

що для розв'язання таких громіздких систем, необхідно виконати велику кількість операційних обчислень, виходячи з цього, бачимо, що вдало написаний за відповідними критеріями метод розрахунку забезпечить достовірний і, що не менш важливо, оптимально швидкий за часом результат. Критеріями оцінки даного методу може служити визначення точності отриманих результатів та виконання граничних умов.

Список використаних джерел:

1. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // Успехи математических наук. – 1961. – Т. 16. – Вып. 3(99). – С. 171-174.
2. Григоренко Я. М. Розв'язання задач теорії оболонок на основі дискретно-континуальних методів / Я. М. Григоренко, В. Д. Будак, О. Я. Григоренко: навчальний посібник. – Миколаїв: Іліон, 2010. – 294 с.
3. Дзюба В. А. Побудова методу підвищеної точності розв'язку задачі для циліндричної оболонки змінної товщини на основі ітераційних методів / В. А. Дзюба, П. О. Стебляно // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету/ Діпродзержинськ: ДДТУ. – 2014. – Випуск 1(24). – С. 216–221.

Попенко В.Й.

старший науковий співробітник,

Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»

АТОМ ВОДНЮ

Найпростішою атомною системою є атом водню, що складається з протона і електрона, розділених першим Боровським радіусом, рівним $0,53 \cdot 10^{-8}$ см. Передбачається, що для стійкості атома, електрон повинен знаходитися у безперервному русі по замкнутій орбіті навколо ядра. Інакше, сила тяжіння змусила б їх зблизитися, і вони зіткнулися б через доли мікросекунди.

Подумки припустимо, електрон зіткнувся з протоном, тобто «впав» на протон. Проаналізуємо результат цієї події.

Маса часток до взаємодії дорівнювала сумі маси протона і маси електрона

$$M_1 = M_p + m_e.$$

Після «падіння» маса M_2 отриманої сполуки, назвемо її часткою дорівнюватиме сумі мас протона і електрона, плюс маса енергії взаємодії, поділеної на квадрат швидкості світла

$$M_2 = M_p + m_e + (W_k - U + W_{\text{изл.}})/c^2 = M_p + m_e + W_{\text{вз.}}/c^2.$$

Масою пов'язаною з енергією взаємодії можна знехтувати, в силу її не значності, і масу утворення можна вважати рівною

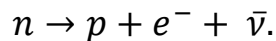
$$M_2 \approx M_p + m_e.$$

Заряд її дорівнює нулю $+q_p - q_e = 0$. Серед відомих часток, частки з такою масою не спостерігається.

Відома частка, що не має електричного заряду – нейтрон з масою, що перевищує масу протона на величину більше двох з половиною мас електрона [1].

$$M_n \approx M_p + 2,532 m_e.$$

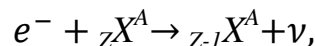
Нейтрон частка відносно нестабільна. Через час близько 11 хвилин після виходу з ядра вільний нейтрон розпадається на протон, електрон і важко реєстроване антинейтрино [1]



Енергія спокою нейтрона більше енергії спокою протона і електрона, на які він розпадається, на величину енергії розльоту часток і енергії, яку уносить антинейтрино, що складає 0,783 М еВ [2]. Можна вважати, що ця різниця відповідає енергії слабкої взаємодії, що приводить до розпаду нейтрона

$$[M_n - (M_p + m_e)]c^2 = 1,532m_e c^2 = 0,783 \text{ М еВ}.$$

До слабких взаємодій відноситься явище K – захоплення, яке спостерігається для важких атомів [2], що полягає в захопленні атомним ядром електрона з K оболонки,



при цьому один з протонів ядра с захопленим електроном утворюють нейтрон $e^{-} + p \rightarrow n + \nu$.

Перевищення енергії нейтрона, що утворився, на 0,783 М еВ, порівняно енергії часток що утворили його, відбувається за рахунок перерозподілу енергії ядра $W_{\text{я}}$.

Розпад нейтрона і зворотне йому явище K – захоплення електрона дають основу вважати, що в певних умовах витративши близько 0,783 М еВ енергії, електрон можна з'єднати з протоном, з утворенням нейтрона.

Виражаючись технічною мовою, нейтрон це атом водню, підданий стискуванню до стану при якому його енергія підвищилася більш ніж на 0.783 М еВ. Якщо зняти тиск, такий нейтрон розпадеться на протон і електрон з виділенням 0.783 М еВ енергії.

Нестабільні і схильні до розпаду не тільки вільні нейтрони. Нейтрони, пов'язані ядерними силами, в атомних ядрах, теж розпадаються, що супроводжується β – радіоактивністю атомів [2]. Стабільно існують нейтрони в легких ядрах з співвідношенням нейтронів до протонів 1,333 як у літію ${}^7_3\text{Li}$ та 1,587 у важких ядрах, як урану ${}^{238}_{92}\text{U}$. Слід вважати, що утримує їх від розпаду Кулонівський потенціал, пов'язаних з ними протонів.

Протон і електрон мають магнітні моменти, тобто є магнітними диполями, просто кажучи, магнітами [3].

Взаємодіючі магніти, орієнтуються протилежними полюсами один до одного і, зорієнтовані так, притягуються до зіткнення полюсів. Якщо один з магнітів порожнистий, що дозволяє всувати в нього другий магніт, тяжіння буде діяти тільки до повного зближення їх протилежних полюсів. Подальшому зближенню магнітів з входженням одного в інший перешкоджатиме сила відштовхування. Якщо цільний магніт повністю всунути в порожнистий, сила виштовхування діятиме, практично, до повного його виходу. Це означає, що енергія взаємодії поєднаних (що всунуті один в другий) магнітів позитивна.

Цілком можливо, що взаємодія магнітних полів, які відповідають магнітним моментам електрона з протоном, аналогічна з взаємодією магнітів і складає слабку взаємодію.

Магнітне поле часток [3] убуває з відстанню швидше електричного поля, пропорційно r^{-3} , тому магнітна взаємодія електрона з протоном істотна, на малих відстанях між ними, порівнянних з відстанню їх зв'язку в атом водню.

Пов'язані вони як електричним, так і магнітним полями, з енергією взаємодії, що дорівнює $-13,6$ еВ. Подальше їх зближення, яке супроводжується складанням магнітних полів, по аналогії з магнітами, призводить до підвищення енергії взаємодії.

По енергії слабкої взаємодії, яка вивільняється при розпаді вільного нейтрона і енергії кулонівської взаємодії між протоном і електроном, можна знайти залежність енергії їх взаємодії від відстані між частками.

Залежність енергії Кулонівської взаємодії від відстані r між протоном і електроном відома $U = -e^2/r$, [4]. Енергія слабкої взаємодії позитивна. Максимальна величина її складає $0,783$ М еВ. Слабка взаємодія проявляється на малих відстанях, тож залежність її потенціалу від відстані слід апроксимувати функцією, що убуває швидше кулонівського потенціалу

$$W_{\text{с.в.}} \approx e^2 \ell^k / r^{k+1},$$

де $k \geq 1$, ℓ – нормуючий коефіцієнт з розмірністю довжини.

Вважаючи, що потенціал слабкої взаємодії адекватний потенціалу диполя, який убуває пропорційно r^{-2} , залежність енергії взаємодії електрона з протоном від відстані слід прийняти рівною

$$W_{e,p} = W_{\text{с.в.}} - U = \ell \frac{e^2}{r^2} - \frac{e^2}{r}. \quad (1)$$

На відстанях $r < \ell$, енергія взаємодії позитивна. Максимальне значення її, що відповідає утворенню нейтрона досягає $+0,783$ М еВ. Зі збільшенням відстані r , енергія взаємодії убуває, як перший член (1) обернено пропорційно до квадрата відстані і при рівності $r = \ell$ досягає нульового значення

$$W_{e,p}(r = \ell) = \frac{e^2}{\ell} \left(\frac{\ell}{\ell} - 1 \right) = 0.$$

Енергія слабкої взаємодії, убуваючи пропорційно мінус другій мірі відстані $W_{\text{с.в.}} \propto r^{-2}$, зменшується значно швидше, ніж модуль енергії кулонівської взаємодії, що убуває пропорційно мінус першого ступеня відстані $U \propto r^{-1}$.

Зі збільшенням відстані до значень перевищуючих ℓ , негативна енергія кулонівської взаємодії по модулю починає перевершувати позитивну енергію слабкої взаємодії. Результируюча енергія стає негативною і плавно знижується з відстанню до встановленого експериментально, максимального негативного значення $-13,6$ еВ, яке дорівнює енергії зв'язку атома водню.

Далі, зі збільшенням відстані r , вплив слабкої взаємодії швидко зводиться до нуля і негативна енергія взаємодії, слідує Кулонівському потенціалу, $U \propto r^{-1}$, підвищується до нульового значення на нескінченності.

Градiєнт енергії взаємодії електрона з протоном дорівнює силі, яка діє на електрон в полі протона

$$\nabla \cdot W_{e,p} = F_{e,p} = r \left(\frac{e^2}{r^3} - \ell \frac{2e^2}{r^4} \right), \quad (2)$$

де: r – радіус – вектор від електрона до протона.

Електрон відносно протона розташовуватиметься на відстані $r_{(F_{e,p}=0)}$, при якому сила $F_{e,p}$ дорівнює нулю. Прирівнявши (2) нулю,

$$e^2/r^2 - 2\ell e^2/r^3 = 0, \text{ знаходимо, } r_{(F_{e,p}=0)} = 2\ell. \quad (3)$$

Відстань (3), при якій сила (2), що діє на електрона в полі протона дорівнює нулю, а енергія взаємодії має екстремальне негативне значення, рівне енергії зв'язку атома водню $W_H = -13,6$ еВ, можна назвати радіусом зв'язку атома водню, і позначити $r_{(F_{e,p}=0)} = r_0$.

Підставляючи значення $r_0 = 2\ell$ у вираження енергії взаємодії (1), і прирівнюючи його енергії зв'язку атома водню $W_H = -13,6$ еВ, знайдемо значення нормуючого множника ℓ

$$e^2 \left(\frac{\ell}{4\ell^2} - \frac{1}{2\ell} \right) = W_H, \ell = 0,25 \frac{e^2}{W_H}. \quad (4)$$

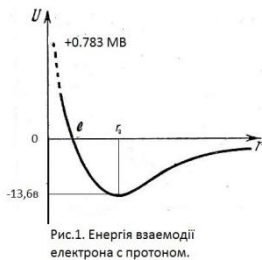


Рис.1. Енергія взаємодії електрона з протоном.

Згідно (3) електрон в полі ядра розташовується на відстані рівному половині відношення квадрата заряду електрона до енергії зв'язку атома водню, що називається першим Боровським радіусом електрона a_0 , введеного з умови рівно дії сил кулонівського тяжіння електрона ядром атома водню і відцентрових сил руху його на орбіті навколо ядра.

В статичному зв'язку електрона з протоном, що полягає в рівності сили Кулонівського тяжіння і сили відштовхування, обумовленої слабкою взаємодією, немає необхідності руху електрона навколо ядра для тривалого існування атома, і немає необхідності в константі a_0 .

Опираючись на три певно відомі значення енергії взаємодії, електрона с протоном,

$$r_1 = r_{c.v.}, W_{c.v.} = 0,783 \cdot 10^6 \text{ еВ}; r_2 = \ell, W = 0; r_3 = 2\ell, W = -13,61 \text{ еВ}; \\ r \rightarrow \infty, W = e r^{-1} \rightarrow 0,$$

шляхом екстраполяції можна побудувати потенційну криву залежності енергії від відстані між ними. Графік, що зображує цю залежність, називається потенційною кривою Мал.1.

Потенційна крива утворює потенційну яму глибиною $-13,6$ еВ.

Зменшення відстані між електроном і протоном від r_0 до ℓ , супроводжується зростанням енергії взаємодії від $-13,6$ еВ, до нуля. Щоб зблизити частки на цю відстань $r_0 - \ell = \ell$, необхідно витратити енергію, не меншу енергії зв'язку атома водню $|W_H|$.

Подальше їх зближення до відстані $r_{c.v.}$, що відповідає їх об'єднанню в нейтрон, жадає витрати енергії $0,783$ МВ, яка звільняється при його розпаді.

Таким чином, на відстанях менших r_0 між протоном і електроном діють сили відштовхування, вільне падіння електрона на протон ближче, ніж радіус зв'язку атома водню не можливо, воно забороняється одним з найстрогіших законів фізики, законом збереження енергії.

Область позитивних значень енергії взаємодії $r_{c.v.} < r < \ell$ може представляти інтерес в питаннях по розсіюванні електронів на протонах, в питаннях устрою атома не представляє інтересу.

У області відстаней $\ell < r < \infty$ енергія взаємодії негативна, крива утворює «потенційну яму». Максимальна глибина її, рівна енергії зв'язку атома водню $-13,6$ еВ, доводиться на відстань r_0 .

Електрон, пов'язаний з протоном пружними силами, за відсутністю зовнішньої збуджуючої дії знаходитиметься на дні потенційної ями, в області

мінімуму енергії взаємодії, на відстані рівному $r_0 = 2\ell$, в статичному стані, скільки завгодно довго, оскільки радіальні зміщення його в будь-якому напрямі вимагають витрат енергії.

Така побудова атому водню, що відповідає принципам класичної фізики. Архітектура багатовалентних атомів в наступній доповіді.

Список використаних джерел:

1. Неліпа Н. Ф. Фізика елементарних часток. – Видавництво «Вища школа», 1977.
2. Широков Ю. М. і Юдін Н. П. Ядерна фізика. – Видавництво «Наука», 1972.
3. Попенко В. Й. Векторні властивості електрона. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2014.
4. Шпольский Э. В. Атомна фізика, т. 1, Введення в атомну фізику, видавництво «Наука» 575 (1974).

Попенко В.Й.

старший науковий співробітник,

Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»

БАГАТОЕЛЕКТРОННІ АТОМИ

Ефективний потенціал атомного ядра, згідно (1), [1] складається з Кулонівської і слабкої взаємодії

$$U' = -U + W_{(с.в.)}$$

Скалярний Кулонівський потенціал декількох зарядів дорівнює сумі потенціалів кожного заряду

$$U_{\Sigma q} = U_{q1} + U_{q2} + U_{q3} \dots,$$

тому Кулонівський потенціал атомного ядра пропорційний його зарядовому числу Z , $U_z = Z U_1$, де: U_1 – потенціал ядра із зарядовим числом одиниця.

Потенціал слабкої взаємодії, адекватний векторному потенціалу, складається за правилами складання векторів. Модуль суми, довільно орієнтованих векторів менший, суми модулів цих векторів

$$|A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n| < |A_1| + |A_2| + |A_3| + \dots + |A_n|.$$

Сума однакових по модулю, довільно орієнтованих векторів, може не перевищувати за величиною одного, двох векторів і, взагалі, може дорівнювати нулю. Енергія взаємодії, обумовлена слабкою взаємодією, з цієї причини мало змінюється зі збільшенням зарядового числа Z ядра атома.

Можливо, слабкі взаємодії беруть участь тільки в зв'язку електронів K оболонки з ядром. Електрони подальших оболонок взаємодіють з кулонівським потенціалом ядра і з потенціалом електронів попередніх оболонок.

У формулі (1), [1], енергії взаємодії електрона з ядром, що містить Z протонів, в силу відмінності складання скалярного і векторного потенціалів, кулонівський член слід помножити на Z , а доданок, що відповідає слабким взаємодіям, залишити без зміни

$$W_{(Z)} = W_{(с.в.)} - ZU_1 = \ell_0 \frac{e^2}{r^2} - Z \frac{e^2}{r}. \quad (1)$$