

УДК 544.112

## К ВОПРОСУ О РОЛИ НЕЙТРОНОВ В АТОМНОМ ЯДРЕ

Неверов А.С.

УО Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, e-mail: [nev.aleksander2013@yandex.by](mailto:nev.aleksander2013@yandex.by)

### АННОТАЦИЯ

В статье обсуждается взаимосвязь числа нейтронов и совокупной энергии электронов в атоме, позволяющая объяснить наличие нейтронов и увеличение их числа в многоэлектронных атомах необходимостью компенсации ослабления связи электронов с атомным ядром. Показано, что суммарный заряд протонов ядра не в состоянии удержать электроны, поскольку число протонов равно числу электронов. Энергия их строго квантована и увеличивается при переходе от одного атома к следующему на постоянную величину, равную заряду протона. При этом энергия электронов определяется квантовыми числами и при переходе от низшего энергетического уровня к высшему непрерывно возрастает для каждого отдельного электрона. Расчеты констант экранирования с помощью эмпирических правил Слетера показывают, что "эффективный заряд" ( $Z_{\text{эфф}}$ ), соответствующий реальному потенциалу, действующему на данный электрон, может быть в 2 и более раза меньше заряда ядра ( $Z$ ). Высказано предположение, что недостающая энергия обеспечивается введением нейтронов. Предложен механизм электростатического взаимодействия нейтронов ядра с электронами внешних электронных слоев атома, заключающийся в синхронизации колебаний зарядовой плотности атомного ядра и электронов, подобно тому, как это происходит в случае дисперсионного межмолекулярного взаимодействия.

Ключевые слова: протоны, нейтроны, совокупная энергия электронов, эффективный заряд, теорема вириала, дисперсионное взаимодействие

### ABOUT OF FUNCTION NEUTRONS IN ATOMIC NUCLEUS

#### ANNOTATION

The article discusses the relationship between the number of neutrons and the total energy of electrons in an atom, which allows us to explain the presence of neutrons and the increase in their number in multi-electron atoms by the need to compensate for the weakening of the bond of electrons with the atomic nucleus. It is shown that the total charge of the protons of the nucleus is not able to hold the electrons, since the number of protons is equal to the number of electrons. Their energy is strictly quantized and increases with the transition from one atom to the next by a constant amount equal to the charge of the proton. In this case, the energy of the electrons is determined by quantum numbers and during the transition from the lowest energy level to the highest continuously increases for each individual electron. Calculations of the shielding constants using Sletzer's empirical rules show that the "effective charge" ( $Z_{\text{eff}}$ ) corresponding to the real potential acting on a given electron can be 2 or more times less than the charge of the nucleus ( $Z$ ). It is suggested that the missing energy is provided by the introduction of neutrons. The mechanism of the electrostatic interaction of the neutrons of the nucleus with the electrons of the outer electron layers of the atom is proposed, which consists in the synchronization of the fluctuations of the charge density of the atomic nucleus and the electrons, just as it occurs in the case of the dispersion intermolecular interaction.

Descriptive information: protons, neutrons, total electron energy, effective charge, virial theorem, dispersion interaction

#### Введение

Согласно современным теориям нейтроны не склонны к взаимодействию ни с какими другими элементарными частицами, о чем говорит и их название. Тогда возникает вопрос - для чего они нужны в атомном ядре? Присутствие их существенно усложняет конструкцию атомного ядра, увеличивает его массу, создает множество проблем при попытках создать логичную теорию его строения, а природа не любит сложных решений. Многочисленные попытки объяснить наличие нейтронов участием их в образовании так называемых ядерных

сил [1], ответственных за устойчивость системы частиц с одинаковым (протоны) и нейтральным (нейтроны) зарядом, не выходят за пределы гипотез, весьма слабо подкрепленных экспериментальными доказательствами.

### **Цель исследования**

Целью данной работы является рассмотрение альтернативной гипотезы о возможности взаимосвязи числа нейтронов и совокупной энергии электронов в атоме, объясняющей увеличение числа нейтронов необходимостью компенсировать ослабление связи электронов с ядром для многоэлектронных атомов.

### **Материал и методы исследования**

Результаты работы получены обработкой экспериментальных данных о строении атома, приведенных в литературных источниках, представленных в списке литературы.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Для любой многоэлектронной системы между ее полной ( $E$ ), кинетической ( $T$ ) и потенциальной ( $V$ ) энергиями имеют место соотношения  $E = -T = 1/2V$  [2]. Эти равенства являются математическим отображением квантово-механической теоремы вириала (М. Борн, В. Гейзенберг, П. Иордан – 1925г.), представляющей собой полный аналог подобной теоремы в классической механике, за исключением того, что в классической механике среднее берется по времени, а не по состоянию системы. Теорема вириала позволяет вычислить среднюю полную кинетическую энергию даже для очень сложных систем, которые не поддаются точному решению. В случае квантово-механических систем, указанные соотношения должны выполняться для точных решений любых систем, состоящих из заряженных частиц [2]. Однако попытка чисто логического обоснования теоремы вириала для многоэлектронных атомов встречает определенные затруднения.

Очевидно, что источником потенциальной энергии атома является заряд его ядра, сосредоточенный в протонах. Кинетическая энергия атома представляет собой совокупную энергию колебательного поступательного и вращательного движения электронов. Энергия протонов строго квантована, при переходе от атома одного элемента к атому элемента со следующим атомным номером она увеличивается на постоянную величину, равную заряду протона. Энергия же электронов определяется квантовыми числами и для каждого отдельного электрона она возрастает при переходе от заполнения низшего энергетического уровня к высшему.

Таким образом, для каждого энергетического уровня и подуровня величина отношения  $V/T$  должна быть своя, уменьшаясь при переходе от низшего энергетического уровня к высшим. Поскольку это противоречит теореме вириала, увеличение кинетической энергии должно компенсироваться соответствующим возрастанием энергии потенциальной.

Необходимость этого становится еще более актуальной, если учесть так называемый "эффект экранирования", под которым понимают уменьшение потенциальной энергии притяжения электронов к ядру в многоэлектронных атомах за счет энергии межэлектронного отталкивания [3].

Расчеты констант экранирования с помощью эмпирических правил Слетера показывают, что "эффективный заряд" ( $Z_{\text{эфф}}$ ), соответствующий реальному потенциалу, действующему на данный электрон, может быть в 2 и более раза меньше заряда ядра ( $Z$ ) [2,3].

Следовательно, в атоме должен быть еще один источник потенциальной энергии, помимо протонов, при этом совокупная энергия таких носителей потенциальной энергии должна не линейно зависеть от заряда ядра, увеличиваясь по мере его роста синхронно с увеличением энергии электронов.

Естественно, на роль таких носителей потенциальной энергии претендуют нейтроны. Принятие этого предположения позволяет дать простое объяснение факту возрастания величины соотношения чисел нейтронов и протонов ( $N/Z$ ) в атоме при последовательном увеличении заряда его ядра. Следуя логике указанного предположения, причину этого явления нужно искать не в ядре атома, а вне его, соотношение  $N/Z$  увеличивается, чтобы компенсировать возрастание энергии электронов. Добиться такого же эффекта увеличением числа протонов невозможно, так как число протонов и число электронов в атоме жестко связаны ( $Z/\Sigma e = 1$ ).

В связи с вышеизложенным представляет интерес оценить соотношение числа нейтронов и совокупной энергии электронов в атомах различных элементов. На первый взгляд эта задача представляется неразрешимой, так как в настоящее время расчет энергии многоэлектронных атомов встречается с непреодолимыми трудностями. Существующие приближенные методы расчета, например метод самосогласованного поля Хартри-Фока или вариационный метод [4], фактически основаны на "подгонке" расчетных значений к экспериментальным данным по рентгеновской спектроскопии атома [2]. Однако известно, что в многоэлектронных атомах энергия электронов может быть охарактеризована суммой главного и орбитального квантовых чисел ( $n + l$ ). Поэтому, с определенным приближением, искомое соотношение может быть представлено в виде дроби, числителем которой является число нейтронов в ядре данного атома, а знаменателем – совокупность значений ( $n + l$ ) для всех электронов данного атома:

$$K = \frac{N}{\Sigma(n+l)} \quad (1)$$

Расчет этого соотношения для атомов известных элементов дает в координатах  $K, Z$  кривую, форма которой близка к гиперболической с асимптотами  $Z = 2$  и  $K = 0,28$  (рис. 1).

При этом, начиная с  $Z = 40$ , величина  $K$  находится в пределах  $0,28 - 0,32$ , то есть является практически постоянной. Существенное отклонение от этого значения для атомов более легких элементов может быть обусловлено целым рядом причин, в частности тем, что сумма  $(n + l)$  представляет собой не собственно энергию, а некоторую величину, коррелирующую с ней, причем характер этой взаимосвязи до конца не ясен [5]. Можно предположить, что для того, чтобы получить значение  $K = \text{const}$ , необходимо умножить его на коэффициент  $P_1$ , учитывающий часть энергии нейтронов, расходуемую на увеличение потенциальной энергии связи ядра и электронов, и коэффициент  $P_2$ , учитывающий характер взаимосвязи энергии электронов и суммы квантовых чисел  $(n + l)$ :

$$K_1 = \frac{N}{\sum(n+l)} P_1 P_2 = \text{const} \quad (2)$$

При этом, по-видимому,  $P_1 = \text{const}$ , а  $P_2 = f(Z)$ . Путем несложных математических преобразований приведем гиперболическую кривую  $K = f(Z)$  (рис. 1) к линейной зависимости, приняв, в целях удобства,  $K_1 \sim 1$ :

$$K_1 = \left( \frac{N}{\sum(n+l)} \right) 3415 \left( \frac{(Z-2)}{(Z+2)} \right) (999 - Z) \quad (3)$$

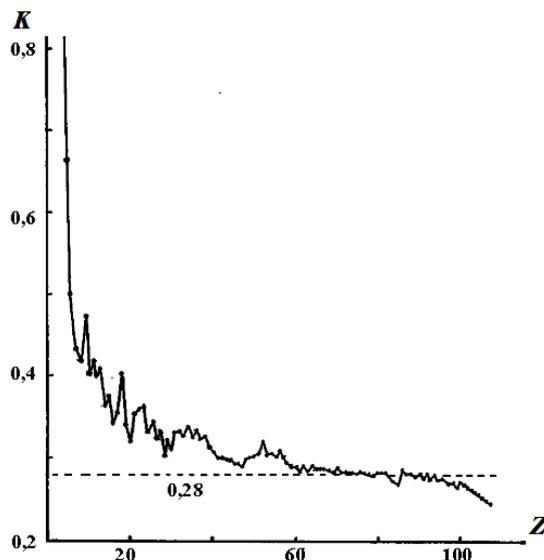


Рисунок 1 – Соотношение числа нейтронов и совокупной энергии электронов ( $K$ ) для элементов Периодической системы Д.И. Менделеева в зависимости от заряда ядер их атомов ( $Z$ ). Энергия электронов представлена в виде суммы квантовых чисел  $(n + l)$ .

Полученная кривая (рис. 2) носит характер затухающих колебаний относительно положения равновесия ( $K_1 = 1$ ), причем колебания являются модулированными. На фоне большепериодных колебаний (условный период  $\sim 13$  единиц заряда) наблюдаются колебания с малым периодом ( $\sim 2$  единицы заряда), которые также носят затухающий характер. Затухание тех и других колебаний наблюдается для элементов с порядковым номером  $Z > 72$ ,

отличающихся повышенной химической стабильностью. При  $Z \geq 84$  равновесие нарушается, начинаются аperiodические колебания, а при  $Z > 100$  кривая резко идет вниз.

На графике имеются и некоторые другие особенности, в частности, обращают внимание выбросы  $K_1$ , периодически повторяющиеся через 34 единицы заряда, при которых  $K_1$  выходит за пределы значений интервала, в котором происходят его колебания, значительно (более чем в два раза) превышая его величину. Такие отклонения имеют место для Ar ( $Z = 18$ ), Te ( $Z = 52$ ) и Rn ( $Z = 86$ ).

Если действительно между электронами и нейтронами в атоме имеет место взаимосвязь, возникает ряд вопросов и, в первую очередь, о характере этой взаимосвязи и ее проявлении в химических или физических свойствах элементов. Относительно последнего можно сделать предположение, что, в случае существования отмеченной взаимосвязи, влияние ее на свойства простого вещества должно характеризоваться близкодействием, так как источник его находится в ядре, а не на внешних энергетических уровнях. То есть, его проявление следует ожидать с большей вероятностью в твердом агрегатном состоянии, чем в жидком, тем более – в газообразном. С другой стороны, количественная характеристика этого проявления должна коррелировать  $K_1$  и достигать экстремальных значений для элементов, у которых величина этого параметра наиболее существенно отклоняется от положения равновесия ( $K_1 = 1$ ).

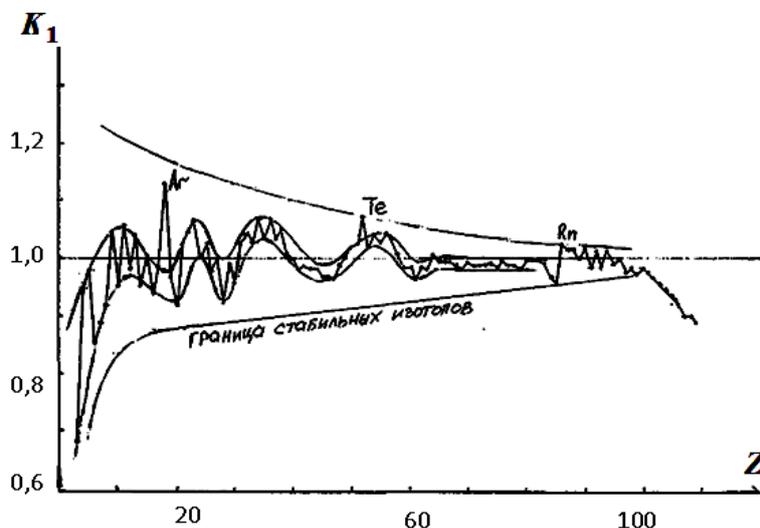


Рисунок 2 – Результат приведения к линейному виду гиперболической зависимости  $K = f(Z)$ , представленной на рис. 1. Верхняя и нижняя линии на графике ограничивают область существования стабильных изотопов, заключенную между ними. Кривая внутри этой области относится к наиболее распространенным в природе изотопам соответствующих элементов.

Ar, Te и Rn, упомянутые ранее, являются в этом отношении наиболее перспективными. Анализ их физико-химических свойств показывает, что в ряду соответствующих аналогов эти элементы резко выделяются по некоторым теплофизическим характеристикам, в первую очередь по температурам и теплотам плавления. Наиболее резко это отличие выражено у Te,

теплота плавления которого более чем в два раза превышает значение, полученное интерполяцией по соответствующим теплотам для элементов аналогов O, S, Se и Po (рис. 3, а). Для Ar (рис. 3, б) и особенно Rn это отличие выражено слабее, что может быть объяснено инертностью этих веществ. Наиболее яркое подтверждение существования взаимосвязи между числом нейтронов и энергией электронов в атоме дает сравнение зависимости от заряда ядра двух величин:  $\Delta l = \frac{(\sum(n+l) - \sum n)}{\sum n}$  и  $\Delta N = \frac{(N-Z)}{Z}$ .

Обе зависимости носят периодический характер (рис.4), но колебания обеих величин происходят в противофазе. Там, где  $\Delta N = f(Z)$  имеет максимум,  $\Delta l = f(Z)$  имеет минимум и наоборот.

Очевидно, что при снижении  $\Delta N$  происходит относительное уменьшение потенциальной энергии связи электронов с ядром, в результате электроны не могут заселять подуровни с большим значением  $n$  и "проваливаются" на более низкие энергетические подуровни с большим значением  $l$ , что и вызывает увеличение  $\Delta l$ . При возрастании  $\Delta N$ , наоборот  $\Delta l$  уменьшается, так как увеличение энергии связи с ядром повышает устойчивость электронов на подуровнях с высоким значением  $n$ .

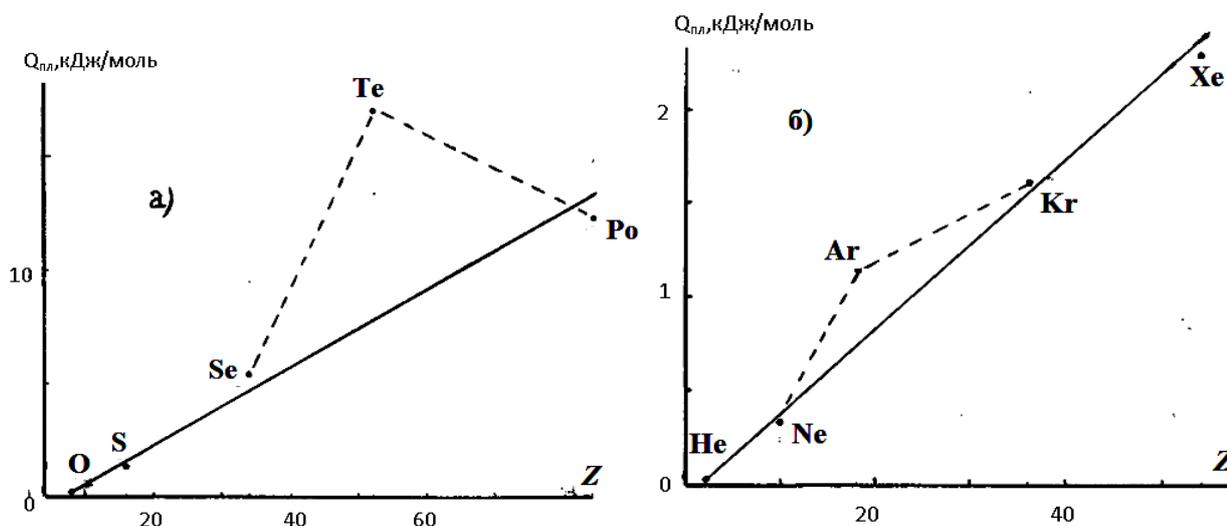


Рисунок 3 – Зависимость теплоты плавления ( $Q_{пл}$ ) элементов главной подгруппы 6 группы (а) и элементов главной подгруппы 8 группы (б) Периодической системы Д.И. Менделеева от заряда ядер их атомов ( $Z$ ). Построена по данным источника [6].

Что касается характера взаимосвязи нейтронов и электронов, здесь можно только высказывать предположения. По-видимому, существуют две возможности: или непосредственная связь нейтронов с электронами, что весьма маловероятно, так как требует наличия какого-то неизвестного типа взаимодействия, либо связь опосредованная, в которой взаимодействие нейтронов и электронов осуществляется через посредника, например протон.

В последнем случае гипотетический механизм этого взаимодействия может быть представлен следующим образом. Как известно, фактически в атомном ядре нет стабильных протонов или нейтронов, так как непрерывно протекающий между ними обмен отрицательно заряженными частицами – мезонами [7] или электронами [8] приводит к тому, что они периодически меняют свою "ориентацию". Поскольку для мезона (или электрона) нет разницы в том, находится ли перед ним бывший "родительский" нейтрон или изначальный протон, то вполне вероятно, что он может, переходя от одного протона к другому, "путешествовать" по всему объему ядра, вызывая колебания зарядовой плотности.

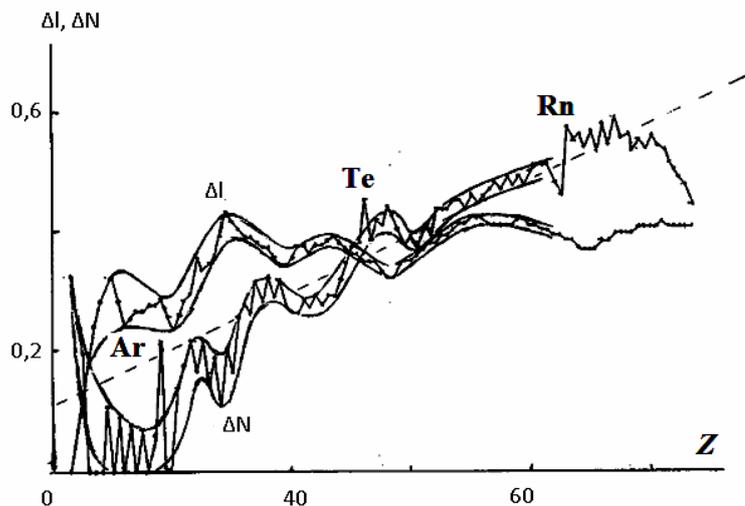


Рисунок 4 – Зависимость  $\Delta I$  и  $\Delta N$  от заряда ядер атомов элементов Периодической системы Д.И. Менделеева. Пояснения в тексте.

В этом случае можно предположить, что колебания электронной плотности вне ядра данного атома могут синхронизироваться с колебаниями зарядовой плотности в атомном ядре, подобно тому, как это происходит при дисперсионном межмолекулярном взаимодействии [5]. В этом случае возникают мгновенные (виртуальные) диполи, электростатическое взаимодействие которых обуславливает возникновение дополнительной силы притяжения электронов к ядру, пропорциональной числу нейтронов, являющихся, в данном случае, потенциальными носителями положительного электрического заряда, возникающего при "выходе" из них мезонов (или электронов). Облако этих частиц выступает в качестве носителя отрицательного заряда такого виртуального диполя.

### Заключение

Изучение известных данных о строении атома и преобразование их посредством несложных математических операций позволило установить наличие взаимосвязи числа нейтронов и совокупной энергии электронов для атомов различных элементов. Полученные зависимости от заряда ядер атомов относительных величин  $\Delta I$  и  $\Delta N$ , коррелирующих с совокупной энергией электронов и числом нейтронов, имеют периодический характер и

изменяются в противофазе, что обусловлено необходимостью периодического увеличения числа нейтронов для компенсации эффекта экранирования и увеличения энергии электронов на внешних энергетических уровнях. Предложен гипотетический механизм реализации этой взаимосвязи.

### Список литературы

1. Конспекты лекций по физике. Часть 3. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Статистическая физика и термодинамика: методические указания для студентов дневной формы обучения машиностроительного факультета / сост. Р. К. Лукс. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 60 с.
2. *Fedosin, S. G.* The virial theorem and the kinetic energy of particles of a macroscopic system in the general field concept (англ.) // *Continuum Mechanics and Thermodynamics : journal.* — 2016. — Vol. 29, no. 2. — P. 361—371.
3. Барсуков, В. И. Физика. Элементы атомной физики, физики ядра, физики твёрдого тела и жидкости : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям / В. И. Барсуков, О. С. Дмитриев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 112 с. –
4. Аникеенок О.А. Метод самосогласованного поля в приближении Хартри – Фока: учеб. – метод. пособие / О.А. Аникеенок, М.В. Еремин. – Казань: Казан. ун-т, 2019. – 30 с. Издание второе, переработанное и дополненное..
5. Павлов, Н. Н. Общая и неорганическая химия: учебник для технологических и химико-технологических направлений подготовки бакалавров и магистров/ Н. Н. Павлов. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2011. - 495 с.
6. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. Изд. В 3-х т./ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г.– Т.1. Методы испытаний и исследования. В 2-х кн. Кн. 2.– М.: Металлургия, 1991.– 462с.
7. Крейги В. Мир глазами современной физики.– М.: Мир, 1984.– 311с.
8. Шашкин В. Внутреннее строение нейтрона и строение атомного ядра, Природа сильного взаимодействия. [Электронный ресурс]. URL <https://zen.yandex.ru/media/id/5e6f2f88608ea43150681d39/vnutrennee-stroenie-neitrona-i-stroenie-atomnogo-iadra-priroda-silnogo-vzaimodeistviia-5e7353b0ac36540bbf856536> (дата обращения: 03.01.2021).