

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

*Методичні рекомендації
до організації практичних занять
з дисципліни «Фізика. Частина 2.
Атомна та ядерна фізика»
для студентів технічних спеціальностей
денної та заочної форм навчання*



Луцьк, 2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

***Методичні рекомендації
до організації практичних занять
з дисципліни «Фізика. Частина 2.
Атомна та ядерна фізика»
для студентів технічних спеціальностей
денної та заочної форм навчання***

Луцьк, 2023

УДК 378.147

Методичні рекомендації з курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. Фізика. Частина 2. Атомна та ядерна фізика для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей / Л.Г.Сергієнко – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк 2023 р. – 47 с.

Мета вказівок – надати методичну та організаційну допомогу студентам денної та заочної форм навчання для організації та реалізації самостійної роботи під час підготовки до практичних занять з курсу фізики.

Вказівки містять технологічні відомості з лекційних та практичних занять із указівкою літератури для самостійної роботи студентів під час підготовки до практичних занять..

Укладач: Сергієнко Л. Г., к.п.н., доцент кафедри ВМФ

Рецензент: Новікова Ю.В., к.ф.-м.н., доц.. кафедри ВМФ

Відповідальний за випуск: Новікова Ю.В., зав. кафедрою ВМФ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 9 від 27.06.2023 р.

Розглянуто на засіданні кафедри математики і фізики,
протокол № 6 від 20 червня 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Атомна фізика:	
1.1. Практичне заняття 1. Склад ядра. Розміри ядер.....	6
1.2. Практичне заняття 2. Характеристики атомного ядра.....	10
1.3. Практичне заняття 3. Властивості ядерних сил.....	16
1.4. Практичне заняття 4. Дефект маси ядра атома та енергія зв'язку ядра.....	20
2. Ядерна фізика:	
2.1. Практичне заняття 5. Ядерні перетворення.....	24
2.2. Практичне заняття 6. Радіоактивність (природна та штучна)....	28
2.3. Практичне заняття 7. Закон радіоактивного розпаду.....	32
2.4. Практичне заняття 8. Використання явища радіоактивності.	
Елементи дозиметрії іонізуючих випромінювань. Основні нормативні дані за радіоактивним чинником в Україні.....	37
3. Питання для самоперевірки.....	42
4. Екзаменаційні питання з фізики.....	44
5. Список рекомендованої літератури.....	47

ВСТУП

Вивчення курсу загальної фізики є одним з найважливіших елементів підготовки висококваліфікованого інженера, воно сприяє розвитку логічного мислення, підвищенню загального наукового рівня та виробленню навичок дослідження прикладних питань.

Мета даних методичних рекомендацій – допомогти студентам–першокурсникам у самостійній організації та реалізації їхньої роботи з вивчення курсу загальної фізики. Рекомендації містять технологічні рекомендації щодо лекцій та практичних занять, варіанти карток електронного та безмашинного методу контролю, які проводяться в аудиторії по окремих розділах курсу в якості поточного контролю. Докладний перелік тем кожної лекції супроводжується докладними літературними посиланнями через відсутність фундаментального підручника для студентів технічних спеціальностей різних форм навчання. Особливо виділяються ті питання, що виносяться на самостійне вивчення.

По всіх темах практичних занять приводяться номери задач, які варто вирішити студентам самостійно для успішного засвоєння курсу. Частина цих задач вирішується на практичних заняттях в аудиторії (приклади їхнього рішення приводяться в даних рекомендаціях), а частина - складає завдання студенту для самостійного рішення.

Контрольні та індивідуальні завдання виконуються після вивчення студентами відповідних розділів курсу фізики з урахуванням наступних вимог:

1. Студент виконує завдання тільки відповідно до свого варіанту.
2. Контрольні роботи виконуються в окремих зошитах або на аркушах формату А-4, залишаючи поля для зауважень рецензента.
3. На титульному листі обов'язково вказується предмет (фізика), номер контрольної роботи, прізвище та ім'я по-батькові, номер варіанту, дату виконання роботи.

4. Перш за все, необхідно уважно прочитати умову завдання, записати його в повній і стислій формах.
5. Вказати основні закони та формули, на яких базується рішення цієї задачі, дати пояснення цих законів.
6. Навести креслення, яке пояснює зміст задачі (якщо це необхідно та можливо).
7. Супроводити рішення задачі короткими, але вичерпними поясненнями.
8. Завдання з невеликою кількістю розрахунків слід виконувати в загальному вигляді, а потім у одержані формули підставити чисельні значення величин. Зробити їх перевірку.
9. Для завдань з великою кількістю розрахунків необхідно спочатку показати загальний засіб рішення, скласти відповідні рівняння, які зручніше потім виконувати з підставленими численними значеннями.
10. Результати, які одержані під час виконання завдань, слід перевіряти та обґрунтовувати. Оцінити правдоподібність одержаних численних результатів, зробити висновки.
11. Якщо під час виконання завдань, або при вивченні навчальної літератури з фізики та спеціальних дисциплін виникають труднощі, необхідно звернутися за консультацією до викладача, вказуючи при цьому на особисті міркування щодо рішення цієї задачі.

1. АТОМНА ФІЗИКА

1.1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Склад ядра. Розміри ядер

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування загальних понять з атомної фізики, поняття складу ядер, їх розмірів, густини тощо.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з атомної фізики. Опанувати здатністю визначати склад будь якого ядра кожного

елемента з періодичної таблиці Менделєєва та використовувати ці навички для вирішення необхідного фізичного та математичного завдання.

Атомне ядро має протонно-нейтронну модель, тобто. складається з елементарних частинок - протонів та нейтронів.

Протон (p) має позитивний заряд, рівний за модулем заряду електрона, і масу спокою $m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ кг} = 1836 m_e$, де m_e - маса електрона. Нейтрон (n) - нейтральна частка з масою спокою $m_n = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ кг} = 1839 m_e$. Протони та нейтрони разом називаються нуклонами (від лат. Nucleus - ядро). Загальна кількість нуклонів у атомному ядрі називається масовим числом A.

Атомне ядро характеризується зарядом Ze, де Z - зарядове число ядра, що дорівнює кількості протонів в ядрі та збігається з порядковим номером хімічного елемента в періодичній системі елементів Менделєєва. Відомі нині 112 (за іншими даними 114) елементів таблиці Менделєєва мають зарядові числа ядер від $Z = 1$ до $Z = 112$ (або 114).

Ядро позначається тим самим символом, як і нейтральний атом: AZX, де X - символ хімічного елемента, Z - атомний номер (число протонів в ядрі), A - масове число (число нуклонів в ядрі).

Оскільки атом нейтральний, заряд ядра визначає і число електронів в атомі. Від числа електронів залежить їх розподіл за станами в атомі, від якого, у свою чергу, залежать хімічні властивості атома. Отже, заряд ядра визначає специфіку даного хімічного елемента, тобто визначає число електронів в атомі, конфігурацію їх електронних оболонок, величину та характер усередині атомного електричного поля.

Ядра з однаковими Z, але різними A (тобто із різними числами нейтронів $N=A-Z$) називаються ізотопами, а ядра з однаковими A, але різними Z - ізобарами. Наприклад, водень ($Z=1$) має три ізотопи: ${}^1_1\text{H}$ - протій ($Z=1$, $N=0$), ${}^2_1\text{H}$ - дейтерій ($Z=1$, $N=1$), ${}^3_1\text{H}$ - тритій ($Z=1$, $N=2$).

Радіус ядра задається емпіричною формулою:

$$R = R_0 \cdot A^{1/3} \quad (1)$$

де $R_0 = (1,3-1,7) \cdot 10^{-15}$ м.

Однак, при вживанні цього поняття необхідно бути обережним (через його неоднозначність, наприклад, через розмитість кордону ядра). З формули (1) випливає, що обсяг ядра пропорційний числу нуклонів у ядрі. Отже, щільність ядерної речовини приблизно однакова для всіх ядер ($\approx 10^{17}$ кг/м³).

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Визначте: 1) густину ядерної матерії; 2) радіус Землі, якщо вона зі своєю реальною масою ($5,98 \cdot 10^{24}$ кг) мала густину ядерної матерії. Маса нуклона прийняти рівною $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Дано:

$$M_z = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг};$$

$$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Визначити:

1) ρ ;

2) R .

Розв'язок:

Вважаючи форму атомного ядра сферичною, густина ядерної матерії буде дорівнювати:

$$\rho = \frac{m_n \cdot A}{\frac{4}{3} \pi R^3} \quad (2)$$

де m_n – маса нуклона; A – масове число; $R = R_0 \cdot A^{1/3}$ – радіус ядра (для розрахунків приймемо $R_0 = 1,3$ фм = $1,3 \cdot 10^{-15}$ м). Підставляючи числові значення, у формули (2) отримаємо в загальному вигляді густину ядерної матерії (3):

$$\rho = \frac{3m_n}{4\pi R^3} \quad (3)$$

Маса Землі в загальному вигляді:

$$M_z = \frac{4}{3} \pi \rho R_z^3 \quad (4)$$

де ρ – її густина (згідно умові задачі вона повинна бути прийнята рівною

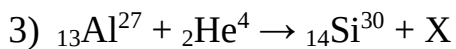
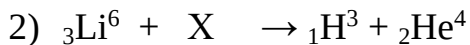
густині ядерної матерії); R_3 – радіус Землі.

Шуканий радіус Землі при заданих умовах дорівнював би:

$$R_3 = \sqrt{3M/4\pi\rho}$$

Відповідь: $\rho = 1,82 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$; 2) $R_3 = 199 \text{ м}$.

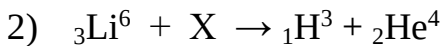
Задача 2. Визначте зарядове число Z і масове число A частинки, яка позначена буквою X у символічному запису ядерної реакції:



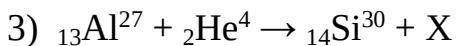
Розв'язок:



$Z=0$; $A=1$; ${}_0\text{n}^1$ (нейтрон)



$Z=0$; $A=1$; ${}_0\text{n}^1$ (нейтрон)



$Z=1$; $A=1$; ${}_1\text{p}^1$ (протон)

Відповідь: 1) нейтрон; 2) нейтрон; 3) протон.

Практичні завдання для СРС-1

1. Довжина хвилі лінії K_0 ніобію дорівнює 76 пм. Визначте, якому елементу належить лінія з довжиною хвилі 451 пм?
2. Знаючи постійну Авогадро, визначте масу нейтрального атому алюмінію.
3. Визначте, у скільки разів магнетон Бора більше ядерного магнетона.
4. Як змінюються масове число та номер елемента при викиданні з ядра нейтрона? протона?
5. Чи змінюється масове число, маса та порядковий номер елемента після випускання ядром γ -квантів

Література [2, §46.1], [4, Розділ 15, §15.1; 15.2]

1.2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМНОГО ЯДРА

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування загальних понять з атомної фізики, поняття характеристик атомного ядра.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з атомної фізики. Опанувати здатністю визначати характеристики атомних ядер: розмірів, спіну, спектрів, електромагнітних моментів.

Характеристики атомного ядра

Основні характеристики ядер, які обговорюватимуться далі:

1. Розміри ядер.
2. Енергія зв'язку нуклонів в ядрі та енергії відділення нуклонів та кластерів від ядра.
3. Спін, парність та ізоспін ядер в основних та збуджених станах.
4. Спектри ядер.
5. Електромагнітні моменти ядра та нуклонів

Розміри ядер. Розподіл заряду та маси в атомних ядрах досліджується в експериментах з пружного розсіювання на ядрах альфа-частинок (історично це перші експерименти Резерфорда), електронів та протонів. З'ясувалося, що як щільність розподілу заряду, так і щільність розподілу маси ядра приблизно виражаються розподілом Фермі:

$$\rho(r) \cong \frac{\rho(0)}{1 + \exp\left(\frac{r - R}{a}\right)}; \quad (5)$$

$$\rho(R) = \frac{\rho(0)}{2}.$$

Величину R називають радіусом ядра. Зазначимо, що оскільки розподіл густини заряду та маси близькі, але не збігаються один з одним, відрізняються також і зарядовий та масовий радіуси. У наближених розрахунках можна

вважати ці величини такими, що збігаються і вважати, що радіус ядра:

$$R \approx r_0 A^{1/3}. \quad (6)$$

Це одночасно означає незалежність середньої густини ядра від масового числа. Дійсно, оцінимо щільність ядра з числом нуклонів A :

$$\rho = \frac{M(A, Z)}{V(A, Z)} \cong \frac{m_N A}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3m_N A}{4\pi r_0^3 A} = \frac{3m_N}{4\pi r_0^3} \quad (7)$$

Енергії зв'язку і маси ядер. Маса стабільних ядер менше суми мас нуклонів, які входять у ядро. Різниця цих мас і визначає енергію зв'язку ядра:

$$E_{\text{зв}}(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n - M_N(A, Z).$$

Заряд ядра. Ядро кожного з атомів має позитивний заряд. Як носій позитивного заряду виступає протон. З тієї причини, що заряд протона чисельно еквівалентний заряду електрона e , можна записати, що заряд ядра елемента дорівнює $+Ze$ (Z виражає ціле число, яке вказує на порядковий номер хімічного елемента в періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва). Значення Z також характеризує кількість протонів, що входять до складу ядра та кількість електронів в атомі. Саме тому його визначають як атомний номер ядра. Електричний заряд є однією з основних характеристик атомного ядра, від якої залежать оптичні, хімічні та інші властивості атомів.

Маса ядра. Існує також інша істотна характеристика ядра, саме маса. Масу атомів і ядер прийнято виражати в атомних одиницях маси (а.о.м.), як атомна одиниця маси виступає $1/12$ маси нукліду вуглецю ${}^{12}_6\text{C}$:

де $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ позначає число Авогадро.

Крім того, є інший спосіб вираження атомної маси: виходячи із співвідношення Ейнштейна $E=mc^2$, її виражають в одиницях енергії. З тієї причини, що:

маса протона $m_p = 1.00728$ а.о.м. = 938,28 MeV,

маса нейтрону $m_n = 1.00866$ а.о.м. = 939,57 MeV,

а маса електрона $m_e = 5,49 \cdot 10^{-4}$ а.о.м. = 0,511 MeV,

З наведених вище значень видно, що маса електрона несуттєво мала, якщо порівнювати її з масою ядра, тому маса ядра практично еквівалентна масі всього атома і відмінна від цілих чисел.

Визначення 1. Маса ядра, що виявляється у а. о. м. і округляється до цілого числа зветься масовим числом і позначається за допомогою літери A . Вона характеризує кількість нуклонів, що знаходяться у складі ядра.

Кількість нейтронів у ядрі еквівалентне $N=A-Z$. Як позначення ядер використовують символ XZA , у якому X визначається, як хімічний символ цього елемента.

Визначення 2. Атомні ядра, що мають однакову кількість протонів, проте при цьому різними один від одного масовими числами, зветься ізотопами.

У деяких елементах кількість стабільних і нестабільних ізоотопів досягає десятків, як приклад, уран має 14 ізоотопів: від ${}_{92}\text{U}^{227}$ до ${}_{92}\text{U}^{240}$. Більшість хімічних елементів, які у природі, є сумішшю кількох ізоотопів. Саме наявність ізоотопів пояснює таке явище: деякі природні елементи мають масу, яка є відмінною від цілих чисел. Як приклад, розглянемо природний хлор, який складається з 75% ${}_{17}\text{Cl}^{35}$ і 24% ${}_{17}\text{Cl}^{37}$, яка атомна маса еквівалентна 35,5 а.о.м. У більшій частині атомів, виключаючи водень, ізоотопи мають практично рівні фізичні та хімічні властивості. Однак, за своїми виключно ядерними властивостями, ізоотопи значно відрізняються один від одного. Деякі з них можуть бути стабільними ізоотопами, а інші – радіоактивними.

Визначення 3. Ядра з еквівалентними масовими числами, але різними значеннями Z зветься ізобарами, як приклад, ${}_{18}\text{Ar}^{40}$, ${}_{20}\text{Ca}^{40}$.

Визначення 4. Ядра з однаковою кількістю нейтронів визначаються як ізотони.

Визначення 5. Серед легких ядер зустрічаються й так звані «дзеркальні» пари ядер. Це такі пари ядер, у яких числа Z та $A-Z$ змінюються місцями. Як приклад таких ядер можна навести ${}_{6}\text{C}^{13}$ і ${}_{7}\text{N}^{13}$ або ${}_{1}\text{H}^3$ і ${}_{2}\text{He}^3$.

Розмір атомного ядра. Приймаючи форму атомного ядра приблизно сферичну, маємо можливість запровадити поняття його радіуса R . Звернемо увагу, що у деяких ядрах є невелике відхилення від симетрії у розподілі електричного заряду. Більше того, атомні ядра є не статичні, а динамічні системи, і поняття радіуса ядра не можна представляти як радіус кулі. Саме через цей факт, як розміри атомного ядра потрібно приймати ту область, в якій проявляються ядерні сили. У процесі створення кількісної теорії розсіювання α -часток Е. Резерфорд виходив з тих припущень, що атомне ядро і α -частинки взаємодіють за законом Кулона, тобто з того, що електричне поле навколо ядра має сферичну симетрію.

Це працює щодо α -частинок, які мають досить малим значенням енергії E . При цьому частка не має можливості подолати кулонівський потенційний бар'єр і згодом не досягає області, в якій спостерігається дія ядерних сил. Одночасно з підвищенням енергії частки до деякого граничного значення E_{gr} , α -частка досягає цього кордону. У такому разі в розсіянні α -частинок поле навколо ядра володіє сферичною асиметрією (певне відхилення від формули Резерфорда).

Досвідченим шляхом було визначено, що радіус R ядра залежить від числа нуклонів, які входять до складу ядра.

Розміри ядер визначають експериментальним шляхом розсіяння протонів, швидких нейтронів або електронів високих енергій. Існує також цілий перелік інших непрямих методів отримання значень розмірів ядер. Вони ґрунтуються:

- на зв'язку часу життя α – радіоактивних ядер з енергією випущених ними α – частинок;
- на оптичних властивостях, що мають назву мезоатомів, у яких один з електронів тимчасово захоплений мюоном;
- порівняння енергій зв'язку парних дзеркальних атомів.

Дані способи підтверджують емпіричну залежність $R=R_0 \cdot A^{1/3}$, а також завдяки таким вимірам визначено значення постійної $R_0 = (1,2-1,5) \cdot 10^{-15}$ м.

Звернемо свою увагу також на той факт, що за одиницю відстаней в атомній фізиці та фізиці елементарних частинок приймають одиницю виміру «фермі», що дорівнює 10^{-15} м і $1 \text{ ф} = 10^{-15}$ м. Радіуси атомних ядер визначаються їх масовим числом і перебувають у проміжку від $2 \cdot 10^{-15}$ до 10^{-14} м. Якщо з формули $R = R_{0\text{ш}} \cdot A^{1/3}$ виразити R_0 і записати його у такому вигляді $4\pi R^3 A = \text{const}$, можна помітити, що на кожен нуклон припадає приблизно однаковий обсяг. З цього факту можна дійти невтішного висновку у тому, що щільність ядерної речовини всіх ядер так само приблизно однакова. Як можна побачити, щільність ядерної речовини досить велика. Цей факт ґрунтується на дії ядерних сил.

Приклади рішення задач:

Задача 1. Визначте радіус міді, якщо відомо, що під час проходження високоенергетичних нейтронів крізь пластинку міді товщиною 2 см потік нейтронів зменшується в 1,1 рази. Розміром нейтрона можна знехтувати, а густина міді $\rho(\text{Cu}) = 9 \text{ г/см}^3$.

Рішення

Для високоенергетичних нейтронів хорошою оцінкою величини повного перерізу є геометричний переріз ядра – πR^2 . Використовуємо формулу:

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{A}{\rho N_A x} \ln \frac{j(0)}{j(x)} \approx \frac{65}{9 \times 6.02 \cdot 10^{23} \times 2} \ln(1.1) \approx 0.57 \text{ барн} \quad (8)$$

$$R = (\sigma_{\text{tot}}/\pi)^{1/2} = (0.57 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2/\pi)^{1/2} \approx 4.3 \cdot 10^{-13} \text{ см} = 4,3 \text{ Фм.} \quad (9)$$

Відповідь: $R = 4,3 \text{ Фм}$.

Задача 2. Які стани з наведеного на рисунку 1 спектру ядра можуть збуджуватися в реакціях непружного розсіяння (α, α') , (d, d') и (p, p') ?

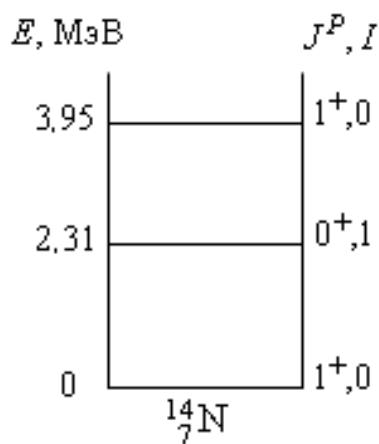
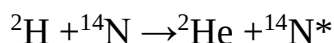
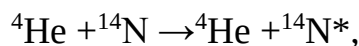


Рис 1 Спектр нижніх рівнів ядра

Рішення

Аналіз закону збереження ізоспіна для реакцій сильної взаємодії:



Призводить до висновку, що рівень з ізоспіном 1 в цих реакціях не збуджується: $1 + \vec{0} \vec{0} = \vec{1} ({}^{14}\text{N}^*) + \vec{0}$, тобто, можливо тільки збуджений стан ядра ${}^{14}\text{N}$ з енергією $E = 3.95 \text{ MeV}$ та ізоспіном 0.

Для реакції непружного розсіювання протонів: $p + {}^{14}\text{N} \rightarrow p + {}^{14}\text{N}^*$

можливе збудження як станів з ізоспіном $I = 0$, так і станів з ізоспіном $I = 1$: $1 + \vec{1/2} + \vec{0} = \vec{1} ({}^{14}\text{N}^*) + \vec{1/2}$, тобто можливі $I({}^{14}\text{N}^*) = 0$ і 1 .

Відповідь: $I = 0; 1$.

Практичні завдання для СРС-2.

1. В моделі атома Томсона визначте частоту випромінювання атому водню.
2. Оцініть величину напруженості електричного поля в атомі водню.
3. Визначте класичний спектр атому водню. Чи збігається він із спостережуваним спектром?
4. Три лінії серії Лаймана мають довжини хвиль (в ангстремах) 1216, 1026 і 973. За допомогою принципу Рітца визначте довжини хвиль трьох інших можливих ліній в спектрі атому водню. До яких серій відносяться ці лінії?

5. Знаючи універсальні константи **e**, **c**, **h**, за допомогою розмірностей оцініть швидкість електрона у водне подібному атомі.

Література [2, §46.2, 46.3]; [4, Розділ 15, §15.2;15.3]

1.3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Властивості ядерних сил

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з властивості ядерних сил. Практичне застосування даної тематики.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з властивості ядерних сил. Опанувати необхідні розрахунки ядерних сил.

Властивості ядерних сил. Між нуклонами в ядрі діють сили тяжіння-ядерні сили. Ядерні сили відносяться, поряд з гравітаційними та електромагнітними, до так званих фундаментальних сил природи. У квантовій механіці замість поняття “сила” найчастіше використовується поняття “взаємодія”. Синонімом вираження "ядерні сили" є вираз "сильна взаємодія". Цим виразом підкреслюється той факт, що ядерні сили набагато сильніші, ніж електромагнітні і тим більше гравітаційні. Адже ядерні сили утримують у ядрі однойменно заряджені протони, які за законом Кулона відштовхуються, та незаряджені нейтрони. Якби не було ядерних сил, ядра розлетілися б на окремі нуклони. Таким чином, ядерні сили "найсильніші" в природі.

Ядерні сили мають ряд специфічних властивостей: 1. На відміну від електромагнітних і гравітаційних сил, радіус дії яких дорівнює нескінченності, ядерні сили є короткодійними, оскільки вони дуже швидко зменшуються з відстанню. На відстанях, що перевищують приблизно $r_0 - 10^{-15}$ м, ядерні сили стають практично рівними нулю. Розмір r_0 називається радіусом дії ядерних сил.

2. Ядерні сили мають властивість насичення, тому, кожен нуклон в ядрі взаємодіє лише з певним числом найближчих сусідів.

3. Розмір сильної взаємодії залежить від взаємної орієнтації спинів нуклонів.

4. Ядерні сили мають властивість зарядової незалежності, що виражається в тому, що величина ядерних сил не залежить від електричного заряду взаємодіючих нуклонів.

Міжнуклонні взаємодії. Сили, що утримують нуклони в ядрі – ядерні сили, зумовлені найінтенсивнішим із чотирьох відомих фундаментальних взаємодій – сильною взаємодією. Поряд із ядерними силами між нуклонами діють сили електромагнітної взаємодії, основну частину яких складають сили кулонівського відштовхування протонів. Вклад кулонівських сил у енергію зв'язку ядра становить трохи більше 15% у найважчих ядер і дуже незначний у легких.

Третій вид взаємодії – слабка взаємодія, що є універсальною. У цій взаємодії беруть участь усі частинки, крім фотона. Відносна інтенсивність слабкої взаємодії вкрай мала порівняно з сильним та електромагнітним, проте саме слабка взаємодія відповідальна за один з видів радіоактивності – бета-розпад.

Визначальними властивостями ядерних сил є їх велика інтенсивність та короткодія. Уявлення про інтенсивність ядерних сил може дати величина енергії, яка необхідна для відриву нуклону від ядра. Вона коливається не більше як 2-20 МеВ. (Для порівняння – енергія іонізації К-оболонки важкого атома 100 кеВ, зовнішньої валентної оболонки – близько 10 еВ і менше.) Інтенсивністю ядерних сил визначаються енергетичні характеристики ядра (енергія зв'язку, енергія збудження тощо) та швидкість протікання найшвидших процесів, наприклад, час встановлення рівноваги після «струсу», викликаного взаємодією ядра з швидкою часткою. Цей час по порядку величини має значення характерного ядерного часу, часу, необхідного для проходження релятивістської частки через ядро $N = 2 R_N / c \sim 10^{-22}$ с, де R_N – радіус ядра. Ядерні сили діють між нуклонами, що є один від одного на відстані не більше $a = 1,7 \cdot 10^{-15}$ м – радіусу дії ядерних сил. Ця їхня властивість отримала назву

короткодія. Розміри ядер і величина ефективного поперечного перерізу ядерних реакцій зумовлені переважно короткодією ядерних сил, їм же, частково, зумовлена властивість насичення ядерних сил. На відстані менших $0,4 \cdot 10^{-15}$ м тяжіння між нуклонами змінюється дуже сильним відштовхуванням.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Визначити радіуси r_k трьох перших борівських електронних орбіт в атомі водню та швидкості v_k електрона на них.

Рішення

На електрон, який рухається вздовж k -тої орбіти, діє кулонівська сила:

$$F = e^2 / 4\pi\epsilon_0 r_k^2 \quad (10),$$

де e – заряд електрона.

Ця сила є доцентровою і надає електрону нормальне прискорення:

$$a_n = v_k^2 / r_k \quad (11)$$

Згідно другого закону Ньютона:

$$F = m a_n \quad (12)$$

Підставляючи рівняння (10) і (11) в рівняння (12), отримаємо:

$$r_k = e^2 / 4\pi\epsilon_0 m v_k^2 \quad (13)$$

Згідно першому постулату Бора рух електрона навколо ядра можливий тільки по визначених орбітах, радіуси яких задовольняють певному співвідношенню:

$$m v_k r_k = k h / 2\pi \quad (14)$$

Вирішуючи сумісно рівняння (13) і (14), визначимо швидкості та радіуси певних орбіт:

$$v_k = e^2 / 2\epsilon_0 k h, \text{ а також } r_k = \epsilon_0 k^2 h^2 / \pi m e^2.$$

Згідно з результатами розрахунків, складемо таблицю:

k	1	2	3
V, 10^6 м/с	2,18	1,08	0,73
r, 10^{-12} м	52,9	211,6	476,1

Задача 2. В наслідок поглинання ядром γ -кванта вилітає нейтрон з орбітальним моментом $L_n = 2$. Визначте мультипольність γ -кванта, якщо кінцеве ядро виникає в основному стані.

Рішення

Реакція в даному випадку має вигляд: ${}^4\text{He}(\gamma, n){}^3\text{He}$.

Сумарний момент у кінцевому стані визначається:

$$\vec{J}_f = \vec{J}_{\text{He}} + \vec{s}_n + \vec{l}_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 2 = 1, 2, 3.$$

Парність в кінцевому стані визначається:

$$P_f = P_{\text{He}} P_n (-1)^{l_n} = (+1)(+1)(-1)^2 = +1$$

В початковому стані парність має вигляд:

$$\vec{J}_i = \vec{J}_\gamma + \vec{s}_\alpha = \vec{J}_\gamma,$$

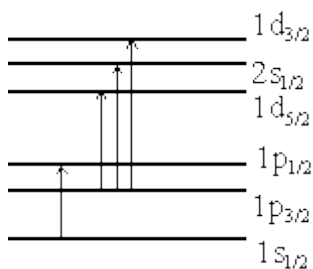
$$P_i = P_\gamma P_\alpha = P_\gamma = +1.$$

Відповідь: Мультипольність фотонів повинна бути 1, 2, 3, а їхня парність позитивна, тобто, це фотони M_1 , E_2 , M_3 .

3. Ядро ${}^{12}\text{C}$ поглинає E_1 γ -квант. Які одночасткові переходи можливі ?

Рішення

Основний стан ядра ${}^{12}\text{C}$ має спін і парність 0^+ , у нього повністю заповнені перша оболонка та підоболонка $1p_{3/2}$ другої оболонки, При поглинанні E_1



фотонів можливі переходи нуклонів із другої оболонки на третю та з першої оболонки на вакантні стани другої таких, щоб сумарний момент частинки та дірки в виникненому стані типа «частинка – дірка» був рівний 1, при цьому закон збереження парності буде виконаний,

так як парність станів при переході від першої до другої і від другої до третьої

оболонки міняються та парність таких станів буде відємною. Це переходи $1s_{1/2} \rightarrow 1p_{1/2}$, $1p_{3/2} \rightarrow 1d_{5/2}$, $1p_{3/2} \rightarrow 2s_{1/2}$, $1p_{3/2} \rightarrow 1d_{3/2}$.

Практичні завдання для СРС-3

1. З якими орбітальними моментами l_p можуть бути протони в реакції $^{12}\text{C}(\gamma, p)^{11}\text{B}$, якщо: 1) кінцеве ядро виникає в основному стані, а поглинається E_2 фотон; 2) кінцеве ядро виникає в стані $1/2^+$, а поглинається M_1 фотон; 3) кінцеве ядро виникає в основному стані, а поглинається E_1 – фотон?
2. При яких відносних орбітальних моментах кількість руху протона можлива ядерна реакція протона: $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$?
3. Ядро ^{12}C поглинає γ -квант, в наслідок чого вилетає протон з орбітальним моментом $l = 1$. Визначте мультипольність поглиненого γ -кванта, якщо кінцеве ядро виникає в основному стані?
4. Визначте орбітальний момент дейтрона l_d в реакції підхвату $^{15}\text{N}(n, d)^{14}\text{C}$, якщо орбітальний момент нейтрона $l_n = 0$.
5. Ядро ^{40}Ca поглинає E_1 γ -квант. Які одночасткові переходи можливі?

Література [2, §46.4], [4, Розділ 15; §15.3]

1.4. Практичне заняття 4

Дефект маси ядра атома та енергія зв'язку ядра

Мета: оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з наявності дефекту маси ядра атому. Навчитися практично розраховувати дефект маси ядра та енергії зв'язку атома.

Завдання: навчитися оперувати та практично використовувати поняття дефекту маси для розрахунку енергії зв'язку атомів.

Дослідження показують, що атомні ядра є стабільними утвореннями. Це означає, що між нуклонами в ядрі існує певний зв'язок.

Масу ядер можна дуже точно визначити за допомогою мас-спектрометрів - вимірювальних приладів, які розділяють пучки заряджених частинок (зазвичай іонів) з різними питомими зарядами Q/m за допомогою електричних і магнітних полів. Масс-спектрометричні вимірювання показали, що маса ядра менше суми мас складових його нуклонів. Але оскільки кожній зміні маси має відповідати зміна енергії, то, отже, при утворенні ядра має виділятися певна енергія. Із закону збереження енергії випливає і протилежне: щоб розділити ядро на складові частини, необхідно витратити стільки ж енергії, скільки виділяється при його утворенні. Енергію, яку необхідно витратити для розщеплення ядра на окремі нуклони, називають енергією зв'язку нуклонів в ядрі:

$$E_{\text{св}} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]c^2, \quad (15)$$

де m_p , m_n , $m_{\text{яд}}$ – маси протона, нейтрона та ядра відповідно. У таблицях, зазвичай, наводяться не маси m ядер, а маси m атомів. Тому для енергії зв'язку ядра використовується формула:

$$E_{\text{св}} = [Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m]c^2, \quad (16)$$

де m_{H} – маса атома водню. Оскільки m_{H} більше m_p на значення m_e , перший член у квадратних дужках включає масу Z електронів. Але оскільки маса атома m відрізняється від маси ядра $m_{\text{яд}}$ саме на масу Z електронів, то розрахунки за формулами (17) і (18) приводять до однакових результатів.

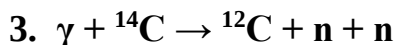
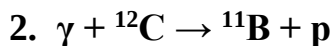
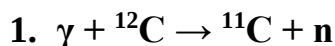
Значення:

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\text{я}} \quad (17)$$

називається дефектом ядерної маси. На цю величину зменшується маса всіх нуклонів, коли з них утворюється атомне ядро.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ТЕМИ:

Задача 1. Визначте пороги реакцій фоторозщеплення ^{12}C :



Рішення:

Розрахуємо енергії реакцій 1) - 3), використовуючи табличні дані по надлишкам мас атомів:

1) $Q = 0 - (8.668 + 7.289) = -15.957 \text{ MeV}$

2) $Q = 0 - (8.071 + 10.650) = -18.721 \text{ MeV}$

3) $Q = 3.02 - (0 + 28.071) = -13.122 \text{ MeV}$

Для порогової енергії можливо записати: $T_{\text{пор}} \cong Q$, так як для реакцій

$$1) - 3) m_a = m_\gamma = 0 \text{ і } |Q| \ll 2m_{\text{Ac}}^2.$$

Задача 2. Визначте пороги реакцій: $^7\text{Li}(\text{p},\alpha)^4\text{He}$ і $^7\text{Li}(\text{p},\gamma)^8\text{Be}$.

Рішення:

Розрахуємо енергії реакцій:

1) $^7\text{Li}(\text{p},\alpha)^4\text{He} \quad Q = +17,348 \text{ MeV}$

2) $^7\text{Li}(\text{p},\gamma)^8\text{Be} \quad Q = +17,26 \text{ MeV}$

Реакції 1) - 2) позитивні (екзотермічні), йдуть при будь яких енергіях протонів.

Задача 3. Визначте, яку мінімальну енергію повинен мати протон, щоб стала можливою реакція $\text{p} + \text{d} \rightarrow \text{p} + \text{p} + \text{n}$. Дані надлишки мас: $\Delta(^1\text{H}) = 7.289 \text{ MeV}$, $\Delta(^2\text{H}) = 13.136 \text{ MeV}$, $\Delta(\text{n}) = 8.071 \text{ MeV}$.

Рішення.

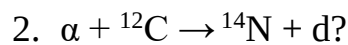
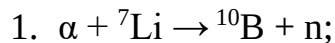
Енергія реакції: $Q = \Delta(^1\text{H}) + \Delta(^2\text{H}) - 2\Delta(^1\text{H}) - \Delta(\text{n}) = 13.136 - 7.289 - 8.071 = -2.224 \text{ MeV}$

Так як $|Q| \ll 2m_{\text{p}}c^2$, используя выражение, получим

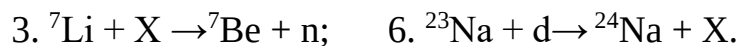
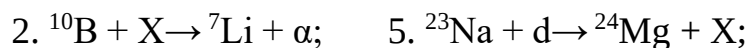
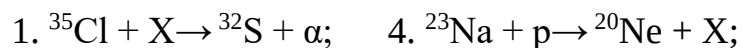
$$E_{\text{min}} = T_{\text{пор}} = 2.224(1 + 0.5) = 3.34 \text{ MeV}.$$

Практичні завдання для СРС-4

1. Чи можливі наступні реакції:



2. Ідентифікувати частинку X і розрахувати енергії реакцій Q в наступних випадках:



3. Обчислити поріг реакції: ${}^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}\text{O} + \text{p}$, в двох випадках, якщо налетающою частинкою є: 1) α -частинка, 2) ядро ${}^{14}\text{N}$. Енергія реакції $Q = 1.18 \text{ MeV}$. Поясніть результат.

4. Розрахувати енергії та пороги наступних реакцій:



Література [2, §46.5]; [4, Розділ 15; §15.4-15.7]

2. ЯДЕРНА ФІЗИКА

2.1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Ядерні перетворення

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з ядерних перетворень. Практичне застосування ядерних перетворень у теоретичних та прикладних питаннях.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з теми ядерних перетворень. Опанувати обґрунтування та практичне складання ядерних реакцій.

Ядерні перетворення - спонтанні та ініціюємі

Історично явище радіоактивного розпаду стало відомо раніше, чим було відкрито атомне ядро. В 1895 році Рентгент винайшов промені, які він назвав «Х променями». В наступному році Анрі Беккерель відкрив явище радіоактивності, спостерігаючи явище флюоресценції урана. При цьому радіактивні речовини випромінюють три види променів: альфа, бетта і гамма.

Радіоактивним розпадом називається такой процес, при якому ядро із початкового стану переходить у кінцевий стан з меншою енергією. Радіоактивність – це частковий випадок ядерної реакції.

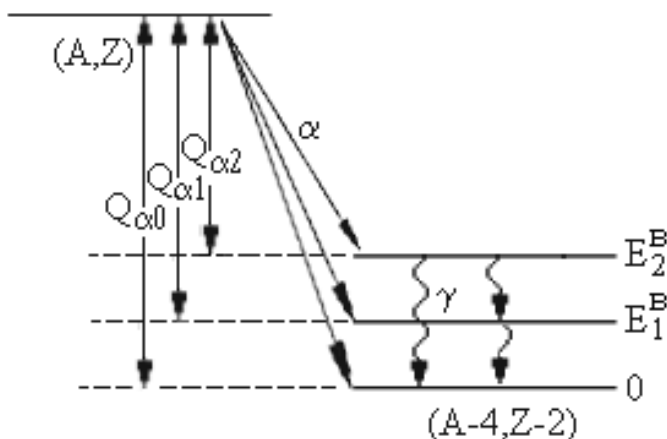


Рис. 1. Перехід системи із одного енергетичного стану в інший шляхом γ -випромінювання: $E_\gamma = h\nu \approx E_i - E_f$.

Енергія розпаду на основний стан дочернього ядра:

$$Q_{\alpha 0} = M(A, Z)c^2 - [M(A-4, Z-2)c^2 + M(\alpha)c^2] > 0. \quad (18)$$

Енергія віддачі, яку отримує ядро R, яке залишилось, мала за рахунок великої маси $M(A-4, Z-2)$:

$$Q_\alpha = E_\alpha + E_R, \quad |p_\alpha| = |p_R| \rightarrow E_\alpha M(\alpha) = E_R M(A-4, Z-2) \quad (19)$$

Таким чином, кінетична енергія випромінюваних α -частинок близька до Q_α :
 $E_\alpha \approx Q_\alpha(A-4)/A$ – ця енергія реєструється в вигляді спектральної лінії.

1) α -розпад зустрічається тільки у важких ядрах з $Z > 83$ і у ядер з енергією зв'язку на нуклон $\epsilon \leq 7$ MeV, але іноді може бути заборона по спіну або парності, якщо не виконуються закони їхнього збереження. Тоді розпад не відбувається або утруднюється.

а) якщо $Q > 0$, то випромінюються α -частинки і виникає лінійчатий спектр;

б) електрони під час радіоактивного розпаду мають безперервний спектр.

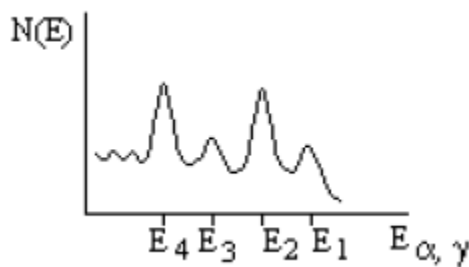


Рис. 2. Лінійчатий спектр α - або γ -випромінювання.

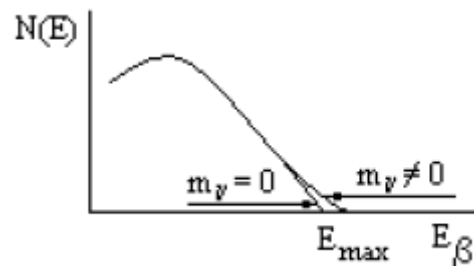
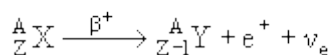
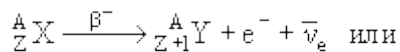


Рис. 3. Безперервний спектр електронів при β -розпаді.

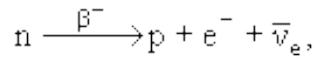
2) β -Розпад – випромінювання електронів (або позитронів) внаслідок перетворення нейтрона або протона в ядрі. Встановлено, що β -розпад є процесом, в результаті якого вихідне ядро перетворюється в ядро з зарядом $Z \pm 1$:



Ядро X може відчувати β -розпад тільки тоді, коли його маса більше, чим сума мас дочернього ядра Y та електрона:

$$E_d = \{M(X) - [M(Y) + m_e]\}c^2 > 0.$$

Таким чином, вільний нейтрон відчуває β -розпад:



так як $m_p < m_n$, то β^+ -розпад вільного протона неможливий, і процес $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ може відбуватися тільки в ядрі X , для якого $E_d > 0$.

- 3) **е-захват**. (раніше його називали К-захватом). Окрім випромінювання e^+ , e^- може відбуватися процес захвата електрона с К- або L-оболонки атома, якщо виконується умова е-захвата, тобто

$$M(A, Z) < M(A, Z + 1) + m_e,$$

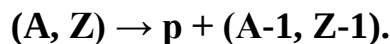
відбувається перетворення: $(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + \nu$. е-захват описується такими ж законами, що і випромінювання e^+ , e^- . Енергія, яка виділяється при е-захваті

$$Q_e = M_{\text{ат}}(A, Z)c^2 - M_{\text{ат}}(A, Z-1)c^2;$$

Отже, можливі 3 вида β -распадів: випромінювання e^- , e^+ і захват e^- с К або L-оболонки атома.

Спонтанний розподіл. Розподіл ядра на осколки (частіше за все на два) порівняних мас і зарядів.

Протонна активність. Виліт із ядра протона, тобто, відбувається перетворення:



Двопротонна активність: $(A, Z) \rightarrow 2p + (A-2, Z-2).$

При протонній і двопротонній радіоактивності протони проникають крізь кулонівський потенціальний бар'єр завдяки тунельному ефекту. Це явище спостерігається для нейтронодефіцитних ядер з $Z < 50$.

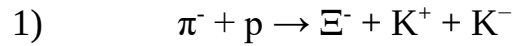
Всі типи розпадів, звичайно, супроводжуються випромінюванням γ -квантів із збуджених продуктів радіоактивного розпаду. Іноді вилетають α -частинки, які в цьому випадку називаються довжинопробіжними.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Чи можливі наступні реакції: 1) $\pi^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^-$; 2) $\pi^+ + p \rightarrow \Delta^{++} + \pi^0$; 3) $K^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$ проходити в результаті сильної взаємодії.

Рішення

Визначимо зміну електричного заряду Q , баріонного заряду B , дивини S та проекції ізоспіну I_3 в цих реакціях:



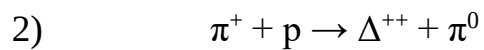
$$Q: \quad -1 + 1 \rightarrow -1 + 1 - 1 \quad \Delta Q = -1$$

$$B: \quad 0 + 1 \rightarrow 1 + 0 + 0 \quad \Delta B = 0$$

$$S: \quad 0 + 0 \rightarrow -2 + 1 - 1 \quad \Delta S = -2$$

$$I_3: \quad -1 + 1/2 \rightarrow -1/2 + 1/2 - 1/2 \quad \Delta I_3 = 0$$

P.S. Реакція неможлива, так як не зберігаються електричний заряд і дивина.



$$Q: \quad 1 + 1 \rightarrow 2 + 0 \quad \Delta Q = 0$$

$$B: \quad 0 + 1 \rightarrow 1 + 0 \quad \Delta B = 0$$

$$S: \quad 0 + 0 \rightarrow 0 + 0 \quad \Delta S = 0$$

$$I_3: \quad 1 + 1/2 \rightarrow 3/2 + 0 \quad \Delta I_3 = 0$$

P.S. Реакція можлива, так як всі закони збереження виконані.



$$Q: \quad 1 + 0 \rightarrow 1 + 0 \quad \Delta Q = 0$$

$$B: \quad 0 + 1 \rightarrow 1 + 0 \quad \Delta B = 0$$

$$S: \quad 1 + 0 \rightarrow -1 + 0 \quad \Delta S = -2$$

$$I_3: \quad 1/2 - 1/2 \rightarrow 1 + 0 \quad \Delta I_3 = 1$$

P.S. Реакція неможлива, так як не зберігаються дивина та проекція ізоспіна.

Практичні завдання для СРС-5

1. Які ядра можуть виникати під час реакцій під дією: 1) протонів з енергією 10 MeV на мішені з ${}^7\text{Li}$; 2) ядер ${}^7\text{Li}$ з енергією 10 MeV на водневій мішені?
2. При яких відносних орбітальних моментах кількості руху протона можлива ядерна реакція $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$?
3. В результаті поглинання ядром γ -кванта вилітає нейтрон з орбітальним моментом $l_n = 2$. Визначте мультипольність γ -кванта, якщо кінцеве ядро виникає в основному стані.
4. Ядро ${}^{40}\text{Ca}$ поглинає E_1 γ -квант. Які одночасткові переходи можливі?

Література [2, §47, 47.1]; [4, Розділ 15; §15.8-15.9]

2.3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Природна та штучна радіоактивність

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з природної та штучної радіоактивності. Практичне застосування явища штучної та природної радіоактивності у спеціальних пристроях.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з природної та штучної радіоактивності. Опанувати розрахунок та застосування природного та штучного явища радіоактивності.

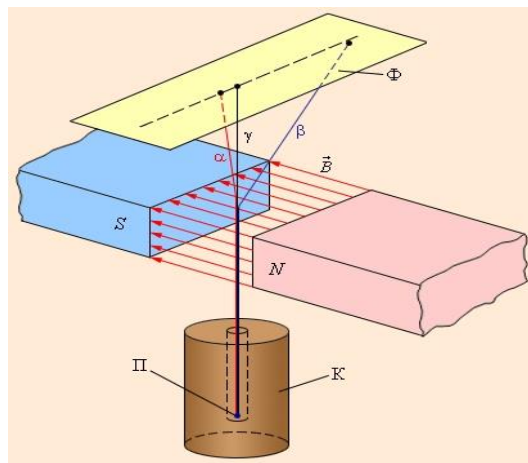
Природна радіоактивність – самодовільний розпад ядер елементів, які зустрічаються у природі (відкрита А. Беккерелем).

Штучна радіоактивність – самодовільний розпад ядер елементів, які отримані штучним шляхом через відповідні реакції (винайдена у 1934 р.).

Майже 90% із 2500 атомних ядер нестабільні. Такі ядра самодовільно можуть перетворюватися в інші ядра з випромінюванням частинок. Ця властивість ядер називається радіоактивністю. Стабільних ядер з зарядовим числом $Z > 83$ і масовим числом $A > 209$ не існує. Але радіоактивними можуть бути і ядра атомів з суттєво меншими значеннями Z і A . Якщо ядро має значно більше протонів, ніж нейтронів, то нестабільність пояснюється надлишком енергії кулонівської взаємодії. Ядра, які мають надлишок нейтронів, є також нестабільними у зв'язку з тим, що маса нейтрона перевищує масу протона. Збільшення маси ядра приводить до збільшення його енергії.

Радіоактивні елементи природного походження умовно можуть бути розподілені на три групи: радіоактивні ізотопи, які входять у склад радіоактивних родин, родоначальником яких є уран, торій, актиноуран, окремі радіонукліди, які не мають генетичного зв'язку між собою

Радіоактивні ядра випромінюють частинки трьох типів: альфа, бетта, гамма.



Досліди показали, що альфа-частинки – це ядра гелія ${}^4_2\text{He}$; бетта-частинки – це потік електронів; гамма – частинки – це короткохвильове електромагнітне випромінювання з дуже малою довжиною хвилі $\lambda < 10^{-10}\text{ м}$.

Ці три види радіоактивного випромінювання сильно відрізняються один від іншого по здатності проникнення. Найменшу проникненість мають альфа-частинки; найбільшу – гамма-кванти.

Принципальної різниці між природною та штучною радіоактивністю немає, так як ядерні перетворення можна викликати за допомогою заряджених

частинок (протонів, альфа-частинок тощо), фотонного випромінювання або нейтронів. Але серед штучно-радіоактивних речовин часто зустрічаються інший тип розпаду, який не притаманний природно-радіоактивним речовинам. Це розпад з випромінюванням позитронів – частинок, які мають масу електрону, але несуть позитивний заряд (e^+). По абсолютній величині заряди позитрона та електрона рівні.

Основна маса радіоактивних ізотопів отримана штучно в ядерних реакторах та прискорювальних пристроях в результаті взаємодії іонізуючих випромінювань зі стабільними ізотопами.

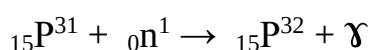
В теперішній час винайдено близько 3300 атомних ядер, які уявляють собою різні варіації чисел протонів Z і нейтронів N . Згідно існуючим оцінкам кількість атомних ядер складає – 6500. Для ядер долини стабільності характерно наступне відношення числа нейтронів до числа протонів:

$$\frac{N}{Z} = 0,48 + 0,015 \cdot A^{2/3}, \quad (20)$$

де $A = N + Z$ – масове число.

Штучна радіоактивність. Ядерні реакції. В сучасний час радіоактивні ізотопи можна отримати під час різних ядерних реакцій з використанням в якості бомбардуючих ядерних частинок протонів і нейтронів, а також гамма-квантів. Під час бомбардування ядра-мішені стабільного елемента усіма вказаними частинками виникає або перетворення кожного елемента в інший (трансмутація елементів) або виникає ізотоп вихідного елемента. Виникнення нових елементів може бути підтверджене хімічним аналізом.

Реакції радіаційного захвату, або реакції активації спостерігаються під час зіткнення потоку повільних електронів зі стабільними ядрами, які захвачують їх і перетворюються у особистий радіоактивний ізотоп. Наприклад, ізотоп природного фосфору $^{15}\text{P}^{31}$, який широко використовується в методі ізотопних індикаторів, можна отримати під час бомбардування природного фосфору повільними нейтронами:



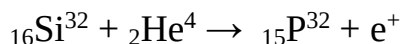
При цьому ядро втрачає частину надлишкової енергії у вигляді γ -квантів. Така реакція активації спостерігається у стабільних елементів, визиваючи наведену радіоактивність.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ З ПРИРОДНОЇ ТА ШТУЧНОЇ РАДІОАКТИВНОСТІ.

Задача 1.. Ізотоп фосфора може бути отриманий під час бомбардування кремнія альфа частинками. Запишіть дану ядерну реакцію для отримання ізотопу фосфора та визначте, яка додаткова частинка буде отримана.

Рішення

Запишемо реакцію отримання ізотопу фосфора при бомбардуванні кремнія, використовуючи при цьому закони збереження зарядового число та атомної маси:

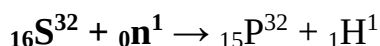


Відповідь: позитрон

Задача 2. Під час дії на стабільний ізотоп сірки в ізотопних індикаторах повільними нейтронами із ядра виникають космогенні радіонукліди. Запишіть дану реакцію та визначте елементарну частинку, яка додатково виникає.

Рішення

Запишемо реакцію отримання ізотопу космогенного радіонукліду – фосфора:



Відповідь: протон

Практичні завдання для СРС-6

1. Яку мінімальну кінетичну енергію в лабораторній системі $T_{\min}$ повинен мати нейтрон, щоб стала можливою реакція $^{16}\text{O}(n,\alpha)^{13}\text{C}$?
2. Маса нейтральних атомів в а.о.м.: ^{16}O - 15.9949, ^{15}O - 15.0030, ^{15}N - 15.0001. Чому дорівнюють енергії відділення нейтрону та протону в ядрі O^{16} ?
3. Під час опромінювання мішені із натурального бора спостерігалася поява радіоактивних ізотопів з періодами напіврозпаду 20,4 хвилин і 0,024 с. Які виникли ізотопи? Які реакції привели до виникнення цих ізотопів?

Література [2, §47.1,2,3]; [4, Розділ 15, §15.9]

2.3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7 ЗАКОН РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять радіоактивного розпаду та його законів.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання із складання ядерних реакцій. Опанувати розрахунок законів радіоактивних розпадів для кількості ядерних атомів та активності радіоактивних елементів.

Закон радіоактивного розпаду. Швидкість, з якою розпадаються радіонукліди, визначається лише ступенем нестабільності їх ядер і залежить від будь-яких чинників, зазвичай, які впливають: швидкість фізичних і хімічних процесів (тиску, температури тощо). Розпад кожного ядра – подія цілком випадкова, проте, за наявності досить великої кількості радіоактивних атомів, процес розпаду підпорядковується строгому статистичному закону – закону радіоактивного розпаду.

За одиницю часу розпадається завжди та сама частина наявних ядер речовини:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (21)$$

де N_0 - вихідне число радіоактивних атомів,

N_t - число радіоактивних атомів, що залишилися через інтервал часу, t ;

λ - постійна радіоактивного розпаду, що характеризує ступінь нестабільності даного радіонукліду, частка атомів радіонукліду, що розпадаються за одиницю часу, (у сек^{-1}).

Для практичних розрахунків часто використовують не постійну розпада, а вираз, який зв'язує її з періодом напіврозпаду:

$$\begin{aligned}\lambda &= \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / T_{1/2} \\ \text{або} & \\ T_{1/2} &= 0,693 / \lambda\end{aligned}\quad (22)$$

$T_{1/2}$ - період напіврозпаду ізотопу:

Період напіврозпаду ($T_{1/2}$) – час, протягом якого розпадається половина вихідної кількості радіоактивних атомів. Слід мати на увазі, що за наступний період напіврозпаду розпадуться не всі атоми, що залишилися, як можна було б очікувати, а 50% від тих, що залишилися, тобто 25% від початкового їх числа. Імовірність розпаду пов'язана з періодом напіврозпаду залежністю:

$$P(t) = e^{-t/(\gamma\tau)} \quad (23)$$

де τ — середній час життя частинки (коли вона перебуває в стані спокою),

$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ — фактор Лоренца цієї частинки.

Знаючи період напіврозпаду радіоактивного ізотопу, можна дати тимчасовий прогноз екологічної ситуації на території, забрудненої радіонуклідами, а також прогнозувати час розпаду радіоактивної мітки при використанні в екологічних дослідженнях методу ізотопних індикаторів.

Радіонукліди практично ніколи не зустрічаються у чистому вигляді. Зазвичай вони знаходяться в суміші з нерадіоактивними речовинами в незначних з хімічної точки зору кількостях, що не піддаються ваговому визначенню. Тому мірою кількості радіоактивної речовини є не маса, а активність.

Активність – показник, що характеризує кількість ядерних перетворень за одиницю часу:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (24)$$

Нині загальноприйнятою є системна одиниця радіоактивності – беккерель (Бк), що дорівнює одному розпаду на секунду. Донедавна, як одиниця радіоактивності, використовували кюрі (Ки) і похідні кюрі. 1 Кюрі приблизно дорівнює радіоактивності 1 г чистого металевого радію.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ Ки}$$

У приладах радіаційного контролю та радіаційно-гігієнічних нормативах раніше використовувалися старі одиниці, тому для оцінки забруднення територій та оцінки можливості отримання на забруднених землях радіаційно-безпечної продукції сільського господарства поряд з беккерелями, рекомендованими системою СІ, необхідно вміти використовувати і кюрі та відношення одних одиниць до інших.

У зазначених одиницях виражається активність α - та β -активних препаратів. При кількісній характеристиці радіоактивності широке застосування отримало використання множників та приставок (див. додаток 6). Концентрацію радіоактивних речовин у досліджуваних зразках зазвичай виражають в одиницях активності на одиницю маси або об'єму (кБк/кг, кБк/г, кБк/л, кБк/м³ тощо), а щільність радіоактивного забруднення – в одиницях активності на одиницю площі (кБк/м², Ки/км²).

Радіоактивність радіонукліду та його маса пов'язані наступним співвідношенням:

$$m = \frac{A \times M}{N_{\text{Авогадро}} \times \lambda} = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{6,02 \times 10^{23} \times \ln 2} = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{4,17 \times 10^{23}} \quad (25)$$

де A – радіоактивність, Бк

m – маса, г

M – атомна маса

λ – постійна радіоактивного розпаду

N_A – число Авогадро (число атомів в 1 грам-атомі, $6,02 \cdot 10^{23}$)

$T_{1/2}$ – період напіврозпаду, с.

Зі зростанням періоду напіврозпаду маса радіоактивного матеріалу за однієї й тієї активності зростає.

Для вирішення практичних завдань у рівнянні (25) число радіоактивних атомів можна замінити одиницями активності, питомої активності, щільністю забруднення в початковий момент часу та через час t , при цьому якщо час та період напіврозпаду виражено в одних одиницях, то для розрахунків можна скористатися спеціальною таблицею розпаду та накопичення радіоактивних ізотопів.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Активність препарату ^{32}P рівна 2 мКи. Яка маса такого препарату? Період напіврозпаду ^{32}P 14,5 діб.

Рішення

Закон радіоактивного розпаду:

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

де N_0 - кількість радіоактивних ядер в довільно обраний початковий момент часу $t = 0$,

$N(t)$ - кількість радіоактивних ядер, не розпавшихся до момента часу t ,

λ – постійна радіоактивного розпаду (імовірність розпаду в одиницю часу).

λN - активність (інтенсивність випромінювання) радіоактивного препарату, вимірюється в Кі, $1 \text{ Кі} = 3.7 \cdot 10^{10}$ розпадів/с.

$T_{1/2}$ - період напіврозпаду даного ядра (час, впродовж якого кількість радіоактивних ядер зменшується в два рази) дорівнює для ^{32}P - 14.5 діб. Період напіврозпаду $T_{1/2}$ пов'язаний з постійною розпаду λ співвідношенням $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.

Кількість ядер в зразку масою m грам: (*)

$$N = \frac{mN_A}{A},$$

Активність препарата:

$$I_0 = N_0 \lambda = \frac{m N_A \ln 2}{T_{1/2} A},$$

тоді його маса буде дорівнювати:

$$m = \frac{I_0 T_{1/2} A}{N_A \ln 2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ки} \times 3.7 \text{ с}^{-1} \text{ Ки}^{-1} \times 14.5 \text{ сут} \times 86400 \text{ с} \cdot \text{сут}^{-1} \times 32 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}}{6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \times 0.693} = 7.1 \cdot 10^{-12} \text{ г}.$$

Задача 2. У скільки разів число розпадів ядер радіоактивного йода ^{131}I впродовж першої доби більше числа розпадів впродовж другої доби? Період напіврозпаду ізотопу ^{131}I дорівнює 193 годинам.

Рішення

Із закону радіоактивного розпаду:

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

слідє, що впродовж першої доби (перших 24 годин) розпалося:

$$N_1 = N_0 (1 - e^{-24\lambda}) \text{ ядер.}$$

Впродовж другої доби розпалося:

$$N_2 = N_0 (1 - e^{-24\lambda}) e^{-24\lambda} \text{ ядер.}$$

Відношення числа розпадів за першу добу до числа розпадов за другу добу:

$$N_1 / N_2 = e^{24\lambda} = e^{24 \ln 2 / T_{1/2}},$$

де $T_{1/2}$ - період полураспада ^{131}I в годинах, пов'язаний з λ співвідношенням:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda.$$

$$\text{Таким чином: } N_1 / N_2 = e^{24 \times 0.693 / T_{1/2}} = e^{24 \times 0.693 / 193} = 1.09.$$

Практичне завдання для СРС-7

1. Визначте енергію W , яка виділяється 1 мг препарату ^{210}Po за час, який дорівнює середньому часу життя, якщо при одному акті розпада виділяється енергія $E = 5,4 \text{ MeV}$.

2. Визначте верхню межу віку Землі, вважаючи, що весь наявний на Землі ^{40}Ar утворився із ^{40}K в результаті е-захвату. У теперішній час на кожні 300 атомів ^{40}Ar приходить один атом ^{40}K .

3. В наслідок α -распада радій ^{226}Ra перетворюється в радон ^{222}Rn . Який об'єм радона при нормальних умовах буде знаходитися в рівновазі з 1 г радия? Період напіврозпада ^{226}Ra $T_{1/2}(^{226}\text{Ra}) = 1600$ років, $T_{1/2}(^{222}\text{Rn}) = 3.82$ днів.

4. Використовуючи значення мас атомів, визнач верхню межу спектра позитронів, що випускаються при β^+ -розпади ядра ^{27}Si . $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Si}) = 25137.961$ MeV, $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Al}) = 25133.150$ MeV (маси в енергетичних одиницях).

Література [2, §47.2.2]; [4, Розділ 15, §15.10-15.12].

2.4. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Використання явища радіоактивності. Елементи дозиметрії іонізуючих випромінювань. Основні нормативні дані за радіоактивним чинником в Україні

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять з елементів дозиметрії іонізуючих випромінювань та основних нормативних даних України.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з нормативів щодо іонізуючих випромінювань.

Дозиметрія - розділ прикладної ядерної фізики, що розглядає іонізуюче випромінювання, фізичні величини, що характеризують поле випромінювання або взаємодію випромінювання з речовиною, а також принципи та методи визначення цих величин. Дозиметрія має справу з такими фізичними величинами іонізуючого випромінювання, які визначають його хімічну, фізичну та біологічну дію. Найважливіша властивість дозиметричних величин

- встановлений зв'язок між вимірюваною фізичною величиною та очікуваним радіаційним ефектом

При формуванні дози опромінення в біологічному середовищі розрізняються безпосередньо іонізуючі частинки та опосередковано іонізуючі частки. Безпосередньо іонізуючі частинки - це заряджені частинки: альфа-частинки (ядра гелію), бета-частинки (електрони, позитрони) тощо.

При опроміненні біологічних індивідумів розрізняють гостре (проявляється ранніми ефектами опромінення) і пролонговане (тривале), одноразове та багаторазове (фракціоноване) опромінення. Як гостре, так і пролонговане опромінення може бути одноразовим або фракціонованим. Крім того, можливе хронічне опромінення, яке можна розглядати як різновид фракціонованого, але що виробляється тривало при дуже малих потужностях дози.

Дозу, що формується випромінюванням в речовині, можна оцінити, вимірюючи, наприклад, викликане ним підвищення температури. Однак, навіть при дозах небезпечних для життя людини, що виділяється енергії виявляється мало для нагрівання опромінюваного організму на тисячні частини градуса, тому щодо дії випромінювання на біологічні об'єкти, дози оцінюють із застосуванням більш чутливих методів дозиметрії.

Основні фізичні величини дозиметрії. Першопричиною радіаційних ефектів є поглинання енергії випромінювання об'єктом, що опромінюється, і доза, як міра поглиненої енергії, є основною дозиметричною величиною. Тому основною фізичною дозиметричною величиною, яка використовується для оцінки міри впливу випромінювання на середовище, є поглинена доза випромінювання.

Поглинена доза випромінювання (D) - це величина, що визначається енергією випромінювання (Дж) поглинається одиницею маси (кг) речовини, що опромінюється. За одиницю дози в системі СІ прийнято грей (Гр)::

$$D = 1\text{Дж}/1\text{кг} = 1 \text{ Гр.}$$

Грей це така доза іонізуючого випромінювання, при якій ділянці речовини масою 1 кг передається енергія 1 Дж. Позасистемною одиницею є "рад". 1 рад = 0,01 Гр.

Поглинена доза характеризує не саме випромінювання, а ступінь його впливу на середовище. У принципі той самий потік випромінювання в різних середовищах і навіть у різних ділянках одного середовища може сформувати різну величину поглиненої дози. Тому, коли говорять про поглинену дозу, необхідно вказувати, в якому середовищі вона зформована: у повітрі, воді чи м'якій біологічній тканині.

Для характеристики розподілу дози опромінення у часі використовують величину потужності поглиненої дози або інтенсивності опромінення. Під цим розуміють кількість енергії випромінювання, що поглинається в одиницю часу одиницею маси речовини, що опромінюється (Гр/год; Гр/рік). У сучасних умовах введено спеціальну величину дози, яка враховує всі фактори - еквівалентна доза. Цією величиною можна однозначно пов'язати вихід наслідків радіаційних опромінень з дозою опромінення.

Еквівалентна доза (H) визначається як добуток поглиненої дози (D) даного виду випромінювання на середнє значення фактора, що зважає (коефіцієнта якості) іонізуюче випромінювання (WR) в даному елементі-об'єму біологічної тканини. Значення WR для різних видів випромінювань представлені у таблиці 1. Ця доза є мірою виразності стохастичних ефектів опромінення. Вона застосовна для оцінки радіаційної небезпеки хронічного опромінення випромінюванням довільного складу (і гострого опромінення дозою менше 0,25 зіверт) і визначається за формулою:

$$H = D \cdot WR$$

За одиницю еквівалентної дози в системі СІ прийнято зіверт (Зв). Зіверт дорівнює такій еквівалентній дозі, при якій величина твору поглиненої в біологічній тканині дози іонізуючого випромінювання на середнє значення фактора зважування для цього випромінювання дорівнює 1 Дж/кг.

Позасистемною одиницею є "бер" (біологічний еквівалент рентгену). 1 бер = 0,01 Зв.

З визначення слідує, що з випромінювання з $WR = 1$, еквівалентна доза 1 Зв реалізується при поглиненої дозі 1 Гр, тобто. при цьому випадку 1 Зв = 1 Гр. Якщо WR відмінно від 1, то еквівалентна доза 1 Зв буде сформована в біологічній тканині при наявності в неї поглиненої дози, яка дорівнює $(1/W_R)$ Гр.

Допускається підсумовування еквівалентних доз для оцінки загального рівня опромінення за тривалий проміжок часу, якщо кожна разова доза, що мала місце при гострому фракційному опроміненні за цей час не перевищувала 0,25 Зв.

Таблиця 1 - Значення радіоактивних зважуючих факторів (W_R)

Вид випромінювання та діапазон енергії	W_R
Фотони, всі енергії (включаючи гама- і рентгенівське випромінювання)	1
Електрони (позитрони) і мюони, всі енергії	1
Протони з енергією > 2 МэВ	5
Нейтрони з енергією < 10 кеВ	5
Нейтрони з енергією від 10 кеВ до 100 кеВ	10
Нейтрони з енергією від 100 кеВ до 2 МеВ	20
Нейтрони з енергією від 2 МеВ до 20 МеВ	10
Нейтрони з енергією > 20 МеВ	5
Альфа-частинки, уламки ділення, важкі ядра віддачі	20

Для змішаного випромінювання еквівалентна доза визначається як сума добутків поглинених доз окремих видів випромінювань на відповідні значення зважувальних чинників цих випромінювань.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ТЕМИ

Задача 1. Чи потрібно створення спеціального захисту, якщо на робочому місці персоналу від джерела іонізуючого випромінювання потужність

еквівалентної дози становить $P=2.3 \cdot 10^{-9}$ Зв/с? Доза опромінення розподілена за роком рівномірно. Протягом року робота проводиться 1700 годин.

Дано:

$$P = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ Зв / с}$$

$$t=1700 \text{ годин}$$

$$H = ?$$

Рішення

Розрахуємо еквівалентну дозу, яку отримує людина за рік:

$$H = Pt = 2.3 \cdot 10^{-9} \cdot 1700 \cdot 3600 = 1.41 \cdot 10^{-2} \text{ Зв / рік.}$$

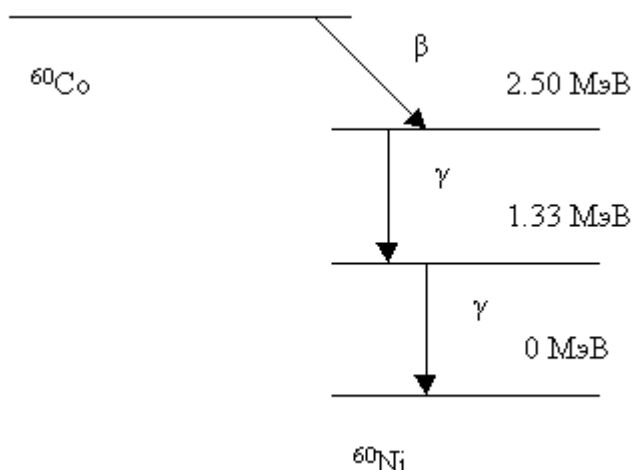
За нормами радіаційної безпеки гранично допустима доза для осіб, що опромінюються, категорії А дорівнює 50 мЗв/рік.

Відповідь: таким чином, створення спеціального захисту на робочому місці не потрібне.

Задача 2. Індивідуальна доза опромінення, отримана внаслідок впливу джерела Co^{60} протягом 10 с, склала 100 Гр. Скільки фотонів γ -випромінювання потрапило при цьому в організм людини масою 75 кг, якщо кожен фотон втрачає в тканинах тіла близько 40% своєї енергії?

Рішення

При розпаді Co^{60} утворюється 2 γ -кванта з енергією 1.33 і 1.17 МеВ.



Кожна така пара фотонів виділить у тканинах людини $(1,33 + 1,17) * 0,4 = 1$ MeV $= 1,6 * 10^{-13}$ Дж. Для людини вагою 75 кг поглинена доза від однієї пари фотонів складе:

$$H = (1,6 * 10^{-13} \text{ Дж}) / (75 \text{ кг}) = 2,13 * 10^{-15} \text{ Гр.}$$

При отриманні дози 100 Гр кількість фотонів, що потрапили в організм, становитиме:

$$2 * (100 \text{ Гр}) / (2,13 * 10^{-15} \text{ Гр}) = 9,4 * 10^{16}$$

Відповідь: $9,4 * 10^{16}$ фотонів.

Практичні завдання для СРС-8

1. Розрахуйте сумарну активність тритію, який виникає в наслідок досліджень ядерної зброї, якщо загальний еквівалент ядерних вибухів складає 220 Мт.
2. Згідно санітарним нормам допустима густина потоку нейтронів складає $I_0 = 20 \text{ н см}^{-2} * \text{с}^{-1}$. Визначте, на якій мінімальній відстані від джерела, інтенсивністю $S = 10^6 \text{ н/с}$, можна працювати без додаткового захисту.
3. Студент припускає використовувати джерелом ^{90}Sr , який має активність $A = 270 \text{ МБк}$ і знаходиться у скляній пробірці, в якості захисту тільки щільні рукавички. Чи небезпечно це?
4. Кількість ^{90}Sr , яке кожного дня попадає з їжею в організм людини, складає 0,94 Бк. Яке значення дози, накопиченої кістною тканиною людини за рік?
5. В організм людини попало 10 мг ^{55}Fe . Знайти значення поглиненої дози за 10-річний період. Період напіврозпаду ^{55}Fe складає 2,9 години, а $Q = 0,22 \text{ MeV}$.

Література [2, §47.3;47.4; §48]; [4, Розділ16; §16.1-16-5]

3. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

АТОМНА ФІЗИКА

1. Зв'язок між частотою, довжиною хвилі, вектором хвиль, імпульсом і енергією фотона.
2. Що таке колайдер? Навести приклади утворення частинок у колайдері.
3. Порівняти константи сильної, слабкої та електромагнітної взаємодії при низьких енергіях.
4. Яким є характерний радіус дії слабких сил?

5. У яких взаємодіях зберігається просторова парність?
6. У яких взаємодіях може порушуватись просторова парність?
7. Які частки переносить сильну взаємодію?
8. Які частки переносять слабку взаємодію?
9. Яка частка переносить електромагнітну взаємодію?
10. Намалювати кваркову діаграму розпаду нейтрону.
11. Навести приклади можливих елементарних вузлів діаграм Фейнмана випромінюванням γ -кванта.
12. Навести приклади можливих елементарних вузлів діаграм Фейнмана випромінюванням Z -бозону.
13. Навести приклади можливих елементарних вузлів діаграм Фейнмана випромінюванням W^+ -бозону.
14. Намалювати діаграму Феймана розпаду мюона.
15. Навести приклади анігіляції пари частка-анти частка.
16. Намалювати кваркову діаграму розпаду π^0 .
17. Намалювати кваркову діаграму розпаду Δ^- .
18. Виписати фундаментальні частки стандартної моделі.
19. Які квантові числа збігаються, а які не збігаються у фундаментальних частинок та античастинок?
20. Кварковий склад протону, нейтрону.
21. Навести приклади кваркових складів дивного мезону та дивного баріону.
22. Навести приклади істинно нейтральних частинок.
23. Як пов'язані між собою час життя та ширина резонансу?

ЯДЕРНА ФІЗИКА

1. Виразити енергію зв'язку ядра через його масу.
2. Чому дорівнює маса спокою протона, нейтрону в MeV?
3. Як залежить питома енергія зв'язку стабільних ядер від масового числа A ?

Намалювати залежність питомої енергії зв'язку ядер від кількості A .

4. Чому при розподілі важких ядер виділяється енергія?

5. Чому у реакціях синтезу легких ядер виділяється енергія?

6. Який вид має спектр електронів та нейтрино при β^+ чи β^- -розпаді?

Намалювати енергетичну залежність.

7. Який вид має спектр нейтрино при e -захопленні? Намалювати енергетичну залежність.

8. Чому e -захоплення супроводжується рентгенівським випромінюванням?

9. Чи можливий β^+ -розпад для вільного протона, пояснити відповідь.

10. Як визначається спин/парність основних станів ядер в одночастковій моделі оболонки?

11. Визначити спин і парність основного стану ядер ${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$, ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^{15}\text{O}$, ${}^{17}\text{O}$.

12. Яка максимальна кількість протонів може перебувати у стані $1p^{3/2}$?

13. У чому полягає принцип невизначеності Гейзенберга?

14. У чому полягає принцип заборони Паулі? До яких частинок він застосовується?

15. Чому дорівнює характерний радіус дії ядерних сил?

16. Як пов'язані між собою радіус ядра та масове число A ?

17. Чому дорівнює характерний час сильної взаємодії?

18. Написати закон радіоактивного розпаду.

19. Чому дорівнює середній час життя вільних протонів і нейтронів?

20. Як пов'язані між собою постійна розпаду, середній час життя та період напіврозпаду?

21. Що таке ядра-ізотопи? Навести приклади.

22. Що таке ядра-ізобари? Навести приклади.

23. Склад, спин та парність α -частинки. Чи стабільна α -частка?

24. Який процес використовується в атомних електростанціях для одержання енергії?

4. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З АТОМНОЇ ТА ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ (частина 2)

4.1 ФІЗИКА АТОМІВ І МОЛЕКУЛ

1. Поясніть будову атому водню і водне подібних іонів з фізичної точки зору.
2. Обґрунтуйте поняття квантових чисел та їх фізичне значення.
3. Поясніть фізичне трактування поняття квантування енергії.
4. Наведіть фізичне трактування поняття квантування орбітального моменту імпульсу і магнітного моменту.
5. Наведіть фізичне трактування просторового квантування
6. Поясніть поняття спіну електрона.
7. Наведіть принцип Паулі та його фізичний зміст. Принципи побудови Періодичної системи елементів Менделєєва.
8. Обґрунтуйте явище вимушеного випромінювання та його використання.
9. Поясніть принцип роботи лазерів.
10. Поясніть принцип роботи рубінового лазера.
11. Поясніть принцип роботи гелій-неонового лазера.

4.2 ФІЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

1. Обґрунтуйте склад атомних ядер та елементарних частинок.
2. Наведіть характеристики атомних ядер.
3. Обґрунтуйте розміри атомних ядер.
4. Обґрунтуйте властивості ядерних сил.
5. Обґрунтуйте дефект маси ядра.
6. Поясніть дефект маси ядра.
7. Обґрунтуйте енергію зв'язку атомних ядер та питому енергію зв'язку.
8. Поясніть фізичний зміст ядерних перетворень: ядерні реакції. Загальні відомості.

9. Поясніть фізичний зміст ядерних перетворень: радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду.

10. Поясніть поняття активності радіоактивного препарату та наведіть закон радіоактивного розпаду для активності. Питома активність.

11. Поясніть використання явища радіоактивності для вимірювання часу в геології та археології.

12. Поясніть принцип гамма-випромінювання та наведіть приклади її негативного значення.

13. Поясніть принципи дозиметрії іонізуючих випромінювань.

14. Наведіть характеристики іонізуючих випромінювань.

15. Наведіть основні нормативні дані за радіоактивним чинником в Україні.

Після вивчення розділу «Фізика атомів і молекул та фізика атомного ядра» студент повинен ЗНАТИ:

Суть понять:

Ядро, нуклон, нейтрон, протон. Масове число, зарядове число. Ізотопи, ізобари. Дефект маси, енергія зв'язку, питома енергія зв'язку. Ядерна реакція. Період напіврозпаду, постійна розпаду.

Визначення фізичних величин, їх одиниці вимірювання і формули, за якими розраховуються величини:

Активність радіоактивного препарату. Питома активність.

Явища:

Радіоактивність.

Закони:

Закон радіоактивного розпаду. Правила зсуву (правила Фаянсу і Содді). Закон зміни інтенсивності радіоактивного випромінювання.

Формули: Дефект маси, енергія зв'язку, питома енергія зв'язку ядра. Енергетичний вихід реакції. Зв'язок періоду напіврозпаду з постійною розпаду.

Графіки: Залежність питомої енергії зв'язку ядра від масового числа.

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – 232 с.

2. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра. Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – 208 с.

3. Лумпієва Т.П. Практикум з фізики. Розв'язання задач. Частина 1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Т.П. Лумпієва, Н.М. Русакова, О.Ф. Волков – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2014. – 248 с.

4. П.М. Воловик. Фізика для університетів. Повний курс в одному томі.

5. Фізика для інженерів. – Під ред. Лопатинського, - Львів: Либідь, 2000.

6. Загальна фізика. Лабораторний практикум. За загальною редакцією І.Т. Горбачука. – Київ: “Вища школа”, 1992.

7. І.Г. Богацька, Д.В. Головкин, А.А. Маляренко, Ю.Л. Ментковський. Загальні основи фізики. Київ: Либідь, 1998.