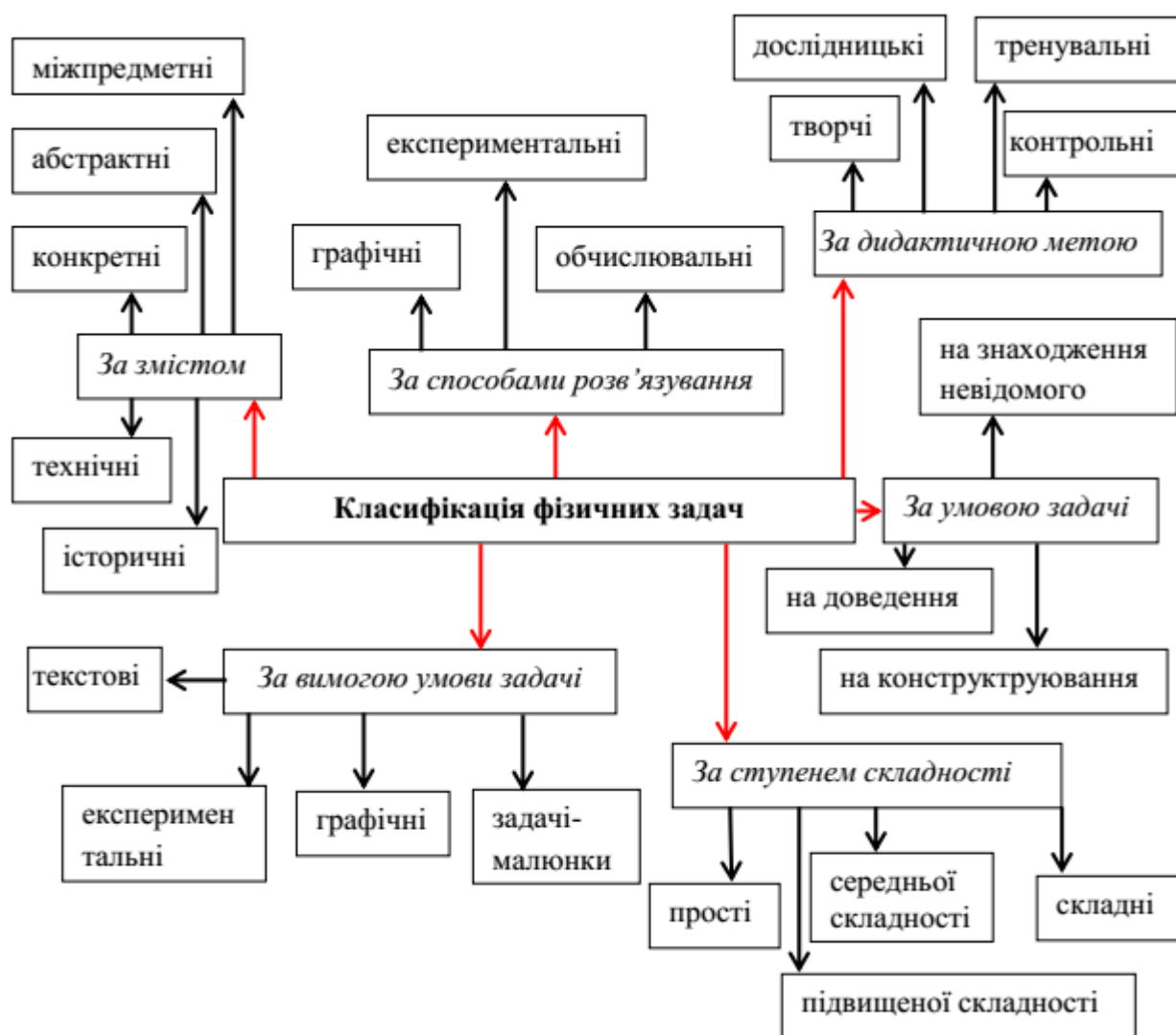


Рис. 1.1. Класифікація фізичних задач

За *аналітичного методу* здійснюється розчленування задачі на кілька простіших задач. Розв'язування будь-якої задачі розпочинається з запитання до задачі, з шуканої величини. Відшукують закономірність, що зв'язує шукану величину з означеними в умові задачі.

Коли в одержаній закономірності є декілька невідомих величин, то слід шукати інші закономірності та зв'язки їх з відомими в умові задачі. Результуюча формула є синтезом окремих закономірностей.

Коли шукана величина не входить у формулу певної закономірності, то використовують *синтетичний метод* розв'язування. Тоді послідовно крок за

кроком виявляють зв'язки величин, які дані в умові, з іншими до тих пір, поки в рівняння не ввійде шукана невідома величина. В аналітичному методі розв'язок починають з шуканої величини. У синтетичному методі розв'язок починається з величин, заданих в умові задачі. Проте аналітичний і синтетичний методи окремо майже не застосовуються. При розв'язуванні задач використовують, як аналіз так і синтез, тобто застосовують аналітико-синтетичний метод. Прикладом такої задачі може слугувати наступна:

Водій автомобіля виключає двигун і починає гальмувати в 20 м від світлофора. Вважаючи силу тертя 4 000 Н, визначити, за якої найбільшої швидкості автомобіль встигне зупинитись перед світлофором, якщо його маса 1600 кг. Розв'язування задач виконується арифметичним, алгебраїчним та геометричним способами.

Навчання розв'язуванню задач. Аналітико-синтетичний метод розв'язування фізичних задач.

Проблему розв'язування задач багатьох типів досліджували В.І. Баштовий, О.І. Бугайов, С.У. Гончаренко, Є.В. Коршак, Н.М. Коршак, В.П. Орехов, А.І. Павленко, В.Ф. Савченко, О.В. Сергєєв, А.В. Усова й ін. На основі їх праць запропонована узагальнена послідовність розв'язування задач.

Вона має наступну схему:

- первинне читання умови задачі;
- повторне читання умови задачі та з'ясування змісту нових термінів і виразів, повторення умови задачі учнями;
- короткий запис умови задачі, перевід фізичних величин в систему СІ;
- виконання необхідних малюнків, схем, графіків;
- аналіз умови задачі, з'ясування фізичної суті явища чи процесу, покладеного в основу задачі, відновлення в пам'яті учнів фізичних законів та формул, які потрібні для розв'язку задачі;
- визначення способу розв'язання задачі (аналітичний, синтетичний, змішаний);
- складання плану розв'язку задачі;

- вираження зв'язків між шуканим і даними величинами у вигляді формул;
- розв'язування рівняння чи системи рівнянь для одержання кінцевої формули;
- обчислення шуканої величини;
- здійснення аналізу одержаних результатів, перевірка достовірності одержаних результатів;
- пошук і аналіз інших шляхів розв'язку задачі.

Приведена схема є узагальненою, тому при розв'язуванні конкретних задач деякі етапи загальної схеми розв'язку задач можуть бути випущені. Для деяких задач з фізики використовують алгоритмічні прийоми та метод графів. На практиці вони рідко використовуються.

Аналітико-синтетичний метод розв'язування якісних задач

Перші згадки про якісні задачі з фізики в методичній літературі датуються понад 200 років тому. Якісні задачі або задачі-питання - це такі задачі, при розв'язуванні яких потрібно (без виконання розрахунків) пояснити те чи інше фізичне явище. Серед збірників фізичних задач для середньої школи є цікавим перекладений збірник «Чому і тому» Отто Улле (1869), який містить виключно якісні задачі-запитання з важливих науково-природничих галузей.

У 20-ті роки ХХ ст. з'являються перші збірники задач з фізики з системою якісних задач. Найбільш виразний є методичний посібник дослідження «Живі задачі з фізики та методичні пошуки» В.О. Зібера (Ленінград, 1925).

Підбір та методи розв'язування якісних задач найбільш ґрунтовно розглянули М.Е. Тульчинський, Перельман та К.В. Корсак. Якісні задачі розв'язуються трьома основними способами: евристичним, графічним та експериментальним.

Евристичний спосіб полягає у постановці ряду взаємно зв'язаних якісних запитань, відповідь на які закладені або в умові задачі, або у відомих учню законах фізики. Цей спосіб навчає аналізувати фізичне явище, що присутнє у задачі, синтезувати дані умови задачі із суттю фізичних законів, відомих учневі, узагальнювати факти, робити висновки.

Графічний спосіб використовується тоді, коли умова задачі формується ілюстраціями. Відповідь на запитання задачі одержуємо у процесі дослідження відповідних малюнків, схем, фотографій, креслень тощо. У цьому випадку маємо добру наочність, в учнів розвивається функціональне мислення, точність і акуратність у виконанні креслень. Цей спосіб особливо цінний, коли маємо систему фотографій чи схем розвитку фізичного явища у часі (рух частинки у фотоемульсії, електромагнітні явища, хвильова оптика).

Експериментальний спосіб використовується, коли відповідь на запитання задачі одержується за допомогою досліду, поставленого згідно умови задачі. У цьому випадку учні виступають у ролі дослідника, розвивається їх активність, допитливість, формуються практичні навички роботи з приладами.

В основі будь-якого способу лежить аналітико-синтетичний метод, який передбачає наступну схему для розв'язання задач:

- ознайомлення з умовою задачі (з'ясування змісту термінів, скорочений запис умови задачі, виділення головного запитання до задачі);
- аналіз і усвідомлення умови задачі (дослідження вихідних даних, з'ясування фізичного змісту задачі, побудова креслень);
- складання плану розв'язання задачі (побудова аналітичного ланцюжка умовиводів, які завершуються: даними задачі, або результатами проведеного експерименту, або табличними відомостями, або формулюванням фізичних законів і визначення фізичних величин);
- реалізація плану розв'язання задачі (побудова систематичної ланки умовиводів починаючи з формулювання фізичних законів, описаних властивостей фізичного явища, стану тіл і закінчуючи відповіддю на запитання умови задачі);
- перевірка одержаного результату (постановка фізичного експерименту, розв'язок задачі другим способом, співставлення одержаного результату із загальними принципами фізики – законами збереження тощо).

Експериментальні задачі та методика їх розв'язування

Одним із шляхів здійснення зв'язку теорії з практикою є розв'язування експериментальних завдань. Під експериментальним завданням розуміють такі, що вимагають тільки безпосередніх вимірів, без подальшого використання результатів цих вимірів як початкових даних для визначення інших величин або виконання простих дослідів і їх пояснення на основі знань теорії. Експериментальне ж завдання має на увазі використання отриманих у ході вимірів даних для знаходження інших величин непрямым шляхом. П.А. Знаменский до експериментальних завдань відніс обчислювальні завдання і завдання-питання, при розв'язуванні яких застосовується експеримент. С.Е. Каменецький і В.П. Орехов експериментальними називають завдання, в яких з тією або іншою метою використовують експеримент. І.Г. Антипін і С.С. Мохів ділять експериментальні завдання на якісні та кількісні. І.Г. Антипін говорить, що у розв'язуванні якісних завдань відсутні числові дані і математичні розрахунки. У цих завданнях від учня вимагається передбачити явище, яке повинне здійснитися в результаті досвіду, або самому відтворити фізичне явище за допомогою цих приладів. Розв'язування кількісних завдань спочатку виробляють необхідні виміри, а потім використовують отримані дані для обчислень за допомогою математичних формул. На відміну від кількісних та якісних задач методика розв'язування експериментальних задач має свою специфіку. І.Г. Антипін класифікує їх на декілька груп як завдання:

- в яких для отримання відповіді доводиться або вимірювати необхідні фізичні величини, або використовувати паспортні дані приладів (реостатів, ламп, електроплиток і т.д.), або експериментально перевіряти ці дані;

- в яких учні самостійно встановлюють залежність і взаємозв'язок між конкретними фізичними величинами;

- в умові яких даний опис досвіду, а учень повинен передбачити його результат. Такі завдання сприяють вихованню в учнів критичного підходу до своїх умоглядних висновків;

- в яких учень повинен за допомогою даних йому приладів і приладдя показати конкретне фізичне явище без вказівок на те, як це зробити, або зібрати електричний ланцюг, сконструювати установку з готових деталей відповідно до умов завдання. Рішення таких завдань вимагає від учнів творчого мислення, кмітливості;

- на окомірне визначення фізичних величин з наступною експериментальною перевіркою правильності відповіді. Такі завдання допомагають учневі заздалегідь оцінювати результати вимірів і тим самим правильно вибрати потрібні для досвіду прилади та інструменти;

- з виробничим змістом, в яких вирішуються конкретні практичні питання. Такі завдання можна розбирати під час екскурсій, роботи в навчальних майстернях, а також на заняттях, використовуючи для цього різні інструменти, прилади і технічні моделі.

Експериментальні задачі виконують ввідну функцію до виконання лабораторних робіт, або ж розвитку сформованих умінь і навичок в процесі виконання лабораторних робіт. Основне значення розв'язування експериментальних задач і завдань полягає у формуванні і розвитку з їх допомогою вимірювальних умінь, умінь поводитися з приладами. Крім того, такі завдання розвивають спостережливість і сприяють глибшому розумінню суті явищ, виробленню навичок будувати гіпотезу перевіряти її на практиці.

Алгоритмічні прийоми розв'язування задач

Протягом навчання у школі з доброю фізичною підготовкою учень розв'язує близько тисячі задач. Напрошується висновок щодо складання на основі законів логіки та фізики алгоритмів розв'язку таких задач. Під алгоритмом розуміються такі правила, які дозволили б на основі певної системи елементарних дій безпомилково знаходити шуканий результат. Формування в учнів умінь і навичок у виконанні дій за строго визначеними правилами має загальноосвітнє, виховне і практичне значення. Складання таких алгоритмів досить складна проблема. Алгоритми для розв'язування задач поділяють на три групи: *загальні алгоритмічні правила, які визначають етапи і правила*

розв'язання будь-якої задачі; алгоритмічні правила для того чи іншого типу задач; алгоритмічні правила для виконання окремих операцій.

Розв'язування фізичних задач, як правило, має три етапи діяльності учнів:

- 1) аналіз фізичної проблеми або опис фізичної ситуації;
- 2) пошук математичної моделі розв'язку;
- 3) реалізація розв'язку та аналіз одержаних результатів.

На першому етапі фактично відбувається побудова фізичної моделі задачі, що подана в її умові, де здійснюється:

- аналіз умови задачі, визначення відомих параметрів і величин та визначення невідомого;
- конкретизація фізичної моделі задачі за допомогою графічних форм (малюнки, схеми, графіки тощо);
- скорочений запис умови задачі, що відтворює фізичну модель задачі в систематизованому вигляді.

На другому, математичному, етапі розв'язування фізичних задач відбувається пошук зв'язків і співвідношень між відомими величинами і невідомим:

- вибудовується математична модель фізичної задачі, робиться запис загальних рівнянь, що відповідають фізичній моделі задачі;
- враховуються конкретні умови фізичної ситуації, що описується в задачі, здійснюється пошук додаткових параметрів (початкові умови, фізичні константи тощо);
- приведення загальних рівнянь до конкретних умов, що відтворюються в умові задачі, запис співвідношення між невідомим і відомими величинами у формі часткового рівняння.

На третьому етапі здійснюються такі дії:

- аналітичне, графічне або чисельне розв'язання рівняння відносно невідомого;
- аналіз одержаного результату щодо його вірогідності й реальності, запис відповіді;

- узагальнення способів діяльності, які властиві даному типу фізичних задач, пошук інших шляхів розв'язку.

Слід зазначити, що в навчанні фізики важливою формою роботи з учнями є складання ними задач, які за фізичним змістом подібні до тих, що були розв'язані на уроці, наприклад, обернених задач. Цей прийом досить ефективний для розвитку творчих здібностей учнів, їхнього розумового потенціалу.

Алгоритм розв'язку задачі можна представити наступним:

- читання умови, осмислення термінів і виразів;
- виконання короткого запису умови, виконання рисунків;
- аналіз змісту, виявлення фізичної суті і чітких уявлень про явища, процеси, стани тіл, закладені в умові, згадування понять, законів, необхідних для здійснення розв'язування;
- складання плану розв'язку (виконання дослідів), доповнення умови фізичними константами і табличними даними, аналіз графічних матеріалів (графіків, малюнків тощо);
- переведення значень фізичних величин в одиниці СІ;
- знаходження закономірностей, які пов'язують шукані і дані величини, записування відповідних формул;
- складання і розв'язування системи рівнянь в загальному вигляді (складання установки для досліду і його виконання);
- розрахунок шуканої величини (аналіз результатів експерименту);
- аналіз одержаної відповіді; оцінка впливу спрощень, допущених в умові і при розв'язуванні (виконання експерименту);
- розгляд інших можливих способів розв'язання задачі, вибір найраціональнішого.

1.3. Теорія з курсу «Атомна та ядерна фізика», рекомендована для вивчення у профільній школі. Теоретичні відомості, необхідні для розв'язку завдань з практичного блоку

У даному розділі надаються всі основні формули, які необхідні учням для засвоєння матеріалу та розв'язання завдань. Кожна тема виділена окремим підпунктом задля кращого розуміння теорії, також нумерація тем відповідає нумерації тем з практичної частини для полегшення орієнтації читача.

1) Атом Резерфорда - Бора. Постулати Бора.

Згідно з *першим постулатом Бора* рух електрона навколо ядра можливий виключно по певним(визначеним) орбітам, радіуси яких задовольняють вираз:

$$mv_k r_k = k \frac{h}{2\pi},$$

де m – маса електрона, v_k – його швидкість на k -й орбіті, r_k – радіус цієї орбіти, h – постійна Планка, k – будь яке число (квантове число).

Згідно з *другим постулатом Бора* частота випромінювання, яка відповідає переходу електрона з одної орбіти на іншу, визначається формулою:

$$h\nu = W_n - W_k,$$

де k і n – номери орбіт ($n > k$), W_k і W_n – відповідні їм значення енергії електрона.

Робота по видаленню електрона з нормальної орбіти у нескінченність визначається формулою:

$$A_\infty = eU_\infty = h\nu,$$

де U_∞ – потенціал іонізації атома.

Формула, яка дозволяє знайти частоти ν або довжини хвиль λ , які відповідають лініям водневого спектру, має вигляд:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де k і n – номери орбіт, c – швидкість розповсюдження світла у вакуумі, R – постійна Рідберга, яка дорівнює:

$$R = \frac{e^4 m}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} = 1,097373177 \times 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

де e – заряд електрона, m – його маса, h – постійна Планка і ε_0 – електрична стала.

Частинки масою m , що рухаються зі швидкістю v , відповідає хвиля довжиною λ , яка називається дебройлівською довжиною хвилі і знаходиться за формулою:

$$\lambda = \frac{h}{mv}.$$

Формула, яка дозволяє знайти частоти ν або довжини хвиль λ , для водневоподібних іонів, має вигляд:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c Z^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де Z – порядковий номер елемента у таблиці Менделєєва.

При дифракції рентгенівських променів має місце рівняння Вульфа-Брегга:

$$2d \sin \varphi = m \lambda \quad (m = 1, 2, \dots),$$

де d – постійна кристалічної решітки (відстань між атомами площини кристалу)
 φ – кут між пучком рентгенівських променів і поверхнею кристалу.

Частота ν_0 , яка відповідає короткохвильовій границі суцільного рентгенівського спектру, може бути знайдена із співвідношення:

$$h \nu_0 = eU,$$

де U – різниця потенціалів, яка прикладена до електродів рентгенівської трубки.

Довжина хвилі рентгенівських характеристичних променів може бути знайдена за формулою Мозлі:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c (Z - b)^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де Z – порядковий номер елемента, з якого зроблений антикатод, b – постійна екранування. Остання формула може бути переписана так:

$$\sqrt{v} = a(Z - b), \text{ де } a = \sqrt{Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)}.$$

Інтенсивність пучка рентгенівських променів, які пройшли скрізь пластинку товщиною x , визначається формулою:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

де I_0 – інтенсивність пучка, який падає на пластину, μ [м^{-1}] – лінійний коефіцієнт поглинання. Коефіцієнт поглинання μ залежить від довжини хвилі рентгенівських променів і від густини речовини. Масовий коефіцієнт поглинання зв'язаний з лінійним коефіцієнтом поглинання μ відношенням μ_m [$\text{м}^2/\text{кг}$] = μ/ρ , де ρ – густина речовини.

Поглинання рентгенівських променів різними видами речовини можна характеризувати так званою «товщиною шару половинного послаблення», тобто, товщиною шару $x_{1/2}$, яка зменшує у двічі інтенсивність падаючих променів.

2) Склад атомного ядра. Радіоактивність.

Ядро позначається тим самим символом, як і нейтральний атом:



де X – Символ хімічного елемента; Z – атомний номер (число протонів в ядрі); A – масове число (кількість нуклонів в ядрі).

Число N нейтронів у ядрі дорівнює різниці $A - Z$.

Основний закон радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

де N – число атомів, що не розпалися в момент часу t ; N_0 – Число атомів, що не розпалися в момент, прийнятий за початковий (при $t = 0$); e – основа натуральних логарифмів; λ – постійна радіоактивного розпаду.

Період напіврозпаду $T_{1/2}$; 2 – проміжок часу, за який кількість атомів, що не розпалися, зменшується в два рази. Період напіврозпаду пов'язаний із постійним розпадом співвідношенням:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Число атомів, що розпалися за час t :

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Якщо проміжок часу $\Delta t \ll T_{1/2}$, то для визначення числа атомів, що розпалися, можна застосовувати наближену формулу:

$$\Delta N \approx \lambda N \Delta t.$$

Середній час життя радіоактивного ядра позначається τ – проміжок часу, за який кількість ядер, що не розпалися, зменшується в рази:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Число атомів, що містяться в радіоактивному ізотопі:

$$N = \left(\frac{m}{M}\right) N_A,$$

де m – маса ізотопу, M – його молярна маса; N_A – постійна Авогадро.

Активність A нукліду в радіоактивному джерелі (активність ізотопу) є величина, що дорівнює відношенню числа dN ядер, що розпалися в ізотопі, до проміжку часу dt , протягом якого стався розпад. Активність визначається за формулою:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N,$$

або після заміни N за основним законом радіоактивного розпаду:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t},$$

Активність ізотопу в початковий момент часу ($t = 0$):

$$A_0 = \lambda N_0,$$

Активність ізотопу змінюється з часом за тим самим законом, що і число ядер, які не розпалися:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}.$$

Масова активність радіоактивного джерела позначається α , і є величиною, що дорівнює відношенню його активності A до маси m цього джерела, тобто:

$$\alpha = \frac{A}{m}.$$

Якщо є суміш ряду радіоактивних ізотопів, що утворюються один з іншого, і якщо постійна розпаду λ і першого члена ряду набагато менша ніж постійні всіх інших членів ряду, то в суміші встановлюється стан радіоактивної рівноваги, при якому активності всіх членів ряду рівні між собою:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_k N_k.$$

Якщо радіоактивний ізотоп A поміщений у закриту посудину і при розпаді даного ізотопу утвориться радіоактивний ізотоп B , то в цій посудині після закінчення часу t кількість ядер ізотопу B визначається за формулою:

$$N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}).$$

тут N_{0A} – кількість ядер ізотопу A при $t=0$, λ_A і λ_B – постійні розпаду ізотопів A і B . Якщо період піврозпаду ізотопу A значно більший періоду піврозпаду ізотопу B , тоді:

$$N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t}).$$

За умови радіоактивної рівноваги:

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A}.$$

Питома активність радіоактивного ізотопу визначається кількістю актів розпаду в одиницю часу на одиницю маси речовини що розпадається.

3) Елементи дозиметрії. Іонізуюче випромінювання.

Пристрої для реєстрації іонізуючого випромінювання.

Загальний принцип реєстрації іонізуючого випромінювання полягає в реєстрації дії, яку чинять невидимі оком частинки.

Перелічимо основні способи реєстрації іонізуючого випромінювання.

- *Метод фотоемulsion.* Швидка заряджена частинка, рухаючись у шарі фотоемulsion, внаслідок іонізації утворює вздовж траєкторії свого руху центри прихованого зображення. Після проявлення фотоплівки (фотопластівки) на ній проступають зображення слідів первинної частинки та всіх заряджених частинок, що виникли в емульсії внаслідок ядерних взаємодій із первинною

частинкою. За товщиною слідів у фотоемульсії та за їхніми довжинами можна визначити заряди частинок і їхню енергію.

- *Сцинтиляційні лічильники.* Процес перетворення кінетичної енергії швидкої зарядженої частинки на енергію світлового спалаху називається сцинтиляцією. Саме такі спалахи й реєструють сцинтиляційними лічильниками.

- *Камера Вільсона.* У початковому стані в цій камері міститься повітря з перенасиченою парою спирту. Якщо через робочий об'єм камери пролітає швидка заряджена частинка, то вздовж шляху її руху в газі утворюється ланцюжок Іонів, на яких конденсується пара. Цей ланцюжок крапель можна зареєструвати, наприклад, сфотографувавши.

Принцип реєстрації частинок у бульбашковій камері подібний до способу спостереження в камері Вільсона. Відмінність полягає в тому, що робочим тілом у цьому випадку є перегріта рідина. Йони, які виникають уздовж шляху руху частинки, стають центрами кипіння – бульбашками, які теж можна сфотографувати.

Дія двох наступних типів детекторів – газорозрядних лічильників (їх іще називають лічильники Гейгера - Мюллера) і іонізуючих камер – ґрунтується на схожих ефектах. У приладах обох типів робоче тіло – газ – поміщене в електричне поле з високою напругою. Під дією зарядженої частинки, що пролітає крізь газ, відбувається іонізація робочого тіла. У результаті крізь газ проходить електричний струм, який і фіксується стандартними приладами.

Закон ослаблення вузького пучка багато-енергетичного γ -випромінювання при проходженні через поглинаючу речовину:

1. ослаблення щільності потоку іонізуючих частинок або фотонів:

$$J = J_0 e^{-\mu x},$$

де J_0 – позначають щільність потоку частинок, що падають на поверхню речовини; J – щільність потоку частинок після проходження шару речовини завтовшки x ; μ – лінійний коефіцієнт ослаблення.

2. ослаблення інтенсивності випромінювання:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

де I – Інтенсивність γ – випромінювань в речовині на глибині x ; I_0 – інтенсивність γ – випромінювання, які падають на поверхню речовини.

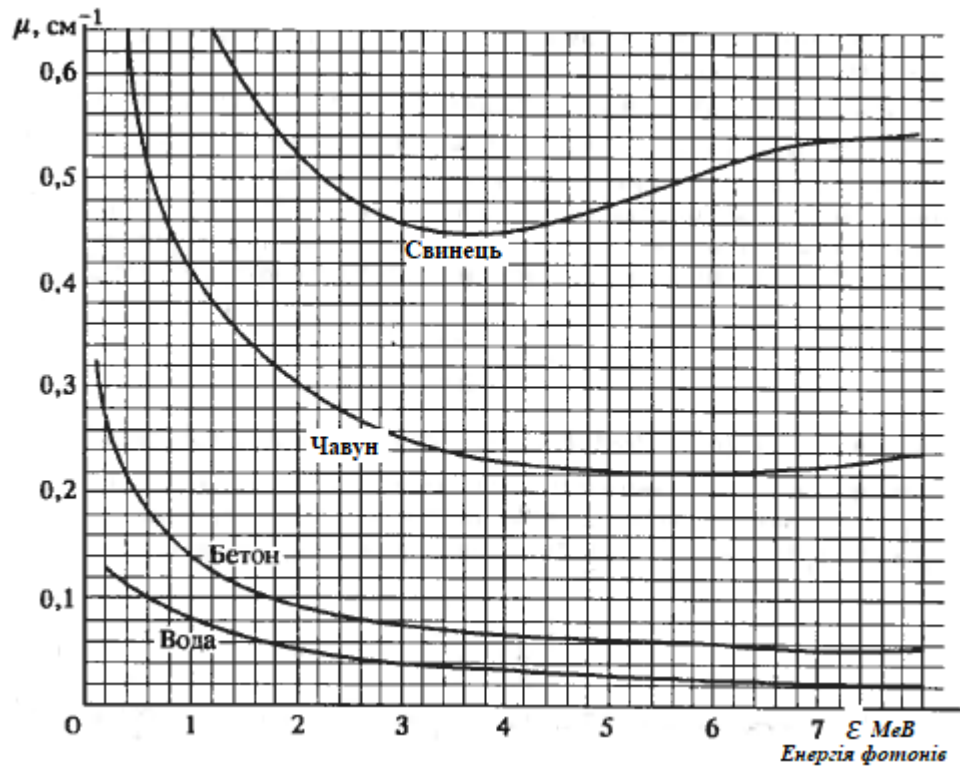


Рис 1.2. Ослаблення потоку частинок у різних речовинах.

Шаром половинного ослаблення називається шар, товщина $x_{1/2}$ якого така, що інтенсивність γ – випромінювання яке проходить через нього зменшується в два рази:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}.$$

Доза випромінювання (поглинена доза випромінювання):

$$D = \frac{\Delta W}{\Delta m}.$$

де ΔW – енергія іонізуючого випромінювання, передана елементу опроміненої речовини, Δm – маса цього елемента. Доза випромінювання виявляється у греях (1 Гр = 1 Дж/кг)

Потужність дози випромінювання (потужність поглиненої дози випромінювання):

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta t}.$$

де Δt – час, протягом якого була поглинена об'єктом опромінення доза випромінювання ΔD . Потужність дози випромінювання визначається у греях за секунду (Гр/с).

Експозиційна доза фотонного випромінювання (експозиційна доза гамма та рентгенівського випромінювання) є величина, що дорівнює відношенню суми електричних зарядів ΔQ всіх іонів одного знаку, створених електронами, звільненими в опроміненому повітрі за умови повного використання іонізуючої здатності електронів, до маси Δm – цього повітря:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}.$$

Одиниця виміру експозиційної дози – кулон на кілограм (1 Кл/кг).

Потужність експозиційної дози фотонного випромінювання \dot{X} є величина, рівна відношенню експозиційної дози ΔX фотонного випромінювання до інтервалу часу Δt , протягом якого отримана дана доза, тобто:

$$\dot{X} = \frac{\Delta X}{\Delta t}.$$

Потужність експозиційної дози вимірюється у амперах на кілограм (1 А/кг).

Експозиційна доза рентгенівського та γ – випромінювання, що падає на об'єкт, екранований захисним шаром завтовшки x :

$$X = X_0 e^{-\mu x},$$

де X_0 – експозиційна доза за відсутності захисного шару.

Експозиційна доза γ – випромінювання, що падає за час t на об'єкт, що знаходиться в повітрі на відстані R від точкового джерела,

$$X = \frac{X_0 t}{R^2}.$$

де X_0 – потужність експозиційної дози на відстані, що дорівнює одиниці. Поглинанням γ – випромінювання в повітрі нехтуємо.

4) Дефект маси. Енергія зв'язку атомних ядер.

Згідно з релятивістською механікою, маса спокою m стійкої системи взаємопов'язаних частинок менше суми мас спокою $m_1 + m_2 + \dots + m_k$ тих же частинок, взятих у вільному стані.

Різниця

$$\Delta m = (m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m$$

називається дефектом маси системи частинок.

Енергія зв'язку прямо пропорційна дефекту маси системи частинок:

$$E_{зв} = c^2 \Delta m,$$

де c^2 – коефіцієнт пропорційності

$$(c^2 = 8,987 \times 10^{16} \text{ Дж/кг} = 8,987 \times 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2).$$

Якщо енергія виражена в мега електрон-вольтах, а маса в атомних одиницях, тоді:

$$c^2 = 931,4 \text{ МеВ/а. о. м.}$$

Дефект маси Δm атомного ядра є різниця між сумою мас вільних протонів і нейтронів і масою ядра, що з них утворилося:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{я},$$

де Z – Зарядове число (число протонів в ядрі); m_p і m_n – маси протона і нейтрону відповідно; $m_{я}$ – маса ядра.

Якщо врахувати, що:

$$m_{я} = m_a - Zm_e,$$

$$m_p + m_e = m_{1H},$$

$$N = (A - Z),$$

тоді формулу дефекту маси ядра можна подати у вигляді:

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_a,$$

де A – масове число (кількість нуклонів в ядрі).

Питома енергія зв'язку (енергія зв'язку на нуклон):

$$E_{пит} = \frac{E_{зв}}{A}.$$

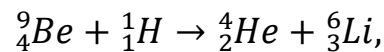
Термін «дефект маси» іноді застосовують в іншому сенсі, а саме, дефектом маси Δ називають різницю між відносною атомною масою A_r даного ізотопу та його масовим числом A :

$$\Delta = A_r - A.$$

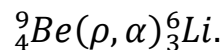
Таким чином, дефект маси Δ показує відхилення обтяжливої атомної маси від цілого значення. Ця величина прямого фізичного сенсу не має, але її використання дозволяє у ряді випадків значно спростити обчислення.

5) Ядерні реакції

Символічний запис ядерної реакції може бути дано або у розгорнутому вигляді, наприклад:



або скорочено:



При скороченому записі порядковий номер атома не пишуть, оскільки він визначається хімічним символом атома. У дужках на першому місці ставлять позначення бомбардуючої частки, на другому – частки, що вилітає з складеного ядра, і за дужками – хімічний символ ядра-продукту.

Для позначення частинок прийнято такі символи:

p – протон, n – нейтрон, d – дейтрон, t – тритон, α – альфа-частка,
 γ – гамма-фотон.

Закони збереження:

1. числа нуклонів: $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$;
2. заряду: $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$;
3. релятивістської повної енергії: $E_1 + E_2 = E_3 + E_4$;
4. імпульсу: $p_1 + p_2 = p_3 + p_4$.

Якщо загальна кількість ядер і частинок, що утворилися в результаті реакції, більше двох, запис відповідно доповнюється.

Енергія ядерної реакції:

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)],$$

де m_1 і m_2 – маси спокою ядра-мішені та бомбардууючої частинки; $m_3 + m_4$ сума мас спокою ядер продуктів реакції.

Якщо $m_1 + m_2 > m_3 + m_4$, то енергія звільняється (випромінюється), енергетичний ефект додатний, реакція екзотермічна.

Якщо $m_1 + m_2 < m_3 + m_4$, то енергія поглинається, енергетичний ефект від'ємний реакція ендотермічна.

Енергія ядерної реакції може бути записана також у вигляді:

$$Q = (T_1 + T_2) - (T_3 + T_4),$$

де T_1 і T_2 – кінетичні енергії відповідно ядра-мішені та частинки, що її бомбардує; T_3 і T_4 – кінетичні енергії частинки, що вилітає з ядра-продукта реакції.

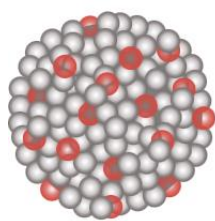
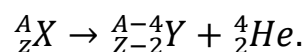
При екзотермічній реакції $T_1 + T_2 < T_3 + T_4$;

при ендотермічній реакції $T_1 + T_2 > T_3 + T_4$.

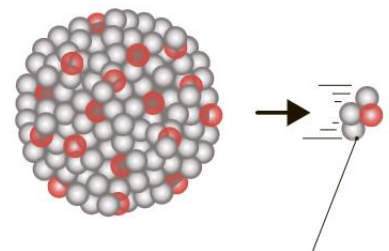
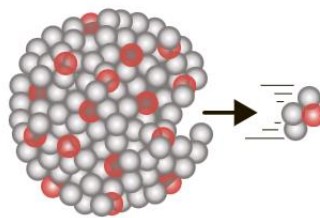
Правила зміщення Содді. (α, β, γ) розпад.

Правило зміщення 1

Під час α – розпаду нуклонне число ядра атома зменшується на 4, а протонне на 2, тому утворюється ядро елемента, порядковий номер якого у періодичній таблиці на 2 одиниці менший, ніж порядковий номер вихідного елемента:



Ядро атома



Альфа-частинка

Рис. 1.3. Альфа-розпад

Під час α – розпаду атомних ядер доволі часто на кінетичну енергію руху α – частинки (ядра атома гелію, яке складається з двох протонів і двох нейтронів зв'язаних між собою) та ядра-продукту перетворюється не вся енергія ядра. Частина цієї енергії може піти на збудження ядра-продукту з подальшим випускненням γ – квантів.

Правило зміщення 2

Під час β – розпаду нуклоне число ядра атома залишається незмінним, а протонне збільшується на 1, тому утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 1 одиницю більший, ніж порядковий номер вихідного елемента:

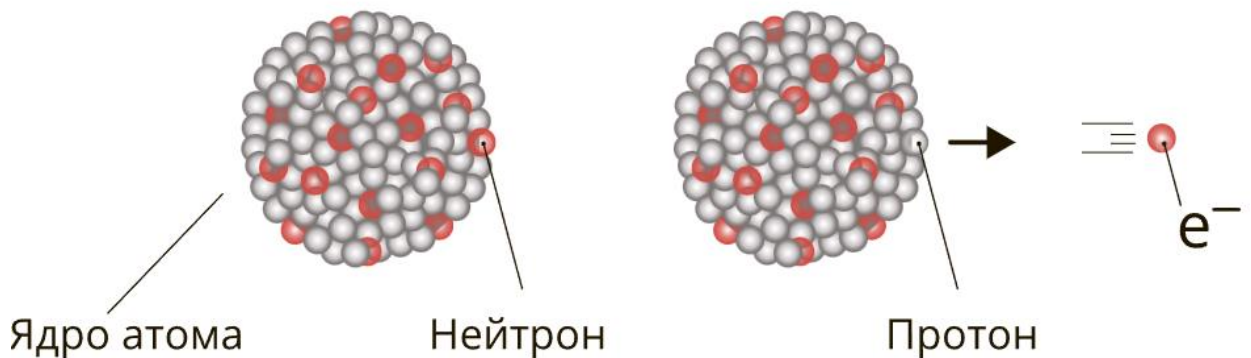
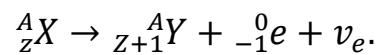


Рис 1.4. Бета-розпад

Окрім електрона (або позитрона), під час β – розпаду з ядра вилітає ще одна частинка – *нейтрино* (елементарна частинка з дуже малою масою, яка відноситься до класу лептонів). β – розпад, як і α – розпад, може супроводжуватися γ – випромінюванням.

Правило γ – розпаду

Під час γ – розпаду виникає випромінювання гамма – квантів (фотонів великої енергії, порядку 10 КеВ) ядрами які знаходяться в збудженому стані, при якому вони мають більшу порівняно з незбудженим станом енергією. Спричинити збудження ядра можуть ядерні реакції та радіоактивні розпади

інших ядер. Більшість збуджених станів ядер мають дуже невеликий час життя – менше 10^{-9} с. При γ – розпаді заряд і маса ядра не змінюється. γ – розпад являє собою один із видів, а точніше діапазонів, електромагнітного випромінювання.

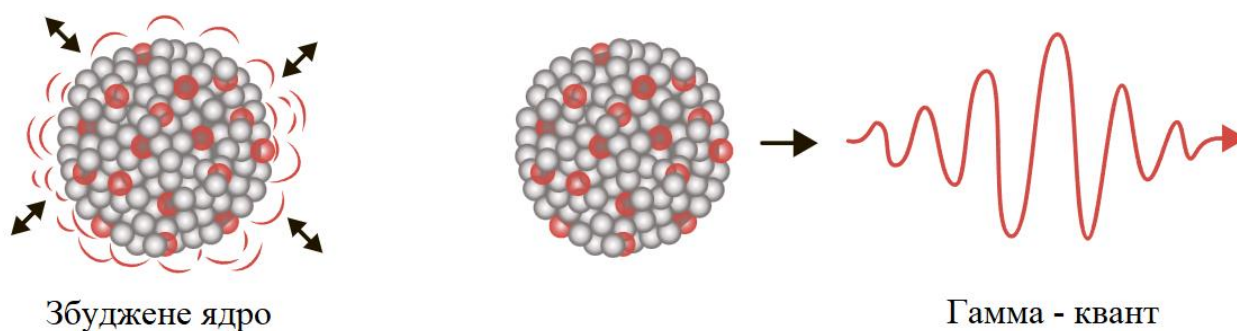
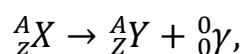


Рис 1.5. Гамма-розпад.

Енергію, яка вивільняється внаслідок ядерної реакції, називають енергетичним виходом ΔW ядерної реакції:

$$\Delta W = \Delta mc^2$$

де

$$c^2 = 931,4 \text{ MeV/а. о. м.}$$

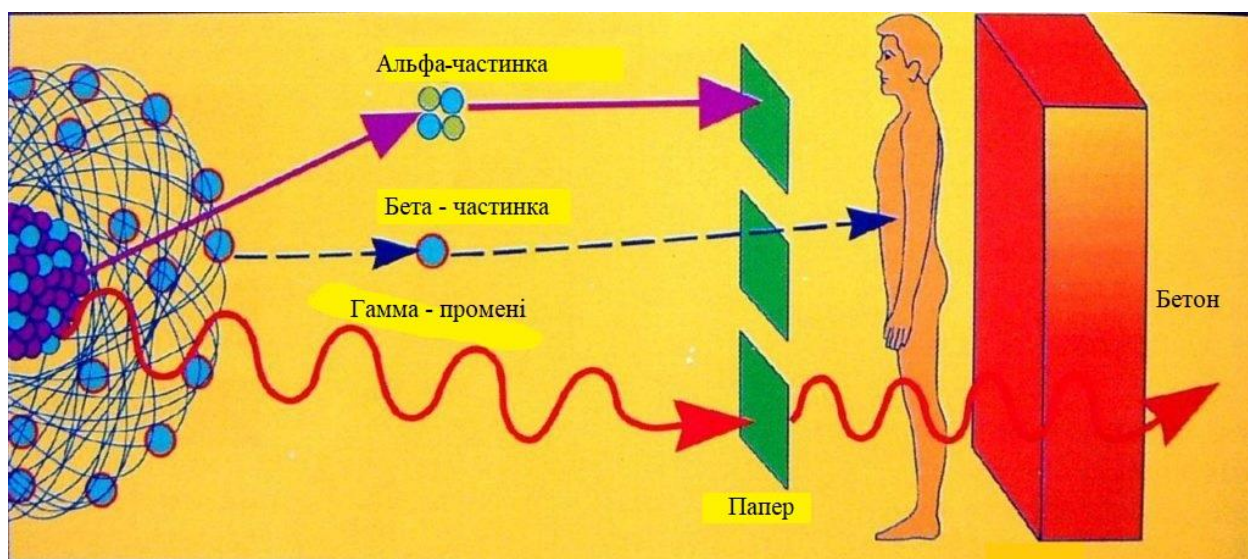


Рис 1.6. Проникна здатність α – частинки, β – частинки та γ – кванту

Теорія до практичного розділу «елементарні частинки»

Розв'язання завдань даного розділу засновано на закономірностях, вже розглянутої теорії в даній магістерській роботі та шкільного курсу фізики. У процесі розв'язку завдань буде необхідно використовувати формули теорії відносності (програма 11 клас).

Висновок до розділу 1

1) За державною програмою освіти затвердженою у 2023 році, завданням фізики є формування в учнів системних знань та навичок їх практичного застосування.

Оволодіння учнем усіма вищезазначеними вміннями та навичками свідчить про засвоєння учнем знань та вміння використовувати їх на практиці.

Наголошується на необхідності обов'язкового проведення практичних занять і лабораторних робіт, детального поглиблення у відповідні теми, та узагальнення пройденого матеріалу і його синхронізація з новими знаннями. Основне навантаження у процесі вивчення фізики покладається на практичну та експериментальну частину завдяки якій, учні можуть візуалізувати теоретичний матеріал і краще сприйняти отримані знання.

2) Задля продуктивного і ефективного розв'язання задач потрібно сприймати фізичну задачу як невелику проблему, яка розв'язується на основі законів і методів фізики, за допомогою логічних умовиводів, математичних дій та експерименту.

Розв'язання будь якої задачі відбувається за простим алгоритмом:

- аналіз фізичної проблеми або опис фізичної ситуації;
- пошук математичної моделі розв'язку;
- реалізація розв'язку та аналіз одержаних результатів.

Розуміння даних аспектів допоможе вчителю побудувати навчальний більш ефективно, так як він буде розуміти сутність методів, які він використовує.

Розділ 2

АНАЛІЗ РОЗПОВСЮДЖЕНИХ ШКІЛЬНИХ ПІДРУЧНИКІВ

В даному розділі розглядаються 2 підручники – *Засєкіна Т. М. Фізика. 11 клас. 2019р. (профільний рівень)* та *Бар'яхтар В. Г. Фізика. 11 клас. (Академічний, Профільний рівень)*.

У процесі аналізу підручників були виділені основні моменти викладання теоретичної частини. Але, головний акцент у аналізі був відведений задачам та прикладним знанням, які дозволять учням розв'язувати фізичні задачі і використовувати знання на практиці при виконанні дослідницьких та лабораторних робіт.

2.1. Аналіз підручника Засєкіна Т.М. Фізика. 11 клас. 2019р. (профільний рівень)

2.1.1. Загальний аналіз теорії

Розділ “Квантова та ядерна фізика” (останній розділ підручника) розрахований на викладання у другій половині 3 чверті та на протязі усієї 4 чверті навчального року.

Перший параграф (У підручнику номер 50) нас зустрічає короткою історичною вставкою і обґрунтуванням важливості теми.

У викладання основної теорії, інтегровані історичні вставки, опис експерименту та уточнення особистості вченого який відкрив даний закон або проводив експеримент. Текст супроводжується великою кількістю ілюстрацій які допомагають візуалізувати прочитане. Викладання ведеться скоріш в публіцистичному стилі ніж в науковому.

У процесі опрацювання теми може скластися враження, що основний матеріал закріплений у текст – розповідь який попри основні моменти науки

намагається донести до нас інформацію про вчених, історію фізики та застосування вивченої теорії.

У тексті, як правило, відсутні виділення основної теорії, правил, законів та формул. Учні потрібно перечитати увесь текст щоб зрозуміти розташування важливих опорних знань і самому проаналізувати параграф щоб виділити їх.

У підручнику дуже багато додаткової інформації і інколи зустрічаються QR-коди, для пошуку нової інформації у інтернеті.

У окремих темах зустрічаються приклади розв'язання задач (задач не багато: 1–2) і у середньому по 7–9 додаткових завдань для розв'язання у класі або вдома.

Виходячи із проведеного аналізу, робимо висновок: основним джерелом знань для учня є теорія. На думку автора: історичні вставки, інформація про вчених та історію дослідів, які інтегровані у основний текст – повинна виявити інтерес у учнів до вивчення фізики, а публіцистичний стиль зробить теорію більш доступною для учнів. Але це розмиває увагу і не дає змоги учням швидко сконцентруватися на важливих частинах матеріалу і потребує витратити час на їх самостійний пошук.

Навантаження по навчання розв'язання задач та виведенню формул покладається на вчителя (на учня, при самоопрацюванні теми), оскільки в підручнику не робиться акцент на застосуванні формул та розв'язку завдань.

Тобто, до підручника у комплекті потрібно мати брошуру з виписаними формулами та збірник задач.

2.1.2. Детальний аналіз прикладів розв'язання задач

Проаналізувавши задачі з даного підручника, можна прослідкувати певну тенденцію і манеру викладення, що в них наведено: *типова умова, яка відповідає темі, продемонстровані основні величини якими учень повинен оперувати, доречно розписаний шлях розв'язання з примітками, відсилками до пройденої раніше теорії і детальним поясненням роботи з формулами. Показаний зв'язок*

теми, що знаходиться у процесі розглядання та попередніх тем. Головний акцент робиться на їх фізичний зміст і роботу з формулами приділяючи їм як можна більше уваги, обчислення відходять на другий план. Іноді в прикладах задач у старшій школі можна обійтись і без демонстрації розрахунку і віддати всю увагу учня роботі з формулами, що є дуже доцільно.

Далі зупинимось на кожному параграфі і кожній задачі докладніше.

У §50–51 підручника нас знайомлять з Постулатами Бора і додатковими формулами (моментом імпульсу електрона та енергією поглинання фотонів), формулою Бальмера, та правилами переходу електрона між енергетичними рівнями в атомі гідрогену.

Проаналізуємо задачі з даного параграфу.

Задача 1. Визначте радіус першої борівської орбіти² для атома Гідрогену, а також лінійну та кутову швидкості електрона на цій орбіті.

<p>Дано: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с $c = 3 \cdot 10^8$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг $r_1 - ?; v_1 - ?; \omega_1 - ?$</p>	<p>Розв'язання: За теорією Бора, електрон у атомі Гідрогену обертається по коловій орбіті з доцентровим прискоренням, якого йому надає кулонівська сила, $ma_n = F_K$, або $\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}$, звідки $mv_n^2 r_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$. (1) За постулатом Бора, момент імпульсу електрона $r_n m v_n = n \frac{h}{2\pi}$, звідки $v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}$.</p>
--	---

Підставляючи даний вираз у формулу (1), отримуємо:

$$m \left(\frac{nh}{2\pi m r_n} \right)^2 r_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}, \text{ звідки } r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2} \quad (2),$$

де ϵ_0 — електрична стала, h — стала Планка, m — маса електрона, e — заряд електрона, n — номер орбіти.

Після підстановки даних обчислюємо радіус першої орбіти:

$$r_1 = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Виходячи з формули (2), можна розрахувати радіус n -ї орбіти, як $= r_1 \cdot n^2$. (3)

Знаючи радіус орбіти, можемо розрахувати швидкість руху електрона цій орбіті: $v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}$, або $v_n = \frac{h}{2\pi m r_n n}$. Отже $v_1 = 2,2 \cdot 10^6$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Щоб визначити швидкість на n -ій орбіті, можна скористатися співвідшенням $v_n = \frac{v_1}{n}$. (4)

Кутова швидкість обертання електрона на n -ій орбіті:

$$\omega_n = \frac{v_n}{r_n}, \omega_1 = \frac{v_1}{r_1} = 4,1 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}.$$

Ураховуючи формули (3) і (4), можна записати $\omega_n = \frac{\omega_1}{n^3}$. (5)

Відповідь: $r_1 = 0,528 \cdot 10^{-10}$ м; $v_1 = 2,2 \cdot 10^6$ $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\omega_1 = 4,1 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$.

Задача №1.

Даний тип задач може зустрітися у 3-му рівні ЗНО. Тут ми бачимо відсилки до нової теорії: борівських орбіт, теорії Бора; та пройдені теорії: доцентрового прискорення, лінійних та кутових швидкостей, також кулонівської сили. Розв'язок подібних завдань буде корисним для учнів у школі. Але, складність завдання викликає питання — для стартового прикладу складність завелика. Декілька шуканих величин та демонстрація зв'язку з іншими

темами за допомогою формул може заплутати учнів, які тільки пізнають тему. Якщо ставити за ціль відпрацювати базові вміння і додатково стимулювати учнів згадувати попередні теми — то, в такому випадку завдання гарне. Але, якщо за

мету ставиться познайомити учнів з методами розв'язку завдань з конкретної теми то перед цим, доцільно було б розв'язати задачі базового та легкого рівня і після цього переходити до подібних комплексних задач. Але у самому підручнику таких задач не наведено, є тільки теоретичний матеріал з параграфу.

Задача 2. Визначте потенціальну, кінетичну й повну енергії електрона на першій орбіті в атомі Гідрогену.

Дано:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$E = ?; E_{\text{пот}} = ?; E_{\text{к}} = ?$$

Розв'язання:

Повна енергія електрона в атомі Гідрогену дорівнює сумі кінетичної $E_{\text{к}}$ і потенціальної $E_{\text{пот}}$ енергій взаємодії електрона з ядром. З урахуванням того, що потенціальна енергія електрона в атомі від'ємна, оскільки нульовий рівень відліку береться на нескінченності, маємо:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad E = E_{\text{к}} + E_{\text{пот}} = \frac{mv_n^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$$

За теорією Бора, електрон в атомі Гідрогену обертається по коловій орбіті з доцентровим прискоренням, якого йому надає кулонівська сила:

$$ma_n = F_{\text{к}}, \quad \frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2}, \quad \text{звідки } v_n^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n m}$$

$$\text{тоді } E = E_{\text{к}} + E_{\text{пот}} = \frac{m}{2} \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n m} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n} = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_n}$$

З формули випливає, що повна енергія дорівнює половині потенціальної, або потенціальна вдвічі більша за повну $E_{\text{пот}} = 2E$, тоді кінетична енергія: $E_{\text{к}} = E - E_{\text{пот}} = -E$.

З урахуванням формули для визначення радіуса орбіти $r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2}$, маємо:

$$E = -\frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2 n^2}; \quad E = -2,485 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = -13,53 \text{ еВ},$$

$$\text{тоді } E_{\text{пот}} = -27,1 \text{ еВ}, \quad E_{\text{к}} = 13,53 \text{ еВ}.$$

Значення повної енергії електрона на n -ій орбіті можна визначати,

$$\text{як } E_n = \frac{E_1}{n^2}.$$

Відповідь: $E = -13,53 \text{ еВ}; E_{\text{пот}} = -27,1 \text{ еВ}; E_{\text{к}} = 13,53 \text{ еВ}.$

Задача №2

Задача за своїм принципом

схожа на попередню розглянуту задачу №1 – Задача демонструє зв'язок атомної фізики і законів

класичної механіки, а точніше спробу застосування класичних

законів механіки до

розв'язування задач з даної теми.

Можна дійти висновку, що

плюси і мінуси такого рішення

однакові для обох цих задач –

завелика складність для

ознайомлення з темою і недоцільність миттєвого ускладнення матеріалу без отримання певної бази знань з розглядуваної теми. Але для прикладу задачі типової для середнього і високого рівня ЗНО розглянути її буде корисно.

Перевагами даного підходу викладання задачі є те, що за короткий час у рамках однієї задачі можна показати і розповісти максимальну кількість специфічних моментів розв'язку завдань і широко продемонструвати зв'язок з іншими темами. Тобто використовуємо принцип «показати все і одразу» з максимальним поясненням теорії.

Недоліком даного підходу до викладання задачі є те, що в задачі не демонструється виведення основних формул для основної теми (Не враховуючи додаткові формули з попередніх тем), тобто учням буде складно зрозуміти зв'язок між фізичними величинами, як підсумок – глибина пізнання фізики буде дуже невелика і буде відсутнє прикладне розуміння науки. Звісно, якщо

виведення формул продемонстроване у теоретичній частині параграфу, то у самих задачах можна обійтись відсилками до теорії.

Примітка: Дане зауваження можна брати до уваги, якщо задача розглядається як задача-демонстрант на початку теми, у випадку розглядання її після завдань базового рівня, виведення формул не є обов'язковим, так як учні вже повинні вміти це робити і можна обійтись відсилками до попередніх завдань.

Як зазначає автор у підручнику: «Розглянуті задачі демонструють спробу застосувати класичні закони механіки до руху електрона.» – подібний прийом був би доцільним і необхідним наприкінці розглядання теми у виді ускладнення і розширення кругозору знань, але в даному випадку прийом недоречний, краще було б продемонструвати 2–3 класичні задачі базового рівня.

§52–58 нас знайомить з темами: Спектри та спектральний аналіз, Хвильові властивості матерії, Основними положеннями квантової механіки, Фізичні основи побудови періодичних систем хімічних елементів, Рентгенівське випромінювання, Квантові генератори, *Атомне* ядро.

В більшості параграфів відсутні приклади розв'язання завдань з використанням теорії, за виключенням останнього. Що є не дуже гарним знаком, теорія безумовно в фізиці є важливою частиною науки, але головне її призначення – бути використаною на практиці у прикладному форматі. Добре було б до кожної теми або зв'язаної пари тем підібрати декілька базових завдань для демонстрації класичних способів використання формул та теорії. Так, як продемонстровано у параграфі 58.

Задача. Розрахуйте енергію зв'язку ядра атома Дейтерію. Відповідь наведіть в електрон-вольтах. Використайте необхідні довідкові дані з таблиць мас ізотопів.

Дано:

$$\begin{aligned} m_p &= 1,00728 \text{ а. о. м.} \\ m_n &= 1,00866 \text{ а. о. м.} \\ M_{\text{Д}} &= 2,01410 \text{ а. о. м.} \\ m_e &= 0,00055 \text{ а. о. м.} \\ E_{\text{зв}} &= ? \end{aligned}$$

Розв'язання:

Енергія зв'язку ядра визначається як $E_{\text{зв}} = \Delta m c^2$, де Δm — різниця суми мас вільних частинок, що входять до складу ядра, і маси ядра (дефект маси ядра); c — швидкість світла у вакуумі.

Для знаходження різниці мас використовуємо з таблиць відомості про маси протона m_p , нейтрона m_n та атома Дейтерію $M_{\text{Д}}$. Для знаходження дефекту маси ядра Дейтерію Δm необхідно вирахувати з маси атома дейтерію масу електрона, що утворює його оболонку:

$$\Delta m = m_p + m_n - m_{\text{Д}} = m_p + m_n - (M_{\text{Д}} - m_e).$$

Виконавши розрахунки, отримуємо: $\Delta m = 0,00239$ а. о. м.

Оскільки $1 \text{ а. о. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, $c^2 = 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}$ і $1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$,

то для обчислень можна користуватись формулою $E_{\text{зв}} = \Delta m \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а. о. м.}}$.

$$E_{\text{зв}} = 0,00239 \text{ а. о. м.} \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а. о. м.}} = 2,23 \text{ МеВ.}$$

Відповідь: $E_{\text{зв}} = 2,23 \text{ МеВ}$.

нас знайомить з формулами представленими у своєму параграфі та показує спосіб роботи з ними — що і потребується від прикладу розв'язання задач у підручнику. Максимально прямолінійна і проста задача на одну дію, яка може зустрітись у початковому та середньому рівні ЗНО. Теорія, яку нам дає автор у самому параграфі цілком достатньо для її розв'язання, але для більш глибокого розуміння процесу потрібна демонстрація виведення основної формули, а її немає а ні в теорії, а ні у самій задачі.

У §59-63 викладаються теми: радіоактивність, ядерні реакції, методи реєстрації йонізуючого випромінювання, біологічна дія радіації та елементарні частинки. Треба зауважити, що в даних параграфах дуже гарно показана теорія — присутня демонстрація виведення окремих формул та детальне пояснення процесів. Що полегшує сприймання формул і дозволяє не виводити формули у процесі розв'язку задач.

Задача. Деяка маса радіоактивного Радію містить $25 \cdot 10^6$ атомів. Скільки атомів розпадеться за добу, якщо період піврозпаду Радію — 1602 роки?

Дано:

$$\begin{aligned} N_0 &= 25 \cdot 10^6 \\ t &= 1 \text{ доба} \\ T &= 1602 \text{ роки} \\ \Delta N &= ? \end{aligned}$$

Розв'язання:

Оскільки час t малий порівняно з періодом піврозпаду, то можна скористатись наближеною формулою для визначення кількості ядер, що розпались:

$$\Delta N = \frac{0,693}{T} N_0 t.$$

$$\Delta N = \frac{0,693 \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 1 \text{ доба}}{1602 \cdot 365 \text{ діб}} \approx 30.$$

Відповідь: $\Delta N = 30$.

Задача №3.

В даному випадку перед нами класична задача для ознайомлення з темою параграфу. До плюсів попередніх задач з розглядуваного підручника, таких як гарне супроводження і пояснення теорії, поєднаних з розписом формул додається те, що задача

Задача №4.

Невелика і дуже проста задача на одну формулу — гарна задача для ознайомлення з темою. Подібні задачі зустрічаються у першому рівні

ЗНО. Так як, у параграфі студентів\учнів якісно спорядили теорією, то розв'язати її, навіть у режимі самостійного опрацювання, буде не складно.

Задача 1. Обчисліть енергетичний вихід ядерної реакції ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$. Для наближених обчислень можна використати відносні атомні маси елементів (див. табл. на форзацах).

Дано:	Розв'язання:
$m_0(\text{N}) = 14,00307$ а. о. м	Енергетичний вихід ядерної реакції:
$m_0(\text{He}) = 4,00260$ а. о. м	$E_{\text{вих}} = \Delta mc^2$ (у Дж) або $\Delta E = \Delta m_{\text{а.о.м.}} \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{\text{а.о.м.}}$
$m_0(\text{O}) = 16,99991$ а. о. м	(у MeV).
$m_0(\text{H}) = 1,00783$ а. о. м	$\Delta m = m_0(\text{N}) + m_0(\text{He}) - m_0(\text{O}) - m_0(\text{H})$.
$E_{\text{вих}} = ?$	

Після підстановки даних отримуємо $\Delta m = -0,0014$ а.о.м.

$$\Delta E = -0,0014 \text{ а.о.м.} \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{\text{а.о.м.}} = -1,303 \text{ MeV.}$$

Знак мінус вказує на те, що енергія в даній реакції поглинається.

Відповідь: $-1,303$ MeV.

дуже схожий за підходом до задачі №4.

Задача 2. Потужність атомної установки підводного човна дорівнює 14,7 МВт. Ядерним паливом є збагачений уран ${}^{235}_{92}\text{U}$. Визначте запас пального, необхідний для місячного плавання човна, якщо за поділу одного ядра урану виділяється 200 MeV енергії.

Дано:	Розв'язання:
$P = 14,7 \text{ МВт} = 1,47 \cdot 10^7 \text{ Вт}$	Спожита потужність за місяць становить: $P = \frac{E}{t}$, де E — енергія, що виділяється за поділу всіх N ядер урану, які містяться в пальному масою m .
$t = 24 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 30 \text{ діб}$	
$E_0 = 200 \text{ MeV} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$	
$\mu = 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	
$m = ?$	$N = \frac{m}{\mu} N_a$, де μ — молярна маса урану.

Оскільки за поділу одного ядра виділяється енергія E_0 , то за поділу всіх ядер: $E = NE_0$.

$$\text{Таким чином, } P = \frac{E_0 m N_a}{\mu t}. \text{ Звідси } m = \frac{P \mu t}{E_0 N_a}.$$

$$m = \frac{1,47 \cdot 10^7 \text{ Вт} \cdot 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 24 \text{ год} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 30 \text{ діб}}{3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,495 \text{ кг.}$$

Відповідь: 0,495 кг.

підходить для розв'язання учнями після задач базової складності. Може зустрітися у другому або третьому рівні ЗНО. У даному параграфі є непоганим доповненням до першої задачі.

2.2. Аналіз підручника Бар'яхтар В.Г. Фізика. 11 клас.(Академічний, Профільний рівень)

2.2.1. Загальний аналіз теорії

Розділ Квантова та ядерна фізика (останній розділ підручника) розрахований на

Задача №5.

Класична задача-демонстрант, яка демонструє нам приклад використання формули з теорії на практиці. Подібна задача може зустрітися у першому рівні ЗНО. Приклад

Задача №6

Ускладнена класична задача з теми «ядерні реакції» зі зв'язком з молекулярною фізикою та законом класичної механіки. Потребує від учня певної бази знань, отриманої у попередніх класах. В цілому, складність задачі оптимальна і

викладання у другій половині 3 чверті та на протязі усієї 4 чверті навчального року.

Параграф 50 містить коротку вставку з історії ядерної енергетики і її ролі у світі. Наголосимо – історичні вставки виведені в окремі невеликі підрозділи та відокремлені від основного тексту, за виключенням доцільних уточнень.

Викладання основної теорії іде у науковому стилі з мінімальною кількістю уточнень таких як: рік відкриття закону та вчений першовідкривач.

У процесі опрацювання теми можна побачити відокремленні в тексті закони, виведенні формули та означення – вони виділені окремим шрифтом або позначками що наголошують на їх важливості для вивчення теми. Як правило до кожного пояснення наведено малюнок, який допомагає зрозуміти прочитане. Ілюстрацій в підручнику порівняно небагато.

На думку автора, наукове викладання теорії більш доцільне для учнів профільного рівня, а концентрація уваги на основних моментах допоможе швидше розібратися в темі і закріпити в знаннях тільки головне.

Кількість задач невелика (1–3) до кожної задачі наведено гарне пояснення і повністю описаний шлях виведення формул. Додаткових задач небагато – 3 на параграф (якщо це доцільно).

У кінці кожного параграфу є короткий висновок з найважливішими моментами теми. Також маленький підпункт з контрольними запитаннями.

Виходячи із проведеного аналізу, робимо висновок: основним джерелом знань є теорія. Характерними особливостями є те, що теорія викладена у науковому стилі з виділенням формул і акцентуванням уваги на основних частинах теми. Що гарно сприяє засвоєнню знань необхідних для поглибленого вивчення і розуміння фізики. Також цьому сприяють гарно розписані задачі які демонструють використання формул на практиці.

Навантаження по навчанню розв'язання задач покладене в основному на вчителя, хоч у підручнику і є гарно прописані приклади задач. Дається у знаки їх невелика кількість. Але, порівняно із попереднім підручником, учні будуть більш підготовлені до практичного застосування формул.

До підручника обов'язково потрібно мати збірник з додатковими задачами.

2.2.2 Детальний аналіз прикладів розв'язання задач

Проаналізувавши задачі підручника, можна виділити такі характерні риси викладання: *типова умова, відповідність теорії у підручнику і теорії якою оперують у задачі, детальний опис шляху розв'язання з детальним записом математичних обчислень та виведенням одиниць виміру, використання методу аналізу фізичної проблеми і пошуку математичної моделі продемонстровані зв'язки з попередньо пройденими темами.*

Більш детально зупинимося на кожному параграфі і задачах окремо.

§50 «Постулати Бора. Принцип Паулі» – нас знайомить: з означенням моделі атома та історією її появи, постулатами Бора (треба зазначити, кожен з постулатів добре пояснений і наведені відповідні формули), принципом Паулі та фізичними основами побудови системи хімічних елементів.

Проаналізуємо задачі, які нам пропонує до розглядання автор.

Визначте радіус першої орбіти атома Гідрогену (так званий *радіус Бора*). Маса електрона $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг; заряд електрона $1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл; стала Планка $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; електрична стала $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

r_1 — ?

Дано:
 $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
 $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м = $= 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/(В·м)

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі. Щоб розв'язати задачу, скористаємося формулою для орбітальних моментів імпульсу: $m_e v r_n = n h$.
 Оскільки слід знайти значення першого радіуса, то $n = 1$. Невідоме у формулі значення швидкості електрона на орбіті знайдемо з рівнянь механіки (рух тіла по колу).

Розв'язання. Доцентрове прискорення a визначається кулонівською силою притягання до ядра Гідрогену:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r^2},$$

де ϵ_0 — електрична стала. У формулі було враховано, що заряд ядра Гідрогену (протона) дорівнює заряду електрона.

Орбітальний момент імпульсу електрона на першій орбіті: $m_e v r_1 = h$.

Далі одержимо вираз для v^2 : $v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}$; підставимо значення v у першу формулу та знайдемо рівняння для r_1 : $r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{m_e e^2}$. Враховуючи, що $h = \frac{h}{2\pi}$, маємо: $r_1 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$r_1 = \frac{\text{Ф/м} \cdot (\text{Дж} \cdot \text{с})^2}{\text{кг} \cdot \text{Кл}^2} = \frac{\text{Кл} / (\text{В} \cdot \text{м}) \cdot (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot (\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с})}{\text{кг} \cdot \text{Кл}^2} = \text{м};$$

$$\{r_1\} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (1,60 \cdot 10^{-19})^2} = 5,31 \cdot 10^{-11}, \quad r_1 = 5,31 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Відповідь: радіус першої орбіти атома Гідрогену $r_1 = 5,31 \cdot 10^{-11}$ м.★

Задача №1.

Задача нагадує схожу задачу №1 з попереднього розглядуваного нами підручника підручника, але зниженого рівня складності і більш детальним поясненням.

Як було зазначено в описі характерних рис задач - в даній задачі використовується метод аналізу та пошуку математичної моделі. На початку задачі нам пропонують переглянути теоретичне

обґрунтування формул, які будуть використовуватись для розв'язку завдання. Формули в задачі використовуються не тільки з розглядуваної теми, а також із

попередніх тем, але ціль їх використання поясненна і алогічно обґрунтована. Таким чином автор наводить приклад того, як повинен учень повинен будувати свої міркування під час розв'язку задач, що є гарним прийомом і використано цілком доречно.

Пояснення кроків розв'язання займає більше місця, ніж сам розв'язок - це зроблено для того, щоб у учня не залишилося прогалин у знаннях та розумінні розв'язку завдання. На користь цього також виступає детальний опис обчислень, як фізичних так і математичних, не виключаючи одиниці виміру фізичних величин. Без сумніву можна зробити висновок – поясненна кожна частина задачі. У порівнянні із задачею №1 підручнику «Засекіна», ця задача позбавлена більшості її недоліків, таких як: завищена складність, неповне пояснення, велика кількість шуканих величин. Але, зберігає певний недолік – відсутність демонстрації виведення формул. Попри це, можна дійти висновку, що в даній задачі все зроблено для легкого сприймання інформації, та наведе обґрунтування використання формул з попередніх тем щоб учні могли сконцентруватися на новій темі.

Подібні задачі зустрічаються у середньому та високому рівні ЗНО, їх розв'язання є цілком корисним для учнів. Подібні задачі у схожій манері викладання дуже гарно підходять для ролі завдань-демонстрантів.

§51-54 демонструє нам теоретичний матеріал з таких тем, як: спектри випромінювання атомів і молекул, нетеплове збудження випромінювання, протонно-нейтронна модель атомного ядра, ядерні сила та їх особливості.

З усього списку тем, приклад розв'язання практичного завдання є тільки у останньому у списку параграфі. Розглянемо цю задачу детальніше.

Обчисліть питому енергію зв'язку нуклонів у ядрі ізотопу Гелію ${}^4_2\text{He}$. Маса ядра Гелію 4,00151 а. о. м., маса вільного протона 1,00728 а. о. м., маса вільного нейтрона 1,00866 а. о. м.

$f = ?$

Дано:

$$m_{\text{He}} = 4,00151 \text{ а. о. м.}$$

$$m_p = 1,00728 \text{ а. о. м.}$$

$$m_n = 1,00866 \text{ а. о. м.}$$

$$k = 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{а. о. м.}}$$

$$A_{\text{He}} = 4$$

$$Z_{\text{He}} = 2$$

$$N_{\text{He}} = 2$$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі. Для розв'язання задачі скористаємося визначенням питомої енергії зв'язку:

$$f = \frac{E_{\text{зв}}}{A} \cdot \text{Енергію зв'язку можна визначити за дефектом маси } \Delta m \text{ ядра: } E_{\text{зв}} = \Delta m k, \text{ де}$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}.$$

Розв'язання. За умовою в ядрі Гелію 2 протони та 2 нейтрони: кількість A нуклонів у ядрі дорівнює 4.

Використовуючи числові значення мас протона, нейтрона та ядра Гелію, одержуємо дефект мас в атомних одиницях маси:

$$\Delta m \approx 2 \cdot 1,00728 \text{ а. о. м.} + 2 \cdot 1,00866 \text{ а. о. м.} - 4,00151 \text{ а. о. м.} \approx 0,03037 \text{ а. о. м.}$$

Використовуючи перевідний коефіцієнт k , знайдемо енергію зв'язку:

$$E_{\text{зв}} \approx 0,03037 \cdot 931,5 \approx 28,29 \text{ MeV. Отже: } f \approx \frac{28,29}{4} \approx 7,07 \frac{\text{MeV}}{\text{нуклон}}.$$

Відповідь: питома енергія зв'язку нуклонів у ядрі ізотопу Гелію ${}^4_2\text{He}$
 $f \approx 7,07 \frac{\text{MeV}}{\text{нуклон}}.$

Задача №2.

Стандартна задача початкового рівня на 2 дії. Зберігає у собі переваги методу викладання даного підручника – гарне пояснення, детальний опис розв'язку, повне закриття прогалів у знаннях. Буде гарним прикладом

розв'язання завдання для учнів. Подібні завдання зустрічаються у початковому (за умови, що задача скоротить кількість необхідних для розв'язання дій до однієї) і середньому рівні ЗНО.

§55 «Фізичні основи ядерної енергетики» нас знайомить з поняттям ланцюгової ядерної реакції, перетворенням ядерної енергії в інші види енергії та станом ядерної енергетики у сучасності.

Визначте електричну потужність атомної електростанції, яка витрачає за добу 440 г ізотопу Урану-235 і має ККД 20 %. Під час поділу одного ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$ виділяється 200 MeV енергії.

$P_{\text{ел}} = ?$

Дано:

$$m_{\text{U}} = 0,44 \text{ кг}$$

$$\eta = 20 \%$$

$$\Delta t = 86,4 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання. Для розв'язання задачі скористаємося формулою для визначення потужності:

$$P_{\text{ел}} = \eta P_{\text{тепл}} \quad (1).$$

Теплову потужність знайдемо як відношення повної енергії, що вивільняється від поділу Урану, до часу:

$$P_{\text{тепл}} = \frac{E}{\Delta t} \quad (2).$$

Повна енергія дорівнює: $E = E_0 \cdot N$, де $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$ — кількість атомів Урану; N_A — число Авогадро. Отже: $E = \frac{E_0 \cdot m \cdot N_A}{M}$ (3).

Підставивши вирази (2) і (3) у формулу (1), маємо:

$$P_{\text{ел}} = \eta P_{\text{тепл}} = \eta \frac{E}{\Delta t} = \eta \frac{N E_0}{\Delta t} = \frac{\eta E_0 N_A m_{\text{U}}}{M \Delta t}.$$

$$\text{Остаточню: } P_{\text{ел}} = \frac{\eta E_0 N_A m_{\text{U}}}{M \Delta t}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[P_{\text{ел}}] = \frac{\text{Дж} \cdot 1 / \text{моль} \cdot \text{кг}}{\text{кг} / \text{моль} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{с}} = \text{Вт};$$

$$\{P_{\text{ел}}\} = \frac{0,2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,44}{0,235 \cdot 86,4 \cdot 10^4} = 8,3 \cdot 10^7, \quad P_{\text{ел}} = 8,3 \cdot 10^7 \text{ Вт.}$$

Відповідь: електрична потужність АЕС $P_{\text{ел}} = 83 \text{ МВт}$.

Задача №3.

Вузько спрямована задача суто для тем, які пов'язані з ядерною енергетикою та її прикладним застосуванням. Добре демонструє приклад використання фізики у житті. Сама ж задача демонструє зв'язок поняття потужності і ККД з класичної механіки та атомної фізики. Гарний приклад задачі, з точки зору тематики та з точки зору структури, яка повинна не тільки підвищити рівень знань а і викликати практичний інтерес у учнів.

Подібні задачі можуть зустрітися у третьому рівні та четвертому рівні ЗНО. Задача для ознайомлення з темою складна, але, завдяки гарному поясненню і нагадуванню певної частини теорії, учень може сконцентруватися на нових для себе аспектах фізики – зв'язку атомної енергетики і законів класичної механіки. Підходить для розв'язання учнями які вже розв'язали певну кількість завдань більш легкого рівня.

§56 «Радіоактивність. Ядерні реакції» В даному параграфі розкриваються поняття як: види радіоактивного випромінювання, правила заміщення, спонтанний поділ ядер та відмінність ядерних реакцій від радіоактивності.

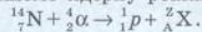
До параграфу представлена задача яка нам демонструє використання формул з параграфу на практиці. Зупинимось на ній докладніше.

У результаті поглинання ядром Нітрогену ${}^{14}_7\text{N}$ α -частинки з'являються невідомий елемент і протон. Запишіть ядерну реакцію та визначте невідомий елемент.

${}^Z_X - ?$
Дано:
 ${}^4_2\alpha$
 ${}^{14}_7\text{N}$
 ${}^1_1\text{p}$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі.
Для розв'язання задачі запишемо ядерну реакцію. Суми зарядів і мас для лівої і правої частин формули реакції мають збігатися. Із цих рівнянь одержимо невідомі значення. Потім знайдемо невідомий елемент, скориставшись Періодичною системою.

Розв'язання. Запишемо ядерну реакцію:



Обчислимо маси та заряди в обох частинах рівняння реакції:

$$14 + 4 = 1 + A; \quad 7 + 2 = 1 + Z$$

Із цих рівнянь одержимо: $A = 17$; $Z = 8$.

Із Періодичної системи знайдемо, що невідомим елементом є ізоотоп Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$.

Відповідь: невідомий елемент є ізоотопом Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$.

Задача №4.

Класична задача з теми «радіоактивність» - демонструє нам базовий приклад використання формул та теорії представлених у параграфі. Гарна задача для початку теми.

Може зустрітися у початковому рівні ЗНО, хоча тема не є дуже популярною для використання на тестуванні.

§57-59 – нас знайомлять з періодами піврозпаду, методами реєстрації випромінювання та елементарними частинками. Важлива частина теоретичного матеріалу, який буде використовуватись на практиці, знаходиться у параграфі 57 разом із формулами і прикладом розв'язання типової задачі.

Визначте масу Радію-226, що міститься в радіонуклідному зразку, якщо активність Радію становить 5 Кі.

m — ?	Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі. Для розв'язання задачі скористаємося формулою активності радіонуклідного зразка: $A = \lambda N$. Сталу радіоактивного розпаду λ знайдемо в таблиці. Знаючи активність зразка, визначимо кількість N атомів Радію, що містяться в радіонуклідному зразку.
Дано: $A = 5 \text{ Кі} = 18,5 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ 1/с}$ $M = 226 \text{ г/моль} = 226 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$	Як відомо з курсу хімії, $N = \nu N_A$, де ν — кількість речовини, N_A — число Авогадро.
Визначивши кількість речовини та скориставшись формулою $\nu = \frac{m}{M}$, де M — молярна маса Радію, знайдемо масу m Радію.	
Розв'язання. Активність зразка дорівнює: $A = \lambda N$.	
Оскільки $N = \nu N_A$, а $\nu = \frac{m}{M}$, то $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$. Підставимо вираз для N у формулу активності: $A = \frac{\lambda m N_A}{M}$. Звідси $m = \frac{AM}{\lambda N_A}$.	
Визначимо значення шуканої величини:	
$[m] = \frac{\text{Бк} \cdot \text{кг/моль}}{(1/\text{с}) \cdot (1/\text{моль})} = \frac{(1/\text{с}) \cdot \text{кг}}{1/\text{с}} = \text{кг};$	
$\{m\} = \frac{18,5 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,07 \cdot 10^{-3}, m = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 5,07 \text{ г}.$	
Відповідь: у радіоактивному зразку міститься 5,07 г Радію-226.	

Задача №5.

Гарний приклад початкової задачі для ознайомлення з темою і відпрацювання алгоритму розв'язання завдань. Так як, тема дуже тісно пов'язана з хімією, для розв'язання використовують формули з молекулярної фізики. Використання формул пояснено, і як заведено в підручнику — пояснення займає половину розв'язку. Задача

початкового рівня на 2 дії. Може зустрітися у середньому рівні ЗНО. Розглядання даної задачі буде корисне для учнів, і приклад є дуже вдалим та доречним.

Висновок до розділу 2

Проаналізувавши два представлені підручники для профільної школи, можемо виділити тонкощі педагогічного підходу автора та основні сильні і слабкі сторони кожного підручника.

У даній роботі розглядалися два підручники: підручник «Засекина 2019 рік, Фізика.(профільний рівень)» та підручник «Бар'яхтар 2011 рік, Фізика (профільний рівень)».

Якщо порівнювати представлені підручники, у таких критеріях як: манера викладення теорії та підхід до викладання практичної частини — то, підручник «Бар'яхтар 2011 рік, профільний рівень» є більш вдалим прикладом підручника, який можна використовувати для педагогічного процесу.

Більш вдалий спосіб викладання теоретичної частини позбавлений усього зайвого, завдяки якому учню легше сприймати основну інформацію, та прискіпливий підхід до розв'язання задач, в процесі розв'язання яких дається

повне пояснення процесу, робить з даного підручника гарний інструмент вчителя для навчання фізики.

Основні моменти із вищезазначених висновків можна рекомендувати для ознайомлення молодим викладачам, для того: щоб вони набиралися певного досвіду у роботі з підручниками, з допомогою яких вони можуть навчати дітей, щоб навчити аналізувати різні види навчального матеріалу та мати перед очима «еталон» гарного підручника на який можна було би рівнятись.

Розділ 3

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ ДО КОЖНОЇ З ТЕМ КУРСУ «АТОМНА ФІЗИКА»

У даному розділі будуть наведені приклади розв'язання типових задач до кожної із тем курсу. У основній роботі до кожного підрозділу буде наведений приклад однієї задачі, на якій і будуть демонструватися основні принципи та методика розв'язання. Додаткові приклади розв'язання типових задач будуть знаходитися у *додатку А* і рекомендовані для перегляду.

3.1. Типові задачі: Постулати Бора

Задача 1

Знайти радіуси r_k трьох перших борівських орбіт у атомі водню та швидкість v_k електрону на цих орбітах.

Пояснення:

На електрон, який рухається у атомі водню по k -й борівській орбіті, діє кулонівська сила:

$$F_k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} \quad (1),$$

де e – заряд електрона. Ця сила є доцентровою та передає електрону нормальне прискорення, яке обчислюється за формулою:

$$a_n = \frac{v_k^2}{r_k} \quad (2),$$

де v_k – швидкість електрона на k -й орбіті. За другим законом Ньютона:

$$F = ma_n \quad (3).$$

Підставляючи формули (1) і (2) у формулу (3), отримаємо:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} = \frac{mv_k^2}{r_k},$$

звідки можна отримати радіус борівської орбіти:

$$r_k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m v_k^2} \quad (4).$$

Згідно з *першим постулатом Бора* – рух електрона навколо ядра можливий тільки по окремих орбітах, радіуси яких задовольняють вираз:

$$m v_k r_k = k \frac{h}{2\pi} \quad (5).$$

Розв'язуючи спільно рівняння (4) і (5), знайдемо швидкість електрона на даних орбітах та радіус борівської орбіти :

$$v_k = \frac{e^2}{2\epsilon_0 k h} \quad (6) \text{ і } r_k = \frac{\epsilon_0 k^2 h^2}{\pi m e^2} \quad (7).$$

Розв'язання:

Дано: Електрична стала – $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{Н}\cdot\text{м}^2}$,

стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$, маса електрона – $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Номери орбіт – $k = 1, 2, 3$.

Підставивши відомі дані у формулу (6), отримаємо шукану швидкість електрона на різних борівських орбітах атома водню:

$$v_1 = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{2 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}} = \frac{2,56 \cdot 10^{-38}}{117,48 \cdot 10^{-46}} = 2,18 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$v_2 = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{2 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}} = 1,09 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

$$v_3 = \frac{2,18 \cdot 10^6}{3} = 0,73 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Тепер, знайдемо радіуси перших трьох орбіт, використовуючи формулу (7):

$$r_1 = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 1^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = \frac{389,49 \cdot 10^{-80}}{73,15 \cdot 10^{-69}} = 52,9 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$r_2 = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 2^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = 211,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$r_3 = 476,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Відповідь: Результати обчислень подамо у вигляді таблиці:

Таблиця 3.1

Результати обчислень

k	1	2	3
$v, 10^6 \text{ М/с}$	2,18	1,09	0,73
$r, 10^{-12} \text{ м}$	52,9	211,6	476,1

Висновок:

Проаналізувавши отримані дані, можна дійти висновку, що зі збільшенням радіусу борівської орбіти, тобто, зі збільшенням відстані від електрону до ядра атома, швидкість електрону, який знаходиться на цих орбітах буде зменшуватись. Тобто, чим більше буде радіус орбіти – тим менша буде швидкість.

3.2. Типові задачі: спектри випромінювання атомів та молекул. Види спектрів. Рентгенівське випромінювання

Задача 1

Знайти найменшу λ_{min} і найбільшу λ_{max} довжини хвиль спектральних ліній водню у видимій області спектру.

Пояснення:

Довжини хвиль спектральних ліній водню усіх серій визначається формулою Рідберга (для водню):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1).$$

Характеристики серій Рідберга наведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2

Характеристики серій Рідберга

k	n	Серія	Область
1	2.3.4...	Лаймана	Ультрафіолетова

2	3.4.5...	Бальмера	Видима
3	4.5.6...	Пащенко	Інфрачервона
4	5.6.7...	Бреккета	Інфрачервона
5	6.7.8...	Пфунда	Інфрачервона

Розв'язання:

Дано: k і n – номери орбіт ($n > k$),

постійна Рідберга – $R = 1,097373177 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Таким чином, виходячи з таблиці, бачимо, що видима область спектру відповідає значенням: $k=2$ і $n=3.4.5...$ Очевидно, звертаючи увагу на формулу (1), що найменша довжина хвилі спектральних ліній даної серії буде при $n=\infty$.

Підставивши $n=\infty$ у формулу (1), маємо формулу для отримання мінімальної довжини хвилі:

$$\frac{1}{\lambda_{min}} = \frac{R}{4}$$

або

$$\lambda_{min} = \frac{4}{R} = \frac{4}{1,097373177 \cdot 10^7} = 3,65 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 365 \text{ нм}$$

(з точністю до третьої цифри). Найбільша довжина хвилі відповідає $n=3$, при цьому

$$\lambda_{max} = \frac{1}{R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = \frac{1}{1,097373177 \cdot 10^7 \cdot \frac{5}{36}} = 6,561 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 656 \text{ нм}$$

Відповідь: $\lambda_{min} = 365 \text{ нм}$, $\lambda_{max} = 656 \text{ нм}$.

3.3. Типові задачі: склад атомного ядра. Радіоактивність

У цьому підрозділі задачі будуть розв'язуватися за допомогою теорії та формул з хімії та молекулярної фізики.

Задача 1

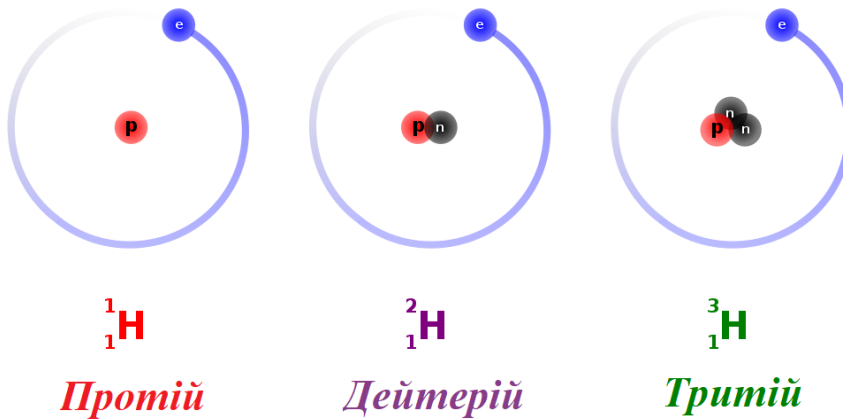
Водень збагачений дейтерієм ${}^2_1\text{H}$. Визначити масові частинки ω_1 протію ${}^1_1\text{H}$ і ω_2 дейтерію ${}^2_1\text{H}$, якщо відносна атомна маса A_r такого водню виявилася рівною 1,122.

Пояснення:

Масові частинки ω_1 протію і ω_2 дейтерію можна визначити за допомогою відношень:

$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (1.1),$$

$$\omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (1.2),$$



де m_1 та m_2 – маси відповідних ізотопів: протію та дейтерію.

З формул (1.1) та (1.2) виразимо m_1 та m_2 :

$$m_1 = \omega_1(m_1 + m_2) \quad (2.1)$$

$$m_2 = \omega_2(m_1 + m_2) \quad (2.2)$$

Молярна маса M суміші визначається за формулою:

$$M = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}} \quad (3),$$

де M_1 і M_2 – молярні маси компонентів суміші.

Підставивши формули (2.1) і (2.2) у вираз (3) отримаємо:

$$M = \frac{M_1 + M_2}{\omega_1 M_2 + \omega_2 M_1} \quad (4).$$

Так як молярні маси протію та дейтерію пропорційні їх відносним атомним масам A_r , то формулу (4) можна записати у альтернативному вигляді:

$$A_r = \frac{A_{r_1} + A_{r_2}}{\omega_1 A_{r_2} + \omega_2 A_{r_1}} \quad (5),$$

де A_{r_1} і A_{r_2} – відносні атомні маси відповідно протію та дейтерію.

Наголосимо, що сума масових частин усіх компонентів повинна бути рівна одиниці, тобто:

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (6)$$

Розв'язавши спільно формули (5) і (6), знайдемо відповідні вирази для визначення масових часток протію та дейтерію:

$$\omega_1 = \frac{A_{r_1} A_{r_2} - A_r A_{r_1}}{A_r (A_r - A_{r_1})} \quad (7.1),$$

$$\omega_2 = \frac{A_{r_1} A_{r_2} - A_r A_{r_2}}{A_r (A_{r_1} - A_{r_2})} \quad (7.2).$$

За допомогою *таблиці 3,4*, знайдемо значення відносних атомних мас для протію та дейтерію: $A_{r_1} = 1,00783$, $A_{r_2} = 2,01410$.

Табл 3,3

Значення відносних атомних мас різних елементів

Ізотоп	Маса нейтрального атома
1_1H (Водень)	100783
1_1H (1_0H) (Протій)	100783
2_1H (Дейтерій)	2,01410
3_1H (Тритій)	3,01605
3_2H (Гелій)	3,01602
4_2H (Гелій)	4,00260
6_2Li (Літій)	6,01513
7_2Li (Літій)	7,01601
8_4Be (Берилій)	8,00531

Розв'язання:

Дано: Відносна атомна маса – дейтерію $A_{r_2} = 2,01410$, протію $A_{r_1} = 1,00783$, водню (за умовою) $A_r = 1,122$.

Підставивши відомі відповідні значення величин для протію та дейтерію у формули (7,1) та (7,2) отримаємо значення масових часток кожного елементу у речовині (водні збагаченого дейтерієм):

$$\omega_1 = \frac{1,00783 \cdot 2,01410 - 1,122 \cdot 1,00783}{1,122 (2,01410 - 1,00783)} = 0,796.$$

$$\omega_2 = \frac{1,00783 \cdot 2,01410 - 1,122 \cdot 2,01410}{1,122 (1,00783 - 2,01410)} = 0,204.$$

Відповідь: $\omega_1 = 0,796$, $\omega_2 = 0,204$.

3.4. Типові задачі: перетворення ядер у процесі радіоактивного розпаду

Задача 1

Ядро Радону ${}_{86}^{220}\text{Rn}$, яке знаходилося у стані спокою випустило α – частинку зі швидкістю $v = 16$ Мм/с. У яке ядро перетворилося ядро Радону?

Яку швидкість v_2 отримало ядро у результаті віддачі?

Пояснення:

Задля розв'язку даної задачі потрібно скористатися законом збереження імпульсу.

$$mv = m_1v_1 - m_2v_2 \dots m_nv_n \quad (1).$$

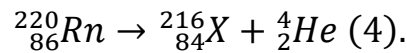
Так як, вихідне ядро знаходилося у стані спокою його імпульс був рівний нулю $p = 0$, тоді і після α – розпаду імпульс частинок буде рівний нулю. Напишемо формулу (1) застосувавши вищезазначені корективи:

$$0 = m_{\text{He}}v_1 - m_Xv_2 \quad (2).$$

З формули (2) виразимо швидкість v_2 :

$$v_2 = \frac{m_{\text{He}}}{m_X} v_1 \quad (3).$$

Тепер, напишемо рівняння реакції α – розпаду яка сталася з ядром Радону ${}^{220}_{86}\text{Rn}$:

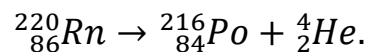


Розв'язання:

Дано: Ядро Радону ${}^{220}_{86}\text{Rn}$, α – частинка – ${}^4_2\text{He}$,

швидкість частинки – $v = 16 \text{ Мм/с}$.

Проаналізувавши формулу (4), за допомогою таблиці Менделєєва, можна зрозуміти – що, ядро у яке перетворилося ядро Радону, це – ядро Полонію:



Скориставшись отриманими даними з рівняння реакції і підставивши їх формулу (4) отримаємо значення швидкості v_2 , яку отримало ядро у результаті віддачі:

$$v_2 = \frac{4 \cdot 16 \cdot 10^6}{216} = 296 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 296 \text{ км/с}.$$

Відповідь: Вихідне ядро Радону ${}^{220}_{86}\text{Rn}$ перетворилося у результаті α – розпаду у ядро Полонію ${}^{216}_{84}\text{Po}$. Швидкість яку отримало дане ядро у результаті віддачі $v_2 = 296 \text{ км/с}$.

3.5. Типові задачі: закон радіоактивного розпаду

Задача 1

У скільки разів кількість розпадів ядер радіоактивного ізотопу ${}^{131}_{53}\text{I}$ протягом першої доби більше числа розпадів протягом другої доби? Період піврозпаду ізотопу ${}^{131}_{53}\text{I}$ дорівнює 193 годинам.

Пояснення:

Із закону радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1),$$

виходить, що на протязі першої доби (перших 24 годин) розпалися:

$$N = N_0 (1 - e^{-24\lambda t}) \quad (2).$$

На протязі другої доби розпалися:

$$N = N_0 (1 - e^{-24\lambda t}) e^{-24\lambda t} \quad (3).$$

Відношення значень розпадів ядер за першу добу до значення розпадів за другу добу дорівнює:

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{24\lambda t} = e^{\frac{-24 \ln 2}{T_{1/2}}} \quad (4).$$

де $T_{1/2}$ – період піврозпаду $^{131}_{53}\text{I}$ у годинах, він пов'язаний з постійною розпаду λ відношенням:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: ядро ізотопу Йоду – $^{131}_{53}\text{I}$, період піврозпаду ізотопу – $T_{1/2} = 193$ години.

Застосувавши формулу (4), отримаємо шукане значення:

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{24 \cdot 0.693}{193}} = 1.09.$$

Тобто: $N_1 = 1.09N_2$

Відповідь: Відношення значень розпадів ядер за першу добу до значення розпадів за другу добу дорівнює – $\frac{N_1}{N_2} = 1.09$.

3.6. Типові задачі: активність. Радіоактивна рівновага

Задача 1

За час $t = 1$ діб активність ізотопу зменшилась від $A_1 = 118$ ГБк до $A_2 = 7,4$ ГБк. Визначити період піврозпаду даного нукліду.

Пояснення:

Для розв'язку завдання використаємо формулу періоду піврозпаду:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (1),$$

Формула активності ізотопу:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (2),$$

Напишемо закон радіоактивного розпаду для даної задачі:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3),$$

Підставивши у формулу (2) формулу (3) отримаємо:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (4),$$

Запишемо отримані формули з корективами, які накладає умова даної задачі:

Початкова активність ізотопу A_1 буде визначатися за виразом:

$$A_1 = \lambda N_1 \quad (5),$$

Кінцева активність ізотопу A_2 буде визначатися:

$$A_2 = \lambda N_2 = \lambda N_1 e^{-\lambda t} \quad (6),$$

По формулі (6) можна бачити, що – кількість атомів зменшується.

Розділимо формулу (5) на формулу (6) отримаємо:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda N_1}{\lambda N_1 e^{-\lambda t}} = e^{\lambda t} \quad (7),$$

Прологарифмуємо формулу (7), і виразимо λt :

$$\lambda t = \ln \frac{A_1}{A_2} \quad (8),$$

Виразимо із формули (8) постійну радіоактивного розпаду λ :

$$\lambda = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{t} \quad (9).$$

Підставимо у формулу (1) формулу (9) і отримаємо вираз, для визначення періоду піврозпаду:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{t}} = \frac{t \ln 2}{\ln \frac{A_1}{A_2}} \quad (10).$$

Розв'язання:

Дано: Початкова активність ізотопу – $A_1 = 118$ ГБк,

Кінцева активність ізотопу – $A_2 = 7,4$ ГБк, час – $t = 1$ доба.

Підставивши у формулу(10) відомі величини отримаємо шуканий період піврозпаду нукліду:

$$T_{1/2} = \frac{1 \cdot \ln 2}{\ln \frac{118 \cdot 10^9}{7,4 \cdot 10^9}} = 0,25 \text{ доби} = 6 \text{ годин.}$$

Відповідь: Період піврозпаду нукліду дорівнює 6 годин.

3.7. Типові задачі: елементи дозиметрії. Поглинання гамма-променів

Задача 1

Визначити товщину шару половинного ослаблення $x_{1/2}$ паралельного пучка γ – випромінювання для води, якщо лінійний коефіцієнт ослаблення дорівнює $\mu = 0,047 \text{ см}^{-1}$.

Пояснення:

При проходженні γ – випромінювання крізь шар речовини, виникає їх поглинання речовиною за рахунок трьох факторів: фотоэффекту, ефекту Комптона і виникнення пар (електрон-протон). У результаті дії цих трьох факторів інтенсивність γ – випромінювання експоненціально спадає у залежності від товщини шару:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1).$$

Пройшовши поглинаючий шар товщиною, який рівний товщині шару половинного ослаблення $x_{1/2}$, пучок γ – випромінювання буде мати інтенсивність:

$$I = \frac{I_0}{2} \quad (2).$$

Підставивши значення I з формули (2) і x у формулу (1), отримаємо:

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}} \quad (3).$$

Прологарифмувавши вираз (3), отримаємо шукане значення товщини шару половинного ослаблення:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (4).$$

Розв'язання:

Дано: Лінійний коефіцієнт ослаблення – $\mu = 0,047 \text{ см}^{-1}$.

Підставивши у формулу (4) відомі значення μ і $\ln 2$, знайдемо шукану величину значення товщини шару половинного ослаблення $x_{1/2}$:

$$x_{1/2} = \frac{0,693}{0,047} = 14,7 \text{ см.}$$

Висновки:

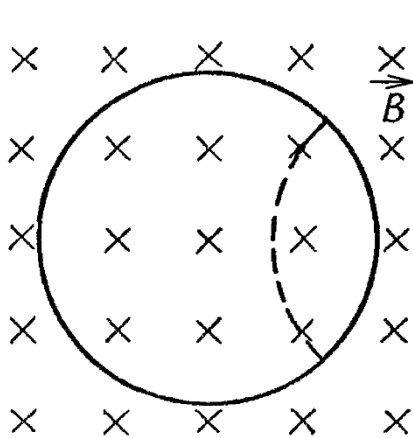
Таким чином, шар води товщиною $x_{1/2} = 14,7$ см знижує інтенсивність γ – випромінювання у два рази.

Відповідь: Товщина шару половинного ослаблення $x_{1/2} = 14,7$ см.

3.8. Типові задачі: методи реєстрації іонізуючого випромінювання

Задача 1

На малюнку зображений трек електрона у камері Вільсона, яка поміщена у магнітне поле. В якому напрямку буде рухатися електрон, якщо лінії магнітної індукції ідуть від нас?



Розв'язання:

З малюнку видно, що сила Лоренца діяла у напрямку, показаному на малюнку. За правилом лівої руки, враховуючи, що заряд електрона від'ємний, робимо висновок – що електрон рухається знизу у гору.

Відповідь: Електрон рухається знизу у гору.

3.9. Типові задачі: енергія зв'язку атомних ядер. Дефект маси та енергія зв'язку дейтрона

Задача 1

Обчисліть дефект маси та енергію зв'язку дейтрона.

Маса дейтрона становить $m_D = 3,34359 \times 10^{-27}$ кг або $1875,61 M \frac{eB}{c^2}$.

Пояснення:

Для розв'язку задачі використаємо формулу *дефекту мас*:

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_\alpha (1).$$

дефект маси для дейтрона буде дорівнювати:

$$\Delta m = m_{1H} + m_n - m_D (2).$$

Енергія зв'язку дейтрона за формулою дорівнює:

$$E_{зв} = c^2 \Delta m (3).$$

Розв'язання:

Дано: Маса дейтрону – $m_D = 1875,61 M \frac{eB}{c^2}$, коефіцієнт пропорційності – $c^2 = 8,987 \times 10^{16} \text{ Дж/кг} = 8,987 \times 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$, $m_{1H} = 938,28 M \frac{eB}{c^2}$, $m_n = 939,57 M \frac{eB}{c^2}$.

За допомогою формули (2) знайдемо дефект маси дейтрона:

$$\Delta m = 938,28 + 939,57 - 1875,61 = 2,24 M \frac{eB}{c^2}.$$

Знайшовши значення дефекту маси дейтрону, тепер знайдемо енергію зв'язку за допомогою формули (3):

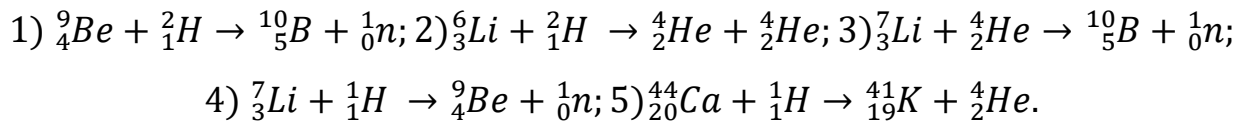
$$E_{зв} = c^2 \cdot 2,24 M \frac{eB}{c^2} = 2,24 \text{ МеВ}.$$

Висновок: Щоб розщепити дейтрон на протон і нейтрон, потрібно понад два мільйони електрон-вольт. Це дуже велике значення, що вказує на велику силу ядерної сили. Для порівняння, найбільша кількість енергії необхідний для вивільнення електрона, зв'язаного з атомом водню силою Кулона (електромагнітна сила) становить близько 10 еВ.

Відповідь: Дефект маси дейтрона $\Delta m = 2,24 M \frac{eB}{c^2}$, енергія зв'язку атомних ядер $E_{зв} = 2,24 \text{ МеВ}$.

3.10. Типові задачі: ядерні реакції. Закони збереження у ядерних реакціях**Задача 1**

Визначити енергію Q ядерних реакцій:



Пояснення:

Енергія ядерної реакції визначається формулою:

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] \quad (1),$$

де m_1 і m_2 – маси спокою частинок, які вступають у реакцію; $m_3 + m_4$ сума мас спокою ядер продуктів реакції.

Маси атомів виражають у а.о.м, тому коефіцієнт пропорційності c^2 буде приймати значення $c^2 = 931,4$ МеВ/а.о.м.

Зауважимо, якщо $Q > 0$, то енергія звільняється (випромінюється), енергетичний ефект додатний, реакція екзотермічна. Якщо $Q < 0$, то енергія поглинається, енергетичний ефект від'ємний, реакція ендотермічна.

Розв'язання:

Дано: Перелік ядерних реакцій.

За допомогою Табл.3,5 визначимо значення мас ядер (а.о.м)

$$m_{{}^9_4\text{Be}} = 9,01219; m_{{}^2_1\text{H}} = 2,01410; m_{{}^{10}_5\text{B}} = 10,01294; m_n = 1,00867;$$

$$m_{{}^6_3\text{Li}} = 6,01513; m_{{}^4_2\text{He}} = 4,00260; m_{{}^7_3\text{Li}} = 7,01601; m_{{}^1_1\text{H}} = 1,00783;$$

$$m_{{}^7_4\text{Be}} = 7,01693; m_{{}^{44}_{20}\text{Ca}} = 43,95549; m_{{}^{41}_{19}\text{K}} = 40,96184;$$

Підставляючи відомі значення для кожної реакції, отримаємо шукану енергію ядерної реакції:

1) Для реакції: ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$, Q буде дорівнювати:

$$Q_1 = 931,4 \cdot [(9,01219 + 2,01410) - (10,01294 + 1,00867)] = 4,36 \text{ МеВ.}$$

2) Для реакції: ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$, Q буде дорівнювати:

$$Q_2 = 931,4 \cdot [(6,01513 + 2,01410) - (4,00260 + 4,00260)] = 22,4 \text{ МеВ.}$$

3) Для реакції: ${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$, Q буде дорівнювати:

$$Q_3 = 931,4 \cdot [(7,01601 + 1,00783) - (10,01294 + 1,00867)] = -2,8 \text{ МеВ.}$$

4) Для реакції: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^9_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$, Q буде дорівнювати:

$$Q_4 = 931,4 \cdot [(7,01601 + 1,00783) - (7,01693 + 1,00867)] = -1,64 \text{ МеВ.}$$

5) Для реакції: ${}^{44}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\text{K} + {}^4_2\text{He}$, Q буде дорівнювати:

$$Q_5 = 931,4 \cdot [(43,95549 + 1,00783) - (40,96184 + 4,00260)] = -1,04 \text{ MeV.}$$

Висновки: Проаналізувавши отримані дані можна дійти висновку, що для 1 та 2 реакції енергія випромінюється, енергетичний ефект додатний, реакція екзотермічна.

Для реакцій 3–5 енергія буде поглинатися, енергетичний ефект від'ємний, реакція ендотермічна.

Відповідь:

Енергія ядерної реакції для відповідних реакцій дорівнює: $Q_1 = 4,36 \text{ MeV}$, $Q_2 = 22,4 \text{ MeV}$, $Q_3 = -2,8 \text{ MeV}$, $Q_4 = -1,64 \text{ MeV}$, $Q_5 = -1,04 \text{ MeV}$.

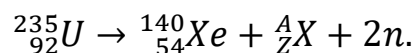
3.11. Типові задачі: реакція ділення

Задача 1

Ядро урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ захопило один нейтрон, і розділилося на два уламки, причому звільнилося два нейтрона. Одним з уламків виявилось ядро ксенону ${}^{140}_{54}\text{Xe}$. Визначити порядковий номер Z і масове число A другого уламку.

Розв'язання:

Запишемо рівняння реакції:



Закон збереження електричного заряду буде мати вигляд:

$$92 + 0 = 54 + Z + 0.$$

Після розрахунку отримуємо: $Z = 38$ – порядковий номер.

Кількість нуклонів зберігається:

$$235 + 1 = 140 + A + 2.$$

Після розрахунку отримаємо: $A = 94$ – масове число.

Другий уламок за таблицею Менделєєва буде являти собою ядро стронцію ${}^{94}_{38}\text{Sr}$.

Відповідь: Порядковий номер Z і масове число A другого уламку будуть відповідно дорівнювати 38 і 94, а саме ядро є ядром стронцію ${}^{94}_{38}\text{Sr}$.

3.12. Типові задачі: енергія радіоактивного розпаду ядер

Задача 1

Альфа–розпад плутонію

Знайти енергію, що виділяється при розпаді ^{239}Pu .

Пояснення:

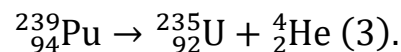
Енергію, що виділяється при α розпаді ^{239}Pu , можна знайти за допомогою рівняння:

$$\Delta W = \Delta m c^2 \quad (1).$$

Ми повинні спочатку знайти Δm , різницею мас між материнським ядром і продуктами розпаду за формулою:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}} \quad (2),$$

Рівняння α - розпаду для даної задачі буде мати вигляд:



Розв'язання:

Таким чином, відповідними масами є маси $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{235}_{92}\text{U}$, і α -частинки або ^4_2He , маси яких є відомими. Початкова маса була $m_{^{239}\text{Pu}} = 239.052157$ а. о. м. Кінцева маса – сума $^{235}_{92}\text{U} + ^4_2\text{He}$.

$$m_{^{235}\text{U}} + m_{^4\text{He}} = 235.043924 + 4.022602 = 239.046526 \text{ а. о. м.}$$

Таким чином, використавши формулу (2) знайдемо дефект мас підставивши у неї відомі значення:

$$\Delta m = 239.052157 - 239.046526 = 0.0005631 \text{ а. о. м.}$$

Тепер за допомогою формули (1) обчислимо значення енергії розпаду, одночасно переводимо значення дефекту мас $1 \text{ а. о. м} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$:

$$\Delta W = 0.0005631 \cdot 931.5 \cdot 931.4 = 5,25 \text{ MeV.}$$

Висновок:

Енергія, що виділяється при цьому α розпаді, знаходиться в діапазоні MeV , що у багато разів перевищує енергію хімічної реакції. Більша частина цієї енергії стає кінетичною енергією α -частинки (або ядра ^4_2He), яка віддаляється з великою швидкістю. Енергія, що виноситься при віддачі ядра $^{235}_{92}\text{U}$, значно менша через

його відносно велику масу. Ядро ${}^{235}_{92}\text{U}$ можна залишити у збудженому стані, щоб пізніше випромінювати фотони (γ -промені).

Відповідь: Енергія, що виділяється при α розпаді ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ буде дорівнювати 5,25 МеВ.

3.13. Типові задачі: елементарні частинки

Задача 1

Електрон і позитрон, які мають однакові значення кінетичних енергій, які дорівнюють $T_1 = T_2 = 0,24$ МеВ, при зіткненні перетворились у два однакових фотони γ_1 та γ_2 .

Визначити енергію E фотону і відповідну йому довжину хвилі λ .

Пояснення:

Запишемо рівняння реакції, за умовою:

$${}^0_{-1}e + e^+ = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (1).$$

За законом збереження енергії:

$$m_{{}^0_{-1}e}c^2 + T_1 + m_{{}^0_{-1}e}c^2 + T_2 = T_{\gamma_1} + T_{\gamma_2} = 2T_{\gamma} \quad (2).$$

Спростимо вираз (2) і виразимо значення кінетичної енергії T_{γ} , враховуючи, що за умовою $T_1 = T_2$ отримаємо:

$$T_{\gamma} = m_{{}^0_{-1}e}c^2 + T \quad (3),$$

де c – швидкість світла.

Так як, енергія фотону E буде дорівнювати значенню кінетичної енергії фотонів T_{γ} , то формула (3) буде приймати вигляд:

$$E = m_{{}^0_{-1}e}c^2 + T \quad (4).$$

Енергія фотону E буде визначатися за формулою:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (5),$$

де h – стала планка $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж/с.

З формули (4) виразимо шукане значення λ :

$$\lambda = \frac{hc}{E} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Кінетичні енергії – $T_1 = T_2 = 0,24 \text{ MeV}$.

За формулою (4) отримаємо значення енергії фотону:

$$E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} + 0,24 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 = 12 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$$

Тепер, за формулою (6) знайдемо значення довжини хвилі:

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{12 \cdot 10^{-14}} = 1,65 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

Відповідь: Значення енергії фотону E дорівнює $12 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$, та відповідна йому довжина хвилі буде рівна $1,65 \cdot 10^{-12} \text{ м}$.

Висновок до розділу 3

У представленому розділі, наведені приклади розв'язання типових завдань з курсу «Атомна фізика», що дасть змогу учням засвоїти весь необхідний матеріал.

З усіх існуючих методик розв'язку задач, у даній роботі була представлена найоптимальніша з них. Характерною ознакою якої є послідовний підхід до розв'язку:

- запис умови завдання,
- аналіз фізичної проблеми (за необхідністю),
- пошук математичної моделі розв'язку,
- підстановка значень та отримання шуканого результату.

Основною перевагою даного методу є те, що учні з кожним завданням, відтворюючи даний алгоритм, структурують свої знання, тим самим навчаються використовувати отримані знання на практиці. Також, вчаться послідовно виконувати дії, які необхідні для розв'язку завдання, тобто, відмежовувати роботу з фізичними формулами від математичних обчислень, і виконувати всі дії організовано та послідовно, що гарно впливає на засвоєння матеріалу.

Висновки

У даній роботі було розглянуті методи розв'язання типових завдань з курсу «Атомна фізика» у профільній школі.

У процесі аналізу теоретичних матеріалів були досліджені різні методи викладання фізики та розв'язання задач. З усіх представлених методів був виділений найоптимальніший алгоритм розв'язання задач, який можна представити наступним:

- читання умови, осмислення термінів і виразів;
- виконання короткого запису умови, виконання рисунків;
- аналіз змісту, виявлення фізичної суті і чітких уявлень про явища, процеси, стани тіл, закладені в умові, згадування понять, законів, необхідних для здійснення розв'язування;
- складання плану розв'язку (виконання дослідів), доповнення умови фізичними константами і табличними даними, аналіз графічних матеріалів (графіків, малюнків тощо);
- переведення значень фізичних величин в одиниці СІ;
- знаходження закономірностей, які пов'язують шукані і дані величини, записування відповідних формул;
- складання і розв'язування системи рівнянь в загальному вигляді (складання установки для досліду і його виконання);
- розрахунок шуканої величини (аналіз результатів експерименту);
- аналіз одержаної відповіді; оцінка впливу спрощень, допущених в умові і при розв'язуванні (виконання експерименту);
- розгляд інших можливих способів розв'язання задачі, вибір найраціональнішого.

Даний алгоритм гарно зарекомендував себе на практиці, і його можна побачити у збірниках та підручниках. Його можна рекомендувати до використання молодому вчителю для досягнення високих результатів у учнів,

тому що формує у учнів повне сприйняття матеріалу та розуміння фізичних законів.

Молодому вчителю буде дуже корисно ознайомитись з матеріалом даної роботи, оскільки це дозволить йому оновити та структурувати знання, отримані у процесі навчання в університеті не тільки з точки зору педагога, а і фізика; ознайомитись з прикладами розв'язку завдань, їх поясненням, структуруванням задач за темами та методиками їх викладання.

Мету роботи можна вважати виконаною, а результати, доцільними до обговорення та аналізу, задля покращення методики розв'язання завдань та вивчення фізики.

Список використаних джерел

1. Засекіна Т. М., Засекін Д. О. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.). підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. вид. «Оріон», 2019. 304 с.
2. Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Підручник для загальноосвіт. навч. закл. вид. «Ранок»), 2011. 320 с.
3. University Physics Volume 3. OpenStax. Rice University 6100 Main Street MS-375 Houston, Texas 77005. 2021 Rice University.
4. Садовий М. І., Вовкотруб В. П., Трифонова О. М. Вибрані питання загальної методики навчання фізики: навчальний посібник (для студ. ф.м. фак. вищ. пед. навч. закл.). вид. Кіровоград: «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2013. 252 с.
5. Степанова Г. Н.. Збірник задач з фізики: для 9-11 класу загальноосвітніх закладів. 3-тє вид Просвіта, 1997. 256 с.
6. Тудьчинський М. Є. Т82 Якісні завдання з фізики у середній школі. Посібник для вчителів. Вид. 4-те, переробок, і дод, вид. «Освіта», 1972. 240 с.
7. Римкевич А. П., Римкевич П. А. Збірник завдань з фізики для 8 -10 класів середньої школи. 6-е вид., Перероб. вид. Рад. школа, 1983. 176 с.
8. Чортов А. Г., Воробйов А. А. Задачник із фізики: допомога. 4-те вид., Перероб. І доп. вид., Вищ. школа, 1981. 496 с.
9. Гельфгат І. М., Ненашев І. Ю., Фізика 11. Збірник задач. вид. Харків: Гімназія, 2004. 96 с.
10. Волькенштейн В. С. збірник завдань із загального курсу фізики. Навчальний посібник. 11-те видання., перероб. вид. Головна редакція фізико – математичної літератури, 1985. 384 с.
11. Сахаров Д. І. Збірник задач з фізики. Навч. посібник для студентів пед.інститутів. вид 12-те. «Просвіта», 1973. 288 с.

12. Плюйко В. А., Солодовник К. М. Збірник задач з ядерної фізики з розв'язками. Методичний посібник з курсу «Фізика атомного ядра та елементарних частинок» Для студентів, аспірантів та викладачів фізичних і фізико-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2020. 50 с. Навчальне видання. Електронна версія.

13. Фізика Мега—збірник задач. вид. 2021 Одеса, 262 с.

14. Гончарова Н. Г., Ішханов Б. С., Капітонів І. М., Кебін Е. І., Степанов М. Є.. Фізика ядра та елементарних частинок. [Електронний ресурс] режим доступу: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/problems/index.html>

15. Приклади розв'язання задач. [Електронний ресурс] режим доступу: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/primery%20zadach.htm>

16. EarthZ.ru.Sapientis Sat. Розділ: задачі з фізики. [Електронний ресурс] режим доступу: <https://earthz.ru/solves~648>

17. Навчальні програми з фізики для 10–11 класів загальноосвітніх навчальних закладів затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 № 1392.

18. Problems and Solutions on Atomic, Nuclear and Particle Physics. The Physics Coaching Class University of Science and Technology of China. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. P O Box 128, Farrer Road, Singapore 912805 USA office: Suite 1B, 1060 Main Street, River Edge, NJ 07661 UK office: 57 Shelton Street, Covent Garden, London WC2H 9HE.

19. Збірник завдань з атомної та ядерної фізики: Підрч. Збірник для вищих навчальних закладів. перероблене. і доповн. 7-ме вид. Енергоатоміздат, 1984. 216 с.

20. Частинки і атомні ядра. Підручник. 2-ге. вид., випр і доп. Видавництво ЛКІ, 2007. 584 с.

Додатки

Додаток А

1.1 Додаткові задачі за темою: постулати Бора

Задача 1

Знайти кінетичну енергію W_k , потенціальну енергію W_n та повну енергію W атома електрона на першій борівській орбіті ($k = 1$). Також, знайти кінетичну енергію W_k електрона, який знаходиться на k -й орбіті атома водню, для $k = 1, 2, 3$ та ∞ .

Пояснення:

Для розв'язання даної задачі використаємо формулу для знаходження швидкості електрона на заданій орбіті:

$$v_k = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 k h} \quad (1),$$

яка вже була отримана у процесі розв'язку попередньої задачі (*Задача 1, формула (6), розділ 3,1. Типові задачі: Постулати Бора*).

Кінетична енергія електрона на k -й борівській орбіті:

$$W_{k(k)} = \frac{m v_k^2}{2} \quad (2).$$

Підставляючи формулу (1) у (2) отримаємо:

$$W_{k(k)} = \frac{m e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^2 k^2} \quad (3).$$

Потенціальна енергія електрона:

$$W_n = -2W_{k(k)} \quad (4).$$

Повна енергія електрона:

$$W = W_k + W_n \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: Електрична стала – $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$,

стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, маса електрона – $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$,

заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,

Номери орбіт – $k = 1, 2, 3$ та ∞ . Відношення значень енергій – $1 \text{ eV} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{eКл}}$.

1) Підставляючи відомі дані у формулу (3) отримаємо значення кінетичної енергії електрона:

$$W_{k(1)} = \frac{9,1 \cdot 30^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{8 \cdot (8,86 \cdot 10^{-12})^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2 \cdot 1^2} = \frac{59,64 \cdot 10^{-107}}{2,76 \cdot 10^{-88}} =$$

$$= 21,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = \frac{21,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 13,51 \text{ eV}.$$

Підставляючи отримане значення у формулу (4) отримаємо значення потенціальної енергії електрона:

$$W_{n(1)} = -2 \cdot 13,51 = -27,02 \text{ eV}.$$

Обчисливши значення кінетичної W_k та потенціальної W_n енергій, підставимо їх у формулу (5) і отримаємо значення повної енергії електрона:

$$W_1 = 13,51 + (-27,02) = -13,51 \text{ eV}.$$

2) Використавши формулу (3) обчислимо значення кінетичної енергії для кожної борівської орбіти:

- Якщо $k = 1$, тоді:

$$W_{k(1)} = \frac{9,1 \cdot 30^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{8 \cdot (8,86 \cdot 10^{-12})^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2 \cdot 1^2} = 21,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 13,51 \text{ eV}.$$

- Якщо $k = 2$, тоді:

$$W_{k(2)} = \frac{9,1 \cdot 30^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{8 \cdot (8,86 \cdot 10^{-12})^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2 \cdot 2^2} = 3,38 \text{ eV}.$$

- Якщо $k = 3$, тоді:

$$W_{k(3)} = \frac{59,64 \cdot 10^{-107}}{2,76 \cdot 10^{-88} \cdot 3^2} = 1,5 \text{ eV}.$$

- Якщо $k = \infty$, тоді:

$$W_{k(\infty)} = \frac{59,64 \cdot 10^{-107}}{2,76 \cdot 10^{-88} \cdot \infty^2} = 0.$$

Відповідь:

1) $W_{k(1)} = 13,51 \text{ eV}$, $W_{n(1)} = -27,02 \text{ eV}$, $W_1 = -13,51 \text{ eV}$.

$$2) W_{k(1)} = 13,51 \text{ eВ}, W_{k(2)} = 3,38 \text{ eВ}, W_{k(3)} = 1,5 \text{ eВ}, W_{k(\infty)} = 0.$$

Задача 2

Знайти період T обертання електрона на першій ($k = 1$) борівській орбіті атома водню і його кутову швидкість ω .

Пояснення:

Радіус k -ї борівської орбіти електрона r_k у атома водню і швидкість руху електрона по заданій орбіті v_k відповідно дорівнюють:

$$r_k = \frac{\varepsilon_0 k^2 h^2}{\pi m e^2} \quad (1) \quad \text{та} \quad v_k = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 k h} \quad (2).$$

Дані формули вже були отримані при аналогічних міркуваннях у процесі розв'язку попередньої задачі (*Задача 1, формули (6) і (7), розділ 3,1. Постулати Бора*).

Період обертання електрона:

$$T_k = \frac{2\pi r_k}{v_k} \quad (3).$$

Підставляючи (1) і (2) формули у формулу (3), отримаємо:

$$T_k = \frac{4\varepsilon_0^2 k^3 h^3}{m e^4} \quad (4).$$

Кутова швидкість руху електрона:

$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_k} \quad (5).$$

Підставивши формулу (4) у (5) отримаємо формулу кутової швидкості:

$$\omega_k = \frac{\pi m e^4}{2\varepsilon_0^2 k^3 h^3} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Електрична стала – $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$,

стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, маса електрона – $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$,

заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Номер орбіти – $k = 1$.

Для $k = 1$ знайдемо період обертання електрона T_k , підставивши відомі величини у формулу (4):

$$T_k = \frac{4 \cdot (8,86 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 1^3 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^3}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4} = \frac{91,5 \cdot 10^{-123}}{60,06 \cdot 10^{-107}} = 1,52 \cdot 10^{-16} \text{ с.}$$

Скориставшись формулою (6), знайдемо кутову швидкість електрона для $k = 1$:

$$\begin{aligned} \omega_k &= \frac{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{2 \cdot (8,86 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 1^3 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^3} = \\ &= \frac{188,6 \cdot 10^{-123}}{45,75 \cdot 10^{-107}} = 4,12 \cdot 10^{-16} \text{ рад/с.} \end{aligned}$$

Відповідь: $T_k = 1,52 \cdot 10^{-16} \text{ с}$, $\omega_k = 4,12 \cdot 10^{-16} \text{ рад/с}$.

1.2. Додаткові задачі за темою: спектри випромінювання атомів та молекул. Види спектрів. Рентгенівське випромінювання

Задача 1

- 1) Знайти потенціал іонізації U_1 атома водню.
- 2) Знайти перший потенціал збудження U_1 атома водню.

Пояснення:

Потенціал іонізації U_1 атома визначається відношенням:

$$eU_1 = A_1 \quad (1),$$

де A_1 – робота по видаленню електрона з нормальної орбіти на першу збуджену $n=1$.

Для атома водню робота по видаленню електрона буде визначатися формулою:

$$A_1 = h\nu = hRc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2).$$

При $k=1$ і $n=\infty$ маємо:

$$A_\infty = hRc \quad (3)$$

Підставивши у формулу (1) формулу (3), отримаємо формулу для визначення потенціалу іонізації для $k=1$ і $n=\infty$:

$$U_1 = \frac{A_\infty}{e} = \frac{hRc}{e} \quad (4).$$

Формула, яка дозволяє знайти частоти ν або довжини хвиль λ , які відповідають лініям водневого спектру, має вигляд:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5).$$

За другим постулатом Бора – частота випромінювання, яка відповідає переходу електрона з одної орбіти на іншу, визначається формулою:

$$h\nu = W_n - W_k \quad (6).$$

Підставивши у формулу (1) формулу (6), отримаємо формулу для визначення першого потенціалу збудження атома водню:

$$U_1 = \frac{h\nu}{e} = \frac{W_n - W_k}{e} \quad (7).$$

Розв'язання:

Дано: $k=1, n_2 = 2, n_1 = \infty$ – номери орбіт ($n > k$),

постійна Рідберга – $R=1,097373177 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ стала,

Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, швидкість світла – $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

1) Підставивши відомі, за умовою, дані у формулу (4), знайдемо потенціал іонізації атома водню:

$$U_\infty = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,097373177 \cdot 10^7 \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 13,6 \text{ В.}$$

2) Виходячи з даних таблиці 3,2 (Задача 1, розділ 3,2. Типові задачі: Спектри випромінювання атомів та молекул. Види спектрів. Рентгенівське випромінювання) - перший потенціал збудження атома водню U_1 відповідає переходу електрона з незбудженого рівня $k=1$ і $n=2$.

Використавши формулу (5), отримаємо значення частоти водневого спектру:

$$\nu = 1,097373177 \cdot 10^7 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 2,469 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

Отримавши значення частоти ν , знайдемо за допомогою формули (7) перший потенціал збудження атома водню:

$$U_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 2,469 \cdot 10^{15}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 10,22 \text{ В.}$$

Відповідь: $U_\infty = 13,6 \text{ В}$, $U_1 = 10,22 \text{ В}$.

Задача 2

У яких межах повинні перебувати довжини хвиль λ монохроматичного світла, що б при збудженні атомів водню квантами цього світла радіус орбіти r_k електрону збільшився у 9 разів?

Пояснення:

Радіуси орбіт, по яким можливий рух електронів у атомі водню, згідно з *першого постулату Бора* задовольняють відношення:

$$mv_k r_k = k \frac{h}{2\pi} \quad (1),$$

На електрон діє кулонівська сила:

$$F_k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} \quad (2),$$

яка є доцентровою і передає електрону нормальне прискорення:

$$a_n = \frac{v_k^2}{r_k} \quad (3),$$

За другим законом Ньютона:

$$F_k = ma_n \quad (4),$$

Підставляючи формули (2) і (3) у формулу (4), отримаємо:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} = m \frac{v_k^2}{r_k} \quad (5).$$

Розв'язуючи спільно рівняння (1) і (5) отримаємо формулу для знаходження радіусу орбіти:

$$r_k = \frac{\epsilon_0 k^2 h^2}{\pi m e^2} \quad (6).$$

Формула Рідберга (для водню), яка дозволяє визначити довжини хвиль спектральних ліній водню усіх серій, має вигляд:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7).$$

Виразивши з даної формули довжину хвиль λ , отримаємо формулу:

$$\lambda = \frac{k^2 n^2}{R(n^2 - k^2)} \quad (8).$$

Розв'язання:

Дано: Електрична стала – $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н · м²,

стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, маса електрона – $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг,

заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,

постійна Рідберга – $R = 1,097373177 \cdot 10^7$ м⁻¹, Номери орбіт – $k = 1, 2, 3$.

Підставивши у формулу (6) відомі дані, отримаємо значення радіусів орбіт електронів для орбіт – $k = 1, 2, 3$:

$$r_1 = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 1^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = \frac{389,49 \cdot 10^{-80}}{73,15 \cdot 10^{-69}} \cdot 1 = 52,9 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

$$r_2 = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 2^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = \frac{389,49 \cdot 10^{-80}}{73,15 \cdot 10^{-69}} \cdot 4 = 211,6 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

$$r_3 = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 3^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34})^2}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = \frac{389,49 \cdot 10^{-80}}{73,15 \cdot 10^{-69}} \cdot 9 = 476,1 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

З розрахунків за формулою (6) видно – що, при зростанні радіуса у 9 разів ($r_n/r_k = 9$)

k зростає у 3 рази ($n/k = 3$). Оскільки $n = 3k$, то перехід електронів відбувається між першим і третім енергетичними рівнями.

Тоді за допомогою формули (8) отримаємо значення довжини хвилі λ для $n = 2$ та $n = 3$ при $k = 1$:

Для мінімальної довжини хвилі $k = 1$ і $n = 3$, маємо:

$$\lambda_{min} = \frac{1^2 \cdot 3^2}{1,097373177 \cdot 10^7 (3^2 - 1^2)} = \frac{9}{8 \cdot 1,097373177 \cdot 10^{-7}} = 1,025 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ = 102,5 \text{ нм.}$$

Для максимальної довжини хвилі $k = 1$ і $n = 2$, маємо:

$$\lambda_{max} = \frac{1^2 \cdot 2^2}{1,097373177 \cdot 10^7 (2^2 - 1^2)} = \frac{4}{3 \cdot 1,097373177 \cdot 10^{-7}} = 1,215 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ = 121,5 \text{ нм.}$$

Виходячи із розрахунків, отримуємо межі довжин хвиль λ монохроматичного світла:

$$102,5 \text{ нм} \leq \lambda \leq 121,5 \text{ нм}.$$

Відповідь: $102,5 \text{ нм} \leq \lambda \leq 121,5 \text{ нм}$.

Задача 3

Знайти довжину хвилі λ фотона, відповідає переходу електрона з 2-ї борівської орбіти на першу у однократно іонізованому атомі гелію ${}^2_4\text{He}$?

Пояснення:

Згідно *другого постулату Бора*, частота випромінювання, яка відповідає переходу електрона з однієї орбіти на іншу, визначається формулою:

$$h\nu = W_n - W_k \quad (1),$$

У нашому випадку $n = 2$ і $k = 1$.

У водневоподібних іонах частоти визначається відношенням:

$$\nu = R c Z^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{c}{\lambda} \quad (2),$$

Підставивши значення n і k для даного випадку у формулу (2) отримаємо формулу, для знаходження випромінювання фотона при переході з другої орбіти на першу:

$$\nu = \frac{3RcZ^2}{4} \quad (3),$$

Зіставивши формулу (2) і формулу (3) отримаємо:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3RZ^2}{4} \quad (4),$$

або

$$\lambda = \frac{4}{3RZ^2} \quad (5),$$

Розв'язання:

Дано: Номери орбіт – $n = 2$ і $k = 1$, порядковий номер елемента – $Z = 2$, постійна Рідберга – $R = 1,097373177 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Для однократно іонізованого гелію $Z = 2$, тому підставивши у формулу (5) відомі значення, знайдемо значення довжини хвилі:

$$\lambda = \frac{4}{3 \cdot 1,097373177 \cdot 10^7 \cdot 2^2} = 0,304 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 30,4 \text{ нм}.$$

Відповідь: $\lambda = 30,4$ нм.

Задача 4

До електродів рентгенівської трубки прикладена різниця потенціалів $U = 60$ кВ. Найменша довжина хвилі рентгенівських променів, отриманих від цієї трубки $\lambda = 20,6$ нм. Користуючись цими даними знайти постійну Планка – h .

Пояснення:

Частота яка відповідає короткохвильовій межі суцільного рентгенівського спектру, дорівнює:

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_{min}} \quad (1),$$

де λ_{min} – найменша довжина хвилі рентгенівських променів, отримуваних від цієї трубки, може бути знайдена з відношення:

$$h\nu_0 = eU \quad (2),$$

Підставивши формулу (1) у формулу (2) отримаємо:

$$eU = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (3).$$

Звідки можна виразити сталу Планка:

$$h = \frac{eU\lambda_{min}}{c} \quad (4).$$

Розв'язання:

Дано: Заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, різниця потенціалів – $U = 60$ кВ, найменша довжина хвилі – $\lambda_{min} = 20,6$ нм.

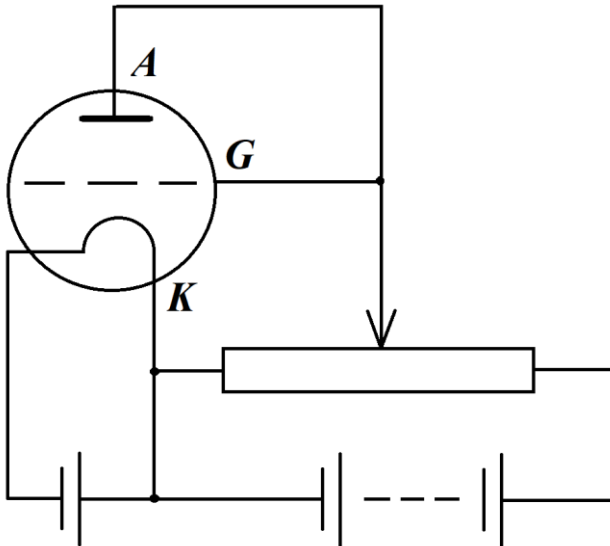
Підставивши відомі дані у формулу (4) отримаємо значення сталої Планка:

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 20,6 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^8} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Відповідь: У процесі розв'язку завдання було отримане значення сталої Планка, яке дорівнює $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. Даний результат є цілком задовільним, так як він з точністю до 0,01 відповідає табличному значенню $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Задача 5

На рисунку зображена схема приладу, для визначення резонуючого потенціалу натрію ${}_{11}^{22}\text{Na}$. Трубка містить пари натрію. Електрони G і A мають однаковий потенціал. При якій найменшій прискорювальній різниці потенціалів U між катодом K і сіткою G спостерігається спектральна лінія з довжиною хвилі $\lambda = 589$ нм?



Пояснення:

За законом збереження енергії потенціальна енергія електричного поля між катодом і анодом, яка дорівнює:

$$W_n = eU \quad (1),$$

– йде на зміну кінетичної енергії електронів при переході з одної орбіти на іншу, яка, згідно з другим

постулатом Бора, дорівнює:

$$\Delta W = h\nu \quad (2),$$

З іншого боку швидкість частинки дорівнює:

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (3),$$

де λ – довжина хвилі.

Підставляючи формулу (3) у формулу (2) отримаємо кінцеву формулу для визначення кінетичної енергії електрона:

$$\Delta W = \frac{ch}{\lambda} \quad (4).$$

Проаналізувавши отримані в результаті розв'язку формули робимо висновок, що:

$$W_n = \Delta W \quad (5),$$

Підставивши у формулу (5) вирази для значень величин з (1) і (4) отримаємо формулу для визначення різниці потенціалів:

$$U = \frac{ch}{e\lambda} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, довжина хвилі – $\lambda = 589$ нм, стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Використавши формулу (6) і підставивши у неї всі відомі величини, отримаємо значення прискорювальної різниці потенціалів між катодом K і сіткою G :

$$U = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 589 \cdot 10^{-9}} = 2,1 \text{ В.}$$

Відповідь: Найменша величина прискорювальної різниці потенціалів при наданих у задачі даних дорівнює: $U = 2,1$ В.

Задача 6

Яку найменшу різницю потенціалів U потрібно прикласти до рентгенівської трубки, що б отримати усі лінії K -серії, якщо у якості матеріалу антикатоду взяти: 1) мідь; 2) срібло; 3) вольфрам; 4) платину?

Пояснення:

Усі лінії K -серії (а також, лінії інших серій) з'являться одночасно, як тільки буде видалений електрон з K -орбіти атома. Для цього треба прикласти різницю потенціалів U , яка буде задовольняти відношення:

$$eU = h\nu = \frac{ch}{\lambda} \quad (1),$$

λ – довжина хвилі, яка відповідає переходу нескінченно віддаленого електрона на K -орбіту. Тобто, довжина хвилі, яка визначає межу K -серії. Для нашого випадку довжину хвиль, для відповідних матеріалів, буде взято з табл. 1.1.

Табл 1.1

Довжина хвиль різних матеріалів для K -серії рентгенівських променів

Довжина хвилі позначається λ , і визначає межу K -серії рентгенівських променів для різних матеріалів антикатоду, пм (10^{-12}).	
Вольфрам	17,8
Золото	15,3

Мідь	138
Платина	15,8
Срібло	48,4

Спростивши формулу (1), і надавши зручного вигляду, отримаємо вираз:

$$U = \frac{ch}{e\lambda} \quad (2).$$

Розв'язання:

Дано: Заряд електрона – $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,

довжини хвиль: 1) $\lambda_{\text{міді}} = 138 \cdot 10^{-12}$ м; 2) $\lambda_{\text{срібла}} = 48,4 \cdot 10^{-12}$ м;

3) $\lambda_{\text{вольфраму}} = 17,8 \cdot 10^{-12}$ м; 4) $\lambda_{\text{платини}} = 15,8 \cdot 10^{-12}$ м;

стала Планка – $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Підставивши відомі значення у формулу (2) для кожного антикатада окремо, отримаємо значення різниці потенціалів:

1) Мідь:

$$U_1 = \frac{ch}{e\lambda_{\text{міді}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 138 \cdot 10^{-12}} = 12,431 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{138 \cdot 10^{-12}} \\ = 9,01 \cdot 10^3 \text{ В}$$

2) Срібло:

$$U_2 = \frac{ch}{e\lambda_{\text{срібла}}} = 12,431 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{48,4 \cdot 10^{-12}} = 25,7 \cdot 10^3 \text{ В}$$

3) Вольфрам:

$$U_3 = \frac{ch}{e\lambda_{\text{вольфрама}}} = 12,431 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{17,8 \cdot 10^{-12}} = 69,84 \cdot 10^3 \text{ В}$$

4) Платина:

$$U_4 = \frac{ch}{e\lambda_{\text{платини}}} = 12,431 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{15,8 \cdot 10^{-12}} = 78,7 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Відповідь: $U_1 = 9,01$ кВ, $U_2 = 25,7$ кВ, $U_3 = 69,84$ кВ, $U_4 = 78,7$ кВ.

1.3. Додаткові задачі за темою: склад атомного ядра. Радіоактивність

У цьому підрозділі задачі будуть розв'язуватися за допомогою теорії та формул з хімії та молекулярної фізики.

Задача 1

Визначити відношення перерізів σ_1/σ_2 ядер вісмуту ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ і алюмінію ${}^{27}_{13}\text{Al}$.

Пояснення:

Будемо розглядати ядро як кулю (сферу) радіусом r . Тоді площа його поперечного перерізу (перерізу ядра) може бути знайдена за формулою:

$$\sigma = \pi r^2 \quad (1).$$

Радіус ядра залежить від числа нуклонів у ядрі (масової частки A) і визначається відношенням:

$$r = r_0 A^{1/3} \quad (2),$$

де $r_0 \approx 1,23 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ – коефіцієнт пропорційності, однаковий практично для усіх ядер.

Тоді, підставивши у формулу (1) вираз (2) отримаємо:

$$\sigma = \pi r_0^2 A^{2/3} \quad (3),$$

Використовуючи формулу (3), знайдемо відповідно перерізи σ_1 і σ_2 ядер вісмуту та алюмінію з масовими числами A_1 і A_2 :

$$\sigma_1 = \pi r_0^2 A_1^{2/3} \quad (4,1),$$

$$\sigma_2 = \pi r_0^2 A_2^{2/3} \quad (4,2).$$

Поділивши (4,1) на (4,2) отримаємо вираз для знаходження відношення поперечних перерізів:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{2/3} \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: коефіцієнт пропорційності – $r_0 \approx 1,23 \cdot 10^{-15} \text{ м}$, ядра атомів – вісмуту $^{209}_{83}\text{Bi}$; алюмінію $^{27}_{13}\text{Al}$.

Підставивши відомі данні ($A_1 = 209$ і $A_2 = 27$) у формулу (5) отримаємо значення відношення перерізів:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{209}{27} \right)^{\frac{2}{3}} = 3,91$$

Відповідь: $\sigma_1/\sigma_2 = 3,91$.

1.4. Додаткові задачі за темою: перетворення ядер у процесі радіоактивного розпаду

Задача 1

Ядро нептунію $^{234}_{93}\text{Np}$ захопило електрон із K – оболонки атома (K – захоплення) і випустило α – частку. Ядро якого елемента вийшло внаслідок цих перетворень?

Розв'язання:

При K – захопленні із найближчої до ядра електронної оболонки (K –оболонки) атома електрон захоплюється ядром. Внаслідок цього протон в ядрі перетворюється на нейтрон (при K – захопленні з ядра виходить частинка нейтрино, але для розв'язання даної задачі це не має значення). Загальна кількість нуклонів у ядрі не змінюється, а кількість зарядів зменшиться на одиницю. Тому проміжне ядро матиме зарядове число

$$93 - 1 = 92;$$

масове число залишиться колишнім, і дорівнює 234. За таблицею Д.І. Менделєєва визначаємо, що проміжним ядром є ізоотоп Урану $^{234}_{92}\text{U}$.

Проміжне ядро випустило α – частку. Так як α – частка (ядро атома ізоотопу Гелію ^4_2He) містить два протона і два нейтрона, то проміжне ядро Урану $^{234}_{92}\text{U}$ при акті випромінювання α – частки зменшить масове число на чотири одиниці і зарядове

число на дві одиниці. Таким чином, результуюче ядро буде мати $A=230$ і $Z=90$, що відповідає ізотопу Торію ${}^{230}_{90}\text{Th}$.

Задача 2 (комплексна)

1.1

Вкажіть ядро елемента, яке утворилося у результаті даних перетворень:

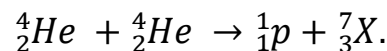
1) Два ядра гелію ${}^4_2\text{He}$ злились в єдине ядро, при цьому був виділений протон.

2) У ядрі ізотопу кремнію ${}^{27}_{14}\text{Si}$ один із протонів перетворився у нейтрон (β^+ -розпад).

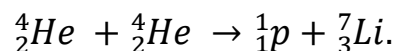
3) Ядро цинку ${}^{62}_{30}\text{Zn}$ захопило електрон з K – оболонки і через деякий час випустило позитрон.

Розв'язання:

1) Напишемо вираз, який відповідає реакції:

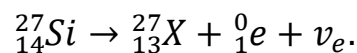


За допомогою таблиці Менделєєва знайдемо шукане ядро:

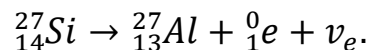


Відповідь: Отримане ядро є ядром літію ${}^7_3\text{Li}$.

2) Напишемо вираз, який відповідає реакції β^+ -розпаду:

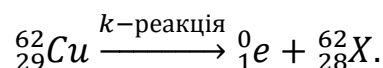
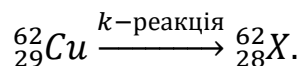


За допомогою таблиці Менделєєва знайдемо шукане ядро:

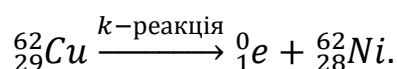


Відповідь: Отримане ядро є ядром алюмінію ${}^{27}_{13}\text{Al}$.

3) Напишемо вираз, який відповідає реакції:



За допомогою таблиці Менделєєва знайдемо шукане ядро:



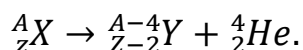
Відповідь: Отримане ядро є ядром нікелю ${}^{62}_{28}\text{Ni}$.

1.2

Ядро плутонію ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ зазнало шість послідовних α – розпадів. Записати всю послідовність ядерних перетворень з зазначенням хімічних символів, масових і зарядових чисел, проміжних ядер і результуючого ядра.

Пояснення:

Напишемо рівняння α – розпаду:

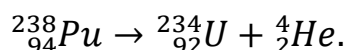


Задля отримання шуканого результуючого ядра, застосуємо даний вираз спочатку до ядра плутонію, після цього – до ядра, яке утворилося в результаті даного розпаду і, так само, повторити дану операцію 6 разів.

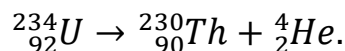
Розв'язання:

Використаємо дане рівняння і знайдемо всю послідовність 6 α – розпадів ядра плутонію:

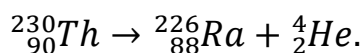
1 розпад:



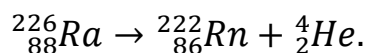
2 розпад:



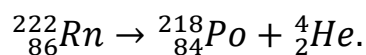
3 розпад:



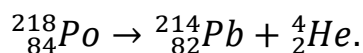
4 розпад:



5 розпад:



6 розпад:



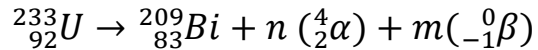
Відповідь: У результаті шести послідовних α – розпадів ядра плутонію ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ утворилося ядро свинцю ${}^{214}_{82}\text{Pb}$.

1.3

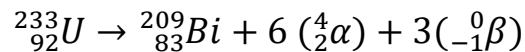
Ядро урану ${}^{233}_{92}\text{U}$ у результаті радіоактивного розпаду перетворилося у ядро вісмуту ${}^{209}_{83}\text{Bi}$. Скільки α та β частинок випромінюється при подібному розпаді?

Розв'язання:

Напишемо рівняння реакції, яке відповідає умові задачі:



Підберемо необхідні значення n і m які задовольняють дане рівняння:



Тепер, перевіримо отримані данні за допомогою закону збереження масового числа та закону збереження зарядового числа:

1) Перевірка значення масового числа n :

$$233 = 209 + 24 + 0,$$

$$233 = 233.$$

Закон збереження масового числа – виконується.

2) Перевірка значення зарядового числа:

$$92 = 83 + 12 - 3,$$

$$92 = 92.$$

Закон збереження зарядового числа – виконується.

Відповідь: У результаті радіоактивного розпаду ядра урану ${}^{233}_{92}\text{U}$, утворилося ядро вісмуту ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ і виділилося 6 α – частинок і 3 β – частинки.

1.5. Додаткові задачі за темою: закон радіоактивного розпаду

Задача 1

У результаті α – розпаду, радій 1. ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ перетворюється на радон 2. ${}^{222}_{86}\text{Rn}$. Який об'єм радону при нормальних умовах буде знаходитись у рівновазі з 1г радію?

Період піврозпаду радію $T_{1/2}(\text{Ra}) = 1600$ років. Період піврозпаду радону

$T_{1/2}(\text{Rn}) = 3.82$ дні.

Пояснення:

При встановленні вікової рівноваги кількість радіоактивних ядер обох ізотопів і їх постійні розпаду зв'язані рівнянням:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (1),$$

Звідки виразимо N_2 :

$$N_2 = \frac{N_1 \lambda_1}{\lambda_2} \quad (2),$$

$T_{1/2}$ – період піврозпаду для радію і радону у годинах, він пов'язаний з постійною розпаду – λ відношенням:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3).$$

Виразимо з формули (3) постійну λ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (4).$$

Використавши формулу (4) напишемо відповідні вирази постійної λ для радію і радону:

$$\lambda_1 = \frac{\ln 2}{T_{1/2} (Ra)} \quad (4,1),$$

$$\lambda_2 = \frac{\ln 2}{T_{1/2} (Rn)} \quad (4,2).$$

Підставивши у формулу (2) формули (4,1) і (4,2), отримаємо:

$$N_2 = \frac{N_1 \frac{\ln 2}{T_{1/2} (Ra)}}{\frac{\ln 2}{T_{1/2} (Rn)}} = \frac{N_1 T_{1/2} (Rn)}{T_{1/2} (Ra)} \quad (5).$$

Кількість ядер у речовині визначається формулою:

$$N = \frac{m N_A}{A} \quad (6),$$

де m – маса речовини, A – молярна маса, N_A – число Авогадро.

Для радію N_1 :

$$N_1 = \frac{m N_A}{A} \quad (7).$$

Об'єм шуканої речовини визначається формулою:

$$V = \frac{V_M N_2}{N_A} \quad (8),$$

де V_M – молярний об'єм газу (2,4 л / моль).

Підставивши у формулу (8) послідовно формули (5) та (7) і спростивши вираз, отримаємо:

$$V = \frac{V_M m T_{1/2} (Rn)}{A T_{1/2} (Ra)} \quad (9).$$

Розв'язання:

Дано: Радій – $^{226}_{88}Ra$, радон – $^{222}_{86}Rn$, маса речовини (радію) – $m = 1$ г,

період піврозпаду радію $T_{1/2} (Ra) = 1600$ років.

Період піврозпаду радону $T_{1/2} (Rn) = 3.82$ дні,

молярний об'єм газу – $V_M = 2,4$ л / моль.

Підставивши у формулу (9) відомі величини, отримаємо значення об'єму V радону $^{222}_{86}Rn$:

$$V = \frac{22,4 \cdot 1 \cdot 3,82}{226 \cdot 1600 \cdot 365} = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ л.}$$

Відповідь: Радон, при нормальних умовах, буде знаходитись у рівновазі з 1г радію при власному об'ємі, який буде дорівнювати $V = 6,5 \cdot 10^{-7}$ л.

Задача 2 (комплексна)

1.1

Визначити постійну розпаду λ ізотопів радію $^{219}_{88}Ra$ і $^{226}_{88}Ra$. Періоди піврозпаду відповідних ізотопів: $T_{1/2} (^{219}_{88}Ra) = 10^{-3}$ с, $T_{1/2} (^{226}_{88}Ra) = 1,62 \cdot 10^3$ років.

Пояснення:

Період напіврозпаду пов'язаний із постійним розпадом співвідношенням:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (1).$$

Виразимо з формули (1) шукану постійну розпаду λ :

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (2).$$

Розв'язання:

Дано: Ізотопи радію – ${}^{219}_{88}\text{Ra}$ і ${}^{226}_{88}\text{Ra}$,

періоди піврозпаду – $T_{1/2}({}^{219}_{88}\text{Ra}) = 10^{-3}$ с та $T_{1/2}({}^{226}_{88}\text{Ra}) = 1,62 \cdot 10^3$ років.

Використавши формулу (2), і підставивши відповідні значення для кожного ізотопу, отримаємо шукані значення постійних розпаду:

1) Постійна розпаду для ${}^{219}_{88}\text{Ra}$:

$$\lambda = \frac{0,693}{10^{-3}} = 693 \text{ с}^{-1}.$$

2) Постійна розпаду для ${}^{226}_{88}\text{Ra}$:

$$\lambda = \frac{0,693}{1,62 \cdot 10^3} = 427 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}.$$

Відповідь: $\lambda({}^{219}_{88}\text{Ra}) = 693$, $\lambda({}^{226}_{88}\text{Ra}) = 427 \cdot 10^{-6}$.

1.2

Постійна розпаду рубідію ${}^{89}_{37}\text{Rb}$ дорівнює $770 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Визначити період піврозпаду $T_{1/2}$.

Пояснення:

Для визначення періоду піврозпаду використаємо формулу:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (1).$$

Розв'язання:

Дано: Постійна розпаду рубідію – $\lambda = 770 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$, рубідій – ${}^{89}_{37}\text{Rb}$.

Підставивши відомі дані у формулу (1) отримаємо шуканий період піврозпаду:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{770 \cdot 10^{-6}} = 900 \text{ с}.$$

Відповідь: Період піврозпаду рубідію ${}^{89}_{37}\text{Rb} = 900$ с.

1.3

Яка частина початкової кількості атомів зазнає розпаду за один рік у радіоактивному ізотопі торію ${}^{228}_{90}\text{Th}$? Період піврозпаду торію – 1,9 року.

Пояснення:

Число атомів, які не розпалися, можна визначити за формулою радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1),$$

Період піврозпаду визначається за формулою:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2).$$

Виразимо з формули (2) постійну розпаду λ :

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (3).$$

Для визначення кількості атомів, що зазнають розпаду, скористаємося формулою ККД. Для нашого випадку, вона буде мати такий вигляд:

$$\eta = \frac{N_0 - N}{N_0} \quad (4).$$

Підставивши у формулу (4) послідовно формули (1) та (3) отримаємо кінцеву формулу для визначення шуканої величини:

$$\eta = \frac{N_0 - N_0 e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}}}{N_0} \cdot 100\% = \frac{N_0(1 - e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}})}{N_0} \cdot 100\% = 1 - e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}} \cdot 100\% \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: Торій – ${}^{228}_{90}\text{Th}$, час – $t = 1$ рік, період піврозпаду торію – $T_{1/2} = 1,9$ року.

Використавши формулу (5) і підставивши у неї відомі дані, отримаємо значення яке відповідає значенню кількості атомів у відсотках ,які розпалися:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{0,693 \cdot 1}{1,9}} \cdot 100\% = 31\%$$

Відповідь: Частина атомів Торію ${}^{228}_{90}\text{Th}$, що розпалися за 1 рік буде дорівнювати 31%.

Задача 3

При розпаді радіоактивного полонію ${}^{210}_{84}\text{Po}$ на протязі 1 року утворився гелій ${}^4_2\text{He}$, який при нормальних умовах займає об'єм $V = 89,5 \text{ см}^3$.
Визначити період піврозпаду полонію.

Пояснення:

При α – розпаді ${}^{210}_{84}\text{Po}$ утворюється ядро гелію ${}^4_2\text{He}$. Тобто, кожному атому полонію можна поставити у відповідність атом гелію. За законом радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1),$$

але, для нашого випадку, напишемо формулу (1) у іншому вигляді:

$$N_0 - \Delta N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2,1),$$

або, перетворивши отримаємо:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2,2),$$

де:

$$\Delta N = N_{\text{He}} = N_A \nu_{\text{He}} \quad (3).$$

За законом Авогадро:

$$\nu_{\text{He}} = \frac{V}{V_m} \quad (4),$$

де $V_m = 22,4 \text{ л/моль}$ – молярний об'єм.

Підставивши у формулу (3) формулу (4) отримаємо:

$$\Delta N = \frac{N_A V}{V_m} \quad (5).$$

З курсу «молекулярна фізика» ми знаємо, що – кількість речовини визначається за формулою:

$$\nu = \frac{m}{M} \quad (6)$$

Тепер знайдемо, за допомогою формули (6), число атомів ${}^{210}_{84}\text{Po}$, що не розпалися:

$$N_0 = N_{\text{Po}} = N_A \nu_{\text{Po}} = N_A \frac{m}{M} \quad (7),$$

Підставимо у формулу (2,2) формули (5) і формули (7), і виразимо $e^{-\lambda t}$:

$$e^{-\lambda t} = 1 - \frac{\frac{N_A V}{V_m} - \lambda t}{\frac{N_A m}{M}} = \ln\left(1 - \frac{VM}{V_m m}\right) \quad (8).$$

З формули (8) виразимо постійну радіоактивного розпаду λ :

$$\lambda = -\frac{1}{t} \ln\left(1 - \frac{VM}{V_m m}\right) \quad (9).$$

Період піврозпаду визначається за формулою:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (10).$$

Підставивши у формулу (10) формулу (9) отримаємо кінцеву формулу для визначення періоду піврозпаду полонію:

$$T_{1/2} = -\frac{t \ln 2}{\ln\left(1 - \frac{VM}{V_m m}\right)} \quad (11).$$

Розв'язання:

Дано: Полоній – ${}^{210}_{84}\text{Po}$, гелій – ${}^4_2\text{He}$, об'єм гелію – $V = 89,5 \text{ см}^3$, час – $t = 1$ рік, молярний об'єм – $V_m = 22,4 \text{ л/моль}$.

Підставивши відомі дані у отриману формулу (11) отримаємо значення періоду піврозпаду полонію:

$$T_{1/2} = -\frac{36000 \cdot 0.693}{\ln\left(1 - \frac{89.5 \cdot 10^{-4} \cdot 210}{22.4 \cdot 40}\right)} = 1,3 \cdot 10^7 \text{ с} = 138 \text{ діб}.$$

Відповідь: Період піврозпаду полонію ${}^{210}_{84}\text{Po}$ дорівнює 138 діб.

1.6. Додаткові задачі за темою: активність. Радіоактивна рівновага

Задача 1

Лічильник Гейгера, встановлений поблизу препарату радіоізоотопу срібла, реєструє потік β – частинок. При першому вимірі потік Φ_1 частинок дорівнював 87 с^{-1} , а після закінчення часу $t = 1$ діб потік Φ_2 виявився рівним 22 с^{-1} . Визначити період піврозпаду $T_{1/2}$ ізоотопу.

Пояснення:

Очевидно, що потік частинок Φ , який реєструє лічильник Гейгера, пропорційний активності ізотопу. Тобто:

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1),$$

Активність ізотопу обчислюється за формулою:

$$A = \lambda N \quad (2),$$

Постійну піврозпаду λ можна знайти з формули, для знаходження періоду піврозпаду:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (3),$$

Звідки виразимо λ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (4),$$

Далі використаємо формулу для визначення періоду піврозпаду (*Задача 1, формула (10), Розділ 3,6. Типові задачі: Активність. Радіоактивна рівновага.*), отриману в у процесі розв'язку попереднього завдання, за аналогічних міркувань:

$$T_{1/2} = \frac{t \ln 2}{\ln \frac{A_1}{A_2}} \quad (5).$$

Запишемо формулу (10), враховуючи значення пропорційних величин із формули (1):

$$T_{1/2} = \frac{t \ln 2}{\ln \frac{\Phi_1}{\Phi_2}} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Перше значення потоку – $\Phi_1 = 87 \text{ с}^{-1}$,

Друге значення потоку – $\Phi_2 = 22 \text{ с}^{-1}$, час – $t = 1$.

Підставимо відомі значення у формулу (6) і отримаємо шукане значення періоду піврозпаду:

$$T_{1/2} = \frac{1 \cdot \ln 2}{\ln \frac{87}{22}} = 0,5 \text{ доби} = 12 \text{ годин.}$$

Відповідь: Період піврозпаду ізотопу дорівнює 12 годин.

Задача 2

При визначенні періоду піврозпаду $T_{1/2}$ швидко-живущого радіоактивного ізотопу був використаний лічильник імпульсів. За час $\Delta t = 1$ хв, на початку спостереження ($t = 0$) було нараховано $\Delta n_1 = 250$ імпульсів, а по закінченню часу $t = 1$ год нараховано $\Delta n_2 = 92$ імпульса. Визначити постійну піврозпаду λ і період піврозпаду $T_{1/2}$ ізотопу.

Пояснення:

Число імпульсів Δn , які реєструє лічильник за час Δt , пропорційне числу атомів що розпалися. Таким чином, при першому вимірі отримаємо:

$$\Delta n_1 = k\Delta N_1 = k\Delta N_1(1 - e^{-\lambda\Delta t}) \quad (1),$$

де N_1 – кількість радіоактивних атомів у момент початку відліку, k – коефіцієнт пропорційності (постійний для даного пристрою і даного положення пристрою щодо радіоактивного ізотопу).

При повторному вимірі (передбачається, що місцезнаходження пристроїв залишилося незмінним)

$$\Delta n_2 = k\Delta N_2 = k\Delta N_2(1 - e^{-\lambda\Delta t}) \quad (2),$$

де N_2 – кількість радіоактивних атомів у момент початку другого відліку.

Поділивши формулу (1) на формулу (2) і прийнявши до уваги, що за умовою задачі Δt однакове в обох випадках, а також N_1 і N_2 зв'язані один з одним формулою радіоактивного розпаду:

$$N_2 = N_1 e^{-\lambda t} \quad (3),$$

Застосувавши всі вищеназвані дії отримаємо:

$$\frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} = e^{\lambda t} \quad (4),$$

де t – час, який пройшов від першого виміру до другого.

Для того, щоб обчислити сталу радіоактивного розпаду λ від виразу (4) потрібно взяти логарифм:

$$\lambda t = \ln \frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} \quad (5),$$

З формули (5) виразимо шукану λ :

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} \quad (6).$$

Періоду піврозпаду знайдемо за формулою:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (7).$$

Розв'язання:

Дано: Час $\Delta t = 1 \text{ хв}$, $t_1 = 0$, $t_2 = 1 \text{ година хв}$,

Кількість імпульсів – $\Delta n_1 = 250$, $\Delta n_2 = 92$.

Підставивши числові данні, у формули отримаємо:

1) постійну радіоактивного розпаду λ , використавши формулу (6):

$$\lambda = \frac{1}{1} \ln \frac{250}{92} = 1 \text{ год}^{-1}$$

2) період піврозпаду, використавши вираз (7):

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{1} = 0,693 \text{ год} = 41,5 \text{ хв}.$$

Відповідь: Період піврозпаду, дорівнює 41,5 год. Постійна радіоактивного розпаду λ , дорівнює 1 год^{-1} .

Задача 3

Що таке вуглецева $^{14}_6\text{C}$ активність в живій тканині?

Приблизно 20% тіла людини за масою складається з вуглецю. Обчисліть активність вуглецю $^{14}_6\text{C}$ в 1,00 кг знайдені в живому організмі. Виразіть активність в одиницях Бк і Кі.

Пояснення:

Активність $^{14}_6\text{C}$ визначається за допомогою рівняння:

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (1),$$

де λ є константою розпаду, а N_0 є кількість радіоактивних ядер. Кількість ядер $^{14}_6\text{C}$ у пробі масою 1.00 кг визначають у два прийоми.

Перший, визначаємо кількість ядер $^{14}_6\text{C}$ за допомогою поняття моль і формули числа атомів, що містяться в радіоактивному ізотопі:

$$N = \left(\frac{m}{M}\right) N_A \quad (2),$$

Другий, ми множимо це значення на 1.3×10^{-12} (відома кількість вуглецю $^{14}_6\text{C}$ в зразку живого організму) визначимо кількість ядер $^{14}_6\text{C}$ у живому організмі.

$$N(^{12}_6\text{C}) = 1.3 \times 10^{-12} \cdot N \quad (3).$$

Константа розпаду визначається за відомим періодом напіврозпаду $^{14}_6\text{C}$ (данні можна знайти у таблиці Менделєєва або у частковій діаграмі піврозпаду нуклонів):

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (4).$$

Активність A нукліду в радіоактивному джерелі (активність ізотопу) визначається за формулою:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (5).$$

Підставивши відоме значення константи розпаду λ (формулу (4) у формулу (5)), отримаємо вираз для визначення активності вуглецю в організмі:

$$A = \frac{0,693 N(^{12}_6\text{C})}{T_{1/2}} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Вуглець $^{14}_6\text{C}$, $m = 1,00$ кг, масова частка вуглецю = 20%.

Один моль вуглецю має масу 12,0 г, оскільки він є майже чистим $^{14}_6\text{C}$. Таким чином, кількість ядер Карбону в кілограмі речовини за формулою (2) становить:

$$N = \frac{1000}{12.0} \times 6.02 \times 10^{23} = 5.02 \times 10^{25}.$$

Отже, за формулою (3) кількість ядер $^{14}_6\text{C}$ в 1 кг вуглецю дорівнює:

$$N(^{14}_6\text{C}) = (5.02 \times 10^{25})(1.3 \times 10^{-12}) = 6.52 \times 10^{13}.$$

Тепер ми можемо знайти активність A за допомогою рівняння (6). Підставивши у формулу відомі нам данні, отримаємо:

$$A = \frac{0.693(6.52 \times 10^{13})}{5730} = 7.89 \times 10^9 \text{ y}^{-1}$$

або розпадається 7.89×10^9 на рік. Щоб перетворити це в одиницю Бк, ми просто перетворюємо роки в секунди. Отримаємо:

$$A = (7.89 \times 10^9) \frac{1.00}{3.16 \times 10^7} = 250 \text{ Бк.}$$

або 250 розпадів за секунду. Щоб виразити A в кюрі, ми використовуємо визначення кюрі,

$$A = \frac{250}{3.7 \times 10^{10}} = 6.67 \times 10^{-9} \text{ Кі}$$

Це:

$$A = 6.76 \text{ нКі}$$

Висновки:

Приблизно 20% людського тіла за вагою складається з вуглецю. У тілі людини відбуваються сотні розпадів кожної секунди. Вуглець ^{14}C та інші природні радіоактивні речовини в організмі складають фонове опромінення людини ядерним випромінюванням. Як ми знаємо, цей рівень активності є нормальним і він значно нижче максимально рекомендованих доз.

Відповідь: Активність вуглецю ^{14}C в 1,00 кг знайдени в живому організмі дорівнює: 250 Бк або 6.76 нКі.

1.7. Додаткові задачі: елементи дозиметрії. Поглинання гамма-променів

Задача 1

Інтенсивність I вузького пучку γ – випромінювання після проходження крізь шар свинцю товщиною $x = 4$ см зменшилась у $k = 8$ разів. Визначити енергію ε гамма-фотонів і товщину $x_{1/2}$ шару половинного ослаблення.

Пояснення:

Для розв'язку завдання використаємо формулу ослаблення інтенсивності випромінювання:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1),$$

Тепер у декілька кроків, знайдемо лінійний коефіцієнт ослаблення μ з формули (1).

Виразимо з формули (1) значення $e^{-\mu x}$:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (1,2).$$

За умовою $\frac{I_0}{I} = k$, тоді формула (2) буде приймати вигляд:

$$\frac{1}{k} = e^{-\mu x} \quad (1,3).$$

Прологарифмуємо вираз (1,3) отримаємо:

$$\ln k = \mu x \quad (1,4).$$

Виразимо значення μ з (1,4):

$$\mu = \frac{\ln k}{x} \quad (2).$$

Значення товщини шару половинного ослаблення $x_{1/2}$ визначається за формулою:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} \quad (3).$$

Розв'язання:

Дано: Свинець ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ товщиною $x = 4$ см, інтенсивність γ – випромінювання - $k_2 = 8k_1$.

1) Підставивши відомі значення у формулу (2), отримаємо лінійний коефіцієнт ослаблення:

$$\mu = \frac{\ln 8}{4} = 0,52 \text{ см}^{-1}.$$

З *рисунку 3.1* знайдемо, що для свинцю $\mu = 0,52 \text{ см}^{-1}$ відповідає значенню енергій:

$$\varepsilon_1 = 2 \text{ МеВ} \text{ або } \varepsilon_2 = 6,2 \text{ МеВ}.$$

2) Отримане значення μ , підставляємо у формулу (3) і таким чином знайдемо значення товщини шару половинного ослаблення:

$$x_{1/2} = \frac{0,693}{0,52} = 1,3 \text{ см}.$$

Відповідь: Для свинцю значення енергій буде дорівнювати: $\varepsilon_1 = 2$ МеВ або $\varepsilon_2 = 6,2$ МеВ. А значення товщини шару половинного ослаблення буде рівним $x_{1/2} = 1,3$ см.

Задача 2

Чавунова плита зменшує інтенсивність I вузького пучку γ – випромінювання (енергія ε гамма-фотонів рівна 2,8 МеВ) в $k = 10$ разів. У скільки разів зменшить інтенсивність цього пучку свинцева плита такої самої товщини?

Пояснення:

Використаємо формулу (Задача 1, Додаток А. формула (1.3), 1.7. Додаткові задачі: Елементи дозиметрії, поглинання Гамма променів), отриману в у процесі розв'язку попереднього завдання, за аналогічних міркувань.

$$\frac{1}{k} = e^{-\mu x} \quad (1).$$

У межах даної задачі формула буде мати вигляд, відповідно для чавуну та свинцю:

$$\frac{1}{k_1} = e^{-\mu_1 x} \quad (2,1).$$

$$\frac{1}{k_2} = e^{-\mu_2 x} \quad (2,2).$$

Прологарифмуємо формулу (2,1):

$$\ln k_1 = \mu_1 x \quad (3).$$

Виразимо з формули (3) товщину шару плити x :

$$x = \frac{\ln k_1}{\mu_1} \quad (4).$$

З формули (2,2) виразимо k_2 :

$$k_2 = e^{\mu_2 x} \quad (5).$$

Підставимо формулу (4) у формулу (5) отримаємо шуканий вираз, для розв'язку завдання:

$$k_2 = e^{\frac{\mu_2 \ln k_1}{\mu_1}} = k_1 e^{\frac{\mu_2}{\mu_1}} \quad (6).$$

Розв'язання:

Дано: Чавун, свинець $^{207}_{82}\text{Pb}$, відношення товщин шарів $x_1 = x_2$, енергія гамма-фотонів – $\varepsilon = 2,8$ МеВ.

З *рис.1,2.* знайдемо для енергії ε гамма-фотонів рівна 2,8 МеВ, значення лінійного коефіцієнт ослаблення μ : чавуну – $\mu_1 = 0,26 \text{ см}^{-1}$, свинцю – $\mu_2 = 0,46 \text{ см}^{-1}$.

Підставивши отримані і відомі значення у формулу (6), отримаємо значення, яке відповідає значенню зменшення інтенсивності пучка γ – випромінювання:

$$k_2 = 10 \cdot e^{\frac{0,46}{0,26}} = 59.$$

Відповідь: Інтенсивність пучку γ – випромінювання свинцева плита зменшить у 59 разів.

Задача 3

Визначити число $x_{1/2}$ шарів половинного ослаблення, які зменшують інтенсивність I вузького пучка γ – випромінювання у $k = 100$ разів.

Розв'язання:

Якщо крізь шар половинного ослаблення пройде половина $\frac{1}{2}$ початкової інтенсивності, то через $x_{1/2}$ шарів пройде $\left(\frac{1}{2}\right)^{x_{1/2}}$ початкової інтенсивності. Якщо взяти до уваги, що за умовою задачі ослаблення зменшується у 100 разів, то розв'язання буде мати вигляд:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{x_{1/2}} = \frac{1}{100}.$$

Спростимо попередній вираз:

$$2^{x_{1/2}} = 100.$$

Прологарифмувавши отриманий вираз, отримаємо шукане рівняння для знаходження кількості шарів речовини:

$$x_{1/2} = \frac{\log 100}{\log 2} = 6,6.$$

Відповідь: Число N шарів половинного ослаблення буде дорівнювати 6,6.

Задача 4

Космічне випромінювання на рівні моря на екваторі утворює у повітрі об'ємом $V = 1\text{см}^3$ у середньому $N = 24$ пари іонів за час $t_1 = 10$ с. Визначити експозиційну дозу X , яку отримує людина за $t_2 = 1$ рік.

Пояснення:

Експозиційну дозу, яку отримує людина, можна виразити з формули, для визначення потужності експозиційної дози фотонного випромінювання \dot{X} :

$$\dot{X} = \frac{X}{t} \quad (1),$$

звідки ΔX буде дорівнювати:

$$X = \dot{X}t_2 \quad (2),$$

Якщо у формулу (1) підставити наступний вираз (3):

$$X = \frac{Q}{m} \quad (3),$$

для знаходження експозиційної дози, через значення заряду іонів одного знаку – Q (які утворює випромінювання за час t_1 , у повітрі масою m), то отримаємо формулу – для знаходження потужності дози випромінювання, за час t_1 :

$$\dot{X} = \frac{Q}{mt_1} \quad (4).$$

Маса повітря може бути знайдена як добуток густини ρ повітря на його об'єм V :

$$m = \rho V \quad (5).$$

Заряд усіх іонів одного знаку знайдемо, помноживши елементарний заряд на число іонів:

$$Q = |e|N \quad (6).$$

Формула (2), якщо взяти до уваги вирази (4), (5) та (6) буде приймати вигляд:

$$X = \dot{X}t_2 = \frac{Q}{mt_1}t_2 = \frac{|e|Nt_2}{\rho Vt_1} \quad (7).$$

Дана формула – є результуючою формулою для розв'язку даного завдання.

Розв'язання:

Дано: Повітря об'ємом – $V = 1\text{см}^3$, кількість пар іонів – $N = 24$ пари, час $t_1 = 10\text{ с}$ і $t_2 = 1$ рік, модуль заряду електрона – $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$, густина повітря – $\rho = 1,2255\text{ кг/м}^3$.

Підставимо відомі величини у формулу (7) і проведемо відповідні розрахунки:

$$X = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 24 \cdot 31,536 \cdot 10^6}{1,2255 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 9,88 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3} = 9,88 \text{ мк} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}.$$

Відповідь:

Експозиційна доза X , яку отримує людина за 1 рік дорівнює $9,88 \text{ мк} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$.

Задача 5

Повітря у деякому об'ємі V опромінюється рентгенівськими променями. Експозиційна доза випромінювання $X = 4,5\text{ Р}$. Яка частина атомів, які знаходяться у даному об'ємі, буде іонізована випромінюванням?

Пояснення:

За визначенням, експозиційна доза випромінювання буде визначатися за формулою:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1),$$

де ΔQ дорівнює:

$$\Delta Q = |e|N_0 \quad (2).$$

ΔQ – це сумарний електричний заряд іонів одного знаку, який утворився у повітрі при його опроміненні при умові повного використання іонізуючої здатності електронів.

Маса повітря буде визначатися за виразом:

$$\Delta t = \frac{N}{N_A} \mu \quad (3).$$

Підставляючи у формулу (1) формули (2) і (3) отримаємо:

$$X = \frac{N_0 N_A e}{N \mu} \quad (4).$$

Тепер, з формули (4) виразимо долю іонізованих атомів, які знаходяться у даному об'ємі речовини:

$$\frac{N_0}{N} = \frac{\mu X}{N_A e} \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: Заряд електрона – $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, повітря у першому наближенні можна вважати азотом з молярною масою – $\mu = 0,028$ кг/моль. Підставляючи відомі значення у формулу (5) отримаємо значення доли іонізованих атомів у повітрі:

$$\frac{N_0}{N} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 \cdot 0,000258}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 3,375 \cdot 10^{-10}.$$

Відповідь: Доля іонізованих атомів у деякому об'ємі повітря буде дорівнювати $3,375 \cdot 10^{-10}$.

Задача 6

Потужність \dot{X}_0 експозиційної дози, яку створює віддаленим джерелом γ -випромінювання з енергією фотонів $\varepsilon = 2$ МеВ, рівна $0,86 \text{ мк} \frac{\text{А}}{\text{кг}}$. Визначити товщину x свинцевого екрану, який знижує потужність експозиційної дози до рівня гранично дозволеної $\dot{X} = 0,86 \text{ н} \frac{\text{А}}{\text{кг}}$.

Пояснення:

Ослаблення експозиційної дози випромінювання при проходженні через екран визначається формулою:

$$X = X_0 e^{-\mu x} \quad (1).$$

де x – товщина екрану, μ – питомий коефіцієнт ослаблення.

Далі для розв'язку завдання використаємо формулу, для визначення потужності експозиційної дози випромінювання:

$$\dot{X} = \frac{X}{t} \quad (2).$$

З формули (2) виразимо значення X :

$$X = \dot{X} t \quad (3).$$

Напишемо формулу відповідно до умови (3) окремо для гранично дозволеної експозиційної дози X і експозиційної дози яку випромінює джерело:

$$X = \dot{X}t \quad (3,1),$$

$$X_0 = \dot{X}_0 t \quad (3,2).$$

Підставивши відповідні значення з формул (3,1) та (3,2) у формулу (1) і спростивши вираз, отримаємо формулу для визначення потужності випромінювання, який проходить крізь шар товщиною x речовини:

$$\dot{X} = \dot{X}_0 e^{-\mu x} \quad (4).$$

Поступово почнемо виражати шукану величину x з формули (4):

$$e^{\mu x} = \frac{\dot{X}_0}{\dot{X}} \quad (4,1).$$

Тепер прологарифмуємо вираз (4,1) і отримаємо:

$$\mu x = \ln \frac{\dot{X}_0}{\dot{X}} \quad (4,2).$$

Остаточно виразимо величину x з формули (4,2):

$$x = \frac{1}{\mu} \ln \frac{\dot{X}_0}{\dot{X}} \quad (5).$$

Формула (5) буде результуючою для даного завдання.

Розв'язання:

Дано: Енергія фотонів – $\varepsilon = 2 \text{ MeV}$,

Потужність випромінювання – $\dot{X}_0 = 0,86 \text{ мк} \frac{\text{А}}{\text{кг}}$, $\dot{X} = 0,86 \text{ н} \frac{\text{А}}{\text{кг}}$.

За *рис.1,2.* при випромінюваній енергії фотонів $\varepsilon = 2 \text{ MeV}$ питомий коефіцієнт ослаблення буде дорівнювати – $\mu = 0,52 \text{ см}^{-1}$.

Підставимо відомі дані у формулу (5) , і отримаємо шукане значення товщини шару свинцевого екрану:

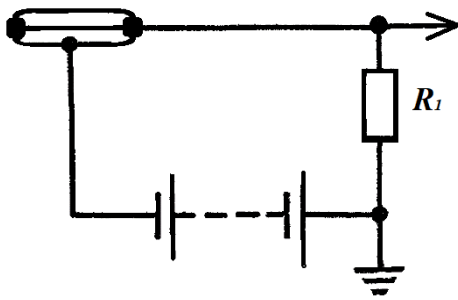
$$x = \frac{1}{0,52} \ln \frac{0,86 \cdot 10^{-6}}{0,86 \cdot 10^{-9}} = 13,3 \text{ см.}$$

Відповідь: Товщина шару свинцевого екрану, який знижує потужність експозиційної дози до рівня гранично дозволеної, дорівнює $x = 13,3 \text{ см}$.

1.8. Додаткові задачі: методи реєстрації іонізуючого випромінювання

Задача 1

Які зміни можуть відбутися у роботі лічильника Гейгера (див малюнок до завдання), якщо резистор з опором R_1 , змінити на інший резистор з опором $R_2 < R_1$.



Розв'язання:

Якщо зменшити опір R_1 у електричному колі, то лічильнику потрібно буде менше часу для того, щоб прийняти новий сигнал.

Задача 2

При природному радіоактивному розпаді енергія α – часток та β – часток майже однакова. Чому ж у камері Вільсона треки α – частинок короткі, а треки β – частинок настільки довгі, що повністю не вміщуються в камері? Чому кінці треків α – часток не прямолінійні?

Розв'язання:

Оскільки маса α – частки в багато разів більша за масу β – частки, то траєкторія α – частки коротка внаслідок її тертя при русі в парах води. β – частка не встигає загальмувати, тому її треки не вміщаються повністю в камері. Під дією сили Лоренца, що діє на α – частинку, траєкторія останньої викривляється.

1.9. Додаткові задачі за темою: енергія зв'язку атомних ядер. Дефект маси та енергія зв'язку дейтрона

Задача 1

Знаючи масу m_a нейтрального атома ізоотопу літію ${}^7_3\text{Li}$ (див. таблицю 1,2, прикладену до задачі), визначити маси m_1 , m_2 та m_3 іонів літію: однозарядного ${}^7_3\text{Li}^+$, двохранядного ${}^7_3\text{Li}^{++}$ і трьох зарядного ${}^7_3\text{Li}^{+++}$.

Табл.1,2

Маса нейтральних атомів (а.о.м)

Елемент	Порядковий номер	Ізотоп	Маса
Нейтрон	0	n	1,00867
Водень	1	^1H	1,00783
		^2H	2,01410
		^3H	3,01605
Гелій	2	^3He	3,01603
		^4He	4,00260
Літій	3	^6Li	6,01513
		^7Li	7,01601
Берилій	4	^7Be	7,01693
		^9Be	9,01219
		^{10}Be	10,01354
Бор	5	^9B	9,01333
		^{10}B	10,01294
		^{11}B	11,00931
Вуглець	6	^{13}C	13,00335
Кремній	14	^{31}Si	30,97535
Фосфор	15	^{31}P	30,97376
Калій	19	^{39}K	39,09831
Кальцій	20	^{40}Ca	39,96259

Пояснення:

Позитивно заряджений іон утворюється у результаті втрати електронів атомом. Тому, дійдемо висновку, що маса іона в даній задачі буде визначатися за формулою:

$$m_n = m_a - Zm_e \quad (1),$$

де Z – число втрачених електронів.

Розв'язання:

Дано: Маса нейтрального атома ізотопу літію ^7_3Li – $m_a = 7,01601$ а. о. м.
Маса електрона – $m_e = 0,00055$ а. о. м.

Використаємо формулу (1) і знайдемо відповідні маси m_1 , m_2 та m_3 :

$$m_1 = 7,01601 - 0,00055 = 7,01546 \text{ а. о. м.}$$

$$m_2 = 7,01601 - 2 \cdot 0,00055 = 7,01491 \text{ а. о. м.}$$

$$m_3 = 7,01601 - 3 \cdot 0,00055 = 7,01436 \text{ а. о. м.}$$

Відповідь: Маса m_1 однозарядного іону літію ${}^7_3\text{Li}^+$ дорівнює 7,01546 а. о. м., маса m_2 двозарядного іону літію ${}^7_3\text{Li}^{++}$ дорівнює 7,01491 а. о. м., маса m_3 трьох зарядного іону літію ${}^7_3\text{Li}^{+++}$ дорівнює 7,01436 а. о. м.

Задача 2

Маса m_α α -частинки (ядро гелію ${}^4_2\text{He}$) рівна 4,00150 а.о.м.

Визначити масу m_a нейтрального атома гелію.

Пояснення:

Розв'язання даної задачі є оберненим до розв'язання попередньої задачі (задача 1. Додаток А. Розділ 1.9. Додаткові задачі: енергія зв'язку атомних ядер. Дефект маси та енергія зв'язку дейтрона) і буде будуватися на схожих міркуваннях.

У нейтральному атомі гелію число електронів є рівним числу протонів. Тому для ядра гелію буде справедлива рівність:

$$m_a = m_\alpha + Zm_e \quad (1),$$

де Z – порядковий номер атома.

Дана рівність була отримана з формули:

$$m_\alpha = m_a - Zm_e \quad (2).$$

Розв'язання:

Дано: Атом гелію ${}^4_2\text{He}$. маса α -частинки – $m = 4,00150$ а. о. м,

Маса електрона – $m_e = 0,00055$ а. о. м.

Підставивши відомі дані у формулу (1) отримаємо шукане значення m_a нейтрального атома:

$$m_a = 4,00150 + 2 \cdot 0,00055 = 4,00260 \text{ а. о. м.}$$

Відповідь: маса m_a нейтрального атома гелію дорівнює 4,00260 а. о. м.

Задача 3

Обчисліть питому енергію зв'язку на один нуклон ${}^4_2\text{He}$ (α частинка)

Пояснення:

Визначмо повну енергію зв'язку $E_{\text{зв}}$ за допомогою рівняння:

$$E_{\text{зв}} = c^2 \Delta m \quad (1).$$

де Δm – дефект маси, який визначається за формулою:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}}, \quad (2).$$

Для ${}^4_2\text{He}$, ми маємо $Z = N = 2$. За цих умов, повна енергія зв'язку становить:

$$E_{\text{зв}} = \left((2m_p + 2m_n) - m_{\text{я}}({}^4_2\text{He}) \right) c^2 \quad (3).$$

Питома енергія зв'язку (енергія зв'язку на нуклон):

$$E_{\text{пит}} = \frac{E_{\text{зв}}}{A} \quad (4).$$

де A для гелію ${}^4_2\text{He}$ дорівнює 4.

Розв'язання:

Дано: Атом гелію ${}^4_2\text{He}$, маса ядра – $m_{\text{я}} = 4.002602$ а. о. м, маса протону – $m_p = 1.007825$ а. о. м, маса нейтрону – $m_n = 1.008665$ а. о. м, коефіцієнт пропорційності – $c^2 = 931,4$ МеВ/а. о. м.

Використавши формулу (3) отримаємо значення повної енергії зв'язку враховуючи, що 1 а. о. м = 931.5 МеВ/ c^2 . Тому, фінальний вираз помножимо на значення 931.5 МеВ/ c^2 :

$$E_{\text{зв}} = \left((2 \cdot 1.007825 + 2 \cdot 1.008665) - 4.002602 \right) \cdot 931,4 \cdot 931.5 = 28,3 \text{ МеВ}.$$

Використаємо формулу (4), і визначмо значення питомої енергії ${}^4_2\text{He}$:

$$E_{\text{пит}} = \frac{28,3}{4} = 7,07 \text{ М} \frac{\text{еВ}}{\text{нуклон}}.$$

Висновок: Зауважимо, що енергія зв'язку для нуклону ${}^4_2\text{He}$ набагато більша, ніж для ізотопів водню (тільки $\approx 3 \text{ М} \frac{\text{еВ}}{\text{нуклон}}$). Тому ядра гелію не можуть розщепити ізотопи водню без енергії, яка вводиться в систему.

Відповідь: Питома енергія зв'язку (енергія зв'язку на нуклон) дорівнює $7,07 \text{ М} \frac{\text{еВ}}{\text{нуклон}}$.

Задача 4:

Визначити енергію зв'язку $E_{зв}$, яка звільниться при з'єднанні одного протона і двох нейтронів у атомне ядро.

Пояснення:

Для розв'язання задачі використаємо формулу для знаходження енергії зв'язку атомних ядер:

$$E_{зв} = c^2 \Delta m \quad (1),$$

Далі, використаємо формулу, для знаходження дефекту мас:

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_\alpha \quad (2),$$

де A – масове число (кількість нуклонів в ядрі), яке дорівнює:

$$A = Z + N \quad (3).$$

Підставивши у формулу (1) формулу (2), отримаємо результуючу формулу для розв'язку завдання:

$$E_{зв} = c^2 (Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_\alpha) \quad (4).$$

За *табл 3,5* отримаємо значення знайдемо маси частинок m_{1H} , m_n та m_α :

Розв'язання:

Дано: Зарядове число (число протонів в ядрі) – $Z = 1$, кількість нейтронів у ядрі – $N = 2$.

1) У результаті з'єднання одного протона і двох нейтронів отримаємо ядро з порядковим номером A , який знайдемо за формулою (3):

$$A = 1 + 2 = 3,$$

тобто, отримаємо елемент 3_1H .

2) За *табл 3,5* знайдемо значення m_{1H} , m_n та m_α :

$$m_{1H} = 1,00783 \text{ а. о. м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а. о. м.}$$

$$m_\alpha = 3,01605 \text{ а. о. м.}$$

За допомогою формули (4) обчислимо значення енергії зв'язку підставивши всі відомі та отримані величини:

$$\begin{aligned} E_{зв} &= 931,4 (1 \cdot 1,00783 + (3 - 1)1,00867 - 3,01605) = 931,4 \cdot 0,00912 \\ &= 8,5 \text{ МеВ.} \end{aligned}$$

Відповідь: Енергія зв'язку $E_{зв}$, яка звільниться при з'єднанні одного протона і двох нейтронів у атомне ядро дорівнює 8,5 МеВ.

Задача 5:

Визначити енергію зв'язку $E_{зв}$, яку потрібно витратити для відриву нейтрона від ядра атома натрію ${}_{11}^{23}\text{Na}$.

Пояснення:

Після відриву нейтрона число нуклонів A у ядрі зменшиться на одиницю, а число протонів Z залишиться незмінним; отримаємо ядро ${}_{11}^{22}\text{Na}$. Ядро атома ${}_{11}^{23}\text{Na}$ можна розглядати як стійку систему, яка виникла у результаті захвату вільного нейтрона ядром ${}_{11}^{22}\text{Na}$. Енергія відриву нейтрона від ядра ${}_{11}^{23}\text{Na}$ дорівнює енергії зв'язку нейтрона з ядром ${}_{11}^{22}\text{Na}$.

Енергія зв'язку буде визначатися формулою:

$$E_{зв} = c^2 \Delta m \quad (1).$$

Дефект маси Δm можна визначити за формулою:

$$\Delta m = (m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m \quad (2).$$

Виразивши енергію зв'язку з формули (1) через дефект маси з формули (2) отримаємо вираз:

$$E_{зв} = c^2 ((m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m) \quad (3).$$

Для даного завдання формула (3) буде приймати вигляд:

$$E_{зв} = c^2 (m_{{}_{11}^{22}\text{Na}} + m_n - m_{{}_{11}^{23}\text{Na}}) \quad (4).$$

Розв'язання:

При підстановці числових значень у формулу (4), замінимо маси ядер масами нейтральних атомів. Так як, число електронів у оболонках атомів ${}_{11}^{22}\text{Na}$ і ${}_{11}^{23}\text{Na}$ однакове, то різниця мас атомів ${}_{11}^{23}\text{Na}$ та ${}_{11}^{22}\text{Na}$ від такої заміни не зміниться:

$$E_{зв} = 931,4 \cdot 0,01334 = 12,42 \text{ МеВ} = 1,99 \text{ пДж}.$$

Відповідь: Енергія зв'язку $E_{зв}$, яку потрібно витратити для відриву нейтрона від ядра атома натрію ${}_{11}^{23}\text{Na}$ дорівнює 1,99 пДж.

1.10. Додаткові задачі за темою: ядерні реакції. Закони збереження у ядерних реакціях

Задача 1

Визначити сумарну кінетичну енергію T ядер, які утворилися у результаті реакції ${}^{13}_6\text{C} (d, \alpha)$, якщо кінетична енергія T_1 дейтрону рівна 1,5 МеВ. Ядро-мішень ${}^{13}_6\text{C}$ вважати нерухомим.

Пояснення:

Дана задача буде розв'язуватися за допомогою формул з курсу «Основи квантової механіки». Якщо учні пройшли даний курс, то доцільно буде нагадати їм основні формули з теорії (необхідні формули для розв'язання будуть наведені у процесі розв'язку). У випадку, коли учні не пройшли даний курс або не встигли пройти, то – краще залишити задачу на майбутнє і повернутися до неї потім, та розв'язати щось інше.

Перейдемо до розв'язку та пояснення завдання.

За законом збереження релятивістської повної енергії:

$$E_c + E_d = E_B + E_\alpha (1).$$

Релятивістська повна енергія ядра дорівнює сумі енергії спокою і кінетичної енергії:

$$E = m_0c^2 + T (2).$$

Підставляючи у формулу (1) значення формули (2) для відповідних ядер, і приймаючи до уваги те – що ядро - мішень ${}^{13}_6\text{C}$ нерухоме, отримаємо вираз:

$$m_e c^2 + m_H c^2 + T_1 = m_B c^2 + m_{He} c^2 + T_B + T_{He} (3).$$

Повна кінетична енергія за умовою дорівнює:

$$T = T_B + T_{He} (4).$$

Враховуючи значення T з формули (4), вираз (3) буде приймати вигляд:

$$m_e c^2 + m_H c^2 + T_H = m_B c^2 + m_{He} c^2 + T (5).$$

Виразимо з формули (5) значення T :

$$T = m_e c^2 + m_H c^2 + T_1 - m_B c^2 - m_{He} c^2 (6).$$

Спростимо вираз(6) для зручності подальших розрахунків:

$$T = c^2(m_e + m_H - m_B - m_{He}) + T_1 (7).$$

У процесі розрахунку відповіді, замінимо маси ядер масами нейтральних атомів. Легко переконатися, що така зміна не вплине на результат обчислень. На справді, так як маса m ядра рівна різниці між масою m_a нейтрального атома і масою Zm_e електронів, які утворюють електронну оболонку.

Розв'язання:

Дано: Кінетична енергія T_1 дейтрону рівна 1,5 МеВ.

Для знаходження сумарної кінетичної енергії T ядер використаємо формулу (7).

Значення мас нейтральних атомів знайдемо за допомогою *табл 1,2*.

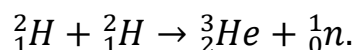
Підставивши відомі значення отримаємо:

$$\begin{aligned} T &= (931,4 \cdot (13,00335 + 2,01410 - 11,00931 - 4,00260) + 1,5) \cdot 10^6 \\ &= 6,7 \text{ МеВ.} \end{aligned}$$

Відповідь: Кінетична енергія T ядер, які утворилися у результаті реакції $^{13}_6\text{C} (d, \alpha)$ дорівнює 6,7 МеВ.

Задача 2

Нехтуючи кінетичними енергіями ядер дейтерію і приймаючи їх сумарний імпульс рівним нулю, визначити кінетичні енергії T_1 і T_2 та імпульси p_1 і p_2 продуктів реакції



Пояснення:

Ускладнена задача, до розв'язання якої можна дійти тільки у тому випадку – коли учні добре засвоїли матеріал даної теми та попередніх тем. Рекомендується розв'язувати у заключному етапі вивчення розділу разом з учнями і безпосередньо корегувати їх думки та роздуми.

Маси спокою нуклідів, які приймають участь у реакції визначимо за допомогою *таблиці 1,2*:

$$\begin{aligned} m_{^2_1\text{H}} &= 2,01410 \text{ а.о.м,} \\ m_1 &= m_{^3_2\text{H}} = 3,01603 \text{ а.о.м,} \\ m_1 &= m_{^1_0\text{n}} = 1,00867 \text{ а.о.м.} \end{aligned}$$

Дефект маси реакції буде визначатися за формулою:

$$\Delta m = Zm_{^1_1\text{H}} + (A - Z)m_n - m_\alpha (1).$$

Для даної задачі формула (1) буде приймати вигляд:

$$\Delta m = 2m_{1H} - m_{2H} - m_{0n} \quad (2).$$

Енергія реакції буде визначається за формулою:

$$\Delta W = c^2 \Delta m \quad (3),$$

де c – швидкість світла.

Згідно до закону збереження імпульсу, імпульс продукту реакції рівний нулю, тому імпульси p_1 і p_2 ядра 3_2H і нейтрону рівний за модулем і протилежний за напрямком:

$$p_1 = -p_2 \quad (4),$$

або

$$p_1 = p_2 = p \quad (4,1).$$

Так як, енергіями ядер до реакції можна знехтувати, то згідно до закону збереження енергії маємо:

$$\Delta W = T_1 + T_2 \quad (5).$$

Кінетичні енергії T_1 і T_2 зв'язані з імпульсами p_1 і p_2 продуктів реакції відношеннями:

$$T_1 = \frac{p_1^2}{2m_1} = \frac{p^2}{2m_1} \quad (6,1),$$

$$T_2 = \frac{p_2^2}{2m_2} = \frac{p^2}{2m_2} \quad (6,2).$$

Тепер виразимо з формули (6,1) імпульс p^2 і підставивши у формулу (6,2) отримаємо вираз:

$$T_2 = \frac{m_1 T_1}{m_2} \quad (7).$$

Підставивши у формулу (5) формулу (7) маємо формулу:

$$\Delta W = T_1 + \frac{m_1 T_1}{m_2} = T_1 \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) \quad (8).$$

Виразимо з формули (8) кінетичну енергію T_1 :

$$T_1 = \frac{m_2 \Delta W}{m_1 + m_2} \quad (9,1).$$

За аналогічними розмірковуваннями виразимо кінетичну енергію T_2 за тим самим алгоритмом як і T_1 :

$$T_2 = \frac{m_1 Q \Delta W}{m_1 + m_2} \quad (9,2).$$

Враховуючи формулу (4,1), виразимо з формули (6,1) імпульс p і підставимо у отриману формулу вираз (9,1):

$$p_1 = p_2 = p = \sqrt{2m_1 T_1} = \sqrt{\frac{2m_1 m_2 \Delta W}{m_1 + m_2}} \quad (10).$$

Розв'язання:

Дано: Ядерна реакція.

Скориставшись формулою (2) отримаємо значення дефекту мас для реакції:

$$\Delta m = 2 \cdot 2,01410 - 3,01603 - 1,00867 = 0,0035 \text{ а. о. м.} = 5,81 \cdot 10^{-30} \text{ кг.}$$

Підставивши у формулу (3) отримане значення дефекту мас отримаємо значення енергії реакції:

$$\Delta W = (3 \cdot 10^8)^2 \cdot 5,81 \cdot 10^{-30} = 5,23 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 3,27 \text{ МеВ.}$$

Тепер, обчислимо значення кінетичних енергій T_1 і T_2 за допомогою формул (9,1) та (9,2):

$$T_1 = \frac{1 \cdot 3,27}{3 + 1} = 0,82 \text{ МеВ.}$$

$$T_2 = \frac{3 \cdot 3,27}{3 + 1} = 2,45 \text{ МеВ.}$$

За допомогою формули (10) обчислимо значення імпульсу:

$$p_1 = p_2 = p = \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 5,23 \cdot 10^{-13} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}{3 + 1}} = 3,61 \cdot 10^{-20} \frac{\text{кгм}}{\text{с}}.$$

Відповідь: Кінетичні енергії T_1 і T_2 відповідно дорівнюють: 0,82 МеВ та 2,45 МеВ. Імпульси $p_1 = p_2 = p$ дорівнюють $3,61 \cdot 10^{-20} \frac{\text{кгм}}{\text{с}}$.

1.11. Додаткові задачі за темою: реакція ділення

Задача 1

Енергія Сонця

Вихідна потужність Сонця становить приблизно $P = 3.8 \cdot 10^{26}$ Дж/с. Більша частина цієї енергії виробляється в ядрі Сонця протон-протонним ланцюгом. Ця енергія передається назовні у результаті таких процесів як - конвекція та випромінювання.

- 1) Скільки з цих реакцій термоядерного синтезу має відбуватися за секунду, щоб забезпечити енергією процес випромінювання Сонця?
- 2) Яка швидкість зменшення маси Сонця?
- 3) Приблизно через п'ять мільярдів років центральне ядро Сонця буде виснажено воднем. На скільки відсотків зменшиться маса Сонця порівняно з теперішнім значенням, коли ядро буде виснажено?

Пояснення:

Загальний вихід енергії за секунду наведено в постановці задачі. Якщо ми знаємо енергію, що виділяється в кожній реакції синтезу, ми можемо визначити швидкість реакцій синтезу. Якщо втрата маси на реакцію синтезу відома, то відома і швидкість втрати маси. Помноживши цю швидкість на п'ять мільярдів років, ви отримаєте загальну втрачену масу сонця. Це значення ділиться на початкову масу Сонця, щоб визначити відсоток від маси Сонця яка була втрачена, у момент коли закінчиться водневе паливо.

- 1) Для початку, знайдемо зменшення маси під час реакції синтезу за допомогою формули дефекту мас:

$$\Delta m = 4m_{1H} - m_{2He} - 2m_{+1e} \quad (1).$$

Енергія, що виділяється під час реакції синтезу дорівнює:

$$\Delta W = c^2 \Delta m \quad (2).$$

Таким чином, можна дійти логічного висновку, що кількість реакцій за секунду, при відомому значенні потужності сонця та енергії що виділяється, буде визначатися виразом:

$$\frac{P}{\Delta W} = N \quad (3).$$

Послідовно підставивши у формулу (3) формули (2) і (1) отримаємо фінальний вираз для визначення кількості реакцій термоядерного синтезу за секунду:

$$N = \frac{P}{c^2(m_{1H} - m_{2He} - 2m_{+1e})} \quad (4)$$

2) Маса Сонця зменшується на Δm за рахунок реакції синтезу, тому можемо стверджувати, що швидкість, з якою його маса зменшується дорівнює:

$$v_m = N \cdot \Delta m \quad (5).$$

3) Отже, $t = 5 \cdot 10^9$ років $= 1.6 \cdot 10^{17}$ с, маса Сонця зменшиться на:

$$\Delta M = v_m t \quad (6).$$

Поточна маса Сонця становить приблизно $M_{\text{сон}} = 2.0 \times 10^{30}$ кг, тому відсоток зменшення його маси, коли його водневе паливо буде вичерпано становить:

$$\frac{\Delta M}{M_{\text{сон}}} \times 100\% \quad (7).$$

Розв'язання:

Дано: Поточна маса Сонця – $M_{\text{сон}} = 2.0 \times 10^{30}$ кг, вихідна потужність Сонця – $P = 3.8 \cdot 10^{26}$ Дж/с.

1) За допомогою формули (4) отримаємо значення кількості розпадів у результаті реакції синтезу за секунду:

Попередньо переведемо значення потужності сонця з Дж/с у МеВ/с отримаємо:

$$3.8 \cdot 10^{26} \text{ Дж/с} = 2.38 \cdot 10^{39} \text{ МеВ/с}.$$

Тепер підставимо відомі значення у формулу:

$$N = \frac{2.38 \cdot 10^{39}}{931.49 \cdot (4(1,007825) - 4,002603 - 2(0,000549))} = 9.26 \times 10^{37} \text{ реакцій/с}.$$

2) Маса Сонця зменшується на Δm , тобто за допомогою формули (1) отримаємо значення даного дефекту мас:

$$\Delta m = 4(1,007825) - 4,002603 - 2(0,000549) = 0,0276 \text{ а. о. м},$$

якщо перевести а.о.м у кг отримаємо $0,0276 \text{ а. о. м} = 4,58 \cdot 10^{-29}$ кг.

За допомогою формули (5) отримаємо шукане значення швидкості зменшення маси сонця:

$$v_m = 9.26 \times 10^{37} \cdot 4,58 \cdot 10^{-29} = 4,24 \cdot 10^9 \text{ кг}.$$

3) За допомогою формули (6) отримаємо значення масу, яку втратить сонце за час t :

$$\Delta M = 4,24 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{17} = 6,8 \cdot 10^{26} \text{ кг.}$$

Відсоток отриманого значення ΔM від повної маси сонця $M_{\text{сон}}$ обчислимо за допомогою формули (7):

$$\frac{6,8 \cdot 10^{26}}{2,0 \times 10^{30}} \times 100\% = 0,034\%.$$

Висновок:

Через п'ять мільярдів років маса Сонця буде майже така ж сама, як зараз. Спалювання водню не спричинить великої зміни у масі Сонця. Цей розрахунок припускає, що за вихідну потужність Сонця відповідальна лише зміна протон-нейтронного розпаду.

Відповідь:

Кількість реакцій за одну секунду буде дорівнювати $9,26 \times 10^{37}$ реакцій/с.

Зменшення маси сонця за час t дорівнює $6,8 \cdot 10^{26}$ кг. Швидкість зменшення маси сонця буде рівним $4,24 \cdot 10^9$ кг.

1.12. Додаткові задачі за темою: енергія радіоактивного розпаду ядер

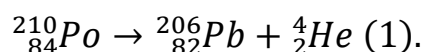
Задача 1

Ядро полонію ${}_{84}^{210}\text{Po}$, яке знаходиться у стані спокою звільнило α -частинку з кінетичною енергією $T = 5,3$ МэВ. Визначити кінетичну енергію t ядра віддачі і повну енергію Q , яка відділилася при α -розпаді.

Пояснення:

Так як, виникає виділення α -частинки і з ядра ${}_{84}^{210}\text{Po}$, ми маємо справу з α -розпадом.

Для даного завдання буде мати місце наступна реакція:



Оскільки ядро полонію знаходиться у стані спокою, то закон збереження енергії буде мати вигляд:

$$Q = T_{\text{я}} + T_{\alpha} \quad (2).$$

Аналогічно для закону збереження імпульсу – так як, ядро знаходиться у стані спокою, загальна сума імпульсів буде рівна 0:

$$0 = p_{\text{я}} + p_{\alpha} \quad (3),$$

звідки:

$$p_{\text{я}} = p_{\alpha} \quad (4).$$

Так як, енергія спокою ядер значно більша кінетичної енергії частинок, то буде мати місце наступна залежність між імпульсом та кінетичною енергією:

$$p = \sqrt{2mT} \quad (5).$$

Напишемо дану формулу для імпульсу ядра та імпульсу α -частинки:

$$p_{\text{я}} = \sqrt{2m_{\text{я}}T_{\text{я}}} \quad (5,1),$$

$$p_{\alpha} = \sqrt{2m_{\alpha}T_{\alpha}} \quad (5,2).$$

Підставимо вирази (5,1) та (5,2) у формулу (4) отримаємо вираз:

$$\sqrt{2m_{\text{я}}T_{\text{я}}} = \sqrt{2m_{\alpha}T_{\alpha}} \quad (6).$$

З формули (6) виразимо шукане значення кінетичної енергії ядра $T_{\text{я}}$ та спростимо вираз. У результаті перетворень отримаємо формулу:

$$T_{\text{я}} = \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{я}}} T_{\alpha} \quad (7).$$

Розв'язання:

Дано: Кінетична енергія – $T_{\alpha} = 5,3$ Мев, ядро полонію – ${}_{84}^{210}\text{Po}$.

За формулою (1) можна бачити, що елемент у який перетворився полоній у процесі α -розпаду є свинець ${}_{82}^{206}\text{Pb}$, маса ядра якого дорівнює $m_{\text{я}} = 206$ а. о. м, маса α -частинки рівна $m_{\alpha} = 4,00260$ а. о. м, підставляючи всі відомі величини у формулу (7) отримаємо значення кінетичної енергії ядра $T_{\text{я}}$:

$$T_{\text{я}} = \frac{4,00260}{206} \cdot 5,3 = 0,103 \text{ Мев}.$$

Отримавши значення кінетичної енергії ядра $T_{\text{я}}$, тепер за допомогою формули (2), знайдемо повну енергію:

$$Q = 0,103 + 5,3 = 5,4 \text{ Мев}.$$

Відповідь: Кінетична енергія ядра $T_{\text{я}}$ буде дорівнювати 0,103 Мев. Повна енергія Q яка виділилася при α -розпаді дорівнює 5,4 Мев.

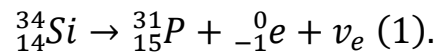
Задача 2

Нерухоме ядро кремнію ${}_{14}^{34}\text{Si}$ випромінює електрон з кінетичною енергією $T = 0,5$ МэВ.

Нехтуючи енергією ядра віддачі, визначити кінетичну енергію антинейтрино, яке вилетіло разом з електроном.

Пояснення:

Так як, за умовою задачі, ядро випромінює електрон, то можна дійти висновку, що ядро зазнало β – розпаду. Запишемо рівняння ядерної реакції.



Різниця мас кремнію і продуктів розпаду, у процесі перетворення в енергію, розподіляється серед продуктів розпаду у вигляді кінетичної енергії, тобто:

$$\Delta mc^2 = (m_{{}_{14}^{34}\text{Si}} - m_{{}_{15}^{31}\text{P}} - m_{{}_{-1}^0\text{e}} - m_{\nu_e}) \cdot c^2 = T_{{}_{15}^{31}\text{P}} + T_{{}_{-1}^0\text{e}} + T_{\nu_e} \quad (2).$$

З формули (2) виразимо кінетичну енергію антинейтрино E_{ν_e} :

$$T_{\nu_e} = (m_{{}_{14}^{34}\text{Si}} - m_{{}_{15}^{31}\text{P}} - m_{{}_{-1}^0\text{e}} - m_{\nu_e}) \cdot c^2 - T_{{}_{15}^{31}\text{P}} - T_{{}_{-1}^0\text{e}} \quad (3).$$

Розв'язання:

Дано: Кінетична енергія електрону $-T_{{}_{-1}^0\text{e}} = 0,5$ МэВ, ядро кремнію $- {}_{14}^{34}\text{Si}$, Кінетична енергія ядра фосфору $-T_{{}_{15}^{31}\text{P}} = 0$ МэВ. Маса антинейтрино $-M_{\nu_e} = 0$.

За табл. 3,5 знайдемо маси відповідних елементів:

$$m_{{}_{15}^{31}\text{P}} = 30,97376163 \text{ а. о. м.}$$

$$m_{{}_{14}^{34}\text{Si}} = 30,97536323 \text{ а. о. м.}$$

$$m_{{}_{-1}^0\text{e}} = 0,0005486 \text{ а. о. м.}$$

Підставимо відомі дані у формулу (3) і отримаємо значення кінетичної енергії антинейтрино:

$$\begin{aligned} T_{\nu_e} &= (30,97536323 - 30,97376163 - 0,0005486 - 0) \cdot 931,4 - 0 - 0,5 \\ &= 0,001053 \cdot 931,5 - 0,5 \approx 0,48 \text{ МэВ.} \end{aligned}$$

Відповідь: Кінетична енергія антинейтрино T_{ν_e} , яке вилетіло разом з електроном буде дорівнювати 0,48 МэВ.

1.13. Додаткові задачі за темою: елементарні частинки

Задача 1

При пружному центральному зіткненні нейтрона з нерухомим ядром гальмуючої речовини кінетична енергія нейтрона зменшилась у $\frac{T_0}{T_1} = 1,4$ рази. Знайти масу m ядер гальмуючої речовини.

Пояснення:

За законом збереження енергії:

$$T_0 = T_1 + T_2 \quad (1),$$

де T_0 – початкова кінетична енергія нейтрона, T_1 – його кінетична енергія після взаємодії з ядром, T_2 – кінетична енергія ядра гальмуючої речовини.

За умовою:

$$\frac{T_0}{T_1} = k = 1,4 \quad (2),$$

З рівняння (2) отримаємо:

$$T_0 = kT_1 \quad (3).$$

Після підстановки рівняння (3) у вираз (1) отримаємо:

$$(k - 1)T_1 = T_2 \quad (4).$$

За законом збереження імпульсу:

$$p_0 = p_1 + p_2 \quad (5),$$

де p_0 – початковий імпульс нейтрона, p_1 – його імпульс після взаємодії з ядром, p_2 – імпульс ядра гальмуючої рідини.

Кінетична енергія і імпульс зв'язані між собою відношенням:

$$T = \frac{p^2}{2m} \quad (6).$$

Підставляючи вираз (6) для T_1 і T_2 у рівняння (3) отримаємо вираз:

$$p_0 = \sqrt{k}p_1 \quad (7).$$

Підставляючи послідовно (7) у вираз (6), і потім у вираз (4) отримаємо рівняння:

$$\frac{(k - 1)p_1^2}{m_n} = \frac{p_1^2}{m} \quad (8),$$

де $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг – маса нейтрона.

Розв'язуючи спільно (7) і (8), знайдемо рівняння для знаходження маси ядер гальмуючої речовини:

$$m = \frac{(\sqrt{k} + 1)^2 m_n}{k - 1} \quad (9).$$

Розв'язання:

Дано: Відношення кінетичних енергій – $\frac{T_0}{T_1} = 1,4$ рази,

маса нейтрона – $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг .

Підставляючи у формулу (9) відомі дані, отримаємо шукане значення маси ядер гальмуючої речовини:

$$m = \frac{(\sqrt{1,4} + 1)^2 1,675 \cdot 10^{-27}}{1,4 - 1} = 19,96 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 12,02 \text{ а. о. м.}$$

Висновок:

За таблицею Менделєєва, знаходимо відповідний елемент, виявляється що шуканою речовиною є вуглець $^{12}_6\text{C}$, тобто гальмуючою речовиною є графіт.

Відповідь: Маса m ядер гальмуючої речовини буде дорівнювати $19,96 \cdot 10^{-27}$ кг або 12,02 а. о. м, самою ж гальмуючою речовиною буде виступати графіт.

Задача 2

Потік заряджених частинок влітає в однорідне магнітне поле з індукцією $B = 3$ Тл. Швидкість потоку частинок $v = 1,52 \cdot 10^7$ м/с і направлена перпендикулярно до ліній магнітного поля. Знайти заряд q кожної частинки, якщо відомо, що на неї діє сила $F = 1,46 \cdot 10^{-11}$ Н.

Пояснення:

У одному магнітному полі на заряджені частинки діє сила Лоренца, яка визначається за формулою:

$$F_L = qvB \sin \alpha \quad (1).$$

За умовою, швидкість частинок направлена перпендикулярно до ліній магнітного поля, тобто, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, тому $\sin \alpha = 1$, отже формула (1) буде приймати вигляд:

$$F_L = qvB \quad (2).$$

Звідки заряд частинки буде дорівнювати:

$$q = \frac{F_L}{vB} \quad (3).$$

Розв'язання:

Дано: Магнітна індукція – $B = 3$ Тл, швидкість потоку частинок $v = 1,52 \cdot 10^7$ м/с, сила Лоренца $F_L = 1,46 \cdot 10^{-11}$ Н.

Використавши формулу (3) отримаємо значення заряду частинки q :

$$q = \frac{1,46 \cdot 10^{-11}}{1,52 \cdot 10^7 \cdot 3} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Відповідь: Заряд q кожної частинки буде дорівнювати $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл

Задача 3

Мезон космічних променів має енергію $W = 3$ ГеВ. Енергія спокою мезона $W_0 = 100$ МеВ. Яку відстань l у атмосфері зможе пройти мезон за час життя τ за лабораторним годинником? Власний час життя мезону $\tau_0 = 2$ мкс.

Пояснення:

Залежність кінетичної енергії тіла від швидкості v його руху визначається за рівнянням:

$$\frac{W}{W_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \quad (1).$$

З формули (1) виразимо швидкість v мезонів, отримаємо:

$$v = \frac{c\sqrt{W}\sqrt{W + 2W_0}}{W + W_0} \quad (2).$$

Час життя мезону τ за лабораторним годинником:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (3).$$

Відстань l , яке зможе пройти мезон у атмосфері за час його життя, визначається формулою шляху з класичної механіки:

$$l = v\tau \quad (4).$$

Підставивши у формулу (4) вираз (3), отримаємо фінальну формулу для визначення відстані l :

$$l = \frac{v\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (5).$$

Розв'язання:

Дано: Енергія мезону – $W = 3 \text{ ГеВ} = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$, енергія спокою мезона – $W_0 = 100 \text{ МеВ} = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$, власний час життя мезону – $\tau_0 = 2 \text{ мкс} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Використавши формулу (2) знайдемо значення швидкості, з якою рухається мезон:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8 \sqrt{4,8 \cdot 10^{-10}} \sqrt{4,8 \cdot 10^{-10} + 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-11}}}{4,8 \cdot 10^{-10} + 1,6 \cdot 10^{-11}} = 2,99844 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Отримавши значення швидкості мезону, підставимо отримане значення у формулу (5) і отримаємо шукане значення шляху, яких пройшов мезон за час свого життя:

$$l = \frac{2,99844 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2,99844 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8}\right)^2}} = 18590,3 \text{ м} = 18,6 \text{ км}.$$

Відповідь: Відстань l у атмосфері яку зможе пройти мезон за час життя τ за лабораторним годинником буде дорівнювати 18590,3 м або 18,6 км.

Задача 4

Електрон і позитрон, які утворилися завдяки фотону з енергією $h\nu = 5,7$ МеВ, дають у камері Вільсона, яка поміщена у магнітне поле, траєкторії з радіусом кривизни $R = 3$ см. Знайти магнітну індукцію поля B .

Пояснення:

На частинку, яка рухається у магнітному полі, діє сила Лоренца:

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha \quad (1).$$

Так як, частинка рухається по колу, то лінія вектору B перпендикулярна швидкості, тобто:

$$\alpha = 90^\circ$$

тоді:

$$\sin \alpha = 1.$$

Частинка рухається по колу, тому сила Лоренца буде дорівнювати доцентровій силі:

$$F_{\text{л}} = F_{\text{доц}} \quad (2).$$

Доцентрова сила буде дорівнювати:

$$F_{\text{доц}} = \frac{mv^2}{R} \quad (3).$$

Підставивши у формулу (2) вираз (1), враховуючи що $\sin \alpha = 1$, та вираз (3) отримаємо:

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad (4).$$

З формули (4) виразимо значення магнітної індукції:

$$B = \frac{mv}{qR} = \frac{p}{qR} \quad (5).$$

Якщо фотон з енергією $h\nu$ перетворюється у дві частинки, то за законом збереження енергії буде справедливий вираз:

$$h\nu = 2m_0c^2 + W_1 + W_2 \quad (6),$$

де m_0c^2 – енергія спокою кожної частинки, W_1 і W_2 – кінетичні енергії частинок у момент їх з'єднання.

З формули (6) виразимо суму кінетичних енергій:

$$W_1 + W_2 = h\nu - 2m_0c^2 \quad (7).$$

Згідно з теорією відносності, імпульс частинки $p = mv$ зв'язаний з її кінетичною енергією W відношенням:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{W(W + 2m_0c^2)} \quad (8).$$

де m_0 – маса спокою частинки.

Підставивши у вираз (5) рівняння (7) отримаємо формулу для визначення магнітної індукції:

$$B = \frac{1}{cqR} \sqrt{W(W + 2m_0c^2)} \quad (9).$$

Розв'язання:

Дано: Енергія фотону – $h\nu = 5,7 \text{ MeV} = 9,12 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$,

радіус кривизни – $R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Використаємо формулу (6) знайдемо значення суми кінетичних енергій:

Для зручності, порахуємо окремо значення – $2m_0c^2$

$$2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV} = 16,32 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

$$W_1 + W_2 = 5,7 - 1,02 = 4,68 \text{ MeV}.$$

При умові, що кінетичні енергії протону та електрона рівні, то розділивши отримане значення суми енергій навпіл, отримаємо значення кожної кінетичної енергії окремо:

$$W_1 = \frac{4,68}{2} = 2,34 \text{ MeV} = 3,744 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Значення $W_2 = W_1 = W$.

Тепер, підставимо всі отримані і відомі значення у формулу (9), та отримаємо шукане значення індукції:

$$B = \frac{\sqrt{3,744 \cdot 10^{-13} (3,744 \cdot 10^{-13} + 16,32 \cdot 10^{-14})}}{3 \cdot 10^8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 0,31 \text{ Тл}.$$

Відповідь: Магнітна індукція B буде дорівнювати 0,31 Тл.