

Физико-математические науки

УДК 539.143.5

Жижко Владимир Абрамович

независимый эксперт

Zhyzhko Volodymyr

Independent Expert

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЯДЕРНЫХ ОБОЛОЧЕК

STATIC MODEL OF THE NUCLEAR SHELLS

Аннотация. Приведен алгоритм построения конфигураций из тетраэдров, моделирующий послойное построение структур ядерных оболочек. Подсчёт количества тетраэдров в заполненных оболочках дал совпадение с известными магическими числами.

Ключевые слова: ядерные оболочки, магические числа, тетраэдрическая модель нуклона.

Summary. An algorithm over of configurations construction is brought from tetrahedrons, designing the layer construction of nuclear shells structures. The count of amount of tetrahedrons in the filled shells gave a coincidence with well-known magic numbers.

Key words: nuclear shells, magic numbers, tetrahedron model of nucleon.

Величина удельной энергии связи зависит от степени заполнения очередной оболочки ядра. Эта величина имеет локальные максимумы при полностью заполненных оболочках, отдельных для нейтронов и протонов. Количество нуклонов в ядре с полностью заполненными оболочками называется магическим числом (МЧ). Наборы этих чисел почти одинаковы для протонов и нейтронов. Теория ядерных оболочек была разработана в 1948 г. М. Гёпперт-Майер и И. Йенсеном на основе решения

уравнения Шрёдингера для одночастичной модели с потенциалом из трёх слагаемых, включая и спин-орбитальное взаимодействие [1]. От близости к-ва нуклонов к МЧ зависят многие свойства ядра, что важно для ядерных исследований и технологий. По этой причине работы по теме «магических чисел» были продолжены, были выделены полумагические и околумагические числа.

Постановка задачи и алгоритм решения. В данной работе предлагается получить набор МЧ исходя из представления о минимальном количестве сильных связей между нуклонами в ядре [2]. При четырёх сильных связях на нуклон элементарной ячейкой ядерного пространства является тетраэдр. Рассматривается статическая модель конфигураций из тетраэдров с целью построения слоёв (оболочек) и подсчёта к-ва тетраэдров в таких конфигурациях. Есть несколько подходов к решению: подсчитать на макете, найти аналитическую зависимость, использовать программную модель. Здесь рассматривается последний вариант. Будем считать тетраэдры слегка деформируемыми так, чтобы пространственные углы между гранями тетраэдра равнялись $2\pi/5 = 72^\circ$. Такой угол принят за единицу измерения углов в конфигурациях из тетраэдров [3]. Т.е. угол между двумя гранями конфигурации равен количеству тетраэдров, которые можно поместить между этими гранями. При построении модели конфигураций удобно оперировать с гранями и углами между ними. Соответственно, присваивать уникальные номера граням (а не тетраэдрам). Такая модель оперирует с поверхностью конфигураций, а не с объёмом. Понадобится номеровать и вершины конфигурации – точки, в которых сходятся вершины тетраэдров. (В одной вершине конфигурации могут сходиться до 20 вершин тетраэдров, т.е. до 60 граней). Построение очередного слоя - это последовательность присоединения новых тетраэдров для покрытия граней поверхности предыдущего слоя. Построение первой оболочки начинается с покрытия граней одного

тетраэдра. Описание модели начального тетраэдра (рис.1), его граней, углов и вершин, дано в табл.1. Поскольку у тетраэдра 4 грани,

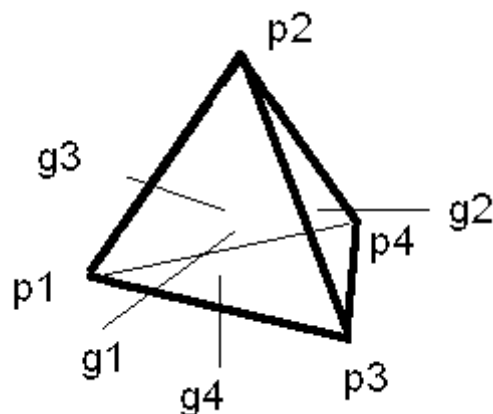


Рис. 1. Тетраэдр

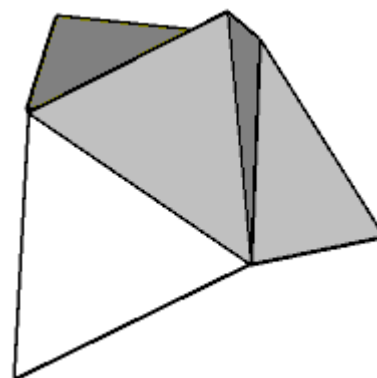


Рис. 2. Первая оболочка – 12 граней

Таблица 1

Описание начального тетраэдра

Намер грани	Соседи			У г л ы			Вершины		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
_1	2	3	4	4	4	4	1	2	3
_2	1	3	4	4	4	4	2	3	4
_3	1	2	4	4	4	4	1	2	4
_4	1	2	3	4	4	4	1	3	4

Таблица 2

Описание ситуаций покрытия

c1	c2	c3	c4
1	3	1	-1
2	2	2	0
3	1	3	1
4	1	3	0

c1 - ситуация
c2 - к-во покрываемых граней
c3 - к-во новых граней
c4 - к-во новых вершин

то первая оболочка состоит из четырёх тетраэдров. Поверхность второго слоя состоит уже из 12 граней (рис.2). Очередной слой - это совокупность тетраэдров, накрывающих грани предыдущего слоя. При покрытии граней изменяются углы между гранями, покрытые грани

переходят с поверхности в объём. Из-за изменения углов могут возникнуть 4 вида ситуаций между соседними гранями:

- 1 – два угла между накрываемой и соседними гранями равны 1, рис. 3,
- 2 – один из таких углов равен 1, рис. 4,
- 3 – все три угла между накрываемой гранью и соседними больше 1, рис. 5,
- 4 – все три угла больше 1, а также одно из рёбер накрывающего тетраэдра накладывается на ребро в конфигурации, рис. 6.

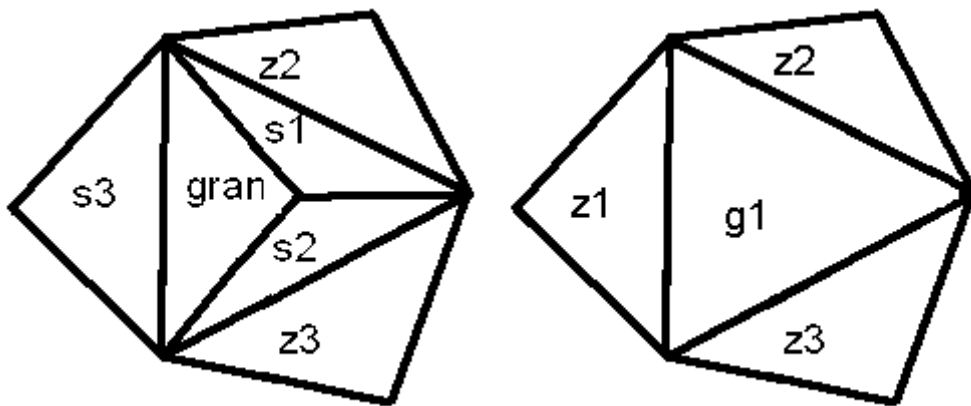


Рис. 3. Ситуация 1 до и после покрытия

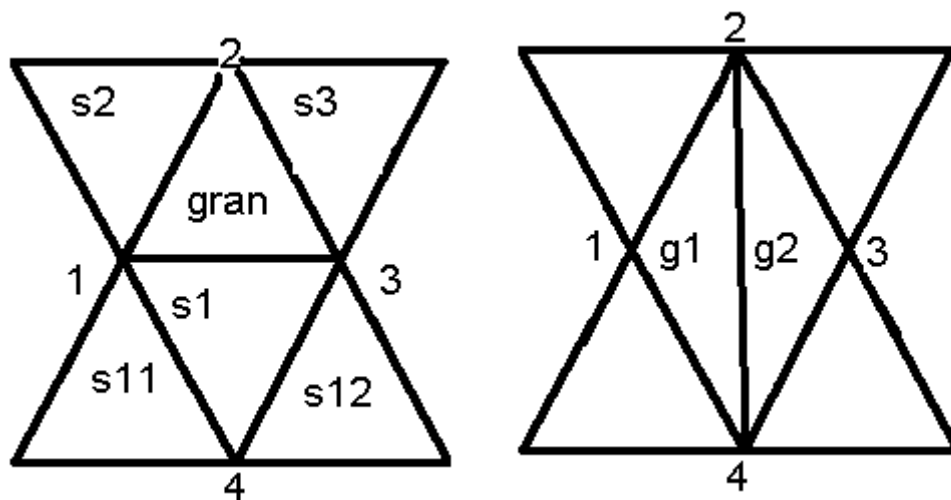


Рис. 4. Ситуация 2

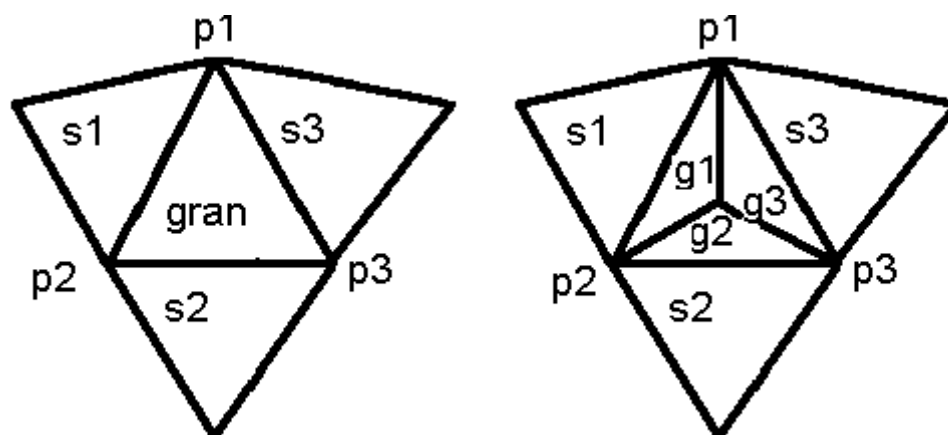


Рис. 5. Ситуация 3

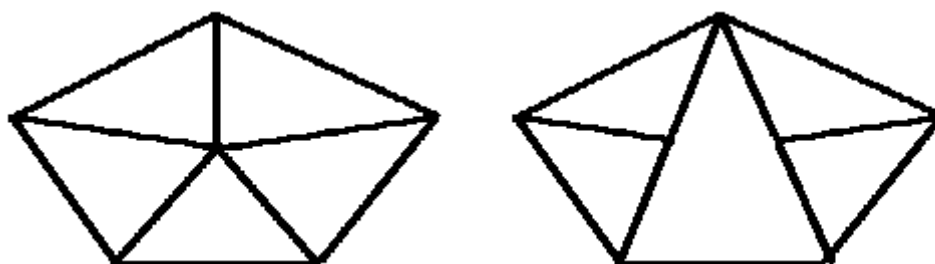


Рис. 6. Ситуация 4

Основные особенности этих ситуаций описаны в табл.2. Локальные ситуации 1, 2 и 3 можно идентифицировать средствами модели из граней, углов и вершин. Для операций с ситуацией 4 пришлось бы существенно усложнить модель. Поэтому алгоритм построения слоёв выбран таким, чтобы предотвратить ситуации типа 4. А именно, сначала обрабатываются все случаи ситуации 1, затем идёт поиск ситуации 2. Если ситуация 2 найдена, она обрабатывается и сразу следует проверка на возможное появление ситуации 1. Поиск ситуации 3 становится возможным, когда не остались необработанными ситуации 1 и 2. После первой же обработанной ситуации 3 управление передаётся на ситуацию 1. Далее приводится текст программы.

Текст программы

/* Задача - построение слоёв конфигурации (КФ) из тетраэдров. Подход основан на нумерации граней и учёте углов между соседними гранями. Каждая грань поверхности имеет трёх соседей, отделённых рёбрами. Среди соседей могут быть и грани этого же тетраэдра. Этот подход позволяет строить слои (оболочки), исходя из различных

начальных КФ. Варианты присоединения тетраэдра Т к грани Г поверхности:

- два угла = 1; В этом случае тетраэдр Т покрывает (переводит в объём) три грани поверхности, а в следующем слое появятся одна грань,
- один из углов = 1; В этом случае тетраэдр Т покрывает (переводит в объём) две грани поверхности, а в следующем слое появятся также две грани,
- все три угла грани Г поверхности с соседними гранями > 1; В этом случае грань Г просто покрывается гранью тетраэдра Т и переходит в объём, поверхность увеличивается на три новых грани, которые принадлежат уже следующему слою, При построении очередного слоя надо фиксировать углы между гранями из разных слоёв, а также в ситуациях 1 и 2 при покрытии нескольких граней одним тетраэдром возможно покрытие и грани из нового слоя. В конце построения слоя остаются только углы между гранями одного нового слоя. Действия при присоединении к поверхности КФ очередного тетраэдра: 1- перевод покрываемой грани поверхности в объём, 2- добавление в таблицу новых граней с увеличенным на 1 номером слоя, 3- изменение углов со всеми соседями новых граней, 4 – определить номера вершин для новых граней.*/

PROC magic_nums()

a := 500; adjoin := ARRAY(a,3); ang := ARRAY(a,3); peak := ARRAY(a,3)

cover := ARRAY(a); vol := ARRAY(a)

FOR k := 1 TO a ; vol [k] := 0 ; ENDFOR

/* adjoin - номера соседних граней с текущей гранью,

ang - углы текущей грани с соседними гранями,

peak - номера вершин грани,

cover - номер слоя, vol - грань в объёме (1) или на поверхности (0)

gran - номер грани, подлежащей накрытию тетраэдром (следующего слоя)

gcur - старший использованный номер грани в накрывающем слое,

gmax - старший номер грани в накрываемом слое,

gmin - младший номер в накрываемом слое,

pcur - старший использованный номер вершины

Нумерация вершин нужна для правильного определения соседних граней в ситуации 2

*/

// Блок описания начального тетраэдра опущен – см. табл.1

gcur := b ; gmax := 0 ; pcur := b; kvo := 0 ; knp := 0

PRIVATE s1,s2,s3, an1,an2,an3, p1,p2,p3

FOR layer := 1 TO 6

gmin := gmax+1; gmax := gcur ; nl1 := layer + 1; kvo1 = kvo2 := kvo3 := knp1 := knp2 := 0

DO WHILE .T.

//----- ситуация 1 -----//

FOR gran := gmin TO gmax ; was_sit1 := .F. ; IF vol [gran] == 1 ; LOOP ; ENDIF ;

short_var()

DO CASE

CASE an1 == 1 .AND. an2 == 1 /*добавить 1 грань поверхности и перевести в объём 3 грани. Тетраэдр накрывает сразу 3 соседние грани, поэтому надо оперировать с соседями этих трёх граней. Эти 3 грани равноправны - два соседа для каждой из них принадлежат этой же тройке, а углы между ними как раз равны 1. Таким образом, соседями новой грани будут те соседи этих трёх граней, которые не принадлежат этой тройке. В данном случае соседями новой грани будут s3 и те соседи s1 и s2, с которыми у них углы > 1 */

g1 := ++gcur ; z1 := adjoin [g1,1] := s3; ang [g1,1] := an3-1

q1 := n123(s1); z2 := adjoin [g1,2] := adjoin [s1,q1]; ang [g1,2] := ang [s1,q1] - 1

q2 := n123(s2); z3 := adjoin [g1,3] := adjoin [s2,q2]; ang [g1,3] := ang [s2,q2] - 1

// Номера соседей определены. Номера вершин g1 - это совпадающие номера вершин //соседей.

peak [g1,1] := common3 (z1,z2,gran); peak [g1,2] := common3 (z1,z3,gran)

peak [g1,3] := common3 (z2,z3,s1)

// корректировка соседей

corr_gs(g1,z1,an3-1); q1 := n321 (z2,s1); adjoin [z2,q1] := g1 ; ang [z2,q1] := ang [g1,2]

q2 := n321 (z3,s2); adjoin [z3,q2] := g1 ; ang [z3,q2] := ang [g1,3]

// перевод покрываемых граней в объём

vol [gran] := vol [s1] := vol [s2] := 1 ; cover [g1] := nl1;

// подсчёт к-ва тетраэдров в слое

kvo++ ; kvo1++ ; was_sit1 := .T.

CASE an1 == 1 .AND. an3 == 1 ; swap_ind (2,3)

CASE an3 == 1 .AND. an2 == 1 ; swap_ind (1,3)

ENDCASE

ENDFOR

//----- ситуация 2 -----//

FOR gran := gmin TO gmax ; was_sit2 := .F. ; IF vol [gran] == 1 ; LOOP ; ENDIF

short_var()

DO CASE

CASE an1 == 1 /* Добавить 2 грани поверхности и перевести в объём 2 грани, тетраэдр накрывает сразу 2 соседние грани, поэтому надо оперировать с соседями этих двух граней Один тетраэдр накрывает 2 соседних грани с углом 1 и добавляет 2 новые грани с углом 4. Вопрос - как распределить 4 соседа, доставшихся от накрытых граней, между двумя новыми гранями. Каждая новая грань имеет 3 соседа - один с другой новой гранью (угол 4) и по одному соседу от каждой из двух накрытых граней, 2 варианта - (s11,s21; s12,s22) и (s11,s22 ; s12,s21). К одной паре не могут принадлежать соседи (s11,s12) и (s21,s22) Признаки того, что пара граней станет соседями новой грани:

имеют общую вершину, справедливо для обеих пар. После накрытия тетом угла 1 грани gran и s1 переходят в объём, образуются две новые грани g1 и g2. */

```
// 1 - определение соседей s1
ind1 := {2,1,1}; ind2 := {3,3,2} //соседи s1 кроме gran станут соседями g1 g2
FOR k := 1 TO 3 ; IF adjoin [s1,k] == gran ; s11pre := adjoin [s1,ind1[k]]
S12pre := adjoin [s1,ind2 [k]] ENDIF
ENDFOR

// 2 - какая из pre есть s11
s11 := s12pre; s12 := s11pre
FOR k := 1 TO 3 ; FOR j := 1 TO 3
IF peak [s2,k] == peak [s11pre,j]; s11 := s11pre; s12 := s12pre ; ENDIF
ENDFOR ; ENDFOR

// 3 - определение номеров 4-х вершин
t1 := common3 (s2, s11,gran) ; t2 := common3 (s2, s3, gran)
t3 := common3 (s3, s12,gran) ; t4 := common3 (s11, s12, s1) ; vol [gran] := vol [s1] := 1

// учёт покрытия грани из нового слоя
IF nl1 == cover[s1] ; knp2++ ; ENDIF
g1 := ++gcur ; g2 := ++gcur // соседи gran - s2 s3 станут соседями g1 g2

// 4 - номера вершин для g1 и g2
get_p (g1,t1,t2,t4) ; get_p (g2,t2,t3,t4)

// Определение соседей g1 и g2 и углов с ними
FOR k := 1 TO 3
IF adjoin [s1,k] == s11; ang [g1,3] := ang [s1,k]-1; ENDIF
IF adjoin [s1,k] == s12; ang [g2,3] := ang [s1,k]-1; ENDIF
ENDFOR
add_gran (g1, g2, 4, s2,ang [gran, 2]-1, s11,ang [g1,3])
add_gran (g2, g1, 4, s3,ang [gran, 3]-1, s12,ang [g2,3])

// корректировка s2 s3 s11 s12
FOR k := 1 TO 3
IF adjoin[s2,k]==gran; adjoin[s2,k]:=g1; ang[s2,k]:= ang[g1,2]; ENDIF
IF adjoin[s3,k]==gran; adjoin[s3,k]:=g2; ang[s3,k]:= ang[g2,2]; ENDIF
IF adjoin[s11,k]==s1; adjoin[s11,k]:=g1; ang[s11,k]:= ang[g1,3]; ENDIF
IF adjoin[s12,k]==s1; adjoin[s12,k]:=g2; ang[s12,k]:= ang[g2,3]; ENDIF
ENDFOR
kvo++ ; was_sit2 := .T. ; kvo2++
EXIT
CASE an2 == 1 ; swap_ind (1,2)
CASE an3 == 1 ; swap_ind (1,3)
ENDCASE
```

```
ENDFOR
IF was_sit2 ; LOOP ; ENDIF

//----- ситуация 3 ----- Ординарная – всё три угла с соседями > 1 //
// //покрывается одна грань, появляются три новых грани и одна новая вершина

// IF layer > nn ; EXIT ; ENDIF // nn – номер оболочки, вставить число

FOR gran := gmin TO gmax ; was_sit3 := .F. ; IF vol [gran] == 1 ; LOOP ; ENDIF ;
short_var() ; IF an1 > 1 .AND. an2 > 1 .AND. an3 > 1 ; cas := "123>1"
g1 := ++gcur ; g2 := ++gcur ; g3 := ++gcur // новые грани

// добавление новых граней в массив
add_gran (g1, s1, an1-1, g2, 4, g3, 4); add_gran (g2, s2, an2-1, g1, 4, g3, 4)
add_gran (g3, s3, an3-1, g1, 4, g2, 4); vol [gran] := 1 ; pcur++

// корректировка смежных углов у соседей, а также номера нового соседа
corr_gs (g1, s1, an1-1) ; corr_gs (g2, s2, an2-1) ; corr_gs (g3, s3, an3-1)

// определить вершины для новых граней
p1:=common3(s1,s3,gran); p2:=common3(s1,s2,gran); p3:= common3(s2,s3, gran)

get_p (g1, p1,p2,pcur) ; get_p (g2, p2,p3,pcur) ; get_p (g3, p1,p3,pcur)
kvo++ ; was_sit3 := .T. ; kvo3++
EXIT
ENDIF
ENDFOR //g
IF !was_sit1 .AND. !was_sit2 .AND. !was_sit3 ; EXIT ; ENDIF
ENDDO
? layer, gmin, gmax,kvo,kvo1,kvo2,kvo3,knp1,knp2
ENDFOR //layer
RETURN //----- magic_nums -----//

PROC get_p (g, p1,p2,p3) // фиксировать вершины грани
peak [g,1] := p1 ; peak [g,2] := p2 ; peak [g,3] := p3 ; RETURN

FUNCTION common3 (z1, z2, z3) // определить номер общей для трёх граней вершины
FOR k := 1 TO 3 ; FOR j := 1 TO 3 ; FOR n := 1 TO 3 ; nn := peak [z1,k]
IF nn == peak [z2,j] .AND. nn == peak [z3,n] ; RETURN nn; ENDIF
ENDFOR ; ENDFOR ; ENDFOR
? "Нет общей вершины у граней", z1, z2, z3 ; QUIT; RETURN 0

FUNCTION n123 (sn) // индекс соседа 1..3, угол с которым не равен 1
FOR j := 1 TO 3; IF ang [sn,j] > 1 ; RETURN j ; ENDIF ; ENDFOR
? "Все три угла <= 1 для грани", sn ; QUIT; RETURN nil
```

```

FUNCTION n321 (z,s)
FOR j := 1 TO 3; IF adjoin [z,j] == s ; RETURN j ; ENDIF ; ENDFOR
? "Не являются соседями грани", z, s ; QUIT ; RETURN nil

PROC add_gran (g, z1, u1, z2, u2, z3, u3)
adjoin [g,1] := z1 ; adjoin [g,2] := z2; adjoin [g,3] := z3
ang [g,1] := u1 ; ang [g,2] := u2; ang [g,3] := u3 ; cover [g] := nl1 ; vol [g] := 0
RETURN

PROC swap_ind (i1,i2) // обмен индексами у двух соседей грани
buf := adjoin [gran, i1] ; adjoin [gran, i1] := adjoin [gran, i2] ; adjoin [gran, i2] := buf
buf := ang [gran,i1]; ang [gran,i1] := ang [gran,i2]; ang [gran,i2] := buf ; gran--
RETURN

PROC corr_gs (gi,si,u) // корректировка i-того соседа грани g
FOR k := 1 TO 3 ; IF adjoin [si,k] == gran ; ang [si,k] := u ; adjoin [si,k] := gi ; ENDIF
ENDFOR ;RETURN

PROC short_var() // короткие имена переменных
s1 := adjoin [gran,1] ; s2 := adjoin [gran,2] ; s3 := adjoin [gran,3]
an1 := ang [gran,1] ; an2 := ang [gran,2] ; an3 := ang [gran,3]
p1 := peak [gran,1] ; p2 := peak [gran,2] ; p3 := peak [gran,3] ; RETURN

```

Текст программы дан с сокращениями – удалены операции самоконтроля модели. Результаты счёта приведены в табл. 3.

Таблица 3

_0	_1	_2	_3	_4	_5	_6	_7	_8	_9	_10	_11	_12	_13	_14
1	1	4	4	0	0	0	0	0	4	4	4	2	4	2
2	5	16	12	0	6	6	0	6	6	12	16	8	16	8
3	17	46	24	0	12	12	0	12	12	24	40	20	56	28
4	47	106	48	0	12	12	0	24	12	36	76	38	100	50
5	107	190	72	0	24	24	4	36	12	52	128	64	164	82
6	191	302	88	6	36	42	10	42	16	68	196	98	252	126

Столбцы таблицы

0 - номер слоя

1 - gmin 2 – gmax

3 - к-во граней, подлежащих накрытию

4 - накрыто новых граней возникших в ситуации 1

5 - накрыто новых граней возникших в ситуации 2

6 - накрыто новых граней возникших в ситуациях

1 и 2

7 - установлено тетраэдров в ситуации 1

- 8 - установлено тетраэдров в ситуации 2
- 9 - установлено тетраэдров в ситуации 3
- 10 - всего тетраэдров в слое
- 11 - тетраэдров в конфигурации
- 12 - полумагическое число
- 13 - тетраэдров после сглаживания внешнего слоя
- 14 - магическое число.

О результатах расчёта

Одинаковыми для протонов и нейтронов являются МЧ 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. В [4] указаны также числа 14, 40, 64, что связывается с заполнением подоболочек. Тетраэдрическая модель оперирует с общим к-вом нуклонов в ядре. Поскольку МЧ одинаковы для нейтронов и протонов, то МЧ в статической модели получим делением пополам общего к-ва нуклонов в ядрах с заполненной оболочкой. Из таблицы (столбец 12) видно, что только первые три значения совпадают с магическими числами, остальные значения занижены. Причиной этого является форма поверхности. Для примера рассмотрим покрытие конфигурации из 16 тетраэдров (рис.7).

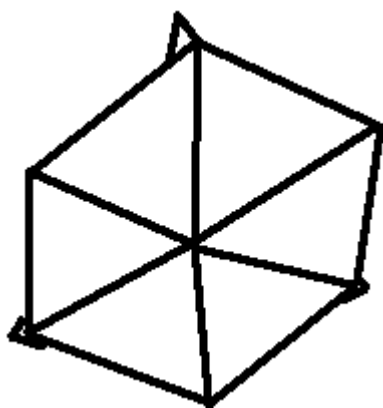


Рис. 7. Конфигурации после покрытия вторым слоем (16 тетраэдров, 24 грани) и третьим слоем (40 тетраэдров, 48 граней)

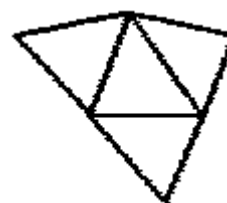
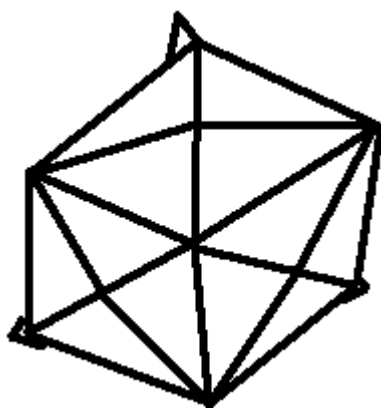


Рис. 8. Блок сглаживания из четырёх тетраэдров

Удобное средство описания конфигураций – полуинтерфейсы (ПИФ), введенные в [2]. ПИФ – это множество граней поверхности, имеющих общую вершину. Ясно, что общее к-во ПИФов конфигурации равно к-ву её вершин. При этом множества будут пересекаться.

Конфигурация на рис.7 интересна тем, что для неё можно указать 4 ПИФа одного типа, которые покрывают все грани поверхности и не пересекаются. Этот ПИФ состоит из 6 граней, последовательность углов между гранями: {2 3 2 3 2 3}. При построении следующего слоя получаются углы {0 1 0 1 0 1}. Значение 0 означает переход грани с поверхности в объём. Угол 1 представляет сильную вогнутость поверхности (угол 2 – слабую). Кроме указанных трёх единичных углов, покрывающие тетраэдры также образуют единичные углы. Для сглаживания образовавшейся сильной вогнутости поверхности достаточно структуры из четырёх тетраэдров (рис.8). Если дополнить алгоритм возможностью такого сглаживания, то это позволит получить весь ряд магических чисел. В конфигурации из 16 тетраэдров поверхность состоит из 24 граней. Простое покрытие даёт конфигурацию из 40 тетраэдров, что соответствует магическому числу 20. Но это покрытие содержит 4 сильных вогнутости. Добавив сглаживающие элементы, получим конфигурацию из 56 элементов, что соответствует МЧ 28. Подобным же образом, выполнив сглаживание (покрытие граней, имеющих угол 1 с соседними гранями) для следующих слоёв, получим ряд МЧ, представленный колонкой 14 таблицы 3. А значения из колонки 12 можно трактовать как полумагические числа в тетраэдрической модели. Итак, схема подсчёта МЧ состоит из двух частей. Вначале выполняется однослойное покрытие всех граней очередного слоя, результатом является полуМЧ для этого слоя. Затем выполняется «сглаживание поверхности» внешнего слоя. Такой слой с добавлением сглаживающих тетраэдров и есть оболочка, а половина общего к-ва тетраэдров во внутренних слоях и внешней оболочке есть МЧ. Можно ещё раз подчеркнуть, что в тетраэдрической модели нужно различать понятия слой и оболочка. Пример – для расчёта МЧ пятого уровня следует рассматривать конфигурацию из четырёх слоёв и оболочки: слой1-слой2-слой3-слой4-оболочка5. В приведенной выше

программе это реализовано минимальными средствами – перед участком программы, где выполняется обработка ситуации 3, для добавления к очередному внешнему слою сглаживающих элементов, вручную добавляется оператор `IF layer > nn ; EXIT ; ENDIF // nn` – номер очередной оболочки. Этот оператор блокирует обработку ситуаций типа 3, но позволяет программе обработать ситуации 1 и 2, т.е. устранить все углы, равные 1, что и есть суть сглаживание.

О квантовомеханической и статической моделях

Похожая проблема с получением МЧ была и в квантовомеханической модели. Цитата из [5, с.553]: « ... на группировку первых трёх нижних оболочек (1s), (1p), (1d,2s), соответствующих магическим числам 2, 8 и 20, спин-орбитальное взаимодействие фактически не влияет. При получении следующего магического числа 50 необходимо предположить, что в четвёртую оболочку входят не только подоболочки (1f, 2p), которые заканчиваются на 40 нуклоне, но и подоболочка $1g_{9/2}$, содержащая 10 нуклонов, которая примыкает к четвёртой оболочке... В пределах следующей оболочки, заканчивающейся на магическом числе 82, заполняются подоболочки $1g_{7/2}$, 2d, 3s и $1h_{11/2}$. Наконец, магическое число 126 можно получить, если в шестую оболочку поместить подоболочки $1h_{9/2}$, 2f, 3p и $1i_{13/2}$ ». То, что наборы МЧ для квантовомеханической и статической моделей практически совпали, за исключением больших значений – островков стабильности трансуранов и некоторых меньших значений, можно объяснить следующим образом – исходно набор МЧ был установлен как обобщение экспериментальных данных. А значит, любая модель, дающая другие результаты, вряд ли заслуживает серьёзного внимания. Понятие оболочки в обеих моделях имеют различный смысл, а МЧ – одинаковый (к-во нуклонов в ядре с полностью заполненными оболочками). В квантовой механике оболочка – это набор нуклонов с близкими значениями уровней энергии, а наборы

уровней энергии разделены между собой щелями, ширина которых много больше разности между уровнями внутри оболочек. В квантовой механике выделение оболочек выполняется по значениям энергии, в статической модели – по пространству координат.

Ещё одно замечание о тетраэдрической модели. В [2] исходя из структуры ядра $U(235,92)$ – цепочка из пяти одинаковых кластеров - выведены уравнения реакций деления этого ядра. Приведены три уравнения, в которых массы осколков деления относятся как 2:3. На пиках же известной двугорбой кривой таких пар осколков не три, а восемь. Объяснение следующее – в [2] принято равномерное распределение протонов в ядре на момент деления. Если же предположить слабое возбуждение ядра и малое отклонение в распределении протонов от равномерного, то получим пары осколков, приведенные в табл.4. Все перечисленные в таблице химические элементы действительно в заметных долях присутствуют в продуктах деления U^{235} .

Таблица 4

Основные варианты деления $U(235,92)$, цифры – к-во протонов

В кластерах	В осколках	Хим. элементы осколков	
18 18 18 19 19	36 56	Kr	Ba
	37 55	Rb	Cs
	38 54	Sr	Xe
17 18 19 19 19	35 57	Br	La
17 17 20 19 19	34 58	Se	Ce
	39 53	Y	I
17 17 18 20 20	40 52	Zr	Te

Заключение. Совокупность результатов, полученных в [2], [3] и данной работе дают основание рассматривать ядра как структуры с локальной симметрией вращения 5-го порядка. В модели нуклона с четырьмя связями волновая функция нуклона имеет 4 рукава, опирающиеся на середины граней тетраэдра. Примерный вид волновой

функции можно получить из рис. 2, сгладив рёбра и вершины. Совокупность волновых функций нуклонов образует решётку ядра. Для каждого ядра характерна индивидуальная форма [3]. Эти соображения могут быть использованы для задания потенциала и расчёта спектров ядер. Задачу можно упростить, выделив 4 типичных состояния нуклона в ядре: нуклон внутри ядра - задействованы все 4 его связи; нуклон на поверхности - задействованы 1, 2 или 3 связи. Расчёт для нуклона внутри ядра даст основные уровни, а для поверхностных – дополнительные таммовские.

Литература

1. Гёпперт-Майер М., Йенсен И.Г. Элементарная теория ядерных оболочек, М., Изд-во иностранной литературы, 1958 г.
2. Жижко В.А. Геометрическая модель ядер при минимальном количестве сильных связей, Международный научный журнал, 2016, № 8, с.69-79.
3. Жижко В.А. Построение атласа форм атомных ядер, Международный научный журнал «Интернаука», 2017, № 1 (23), 1т., с.115-124.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/exotic/ind.html> Экзотические ядра, п.8. Магические ядра.
5. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. М., Изд-во Просвещение, 1965, 638 с.