

Таким чином, дипольні і мультипольні електричні взаємодії є причиною зв'язку атомів в молекули. Де можна спостерігати дипольні магнітні взаємодії, в наступній доповіді.

Список використаних джерел:

1. Степанець Ю. А. Попенко В. Й. Взаємодії електричних диполів Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
2. Джексон Дж. Класична електродинаміка, М. Світ 1965.

Попенко В.Й.

*старший науковий співробітник,
Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»*

ДИПОЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ І ВЗАЄМОДІЇ МІЖ НУКЛОНАМИ

Ядра атомів складаються з протонів і нейтронів, що називаються нуклонами, які пов'язані ядерними силами, маючи наступні властивості [1].

1. Ядерні сили є силами тяжіння між нуклонами.
2. Ядерні сили є короткодійними силами. Вважається, що радіус їх дії має порядок 10^{-13} см.
3. Ядерні сили істотно залежать від орієнтації їх спінів. Спін частки паралельний або анти паралельний її магнітному моменту, тому залежність ядерних сил від орієнтації спінів можна трактувати їх залежністю від орієнтації магнітних моментів.
4. Ядерні сили не центральні, тобто можуть бути спрямовані під кутом до прямої, що сполучає взаємодіючі частки.
5. Енергія зв'язку нуклонів в ядрах має безліч різних дискретних рівнів.
6. Ядерні сили мають властивість насичення, що проявляється в тому, що зі збільшенням числа нуклонів ядра енергія зв'язку на нуклон не росте пропорційно числу нуклонів, а залишається приблизно постійною.
7. Ядерні сили притягують нуклони в області 10^{-13} см, але на істотно менших відстанях переходять в сили відштовхування.
8. Ядерні сили проявляють залежність від парності або непарності взаємодіючих нуклонів.
9. Ядерні сили великі за абсолютною величиною. Енергія зв'язку простішого ядра, дейтрона рівна 2,26 М еВ і складає 0,12% власній енергії нуклона. Енергія зв'язку електрона К оболонки важких атомів, в тисячі разів перевищуючи енергію зв'язку електрона атома водню, складає так само величину порядку (0,01 ÷ 0,1)% власної енергії електрона.
10. Магнітний момент парно – парних ядер, тобто з парним числом протонів і нейтронів дорівнює нулю.
11. Для інших ядер магнітний момент не перевищує десяти одиниць.

Властивості ядерних сил за усіма одинадцятьма пунктами ідентичні властивостям дипольних взаємодій [2]. Можна вважати, що взаємодії між нуклонами адекватні дипольними взаємодіями.

Нуклонам присутні спін і магнітний момент, які мають дипольні властивості. По суті, нуклони протон і нейтрон є магнітними диполями з магнітними моментами $\mu_p = 2,79 \mu_0$ і $\mu_n = -1,91 \mu_0$ відповідно, де μ_0 – магнетон Бору, $\mu_0 = eh/4\pi M_p c = 5,05 \cdot 10^{-24}$ ерг/гаус.

Взаємодія магнітних моментів нуклонів здійснюється шляхом взаємодії їх полів. Незайве нагадати, що магнітне поле часток, як і циркуляція, чи вихор електричного поля, що утворює його, згідно [3] є динамічними полями.

У грубій оцінці енергія взаємодії магнітних диполів на відстані декількох долів радіусу дії ядерних сил, покладемо $\sim 0.2 r_{\text{я}}$, згідно (9) і (10), [2] рівна

$$W_{pn} = f(\theta_1, \theta_2, \gamma) \frac{\mu_n \mu_p}{4\pi r^3} \approx 6,7 \text{ М еВ. Де: } f(\theta_1, \theta_2, \gamma) = -8; \mu_p = 2.79\mu_0;$$

$$\mu_n = -1.91\mu_0; \mu_0 = \frac{eh}{4\pi M c}; r \approx 0.2 \cdot 10^{-13}.$$

Порядок енергії взаємодії між нуклонами ядра, в припущенні дипольної взаємодії їх магнітних моментів співпадає з експериментально встановленою енергією зв'язку нуклонів. Можливо, у взаємодії нуклонів беруть участь і їх спіни, але поле, що відповідає спіну (5), (10), [3] не досить досліджено, тому вклад їх в енергію взаємодії не може бути врахований.

У таблицях I ÷ IV приведені значення енергії зв'язку нуклонів деяких ядер і коментарі з позиції дипольних взаємодій [1].

Латинські букви ${}_1\text{H}^2$, ${}_2\text{He}^3$, ${}_3\text{Li}^5$... – символи ізоотопів хімічних елементів. Нижній індекс – номер елементу і, відповідно число протонів в ядрі, верхній – масове число ядра ізоотопу і, відповідно число нуклонів в ядрі. Числа в круглих дужках – загальна енергія зв'язку нуклонів ядра. У квадратних дужках – різниця енергії зв'язку, при приєднанні останнього нуклона ізоотопу. Зірочка * означає різницю енергії зв'язку ядра ізоотопу і ізоотопу попереднього елементу з однаковими масовими числами. У фігурних дужках енергія зв'язку ядра, що доводиться на нуклон.

Енергія зв'язку – це енергія, на яку знижується власна енергія об'єктів, що вступають в зв'язок. Збільшення енергії зв'язку системи, означає зменшення її загальної енергії, тобто власна енергія пов'язаних об'єктів зменшується на величину зростання енергії зв'язку.

Табл. I. ${}_1\text{H}^2$; (2,2); [2,2]; {1,1}. ${}_1\text{H}^3$; (8,5); [6,3]; {2,8}.

Енергія зв'язку двох нуклонів протона і нейтрона в ядрі дейтрона ${}_1\text{H}^2$ складає 2,2 М еВ, по 1,1 М еВ на нуклон. Можна вважати, що дейтрон є двома пов'язаними диполями, розташованими співвісне, протилежними полюсами один до одного. Схематично їх можна відобразити стрілками ($\Rightarrow\Rightarrow$, чи $\Leftarrow\Leftarrow$), де одинарна відображає диполь – нейтрон, подвійна диполь – протон, полюси диполів – вістря стрілки і її кінець.

Співвісне розташування диполів припускає одинарний зв'язок двох протилежних полюсів диполів, з енергією зв'язку 2,2 М еВ. Два інших їх полюси розділені відстанню в дві характерні довжини диполя.

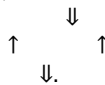
Енергія зв'язку трьох нуклонів, одного протона і двох нейтронів в ядрі ізоотопу водню тритію ${}^3_1\text{H}$ тритоні складає 8,5 М еВ. Збільшення числа нуклонів ще на один нейтрон порівняно дейтрона, що містить протон і нейтрон, збільшує енергію зв'язку на 6,3 М еВ. Можливо, нуклони – диполі тритона сполучені анти паралельно протилежними полюсами один до одного з протоном в центрі (схематично $\uparrow\downarrow\uparrow$). Таке з'єднання налічує чотири зв'язки полюсів диполів. Передбачувана енергія зв'язку з'єднання разу в чотири більше енергії зв'язку дейтрона і складає 8,5 М еВ. Середня енергія зв'язку тритона складає 2,8 М еВ на нуклон.

Табл. II. ${}^3_2\text{He}$; (7,7); * [-0,8]; {2,56}. ${}^4_2\text{He}$; (28,3); [20,6]; {7,07}.

${}^5_2\text{He}$; (27,3); [-1]; {5,46}. ${}^6_2\text{He}$; (29,3); [2,0]; {4,88}.

Енергія зв'язку трьох нуклонів ізоотопу гелію ${}^3_2\text{He}$, що містить два протони і один нейтрон (схематично $\downarrow\uparrow\downarrow$), на 0,8 М еВ менше енергії зв'язку тритона і складає 7,7 М еВ. Можна вважати, що зниження енергії зв'язку гелію ${}^3_2\text{He}$, в порівнянні з енергією зв'язку тритона ${}^3_1\text{H}$ є результатом кулонівської взаємодії між двома протонами, енергія якої позитивна.

Енергія зв'язку чотирьох нуклонів гелію ${}^4_2\text{He}$ з двох протонів і двох нейтронів складає 28,3 М еВ. Можна припустити, що нуклони – диполі сполучені паралельно з протилежною орієнтацією полюсів попарно в квадруполі, які утворюють октуполь, як схематично зображено нижче



З'єднання диполів – нуклонів в октуполь містить вісім зв'язків між протилежними полюсами диполів. Енергія зв'язку диполів – нуклонів в октуполь імовірно у вісім разів більше енергії однозв'язного дейтрона і для гелію ${}^4_2\text{He}$ складає 28,3 М еВ.

Октуполь енергетично найбільш вигідна конфігурація зв'язку чотирьох диполів, складена з двох пов'язаних між собою квадруполів. Це підтверджується тим, що додавання до двох протонів і одного нейтрона ізоотопу гелію ${}^3_2\text{He}$ ще одного нейтрону, з утворенням гелію ${}^4_2\text{He}$, збільшує енергію зв'язку на 20,6 М еВ. Зі 7,7 М еВ у гелію ${}^3_2\text{He}$, до 28,3 М еВ гелію ${}^4_2\text{He}$, при середній енергії зв'язку гелію ${}^4_2\text{He}$, на нуклон 7,07 М еВ.

Можливо, що в енергії зв'язку протона і нейтрона, окрім енергії дипольної взаємодії є присутньою певна доля енергії взаємодії зарядів протонів із зарядами електронів, пов'язаними в нейтрон слабкими взаємодіями.

Приєднання третього нейтрона до ізоотопу гелію ${}^4_2\text{He}$ з утворенням ізоотопу ${}^5_2\text{He}$, очевидно, порушує енергетично вигідну конфігурацію зв'язку чотирьох нуклонів – диполів в октуполь. Непарне число диполів неможливо з'єднати анти паралельно з правильним чергуванням орієнтації диполів протилежними полюсами один до одного.

З цієї причини повна енергія зв'язку ізоотопу гелію ${}^5_2\text{He}$, не лише не підвищується на величину середньої енергії зв'язку з приєднанням чергового п'ятого нуклона а зменшується на 1 М еВ, в порівнянні з енергією зв'язку

чотирьох нуклонів в гелії ${}^2\text{He}^4$ і складає 27,3 М еВ. Відповідно знижується і середня енергія зв'язку зі 7,07 до 5,46 М еВ.

Приєднання ще одного нейтрона до ізоотопу гелію ${}^2\text{He}^5$, з утворенням ізоотопу ${}^2\text{He}^6$ усуває непарність нуклонів, і підвищує енергію зв'язку ядра, на 2 М еВ, порівняно гелію ${}^2\text{He}^5$, що значно менше середньої енергії зв'язку нуклонів ядра.

Табл. III. ${}^3\text{Li}^5$; (26,3); * [-1]; {5,26}. ${}^3\text{Li}^6$; (32,0); [5,7]; {5,33}.
 ${}^3\text{Li}^7$; (39,2); [7,2]; {5,6}. ${}^3\text{Li}^8$; (41,3); [2,1]; {5,16}

Енергія зв'язку п'яти нуклонів в ядрі ізоотопу літію ${}^3\text{Li}^5$ менше енергії зв'язку п'яти нуклонів ізоотопу гелію ${}^2\text{He}^5$ на 1 М еВ. Причиною тому, очевидно, являється те, що один нейтрон ізоотопу гелію ${}^2\text{He}^5$ заміщений протоном в ізоотопі літію ${}^3\text{Li}^5$, і кулонівська взаємодія його заряду із зарядами двох інших протонів знижує енергію взаємодії.

Але вже в ізоотопі ${}^3\text{Li}^6$ енергія зв'язку трьох пар нуклонів, що, можливо, утворюють конфігурацію октуполь – квадруполь підвищується в порівнянні з енергією зв'язку ізоотопу літію ${}^3\text{Li}^5$, на 5,7 М еВ.

Наступне приєднання нейтрона з утворенням ізоотопу літію ${}^3\text{Li}^7$ представляє конфігурацію октуполь плюс тритон, енергія зв'язку його підвищується на 7,2 М еВ, перевершуючи енергію зв'язку тритона на 0,9 М еВ.

Подальше приєднання нейтрона в ізоотопі літію ${}^3\text{Li}^8$ не утворює енергетично вигідних конфігурацій зв'язку диполів, і його енергія підвищується всього на 2,1 М еВ.

Табл. IV. ${}^4\text{Be}^6$; (26,9); * [-5,1]; {4,48}. ${}^4\text{Be}^7$; (37,6); [10,7]; {5,37}.
 ${}^4\text{Be}^8$; (56,5); [18,9]; {7,06}. ${}^4\text{Be}^9$; (58,2); [1,7]; {6,46}.
 ${}^4\text{Be}^{10}$; (65,0); [6,8]; {6,5}. ${}^4\text{Be}^{11}$; (65,5); [0,5]; {5,95}.

Ізотоп берилію ${}^4\text{Be}^6$ на чотири протони містить лише два нейтрони, котрі можуть розділити від безпосереднього сусідства тільки три протона, що містять заряди. Хоча чергування послідовності орієнтації диполів дотримується, тобто дипольні зв'язки допускають таку комбінацію нуклонів.

Нуклони берилію ізоотопу ${}^4\text{Be}^6$ згруповані імовірно в октуполь з приєднаним до нього квадруполем. Переваження кількості заряджених протонів над нейтронами і, тому не можливість розділити один від одного чотири протони двома нейтронами, є причиною пониження енергії зв'язку в ізоотопі берилію ${}^4\text{Be}^6$ на 5,1 М еВ в порівнянні з ізоотопом літію ${}^3\text{Li}^7$, що містить однакову з ним кількість нуклонів.

Приєднання до берилію ${}^4\text{Be}^6$ наступного нейтрона, що розділяє два сусідніх протони, послабляє їх кулонівську взаємодію і підвищує енергію зв'язку, ізоотопу ${}^4\text{Be}^7$, що утворюється, на 10,7 М еВ.

З подальшим приєднанням нейтрона і утворенням берилію ${}^4\text{Be}^8$, конфігурація зв'язку нуклонів якого представляє два, пов'язаних октуполя, енергетично найбільш вигідного об'єднання диполів, енергія зв'язку підвищується на 18,9 М еВ, порівняно ${}^4\text{Be}^7$ і складає 56,5 М еВ.

Приєднання п'ятого нейтрона до конфігурації двох октуполів у берилії ${}^9_4\text{Be}$, із-за неможливості зв'язати непарне число диполів з послідовним чергуванням полюсів дає незначне збільшення енергії зв'язку на 1,7 М еВ.

Десятий нуклон берилію ${}^{10}_4\text{Be}$ усуває непарність нуклонів, і енергія зв'язку ядра ізотопу ${}^{10}_4\text{Be}$ зростає на 6,8 М еВ.

У берилії ${}^{11}_4\text{Be}$ та ж проблема непарності, що і у ізотопу ${}^9_4\text{Be}$, і, з його утворенням додається всього 0,5 М еВ.

Подібний аналіз з позиції дипольних взаємодій нуклонів можна провести практично для усіх ізотопів, але доцільніше відмітити більш специфічні властивості дипольних взаємодій нуклонів.

Список використаних джерел:

1. Широков Ю. М. і Юдін Н. П. Ядерна фізика. Видавництво «Наука» 1972.
2. Степанець Ю. А. Попенко В. Й. Взаємодія магнітних диполів. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
3. Попенко В. Й. Векторні властивості електрона. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2014.

Попенко В.Й.

старший науковий співробітник,

Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ НУКЛОНІВ

Природна радіоактивність нестабільних ізотопів відбувається з випусканням електронів, позитронів, α – часток і γ – випромінювання [1].

α – частка є ядром гелію, що складається з чотирьох нуклонів, двох протонів і двох нейтронів, пов'язаних попарно в квадруполі, з утворенням октуполя [2]. Середня енергія взаємодії нуклонів пов'язаних в октуполь близько 8,07 М еВ, всього на 0,73 М еВ меншою максимальної енергії зв'язку нуклонів в ядрах атомів, що становить 8,8 М еВ на нуклон.

Випускання α – часток, а не окремих нуклонів, припускає, що нуклони в ядрі об'єднані у блоки, у вигляді октуполів [2]. Підтвердженням тому служить збільшення енергії зв'язку, (сплески) що перевищують у декілька разів середню енергію зв'язку на нуклон, при приєднанні чергового нуклона деяких ізотопів.

Додавання нуклона до ядра підвищує енергію зв'язку, в середньому, на величину $7 \div 8$ М еВ. Але, коли кількість нуклонів стає кратним чотирьом нуклонам октуполя, два протони і два нейтрони, додавання нейтрона, що завершує цю кратність, супроводжується збільшенням енергії на $15 \div 20$ М еВ, що перевершує середню енергію зв'язку в два три рази.

Особливо помітно це проявляється у тридцяти легких елементів.