

ДИПОЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУЛОНОВ

Попенко В.И.

Научно-производственная корпорация
«Киевский институт автоматики»

В предлагаемой статье развита идея дипольной, электромагнитной природы взаимодействия нуклонов, выдвинутая в докладе «Дипольные взаимодействия и взаимодействия между нуклонами» на научной конференции «Перспективы развития современной науки», Киев 2015, [1] а также сделан анализ энергии связи нуклонов ядра с позиции её дипольной природы.

Ключевые слова: диполь, магнитный момент, спин, нуклоны, ядерные силы, энергия связи.

Взаимодействие электрических зарядов осуществляется путем взаимодействия их полей. Силы отталкивания зарядов одного знака, и притяжения зарядов разных знаков пропорциональны произведению зарядов, делённому на квадрат расстояния между ними $F \propto q_1 q_2 / r^2$.

Взаимодействие электрических диполей, образующихся при размещении одинаковых зарядов разного знака $+g$ и $-g$ на расстоянии l друг от друга, разнообразнее взаимодействия зарядов. Элементарная теория дипольных взаимодействий изложена в тезисах «Взаимодействие электрических диполей» [2].

Произведение зарядов, образующих диполь, на расстояние между ними равно моменту диполя $d = g \cdot l$. Дипольный момент – вектор, направленный по оси диполя от положительного заряда к отрицательному, схематично \uparrow , где острей стрелки соответствует отрицательному заряду, или полюсу диполя, её конец – положительному заряду, или полюсу диполя.

Силы взаимодействия диполей пропорциональны произведению моментов диполей, обратно пропорциональны четвёртой степени расстояния между ними и зависят от их взаимной ориентации $F \propto d_1 d_2 r^{-4} f_1(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2)$, где θ_1, φ_1 и θ_2, φ_2 – координатные углы ориентации векторов d_1 и d_2 относительно прямой, соединяющей их [2]. Диполи, ориентированные противоположными полюсами друг к другу, схематично $\rightarrow \rightarrow$, притягиваются, одноименными, $\rightarrow \leftarrow$, $\leftarrow \rightarrow$ отталкиваются.

На диполь в поле другого диполя действует момент сил равный векторному произведению дипольного момента на вектор напряженности электрического поля, создаваемого другим диполем [2]. Моменты сил пропорциональны произведению дипольных моментов, обратно пропорциональны кубу расстояния между диполями и зависят от их взаимной ориентации $M \propto d_1 d_2 r^{-3} f_2(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2)$. При соосном расположении диполей, $\rightarrow \rightarrow$, $\leftarrow \leftarrow$, моменты сил равны нулю и максимальны, когда диполи перпендикулярны друг другу, $\rightarrow \uparrow$.

Ориентация диполей противоположными полюсами друг к другу, $\rightarrow \rightarrow$, является, устойчивым состоянием, так как отклонение от неё приводит к возникновению момента сил направленного на уменьшение этого отклонения. Энергия взаимодействия такой ориентации диполей отрицательна [2].

Ориентация диполей одноименными полюсами друг к другу, $\rightarrow \leftarrow$, не устойчивое состояние. При отклонении от неё, моменты сил направлены на его увеличение. Энергия взаимодействия такой ориентации положительна [2].

Моменты сил, действующие на диполи в поле друг друга, стремятся развернуть их противоположными полюсами друг к другу, в результате чего между свободными, взаимодействующими диполями, ре-

ализуется взаимное притяжение. Во взаимодействии множества свободных диполей, в результате действия моментов сил, происходит их взаимная ориентация, которая приводит к понижению их общей энергии и взаимному притяжению диполей.

Между свободными диполями всегда реализуется взаимное притяжение. Это основное свойство взаимодействия диполей наглядно подтверждается слипанием в комок намагниченных железных опилок, являющихся типичными магнитными диполями.

Взаимодействие диполей, удобно наблюдать на двух цилиндрических магнитах подвешенных на длинных нитях за центры тяжести.

Под действием моментов сил магниты разворачиваются противоположными полюсами друг к другу и ориентированные таким образом, притягиваются друг к другу до механического соприкосновения торцов магнитов.

Если один из магнитов полый, что позволяет другому магниту вдвигаться в него, ориентированные противоположными полюсами друг к другу, магниты притягиваются также до момента начала вхождения одного в другой.

Дальнейшего сближения магнитов и вхождения друг в друга не происходит, хотя механического препятствия этому нет. Более того, принудительному совмещению магнитов будет препятствовать сила расталкивания.

Принудительно совмещенные магниты могут находиться в таком состоянии какое-то мгновение, подобно шарик, сбалансированному на округлой верхушке холма. При малейшем отклонении от состояния равно действия сил расталкивания, магниты разойдутся в разные стороны, и будут совершать колебания около плоскости разделяющей их торцы. При наличии диссипации энергии, колебания магнитов будут затухающими, и, в конечном счете, они окажутся по разные стороны плоскости разделяющей их торцы.

Объяснение факту перемены знака взаимодействия диполей при их совмещении лежит в формуле потенциала диполя $\varphi_d = -\frac{ql \cos \theta}{r^2 - rl \cos \theta}$ [3].

При соосном расположении диполей $\cos \theta = 1$. Формула потенциала диполя примет вид $\varphi_d = -\frac{ql}{r^2 - rl} = -\frac{d}{r^2(1 - \frac{l}{r})}$. На расстояниях превышающих характерную длину диполя, $r > l$ отношением l/r в знаменателе можно пренебречь, и потенциал будет равен $\varphi_d(r > l) \approx -d/r^2$.

На расстояниях меньших, чем характерная длина диполя, единицей в знаменателе по сравнению с отношением l/r можно пренебречь и потенциал поменяет знак на обратный $\varphi_d(r < l) = -\frac{d}{r^2(1 - \frac{l}{r})} \approx \frac{d}{rl}$. Соответственно поменяется и знак взаимодействия, притяжение сменится отталкиванием.

Таким образом, взаимодействию диполей свойственно расстояние, на котором взаимное притяжение сменяется отталкиванием, которое можно назвать радиусом связи диполей. Ему соответствует энергия связи диполей [3].

Магниты могут быть связаны не только последовательным соединением их полюсов, $\rightarrow\rightarrow$, но и параллельным соединением боковыми сторонами, с противоположной ориентацией полюсов, $\uparrow\downarrow$.

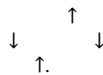
Разрыв параллельной связи магнитов требует значительно большего усилия, чем магнитов связанных последовательно, следует полагать, что и энергия параллельной связи магнитов больше энергии их последовательной связи. В последовательной связи магнитов связаны и взаимодействуют два полюса, два других разделены расстоянием в две длины магнитов, при параллельной связи связаны и взаимодействуют все четыре полюса обоих магнитов, соответственно и энергия их связи больше [3].

Энергия взаимодействия обусловлена взаимной компенсацией или гашением полей взаимодействующих частиц. Это относится как к электрическим зарядам, так и к электрическим и магнитным диполям.

К примеру, электрические поля составляющих ядра и электронного покрытия атома по отдельности убывают обратно пропорционально квадрату расстояния, и проявляются на расстояниях значительно превосходящих размеры атома. Но в связанном состоянии электрическое поле ядра и электронного покрытия за пределами атома компенсируют, погашают друг друга, образуя нейтральный атом. То же самое происходит и с полями связанных диполей.

При четном числе диполей связанных параллельно с противоположной ориентацией полюсов происходит взаимная компенсация их полей, дипольный момент их равен нулю. При нечетном числе диполей, поле одного из диполей не компенсируется или не погашается, дипольный момент их равен одному моменту. Как результат, энергия связи также проявляет зависимость от четности или нечетности числа диполей. Повышение энергии связи при добавлении к ядру четного нуклона больше, чем при добавлении нечетного.

Связанные диполи могут образовывать различные дипольные ассоциации. Два параллельно связанные диполя с противоположной ориентацией полюсов образуют квадруполь, $\uparrow\downarrow$. Два параллельно связанные квадруполь с противоположной ориентацией соседних диполей образуют октуполь. Схематично его можно изобразить стрелками, расположенными в вершинах квадрата



Моменты сил возникают не только во взаимодействии диполей, но и дипольных ассоциаций, вследствие чего между дипольными ассоциациями также всегда реализуются силы притяжения, способствующие слиянию ассоциаций в объединение.

Скорость убывания взаимодействий между ассоциациями с расстоянием пропорциональна их мультипольности. Сила, действующая между зарядами, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, заряда с диполем – кубу, диполя с диполем – четвертой степени, диполя с квадруполем – пятой, квадруполь с квадруполем – шестой, диполя с октуполем – седьмой, квадруполь с октуполем – восьмой, октуполь с октуполем – девятой степени расстояния.

Перечислим основные свойства дипольных взаимодействий.

1. На взаимодействующие диполи в поле друг друга действуют моменты сил, ориентирующие ди-

поли противоположными полюсами друг к другу, в результате чего между диполями всегда реализуется взаимное притяжение.

2. Силы взаимного притяжения диполей убывают обратно пропорционально четвертой степени расстояния между ними, а силы, действующие между ассоциациями диполей, такими как квадруполь или октуполь – обратно пропорционально шестой и восьмой степени расстояния. Силы дипольного взаимодействия можно назвать короткодействующими силами с малым радиусом действия.

3. Силы дипольного взаимодействия зависят от взаимной ориентации моментов диполей.

4. Действие моментов сил является причиной не центрального характера сил, действующих между диполями.

5. Энергия связи диполей отличается на дискретную величину в зависимости от последовательного или параллельного расположения, а для нескольких диполей может иметь значительно больше дискретных уровней.

6. Дипольным взаимодействиям свойственно насыщение, заключающееся в том, что каждый отдельный диполь, по причине быстрого убывания сил взаимодействия с расстоянием, взаимодействует только с соседним диполем и почти не взаимодействует с последующим за ним. По этой причине, с ростом числа диполей энергия связи на диполь не растёт пропорционально их числу, а остаётся примерно постоянной. Прочность комка намагниченных железных опилок практически не зависит от его размеров.

7. Дипольному взаимодействию свойственен граничный радиус сближения диполей, соответствующий минимуму энергии связи, ближе которого притяжение сменяется отталкиванием. Примером может служить, рассмотренное выше, взаимодействие полого и цельного магнитов.

8. Энергия связи нескольких диполей проявляет зависимость от четности или нечетности их числа.

9. Дипольный момент параллельного соединения четного числа диполей равен нулю, нечетного числа диполей – одному моменту.

10. При последовательном соединении диполей дипольные моменты суммируются.

11. Энергия взаимодействия диполей пропорциональна произведению дипольных моментов и зависит от их взаимной ориентации.

В микромире существуют объекты, взаимодействия которых в большой мере аналогичны дипольным взаимодействиям.

Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, называемых нуклонами. Нуклоны в атомном ядре связаны ядерными силами, которым характерны следующие свойства [4].

1. Ядерные силы являются силами притяжения между нуклонами.

2. Ядерные силы являются короткодействующими силами, т.е. они очень быстро убывают с расстоянием.

3. Ядерные силы зависят от ориентации их спинов. Спин частицы параллелен её магнитному моменту, поэтому ядерные силы зависят от ориентации магнитных моментов нуклонов.

4. Ядерные силы не центральны, т.е. могут быть направлены под углом к прямой, соединяющей взаимодействующие частицы.

5. Энергия связи нуклонов в ядрах имеет множество различных дискретных уровней.

6. Ядерные силы обладают свойством насыщения, проявляющегося в том, что с увеличением ядра энергия связи на нуклон не растёт пропор-

ционально числу нуклонов, а остається приблизно постійною.

7. Ядерні сили притягують нуклони в області 10^{-13} см, но на суттєво менших відстанях переходять в сили відштовхування.

8. Ядерні сили проявляють залежність від четності або нечетності взаємодіючих нуклонів.

9. Магнітний момент ядер з четним числом нуклонів дорівнює нулю.

10. Для решти ядер не перевищує десяти одиниць.

11. Ядерні сили великі за абсолютною величиною.

Касаемо величини ядерних сил і енергії відповідної їм слід відзначити наступне. В електромагнітних взаємодіях, як правило, бере участь електрон, власна енергія якого $\sim 0,51$ МэВ. Енергія єдиного акту електромагнітної взаємодії не перевищує власну енергію електрона і, в дійсності, складає малі частки МэВ.

Ядерні взаємодії відбуваються між нуклонами, власна енергія яких, порядку 940 МэВ, в тисячі раз перевищує енергію електрона, природно очікувати, що енергія їх взаємодії може бути стільки ж раз перевищити енергію електромагнітної взаємодії. Дійсно енергія зв'язу протона і нейтрона в ядрі дейтерію складає 2,2 МэВ, в тисячі раз перевищує енергію зв'язу електронів атомів.

Взаємодії нуклонів атомного ядра і ядерних сил, практично, по всім десяти пунктам ідентичні своїм дипольним взаємодіям і силам, діючим між диполями і їх асоціаціями. Це дозволяє полагати, що взаємодії між нуклонами є дипольними взаємодіями.

Правомірність цього припущення підтверджується тим, що нуклони протон і нейтрон, є магнітними диполями з магнітними моментами $\mu_p = 2,79 \mu_0$ і $\mu_n = -1,91 \mu_0$, де $\mu_0 = \frac{eh}{4\pi M_p c} = 5,05 \cdot 10^{-24}$ ерг/гаус – ядерний магнетон Бора.

Взаємодія магнітних моментів нуклонів здійснюється шляхом взаємодії відповідних їм магнітних полів. Треба полагати, що в взаємодії беруть участь і спіни нуклонів, але природа їх взаємодії і поля, відповідні їм в роботі не розглядаються. Проаналізуємо енергію зв'язу нуклонів в ядрах з позиції дипольних взаємодій.

Енергія зв'язу – це енергія, на яку зменшується власна енергія частинок, вступаючих в зв'яз. Збільшення енергії зв'язу означає зменшення власної енергії взаємодіючих частинок [5].

Енергія зв'язу протона і нейтрона в ядрі дейтрона ${}^2_1\text{H}$ складає 2,2 МэВ. Можливо полагати, що дейтрон є двома зв'язаними протонами і нейтроном, розташованими на відстані в два характерні довжини диполя. Енергія такої зв'язу нуклонів дейтрона дорівнює 2,2 МэВ.

Соосне розташування диполів передбачає зв'яз двох полюсів диполів, два інших полюса розділені відстанню в два характерні довжини диполя. Енергія такої зв'язу нуклонів дейтрона дорівнює 2,2 МэВ.

Енергія зв'язу трьох нуклонів, одного протона і двох нейтронів в ядрі ізотопу водороду тритія ${}^3_1\text{H}$ складає 8,5 МэВ. Можливо, нуклони – диполи тритона зв'язані паралельно з протонами, а нейтрони – з протонами, але з протонами протилежною орієнтацією полюсів, $\uparrow\downarrow$. Таке зв'язування насичує чотири зв'язу полюсів диполів,

острія і кінці сусідніх стрілок. Енергія зв'язу такої зв'язування може бути в чотири рази перевищити енергію зв'язу дейтрона, рівною 2,2 МэВ і для тритона вона дійсно складає 8,5 МэВ.

Енергія зв'язу трьох нуклонів в ядрі ізотопу гелію ${}^3_2\text{He}$, що складається з двох протонів і одного нейтрона, складає 7,7 МэВ, на 0,8 МэВ менше енергії зв'язу тритона. Можливо полагати, що нуклони ядра гелію ${}^3_2\text{He}$ зв'язані також як, нуклони тритона, паралельною зв'язуванням полюсів, $\uparrow\downarrow\uparrow$. Зменшення енергії зв'язу їх порівняно з енергією зв'язу трьох нуклонів тритона ${}^3_1\text{H}$ є результатом кулоновського взаємодії між двома протонами, подвійні стрілки, енергія взаємодії, яких додативна.

Ядро гелію ${}^4_2\text{He}$, що складається з двох протонів і двох нейтронів, іменують в фізиці α -частини. Чотири нуклона гелію, зв'язані паралельно, з протилежною орієнтацією полюсів сусідніх диполів парно в квадратах, утворюють октаедр. Протони і нейтрони октаедра α -частини розташовані діагонально в вершинах квадрата, схематично



Зв'язування диполів в октаедрі містить сім зв'язу між протилежними полюсами диполів. Енергія зв'язу диполів – нуклонів в октаедрі передбачливо може бути в вісім раз перевищити енергію зв'язу дейтрона, і для гелію ${}^4_2\text{He}$ вона складає 28,3 МэВ.

Октаедр енергетично найбільш вигідна конфігурація зв'язу чотирьох диполів. Це підтверджується тим, що додавання ще одного нейтрона до двох протонів і одного нейтрона ізотопу гелію ${}^3_2\text{He}$, з утворенням гелію ${}^4_2\text{He}$, збільшує енергію зв'язу на 20,6 МэВ. С 7,7 МэВ гелію ${}^3_2\text{He}$, до 28,3 МэВ гелію ${}^4_2\text{He}$, при чому, що середня енергія зв'язу на нуклон гелію ${}^4_2\text{He}$ не перевищує 7,07 МэВ, ${}^3_2\text{He} + n \rightarrow {}^4_2\text{He} + \alpha$.

Присоединение нейтрона к ядру гелію ${}^4_2\text{He}$ і утворення гелію ${}^5_2\text{He}$ порушує енергетично вигідну конфігурацію зв'язу диполів в октаедрі. Нечетне число диполів неможливо розташувати анти паралельно один одному з чередуванням протилежних полюсів. П'ятий нуклон, зв'язаний протилежною орієнтацією полюсів з одним з нуклонів октаедра буде орієнтований до сусіднім нуклонам одноіменними полюсами. В результаті чого, додавання цього нуклона не супроводжується збільшенням енергії зв'язу ядра, а навпаки призводить до зменшення повної енергії зв'язу ізотопу гелію ${}^5_2\text{He}$ на 1 МэВ, порівняно з енергією зв'язу чотирьох нуклонів в гелію ${}^4_2\text{He}$ і складає 27,3 МэВ.

Присоединение нейтрона к ядру ізотопу гелію ${}^5_2\text{He}$, з утворенням гелію ${}^6_2\text{He}$ усуває дефект чередування полюсів нечетного числа диполів і підвищує енергію зв'язу порівняно з гелію ${}^5_2\text{He}$ на 2 МэВ, до 29,3 МэВ.

В ядрі літію ${}^6_3\text{Li}$ один з нейтронів гелію ${}^5_2\text{He}$, не маючи електричного заряду, заміщений протоном. Кулоновське взаємодія його заряду з зарядами двох інших протонів, і не можливість розділити двома нейтронами три, маючі заряди протона від безпосереднього сусідства, зменшує енергію зв'язу ${}^6_3\text{Li}$ на 1 МэВ, до 26,3 МэВ, порівняно з 27,3 МэВ гелію ${}^5_2\text{He}$, маючих однакове число нуклонів.

Додавання третього нейтрона к ізотопу ${}^6_3\text{Li}$ розділяє всі протони літію ${}^6_3\text{Li}$ від безпосереднього сусідства. Енергія зв'язу ядра ${}^6_3\text{Li}$ підвищується,

по сравнению изотопом лития ${}^6_3\text{Li}$, на 5,7 МэВ, составляя 32 МэВ.

Присоединение нейтрона к ядру лития ${}^6_3\text{Li}$, и образование лития ${}^7_3\text{Li}$, возможно, имеющего конфигурацию октуполь плюс тритон, повышает его энергию связи на 7,2 МэВ, до 39,2 МэВ.

Последующее присоединение нейтрона и образование изотопа ${}^8_3\text{Li}$ не образует энергетически выгодной конфигурации связи диполей, и его энергия повышается всего на 2,1 МэВ, составляя 41,3 МэВ.

Изотоп бериллия ${}^4_2\text{Be}$ на четыре протона содержит лишь два нейтрона, которые конструктивно могут разделить от непосредственного соседства только три, содержащих заряды, протона, как в изотопе ${}^6_3\text{Li}$.

Чередование ориентации четного числа диполей противоположными полюсами между соседними диполями в ${}^4_2\text{Be}$ соблюдается. Но преобладание заряженных протонов и не возможность отделить их друг от друга нейтронами, понижает энергию связи изотопа бериллия ${}^4_2\text{Be}$ до 26,9 МэВ, на 5,1 МэВ сравнительно с энергией 32 МэВ лития ${}^6_3\text{Li}$, с тем же числом нуклонов.

Присоединение к бериллию ${}^4_2\text{Be}$ еще одного нейтрона, который разделяет два соседствующие протона и ослабляет их кулоновское взаимодействие, повышает энергию связи изотопа ${}^7_2\text{Be}$ на 10,7 МэВ, до 37,6 МэВ.

Энергия связи ядра бериллия ${}^8_2\text{Be}$, в котором конфигурация связи нуклонов представляет два октуполь, являющихся энергетически выгодными ассоциациями, повышается на 18,9 МэВ и составляет 56,5 МэВ.

Присоединение еще одного пятого нейтрона к конфигурации двух октуполей в бериллии ${}^4_2\text{Be}$, по причине не возможности расположить нечетное число диполей с противоположным чередованием их полюсов, как и гелия ${}^3_2\text{He}$ даёт незначительное увеличение энергии связи ядра, всего на 1,7 МэВ и составляет 58,2 МэВ.

Десятый нуклон бериллия ${}^{10}_2\text{Be}$ устраняет нечетность связи диполей ${}^4_2\text{Be}$, и энергия связи его ядра возрастает на величину, близкую к средней энергии связи нуклонов 6,8 МэВ, сравнительно ${}^4_2\text{Be}$, составляя 65,0 МэВ.

В бериллии ${}^{11}_2\text{Be}$ нечетность нуклонов, как у изотопа ${}^4_2\text{Be}$, и поэтому, с его образованием добавляется всего 0,5 МэВ, составляя 65,5 МэВ.

Таким образом, из рассмотренных примеров следует, что в лёгких ядрах нуклоны связаны в ассоциации [6], подобные ассоциациям диполей.

Подобный анализ можно выполнить для изотопов всех химических элементов, но целесообразнее остановиться на более общих свойствах, подтверждающих дипольную природу взаимодействий нуклонов атомных ядер.

Естественная радиоактивность, свойственная нестабильным изотопам, помимо испускания электронов, позитронов и γ -излучения происходит в виде испускания α -частиц, представляющих собой ядра атомов гелия.

С позиции дипольной природы ядерных сил α -частица состоит из четырех диполей, связанных в октуполь, со средней энергией связи 7,07 МэВ, всего на 1,73 МэВ ниже 8,8 МэВ – средней энергии связи нуклонов в ядрах атомов. Из того, что при естественной радиоактивности испускаются α -частицы, а не отдельные нуклоны, являющиеся составными частями ядра, можно полагать, что нуклоны в ядре объединены в блоки. Этими блоками являются α -частицы, нуклоны – диполи, объединённые в октуполи.

Подтверждается это следующим фактом. Добавление нуклона к ядру повышает энергию связи, в среднем, на 7-8 МэВ. Но, когда количество нуклонов становится кратно четырём нуклонам октуполя α -частицы, два протона и два нейтрона, добавление нейтрона, завершающего эту кратность, сопровождается увеличением, всплеском энергии связи, превосходящим в два три раза среднюю энергию связи нуклонов в ядрах атомов.

Особенно заметно это проявляется у тридцати легких элементов, числа, следующие за символом изотопа, всплески энергии связи в МэВ

${}^4_2\text{He}$, 20,6; ${}^8_2\text{Be}$, 18,9; ${}^8_3\text{B}$, 18,6; ${}^{12}_6\text{C}$, 18,8; ${}^{13}_7\text{N}$, 20,3; ${}^{16}_8\text{O}$, 15,7; ${}^{19}_9\text{F}$, 10,8; ${}^{20}_{10}\text{Ne}$, 16,18; ----- ${}^{55}_{25}\text{Mn}$, 13,5; ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, 13,6; ${}^{55}_{27}\text{Co}$, 14; ${}^{58}_{28}\text{Ni}$, 12,1; ${}^{63}_{29}\text{Cu}$, 11,7; ${}^{63}_{30}\text{Zn}$, 12,6; ${}^{65}_{31}\text{Ga}$, 11,8; ${}^{68}_{32}\text{Ge}$, 12.

Возможность образования всплесков энергии объясняется тем, что средняя энергия связи трёх нуклонов предшествующих образованию октуполя значительно ниже средней энергии связи нуклонов в октуполь. Присоединение четвёртого нуклона, завершающего октуполь, поднимает энергию связи всех четырёх нуклонов до средней энергии связи нуклонов в октуполь.

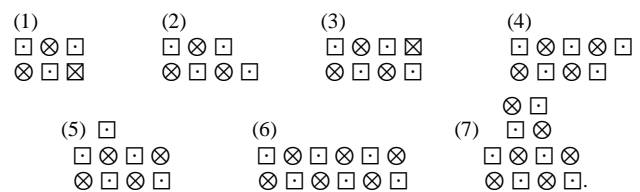
Ниже приведены возможный состав ядер и энергия связи в МэВ при возникновении всплесков для четырех первых элементов таблицы

${}^3_2\text{He}(2p, n)$, 7,7 + n \rightarrow ${}^4_2\text{He}(\alpha, 2p, n)$, 28,6; ${}^4_2\text{Be}(\alpha, 2p, n)$, 37,6 + n \rightarrow ${}^8_2\text{Be}(2\alpha)$, 56,5; ${}^8_3\text{B}(\alpha, 3p, n)$, 37,7 + n \rightarrow ${}^8_3\text{B}(2\alpha, p)$, 56,3; ${}^{11}_6\text{C}(2\alpha, 2p, n)$, 73,4 + n \rightarrow ${}^{12}_6\text{C}(3\alpha)$, 92,2.

Изотопы с нечетными номерами, которым присущ всплеск энергии, являются изотопами с четными номерами, которым характерен всплеск, плюс протон и иногда два избыточных нейтрона

${}^2_2\text{He} = {}^4_2\text{Be} + p$, ${}^{13}_7\text{N} = {}^{12}_6\text{C} + p$, ${}^{19}_9\text{F} = {}^{16}_8\text{O} + p + 2n$, ${}^{21}_{11}\text{Na} = {}^{20}_{10}\text{Ne} + p$, ${}^{25}_{13}\text{Al} = {}^{24}_{12}\text{Mg} + p$, ${}^{29}_{15}\text{P} = {}^{28}_{14}\text{Si} + p$, ${}^{33}_{17}\text{Cl} = {}^{32}_{16}\text{S} + p$, ${}^{39}_{19}\text{K} = {}^{38}_{18}\text{Ar} + p + 2n$.

Рассмотрим цепочку ядерных превращений, начиная с изотопа бериллия ${}^4_2\text{Be}$, и заканчивая изотопом углерода ${}^{12}_6\text{C}$. В бериллии ${}^4_2\text{Be}$ две неразделенные связи между заряженными протонами, от чего энергия связи шести нуклонов диполей с противоположной ориентацией полюсов всего 26,9 МэВ. На схематическом изображении позиция (1), где квадратики – протоны, кружочки – нейтроны, крестик и точка – полюса магнитных диполей нуклонов

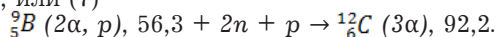


Присоединение нейтрона к ядру ${}^4_2\text{Be}$ разделяет заряженные протоны, позиция (2). Энергия связи повышается на 10,7 МэВ и составляет 37,6 МэВ для изотопа ${}^7_2\text{Be}$, ${}^6_2\text{Be}(\alpha, 2p)$, 26,9 + n \rightarrow ${}^7_2\text{Be}(\alpha, 2p, n)$, 37,6.

Добавление к нему протона вновь образует две неразделённые связи между заряженными протонами, отчего энергия образовавшегося изотопа бора ${}^8_3\text{B}$ повышается всего на 0,1 МэВ и составляет 37,7 МэВ, позиция (3), ${}^7_2\text{Be}(\alpha, 2p, n)$, 37,6 + p \rightarrow ${}^8_3\text{B}(\alpha, 3p, n)$, 37,7.

Присоединение нейтрона к изотопу бора ${}^7_3\text{B}$, разделяющего заряженные протоны, образует два связанных октуполя плюс протон, позиция (4, или 5). В результате энергия образующегося изотопа бора ${}^8_3\text{B}$ повышается до 56,3 МэВ, на 18,6 МэВ, что и является всплеском энергии связи, ${}^7_3\text{B}(\alpha, 3p, n)$, 37,7 + n \rightarrow ${}^8_3\text{B}(2\alpha, p)$, 56,3.

Избыточные протоны служат зародышами для формирования следующего блока – октуполя. Так, в результате прибавления протона и двух нейтронов к изотопу 9_5B , образуется изотоп ${}^{12}_6C$, позиции (6), или (7)



На схеме плоская картина возможной компоновки ядра в одной плоскости трехмерного пространства. Аналогичная компоновка может быть и в двух других его плоскостях, с образованием объемного ядра, шаровидной формы.

Следует полагать, что образовавшиеся блоки октуполи и энергия их связи сохраняются и при дальнейшем построении ядер последующих изотопов.

С увеличением атомного номера величина всплесков постепенно снижается, энергия присоединения отдельного нуклона к ядру становится более однородной. Это объясняется тем, что способ присоединения нуклонов в большом ядре становится более однообразным, снижается возможность индивидуального расположения нуклонов относительно блоков октуполей, являющегося причиной разброса энергии связи нуклонов.

Это подтверждает сравнение энергии последовательного присоединения нейтронов к легким ядрам изотопов бериллия, содержащим два блока октуполя, 10,7; 18,9; 1,7; 6,8; 0,5 МэВ, и тяжелым ядрам изотопов платины, насчитывающих до 39 блоков октуполей 6,3; 8,5; 6,2; 8,0; 6,8; 7,9; 5,2 МэВ. Для бериллия с атомным номером 4, содержащего два блока октуполей максимальная разность энергии индивидуального присоединения нейтрона составляет порядка $18,9 - 0,5 = 18,4$ МэВ. В то время как для платины с атомным номером 78, содержащего 39 блоков октуполей всего $8,5 - 5,2 = 3,3$ МэВ.

Число нуклонов, в изотопах платины, соответствующие приведенным приростам энергии, равно 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199. Заметно, что энергия присоединения четного нейтрона изотопов платины выше, чем нечетного, что является признаком дипольной природы связи нуклонов.

В атомных ядрах действуют два вида конкурирующих сил. Силы притяжения магнитных диполей нуклонов. И силы Кулоновского отталкивания между заряженными протонами.

Стабильность атомного ядра обеспечивается равно действием этих сил, путем баланса количества заряженных протонов в ядре и количества нейтронов, которым присуще дипольное притяжение и отсутствует Кулоновское отталкивание, отчего последние служат компенсатором, ослабляющим силы Кулоновского расталкивания протонов.

Поддержание баланса происходит за счет радиоактивности ядер, заключающейся в самопроизвольном испускании и поглощении заряженных частиц.

Ядра не стабильных изотопов атома предшествующих стабильным изотопам испускают частицы с понижением положительного потенциала ядра, и увеличением числа нейтронов, что обеспечивает баланс сил дипольного притяжения нуклонов и сил Кулоновского расталкивания протонов.

Ядра следующих за стабильными изотопами испускают частицы с повышением положительного потенциала и уменьшением числа нейтронов, что также обеспечивает баланс сил и сдерживает оставшиеся нейтроны ядра от распада.

Нейтроны в ядре удерживаются от распада Кулоновским потенциалом, связанных с ними протонов. Подтверждением тому является нестабильность свободных, не связанных с протонами нейтронов к электронному распаду.

Среднее время жизни свободного нейтрона составляет порядка 13 минут. Нейтрон, связанный с протоном в дейтерии стабильно существует бесконечно долго.

Но уже в тритоне, Кулоновский потенциал одного протона не достаточен для стабильного удержания от распада двух его нейтронов. За время порядка 12 лет один из его нейтронов распадается с испусканием электрона. Предположение, что удерживают нейтроны от распада ядерные силы, не верно, поскольку энергия связи на нуклон нестабильного тритона 2,83 МэВ выше энергии связи стабильного дейтрона 1,1 МэВ и, казалось бы, его нейтроны прочнее связаны, чем у дейтрона [7].

Убедительным доказательством Кулоновского влияния протонов, а не ядерных сил на стабильность, связанных с ними нейтронов, является электронный распад изотопов гелия 6_2He за время 0,82 с. и гелия 8_2He за время 0,12 с., содержащих соответственно 4 и 6 нейтронов. При том, что энергия связи их нуклонов 29,3 и 32,2 МэВ выше энергии связи стабильных изотопов 3_2He и 4_2He с энергией связи 7,7 и 28,3 МэВ соответственно.

Это же подтверждает характер электронных распадов, практически всех изотопов таблицы Менделеева. Именно по этой причине не существует стабильных ядер с числом протонов более 84.

Баланс количества заряженных протонов в ядре и количества нейтронов, обеспечивающий стабильность атомного ядра, для большинства атомов поддерживается испусканием электронов и позитронов, в результате реакции распада нейтронов и протонов внутри ядра.

Предпочтительность реакций с испусканием лёгких частиц обусловлена тем, что энергетические изменения ядер в реакции с лёгкими частицами составляют не более 0,8 МэВ. Примером можно назвать распад нейтрона на протон и электрон с освобождением ~0,8 МэВ энергии. Можно полагать, соединение протона с электроном и образование нейтрона в результате К-захвата электрона ядром требует таких же затрат энергии.

В то время, как удаление нуклона из ядра требует затрат энергии как минимум равной энергии связи нуклонов в ядре, порядка $2 \div 7$ МэВ.

Именно по этой причине практически не наблюдается испускание нейтронов и протонов в ядерных процессах.

Из того, что удельная энергия связи нуклона в октуполе α -частицы 7,07 МэВ, всего на 1,73 МэВ ниже средней энергии связи нуклонов в ядрах атомов ~8,8 МэВ, можно предположить, что блоки, α -частицы связаны между собой слабее, чем составляющие их нуклоны. По этой причине, начиная с изотопа ${}^{108}_{52}Te$, наблюдается испускание нестабильными изотопами α -частиц, и для тяжелых ядер, начиная с ${}^{209}_{89}Bi$, испускание α -частиц является подавляющим типом реакций.

Ядрам, следующим за ураном свойственна реакция деления ядра на два более лёгких ядра, удельная энергия связи которых выше чем исходного ядра.

Возможный состав ядер некоторых стабильных изотопов, начиная с фтора и заканчивая кальцием, приведен ниже:

${}^{19}_9F (4\alpha, p, 2n);$	${}^{20}_{10}Ne (5\alpha),$	${}^{21}_{10}Ne (5\alpha, n),$	${}^{22}_{10}Ne (5\alpha, 2n);$	
${}^{23}_{11}Na (5\alpha, p, 2n);$	${}^{24}_{12}Mg (6\alpha),$	${}^{25}_{12}Mg (6\alpha, n),$	${}^{26}_{12}Mg (6\alpha, 2n);$	
${}^{27}_{13}Al (6\alpha, p, 2n);$	${}^{28}_{14}Si (7\alpha),$	${}^{29}_{14}Si (7\alpha, n),$	${}^{30}_{14}Si (7\alpha, 2n);$	
${}^{31}_{15}P (7\alpha, p, n);$	${}^{32}_{16}S (8\alpha),$	${}^{33}_{16}S (8\alpha, n),$	${}^{34}_{16}S (8\alpha, 2n),$	${}^{36}_{16}S (8\alpha, 4n);$
${}^{35}_{17}Cl (8\alpha, p, 4n),$	${}^{37}_{17}Cl (8\alpha, p, 6n);$	${}^{38}_{18}Ar (9\alpha),$	${}^{39}_{18}Ar (9\alpha, 2n),$	${}^{40}_{18}Ar (9\alpha, 4n);$
${}^{39}_{19}K (9\alpha, p, 2n),$	${}^{41}_{19}K (9\alpha, p, 3n);$	${}^{40}_{20}Ca (10\alpha),$	${}^{42}_{20}Ca (10\alpha, 2n),$	${}^{43}_{20}Ca (10\alpha, 3n),$
${}^{44}_{20}Ca (10\alpha, 4n),$	${}^{46}_{20}Ca (10\alpha, 6n),$	${}^{48}_{20}Ca (10\alpha, 8n).$		

Большинство атомов с нечетными номерами, т.е. нечетным количеством протонов имеют по одному стабильному изотопу, 15 з них – по два.

Атомы с четным числом протонов, как правило, стабильнее. Число стабильных изотопов с четным числом протонов не менее двух, а у некоторых, к примеру, олова достигают десяти.

Более высокая удельная энергия связи нуклонов ядра, соответствующая стабильным изотопам важны, но не основной фактор, определяющий их стабильность. Удельная энергия связи нуклонов стабильного дейтрона ~ 1.1 МэВ, в то время, как для неустойчивого тритона она в два раза больше ~ 2.2 МэВ.

Блоки октуполи в грубом рассмотрении представляют, в некотором роде, овалыные прямоугольники, четыре грани, которых параллельны диполям октуполя, а две другие перпендикулярны им.

Блоки октуполи могут быть связаны между собой, гранями параллельными его диполям. А также гранями нормальными к диполям, последовательной связью противоположных полюсов нуклонов.

Зависимость энергии связи от величины поверхности ядра предопределяет шарообразное формирование блоков в ядрах.

Число избыточных, не связанных в блоках октуполей, нейтронов, компенсирующих Кулоновское расталкивание протонов, возрастающее с ростом заряда ядра, для стабильных изотопов изменяется от 1-го изотопа дейтерия ${}^2_1\text{H}$, до 43 изотопа висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$. На два протона, или на один блок – октуполь в стабильном ядре приходится в среднем один избыточный нейтрон.

Предположительно, они размещаются у поверхности ядра. К такому предположению склоняет факт участия их в испускании и поглощении лёгких заряженных частиц в процессе ядерных превращений с минимальной перестройкой ядра. Для нуклонов, расположенных в глубине ядра поглощение и испускание частиц за пределы ядра существенно сложнее.

Идея дипольного взаимодействия нуклонов в ядре атома сводит сильные взаимодействия к определенной форме электромагнитных взаимодействий магнитных полей, соответствующих магнитным, дипольным моментам нуклонов и, возможно, полей, соответствующих спинам частиц.

Нуклоны ядра статично связаны магнитными дипольными связями.

Комок слипшихся, под действием магнитных сил, железных опилок, упоминаемый в описании взаимодействия диполей является, хотя и грубым, но верным прототипом атомного ядра.

Распад нейтрона на протон и электрон, слияние электрона с протоном в ядрах некоторых атомов в результате K -захвата электрона с образованием нейтрона, называемые слабыми взаимодействиями, являются также одной из форм электромагнитных взаимодействий поля зарядов и магнитных полей, соответствующих магнитным моментам протона и электрона.

Электромагнитную природу сильных и слабых взаимодействий подтверждает одинаковый с электромагнитными взаимодействиями вид выхода энергии: кинетической энергии разлетающихся частиц, расталкиваемых электрическими и магнитными силами, и фотонов оптического, рентгеновского и гамма диапазонов электромагнитного излучения.

Это же подтверждает аннигиляция электронов, протонов и нейтронов с их античастицами, результатом которой является электромагнитное излучение в виде фотонов оптического, рентгеновского и гамма диапазонов, и, следует подчеркнуть, ничего более, кроме электромагнитного излучения. Подтверждается это и фото рождением частиц.

Необычайно высокое значение энергии сильных и слабых взаимодействий сравнительно электромагнитных взаимодействий электронов, определяются большими значениями собственной энергии нуклонов, принимающих участие в этих взаимодействиях. Тем не менее, энергия Кулоновского взаимодействия между соседствующими протонами в ядре, на расстояниях порядка 10^{-13} см может превосходить по величине их дипольную, нуклонную энергию связи, понижая общую энергию связи ядра.

Так энергия связи трёх протонов и двух нейтронов лития ${}^6_3\text{Li}$ ($3p, 2n$), $\Delta W = 26,3$ МэВ, по причине Кулоновского взаимодействия двух, не разделённых от соседства протонов, на 1 МэВ меньше энергии связи двух протонов и трёх нейтронов гелия ${}^7_2\text{He}$ ($2p, 3n$), $\Delta W = 27,3$ МэВ, имеющих одинаковое число нуклонов.

А энергия связи четырёх протонов и двух нейтронов бериллия ${}^8_4\text{Be}$ ($4p, 2n$), $\Delta W = 26,9$ МэВ, по той же причине, на 5,1 МэВ меньше энергии связи трёх протонов и трёх нейтронов лития ${}^6_3\text{Li}$ ($3p, 3n$), $\Delta W = 32$ МэВ, с одинаковым числом нуклонов.

Энергия связи ΔW нуклонов ядра отвечающая формуле Вейцеккера, $\Delta W(A, Z) = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma Z^2 A^{-1/3} + \delta(A, Z) - \zeta(0,5A - Z)^2 A^{-1}$, вполне соответствует дипольной природе взаимодействия нуклонов. Объяснение четырём первым членам её имеется в любом руководстве по ядерной физике.

Пятый член может иметь иную трактовку. Связанных состояний протон – протон, p, p и нейтрон – нейтрон, n, n вне атомного ядра не наблюдается, но внутри ядер они вполне вероятны. Энергия их связи ΔW следует неравенствам $\Delta W_{p,p} < \Delta W_{n,n} < \Delta W_{p,n}$.

Энергия связи между протонами ниже, чем между нейтронами по причине Кулоновского взаимодействия между их зарядами, первое неравенство.

Энергия связи между нейтральным нейтроном и протоном, обладающим электрическим зарядом, выше энергии связи между нейтронами. Нейтральность нейтрона является результатом взаимной компенсации электрических полей составляющих его протона и электрона, также как это происходит в атоме водорода. Существенное их отличие в том, что связь их в нейтроне более тесная. Нейтрон можно рассматривать, как атом водорода, подвергнутый сжатию до состояния, при котором его энергия повышается на 0,870 МэВ. Атом водорода в электрическом поле может быть несколько поляризован, в результате чего его энергия изменится на величину энергии взаимодействия с полем. По этому принципу и происходит повышение энергии связи в ядре между протоном и нейтроном, сравнительно энергии связи между нейтроном и нейтроном.

В заключение следует сказать, что дипольное представление связи нуклонов в ядре атома открывает новые возможности в познании устройства атомного ядра.

Список литературы:

1. Попенко В. Й. «Дипольные взаимодействия и взаимодействия между нуклонами» Тезисы для научной конференции «Перспективы развития современной науки», Киев 2015.
2. Степанец Ю. А., Попенко В. Й. Взаимодействие электрических диполей. Тезисы для научной конференции «Перспективы развития современной науки» 2015.
3. Степанец Ю. А., Попенко В. Й. Взаимодействие магнитных диполей. Тезисы для научной конференции «Перспективы развития современной науки» 2015.
4. Широков Ю. М. и Юдин Н. П. Ядерная физика. М. «Наука» 1972.
5. Кравцов В. А. Массы атомов и энергия связи ядер, Атомиздат, 1965.
6. Неудачин В. Г., Смирнов Ю. Ф., Нуклонные ассоциации в лёгких ядрах, «Наука», 1969.
7. Ли Ц., Ву Ц. Слабые взаимодействия, «Мир», 1968.

Попенко В.Й.

Науково-виробнича корпорація
«Київський інститут автоматки»

ДИПОЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ НУКЛОНІВ**Анотація**

У пропонованій статті розвинена ідея дипольної, електромагнітної природи взаємодії нуклонів, висунена в доповіді «Дипольні взаємодії і взаємодії між нуклонами» на науковій конференції «Перспективи розвитку сучасної науки», Київ 2015, а також зроблений аналіз енергії зв'язку нуклонів ядра з позиції її дипольної природи.

Ключові слова: диполь, магнітний момент, спин, нуклони, ядерні сили, енергія зв'язку.

Popenko V.I.

Scientifically Productive Corporation
«Kyiv Institute of Automation»

DIPOLE CO-OPERATION OF NUCLEONS**Summary**

The idea of dipole, electromagnetic nature of co-operation of nucleons, pulled out before in a lecture «Dipole co-operations and co-operations between nucleons» at scientific conference of «Prospect of development of modern science», Kyiv 2015, is developed in the offered article, and also the analysis of energy of connection of nucleons of kernel is done from position of her dipole nature.

Keywords: dipole, magnetic moment, spin, nucleons, nuclear forces, energy of connection.