

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-34

Д4-98-34

В.А.Щеголев

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ
О СТАБИЛЬНОСТИ АТОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

1998

Проблема стабильности атомных объектов является кардинальной в атомной и ядерной теории. Решение ее связывается с правильным описанием наблюдаемых экспериментально нерегулярностей в свойствах атомов и ядер и периодичности в изменении химических свойств. Введение понятия *оболочечной структуры* атомных и ядерных объектов оказалось наиболее плодотворным. Оно позволило на основе квантово-механических представлений объяснить Периодическую систему элементов, а также существование *магических чисел* нуклонов в ядре, при которых наблюдаются скачки в плавном изменении таких свойств ядер, как энергия связи на один нуклон, энергия β - и α -распада, сечение захвата нейтронов и др. [1].

Отметим наиболее важные результаты теории, существенные для последующего изложения.

Основу квантово-механического построения Периодической системы химических элементов составляет специальный порядок заполнения энергетических уровней в многоэлектронных атомах, при котором выполняется принцип Паули. Согласно этому принципу на уровне, характеризующемся квантовыми числами n (главное квантовое число) и l (орбитальное квантовое число), может находиться не более $2(2l+1)$ электронов. Если между заполненными уровнями образуется достаточно большой просвет (здесь допускается определенный произвол), то делается утверждение, что в данном месте происходит заполнение атомной оболочки. В табл.1 приведена последовательность заполнения электронных уровней, которая следует как из теоретических расчетов, так и из эксперимента.

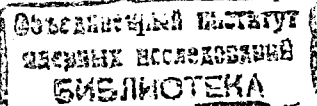
Таблица 1

Последовательность электронных уровней

1s	2s	1p	3s	2p	4s	1d	3p	5s	2d	4p	6s	1f	3d	5p	7s.
2	2	6	2	6	2	10	6	2	10	6	2	14	10	6	2
2	4	10	12	18	20	30	36	38	48	54	56	70	80	86	88

Во второй строке табл.1, под символами уровня, приведена соответствующая ему кратность вырождения, равная $2(2l+1)$. Числа в третьей строке показывают общее число заполненных состояний (т.е. число электронов, находящихся на данном уровне и на всех более низких). Вертикальные линии разделяют совокупности уровней (оболочек), соответствующие границам периодов Периодической системы, заканчивающихся благородными газами: He ($Z=2$), Ne ($Z=10$), Ar ($Z=18$), Kr ($Z=36$), Xe ($Z=54$), Rn ($Z=86$).

Теория ядерных оболочек строится по аналогии с теорией атома в предположении, что каждый нуклон движется в некотором сферически симметричном и не зависимом от положения всех других нуклонов среднем поле. Как и для электронов в атоме, каждая нуклонная орбита характеризуется квантовыми числами. Соответствующие уровни энергии последовательно заполняются нейтронами и протонами независимо. При этом протонные и нейтронные уровни с одними и теми же квантовыми числами в точности не совпадают, так как кулоновские силы, действующие лишь на протоны, сдвигают уровни последних в область более высоких энергий. Порядок заполнения



протонных уровней может отличаться от порядка заполнения нейтронных уровней. Существенную роль играет выбор формы потенциала. По этим причинам протонные и нейтронные оболочки в ядрах представлены в теории иными числами, а именно: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, называемых *магическими*.

На рис.1 из [2,3] приведен пример экспериментального определения магических чисел. На нем представлена зависимость параметра изобарной параболы b_A от массового числа A . Параметр b_A определяется из упрощенной эмпирической формулы для масс

$$M(A, I) = M(A, I_A) - \frac{1}{2} b_A (I - I_A)^2 - \delta, \quad (1)$$

где M – масса ядра, A – массовое число, $I = N - Z$ (разность числа нейтронов и протонов), нижний индекс A относится к наиболее стабильному изобару, $\delta_{чет} = -\delta_{нечет} = 12A^{1/2}$. Если в результате измерений двух верхних границ β -спектра определяются разности масс $M(A, I_1) - M(A, I_2)$ и $M(A, I_2) - M(A, I_3)$, то из соотношения (1) можно определить значения b_A и I_A . Если наименьшая из этих трех масс не подчиняется основной закономерности, а соответствует более связанной системе, то ее значение уже не будет лежать на параболе, отвечающей рассматриваемому A . Через три точки, однако, можно провести новую параболу. Если совместить ее минимум с аномально малой массой, то получится параболка, характеризующаяся большей, чем обычно, крутизной и следовательно большим значением параметра b_A .

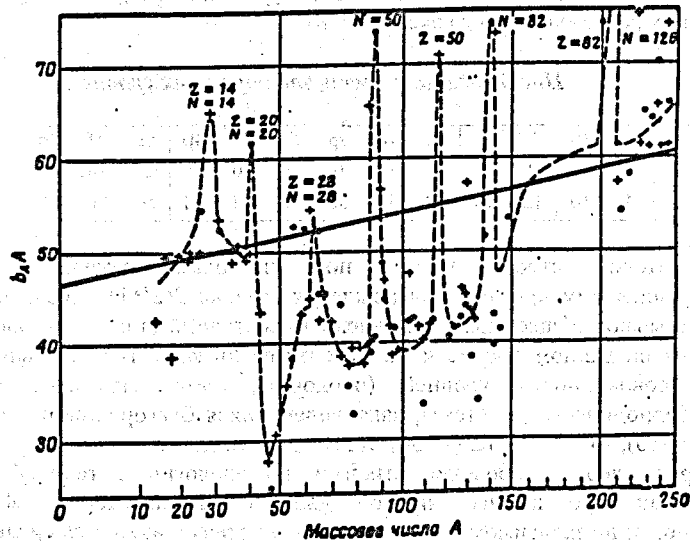


Рис.1. Зависимость b от массового числа A . Черные точки относятся к ядрам с четным A , крестики – к ядрам с нечетным A (данные от Вапстра)

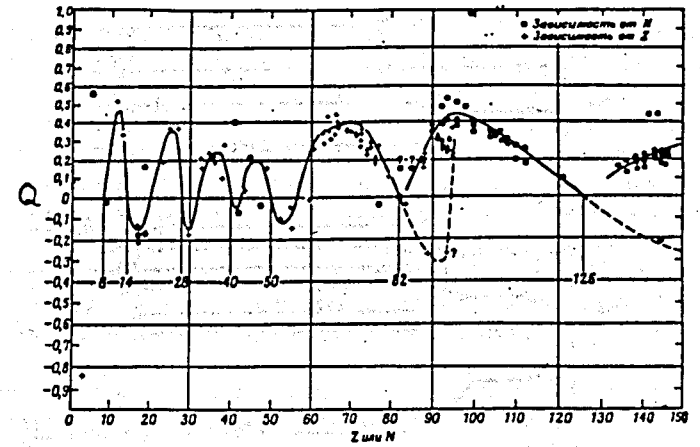


Рис.2. Экспериментальные квадрупольные моменты, характеризующие несферичность ядер (из [2])

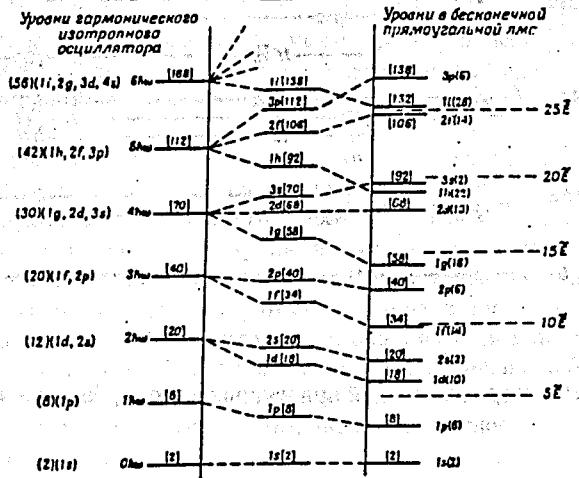


Рис.3. Схема уровней для гармонического осциллятора, прямоугольной ямы и потенциала промежуточной формы [2]

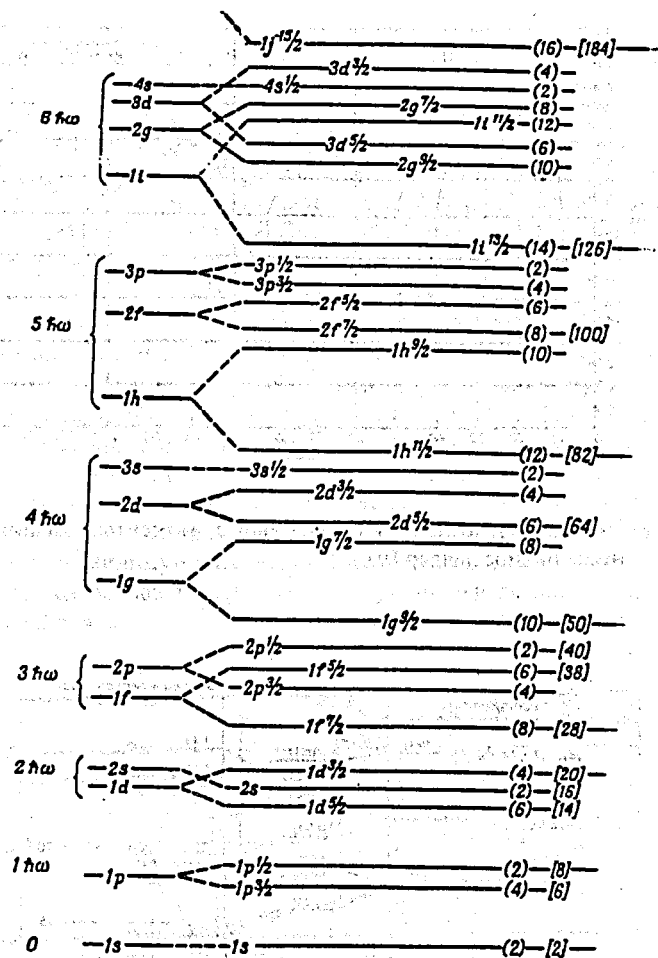


Рис.4. Схема ядерных уровней при наличии спин-орбитальной связи [1]

Другим примером экспериментального определения магических чисел может служить измерение квадрупольных моментов ядер. На рис.2 видно, что при магическом числе протонов или нейтронов ядра $Q_{кв}=0$, т.е. такие ядра являются сферическими.

Магические числа нашли объяснение в двух моделях. Вначале была разработана одночастичная модель [4], на основе которой были вычислены магические числа: 2, 8, 20, 40, 70, 112, 168 (см. рис.3).

В оболочечной модели [1], в которой была учтена спин-орбитальная связь, был получен иной состав магических чисел, более соответствующий экспериментальным данным, а именно: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184 (см. рис.4).

Оболочечная модель была признана более удовлетворительной, хотя и она не давала полного набора магических чисел. Например, отсутствуют отчетливо проявляющиеся в эксперименте число 14 (см. рис.1, 2) и число 40 (см. рис.2). В то же время одночастичная модель правильно предсказывала числа 2, 8, 20, 40. Числа же 70, 112 и 168 не подтверждались имеющимися экспериментальными данными.

Теория ядерных оболочек успешно развивалась в последующие годы. На основе модели жидкой капли с учетом оболочечной поправки был предсказан остров стабильности вблизи $Z=114$ [5,6]. В работе [7] было предсказано магическое число 162, что было подтверждено экспериментально [8,9]. В работе [10] была разработана новая модель, предсказывающая остров стабильности в области $Z \approx 110-114$ и $N \approx 160-165$. Можно сказать, что эти работы в какой-то мере подтверждают предсказания одночастичной модели относительно чисел 112 и 168. К этому надо добавить, что к ядрам с повышенной стабильностью относятся также ядра, имеющие в своем составе двойные протонные и нейтронные оболочки, например ^{48}Ca с $Z=20$ и $N=28$, ^{208}Pb с $Z=82$ и $N=126$. Известная в трансургановой области оболочка $N=152$ может в этом смысле рассматриваться как оболочка, представленная суммой магических чисел 82 и 70 (число 70 предсказывается одночастичной моделью).

В данной работе автором предложена новая концепция при рассмотрении стабильности атомных объектов. Она основана на двух идеях.

1. Индивидуальность атомного объекта, атома или его ядра, оригинальность его свойств, проявляющаяся при сопоставлении с подобными объектами, есть результат того, что тождественные частицы, составляющие атомный объект, образуют характерные конфигурации, каждая из которых обладает неповторимым набором определенных свойств.

Данную мысль высказал В.Вайскопф в своей статье "Физика в XX столетии" [11], и она следует из квантово-механических представлений о структуре энергетических состояний частиц (электронов или нуклонов), составляющих атомный объект как нечто целое.

2. Природа устроена так, что при создании некоего объекта, оригинального в своем проявлении, она всегда стремится достичь максимального результата минимальными средствами.

Эти две идеи можно объединить следующим утверждением: нечто целое является стабильным, если оно составлено из максимально возможного числа элементов, каждый из которых отличен один от другого. Предлагаемый ниже подход позволяет выразить это утверждение в некоем геометрическом образе и в простой математической форме. Применительно к проблеме стабильности

атомных объектов этот подход позволяет вычислять магические числа очень простым способом.

В комбинаторной математике известны две теоремы [12]:

1) m прямых, расположенных в одной плоскости, из которых никакие две не параллельны и никакие три не проходят через одну точку,

делят плоскость на $\left[\frac{1}{2}m(m+1) + 1\right]$ частей;

2) M плоскостей, из которых никакие две не компланарны, никакие три не проходят через одну прямую и никакие четыре через одну

точку, делят пространство на $\left[\frac{1}{6}(M^3 + 5M) + 1\right]$ частей.

Легко убедиться, что по условиям этих теорем *целое* (плоскость или пространство) делится на максимальное число частей при заданном числе разделяющих факторов (прямых или плоскостей). Используя эти теоремы, мы можем удовлетворить первое требование нашего подхода. Чтобы удовлетворить второе требование – неодинаковость частей между собой, введем следующие определения. Обозначим плоскости, разделяющие пространство согласно теореме 2), символами $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \dots$, одни стороны плоскостей обозначим знаком (+), а противоположные стороны – знаком (-). Тогда каждую часть пространства, ограниченную определенными плоскостями, можно характеризовать определенным набором символов $\alpha^\pm, \beta^\pm, \gamma^\pm, \lambda^\pm \dots$ (ниже будет приведен конкретный пример). В таком представлении каждая часть разделенного пространства оказывается неповторимой среди остальных.

Чтобы придать этой геометрической схеме некое физическое содержание, введем следующее представление. отождествим геометрический образ (теорема 2) с системой частиц следующим образом:

Целое пространство	Система частиц (атомный объект, оболочка)
Разделяющие плоскости одна сторона плоскости противоположная сторона	Свойства системы* свойство со знаком (+) свойство со знаком (-)
Часть разделенного пространства	Элемент системы, включающий две частицы, из которых одна имеет <i>правое</i> вращение, а другая – <i>левое</i>

* Понятие *свойство системы* будет пояснено ниже.

Таким образом, связанное стабильное *целое* представляется как система вращающихся частиц. Воспользуемся формулой теоремы 2) для определения числа частиц в такой системе. При этом отождествим одну часть разделенного

пространства с вращением системы как целого (с двумя степенями свободы). Тогда, число частиц A в стабильной системе определяется из выражения (2):

$$A = \sum_0^n [m(m+1) + 2] = \frac{(n+1)^3 + 5(n+1)}{3} \quad (2)$$

Оно получено умножением формулы второй теоремы на 2 (поскольку каждую часть разделенного пространства мы отождествили с двумя частицами) с последующим вычетом 2 (поскольку вращение системы как целого нас в данном случае не интересует). Значение $n+1$ соответствует числу плоскостей M , разделяющих пространство, или (по нашему определению) числу свойств, присущих системе, так что при $n=0$ система представлена только двумя частицами, обладающими всего одним свойством.

Обратим внимание на то, что величина A является суммой ряда величин $s=m(m+1)+2$ (кол.3 табл.2). В геометрическом образе величины s соответствуют тем частям пространства, которые примыкают к одной из сторон какой-то одной произвольно выбранной плоскости. Число частиц в таких элементах вычисляется по формуле теоремы 1) умножением на 2.

В табл.2, кол.2 приводятся значения A , вычисленные по формуле (2) при значениях n , соответствующих натуральному ряду чисел.

Табл.2

Магические числа, вычисляемые по формулам
(2) для A , (3) для B , (4) для C

n	A	$s=m(m+1)+2$	B	$p=(m-1)(m+2)+2$ $=m(m+1)$	C	$q=(m-1)(m-2)+2$ $m \neq 0$
1	2	3	4	5	6	7
0	2	2	0	0	2	-
1	6	4	2	2	4	2
2	14	8	8	6	6	2
3	28	14	20	12	10	4
4	50	22	40	20	18	8
5	82	32	70	30	32	14
6	126	44	112	42	54	22
7	184	58	168	56	86	32

Видно, что ряд величин A воспроизводит часть известных экспериментально магических чисел, включая число 14, и частично совпадает с предсказаниями оболочечной модели. Появляется новое число 6, но отсутствуют числа 8, 20, 40. Чтобы получить и эти числа, разовьем дальше наш геометрический подход.

Рассмотрим конкретный пример для $n=3$. Четыре плоскости (обозначим их как $\alpha, \beta, \gamma, \lambda$) делят пространство согласно теореме 2) на 15 частей и образуют тетраэдр. Обозначим внешние грани тетраэдра (соответственно, плоскости) знаком (+), а внутренние – знаком (-). Каждая часть пространства

отождествляется, согласно определению, с элементом системы, а каждая плоскость - с неким определенным свойством. Индивидуальность каждого элемента характеризуется определенным набором свойств (конфигурацией) в соответствии с тем, к каким плоскостям и с какой стороны плоскости данная часть пространства, отождествляемая с определенным элементом, примыкает. Назовем такую конфигурацию *состоянием*. Распишем все возможные состояния так, как это указано в кол.1 табл.3.

Табл.3

Состояния частиц в системе, отождествляемые с определенными частями пространства, разделенного 4-мя плоскостями по условиям теоремы 2)

Внутр.полость тетраэдра	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$				
	1	2	3	4	5	6
	А-состояния		В-состояния		С-состояния	
Части пространства У 4-х вершин	$\alpha^+ \beta^+ \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \lambda^-$		
	$\beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\beta^- \gamma^- \lambda^-$
	$\alpha^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^- \gamma^- \lambda^-$	$\alpha^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^- \gamma^- \lambda^-$		
У 4-х граней	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$			$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$
	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$			$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$
	$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^+$			$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^+$
	$\alpha^- \beta^+ \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^+ \lambda^-$			$\alpha^- \beta^+ \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^+ \lambda^-$
У 6-ти ребер	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$		
	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$		
	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$		
	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^-$		
	$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^+$		

Поскольку мы отождествили с каждым элементом пространства (кроме одного) 2 частицы (с левым и правым вращением), то каждое состояние (из перечисленных в кол.1) мы должны приписать одной из частиц, имеющей, например, правое вращение, а те же состояния, но с противоположной четностью - второй частице, имеющей левое вращение (кол.2). Общее число состояний будет равно 30. Из них состояния ($\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$) и ($\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$) отнесем к вращению системы как целого. Оставшееся число состояний равно 28 и равно числу А при $n=3$. Видно, что вся совокупность состояний представляет комбинации всех свойств в неповторяющихся сочетаниях.

Подобные построения можно провести для любого n . При этом целесообразно ввести следующее ограничение: при $n > 2$ следует располагать плоскости в пространстве по условиям теоремы 2) таким образом, чтобы они касались поверхности шара. Тогда в центре такого построения будет находиться элемент, который можно относить к вращению системы как целого.

В общем случае при любом значении n , которому соответствует последовательность свойств $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \dots$ с числом этих свойств, равным $n+1$,

можно построить комбинации состояний, подобные указанным в кол.1, 2 табл.3. Число таких состояний определяется выражением (2) для А.

Зададимся вопросом: можно ли выделить из перечисленных в кол.1, 2 табл.3 состояний некоторые комбинации, отличающиеся определенным сочетанием свойств, и что из этого может выйти?

Выберем из всей совокупности состояний, указанных в кол.1, 2 табл.3, состояния, в которых одно свойство, имеющее определенный знак (+ или -), сочетается со всеми остальными свойствами, но имеющими противоположный знак. Эти состояния указаны в табл.4.

Табл.4

$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$
$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$
$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$
$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$

В геометрическом образе эти состояния соответствуют частям пространства, опирающимся на грани тетраэдра (в общем случае, при $n > 2$, - на грани центральной фигуры, образованной $n+1$ плоскостями). Общее число таких состояний равно 8, т.е. удвоенному числу свойств (плоскостей). Если вычесть число этих состояний из $A=28$ при $n=3$, то получим соответствующее число $B=20$. Соответствующая совокупность оставшихся состояний представлена в кол.3,4 таблицы 3.

Подобные совокупности состояний будут наблюдаться при любом n , а значения В, вычисляемые из выражения (3), образуют второй ряд магических чисел (кол.4 табл.2).

$$B = \sum_0^n [(m-1)(m+2)] = \frac{(n+1)^3 + 5(n+1)}{3} - 2(n+1). \quad (3)$$

Обратим внимание на то, что выражение для В есть сумма ряда величин $p=(m-1)(m+2)+2=m(m+1)$, образуемых по тому же закону, что и величины S.

Видно, что ряд чисел В в точности повторяет последовательность магических чисел, предсказываемых одночастичной моделью. В нашем подходе эти числа получены исключением из общего максимально возможного числа состояний тех состояний, которые характеризуются некоторой общностью (см. табл.4). Но этим не было нарушено условие неповторимости свойств элементов системы в оставшемся ансамбле состояний (кол.3,4 табл.3).

Можно предполагать, что ряд магических чисел В, как и ряд А, имеет право на признание. Это подтверждается в отношении чисел 70, 112, 168, о которых речь шла выше. По-видимому, с рядом В связываются некоторые еще не выявленные свойства ядер. В качестве гипотезы можно высказать следующее частное предположение. Можно было бы ожидать, что ядра со сдвоенными оболочками ^{10}He ($Z=2$ и $N=8$) и ^{28}O ($Z=8$ и $N=20$) будут стабильными или

относительно стабильными. Но экспериментально было показано, что эти ядра не обладают ядерной стабильностью [13,14]. Не исключено, что причина нестабильности этих ядер заключается в одновременной принадлежности их Z и N к ряду чисел B . Было бы интересно проверить экспериментально, будет ли соблюдаться это правило в случае ^{60}Ca ($Z=20$ и $N=40$), ^{110}Zr ($Z=40$ и $N=70$), ^{182}Yb ($Z=70$ и $N=112$), $^{280}\text{112}$ ($Z=112$ и $N=168$). Если бы это действительно подтвердилось, то проявилась бы некая физика состояний, ответственных за ряд B .

Сделаем еще одну выборку из A -состояний для $n=3$, как это указано в табл.5.

Табл.5

$\alpha^+ \beta^+ \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \lambda^-$
$\alpha^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^- \gamma^- \lambda^-$
$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^-$
$\alpha^- \beta^+ \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^-$
$\alpha^- \beta^- \gamma^+ \lambda^+$	$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^-$
$\alpha^+ \beta^+ \gamma^- \lambda^+$	$\alpha^- \beta^- \gamma^+ \lambda^-$
$\alpha^+ \beta^+ \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^- \gamma^- \lambda^+$
$\alpha^- \beta^+ \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^+ \beta^- \gamma^- \lambda^+$
$\alpha^+ \beta^- \gamma^+ \lambda^-$	$\alpha^- \beta^+ \gamma^- \lambda^+$

Выбранные состояния (кол.1 табл.5) отличаются тем, что 1) все они содержат свойство α , 2) в каждом состоянии имеется по крайней мере пара свойств, имеющих знак (+). В геометрическом образе это соответствует тем частям пространства, которые примыкают к плоскости α . Число их равно числу отрезков прямых, образуемых пересечением плоскости α с плоскостями β , γ , λ , и равно 9 (в общем случае n^2). Общее число состояний (вместе с антиподами по вращению) равно $2n^2$, т.е. 18. Вычтя это число из $A=28$, соответствующее $n=3$, мы получим число $C=10$ при $n=3$. Соответствующие этой "десятке" состояния перечислены в кол.5,6 табл.3.

Проделив то же самое для других n , согласно формуле (4), мы получим ряд величин C , указанных в кол.6 табл.2:

$$C = \sum_0^n [(m-1)(m-2)+2] = \frac{(n+1)^3 + 5(n+1)}{3} - 2n^2. \quad (4)$$

Видно, что выражение (4) для C дает число протонов в ядрах атомов благородных газов, кроме случаев с $n = 1, 2, 5$, которые требуют отдельного рассмотрения. Этот удивительный результат означает, что в пределах каждой протонной оболочки A_n существуют конфигурации состояний, ответственных за химическую индивидуальность атомного объекта. Число этих состояний $A_n - C_n = 2n^2$ равно числу в элементов в соответствующих периодах

Периодической системы и числу электронов в соответствующих слоях (см. табл.6).

Табл.6

Распределение электронов по слоям в многоэлектронных атомах

n (главное квантовое число)	1		2			3			4			
Слой	K-слой		L-слой			M-слой			N-слой			
l (орбитальное квантовое число)	0		0	1	0	1	2	0	1	2	3	
Оболочки	1s		2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	
Число электронов в слое	2		2	6	2	6	10	2	6	10	14	
$\Sigma=2n^2$	$2=2 \cdot 1^2$		$8=2 \cdot 2^2$			$18=2 \cdot 3^2$			$32=2 \cdot 4^2$			

Можно предполагать, что данный результат является лишь математическим фокусом. Появление "лишних" чисел 4 и 6 даёт основание для таких сомнений. Но не исключено, что по каким-то причинам, пронстекающим из особой природы легких ядер, при $Z=4$ и $Z=6$ не обнаруживается свойство благородных газов. Что касается появления в ряду чисел C числа 32 (Ge) вместо 36 (Kr), то можно предположить, что по каким-то причинам природе более угодна сумма $18+18=36$, чем число 32. Несмотря на эти гипотетические предположения, все же можно утверждать, что выражение (4) правильно предсказывает Z благородных газов. По крайней мере, в нашем подходе исключено произвольное перемещение оболочек с большим n впереди оболочек с меньшим n , как это принято при построении оболочек в атомах тяжелее водорода в квантово-механическом представлении Периодической системы.

Отметим еще два факта, знание которых представляет интерес.

1. Ряд величин $q=(m-1)(m-2)+2$ в кол.7 табл.2, начиная с $n=2$, совпадает с рядом величин $s=m(m+1)+2$. Это означает, что формирование C -оболочек по типу A -оболочек начинается, когда система уже имеет в своем составе 3 свойства: α , β и γ .
2. Строго выполняется соотношение $A_n - C_n = B_n - B_{n-2}$.

Итак, описанный подход позволяет простым образом вычислять магические числа нуклонов (протонов или нейтронов) в ядрах, а также (но с меньшей степенью достоверности) атомные номера благородных газов.

На этом основании можно сделать вывод, что утверждение "нечто целое является стабильным, если оно составлено из максимально возможного числа элементов, каждый из которых отличен один от другого" является правильным. Геометрический образ, исходящий из этого утверждения, отождествляется с системой вращающихся частиц, составляющих нечто целое, называемое оболочкой. Можно предположить, что магическое число есть число

степеней свободы в такой стабильной системе. Внутренняя энергия оболочки, распределенная по вращательным степеням свободы, представляется как сумма вращательных энергий, составляющих оболочку нуклонов, плюс вращательная энергия системы в целом.

Удивляет, что изложенные результаты получены из самых общих соображений без рассмотрения физических причин.

В первую очередь возникает вопрос: каков физический смысл величины n ? Выше мы определили эту величину как некое специфическое свойство системы. Абстрактный подход к проблеме, применяемый в настоящей работе, вообще говоря, не требует знания того, какие же конкретные физические величины представляют то, что мы назвали свойствами. Можно предположить, что за величиной n не стоит никакое физическое понятие и что просто могут существовать системы из многих вращающихся тел, которые образуют стабильную конфигурацию при определенном числе составляющих такую систему тел. Более того, можно предположить, что возникновение определенного свойства системы связано с определенным числом составляющих систему вращающихся тел.

Можно было бы предположить, что понятие *свойство* выражается лишь определенным дискретным числом неких элементарных свойств, как это принято в квантово-механических представлениях при определении состояния частицы в атоме или ядре, согласно которым на одном энергетическом уровне E_n может находиться несколько тождественных частиц, но каждая из них отличается от других квантовыми числами величин M_l , M_z и M_{sz} . Но при нашем подходе это исключено: В противном случае в одном элементе системы могли бы сочетаться одни и те же свойства, отличающиеся только количественно. Например, если мы примем, что свойство α есть способность частиц, входящих в систему, находиться в состоянии с энергией E_1 , а свойство β — с энергией E_2 , то согласно нашему подходу всегда найдется один элемент n , соответственно, частицы, которые будут обладать и энергией E_1 и энергией E_2 , что исключено. В этом состоит коренное отличие нашего подхода от квантово-механического. Но поскольку наш подход тоже дает правильный конечный результат, то необходимо предположить, что понятие *свойство* не есть некая кинематическая характеристика, а нечто другое.

В то же время необходимо отметить явную родственность нашего геометрического и квантово-механического подходов.

Одним из фундаментальных положений квантовой физики является признание факта, что атомный объект представляет собой совокупность осцилляторов, имеющих энергии, кратные величине $h\omega$. Наш подход не только не противоречит этому положению, но и подтверждает его. Вращение частицы может быть представлено как аналог периодического движения. Внешнее воздействие возмущает вращение частицы, и она стремится к возврату в исходное состояние. Характер девозбуждения должен быть колебательным уже в силу того, что частица продолжает вращаться. Вопрос состоит в том, почему девозбуждение осуществляется дискретным образом? Связано ли это с вращением самой частицы

или с тем, что частица находится в коллективе, число частиц в котором является кратным само по себе?

Мы уже сравнивали результаты нашего подхода с результатами одночастичной и оболочечной моделей. Можно, по-видимому, утверждать, что комбинаторика этих моделей и нашего подхода при построении оболочек имеет одну природу, и это следует из требования неповторимости в сочетаниях свойств частиц, образующих стабильную систему. Принципиальное отличие состоит в том, что квантово-механический подход ограничивает число возможных свойств только кинематическими характеристиками, тогда как наш подход таких ограничений не имеет. Понятие *свойство* не определено в нашем случае как конкретная характеристика, а введено как некое абстрактное понятие, но это еще не означает, что оно не имеет физического содержания. Этот вопрос еще требует своего прояснения.

Не исключено, что изложенный в данной работе подход может послужить созданию новой концепции стабильности атомных объектов, которая позволит внести новые представления о природе ядерных явлений. Возможно, что эта концепция может быть выражена в ином формализме, выстроенном на основе математической теории групп. Не исключено, что формализм группы позволит выявить симметрии высокого порядка, определяющие магические числа. Это предмет будущего исследования.

Автор выражает глубокую благодарность Ф.А.Гарееву за ободряющее внимание, проявленный интерес и критику данной работы, Ю.Ц.Оганесяну и Б.И.Пустыльнику за полезные замечания.

Литература

1. M.Goeppert-Mayer, J.H.D.Jensen. Elementary Theory of Nuclear Shell Structure. New York, John Wiley & Sons, Inc.; London, Chapman & Hall, Ltd; 1955. Русский перевод: М.Гепперт-Майер и И.Г.Д.Иенсен. Элементарная теория ядерных оболочек. ИИЛ, Москва, 1958.
2. M.A.Preston "Physics of the Nucleus", Addison-Wesley Publ. Comp, Inc., Reading, Massachusetts; Palo Alto-London. (Русский перевод: М.Престон "Физика ядра", изд-во "Мир", Москва, 1964).
3. A.H.Wapstra, Handbuch der Physik, Hsg.Flugge, Bd.38/1, Berlin, 1958.
4. W.Elsasser, Journ. de phys. et rad., 5, 625 (1934).
5. F.A.Gareev, B.N.Kalinkin, A.Sobiczewski, Phys.Lett.B, 1966, v.22, p.500.
6. S.G.Nilsson et al., Nucl.Phys. A 131 (1969) 1.
7. Z.Patyk and A.Sobiczewski, Nucl.Phys. A533, 132 (1991).
8. S.Hofmann et al, Z.Phys.A350 (1995) 277, 281.
9. Yu.A.Lazarev et al, Phys.Rev.Letters 73, N^o5 (1994) 624.
10. Cheng-Li Wu, Mike Guidry, Da Hsuan Feng, Physics Letters B 387 (1996) 449-454.
11. V.F.Weisskopf, Physics in the Twentieth Century, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 1972. (Русский перевод: В.Вайскопф, "Физика в двадцатом столетии", Атомиздат, Москва, 1977).
12. M.Gardner, New Mathematical Diversions from Scientific American, New York, Simon and Schuster, 1966; The Unexpected Hanging and Other Mathematical

- Diversions, New York, Simon and Schuster, 1969. (Русский перевод: М.Гарднер, Математические досуги, изд-во МИР, Москва, 1972).
13. A.N.Ostrowski, H.G.Bohlen, B.Gebauer, S.M.Grimes, R.Kalpakchieva, Th.Kirchner, T.N.Massey, W.von Oertzen, Th.Stolla, M.Wilpert, Th. Wilpert. HMI-94/FK-Boh2.
14. O.Tarasov et al, Phys.Letters B 409 (1997) 64-70.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 1998 года.