

Жижко Володимир Абрамович

незалежний експерт,

Жижко Владимир Абрамович

независимый эксперт

Zhyzhko V. A.

independent expert

ПОБУДОВА АТЛАСУ ФОРМ АТОМНИХ ЯДЕР

ПОСТРОЕНИЕ АТЛАСА ФОРМ АТОМНЫХ ЯДЕР

CONSTRUCTION ATLAS FORMS OF ATOMIC NUCLEUSES

Анотація. Наведено методи генерації структурних формул та зображень для опису форми ядер у незбудженому стані для всього діапазону масових чисел, включаючи ізотопи та ізомери.

Ключові слова: форма ядра, структурна формула, 3D-графіка.

Аннотация. Приведены методы генерации структурных формул и изображений для описания формы ядер в невозбуждённом состоянии во всём диапазоне массовых чисел, включая изотопы и изомеры.

Ключевые слова: форма ядра, структурная формула, 3D-графика.

Summary. The methods of generating structural formulas and images offered to describe the shape of the nuclei in the unexcited state over the entire range of mass numbers, including isotopes and isomers.

Key words: shape of nucleus, structural formula, 3D-graphics.

В [1] предложен подход к описанию форм ядер, основанный на тезисе о минимальном количестве сильных связей между нуклонами. Элементарной ячейкой ядерного пространства оказался тетраэдр, а формы всех ядер можно рассматривать как конфигурации из тетраэдров. Это накладывает ограничения на форму конфигураций, что позволяет выявить некоторые свойства ядер, обусловленные их формой. К примеру, удалось объяснить химический состав продуктов деления U235 исходя только из формы этого ядра. Этот подход по сути есть исследование свойств симметрии структур из тетраэдров. Подобный подход оказался продуктивным в физике твёрдого тела, структурной химии. Данная статья — это продолжение и детализация работы [1].

1. Структурные блоки в модели ядер из тетраэдров

Для названий основных понятий примем следующие сокращения:

ПИФ — половина интерфейса (участок поверхности блока, пригодный для соединения с другим блоком),

КФ — конфигурация (взаимное расположение тетраэдров в блоке),

МУГ — матрица углов между гранями поверхности КФ.

Будут рассмотрены КФ для всей периодической таблицы элементов, т.е. для ядер со значениями массовых чисел A от 1 до 240. Следует также учесть наличие изотопов (около 2000) и изомеров (несколько сотен) в указанном диапазоне A . В среднем каждому изобару должно соответствовать около 10 разных КФ, для лёгких ядер меньше, для тяжёлых — больше. В таблице 1 приведены основные блоки для формирования всех КФ. Основным блокам присвоены имена из одной буквы. Формулы некоторых лёгких и средних ядер даны в табл. 2 для сплошного заполнения всего диапазона A , что станет понятно ниже.

2. Генерация формул полного набора КФ

Как показано в [1], допустимыми сочетаниями ПИФов являются $(2+,2-)$, $(5+,5)$, $(6+,6-)$, $(6=,6=)$. Между ПИФами есть зависимости. Например, если на часть ПИФ $(6=)$ некоторой КФ поместить блок D , то получится ПИФ $(6-)$. Это можно записать в виде $6=(2-,2+)D \Rightarrow 6-$ или проще $(6=) + D \Rightarrow (6-)$.

Подобные трансформационные соотношения можно написать для всех ПИФов

$$(6=) + D \Rightarrow (6-)$$

$$(6-) + T \Rightarrow (5-)$$

$$(5-) + S \Rightarrow (5+)$$

Таблиця 1

Базовые блоки для построения всех ядер

A	S	Имя	Формула	ПИФ	Рис
1	4	t	t		
2	6	D	tt	2+	
3	8	T	Dt	2-	
4	10	E	D2t		
5	10	S	DT	5+	1.a
8	14	K	ST	6+	4.
10	16	G	STD	6=	5.
10	20	W	5D	5-	6.
11	18	M	D3T	6+	7.
12	18	H	SttS	6-	8.
16	24	O	t3T3D	6=	9.
17	24	F	M3D	6=	
24	32	L	O4D	6-	
25	32	P	F4D	6-	
35	40	J	WSW5D	5-, 6-	11.
46	36	X	O3G	6=	12.
47	36	Y	F3G	6=	

(5+) + T => (6+)
 (6+) + D => (6=)

Видно, что набор ПИФов является замкнутым, с помощью нескольких небольших добавок можно перейти от исходного ПИФа к желаемому. Это значит, что если при построении множества КФ из простых блоков взять любую разрешённую пару ПИФов, то это позволит построить большую часть КФ. Иначе говоря, множества КФ, построенные на разных парах ПИФ, будут в значительной мере пересекаться. Это позволяет ограничиться для начала комбинациями из блоков с любой парой ПИФов, проще всего (6=,6=). Это блоки O, F, G, X, Y. Массовое число очередной

Таблиця 2

Формулы некоторых ядер

A	S	Формула	ПИФ	Рис
5	12	Et		1.6
6	14	2T		2.
7	16	t3D		3.
8	18	2E		
9	18	2Et		
10	18	t3T		
13	20	MD	6+, 6=	
14	30	2t6D		
15	20	SW	5+, 5-	
18	26	OD	6-	
19	26	FD	6-	
20	20	SWS	5+	10.
21	28	F2D		
22	30	O3D		
23	24	MH	6+	
28	30	DOG		
29	30	DFG		
30	38	FDM		
31	40	O2DM		
38	40	2F2D		
39	42	OF3D		
40	40	JS	5+, 5-, 6-	
41	44	OF4D		
45	40	SJS	5+, 6-	
55	48	O3D3M		

КФ есть сумма массовых чисел блоков, образующих КФ, A(G)=10, A(O)=16, A(F)=17, A(X)=46, A(Y)=47. Будем учитывать только те варианты КФ для одного значения A, которые имеют разные значения к-ва граней поверхности КФ. Количество граней несложно

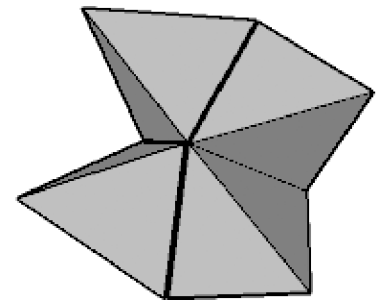
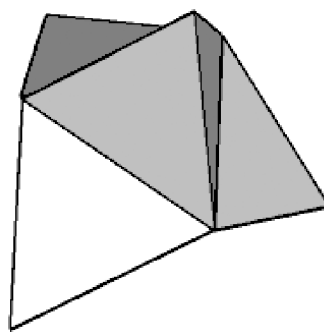
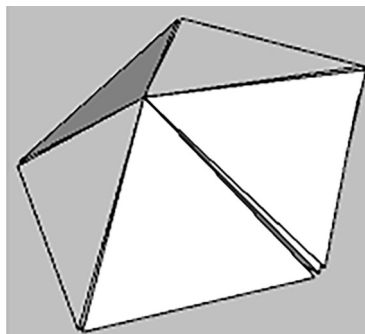


Рис. 1. Блоки из 5 тетраэдров: а – блок S (ПИФы 5+), б – ПИФы – 2 (S – к-во граней поверхности)

Рис. 2. КФ из 6 тетраэдров

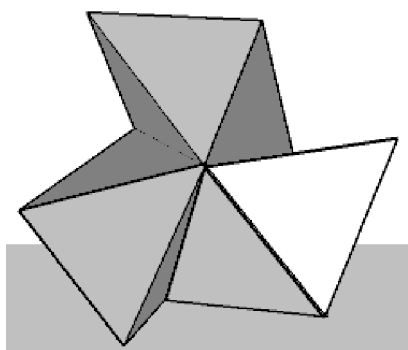


Рис. 3. КФ из 7 тетраэдров

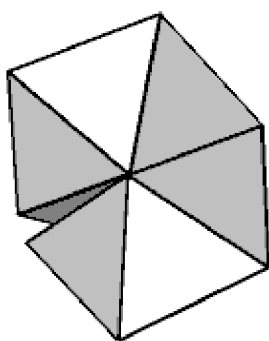


Рис. 4. Блок К (ПИФ 6+)

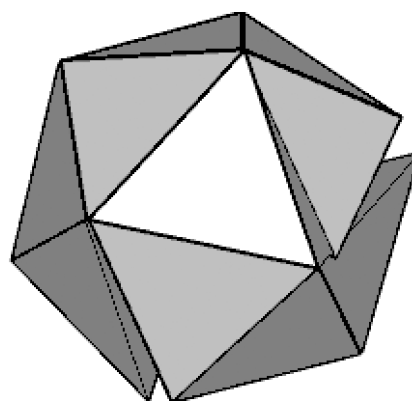


Рис. 5. Блок G (ПИФ 6=)

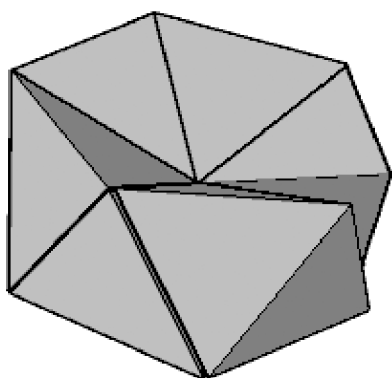


Рис. 6. Блок W (ПИФы 5-)

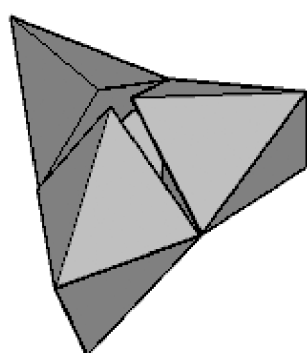


Рис. 7. Блок М (3 ПИФа 6+)

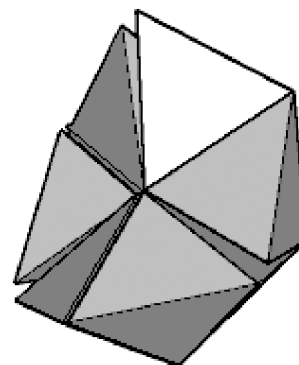


Рис. 8. Блок Н (ПИФ 6-)

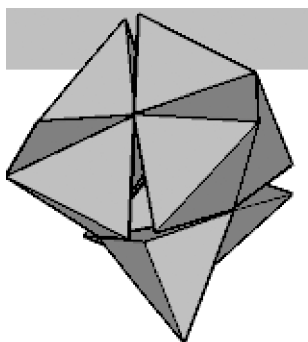


Рис. 9. Блок О (4 ПИФа 6=)

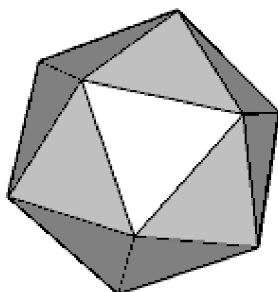


Рис. 10 «Сферическая» КФ,
модель ядра Ne(20,10)

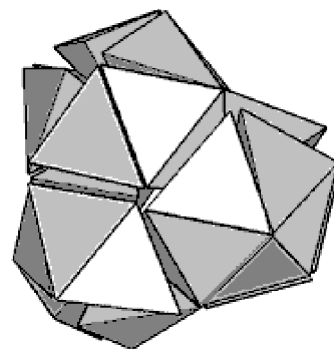
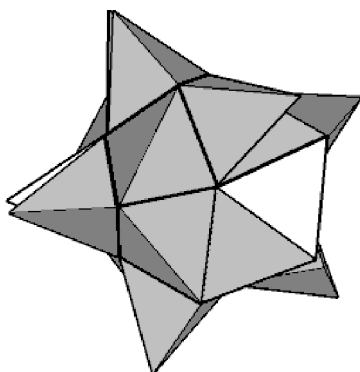
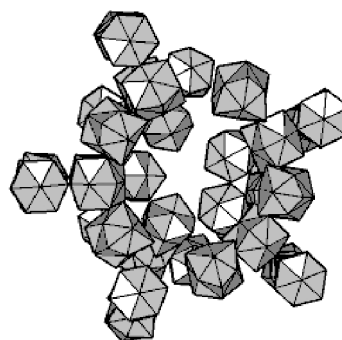


Рис. 12 Блок Y = O3G (ПИФы 6=)



a



b

Рис. 11. *a* – блок J (ПИФы 5- и 6-), *b* – изображение того же блока после операции Smooth (см. п. 4)

подсчитать — оно состоит из суммы граней составляющих КФ блоков за вычетом граней в местах соединения блоков. При соединении двух блоков через ПИФ 6= общая поверхность уменьшается на 12 граней. Общая поверхность имеет

$$\text{Sum}(Q_i * S_i) - 12 * (\text{Sum}(Q_i) - 1) \text{ граней,}$$

де Q_i — к-во блоков i -того вида, входящих в формулу КФ, S_i — к-во граней блоков: $S(X) = S(Y) = 36$, $S(O) = S(F) = 24$, $S(G) = 16$. Поверхность блока О (и F) состоит из 4 ПИФов 6=, у блоков X и Y по 2 ПИФа 6=, у блока G — один.

Добавление блока О или F в КФ увеличивает к-во вариантов продолжения КФ на 3 ПИФа, добавление блока X или Y не меняет к-во вариантов, добавление блока G уменьшает это к-во (т.е. блок G — это «заглушка» КФ).

Ниже приведена простая программа вычисления всевозможных комбинаций блоков О, F, G, X, Y. Программа — на языке Clipper 5 для работы с таблицами локальных баз данных. Таблица formula в программе состоит из 7 целочисленных полей:

qA — массовое число полученной КФ, qS — к-во граней поверхности КФ,

qO, qF, qG, qX, qY — к-во соответствующих блоков в КФ,

а также вспомогательного символьного поля для упорядочения результата.

```
USE formula; ZAP; nppr= 1
FOR o:= 0 TO 15; FOR f:= 0 TO 15
FOR x:= 1 TO 5; FOR y:= 1 TO 5
maxg:= 2*(o+f+1) // макс.к-во незанятых ПИФов
FOR g:= 0 TO maxg
ac:= 16*o + 17*f + 47*y + 46*x + 10*g // массовое число
s:= 24*(o+f) + 16*g + 36*(x+y) - 12*(o+f+g+x+y - 1)
// граней поверхности
acs:= LTRIM(STR(ac)); IF ac < 100; acs:= «0»+acs;
ENDIF
ss:= LTRIM(STR(s)); IF s < 100; ss:= «0»+ ss; ENDIF
IF ac < 241; APPEND BLANK; REPLACE;
formula->qo WITH o, formula->qf WITH f;
formula->qg WITH g, formula->qa WITH ac;
formula->qx WITH x, formula->qy WITH y;
formula->qs WITH s, formula->ikey WITH acs+ss
END IF
END FOR //g
END FOR; END FOR
END FOR; END FOR
INDEX ON ikey TO fa UNIQUE// упорядочение таблицы по значениям массового числа с // с выбором неповторяющихся к-в граней поверхности КФ
GO TOP
// печать результата
```

```
? «Формулы конфигураций из блоков с ПИФ 6= «
DO WHILE! eof()
IF qo > 0; ? qo, «O»; ELSE; ? « »; END IF
IF qf > 0; ?? qf, «F»; ELSE; ?? « »; END IF
IF qx > 0; ?? qx, «X»; ELSE; ?? « »; END IF
IF qy > 0; ?? qy, «Y»; ELSE; ?? « »; END IF
IF qg > 0; ?? qg, «G»; ELSE; ?? « »; END IF
?? qa, qs, nppr
nppr++; SKIP
END DO
```

Результат данной программы — почти 1000 формул КФ, ниже приводятся фрагменты файла печати

Ф о р м у л а Масс Граней NN

1O	2G	36	32	8	
1F	2G	37	32	9	
2O	1G	42	40	10	
1O 1F	1G	43	40	11	
.....					
1F	1Y 2G	84	56	60	
4O	2G	84	68	61	
1O 4F		84	72	62	
.....					
3O 1F	2G	85	68	63	
5F		85	72	64	
.....					
3F	2X	1G	153	100	281
5O 1F 1X	1G	153	112	282	
3O 5F	2G	153	116	283	
9F		153	120	284	
.....					
1O	3X		154	96	285
3F 1X 1Y	1G	154	100	286	
4O 2F 1X	1G	154	112	287	
2O 6F	2G	154	116	288	
9O	1G	154	124	289	
.....					
5Y		235	132	896	
3F 4X		235	144	897	
5F 1X 2Y	1G	235	148	898	
5O 1F 3X		235	156	899	
3O 5F 2X	1G	235	160	900	
1O 9F 1X	2G	235	164	901	
8O 3F 1X	1G	235	172	902	
6O 7F	2G	235	176	903	
3O 11F		235	180	904	
13O 1F	1G	235	184	905	
.....					

Чтение результата простое, например, ядро с массовым числом A=153 может быть образовано в виде КФ, которые можно описать одной из следующих

Таблица 3

Компактные КФ из блоков с ПИФ (6=).

A	S	Y	X	F	O	G	A	S	Y	X	F	O	G	A	S	Y	X	F	O	G
26	28				1	1	105	76		1	1	2	1	173	108	1	2	2		
27	28			1		1	106	76		1	2	1	1	174	104		3		1	2
32	36				2		107	76		1	3		1	175	104		3	1		2
33	36			1	1		108	72		2	1			176	104	1	2	1		2
34	36			2			109	72		2	1			177	104	2	1	1		2
36	32			2	1		110	72	1	1	1			178	104	3		1		2
37	32			1		2	111	72	2		1			179	116		2	3	1	2
42	40				2	1	112	68		2			2	180	112		3		2	1
43	40			1	1	1	113	68	1	1			2	181	112		3	1	1	1
44	40			2		1	114	68	2				2	182	112		3	2		1
46	36				1	3	115	80		1	1	2	2	183	112	1	2	2		1
47	36	1					116	80		1	2	1	2	184	108		4			
48	48				3		117	80		1	3		2	185	108	1	3			
49	48			1	2		118	76		2		1	1	186	108	2	2			
50	48			2	1		119	76		2	1		1	187	108	3	1			
51	48			3			120	76	1	1	1		1	188	108	4				
52	44				2	2	121	76	2		1		1	189	120		3	3		
53	44			1	1	2	122	88		1	2	2	1	190	116		3		2	2
54	44			2		2	123	88		1	3	1	1	191	116		3	1	1	2
56	40		1			1	124	84		2		2		192	116		3	2		2
57	40	1				1	125	84		2	1	1		193	116	1	2	2		2
58	52				3	1	126	84		2	2			194	112		4			1
59	52			1	2	1	127	84	1	1	2			195	112	1	3			1
60	52			2	1	1	128	80		2		1	2	196	112	2	2			1
61	52			3		1	129	80		2	1		2	197	112	3	1			1
62	48		1			1	130	80	1	1	1		2	198	112	4				1
63	48		1	1			131	80	2		1		2	199	124		3	3		1
64	48	1		1			132	92		1	2	2	2	200	120		4		1	
65	60			1	3		133	92		1	3	1	2	201	120		4	1		
66	44		1			2	134	88		2		2	1	202	120	1	3	1		
67	44	1				2	135	88		2	1	1	1	203	120	2	2	1		
68	56				3	2	136	88		2	2		1	204	116		4			2
69	56			1	2	2	137	88	1	1	2		1	205	116	1	3			2

70	56			2	1	2	138	84			3				206	116	2	2			2		
71	56					3					1	2			207	116	3	1			2		
72	52			1			1	1	1	140	84	2	1		208	116	4				2		
73	52			1	1				1	141	84	3			209	128		3	3		2		
74	52	1			1				1	142	96		2	2	1	210	124	4		1	2		
75	64				1	3	1			143	96		2	3		211	124		4	1	1		
76	64				2	2	1			144	92		2		2	2	212	124	1	3	1	1	
77	64					3	1	1		145	92		2	1	1	2	213	124	2	2	1	1	
78	60			1			2			146	92		2	2		2	214	124	3	1	1	1	
79	60			1	1	1				147	92	1	1	2		2	215	124	4		1	1	
80	60			1	2					148	88			3		1	216	132		4		2	
81	60	1			2					149	88	1	2			1	217	132		4	1	1	
82	56			1			1	2		150	88	2	1			1	218	132		4	2		
83	56			1	1			2		151	88	3				1	219	132	1	3	2		
84	56	1			1			2		152	100		2	2	1	1	220	128		4		1	2
85	68				1	3	2			153	100		2	3		1	221	128		4	1		2
86	68				2	2	2			154	96		3		1		222	128	1	3	1		2
87	68				3	1	2			155	96		3	1			223	128	2	2	1		2
88	64			1			2	1		156	96	1	2	1			224	128	3	1	1		2
89	64			1	1	1	1	1		157	96	2	1	1			225	128	4		1		2
90	64			1	2			1		158	92			3		2	226	136		4		2	1
91	64	1			2			1		159	92	1	2			2	227	136		4	1	1	1
92	60			2						160	92	2	1			2	228	136		4	2		1
93	60	1	1							161	92	3				2	229	136	1	3	2		1
94	60	2								162	104		2	2	1	2	230	132		5			
95	72			1	1	2				163	104		2	3		2	231	132	1	4			
96	72			1	2	1				164	100		3		1	1	232	132	2	3			
97	72			1	3					165	100		3	1		1	233	132	3	2			
98	68			1			2	2		166	100	1	2	1		1	234	132	4	1			
99	68			1	1	1	2			167	100	2	1	1		1	235	132	5				
100	68			1	2			2		168	100	3			1	1	236	140		4		2	2
101	68	1			2			2		169	112		2	3	1	1	237	140		4	1	1	2
102	64			2				1		170	108		3			2	238	140		4	2		2
103	64	1	1					1		171	108		3	1	1		239	140	1	3	2		2
104	64	2						1		172	108		3	2			240	136		5			1

формул: 3F2XG, 5OFXG, 3O5F2G, 9F. Для набора блоков (O, F, X, Y, G) количество K вариантов КФ для одного значения массового числа A возрастает с ростом массового числа почти линейно

$$K = \text{int}((A - 60)/15).$$

Естественно предположить, что наиболее стабильному ядру из изобаров с массовым числом A соответствует наиболее компактная КФ, т.е. КФ с наименьшим к-вом S граней поверхности. Такие КФ для более чем 200 значений A, полученные из блоков с ПИФ 6=, приведены в табл. 3.

Содержание табл. 3 понятно. Например, ядру с A=237 соответствует формула 4XFO2G. Форма ядра с A=46 и формулой O3G показана на рис. 12. Из табл. 1 видно, что O3G = X, у блока X два ПИФа (6=). Поэтому прогнозируемыми являются формулы КФ со значениями A, кратными 46, а именно:

$$A=92(\text{Zr}) \text{ ф-ла } 2X;$$

$$A=138(\text{Ba}) - 3X; A=184(\text{W}) - 4X;$$

$$A=230(\text{Th}) - 5X.$$

Таким образом, таблицы 1, 2 и 3 содержат описание форм ядер всей периодической системы элементов. Некоторые замечания по таблице 1.

В отличие от табл. 3, таблица 1 — результат ручного подбора на макете вариантов КФ, исходя из соображений компактности и симметрии в той мере, в какой это позволяет набор тетраэдров. С другой стороны, не все КФ в табл. 1 можно отождествлять с формами ядер, некоторые КФ — это кластеры, конструктивные блоки. Примеры: блок S (A=5) один из важных для «сборки» многих КФ, но стабильных ядер с A=5 не существует. Для A=10 приведено 3 блока, два из которых W и G важны для «сборки» многих КФ.

Получить компактную и симметричную КФ для изобара с A=16, к которому принадлежит и дважды магический изотоп O(16,8), оказалось возможным только предположив отсутствие одного тетраэдра в центре КФ (чего можно достичь, убрав один тетраэдр из центра КФ с A=17).

Детальный учёт различных блоков со всеми комбинациями ПИФов позволяет построить к-во КФ, необходимое для отображения форм всех изотопов и изомеров (около 2.5 тысяч). Алгоритм подобен тому, что для (6=).

3. Операции на уровне поверхности конфигураций

Описание с помощью формул не является полным в том смысле, что формула описывает перечень блоков, образующих КФ, но не указывает порядок соединения блоков (в основном это относится к блокам с ПИФ 6=). Это означает, в частности, что одна формула может описывать несколько КФ. Пример — формула 3F2XG (A=153, S=100) может быть реализована в следующих вариантах

F	F	F	G
FXXG	XFXG	GFXX	FFXF и т.д.
F	F	F	X

(Кстати, это обстоятельство решает вопрос о тысячах вариантов КФ).

В [1] намечен способ более точного описания КФ, чем с помощью формул.

Это описание взаимного примыкания граней тетраэдров с помощью матрицы смежности. Возможен и другой точный способ описания КФ, основанный на описании взаимного примыкания рёбрами граней поверхности КФ. Такой способ описания несколько проще. Поверхность КФ состоит из граней тетраэдров — правильных треугольников, расположенных под некоторыми углами друг к другу. С учётом оговорок [1], можно считать, что таких углов на поверхности КФ всего может быть 4. Приняв за меру угла двугранный угол между гранями тетраэдра, получим допустимые значения углов на поверхности КФ: 1, 2, 3, 4. Под мерой угла между гранями на поверхности КФ будем понимать — сколько тетраэдров можно уложить между этими гранями. Значение 0 и 5 означают прилегание, но такие грани уже не принадлежат поверхности (а находятся в объёме КФ). В таком представлении КФ можно описать как матрицу углов между гранями (МУГ) поверхности КФ. МУГ — квадратная симметричная матрица размером A*A с нулевой диагональю.

В каждой строке и каждом столбце МУГ есть 3 ненулевых члена (каждая грань имеет трёх соседей). Номера строк и столбцов соответствуют номерам граней поверхности. Из-за низкой плотности заполнения МУГ, удобной программной моделью МУГ может служить таблица side с полями:

pcf — номер КФ (<массовое число>. <номер варианта изобара>)

nss — номер грани поверхности

nsn1 — номер грани-соседа 1, ang1 — угол 1 (между nss и nsn1)

nsn2 — номер грани-соседа 2, ang2 — угол 2

nsn3 — номер грани-соседа 3, ang3 — угол 3

Оперирование с описанием поверхности предполагает ручное кодирование данных (которое заключается в нумерации граней поверхности и заполнении таблицы side) для младших блоков (табл. 1) и дальнейшую программную обработку, которая включает:

- определение ПИФов на поверхности КФ;
- «сборку» промежуточных блоков из базовых (основных) по формулам КФ;
- «сборку» конечных блоков путём наращивания промежуточных блоков базовыми;

- дополнительные операции (например, расчёт развёртки);
- восстановление объёмной структуры КФ по описанию его поверхности (далёкий дискретный аналог теоремы Остроградского-Гаусса).

Операция «сборки» формирует МУГ блока большего размера из двух МУГ блоков меньшего размера и дописывает новый МУГ в таблицу side.

Из-за большого (для статьи) размера программы ограничимся короткими выдержками и комментариями. Описание последовательности углов в ПИФах имеет вид

```

pifu:= {{3, 2, 3, 2, 3, 2, «6=», 6}, {3, 3, 2, 3, 3, 2, «6+», 6},
{3, 2, 2, 3, 2, 2, «6-», 6}, {3, 3, 3, 3, 3, 0, «5+», 5},
{2, 2, 2, 2, 2, 0, «5-», 5}}
    
```

Это описание есть точное определение ПИФов. Исполнительная часть программы начинается с проверки формальной правильности описаний блоков. Процедура распознавание ПИФов блока выполняет поиск последовательностей соседних граней, чередование углов между которыми соответствует одному из описанных в массиве pifu.

Процедура соединения двух блоков состоит из ряда рутинных операций, наиболее содержательными из которых являются:

- выделить примыкающие к ПИФ грани, которые будут образовывать новые углы при соединении КФ1 с КФ2,
- вычислить величины новых углов,
- удалить из таблицы (помеченные) грани ПИФов,
- дописать КФ3 в таблицу side.

От МУГ сравнительно несложно перейти к развёртке поверхности КФ. Развёртка – это расположение всех граней поверхности в одной плоскости путём изменения углов между гранями и, как следствие, разведения некоторых граней (разрыв по рёбрам). На рис. 13 показан вариант развёртки блока W, цифры на рёбрах взяты из МУГ и обозначают углы для складывания развёртки в объёмную фигуру.

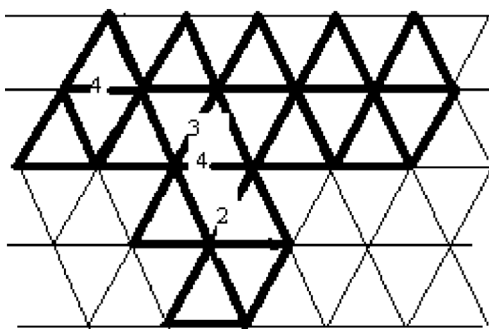


Рис. 13. Вариант развёртки блока W

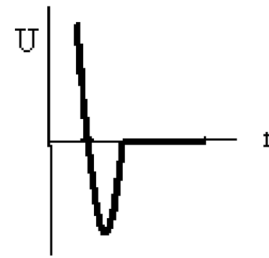


Рис. 14. Потенциал ядерных сил

Размер текста описанной программы составляет около 500 строк.

Как результат построения, МУГ не обладает достаточной наглядностью, поэтому следующим шагом является визуализация формы КФ.

4. Получение изображений трёхмерных объектов

«Объёмное» изображение на основе таблиц МУГ можно получить в рамках подхода, принятого в пакете OpenSCAD. Этот подход основан на том, что пользователь составляет задание не на уровне команд меню, а пишет программный код на объектно-ориентированном языке, а основные объекты уже определены. Подобный подход возможен и в пакете SketchUp, где есть окно для кода на языке Ruby.

Далее излагается более простой путь – работа с командами меню. Рисунки в п. 1 получены с использованием пакетов Wings3D и SketchUp (оба пакета freeware). SketchUp имеет обширную библиотеку плагинов, в частности, объект «тетраэдр» создаёт плагин Geodesic (с параметром subdivision=0). Для пакета Wings3D этот объект – встроенный. Работа с этими пакетами – это ручное составление сложных КФ из простых блоков, в рассматриваемой ситуации – по формулам из таблиц 1 и 2.

Сборка КФ из тетраэдров в пакетах 3D-графики – это сложный процесс из нескольких операций. Объявленные в пакетах свойства «прилипания» успешно проявляются в основном на ортогональных телах. Добавление очередного тетраэдра в SketchUp можно выполнять с помощью достаточно трудоёмкой операции «копирование тела поворотом вокруг ребра» (folding on selected axis) с установкой величины угла поворота в поле числовых значений. Существенно проще добавлять тетраэдры в Wings3D. Последовательность операций такова:

- выбрать режим body и тетраэдр для зеркального отражения,
- Flip (отзеркалить) с опцией Pick, указать грань для задания нормали,
- Alt+ правая кнопки мыши – создать копию тетраэдра,

– Move с опцией Last Axis — переместить новый тетраэдр вдоль нормали на нужную позицию.

С помощью этого средства можно создать набор «лёгких» блоки с $A < 20$, все остальные КФ можно получить соединением меньших блоков с помощью команд начального сближения Move и Rotate и команды «прищепки» Tweak.

Оба пакета содержат средства всестороннего обзора 3D-объектов на экране (рендеринга), а также средства портирования файлов для обмена с другими пакетами. Wings3D v 1.5.4 не имеет средств печати, поэтому можно воспользоваться печатью из SketchUp или Windows. Путь к печати:

Wings3D — экспорт.wings => .3ds

SketchUp — импорт .3ds =>.skp, экспорт.skp => 2D-графика.bmp

Затем можно открыть файл.bmp программой Windows Paint и Сохранить как в формате:

– bmp с 16-ю цветами (не моно) — для печати с градациями серого;

– gif, jpg или bmp 256 — для цветной печати.

Коротко о сферах применения каждого из рассмотренных инструментов.

1. С точки зрения практичности наиболее удобной является работа с макетом, например, с намагниченными тетраэдрами. Скорость работы с макетом примерно на два порядка выше скорости работы с программой 3D графики из-за того, что в программах операции перемещения, поворота, совмещения, кругового обзора (как и все остальные) можно выполнять только последовательно. Макет — удобное средство, чтобы быстро получить предметное осязаемое представление о форме КФ, заданной некоторой формулой.

2. Представление КФ в виде МУГ или её объёмного аналога нужно для численных расчётов свойств моделируемых ядер (спектры, электрические и магнитные моменты, характеристики рассеяния).

3. Графика удобна для наращивания коллекции изображений КФ, в том числе с элементами анимации (напр., формат gif). Можно указать и преимущества графики как информационного объекта над «материальным» макетом.

5. Физические аспекты модели формы ядер

Всё вышеизложенное — это описание техник оперирования с моделью, в которой элементарной ячейкой пространства ядра является тетраэдр.

Остаётся выяснить, как соотносятся геометрические и топологические характеристики модели со свойствами других моделей и реальных ядер.

1. Предложенная модель формы ядер позволяет описать несколько тысяч различных КФ, что даёт возможность сопоставить индивидуальную форму

каждому изотопу, которых имеется до десятка и более у каждого из ядер (в зависимости от массового числа). Основной результат данной работы содержится в таблице 3 и алгоритме получения этой таблицы.

2. Принято считать, что магические ядра имеют форму, близкую к сфере. Более точно было бы утверждать, что магическим ядрам соответствуют локальные минимумы внешнего квадрупольного момента (ВКМ). Модель характерна наличием многих вариантов КФ для одного значения A . Сделав некоторое предположение о распределении протонов и нейтронов в КФ, можно вычислить его ВКМ. Сравнив с известными значениями ВКМ для разных КФ с одинаковым значением A (изобаров), можно сопоставить форму КФ каждому изобару, в том числе магическим.

3. В [1] сделана попытка объяснить величину энергии фотоделения $U_{235} 6.2$ МэВ особенностями строения этого ядра, а именно, как резонанс продольных колебаний линейной цепочки кластеров $Y Y Y Y Y$ ($5Y$). При этом увеличение частоты облучения в $n = 2, 3, 4, \dots$ раз должно привести к изменению состава продуктов деления (увеличению доли Ag и K), а также увеличению выхода энергии деления и к-ва свободных нейтронов. Энергия в 12.5 МэВ малоинтересна из-за наложения эффектов фотоделения и гигантского дипольного резонанса (ГДР). Данные по выходу нейтронов из мишени U_{235} при обстреле электронами, протонами и дейтонами с энергиями 25, 50, 75 и 100 МэВ приведены в [2]. Рост выхода нейтронов действительно наблюдается, по составу продуктов деления и выходу энергии деления данные не приводятся, механизмы реакции также не обсуждаются. Можно считать, что фотоделение вызывают гамма-кванты тормозного излучения электронов или дебройлевские волны протонов и дейтонов. В [1] показано, что ядра с массовыми числами от 230 до 235 имеют практически одинаковую структуру и частоты фотоделения. В диапазон этих значений A попадают 26 изотопов от актиния до плутония. Одно из следствий — для целей генерации нейтронов можно эффективно использовать смеси указанных изотопов.

4. Представление о форме ядер в виде вытянутых или сплюснутых эллипсоидов [3] является упрощённым, на что указывает и различие вычисленных и измеренных значений магнитных моментов ядер. Модель формы ядер из тетраэдров позволяет говорить о более разнообразных формах, чем даже трёхосные эллипсоиды.

5. Какие из КФ с фиксированным значением A (изобаров) отнести к изотопам ($N+Z=A$, Z — различны), какие — к изомерам, — этот вопрос может быть решён на основании расчётов электрических и магнитных свойств КФ или характеристик рассеяния.

Поскольку КФ — синоним формы ядра, это даёт основание для численного расчёта спектра энергий. КФ — это конкретизация распределённого объёмного потенциала взаимодействия нуклонов. В данной модели потенциал состоит из $(2A - S/2)$ однотипных слагаемых ядерных сил (рис. 14) и $Z(Z-1)/2$ кулоновских слагаемых.

6. Недавние работы [4] по структуре ядерной материи километровых масштабов («ядерные макароны» коры нейтронных звёзд) дают основание считать тему элементарной ячейки ядерного вещества и формы ядер такой, которая сохраняет актуальность.

7. Рассмотренные в п. 2 ПИФы составлены из 5 или 6 граней и соответственно имеют такое же к-во внешних вершин. Такое же к-во вершин характерно для полиэдрических кластеров — фуллеренов, полых молекул сферической или эллипсоидной формы [5], первых наноструктур. Такое совпадение неслучай-

но, поскольку Р.Б. Фуллер проектировал свои прочные «геодезические» поверхности из треугольников и объёмных конструкций с треугольными гранями тетраэдров.

Выводы

Для предложенной модели ядерного пространства с элементарной ячейкой в виде тетраэдра приведен алгоритм построения набора формул для описания формы ядер химических элементов во всём диапазоне массовых чисел, что позволяет создать полный атлас индивидуальных форм для всех изотопов и изомеров.

Предложены разные подходы к формированию изображения форм ядер в привязке к пакетам 3D графики. Затронуты вопросы использования модели как источника информации о пространственном распределении потенциалов взаимодействия нуклонов для расчёта различных ядерно-физических величин.

Литература

1. Жижко В. А., Геометрическая модель ядер при минимальном количестве сильных связей / Жижко В. А. // Международный научный журнал, Киев, — 2016, — вып.8, — с. 69–79.
2. Ворогушин М. Ф., Гавриш Ю. Н., Свистунов Ю. А., Строкач А. П., О выборе типа ускорителя для управления энергетическим подкритическим реактором / Материалы XV совещания по ускорителям, — web.ihep.su/library/pubs/aconf96
3. Сарычева Л. И., // Введение в физику микромира — физика частиц и ядер. Курс лекций для астрофизиков, / Сарычева Л. И. // — МГУ, — nuclphys.sinp.msu.ru/astro/index.html
4. Horowitz Ch. & all, / Horowitz Ch. // Disordered nuclear pasta, magnetic field decay and crust cooling in neutron stars, — Phys.Rev.Lett. — v.114, 031102 (2015),
5. Фуллерены. — Википедия.

Примітка. Усі таблиці та малюнки розроблені автором.