

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГІЇ ЗВ'ЯЗКУ У ПРОТОН-ПРОТОННОМУ СИНТЕЗІ ДЕЙТРОНА ТА ВИЗНАЧЕННЯ СПІНІВ ЯДЕР Й ЯДЕРНИХ ЛЕПТОНІВ

Постановка задачі

Експериментально енергія зв'язку нуклонів у дейтроні визначається вимірюванням енергії випромінювання $\gamma_{2,21}$ -фотона, під час синтезу дейтрона D із протона та нейтрона (цей процес відкрив Д. Лі у 1934 році) або енергією $\gamma_{2,21}$ -фотона, під час якої відбувається фоторозщеплення дейтрона D на протон та нейтрон (цей процес відкрили Дж. Чедвік, М. Гольдхабер у 1934 році) [1, 2]. Ці процеси можна записати схемою



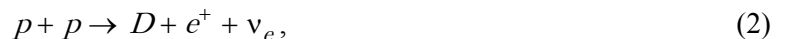
з енергетичним та спіновим балансами

$$m_p c^2 + m_n c^2 \leftrightarrow m_D c^2 + \gamma_{2,21} \quad \text{або} \quad 1877,8527 = 1877,8527 \text{ MeV};$$

$$1/2 + 1/2 \neq 1 \pm 1,$$

де $\gamma_{2,21}$ -фотон — енергія зв'язку дейтрона; D — дейтрон; p — протон; n — нестабільний нейтрон; $m_D c^2 = 1875,6427 \text{ MeV}$ — енергія спокою дейтрона; $m_p c^2 = 938,2796 \text{ MeV}$ — енергія спокою протона; $m_n c^2 = 939,5731 \text{ MeV}$ — енергія спокою нестабільного нейтрона. Найбільш точне вимірювання енергії зв'язку під час синтезу дейтрона з протона та нейтрона дає мас-спектрографічний метод. Він для енергії зв'язку дейтрона дає 2,21 MeV. Отже, сьогодні переконливо доведено, що в природі не існує утворення дейтрона без випромінювання $\gamma_{2,21}$ -фотона.

Спін складної системи визначається за правилом додавання моментів імпульсу підсистем у квантовій механіці [1]. Отже, спін ядра визначається сумою спінів частинок або їх квантових чисел, що входять до його складу. Спін дейтрона $J_d = 1/2 + 1/2 = 1$ [3]. Але зі спінового балансу рівняння (1) випливає, що спін дейтрона дорівнює 0, оскільки γ -фотон вносить із нього спін, що дорівнює 1. Отже, закон збереження моменту імпульсу у цьому рівнянні порушується. Це вказує на проблему визначення спінів ядер. Вперше ця проблема виникла у Х. Бетте [4], К. Вейцеккера та Ч. Крітчфілда при написанні ядерної реакції протон-протонного синтезу дейтрона



де e^+ — позитрон; ν_e — електронне нейтрино. Саме намагання фізиків записати цю реакцію без порушення закону збереження моменту імпульсу, мабуть, привело до вилучення з неї енергії зв'язку нуклонів у дейтроні. Відсутність енергії зв'язку у цій реакції означало б, що у дейтроні немає ядерних сил, немає дейтрона, не мало б бути сонячного циклу й сонячного випромінювання, але воно все-таки є.

Бета-розпад — це процес внутрішньонуклонний і відбувається в об'ємі з діаметром, що дорівнює діаметру найменшого ядра (протона) $\Delta x \sim 2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ і електрон, що народжується у такому об'ємі, відповідно до принципу невизначеності Гейзенберга [5], повинен мати невизначеність в імпульсі $\Delta p \geq \hbar / \Delta x \geq 5 \cdot 10^{-20} \text{ кг м/с}$. Такому імпульсу відповідає кінетична енергія електрона $W_k = \Delta p c = 94 \text{ MeV}$. Однак електрони, що вилітають із нейтрона при його розпаді, мають кінетичні енергії $\sim 0,31 \text{ MeV}$, що у 300 разів менше ніж передбачає теорія. Сьогодні така розбіжність теорії з експериментальними даними не може задовольнити фізику. Сьогодні вже відомо, що під час розпаду нестабільного нейтрона електрон вносить із нього елементарний негативний заряд, магнітний момент

$\mu_\beta = -2,377 \cdot 10^{-26}$ Дж/Т та спін $0,27 \cdot 10^{-36}$ Дж·с [6]. Отже, електрон з таким спіном може знаходитися у вільному нейтроні і його кінетична енергія повинна становити $\sim 0,26$ МеВ, що майже точно збігається з кінетичною енергією електронів, що вилітають із нейтронів.

На таку можливість вказував навіть В. Гейзенберг. Він вважав, що електрон перед входом у ядро та виходом із нього може змінювати свій спін та магнітний момент [7]. Саме так і відбувається при K -захопленні електронів ядрами та їх β - та $\tilde{\beta}$ -розпаді.

На підставі вищенаведених фактів ми маємо намір зробити спробу довести, що протон-протонний синтез за схемою (2) теж повинен супроводжуватися випромінюванням γ -фото-на та обґрунтувати можливість виконання закону збереження моменту імпульсу у ядерній фізиці.

1. Експериментально-аналітична частина

Закони збереження енергії, моменту імпульсу, лептонного заряду та механізму перетворення атомних електронів у ядерні при K -захопленні дозволяють уявити нестабільний n -нейтрон у вигляді зарядово-скомпенсованої системи частинок

$$n \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad (3)$$

де n^0 — легкий стабільний нейтрон — це гіпотетичний і найлегший баріон, який впливає з вимог закону збереження енергії; e^- — електрон; $\tilde{\nu}_e$ — електронне антинейтрино. Це гіпотетичне припущення не забороняється законами збереження: енергії, моменту імпульсу, баріонного та лептонного зарядів. Такий нейтрон, дійсно, може послідовно розпадатися на протон, електрон та електронне антинейтрино за відомою схемою

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad (4)$$

а протон під час зіткнення з іншим протоном теж може розпадатися на легкий стабільний нейтрон, позитрон та електронне нейтрино

$$p \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e. \quad (5)$$

Тоді реакція протон-протонного синтезу дейтрона, згідно з законом збереження енергії, повинна протікати за схемою

$$p + p \rightarrow p + n^0 + e^+ + \nu_e \rightarrow d + \gamma_{1,6} + e^+ + \nu_e \quad (6)$$

та енергетичним балансом

$$m_p c^2 + m_p c^2 = m_d c^2 + \gamma_{1,6} + m_{e^+} c^2 + \nu_e \quad \text{або}$$

$$1876,5592 = 1874,3492 + 1,6 + 0,51 + \nu_e, \text{ МеВ,}$$

де d — легкий дейтрон — гіпотетичне ядро, яке впливає з вимог закону збереження енергії; $m_{n^0} c^2 = 938,2796$ МеВ — енергія спокою легкого нейтрона; $m_d c^2 = 1874,3492$ МеВ — енергія спокою легкого дейтрона; $\gamma_{1,6}$ -фотон — енергія зв'язку під час протон-протонного синтезу дейтрона повинна бути менша, ніж у реакції (1) на величину роботи виходу позитрона з енергією 0,5 МеВ та випромінювання нейтрино, максимальна енергія якого не перевищує 0,1 МеВ; $m_{e^+} c^2 = 0,511$ МеВ — енергія спокою позитрона. Цей процес вказує на те, що розпад протона може відбуватися за слабкою та електромагнітною взаємодіями, та, що позитрон входить до складу протона і процес β -розпаду є внутрішньонуклонним.

Отже, згідно закону збереження енергії, у цьому процесі енергія спокою дейтрона повинна бути менше на 1,29 МеВ від $m_d c^2$ і виникає потреба пошуку легкого дейтрона d та легкого стабільного n^0 -нейтрона, а енергія нейтрино у цьому процесі ще менша, ніж у процесі (2).

Негативний нейтринний дослід Р. Девіса, Д. Хармера та К. Хофмана [8, 9, 10] також вказує, що сонячне нейтрино не здатне викликати процес перетворення за схемою Б. М. Понтекорво [8]

$$\nu_e + {}^{37}_{17}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}_{18}\text{Ar} + e^- \quad (7)$$

або, що такого процесу взагалі не існує в природі, оскільки він заборонений законом збереження лептонного заряду. Зі схеми (7) випливає, що дочірнє ядро ${}_{18}^{37}\text{Ar}$ має атомний номер на одиницю більше, ніж у материнського ядра ${}_{17}^{37}\text{Cl}$, хоча масові числа обох ядер однакові. Весь процес протікає так, начебто один із нейтронів материнського ядра ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ перетворився на протон за схемою (4). Отже, у правій частині реакції (7) відсутнє $\tilde{\nu}_e$ -ней-трино. Більше того, реакція (7) має поріг 0,8, а фактично 5,8 МеВ [1]. Це позбавляє можливості експериментального підтвердження існування нейтрино.

Так само не можна експериментально підтвердити й існування антинейтрино. Виявляється, що не можна спостерігати реакції за схемою



яку начебто спостерігали Ф. Рейнес та К. Коуен, тому що вона заборонена законом збереження лептонного заряду. Дійсно, згідно з цим законом, антинейтрино при зіткненні з протоном повинне перетворюватися за схемою $\tilde{\nu}_e + \nu_e \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + e^+ + \nu_e$ і тільки після цього приводити до оберненої реакції розпаду нейтрона



з енергетичним балансом

$$m_p c^2 + \tilde{\nu}_e = m_n c^2 + m_e c^2 + \nu_e \quad \text{або} \\ 938,2796 + 1,8 + \nu_e = 939,5731 + 0,511 + \nu_e, \text{ МеВ.}$$

Отже, згідно з законом збереження енергії антинейтрино у цій реакції повинне мати енергію $\tilde{\nu}_e = 1,8 + \nu_e \approx 2$ МеВ. Антинейтрино від розпаду окремого нейтрона взагалі не здатне викликати таку реакцію. Що ж стосується впливу збудженості ядер на β -розпад нуклонів у них, то, на нашу думку, він, мабуть, несуттєвий тому, що утворені ядра внаслідок поділу ядер урану у реакторі переходять до основного стану за $10^{-7} \dots 10^{-11}$ с [1], що на 8...12 порядків менше від напівперіоду їх β -розпаду. Отже, збудженість ядер не може суттєво вплинути на енергетичний антинейтринний спектр розпаду нейтронів у народжених ядрах. Це дає привід стверджувати, що ядерний реактор не є інтенсивним джерелом антинейтрино з енергіями 2 МеВ і не здатний викликати реакцію (6).

З цього аналізу випливає, що К. Коуен, Ф. Рейнес, Ф. Гаррісон [11, 12] у серії дослідів 1953—1956 років спостерігали зовсім іншу реакцію та відкрили легкий стабільний нейтрон n^o , якого ще немає у сім'ї баріонів, за схемою



де $\gamma_{0,5}$ -фотон — енергія фоторозщеплення протона.

Отже, існування легкого n^o -нейтрона означає, що в природі існує і легкий дейтрон d , який утворюється в ядерній реакції протон-нейтронного синтезу (ПНС) за схемою



з енергетичним балансом

$$m_p c^2 + m_n c^2 = m_d c^2 + \gamma_{2,21},$$

де $m_d c^2 = 1874,3592$ МеВ — енергія спокою легкого дейтрона.

Повна енергія γ -випромінювання під час синтезу легкого дейтрона та розмноження легких нейтронів складається з двох $\gamma_{0,5}$ -фотонів, що утворюються в процесі анігіляції електрон—позитронної пари та $\gamma_{2,21}$ -фотона (енергії зв'язку) і становить 3,2 МеВ. Енергетично це дуже вигідний процес. Його можна використати для розмноження n^o -нейтронів. Один такий процес може розщепити безліч протонів у нескінченному об'ємі водню та викликати синтез нових дейтронів за схемою

$$n^o + (10^n p + 10^n e) \rightarrow d + \gamma_{2,21} + p \begin{cases} \nearrow n^o + p \rightarrow d + \gamma_{2,21} + p \rightarrow \dots \\ \searrow e^+ + e^- + \nu_e \rightarrow \tilde{\gamma}_{0,5} + \gamma_{0,5} + \nu_e + 2p \rightarrow \dots \end{cases} \quad (12)$$

де $(10^n p + 10^n e)$ — об'єм водню.

З цієї схеми випливає, що Сонце та зірки, у яких ідуть такі реакції, повинні випромінювати електромагнітну енергію й здійснення їх на Землі дає людству невичерпне джерело екологічно чистої енергії.

З протон-протонного синтезу дейтрона, у якому один із протонів зазнає e^+ -розпаду та перетворюється у нейтрон, випливає, що протон та нейтрон являють собою два різних стани однієї й тієї ж частинки, та що вони можуть обмінюватися у ядрах зарядом за схемою

$$n^o + e^+ + \nu_e \rightarrow p + \gamma_{0,5}, \quad (13)$$

де $\gamma_{0,5}$ -фотон з енергією 0,5 МеВ — енергія зв'язку частинок у протоні.

Однак, найвизначнішим передбаченням цієї теорії є реакція холодного ядерного синтезу за участю повільних нейтронів

$$n + n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e + n^o + e^+ + \nu_e + e^- + \tilde{\nu}_e \rightarrow {}^2_1H + 2\tilde{\nu}_e + \nu_e + \gamma_{0,5} + \tilde{\gamma}_{0,5} + \gamma_{2,21}, \quad (14)$$

де 2_1H — легкий дейтерій; $\tilde{\gamma}_{0,5}$ — фотон антиполяризований до $\gamma_{0,5}$ -фотону.

Та, нарешті, ця реакція вказує на можливість існування реакції холодного ($\sim 2 \cdot 10^3 K$) ядерного синтезу дейтерію при зіткненні двох молекул води із сумарною кінетичною енергією $\sim 0,1$ еВ, які містять атоми водню

$$\begin{aligned} & {}^1_1H_2 \text{ } ^{16}_8O + {}^1_1H_2 \text{ } ^{16}_8O \rightarrow {}^1_1H^{16}_8 O^2 H^{16}_8 O^1 H + e^- + e^+ + \nu_e + \gamma_{2,21} \rightarrow \\ & \rightarrow {}^1_1H^{16}_8 O^2 H^{16}_8 O^1 H + \nu_e + \gamma_{0,5} + \tilde{\gamma}_{0,5} + \gamma_{2,21}, \end{aligned} \quad (15)$$

де утворення легкого дейтерію відбувається за схемою

$${}^1_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^2_1H + e^- + e^+ + \nu_e + \gamma_{2,21} \rightarrow {}^2_1H + \nu_e + \gamma_{0,5} + \tilde{\gamma}_{0,5} + \gamma_{2,21}. \quad (16)$$

2. Визначення спінів ядер та ядерних лептонів

Ядерні сили не залежать від заряду нуклонів, але залежать від взаємної орієнтації їхніх спінів. Спіни нуклонів дорівнюють $\hbar/2$ і спін ядра буде напівцілим для непарного числа нуклонів A та нульовим для парного. Спіни всіх парно-парних найбільш стабільних ядер в основних станах дорівнюють нулю. Це вказує на те, що спіни нуклонів у стабільному ядрі розташовуються антипаралельно й взаємно компенсують один одного [1], та що ядерні сили між нуклонами теж діють тільки з антипаралельними спінами. Отже, спін дейтрона теж повинен дорівнювати $J_d = 0$. Але це можливо лише у випадку, коли спін $\gamma_{2,21}$ -фотона також дорівнює $J_\gamma = 0$.

З попереднього аналізу випливає, що закон збереження моменту імпульсу у рівняннях (1) та (6) порушується. Це вказує на проблему визначення спінів ядер у квантовій механіці.

На проблему визначення спіна частинок вказували багато фізиків, зокрема, Л. Б. Окунь: «Спін є ключовою і до кінця ще незрозумілою властивістю матерії» [13].

За квантово-механічним визначенням, спін має квантову і релятивістську природу і не пов'язаний з рухом елементарної частинки як цілого.

З цього визначення випливає, що спіни елементарних частинок не мають квантово-механічних корпускулярно-хвильових аналогів, не можуть бути визначені точно і повинні визначатися наближено. Перше таке визначення спінів було зроблено В. Паулі. Він припустив, що спіни електрона та протона становлять $\hbar/2$. Але існує можливість точного визначення спіна електрона з рівняння

$$W_e = \hbar \omega_e = m_e c^2, \quad (17)$$

де \hbar_e — спин електрона; ω_e — власна циклічна частота електрона; m_e — маса спокою електрона; c — швидкість світла.

Якщо поділити ліву і праву частини (17) відповідно на циклічну частоту $\omega_e = c/r_e$, то отримаємо співвідношення для точного визначення власного моменту імпульсу електрона

$$\hbar_e = m_e c r_e. \quad (18)$$

З цього рівняння випливає, що електрон є кільцевою спіновою електромагнітною частинкою-хвилею з радіусом, або комптонівською довжиною хвилі

$$\lambda = r_e = \hbar_e / m_e c \quad (19)$$

та релятивістською масою електрона m_e , що створює навколо себе електричне та магнітне поля.

Далі з (18) випливає, що абсолютне значення хвильового вектора

$$|k_x| = 2\pi/\lambda_e, \text{ а } p_x = m_e c = 2\pi\hbar_e/\lambda_e, \text{ то } p_x = \hbar_e k_x \quad (20)$$

і рівняння спінової електромагнітної частинки-хвилі електрона повинне бути

$$\psi = A e^{i(kx - \omega t)} = A e^{\frac{i}{\hbar}(xp_x - Wt)}. \quad (21)$$

Згідно з законом збереження комбінованої парності, усі наявні в природі фотони, незалежно від способу їхнього виникнення, завжди поляризовані і спіни їх утворюють чи лівий, чи правий гвинт до імпульсу частинки p_x . Тому їх спіральність може мати абсолютне значення та бути внутрішньою властивістю, тільки для частинки з майже нульовою масою спокою (така частинка існує, тільки, рухаючись зі швидкістю c). Кільцева спінова електромагнітна хвиля електрона також має майже нульову масу спокою і два значення спіральності (позитивну й негативну), яка відповідає частинці та античастинці і двом різним станам поляризації однієї і тієї ж самої частинки.

Те, що електрон та позитрон мають спіральність виявляється під час їх анігіляції

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma_{0,51} + \tilde{\gamma}_{0,51} \quad (22)$$

тому, що антиполяризовані $\gamma_{0,51}$ -фотони повинні розлітатися в протилежні сторони і їх можна розглядати як $\gamma_{0,51} - \tilde{\gamma}_{0,51}$ -пару (фотон-антифотонну пару).

Усі інші властивості корпускулярно-хвильової моделі електрона також визначаються з рівняння (18).

З цього аналізу випливає, що від сучасного квантово-механічного статистичного визначення спінів лептонів потрібно взагалі відмовитися та визнати, що вони змінюють свої спіни та магнітні моменти у відповідності від сил, що на них діють. У ряді статей, наприклад, [6] доведено, що β - та $\tilde{\beta}$ - частинки входять до складу нуклонів й створюють їхні заряди та магнітні моменти $\mu_\beta = -2,377 \cdot 10^{-26}$ та $\mu_{\tilde{\beta}} = 1,41 \cdot 10^{-26}$ Дж/Т та мають у них відповідно спіни $0,27 \cdot 10^{-36}$ та $0,16 \cdot 10^{-36}$ Дж·с й тому не анігілюють, але при виході з них знову перетворюються у електрон та позитрон з однаковими спінами $s_e = 1$ та $s_{e^+} = 1$ й анігілюють за схемою (22) без порушення закону збереження моменту імпульсу.

Висновки

Цей аналіз передбачає, що в природі існує легкий стабільний нейтрон з енергією спокою 938,2796 MeV та легкий дейтрон з енергією спокою 1874,35 MeV, та що електрони й позитрони — це частинки з квантованими спінами й магнітними моментами, що входять до складу нуклонів, створюють їхні заряди й магнітні моменти та беруть участь у сильній взаємодії. Це призвело до вирішення проблеми визначення спінів ядер, ядерних лептонів, відкриттю процесу розмноження легких нейтронів γ -фотонами при ПНС легких дейтронів у водні, можливості створення реакторів

ПНС та синтезу легких й середніх ядер на повільних протонах та широкому застосуванню теплогенераторів, які працюють на холодному синтезі дейтерію і тритію в складі гідридів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. — М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. — С. 21, 46, 171, 262, 609.
2. Храмов Ю. А. Физики. — Киев: Наукова думка, 1977. — С. 455.
3. Карякин Н. И., Быстров К. И., Киреев П. С. Краткий справочник по физике. — М.: Высшая школа, 1964. — С. 406.
4. Бете Х. Источники энергии звезд. // УФН. — 1968. — № 96. — С. 393.
5. Heisenberg W. // Zs. f. Phys. — 1927. — Vol. 43. — P. 172.
6. Скибинский Л. П. Квантовая теория. Электродинамика. Ядерный синтез. Экология. Сборник статей. Винница: вид-во О. Власюк. — 2003. — С. 38.
7. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. — М.: Атомиздат, 1977. — С. 22.
8. Понтекорво Б. М. Детство и юность нейтринной физики. В кн. Семь путешествий в микромир. — М.: Наука, 1986. — С. 68 — 95, 86.
9. Ахизер А. И., Рекало М. П. Биография элементарных частиц. — Киев: Наукова думка, 1983. — С. 208.
10. Рекало М. П. Нейтрино. — Киев: Наукова думка, 1986. — 208 с.
11. Cowan C., Reines F., Harrison F., et. al. // Science, — 1956. Vol. 124. — P. 103.
12. Физ. энциклопед. словарь. / под ред. А. М. Прохорова. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 600. с.
13. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. — М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — С. 17.

Рекомендована кафедрою хімії та екологічної безпеки

Надійшла до редакції 10.07.03.
Рекомендована до друку 6.05.04.

Скібінський Леонтій Петрович — інженер-оптик, м. Вінниця;
Петрук Василь Григорович — завідувач кафедри хімії та екологічної безпеки,
Вінницький національний технічний університет