

Максимихін М.С.

Університет міста Ман, Франція,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Парп'єв Т.А.

Університета міста Ман, Франція

НЕРУЙНИВА МАГНІТО-ОПТИЧНА ЛАЗЕРНА ТЕРМОМЕТРИЯ

Анотація

Виконане дослідження зразків наноматеріалів за допомогою магнітооптичних методів. Один комплект зразків має невелику коерцитивну силу й не можливо змінити його за допомогою слабого зовнішнього магнітного поля. В іншому наборі зразків коерцитивна сила більше, тому після прогріву такого зразка за допомогою лазера можна спостерігати зміну петлі гістерезису при нагріванні. Дуже цікаве спостереження було зроблено, для тонкого шару немагнітного матеріалу (40 нм золота) із проникнення світла 15 нм можна було спостерігати магнітооптичний сигнал наступній вкладці магнітного шару. Застосування даної методики дозволяє контролювати якість і однорідність ферромагнітних зразків з нанометровим дозволом по глибині без застосування складної фемтосекундної техніки. Ми не спостерігали зменшення магнітного сигналу з нагріванням за допомогою безперервного лазера високої (до 1,5 Вт) потужності, але спостерігалась зміна коерцитивної сили.

Ключові слова: лазер, термометрія, магніт, петля гістерезису, сигнал.

Максимихин Н.Е.

Университет города Ман, Франция,
Национальный технического университета Украины
«Киевский политехнический институт»

Парпиев Т.А.

Университета города Ман, Франция

НЕРАЗРУШАЮЩАЯ МАГНИТО-ОПТИЧЕСКАЯ ЛАЗЕРНАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ

Аннотация

Выполнено исследование образцов наноматериалов с помощью магнитооптических методов. Один комплект образцов имеет небольшую коэрцитивную силу и не возможно изменить его с помощью слабого внешнего магнитного поля. В другой наборе образцов коэрцитивная сила больше, поэтому после прогрева такого образца с помощью лазера можно наблюдать изменение петли гистерезиса при нагревании. Очень интересное наблюдение было сделано, для тонкого слоя немагнитного материала (40 нм золота) с проникновения света 15 нм можно было наблюдать магнитооптический сигнал следующей вкладке магнитного слоя. Применение данной методики позволяет контролировать качество и однородность ферромагнитных образцов с нанометровым разрешением по глубине без применения сложной фемтосекундной техники. Мы не наблюдали уменьшения магнитного сигнала с нагреванием с помощью непрерывного лазера высокой (до 1,5 Вт) мощности, но наблюдалось изменение коэрцитивной силы.

Ключевые слова: лазер, термометрия, магнит, петля гистерезиса, сигнал.

УДК 539.1.01

СТАТИЧНИЙ АТОМ

Попенко В.И.

Научно-производственная корпорация
«Киевский институт автоматики»

Анализ взаимодействия электрона и протона показывает, что на определённых расстояниях взаимное притяжение между ними сменяется отталкиванием, что позволяет предположить, что в атоме водорода и других атомах электроны и ядро связаны статично. В статье рассмотрены возможные варианты устройства статичных атомов.

Ключевые слова: атом, электрон, протон, ядро, Кулоновское взаимодействие, слабые взаимодействия.

Согласно исследованиям Резерфорда атомы состоят из центрального положительно заряженного ядра, окруженного отрицательно, заряженными электронами. Простейшая атомная система – атом водорода состоит из протона и одного электрона, разделённых расстоянием предположительно равным $0,53 \cdot 10^{-8}$ см, называемым первым Боровским радиусом.

Предполагается, что для сохранения устойчивости атома, электрон должен находиться в не-

прерывном движении по замкнутой орбите вокруг ядра, напоминаям движение планет вокруг Солнца. В противном случае сила притяжения заставит их сблизиться, и они столкнутся через доли микросекунды.

Действительно ли неизбежно это событие, в свете последующих со времени появления этой гипотезы познаний о природе частиц электрона и протона. Этот вопрос и представляет основной интерес

предлагаемой статьи. Проанализируем возможный его результат.

До взаимодействия масса частиц была равна сумме массы протона и массы электрона $M_1 = M_p + m_e$.

После «падения» электрона на протон масса полученного образования M_2 , назовем его условно «частицей», будет равна сумме масс протона и электрона, плюс масса, соответствующая энергии их взаимодействия, состоящая из кинетической энергии, приобретённой при ускорении электрона минус потенциальная энергия и энергия, излученная в результате ускорения электрона, делённых на квадрат скорости света

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

Полагая, что масса, связанная с энергией взаимодействия меньше собственной массы частиц, и ею можно пренебречь. Массу образования можно полагать равной сумме массы протона и электрона $M_2 \approx M_p + m_e$.

Заряд её равен нулю $-q_e + q_p = 0$. Среди известных, нейтральных частиц, частицы с такой массой не наблюдаются.

Известна частица, не имеющая электрического заряда нейтрон с массой, превышающей массу протона на величину более двух с половиной масс электрона

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

Нейтрон частица относительно нестабильная. Через время порядка 10 минут после выхода из ядра свободный нейтрон распадается на протон, электрон и трудно регистрируемое антинейтрино

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

Его распад относится к слабым взаимодействиям [1].

Энергия покоя нейтрона больше суммы энергии покоя протона и электрона, образующихся в результате распада нейтрона, на величину кинетической энергии разлёта частиц и энергии уносимой антинейтрино, что составляет около 0,783 МэВ.

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

Можно полагать, что эта разность составляет энергию слабого взаимодействия, вызывающего распад нейтрона на протон и электрон.

В физике известно явление характерное для некоторых нестабильных изотопов тяжёлых элементов, называемое K – захватом, при котором происходит захват атомным ядром электрона с ближайшей к нему K оболочке,

$$e^- + {}_Z X^A \rightarrow {}_{Z-1} X^A + \nu,$$

и, один из протонов ядра превращается в нейтрон

$$e^- + p + W_{я} \rightarrow n + \nu.$$

K – захват процесс обратный распаду нейтрона, также является проявлением слабого взаимодействия [1].

Превышение энергии образовавшегося в процессе K – захвата нейтрона на 0,783 МэВ, сравнительно энергии частиц составляющих его, происходит за счет перераспределения энергии ядра.

K – захват более вероятен для тяжёлых элементов, у которых расстояние между ядром и K оболочкой электронов в сотни раз меньше чем у атома водорода.

Распад нейтрона и обратное ему явление K – захвата электрона дают основание полагать, что при определённых условиях, затратив порядка 0,783 МэВ энергии, электрон можно соединить с протоном, с образованием нейтрона [2].

Необходимо отметить, что подвержены распаду свободные нейтроны. Нейтроны, связанные в ста-

бильных атомных ядрах, как правило, стабильны, не распадаются [1].

По энергии слабого взаимодействия, которая высвобождается при распаде нейтрона и энергии кулоновского взаимодействия между протоном и электроном можно найти зависимость их взаимной энергии от расстояния между частицами.

Зависимость энергии Кулоновского взаимодействия от расстояния r между протоном и электроном известна

$$U = -e^2/r.$$

Энергия слабого взаимодействия положительна. Максимальное значение её 0,783 МэВ, на пять порядков больше энергии связи водорода.

Протон и электрон обладают магнитными моментами, т.е. являются магнитными диполями, по просту говоря, магнитами.

Взаимодействующие магниты, ориентируются противоположными полюсами друг к другу и, сориентированные так, притягиваются до соприкосновения полюсов.

Если один из магнитов полярный, что позволяет вдвигать в него второй магнит, притяжение будет действовать только до плоскости совмещения их полюсов. Дальнейшему сближению с вхождением одного в другой будет препятствовать сила отталкивания. Если цельный магнит полностью вдвинуть в полярный магнит, на него будет действовать сила выталкивания практически до полного его выхода [3].

Это означает, что энергия взаимодействия совмещённых (вдвинутых) магнитов положительна, а также, что для магнитов и диполей вообще, существует определённый радиус связи. На расстояниях превышающих его, между диполями действует притяжение, на меньших расстояниях – отталкивание [3].

Возможно, взаимодействие магнитных моментов электрона и протона, аналогичное выше описанному взаимодействию магнитов, и составляет слабое взаимодействие. Поле магнитных диполей с расстоянием убывает быстрее электрических полей зарядов, поэтому магнитные взаимодействия свободных частиц не столь доступны наблюдению и не столь исследованы, как электрические взаимодействия.

Полагая, что потенциал слабого взаимодействия связан с дипольными свойствами частиц и адекватен потенциалу диполя, убывающего пропорционально второй степени расстояния $U_{с.в.} \propto r^{-2}$, [1], взаимную энергию электрона с протоном можно записать в виде разности

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

где ℓ – нормирующий коэффициент с размерностью длины.

Из (1) с очевидностью следует, что на расстояниях $r < \ell$, энергия взаимодействия электрона с протоном положительна, и при расстоянии, отвечающем их связи в нейтрон $r_{с.в.}$, стремится к значению, равному энергии слабого взаимодействия 0,783 МэВ.

Убывая обратно пропорционально второй степени расстояния, потенциал, отвечающий слабому взаимодействию $U_{с.в.} \propto r^{-2}$, уменьшается с расстоянием значительно быстрее, чем абсолютное значение кулоновского потенциала, убывающего обратно пропорционально первой степени расстояния $U \propto r^{-1}$.

С увеличением расстояния между частицами от значения, отвечающего связи протона и электрона в нейтрон $r_{с.в.}$, до ℓ , энергия взаимодействия с максимального значения 0,783 мэВ, в грубом при-

ближении, убывает, как первый член (1), обратно пропорционально квадрату расстояния.

При равенстве $r = \ell$ их взаимная энергия достигает нулевого значения

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

На расстояниях $r > \ell$, отрицательный кулоновский потенциал по модулю начинает превосходить положительную энергию слабого взаимодействия. Результирующая энергия взаимодействия становится отрицательной и понижается с расстоянием до установленного экспериментально, максимального отрицательного значения -13,6 эВ.

Далее, с увеличением расстояния r между частицами, влияние слабого взаимодействия практически сводится к нулю и отрицательная энергия взаимодействия, следуя Кулоновскому потенциалу, плавно повышается до нулевого значения на бесконечности.

Градиент энергии взаимодействия электрона с протоном равен силам, действующим на электрон в поле протона

$$\nabla \cdot W_{e,p} = F_{e,p} = re^2 \left(\frac{1}{r^3} - \frac{2\ell}{r^4} \right) = F_k + F_{c.v.} \quad (2)$$

Где: r -радиус – вектор от протона к электрону, F_k – Кулоновская сила, $F_{c.v.}$ – сила, обусловленная слабым взаимодействием.

Электрон в поле протона будет располагаться на расстоянии, при котором равнодействующая сил $F_{c.v.}$ и F_k равна нулю. Приравняв (2) нулю

$$r \frac{e^2}{r^3} - r \frac{2\ell e^2}{r^4} = 0, \text{ находим, } r = 2\ell. \quad (3)$$

Равнодействующая сил действующих на электрон в поле протона равна нулю при расстоянии между частицами равном $r = 2\ell$.

Величина энергии при этом равна экстремальному отрицательному значению, т.е. энергии связи атома водорода $W_H = -13,6$ эВ.

Из (1) находим, что электрон атома водорода располагается от ядра на расстоянии равном половине отношения квадрата заряда к энергии связи атома водорода, называемого первым Боровским радиусом электрона a_0

$$r = 2\ell = \frac{0,5 e^2}{W_H} = 0,5 a_0. \quad (4)$$

Константа первый Боровский радиус a_0 была введена Бором из условия равно действия сил Кулоновского притяжения электрона ядром атома водорода и центробежных сил движения его на орбите вокруг ядра.

В статической связи электрона с протоном, являющейся результатом равенства силы Кулоновского притяжения и силы обусловленной слабым взаимодействием, и отсутствии необходимости движения электрона, вокруг ядра, для константы первый Боровский радиус места нет.

Параметром статической связи электрона в атоме водорода является расстояние r , из (4), при котором равнодействующая сил, на электрон в поле протона равна нулю $F_{c.v.} - F_k = 0$, а взаимная энергия имеет экстремальное отрицательное значение -13,6 эВ, равное энергии связи атома водорода.

Это расстояние $r = r_{(F=0)}$ можно поименовать, как радиус связи атома водорода, и обозначить r_0 , $r_0 = r_{(F=0)}$.

Подставляя значение $r = 2\ell$ и энергию связи атома водорода $W_H = -13,6$ эВ в выражение энергии взаимодействия (1), найдём значение нормирующего множителя ℓ ,

$$e^2 \left(\frac{\ell}{4\ell^2} - \frac{1}{2\ell} \right) = W_H, \quad -\frac{1}{4\ell} = -\frac{W_H}{e^2}, \quad \ell = 0,25 \frac{e^2}{W_H} \quad (5)$$

Нормирующий коэффициент ℓ в уравнении энергии взаимодействия, равен расстоянию между электроном и протоном, при котором энергия взаимодействия их равна нулю, $\ell_0 = r_{(W=0)}$.

Путём экстраполяции, по характерным точкам энергии взаимодействия:

$$r = r(c. s.), \quad W = 0,783 \cdot 10^6 \text{ эВ}; \quad r = \ell, \quad W = 0; \\ r = 2\ell, \quad W = -13,6 \text{ эВ}; \quad r \rightarrow \infty, \quad W = e^{-r} \rightarrow 0,$$

можно построить потенциальную кривую ядра атома водорода.

Зависимость энергии взаимодействия (1) от расстояния между ядром и электроном атома водорода можно назвать эффективным потенциалом $U' = W_{e,p}$. График этой зависимости, называется потенциальной кривой.

Из (1) следует, что при уменьшении расстояния между электроном и протоном от r_0 до ℓ_0 , энергия взаимодействия возрастает от максимального отрицательного значения -13,6 эВ до нуля. Для того чтобы сблизить электрон и протон на это расстояние $\Delta r = r_0 - \ell_0 = 2\ell_0 - \ell_0 = \ell_0$, необходимо затратить энергию не меньшую чем энергия связи атома водорода $|W_H|$.

Дальнейшее сближение их до расстояния, соответствующего их связи в нейтрон $r_{c.s.}$ потребует затраты энергии которая освобождается при его распаде, порядка 0,783 мэВ.

Это означает, что на расстояниях меньших r_0 между протоном и электроном действуют силы отталкивания, и поэтому свободное падение электрона на протон ближе, чем радиус связи атома водорода не возможно, оно воспрещается одним из самых строгих законов физики, законом сохранения энергии.

При отсутствии возмущающих воздействий электрон будет статически связан с протоном, располагаясь в области минимума энергии взаимодействия на расстоянии равном $r_0 = 2\ell_0$, при котором силы, действующие на электрон в поле протона равны нулю, в статическом состоянии, сколь угодно долго.

Область положительных значений энергии взаимодействия $0 < r < \ell_0$ может представлять интерес, в задачах рассеяния электронов на протонах. Для устройства атома водорода эта область интереса не представляет.

В области расстояний $\ell_0 < r < \infty$ энергия взаимодействия их отрицательна, кривая образует «потенциальную яму». Максимальная глубина её равна энергии связи или ионизации атома водорода $W_H = -13,6$ эВ и приходится на расстояние r_0 .

Классический электрон в основном состоянии, в состоянии с минимальной энергией будет находиться на «дне потенциальной ямы», сколь угодно долго, поскольку радиальные смещения его требуют затрат энергии.

Эффективный потенциал атомного ядра, (1) является результатом сложения кулоновского и противоположного знака слабого взаимодействия

$$U' = U + U_{c.v.}$$

Кулоновское взаимодействие описывается скалярным потенциалом. Скалярный потенциал нескольких единичных зарядов U равен алгебраической сумме потенциалов каждого заряда

$$U = U_{q1} + U_{q2} + U_{q3} \dots$$

Вследствие этого, отрицательный Кулоновский потенциал атомного ядра увеличивается пропорционально зарядовому числу Z ,

$$U_z = Z U_1.$$

Из предположения о магнитно – дипольной природе слабого взаимодействия, исходя из ко-

ротко действия магнитных взаимодействий, можно полагать, что в слабых взаимодействиях атома участвуют, только электроны К-оболочки атомов, поэтому энергия взаимодействия электрона и атомного ядра, обусловленная слабым взаимодействием, не изменяется, с увеличением зарядового числа ядра атома

$$U_{c.в.} \neq f(Z).$$

В результате, для атомов, содержащих Z протонов, в формуле энергии взаимодействия электрона с ядром (1), кулоновский член следует умножить на Z , а слагаемое, отвечающее слабым взаимодействиям, оставить без изменения [4]

$$W_{e,я}(z) \cong e^2 \left(\frac{\ell_0}{r^2} - \frac{Z}{r} \right). \quad (6)$$

Из условия экстремума энергии взаимодействия ядра, содержащего Z протонов с электроном (6), найдём расстояние от ядра до точки максимальной глубины потенциальной ямы $r_0(z)$,

$$\frac{d}{dr} W_{e,я} = e^2 \left(-\frac{2\ell_0}{r^3} + \frac{Z}{r^2} \right) = 0, \text{ откуда находим,} \\ r_0(z) = \frac{r_0}{Z} = \frac{2\ell_0}{Z}. \quad (7)$$

Глубину потенциальной ямы атомного ядра с зарядовым числом Z найдём, подставляя радиус $r_0(z)$ в формулу энергии взаимодействия его с электроном (6)

$$W_{(z)} = e^2 \left(\frac{\ell_0 Z^2}{4\ell^2} - \frac{Z^2}{2\ell} \right) = -Z^2 \frac{e^2}{4\ell} = Z^2 W_H, \quad (8)$$

где W_H – энергия связи атома водорода.

Максимальная глубина потенциальной ямы атомного ядра, содержащего Z протонов, с ростом зарядового числа атомного ядра, согласно (7) смещается в сторону ядра обратно пропорционально зарядовому числу Z и согласно (8), увеличивается пропорционально квадрату зарядового числа.

Если кулоновское отталкивание между электронами атома условно понизить почти до нулевого значения, оставив неизменным притяжение их ядром, все его электроны расположатся на дне сферической потенциальной ямы ядра, и образуют электронную моно оболочку с равномерной плотностью электронов по сфере.

Равномерное распределение электронов по сфере, на одинаковых расстояниях друг от друга, возможно только при четном количестве электронов: 2 – на полюсах сферы; 4 – в вершинах тетраэдра; 6 – октаэдра; 8 – гексаэдра.

Полностью заполненные электронные оболочки содержат четное количество электронов, таков первый принцип заполнения электронных оболочек атома.

Дно потенциальной ямы ядра имеет горизонтальную часть, где малые радиальные смещения электрона вызывают столь же малые приращения энергии.

Увеличение условно заниженного Кулоновского отталкивания между электронами атома, приведшего к размещению их на дне потенциальной ямы ядра, будет сопровождаться возрастанием расстояний между ними. Размер моно оболочки будет увеличиваться. Электроны будут смещаться в стороны от ядра с максимальной глубины ямы в область, где увеличатся приращения энергии, а силы Кулоновского отталкивания между ними будут уравниваться силой притяжения ядром.

При достижении условно заниженного Кулоновского взаимодействия между электронами его естественного значения, электронная оболочка окажется на внешнем склоне потенциальной ямы. Энергия электронов в этом положении будет значительно

выше, чем на дне потенциальной ямы. Равновесие сил отталкивания, действующих между электронами, и сил притяжения ядром в таком состоянии будет неустойчивым.

Наличие самых незначительных возмущений приведёт к разрушению сферической моно оболочки. Часть электронов опустится на максимальную глубину ямы, остальные рассредоточатся по всему её объёму.

Расстояния между рассредоточенными электронами увеличатся, силы Кулоновского расталкивания уменьшатся. Состояние равновесия сил, действующих на электроны, обретёт устойчивую форму.

Шаровая симметрия кулоновского потенциала ядра и шаровая симметрия кулоновского потенциала электронов предопределяет не хаотическое, а, вероятнее, слоистое распределение электронов атома, с равномерным распределением электронов в слое и, соблюдением четности, а также с возрастающим их числом в каждом последующем слое.

Точное размещение электронов по объёму потенциальной ямы конкретного ядра требует трудоёмких расчетов с использованием вариационного исчисления, но экспериментально основные принципы его установлены.

Полностью заполненные оболочки строятся по принципу укладки их шарами равной величины с соблюдением принципа четности в слое.

Среднюю площадь первого слоя наименьшего радиуса r_1 , $S \propto r_1^2$ примем за 1^2 . В нем, согласно принципу четности, разместится два шара $2 \times 1^2 = 2$. Средняя площадь второго слоя будет 2^2 . В нем разместится $2 \times 2^2 = 8$ шаров. Средняя площадь третьего слоя 3^2 . В нем разместится $2 \times 3^2 = 18$ шаров. В четвертом слое $2 \times 4^2 = 32$ шара. И так далее.

В полностью заполненном слое, при таком размещении количество электронов N , будет равно удвоенному квадрату номера оболочки n , $N = 2 \times n^2$. Таков, установленный экспериментально, второй принцип заполнения электронных оболочек атомов [5].

Если бы объёмы занимаемые электронами были адекватны шарам одинакового диаметра d , т.е. если бы расстояния между электронами по объёму атома были бы одинаковы, радиусы атомов при таком заполнении были бы пропорциональны числу оболочек $R \approx n \times d$.

В действительности же, судя по величине атомных объёмов V инертных газов $18_{He} \leq V \leq 90_{Rn}$, радиусы которых пропорциональны объёмам в степени 0.3, $R \propto V^{0.3}$, отношение размера атомов радона имеющего шесть электронных оболочек $R_{Rn} = 4.48$, и атомов гелия с одной оболочкой $R_{He} = 2.62$, менее двух $\frac{R_{Rn}}{R_{He}} \approx 1.7$, [5].

Это означает, что под действием увеличивающегося к центру атома Кулоновского потенциала ядра и электрического поля, а также соответствующего возрастания сил притяжения ядром, радиусы внутренних оболочек сжимаются, таким образом, что размер внешней оболочки и атома в целом, остаётся практически постоянным.

Таков третий принцип заполнения электронных оболочек атомов. Радиусы атомов, содержащих реальное количество полностью заполненных электронных оболочек, изменяются менее чем в два раза. Размеры атомов практически одинаковы.

Все инертные газы, исключая гелий во внешней оболочке содержат восемь электронов. Элементы калий K , рубидий Rb , цезий Cs , имея по восемь

электронов в незаполненных оболочках, M , N , O , в нарушение порядка заполнения, присоединяют по два электрона в следующей внешней оболочке.

Только после повышения потенциала на две единицы, сопровождающегося внеочередным присоединением двух электронов к следующей оболочке, продолжается «отложенное» регулярное заполнение пропущенных незаполненных M , N , O оболочек.

Это означает, что присоединение электрона к сформированной восьми электронной оболочке, даже если она согласно второму принципу должна быть восемнадцатая, или тридцатая двух электронной оболочкой, является энергетически менее выгодным, чем присоединение электрона и, даже двух к следующей оболочке.

Устойчивость восьми электронной внешней оболочки инертных газов и нарушение нормального порядка заполнения оболочек после формирования восьми электронной оболочки, диктует четвёртый принцип заполнения электронных оболочек атомов.

Восьми электронная конфигурация оболочки с расположением электронов в вершинах гексаэдра является наиболее энергетически выгодной и устойчивой, поэтому добавление к ней электрона энергетически менее выгодно, чем присоединение его за пределами этой оболочки.

Устойчивость восьми электронной оболочки обусловлена векторными свойствами электрона, магнитным полем собственного магнитного момента и спином электрона [7].

Кулоновские силы притяжения ядром сближают электроны атомов до расстояний, на которых становятся существенными взаимодействия магнитных полей электронов, отвечающих их магнитным моментам, которые убывают с расстоянием обратно пропорционально третьей степени r^{-3} [7].

Магнитные моменты четырех электронов восьми электронной оболочки одной грани гексаэдра, ориентированные антипараллельно между соседними электронами, образуют магнитный октауполь, который последовательным соединением связан с магнитными моментами такого же октауполя другой параллельной грани гексаэдра.

Магнитное поле такого соединения диполей убывает с расстоянием быстрее r^{-5} и образует замкнутую, консервативную систему, а повышенная плотность электрического поля тесно связанных электронов препятствует присоединению девятого электрона к восьми электронной оболочке.

Векторными свойствами объясняется и замкнутость двух электронной K оболочки атомов. Магнитные моменты двух её электронов, ориентированные антипараллельно, (схематично $\downarrow\uparrow$), образуют консервативное поле квадруполья. Его поле и повышенная плотность электрического поля тесно связанных электронов препятствует присоединению к оболочке третьего электрона.

С ростом заряда ядра и его потенциала, возрастают силы притяжения ядром K электронов, расстояние между ними уменьшается, соответственно растёт плотность их суммарного электрического поля, препятствующего третьему электрону втиснуться в оболочку, даже при увеличении заряда в сотни раз. В результате K оболочка служит потенциальным фундаментом, на который опираются электроны следующего L слоя всех многоэлектронных атомов.

Не исключено, что векторные свойства электронов магнитный момент и спин оказывают влияние на архитектуру электронных оболочек и всех остальных атомов, но по причине быстрого убывания их

полей с расстоянием, ориентировочно быстрее r^{-3} , наблюдение их влияния довольно затруднительно.

Магнитно дипольные взаимодействия, определённо сказываются и на структуре спектров излучения атомов.

Электроны внутренних оболочек атома расположены в потенциальных ячейках [6], ограниченных в радиальном направлении электронами соседних оболочек, в угловых направлениях соседними электронами собственной оболочки.

Потенциальная ячейка, в которой располагаются K электроны, в радиальном направлении ограничивается расстоянием между ядром и L – оболочкой, ячейка электронов L – оболочки ограничивается расстоянием между K – оболочкой и M – оболочкой, электронов M – оболочки расстоянием между L – оболочкой и N – оболочкой, и так далее. В угловых направлениях размеры ячеек ограничиваются расстояниями между электронами в оболочке.

Глубина потенциальной ячейки определяется кулоновским потенциалом ядра в точке расположения электрона и суммарным потенциалом окружающих электронов. В грубом приближении глубина её связана с номером электронной оболочки обратной зависимостью и изменяется от $\sim 124\,000$ эВ для электронов K – оболочки тяжёлых атомов, до ~ 30 эВ для оболочки, предшествующей валентным электронам.

Размеры потенциальных ячеек, в которых располагается электрон, ограничивают амплитуду колебаний электрона, в случае возмущающего воздействия на него, а глубина её определяет энергию колебаний электрона.

Валентные электроны внешней оболочки располагаются в потенциальной яме атомного остатка. Потенциальная яма не симметрична в радиальном сечении.

Внутренняя стенка её, со стороны ядра, ограничена электронами предыдущего слоя, крутая, внешняя, определяемая кулоновским потенциалом ядра, который убывает пропорционально r^{-1} , пологая. Потенциальная яма, открыта для радиальных колебаний электрона в потенциале ядра, во внешнем к атому направлении.

Амплитуды колебаний внешних электронов свободных атомов ограничиваются только расстояниями до соседних атомов, которые зависят от плотности газа.

Ограниченные размеры потенциальных ячеек, в которых располагаются электроны внутренних оболочек и неограниченные в радиальном направлении размеры потенциальных ям внешних, валентных электронов, являются основной, причиной, влияющей на различие формы колебаний электронов внутренних оболочек и внешней оболочки атомов, в случае их возбуждения.

Это убедительно подтверждается различием структуры спектров электронов внутренних оболочек атома, и валентных электронов внешней оболочки.

Глубина потенциальной ямы однажды ионизированных атомов, от десятка до единиц эВ, определяет максимальную энергию возможных колебаний электрона, при воздействии на него внешнего возбуждения.

В случае колебаний возбужденного электрона атома, возвращая сила, имеет радиальное направление. Поэтому наиболее вероятны радиальные колебания электрона.

Направления радиальных колебаний электрона в потенциальной яме равно вероятны, по этой причине имеет значение зависимость потенциала

от всех трех сферических координат привязан к атому.

Потенциальная яма ядра атома водорода имеет шаровую симметрию. Энергия взаимодействия электрона с ядром $W_{e,яH}$ является функцией только расстояния между ними, и не зависит от угловых координат

$$W_{e,яH} = F(r), \quad W_{e,яH} \neq F(\theta, \varphi). \quad (9)$$

На рельеф потенциальной ямы атомных остатков однажды ионизированных многоэлектронных атомов влияют электроны предыдущих оболочек и соседних электронов, их потенциал зависит не только от расстояния до ядра.

Рельеф потенциальной ямы, однажды ионизированного гелия, зависит от расстояния до ядра r и угла θ , отсчитываемого от прямой, соединяющей ядро с оставшимся электроном

$$W_{e,я(He)} = F(r, \theta). \quad (10)$$

Глубина потенциальной яме атомного остатка гелия, в направлении отсутствующего электрона, равняется 24,47 эВ и в зависимости от угла θ уменьшается до 4,77 эВ в направлении оставшегося электрона.

Возможно вследствие этого, спектр гелия имеет две системы линий, которые отличаются по частоте на величину

$$\Delta\nu = (24,47 - 4,77)/h \cdot 2,418 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1},$$

которые, в квантовой физике объясняются параллельностью и анти параллельностью спинов электронов гелия.

Рельеф потенциальной ямы единожды ионизированного лития зависит от угла θ между радиус-вектором с центра атома и прямой, соединяющей электроны атомного остатка,

$$W_{e,яLi} = F(r, \theta). \quad (11)$$

В зависимости от угла θ потенциал изменяется от 3,53 эВ, в направлении одного из оставшихся электронов. $\theta = 0$, до 5,37 эВ, в перпендикулярном направлении, $\theta = 0,5\pi$, и до 3,53 эВ, в направлении второго электрона, $\theta = \pi$. Что и определяет отличие структуры спектра лития от структуры спектра атома водорода, имеющего также один валентный электрон.

Рельефы потенциальных ям однажды ионизированных атомов щелочных металлов образованы потенциалом ядра и потенциалами электронов предыдущих оболочек. По этой причине энергия взаимодействия их атомных остатков с электроном является функцией всех трех сферических координат

$$W_{(e,я)Na, K, Rb, Cs} = f(r, \theta, \varphi) \quad (12)$$

Оболочка щелочных металлов предшествующая валентному электрону имеет восемь электронов, казалось бы, что потенциальный рельеф этих атомов подобен, и атомы должны иметь идентичную структуру спектров. В действительности в формировании рельефа их потенциальных ям участвуют не только электроны предыдущей заполненной оболочки, но и более глубоких внутренних оболочек, что подтверждается наличием в их спектрах разных по своему характеру серий.

Подобие рельефов потенциальной ямы, так называемых, изоэлектронных ионов, имеющих идентичную форму, но отличающихся номиналом потенциала, подтверждается полной идентичностью структуры их спектра излучения. Отличие, которое состоит только в номинале частот, отвечающих глубине потенциальных ям атомов [5].

Примером могут служить спектры ряда атома калия K и ионов кальция Ca^+ , скандия Sc^{++} , титана Ti^{+++} и ванадия V^{++++} .

Убедительным примером зависимости спектра излучения от рельефа потенциальной ямы служат водородоподобные ионы He^+ , Li^{++} , Be^{+++} , потенциальные ямы которых, как и атома водорода, имеют шаровую симметрию, но рознятся глубиной.

Их спектры укладываются в формулу, характерную для атома водорода, отличающуюся только зарядовым числом ядра Z , определяющим глубину потенциальной ямы и константы Ридберга R_N , зависящей от массы ядра

$$\nu = Z^2 R_N \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (13)$$

Зависимость структуры спектра излучения атомов от рельефа потенциальной ямы также подтверждается, правилом смещения, характерным для всех атомов. Оно заключается в следующем: структура спектра атома с атомным номером Z аналогична структуре спектра однажды ионизированного атома с атомным номером $Z + 1$.

Объяснение этому явлению простое. Электронное покрытие иона атома с атомным номером $Z + 1$ идентично электронному покрытию атома с атомным номером Z . Поэтому рельефы их потенциальных ям, которые образуются Кулоновским потенциалом ядра и потенциалом идентичных электронных покрытий абсолютно одинаковые, отличающаяся только абсолютной величиной, определяемой зарядом ядра.

Заполнение электронной L оболочки атомов, начиная с лития до углерода включительно, следует определенной физической логике. Один электрон L оболочки лития, связанный с его атомным остатком только Кулоновским потенциалом ядра имеет энергию связи 5,37 эВ, почти в половину меньшую энергии связи атома водорода, в которой присутствует и энергия связи магнитных диполей, магнитных моментов протона и электрона [3].

Два электрона L оболочки атома бериллия, кроме кулоновской связи с ядром, связаны взаимной энергией магнитных моментов электронов спаренных в квадруполь, потому потенциал ионизации бериллия, ровный 9,48 эВ, почти вдвое больше, чем лития.

Связь третьего электрона L оболочки атома бора не подкреплена силами связи магнитного момента, потому потенциал ионизации бора меньше потенциала бериллия и составляет 8,4 эВ.

В атоме углерода две пары спаренных магнитными моментами электронов в квадруполи, образуют магнитный октуполь, ионизационный потенциал его имеет более высокое значение чем бериллия и составляет 11,27 эВ.

Аномально высокий ионизационный потенциал атома азота в 14,47 эВ, содержащий пять электронов в L оболочке, не находит логического объяснения, но, возможно он определяется конфигурацией связи электронов. К примеру, два диполя магнитных моментов электронов, соединенных в квадруполь, и три, соединенных в замкнутую цепочку последовательным соединением полюсов диполей магнитных моментов.

Высокий ионизационный потенциал атома кислорода 13,56 эВ, содержащего шесть электронов в L оболочке, вписывается в логическую схему, как три пары спаренных в квадруполи магнитными связями электрона.

Ионизационный потенциал атома фтора 18,6 эВ, содержащий семь электронов в L оболочке, может быть объяснен сродством или близостью конфигурации оболочки до восьми электронной оболочки неона, или же, иным образом, как атома азота, наличием замкнутой цепочки последовательного соединения магнитных моментов трех электронов.

Высокий потенциал ионизации неона 21.48 эВ объясняется магнитной связью объединения двух магнитных оккупаций в гексаэдр.

Похожей логике отвечает заполнение M оболочки элементов от натрия до аргона, N оболочки элементов от меди до криптона и O оболочки элементов от серебра до ксенона.

Атомные объемы [5] корректируются с ионизационным потенциалом атомов обратной зависимостью. Ниже в таблице приведенные потенциалы ионизации и атомные объемы группы одновалентных атомов от лития до цезия $Li \div Cs$, двухвалентных атомов от бериллия до бария $Be \div Ba$ и атомов инертных газов от гелия до радона $He \div Rn$.

Верхняя строка – обозначение химических элементов, вторая строка – потенциал ионизации в эВ, нижняя строка – атомные объемы в см³:

Li,	Na,	K,	Rb,	Cs.	
5.37,	5.12,	4.32,	4.16,	3.88.	
13,	23, 4	5,	56,	71.	
Be,	Mg,	Ca,	Sr,	Ba.	
9.48,	7.61,	6.09,	5.67,	5.19.	
4.5,	14,	26,	34.5,	36.	
He,	Ne,	Ar,	Kr,	Xe,	Rn.
24.45,	21.48,	15.69,	13.94,	12.08,	10.69.
14,	17,	28.5,	38,	41.5,	45.

Временно отложенное, заполнение внутренней, незаполненной электронной M оболочки в состоянии $3d$ группы элементов, от скандия Sk до никеля Ni , происходит, практически при постоянном потенциале ионизации атомов и незначительном изменении атомных объемов, вследствие отмеченной ранее повышенной плотности электронов в этой внутренней оболочке.

Аналогичная ситуация наблюдается при заполнении внутренней N оболочки в состоянии $4f$, элементов от циркония Zr до родия Rh .

Атомы электрически нейтральны, суммарный заряд ядра и электронов атома равен нулю. Но электрическое поле атомов разной степени мультипольности существует, иначе атомы не образовывали молекул, которые связаны электрическими силами [8].

Априори существующее дипольное электрическое поле атомов водорода, а не поляризуемость их, возникающая в процессе взаимодействия, обеспечивает соединение их в молекулы.

Потенциал диполя, каким является атом водорода, убывает обратно пропорционально второй степени расстояния $\varphi_d \propto r^{-2}$, его электрическое поле, убывающее обратно пропорционально третьей степени расстояния $E_d \propto r^{-3}$, более консервативно сравнительно с полем свободного заряда.

Тем не менее, атомы водорода достаточно активны, легко вступают в химические соединения и, как правило, попарно соединяются в молекулы, образуя электрические квадруполь.

Потенциал квадруполь, которому отвечает электрическое поле молекулы водорода, убывает обратно третьей степени расстояния $\varphi_k \propto r^{-3}$, его электрическое поле, убывающее как r^{-4} , значительно консервативнее поля диполя, отчего водород в земных условиях газообразен.

Чтобы молекулы водорода вступили во взаимодействие между собой и образовали, скажем, конденсат, их необходимо сблизить значительно ближе, чем атомы и существенно понизить энергию, поэтому молекулярный водород в земных условиях газообразен. Температура замерзания водорода -259°C .

Атомы, электрическое поле которых, в силу высокой степени мультипольности, убывает быстрее, чем четвертая и выше четвертой степени расстояния, в земных условиях не вступают во взаимодействие. Убедительным подтверждением тому служат инертные газы, имеющие очень низкие температуры замерзания.

Такова классическая архитектура атомов. Воплотить ее в математическую форму – прерогатива теоретиков. В статье изложены основные идеи статического устройства атомов, которые нуждаются теоретических и экспериментальных исследований.

Электроны в атомах связаны квазиупругими силами, потому изменение состояния электрона в атоме, как и любой динамической системы при возбуждении имеет переходный период, который сопровождается колебаниями и диссипацией энергии, то есть, излучением. Об излучении атомов в следующей статье.

Список литературы:

1. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. Главная редакция физико-математической литературы. Издательство «Наука» 1972.
2. Попенко В. Й. Атом водню. Тези для наукової конференції «Актуальні питання сучасної науки» 2015.
3. Степанець Ю. А., Попенко В. Й. Взаємодія магнітних диполів. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2015.
4. Попенко В. Й. Багато електронні атоми. Тези для наукової конференції «Актуальні питання сучасної науки» 2015.
5. Шпольский Э. В. Атомная физика, т. 1, Введение в атомную физику, изд. «Наука» 575 (1974).
6. Попенко В. Й. Доповнення до архітектури атомів. Тези для наукової конференції «Актуальні питання сучасної науки» 2015.
7. Попенко В. И. Векторні властивості електрона. Тези для наукової конференції «Перспективи розвитку сучасної науки» 2014.
8. Вихман Э. Квантовая физика. Издание 2-е стереотипное. Главная редакция физико-математической литературы. Издательство «Наука» 1977.

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