

Попенко В.І.

Науково-виробнича корпорація
«Київський інститут автоматики»

СТАТИЧНИЙ АТОМ

Анотація

Аналіз взаємодії електрона і протона показує, що на певних відстанях взаємне тяжіння між ними змінюється відштовхуванням, що дозволяє припустити, що в атомі водню і інших атомах електрони і ядро пов'язані статично. У статті розглянуті можливі варіанти облаштування статичних атомів.

Ключові слова: атом, електрон, протон, ядро, Кулонівські взаємодії, слабкі взаємодії.

Popenko V.I.

Scientific and Production Corporation
«Kyiv Institute of Automation»

STATIC ATOM

Summary

The analysis of electron and proton interaction shows that on certain distances an interaction between them is replaced by repulsion, which allows supposing that in the atom of hydrogen and other atoms electrons and nucleus are statically connected. The possible variants of arrangement of static atoms are considered in the article.

Keywords: atom, electron, proton, nucleus, Coulomb interactions, weak interactions.

УДК 539.14

ДИПОЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ

Попенко В.И.

Научно-производственная корпорация
«Киевский институт автоматики»

Сопоставление свойств дипольных взаимодействий, со свойствами ядерных сил действующих между нуклонами, показывает высокую степень их адекватности. Учитывая, что по наличию у нуклонов магнитного дипольного момента, а так же спина, в определённой мере, можно предположить, что взаимодействия между нуклонами являются дипольными взаимодействиями их магнитных моментов и спинов, с примесью Кулоновского взаимодействия зарядов протонов. Анализ энергии связи нуклонов некоторых изотопов убедительно подтверждает идею дипольной природы нуклонных взаимодействий, которая может оказаться плодотворной в исследовании атомного ядра.

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

Электрический диполь получается, при размещении двух одинаковых по величине электрических зарядов разного знака (q и $-q$) на расстоянии l , являющимся характеристическим размером диполя [1].

Произведение зарядов диполя на расстояние между ними называется моментом диполя $d = q \cdot l$. Дипольный момент можно рассматривать, как вектор, направленный по оси диполя от положительно-го заряда к отрицательному

$$d = l \cdot q. \quad (1)$$

Заряды, образующие диполь, служат полюсами диполя.

Потенциал электрического поля диполя равен разности потенциалов в точке наблюдения, которые создают его заряды

$$\varphi_d = \frac{q}{r} - \frac{q}{r_1} = q \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r - l \cos \theta} \right) = q \frac{r - l \cos \theta - r}{r(r - l \cos \theta)} = - \frac{ql \cos \theta}{r^2 - rl \cos \theta}, \quad (2)$$

где r – расстояние до положительного заряда диполя, $r_1 = (r - l \cos \theta)$ – расстояние до отрицательного заряда диполя, θ – угол между моментом диполя и направлением в точку наблюдения [1].

На расстояниях значительно превышающих характеристический размер диполя, потенциал равен отношению скалярного произведения момента диполя и радиус-вектора в точку наблюдения к кубу расстояния до диполя

$$\varphi_d = - \frac{ql \cos \theta}{r^2 - rl \cos \theta} \approx - \frac{d}{r^2} \cos \theta = - \frac{d \cdot r}{r^3}. \quad (3)$$

Градиент потенциала диполя представляет его электрическое поле [3]

$$E_d = \nabla \varphi_d = \nabla \left(- \frac{d \cdot r}{r^3} \right) = \left(3r \frac{d \cdot r}{r^5} - \frac{d}{r^5} \right) = \frac{d}{r^3} \left(3 \frac{r}{r} \cos \theta - \frac{d}{d} \right). \quad (4)$$

Электрическое поле диполя убывает с расстоянием обратно пропорционально третьей степени расстояния и зависит от угла между моментом диполя и направлением в точку наблюдения.

Энергия взаимодействия электрического диполя и электрического заряда равна сумме энергии заряда в поле диполя и энергии диполя в поле заряда

$$W_{d,q} = \varphi_d \cdot Q + d \cdot E_Q = -2 \frac{d \cdot Q}{r^2} \cos \theta, \quad (5)$$

где Q – электрический заряд, E_Q – поле заряда. Энергия взаимодействия электрического диполя и заряда равна произведению момента диполя

и заряда, деленного на квадрат расстояния между ними, и зависит от ориентации диполя относительно поля заряда.

Энергия взаимодействия максимальна, когда вектор дипольного момента параллелен вектору поля заряда, минимальна, когда антипараллелен вектору поля и равна нулю, когда дипольный момент перпендикулярен вектору поля.

Градиент энергии взаимодействия электрического заряда и электрического диполя, согласно электродинамике, представляет силы взаимодействия между зарядом и диполем [3]

$$\nabla W_{Q,d} = \nabla[(\varphi_d \cdot Q) + (d \cdot E_Q)] = F_{Q(E_d)} + F_{d(E_Q)}. \quad (6)$$

$F_{Q(E_d)}$ – сила, действующая на заряд в поле диполя, $F_{d(E_Q)}$ – сила, действующая на диполь в поле заряда, при чем $F_{Q(E_d)} = -F_{d(E_Q)}$.

$$F_{d(E_Q)} = Q \frac{d}{r^3} \left(3 \frac{r}{r} \cos \theta - \frac{d}{d} \right), F_{Q(E_d)} = Q \frac{d}{r^3} \left(\frac{d}{d} - 3 \frac{r}{r} \cos \theta \right), \quad (7)$$

где r – радиус-вектор из центра диполя.

Силы взаимодействия диполя и заряда, наоборот пропорциональны третьей степени расстояния и зависят от ориентации диполя относительно направления на заряд или вектора электрического поля заряда.

Если вектор дипольного момента параллелен вектору напряженности поля заряда, между ними действуют силы отталкивания, если антипараллелен – силы притяжения. Когда диполь становится перпендикулярно вектору напряженности поля, силы взаимодействия становятся равными нулю, действие сил сменяется действием моментов сил.

Момент сил равен векторному произведению момента диполя на вектор электрического поля [3]

$$M_{d(E_Q)} = d \times E_Q = m_0 \frac{d \cdot Q}{r^2} \sin \theta, \quad (8)$$

где θ – угол между моментом диполя и направлением на заряд, m_0 – единичный орт момента сил, $m_0 \perp d$ и $m_0 \perp E_Q$.

Следует заметить, что на заряд в поле диполя также действует момент сил $M_{Q(E_d)}$ относительно центра диполя, равный по величине, но противоположного знака $M_{Q(E_d)} = Q(r \times E_d) = -M_{d(E_Q)}$.

Величина момента сил (8), действующих на электрический диполь в поле заряда обратно пропорциональна квадрату расстояния до заряда, и зависит от ориентации диполя относительно вектора электрического поля.

Момент сил стремится развернуть диполь к заряду полюсом противоположного знака, т.е. антипараллельно вектору поля заряда, ориентация, при которой энергия взаимодействия диполя с полем заряда отрицательна.

Момент сил имеет максимальное значение, когда диполь перпендикулярен вектору поля и равен нулю при параллельной и анти параллельной ориентации диполя вектору поля.

Ориентация диполя параллельно вектору поля является неустойчивым состоянием ориентации, поскольку любое незначительное отклонение диполя от нее приводит к возникновению момента сил направленного на увеличение этого отклонения.

Анти параллельная ориентация – устойчивое состояние ориентации. Любое отклонение от неё приводит к возникновению момента сил, направленного на уменьшение этого отклонения.

Действие момента сил направлено на ориентацию диполя относительно поля заряда, отвечающую их взаимному притяжению.

В результате действия момента сил, взаимное притяжение между свободными диполем и зарядом более вероятно, чем взаимное отталкивание.

Энергия диполя в электрическом поле равна скалярному произведению дипольного момента диполя d на вектор напряженности электрического поля в точке локализации диполя [3].

Энергия взаимодействия электрических диполей d_1 и d_2 равна энергии диполя d_1 в поле диполя d_2 , и энергии диполя d_2 в поле диполя d_1 .

$$W_{(d_1,d_2)} = d_1 \cdot E_{d_2} + d_2 \cdot E_{d_1} = d_1 \cdot \frac{1}{4\pi r^3} \left(d_2 - 3r_1 \frac{(d_2 r_1)}{r^2} \right) + d_2 \cdot \frac{1}{4\pi r^3} \left(d_1 - 3r_2 \frac{(d_1 r_2)}{r^2} \right) = \frac{2}{4\pi r^3} \left(d_1 \cdot d_2 - 3 \frac{(d_1 r_1)(d_2 r_1) + (d_1 r_2)(d_2 r_2)}{r^2} \right) = \frac{2d^2}{4\pi r^3} (\cos \gamma - 3 \cos \theta_1 \cos \theta_2). \quad (9)$$

Где: r_1 – вектор, соединяющий диполи d_1 и d_2 , θ_1 – угол между вектором r_1 и диполем d_1 , r_2 – вектор, соединяющий диполи d_2 и d_1 , θ_2 – угол между вектором r_2 и диполем d_2 , $r_1 = -r_2$, γ – угол между диполями d_1 и d_2 .

Энергия взаимодействия электрических диполей пропорциональна скалярному произведению их моментов, обратно пропорциональна кубу расстояния между ними.

Энергию взаимодействия можно записать произведением функции расстояния и функции взаимного расположения и ориентации диполей

$$W_{(d_1,d_2)} = \frac{d_1 d_2}{4\pi r^3} (2 \cos \gamma - 6 \cos \theta_1 \cos \theta_2), = W(r) \cdot f(\theta_1, \theta_2, \gamma). \quad (10)$$

Энергия взаимодействия в зависимости от взаимной ориентации диполей может быть, как положительной, так и отрицательной.

Градиент энергии взаимодействия диполей представляет силы взаимодействия между диполями [3]

$$F_1 = \nabla(d_1 \cdot E_{d_2}) = \nabla \left[d_1 \cdot \frac{1}{4\pi r^3} \left(d_2 - 3r_1 \frac{(d_2 r_1)}{r^2} \right) \right] = \frac{3}{4\pi r^4} \left(4r_1 \frac{(d_1 r_1)(d_2 r_1)}{r^3} - \frac{d_1(d_2 r_1) + d_2(d_1 r_1) + r_1(d_1 d_2)}{r} \right) = \frac{3}{4\pi r^4} \left(4 \frac{r_1}{r} \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \frac{r_1}{r} \cos \gamma - \frac{d_1}{d} \cos \theta_1 - \frac{d_2}{d} \cos \theta_2 \right). \quad (11)$$

$$F_2 = \nabla(d_2 \cdot E_{d_1}) = \nabla \left[d_2 \cdot \frac{1}{4\pi r^3} \left(d_1 - 3r_2 \frac{(d_1 r_2)}{r^2} \right) \right] = \frac{3}{4\pi r^4} \left(4 \frac{r_2}{r} \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \frac{r_2}{r} \cos \gamma - \frac{d_1}{d} \cos \theta_1 - \frac{d_2}{d} \cos \theta_2 \right), \quad (12)$$

где F_1 – сила, действующая на диполь d_1 в поле диполя d_2 , F_2 – сила, действующая на диполь d_2 в поле диполя d_1 , причем $F_1 = -F_2$, остальные обозначения такие же, как в уравнении энергии взаимодействия диполей.

Силы, действующие между равными по модулю диполями обратно пропорциональны четвертой степени расстояния между ними, зависят от взаимной ориентации диполей и ориентации диполей относительно прямой соединяющей диполи. В зависимости от взаимной ориентации диполей между ними могут действовать как силы притяжения, так и силы отталкивания. Ориентация взаимодействующих диполей определяется действием моментов сил.

На диполь в электрическом поле другого диполя действует момент сил равный векторному произведению дипольного момента на вектор напряженности электрического поля, создаваемого другим диполем [3]

$$M_1 = d_1 \times E_{d_2} = \frac{1}{4\pi r^3} (d_1 \times d_2 - 3d_1 \times r_2 \frac{(d_2 r_2)}{r^2})$$

$$M_2 = d_2 \times E_{d_1} = \frac{1}{4\pi r^3} (d_2 \times d_1 - 3d_2 \times r_1 \frac{(d_1 r_1)}{r^2}) \quad (13)$$

Моменты сил M_1 и M_2 обратно пропорциональны кубу расстояния между диполями и зависят от взаимной ориентации диполей.

Моменты сил равны нулю при параллельной и анти параллельной ориентации диполей и максимальны, когда диполи перпендикулярны.

Параллельная ориентация является устойчивым состоянием ориентации диполей, поскольку незна-

чительное отклонение от неё приводит к возникновению момента сил направленного на уменьшение этого отклонения. Энергия взаимодействия при параллельной ориентации отрицательна.

Антипараллельная ориентация является устойчивым состоянием ориентации диполей, поскольку при отклонении от неё возникает момент сил, направленный на увеличение этого отклонения. Энергия взаимодействия при антипараллельной ориентации положительна.

Моменты сил, действующие на диполи в поле друг друга, стремятся развернуть их противоположными полюсами друг к другу. При такой ориентации взаимная энергия диполей отрицательна и между ними действуют силы взаимного притяжения. Это означает, что между свободными диполями, если отсутствуют сторонние воздействия, превосходящие по величине взаимодействие диполей, между ними всегда реализуется взаимное притяжение.

При взаимном расположении диполей, отвечающем равенству нулю моментов сил действующих на диполи, косинусы углов в (10) равны ± 1 , функция, взаимного расположения и ориентации диполей, $f(\theta_1, \theta_2, \gamma) = (2\cos\gamma - 6\cos\theta_1\cos\theta_2)$ может принимать одно из четырех значений $-4, -8, +4, +8$.

Положительные значения энергии соответствуют силам отталкивания между диполями. Связанным состояниям отвечает отрицательная энергия взаимодействия. Таким образом, в зависимости от взаимного расположения и ориентации диполей в связанном состоянии, энергия связи диполей может принимать два значения

$$W_i = -4W(r), W_i = -8W(r). \quad (14)$$

Все перечисленные свойства взаимодействия электрических диполей присущи и взаимодействию магнитных диполей [4].

Взаимодействие магнитов удобно наблюдать на двух одинаковых цилиндрических магнитах подвешенных горизонтально за точки центра тяжести.

На расстояниях нескольких длин магнитов взаимодействие, практически не наблюдается. При сближении магнитов, под действием моментов ил происходит их взаимная ориентация. Магниты разворачиваются друг к другу противоположными полюсами, которые оказались ближе друг к другу.

После нескольких колебаний магниты устанавливаются соосно противоположными полюсами друг к другу.

При дальнейшем сближении начинает сказываться взаимное притяжение магнитов. Притяжение происходит до механического соприкосновения магнитов. Энергию связанных магнитов следует называть энергией связи.

С помощью динамометра можно измерить силу необходимую для разрыва слипшихся торцами магнитов. Такие же измерения с магнитами, соединенными боковыми сторонами, сориентированными противоположными полюсами друг к другу, покажут, что для разрыва их, необходимы более значительные усилия.

Это означает что связь магнитов, и диполей вообще, при параллельном соединении, ориентированных противоположными полюсами друг к другу, значительно сильнее, чем диполей соединенных последовательно противоположными полюсами друг к другу.

Это вполне объяснимо. При параллельном соединении взаимодействуют четыре полюса магнитов, два полюса одного магнита с двумя полюсами другого магнита. При последовательном соединении взаимодействуют только два полюса магнитов, один полюс одного магнита с противоположным полюсом

другого магнита. Соответственно и энергия связи параллельно и последовательно соединенных диполей отличается почти в два раза [4].

Если один из магнитов полей, что позволяет другому магниту вдвигаться в него, притяжение магнитов будет происходить до момента начала вхождения одного магнита в другой. При незначительном вхождении одного магнита в другой они останутся, хотя механического препятствия в этом случае нет. Более того, полностью вдвинутые друг в друга магниты с определенной силой будут стремиться разойтись в разные стороны. Между со вмещенными магнитами (вдвинутыми друг в друга) действуют силы расталкивания.

При выходе внутреннего магнита за пределы внешнего происходит перемена вида взаимодействия, отталкивание сменяется притяжением [4].

Объяснение факту перемены знака взаимодействия диполей при их совмещении лежит в формуле потенциала диполя (3):

$$\varphi_d = -\frac{ql\cos\theta}{r^2 - rl\cos\theta}.$$

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 $\varphi_{d(r>l)} \approx -d/r^2$.

При уменьшении расстояния между диполями до значений 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, взаимное притяжение сменится взаимным отталкиванием.

Таким образом, дипольным взаимодействиям свойственен минимальный радиус притяжения, при котором отрицательная энергия взаимодействия диполей максимальна и называется энергией связи диполей. На расстояниях меньших этого радиуса между диполями действуют силы отталкивания.

Эти особенности взаимодействия присущи всем частицам и микрообъектам, электрическим или магнитным полям, которых свойственен дипольный момент [4].

Ориентация диполей разноименными полюсами друг к другу по оси их соединяющей, является устойчивым состоянием ориентации. Это объясняется тем, что при любом, незначительном отклонении диполей, возникает момент сил направленный на устранение этого отклонения.

Результатом взаимодействия множества свободных хаотически ориентированных диполей является их взаимная ориентация, приводящая к понижению общей энергии системы и взаимному притяжению диполей.

Это подтверждается фактом самопроизвольного слипания намагниченных железных опилок в ком под действием сил взаимного притяжения.

Связанные, взаимным притяжением диполи образуют различные ассоциации. Два диполя могут быть связаны последовательно противоположными полюсами друг к другу, (схематично $\Rightarrow \Rightarrow$). При последовательном соединении имеется только одна связь полюсов на два диполя, которой соответствует определенная энергия связи.

Дипольный момент последовательной связи диполей возрастает пропорционально количеству связанных диполей.

Диполи могут быть связаны параллельно, с противоположной ориентацией полюсов, (схематично $\uparrow\downarrow$). Параллельное соединение двух диполей образует квадруполь и содержит две связи полюсов диполей. Такому соединению диполей соответствует вдвое большая энергия связи.

Результирующий дипольный момент параллельного соединения диполей равен нулю при четном числе диполей и одному при нечетном их количестве.

Три диполя, связанные противоположными полюсами могут образовать замкнутый треугольник. Такое соединение содержит три связи полюсов на три диполя. Энергия связи этого соединения, очевидно, раза в три больше энергии последовательно соединенных двух диполей.

Самая сильная связь диполей получается при параллельном соединении четырех диполей с противоположной ориентацией полюсов соседних диполей. Такое соединение четырех диполей образует октуполь и содержит восемь связей между полюсами диполей. Энергия связи октуполя не менее восьми раз больше последовательного соединения двух диполей.

Различные ассоциации диполей обладают различной мультипольностью и скоростью убывания их поля с расстоянием. Силы, связывающие эти ассоциации, убывают пропорционально их полям [4].

Сила взаимодействия зарядов убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между ними $F_{qq} \propto 1/r^2$. Заряда с диполем – кубу расстояния $F_{qd} \propto 1/r^3$. Диполя с диполем – четвертой степени $F_{dd} \propto 1/r^4$. Квадруполь с диполем – пятой степени $F_{kd} \propto 1/r^5$. Квадруполь с квадруполем – шестой $F_{kk} \propto 1/r^6$. Октуполя с квадруполем – седьмой $F_{ok} \propto 1/r^7$. Октуполя с октуполем – восьмой степени расстояния $F_{oo} \propto 1/r^8$.

Чем выше степень мультипольности ассоциации, тем больше степень скорости убывания сил связывающих их. Это означает, что радиус действия сил их связывающих ничтожно мал, по сравнению с радиусом действия сил между ядром и электронами атомов. Хотя порядок сил связывающих их может быть не сравнено больше порядка сил связывающих электроны в атомах.

Параллельным соединением невозможно связать нечетное число диполей, так чтобы все соседние диполи были ориентированы противоположными полюсами друг относительно друга, некоторые соседствующие диполи будут ориентированы одноименными полюсами друг относительно друга, что заметно снижает энергию связи.

Последовательное соединение не имеет этой особенности, но при одинаковом количестве диполей, энергия связи последовательного соединения в несколько раз меньше.

Перечислим основные свойства дипольных взаимодействий:

1. В результате действия моментов сил на взаимодействие диполей между ними реализуется взаимное притяжение.

2. Силы взаимного притяжения диполей убывают обратно пропорционально четвертой степени расстояния между ними, а силы связей ассоциаций диполей, таких как квадруполь или октуполь убывают обратно пропорционально шестой и восьмой степени расстояния. Силы дипольного взаимодействия являются короткодействующими силами.

3. Взаимодействие диполей зависит от их взаимной ориентации.

4. Силы дипольного взаимодействия носят не центральный характер.

5. Энергия связи двух диполей отличается на дискретную величину в зависимости от способа их расположения, а для нескольких диполей может иметь несколько 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 соседними диполями и почти не взаимодействует с отдаленными диполями.

7. Дипольному взаимодействию свойственен граничный радиус сближения диполей, которому соответствует минимум энергии взаимодействия, ближе которого притяжение сменяется отталкиванием. Граничный радиус имеет порядок характеристического размера диполя.

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

9. Энергия взаимодействия диполей пропорциональна произведению дипольных моментов, обратно пропорциональна третьей степени расстояния между ними и зависит от взаимной ориентации диполей.

10. Дипольный момент параллельного соединения четного числа диполей равен нулю. Нечетного числа диполей равен одному моменту.

11. При последовательном соединении диполей дипольные моменты суммируются.

Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, называемых нуклонами. Нуклоны в атомном ядре связаны ядерными силами, которым характерны следующие свойства [2].

1. Ядерные силы являются силами притяжения между нуклонами.

2. Ядерные силы являются короткодействующими силами.

3. Ядерные силы существенно зависят от ориентации их спинов и связанных с ними магнитных моментов.

4. Ядерные силы не центральны.

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

6. Ядерные силы обладают свойством насыщения. С увеличением ядра энергия связи на нуклон остаётся примерно постоянной.

7. Ядерные силы притягивают нуклоны в области 10^{-13} см, но на существенно меньших расстояниях переходят в силы отталкивания.

8. Ядерные силы проявляют зависимость от четности или нечетности взаимодействующих нуклонов.

9. Ядерные силы велики по абсолютной величине.

10. Магнитный момент четно – четных ядер, т.е. с четным числом протонов и нейтронов равен нулю. Для остальных ядер не превышает десяти единиц.

Ядерные силы, практически, по десяти пунктам совпадают со свойствами дипольных взаимодействий. Это даёт повод полагать, что ядерные взаимодействия являются, по сути, дипольными взаимодействиями, а взаимодействующие частицы, т.е. нуклоны являются диполями.

По сути, нуклоны протон и нейтрон являются магнитными диполями с магнитными моментами $\mu_p = 2,79 \mu_0$ и $\mu_n = -1,91 \mu_0$ соответственно, где μ_0 – магнетон Бора, $\mu_0 = eh/4\pi M_p c = 5,05 \cdot 10^{-24}$ эрг/гаус [2].

С магнитным моментом нуклонов связан момент количества движения частицы спин I , $\mu = g \cdot I$, где $g = e/2Mc$ – гиромагнитное отношение.

Энергия взаимодействия магнитного диполя с внешним магнитным полем равна $W = -\mu \cdot H$. По

этому принципу, собственный магнитный момент одного нуклона – диполя взаимодействует с магнитным полем соседнего диполя – нуклона.

Несомненно, во взаимодействии участвуют и спины нуклонов, но спиновые поля не достаточно изучены.

В таблицах I–IV приведены значения энергии связи нуклонов некоторых ядер и комментарии их энергии с позиции дипольных взаимодействий [5]

Латинские буквы ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$, ${}^3_3\text{Li}$... – символы химических элементов. Нижний индекс – номер элемента и, соответственно число протонов в ядре, верхний – массовое число ядра изотопа и, соответственно число нуклонов в ядре. Числа в круглых скобках – энергия связи нуклонов ядра. В квадратных скобках – величина энергии связи, присоединения последнего нуклона изотопа. Звёздочка * обозначает разность энергии связи ядра изотопа и изотопа предыдущего элемента с одинаковыми массовыми числами. В фигурных скобках энергия связи ядра, приходящаяся на нуклон.

Следует напомнить, что энергия связи – это энергия, на которую понижается собственная энергия объектов, вступающих в связь. Увеличению энергии связи системы означает уменьшение собственной энергии связанных объектов на величину возрастания энергии связи.

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

Энергия связи двух нуклонов протона и нейтрона в ядре дейтрона ${}^2_1\text{H}$ составляет 2,2 МэВ, по 1,1 МэВ на нуклон. Можно полагать, что дейтрон представляет собой два связанных диполя, расположенных соосно противоположными полюсами друг к другу. (Схематично $\Rightarrow\rightarrow$, или $\leftarrow\leftarrow$, где одинарная стрелка отображает диполь – нейтрон, двойная отображает диполь – протон, полюса диполей – острие стрелки и её конец).

Соосное расположение диполей предполагает одинарную связь диполей, т.е. связь только двух противоположных полюсов диполей. Одинарная связь нуклонов дейтрона предполагает минимальную энергию связи 2,2 МэВ.

Энергия связи трёх нуклонов, одного протона и двух нейтронов в ядре изотопа водорода трития ${}^3_1\text{H}$ тритоне составляет 8,5 МэВ. Увеличение числа нуклонов еще на один нейтрон сравнительно дейтрона, содержащего протон и нейтрон, связь которых в дейтроне составляет 2,2 МэВ, увеличивает энергию связи сразу на 6,3 МэВ. Возможно, нуклоны – диполи тритона соединены в цепочку треугольником, противоположными полюсами друг к другу. Такое соединение насчитывает три связи полюсов диполей. Предполагаемая энергия связи такого соединения раза в три больше энергии связи дейтрона и для тритона составляет 8,5 МэВ. Средняя энергия связи тритона составляет 2,8 МэВ 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}.

Энергия связи трёх нуклонов изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$, отличающегося от тритона тем, что содержит два протона и один нейтрон, на 0,8 МэВ меньше энергии связи тритона и составляет 7,7 МэВ. Можно полагать, что снижение энергии дипольной связи трёх нуклонов гелия ${}^3_2\text{He}$, по сравнению с энергией дипольной связи трёх нуклонов тритона ${}^3_1\text{H}$ является результатом кулоновского взаимодействия между двумя протонами в ядре изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$.

Энергия связи четырёх нуклонов гелия ${}^4_2\text{He}$ из двух протонов и двух нейтронов составляет 28,3 МэВ. Можно предположить, что нуклоны–диполи

соединены параллельно с противоположной ориентацией полюсов соседних диполей с образованием октуполя. (Схематично $\rightarrow\uparrow\leftrightarrow\downarrow\leftrightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\leftarrow$),

Вертикальные одиночные стрелки отображают нейтроны, вертикальные двойные стрелки отображают протоны, горизонтальные двух конечные стрелки отображают связь между соседними нуклонами, горизонтальные крайние одно конечные – отображают связь между крайними первым и четвёртым нуклонами, т.е. разорванную двухконечную стрелку.

В пространственном изображении это была бы четырёхугольная фигура, в сторонах которой – связи между диполями – нуклонами, а в вершинах, диагонально – одноименные нуклоны.

Соединение диполей – нуклонов в октуполь содержит восемь связей между противоположными полюсами диполей. На схематичном изображении это связи четырёх полюсов вверху и четырёх внизу. Энергия связи диполей – нуклонов в октуполь предположительно в восемь раз больше энергии односвязного дейтрона и для гелия ${}^4_2\text{He}$ составляет 28,3 МэВ.

Октуполь энергетически наиболее выгодная конфигурация связи четырёх диполей, составленная из двух связанных между собой квадруполей.

Это подтверждается тем, что добавление к двум протонам и одному нейтрону изотопа гелия ${}^3_2\text{He}$ еще одного нейтрона, с образованием гелия ${}^4_2\text{He}$, сразу увеличивает энергию связи на 20,6 МэВ. С 7,7 МэВ гелия ${}^3_2\text{He}$, до 28,3 МэВ гелия ${}^4_2\text{He}$, притом, что средняя энергия связи гелия ${}^4_2\text{He}$, приходящаяся на нуклон, не превышает 7,07 МэВ.

Всплеск энергии связи при соединении двух протонов и двух нейтронов в октуполь обусловлен и тем, что в энергии связи протона и нейтрона, кроме энергии дипольного взаимодействия, возможно, присутствует определённая доля энергии взаимодействия зарядов протонов с зарядами электронов, связанными в нейтрон слабыми взаимодействиями.

Присоединение третьего нейтрона к изотопу гелия ${}^4_2\text{He}$ с образованием изотопа ${}^5_2\text{He}$ нарушает энергетически наиболее выгодную конфигурацию связи четырёх нуклонов – диполей в октуполь. Нечётное число диполей ориентированных, скажем, вертикально невозможно соединить в замкнутую цепочку с правильным чередованием противоположных полюсов. На схематичном изображении перечеркнутые стрелки обозначают, что крайние нуклоны не связаны между собой полноценной дипольной связью $\rightarrow\downarrow\leftrightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\leftrightarrow\uparrow\leftarrow\downarrow\leftarrow$.

По этой причине полная энергия связи не только не повышается на величину средней энергии связи с присоединением очередного пятого нуклона в изотопе гелия ${}^5_2\text{He}$, а уменьшается на 1 МэВ, по сравнению с энергией связи четырёх нуклонов в гелии ${}^4_2\text{He}$ и составляет 27,3 МэВ.

Присоединение еще одного нейтрона к изотопу гелия ${}^5_2\text{He}$, с образованием изотопа ${}^6_2\text{He}$ устраняет дефект нечетности в гелии ${}^5_2\text{He}$, и повышает энергию связи ядра на 2 МэВ, сравнительно изотопа ${}^5_2\text{He}$.

Табл. III.

${}^5_3\text{Li}$; (26,3); * [-1]; {5,26}. ${}^6_3\text{Li}$; (32,0); [5,7]; {5,33}.

${}^7_3\text{Li}$; (39,2); [7,2]; {5,6}. ${}^8_3\text{Li}$; (41,3); [2,1]; {5,16}.

Энергия связи пяти нуклонов в ядре изотопа лития ${}^5_3\text{Li}$ меньше энергии связи пяти нуклонов изотопа гелия ${}^5_2\text{He}$ на 1 МэВ. Причиной тому является то, что один нейтрон изотопа гелия ${}^5_2\text{He}$ замещен

протоном в изотопе лития ${}^5_3\text{Li}$, и кулоновское взаимодействие его заряда с зарядами двух других протонов понижает энергию взаимодействия.

Но уже в изотопе ${}^6_3\text{Li}$ энергия связи трёх пар нуклонов, образующих конфигурацию октуполь – квадруполь повышается по сравнению с энергией связи изотопа лития ${}^5_3\text{Li}$, на 5,7 МэВ.

Следующее присоединение нейтрона с образованием изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$ представляет конфигурацию октуполь плюс тритон, энергия связи его повышается на величину 7,2 МэВ, превосходящую энергию связи тритона на 0,9 МэВ.

Последующее присоединение нейтрона в изотопе лития ${}^8_3\text{Li}$ не образует энергетически выгодных конфигураций связи диполей, и его энергия повышается всего на 2,1 МэВ.

Табл. IV.

${}^6_4\text{Be}$; (26,9); * [-5,1]; {4,48}. ${}^7_4\text{Be}$; (37,6); [10,7]; {5,37}.

${}^8_4\text{Be}$; (56,5); [18,9]; {7,06}. ${}^9_4\text{Be}$; (58,2); [1,7]; {6,46}.

${}^{10}_4\text{Be}$; (65,0); [6,8]; {6,5}. ${}^{11}_4\text{Be}$; (65,5); [0,5]; {5,95}.

Изотоп бериллия ${}^6_4\text{Be}$ на четыре протона содержит лишь два нейтрона, которые конструктивно могут разделить от непосредственного соседства только три, содержащих заряды, протона, как в изотопе ${}^6_3\text{Li}$.

Схематически линейно это можно отобразить следующим образом: ${}^6_3\text{Li}$, ($\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow$); ${}^6_4\text{Be}$, ($\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow\leftarrow\rightarrow$).

По этой линейной семе видно, что четыре протона нельзя разделить двумя нейтронами. Хотя чередование последовательности ориентации диполей соблюдается, т.е. дипольные связи допускают такую комбинацию нуклонов.

В пространственной конструкции нуклоны изотопа ${}^6_4\text{Be}$ сгруппированы предположительно в октуполь с присоединенным к нему квадруполем. Два нейтрона ${}^6_4\text{Be}$ не могут разделить друг от друга четыре протона.

Преобладание заряженных протонов и не возможность отделить их друг от друга нейтронами, является причиной понижения энергии связи в изотопе бериллия ${}^6_4\text{Be}$ на 5,1 МэВ по сравнению с изотопом лития, содержащем одинаковое с ним количество нуклонов.

Присоединение к бериллию ${}^6_4\text{Be}$ еще одного нейтрона разделяющего два соседствующие протона и ослабляющего их кулоновское взаимодействие повышает энергию связи, в образующемся изотопе ${}^7_4\text{Be}$ сразу на 10,7 МэВ.

С последующим присоединением нейтрона и образованием бериллия ${}^8_4\text{Be}$, в котором конфигурация связи нуклонов может быть представлена двумя, связанными октуполями, являющимися энергетически наиболее выгодными конструкциями, энергия связи бериллия ${}^8_4\text{Be}$ поднимается сразу на 18,9 МэВ сравнительно ${}^7_4\text{Be}$ и составляет 56,5 МэВ.

Присоединение еще одного пятого нейтрона к конфигурации двух октуполей в бериллии ${}^9_4\text{Be}$, по причине не возможности связать нечетное число параллельных диполей с правильным чередованием полярности по аналогии с ${}^5_2\text{He}$ даёт незначительное увеличение энергии связи, всего на 1,7 МэВ.

Еще один десятый нуклон бериллия ${}^{10}_4\text{Be}$ устраняет этот дефект нечетности, и энергия связи ядра изотопа ${}^{10}_4\text{Be}$ возрастает на 6,8 МэВ.

В бериллии ${}^{11}_4\text{Be}$ та же проблема нечетности, что и у изотопа ${}^9_4\text{Be}$, поэтому, с его образованием добавляется всего 0,5 МэВ.

Подобный качественный анализ можно выполнить практически для всех изотопов химических

элементов, но целесообразнее остановиться на более общих свойствах дипольных взаимодействий нуклонов ядер.

Естественная радиоактивность, свойственная нестабильным изотопам, помимо испускания электронов, позитронов и γ излучения происходит в виде испускания α -частиц, представляющих собой ядра атомов гелия, состоящие из четырёх нуклонов, двух протонов и двух нейтронов.

С позиции дипольной природы ядерных сил α -частица представляет четыре диполя, связанных в октуполь, со средней энергией связи 8,07 МэВ. Это очень прочная конструкция. Максимальная энергия связи нуклонов в ядрах атомов порядка 8,8 МэВ на нуклон, всего на 0,73 МэВ выше средней энергии связи диполей нуклонов в октуполе, α -частицы.

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, т.е. нуклоны – диполи, объединённые в октуполи.

Убедительным подтверждением этому, является наличие у многих изотопов всплесков энергии связи, в разы превышающих среднюю на нуклон энергию связи нуклонов в ядрах при присоединении очередного нуклона [6].

Средняя энергия связи нуклонов в ядре составляет около (7÷8) МэВ. Добавление нуклона к ядру повышает суммарную энергию связи, в среднем, на эту величину. Но, когда количество нуклонов становится кратным четырём нуклонам октуполя, два протона и два нейтрона, добавление нейтрона, завершающего эту кратность, сопровождается увеличением энергии, превосходящим среднюю энергию связи в два три раза.

Особенно четко это проявляется у тридцати легких элементов.

В таблице V приведены изотопы химических элементов с четными номерами, у которых наблюдаются всплески энергии связи, возникающие при добавлении к ядру изотопа следующего нуклона. В первой колонке символы химических элементов. Номер элемента, соответствующий его заряду (нижний индекс), массовое число (верхний индекс). Суммарная энергия связи ядра в МэВ в первой числовой колонке. Средняя на нуклон энергия связи во второй колонке. Энергия присоединения нейтрона, завершающего кратность октуполю (всплеск энергии) в третьей колонке. Число блоков – октуполей в ядре изотопа в четвертой колонке. Энергия связи, приходящаяся на один блок – октуполь ядра в пятой колонке.

Табл. V.

${}^4_2\text{He}$; 28,3; 7,0; 20,6; 1; 28,3. ${}^8_4\text{Be}$; 56,5; 7,0; 18,9; 2; 28,2.

${}^{12}_6\text{C}$; 92,2; 7,6; 18,8; 3; 30,7. ${}^{16}_8\text{O}$; 127,6; 7,9; 15,7; 4; 31,9.

${}^{20}_{10}\text{Ne}$; 160,6; 8,0; 16,18; 5; 32,1. ${}^{24}_{12}\text{Mg}$; 198,3; 8,2; 16,6; 6; 33,1.

${}^{28}_{14}\text{Si}$; 236,5 8,4; 17,1; 7; 33,8. ${}^{32}_{16}\text{S}$; 271,8; 8,5; 15,1; 8; 34.

${}^{36}_{18}\text{Ar}$; 306,7; 8,5; 15,3; 9; 34,1. ${}^{40}_{20}\text{Ca}$; 342; 8,5; 15,6; 10; 34,2.

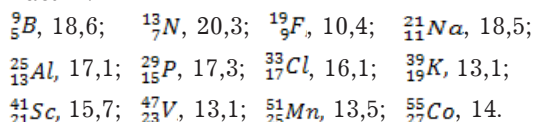
${}^{44}_{22}\text{Ti}$; 375,6; 8,5; 16,4; 11; 34,15. ${}^{50}_{24}\text{Cr}$; 422,1; 8,4; 12,9; 12; 35,2.

${}^{54}_{26}\text{Fe}$; 471,7; 8,7; 13,6; 13; 36,2. ${}^{58}_{28}\text{Ni}$; 506,4; 8,7; 12,1; 14; 36,17.

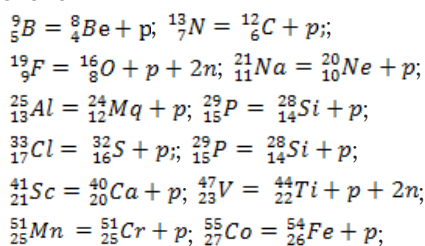
${}^{62}_{30}\text{Zn}$; 538,1; 8,7; 12,6; 15; 35,9. ${}^{68}_{32}\text{Ge}$; 590,2; 8,7; 12; 16; 36,9.

В таблице VII даны только энергия присоединения нейтрона, завершающего кратность октуполя, т.е. всплески энергии элементов с нечетными номерами.

Табл. VII.



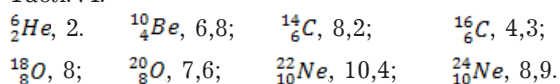
Механизм образования всплесков примерно же, как и для ядер элементов с четными номерами. Изотопы таблицы VII являются изотопами таблицы V с добавлением к ним протона, а к некоторым еще двух нейтронов. Наличие двух нейтронов некоторых изотопов связано с их лишним протоном.



Необходимо отметить, что всплески энергии не связаны с четно – четностью ядер, на которой акцентируется внимание в ядерной физике.

Многие ядра изотопов обладают свойством четно – четности, но энергия связи их не испытывает всплесков, превосходящих среднюю энергию на нуклон, при присоединении нуклона, обеспечивающего четно – четность ядра. Примеры их даны в таблице VI.

Табл. VI.



Величина всплесков энергии у более тяжелых элементов с ростом числа нуклонов в ядре снижается. Это объясняется тем, что конфигурация ядра с ростом числа нуклонов постепенно обретает шаровую форму, происходит деформация блочной структуры ядра и нивелирование его поверхности. Присоединение последующих нуклонов – диполь происходит не к незавершенным фрагментам блоков октуполей, сопровождающееся всплесками энергии связи, а к нивелированной, в определенной мере однородной поверхности ядра, и энергия их связи становится более однородной. Примером тому является 81 элемент теллур *Tl* и следующие за ним элементы.

Кулоновский скалярный потенциал нескольких зарядов алгебраически суммируется, поэтому кулоновские силы расталкивания протонов в ядре с увеличением зарядового числа ядра *Z* возрастают.

Силы дипольных взаимодействий являются короткодействующими силами. Каждый диполь интенсивно взаимодействует с соседними прилегающими к нему диполями и практически не взаимодействует со следующими за ними.

По этой причине средняя энергия связи в ядре, приходящаяся на один нуклон, с ростом числа нуклонов возрастает незначительно от 5,5 МэВ для лития до 8,7 МэВ для средних ядер.

Не смотря на пропорциональное числу протонов увеличение кулоновского потенциала, снижающего энергию связи, с увеличением числа нуклонов в ядре энергия связи всё же возрастает. Причиной тому является, так называемый поверхностный эффект, объяснение которому имеется в любом руководстве по ядерной физике.

К тому же с увеличением числа нуклонов растёт отношение числа нейтронов к количеству протонов в ядре, с единицы для лёгких ядер, до полутора для

тяжелых ядер, что в свою очередь снижает плотность объёмного заряда в ядре и кулоновское взаимодействие между протонами.

Нейтроны – это протоны, соединенные с электронами и удерживаемые в связанном состоянии Кулоновским потенциалом, соседствующего с ним протона связанного с нейтроном дипольным взаимодействием и расположенного от него на малом расстоянии. Вне ядра нейтроны не могут существовать длительное время, и за время порядка 11 минут происходит их распад на протон и электрон, с высвобождением энергии, так называемого слабого взаимодействия, равной 0,783 МэВ.

О том, что дипольная связь протона с нейтроном удерживает нейтрон от распада, убеждает факт стабильности дейтрона. В дейтроне дипольными ядерными силами связаны стабильная частица протон и нестабильная частица нейтрон и, поскольку дейтрон является стабильным изотопом, связанные в нём нуклоны, стабильный протон и не стабильный нейтрон, образуют стабильное образование стабильно существующее сколь угодно долго.

Даже относительно нестабильный изотоп тритий, в ядре, которого тритоне связаны один протон и два нейтрона, также подтверждает то, что нейтроны удерживают от распада связь с протоном. Время распада тритона, с трансформацией одного нейтрона в протон и испусканием электрона составляет около 12 лет. В то время, как распад свободного, не связанного с протоном нейтрона, также с трансформацией в протон и электрон составляет порядка 11 минут.

Одним из возможных процессов образования нейтронов внутри ядра, является *K* – захват электронов тяжелыми ядрами, испытывающими недостаток нейтронов. В этом случае происходит внутриядерная трансформация протона с захваченным электроном в нейтрон.

Распад свободного нейтрона происходит с высвобождением энергии, так называемого слабого взаимодействия.

Эта энергия, порядка 0,783 МэВ передаётся в виде кинетической энергии разлетающимся частицам, и излучается на оптических и рентгеновских частотах при ускорении частиц.

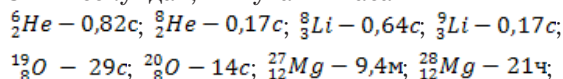
Излучение трудно регистрируемое, поскольку плотность его на десятки порядков ниже, чем плотность наблюдаемых оптических и рентгеновских излучениях атомов, так как плотность излучающих атомов, настолько же порядков больше количества нейтронов испытывающих распад.

Это трудно наблюдаемое излучение названо анти нейтрино, существует также трудно наблюдаемое излучение, называемое нейтрино.

Распад характерен не только для свободных нейтронов. Распад происходит и внутри ядра, когда интенсивность, или плотность ядерных сил не достаточна для удержания некоторых нейтронов от распада. Время жизни их может длиться от долей секунд до нескольких часов.

Испускание ядром изотопа электронов называется β -распадом. Ядра изотопов, перегруженные нейтронами практически всех химических элементов подвержены электронному распаду.

Ниже приведены примеры некоторых изотопов, подверженных электронным распадам и время их жизни в секундах, минутах и часах.



Для нестабильных изотопов ядер с недостатком нейтронов характерен противоположный электрон-

ному распаду процесс K – захвата электронов и конкурирующий с ним позитронный распад.

Электронный распад изотопов является следствием трансформации нейтрона в протон внутри ядра.

С увеличением числа протонов в ядре увеличивается плотность заряда, возрастает кулоновский потенциал. Кулоновские силы расталкивания в ядре конкурируют с ядерными силами, понижая среднюю энергию связи нуклонов.

Начиная с ядер с массовым числом более 50, рост кулоновского потенциала начинает опережать рост энергии связи диполей, нуклонов. Максимум средней на нуклон энергии связи, составляющий 8,8 МэВ, приходится на ядра с массовыми числами порядка 56.

Дальнейшее увеличение числа нуклонов в ядре, и протонов в их числе, сопровождается по-

нижением средней энергии связи до величины порядка 7,5 МэВ для ядер с массовыми числами порядка 240.

У искусственно получаемых в лабораторных условиях ядер, с массовыми числами более 240 кулоновский потенциал настолько высок, что силы кулоновского расталкивания между протонами становятся сравнимы с ядерными силами. Эти, искусственно создаваемые ядра разваливаются, просуществовав не более долей секунд с момента их образования.

Можно считать, что подход с позиции дипольных взаимодействий к природе ядерных сил даёт вполне логичное качественное объяснение спектров энергии связи нуклонов в атомных ядрах. Облечь правомерность его в математическую форму – прерогатива теоретиков.

Список литературы:

1. Джексон Дж. Классическая электродинамика. – М. «Мир» 1965.
2. Широков Ю. М. и Юдин Н. П. Ядерная физика. М. «Наука» 1972.
3. Степанец Ю. А. Попенко В. Й. Взаємодії електричних диполів. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
4. Степанец Ю. А. Попенко В. Й. Взаємодія магнітних диполів. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
5. Попенко В. Й. Дипольні взаємодії і взаємодії між нуклонами. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
6. Попенко В. Й. Де які особливості взаємодії нуклонів. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.

Попенко В.Й.

Науково-виробнича корпорація
«Київський інститут автоматики»

ДИПОЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ ТА ВЗАЄМОДІЇ НУКЛОНІВ

Анотація

Зіставлення властивостей дипольних взаємодій, зі властивостями ядерних сил що діють між нуклонами, показує високу міру їх адекватності. Враховуючи, що до певної міри, нуклони являються диполями, завдяки наявності у них магнітного дипольного моменту, а так само спина можна припустити, що взаємодії між нуклонами є дипольними взаємодіями їх магнітних моментів і спінів, з домішкою Кулонівської взаємодії зарядів протонів. Аналіз енергії зв'язку нуклонів деяких ізотопів переконливо підтверджує ідею дипольної природи взаємодій між нуклонами, яка може виявитися плідною в дослідженні атомного ядра.

Ключові слова: диполь, магнітний момент, спин, нуклони, ядерні сили.

Popenko V.I.

Scientific and Production Corporation
«Kyiv Institute of Automation»

DIPOLE INTERACTIONS AND INTERACTIONS OF NUCLEONS

Summary

Comparison of properties of dipole interactions with properties of nuclear forces operating between nucleons shows high degree of their adequacy. Taking into account the fact that in a certain measure, nucleons are dipoles, due to a presence of magnetic dipole moment, and spin, it is possible to suppose that interactions between nucleons are dipole interactions of their magnetic moments and spins, with the admixture of Coulomb's interaction of charges of protons. The analysis of energy of connection of nucleons of some isotopes convincingly confirms the idea of dipole nature of nucleon cooperation, which can appear fruitful in research of atomic nucleus.

Keywords: dipole, magnetic moment, spin, nucleons, nuclear forces.