

Урок 125

Тема: Коливальні хвилі

Тема уроку: Закон радіоактивного розпаду.

Мета уроку: : ознайомити учнів з явищем закону радіоактивного розпаду.

Основний закон радіоактивного розпаду, період напіврозпаду, активність

Розрізняють два види радіоактивності: природну і штучну. Досі ми розглядали **природну радіоактивність** - перетворення нестійких ізотопів одного елемента в ізомери інших елементів при α - і β -розпадах або випромінювання ядрами γ -квантів, які відбуваються в природних умовах самодовільна, тобто без зовнішніх впливів.

Штучна радіоактивність - розпад штучно отриманих ізотопів хімічних елементів внаслідок різних ядерних реакцій. Штучна радіоактивність була відкрита в 1934 р. подружжям Ірен Кюрі та Фредеріком Жоліо-Кюрі. Обидва види радіоактивності - природна і штучна - підпорядковуються одним і тим самим законам.

Основний закон радіоактивного розпаду. Отримаємо закон радіоактивного розпаду в двох формах: диференціальній та інтегральній.

Внаслідок самодовільності радіоактивного розпаду число ядер dN , які розпадаються за проміжок часу від t до $t + dt$, пропорційно числу вихідних радіоактивних ядер N та проміжку часу dt :

$$-dN = \lambda N dt. \quad (8.8)$$

Знак "-" в (8.8) перед dN характеризує зменшення числа вихідних радіоактивних ядер за проміжок часу dt . Стала величина λ називається постійною радіоактивного розпаду. Вона не залежить від зовнішніх умов і визначається лише внутрішніми властивостями атомного ядра хімічного елемента.

Співвідношення (8.8) визначає по суті закон радіоактивного розпаду в диференціальній формі, який формулюється таким чином: **відносне зменшення кількості радіоактивних ядер за одиницю часу, тобто $-dN/Ndt$, є величина стала, яка називається λ постійною радіоактивного розпаду.** Або, іншими словами, **за одиницю часу розпадається одна і та сама частка наявних радіоактивних ядер.**

Для отримання закону радіоактивного розпаду в інтегральній формі поділимо змінні в рівнянні (8.8)

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

та проінтегруємо це диференціальне рівняння з поділеними змінними (див. розділ 1 в першому томі) В результаті отримаємо

$$\ln N = -\lambda t + C, \quad (8.9)$$

де C - постійна інтегрування, значення якої можна знайти з початкових умов. Будемо вважати, що у вихідний момент часу $t = 0$ початкова кількість радіоактивних ядер становила N_0 . Тоді з рівняння (8.9) маємо, що постійна інтегрування $C = \ln N_0$. Підставляючи це значення постійної інтегрування в (8.9), отримаємо $\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$. (8.10) Далі скористаємося такими очевидними співвідношеннями:

$$\ln N - \ln N_0 = \ln \frac{N}{N_0}, \quad -\lambda t = \ln e^{-\lambda t}.$$

У результаті рівняння (8.10) набуває вигляду

$$\ln \frac{N}{N_0} = \ln e^{-\lambda t}.$$

Оскільки логарифми є рівними, то мають бути рівними і вирази, що стоять під знаком логарифмів. Звідси отримаємо закон радіоактивного розпаду в інтегральній формі:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (8.11)$$

Графік закону радіоактивного розпаду наведений на рис. 8.7. Чим більша постійна радіоактивного розпаду, тим швидше спадає крива залежності $N(t)$, що визначає кількість радіоактивних ядер в момент часу t .

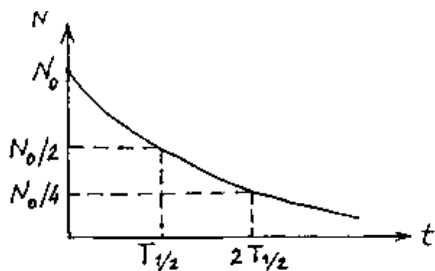


Рис. 8.7. Зменшення кількості радіоактивних ядер з плином часу

Період напіврозпаду. Для оцінки стійкості радіоактивних ядер щодо їх розпаду вводять поняття періоду напіврозпаду $T_{1/2}$. Період напіврозпаду $T_{1/2}$ визначається як той час, протягом якого розпадається половина вихідної кількості, тобто $N_0/2$, радіоактивних ядер речовини. Відповідно за два періоди напіврозпаду залишається четверта частина радіоактивних ядер, що не розпалися (рис. 8.7).

Знайдемо зв'язок періоду напіврозпаду $T_{1/2}$ з постійною радіоактивного розпаду λ .

Оскільки в момент часу $t = T_{1/2}$ кількість радіоактивних ядер $N = N_0/2$, то з рівняння

(8.11) маємо $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$. Звідси отримаємо $e^{\lambda T_{1/2}} = 2$, що дає після логарифмування

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}. \quad (8.12)$$

Отриманий зв'язок між $T_{1/2}$ і λ показує, що чим більша постійна радіоактивного розпаду, тим меншим є період напіврозпаду.

У радіоактивних елементів періоди напіврозпаду $T_{1/2}$ змінюються в дуже широких межах. Наприклад, для ізоотопу урану $^{238}_{92}\text{U}$ період напіврозпаду складає роки, $T_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9$ ізоотопу кобальту $^{60}_{27}\text{Co}$ $T_{1/2} = 5.3$ року, для ізоотопу літію ^8_3Li $T_{1/2} = 0.9$ с, а для ізоотопу полонію $^{213}_{84}\text{Po}$ $T_{1/2} = 4 \cdot 10^{-6}$ с.

Важливо зазначити, що для радіоактивних ізоотопів, що здатні довго затримуватися в організмі людини і тварин, періоди напіврозпаду становлять такі значення: для ізоотопу йоду $^{131}_{53}\text{I}$ $T_{1/2} = 8$ діб, для ізоотопів стронцію $^{89}_{38}\text{Sr}$ та $^{90}_{38}\text{Sr}$ відповідно $T_{1/2} = 51$ доба та $T_{1/2} = 28.6$ років, для ізоотопу цезію $^{137}_{55}\text{Cs}$ $T_{1/2} = 30.2$ років.

Під час дослідження проходження ізоотопів $^{90}_{38}\text{Sr}$ і $^{137}_{55}\text{Cs}$ вздовж біологічного ланцюжка "земля-рослина-тварина-людина" було помічено, що ізоотоп $^{90}_{38}\text{Sr}$ поводить себе подібно до кальцію Ca, а ізоотоп $^{137}_{55}\text{Cs}$ - подібно до калію K.

Далі було встановлено, що при радіоактивному забрудненні біосфери найбільша концентрація $^{90}_{38}\text{Sr}$ завжди виявляється в органах або продуктах, багатих на кальцій (кісткова тканина), а $^{137}_{55}\text{Cs}$ - в біоб'єктах, багатих на калій (м'язова тканина).

Умовно прийнято вважати, що радіонукліди (ізоотопи радіоактивних елементів) практично перестають діяти через час, що становить 10 періодів напіврозпаду.

Згідно з законом радіоактивного розпаду $N = N_0 e^{-t \ln 2 / T_{1/2}}$,

через час $t = 10 T_{1/2}$ кількість радіоактивних ядер буде рівною

$$N = N_0 e^{-10 \ln 2} = \frac{N_0}{2^{10}} = \frac{N_0}{1024},$$

тобто зменшиться майже в тисячу разів. Звідси випливає, що оскільки період напіврозпаду ізоотопів $^{90}_{38}\text{Sr}$ і $^{137}_{55}\text{Cs}$ становить близько 30 років, то населення України буде відчувати вплив цих небезпечних радіонуклідів близько трьох століть після Чорнобильської катастрофи.

Активність. Активністю A називають швидкості радіоактивного розпаду, тобто кількість розпадів it , одиницю часу. Оскільки енергія виділяється при кожному акті розпаду, то загальна кількість енергії, що виділяється внаслідок

радіоактивного розпаду за одиницю часу, буде визначатися саме активністю. Формула для активності A має такий вигляд:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0.693N}{T_{1/2}}, \quad (8.13)$$

де були враховані закон радіоактивного розпаду (8.11) та зв'язок між періодом напіврозпаду $T_{1/2}$ і постійною радіоактивного розпаду λ , що виражається формулою (8.12). З формули (8.13) випливає важливий висновок: **активність A радіоактивного ізотопу (радіонукліду) тим більша, чим більша кількість радіоактивних ядер N в даний момент часу і чим менший період**

напіврозпаду $T_{1/2}$. Тому при однаковому значенні N активність A , а з нею і небезпека радіоактивного ураження, буде визначатися радіонуклідами з малим періодом напіврозпаду. Таким найбільш небезпечним радіонуклідом в перші три місяці після Чорнобильської аварії був радіоактивний йод $^{131}_{53}\text{I}$, який, як вже зазначалося, має короткий період напіврозпаду $T_{1/2} = 8$ діб і який накопичується переважно у щитовидній залозі людини у відсутності в ній нерадіоактивного ізотопу йоду $^{127}_{53}\text{I}$.

З формули (8.13) видно також, що з плином часу активність A зменшується тому, що зменшується кількість радіоактивних ядер. Дійсно, оскільки $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

то $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (8.14)$

Де $A_0 = \lambda N_0$ - вихідне значення активності радіонукліду в момент часу $t = 0$. Цей результат означає, що зменшення активності з часом описується законом радіоактивного розпаду.

Активність вимірюється в таких одиницях: беккерель (Бк) і кюрі (Ю). Беккерель - це активність такого радіонукліду, для якого за одну секунду відбувається один радіоактивний розпад, тобто $1 \text{ Бк} = 1$ розпад/с. Кюрі (Ки) - це суттєво більша одиниця активності: $1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10}$ розпадів/с $\approx 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Застосовуються дрібні одиниці - мілікюрі (мКи), мікро кюрі (мкКи), нано кюрі (нКи) тощо, а також кратні одиниці - кілокюрі (кКи), мега кюрі (МКи), гіго кюрі (ГКи) та інші, які мають такий зв'язок з основними одиницями активності:

$$1 \text{ мКи} = 10^{-3} \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^7 \text{ Бк}, \quad 1 \text{ кКи} = 10^3 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{13} \text{ Бк};$$

$$1 \text{ мкКи} = 10^{-6} \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^4 \text{ Бк}, \quad 1 \text{ МКи} = 10^6 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{16} \text{ Бк};$$

$$1 \text{ нКи} = 10^{-9} \text{ Ки} = 37 \text{ Бк}, \quad 1 \text{ ГКи} = 10^9 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{19} \text{ Бк}.$$

