

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**МАССЫ АТОМНЫХ ЯДЕР  
И ВОПРОС О ЯДЕРНЫХ ОБОЛОЧКАХ**

В последние годы для объяснения ряда свойств атомных ядер получила широкое распространение модель так называемых ядерных оболочек, согласно которой при наличии в ядрах 2, 8, 20 (28), 50, 82 и 126 протонов или нейтронов имеет место заполнение протонных или нейтронных оболочек.

Первые указания на особую устойчивость и распространённость ядер, в составе которых имеется по 20, 50 и 82 протона или нейтрона, были даны ещё в 1933 г. в работе советского учёного И. П. Селинова<sup>1</sup>. В 1948 г. было предложено и теоретическое объяснение последовательности заполнения ядерных оболочек, основанное на предположении о влиянии спин-орбитального взаимодействия при заполнении уровней нуклеонов в ядрах<sup>2</sup>.

Вопросу о ядерных оболочках было посвящено большое число работ ряда советских физиков.

Роль ядерных оболочек весьма ярко проявляется при сопоставлении точных значений масс разных ядер в связи с тем, что энергия связи нуклеона, присоединение которого знаменует заполнение оболочки, заметно выше, чем средняя энергия связи. Напротив, энергия связи нуклеона, присоединяемого к ядру с заполненной соответствующей оболочкой, ниже средней энергии связи. Для сопоставления энергии связи нуклеонов в разных ядрах в 1950—1952 гг. было выполнено много работ по масс-спектрографическому определению точных значений масс ряда ядер от кремния до урана. В таблице приводятся соответствующие данные, полученные группами Дакворта<sup>3—10</sup>, Нира<sup>11,12</sup> и Гаудсмита<sup>13,14</sup>. При этом массы ядер, приводимые в таблице на основании<sup>11,12</sup>, пересчитаны из упаковочных коэффициентов, а данные других работ приводятся без каких-либо пересчётов.

Материалы, приведённые в таблице, представляют самостоятельный интерес для расчётов тепловых эффектов различных ядерных реакций или порогов таких реакций. В этом смысле таблица является дополнением к справочным таблицам масс лёгких ядер (обычно — до железа), приводимых в ряде курсов ядерной физики.

Однако, помимо этого, сопоставление масс разных ядер может быть использовано для исследования вопроса о ядерных оболочках. Именно такое сопоставление и было выполнено в<sup>15</sup>.

На рисунке (стр. 480), заимствованном из<sup>15</sup>, приводится зависимость средней энергии связи (на один нуклеон) от массового числа ядер для 115 стабильных ядер элементов с  $Z > 21$ . Помимо масс-спектроскопических данных работ<sup>3—10</sup>, использованы данные о тепловых эффектах ряда ядерных превращений и о поглощении микроволн.

## Массы атомных ядер

Z	Элемент	A	Масса и погрешность	Источник
1	2	3	4	5
14	Si	28	27,99581±0,00008	6
14	Si	29	28,98567±0,00014	6
14	Si	30	29,98290±0,00015	5
16	S	32	31,983 ±0,001	13
17	Cl	35	34,9805 ±0,0005	13
19	K	41	40,975 ±0,002	13
22	Ti	46	45,96697±0,00005	11
22	Ti	47	46,96668±0,00009	11
22	Ti	48	47,96314±0,00005	11
22	Ti	48	47,96405±0,00019	7
22	Ti	49	48,96359±0,00005	11
22	Ti	50	49,96075±0,00005	11
23	V	51	50,96053±0,00005	11
24	Cr	50	49,96020±0,00025	4
24	Cr	50	49,96210±0,00005	11
24	Cr	52	51,95710±0,00026	4
24	Cr	52	51,95705±0,00010	11
24	Cr	53	52,95771±0,00010	11
24	Cr	54	53,95631±0,00022	11
25	Mn	55	54,95545±0,00027	6
26	Fe	54	53,95664±0,00027	3
26	Fe	56	55,95285±0,00016	6
27	Co	59	58,95029±	5
28	Ni	58	57,95354±0,00029	6
28	Ni	60	59,94840±0,00030	5
28	Ni	64	63,94733±0,00019	8
29	Cu	63	62,94862±0,00020	8
29	Cu	65	64,94749±0,00021	8
29	Cu	65	64,94884±0,00032	4
30	Zn	64	63,94852±0,00019	8
32	Ge	70	69,9447 ±0,0006	8
32	Ge	72	71,9430 ±0,0006	8
32	Ge	74	73,9426 ±0,0009	8
32	Ge	76	75,9433 ±0,0009	8
33	As	75	74,9432 ±0,0010	8
34	Se	74	73,9439 ±0,0009	8
35	Br	79	78,944 ±0,001	13
35	Br	81	80,943 ±0,001	13
36	Kr	82	81,93843±0,00029	10
36	Kr	84	83,93850±0,00029	10
36	Kr	84	83,938 ±0,001	13
36	Kr	86	85,93658±0,00024	10
37	Rb	85	84,931 ±0,0015	13
37	Rb	87	86,9295 ±0,0020	13
38	Sr	86	85,93533±0,00043	7
38	Sr	88	87,93374±0,00053	7
40	Zr	90	89,93178±0,00063	5
42	Mo	94	93,9343 ±0,0008	8

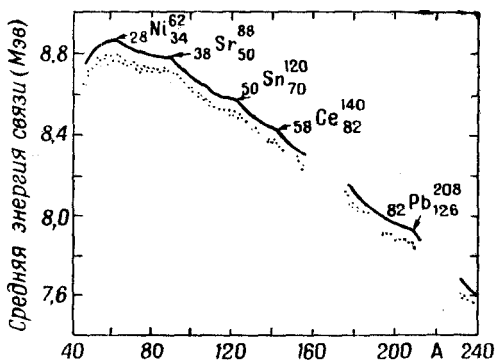
Продолжение

Z	Элемент	A	Масса и погрешность	Источник
1	2	3	4	5
42	Mo	96	95,93597±0,00039	5
42	Mo	98	97,93610±0,00040	7
42	Mo	100	99,93860±0,00040	5
46	Pd	104	103,93635±0,00052	4
46	Pd	108	107,93682±0,00043	4
46	Pd	110	109,94060±0,00077	6
48	Cd	110	109,93873±0,00066	6
48	Cd	112	111,93997±0,00045	6
48	Cd	116	115,94200±0,00070	6
50	Sn	115	114,94020±0,00035	12
50	Sn	116	115,93910±	12
50	Sn	116	115,93794±0,00058	6
50	Sn	117	116,94045±0,00023	12
50	Sn	117	116,94208±0,00017	7
50	Sn	118	117,93982±0,00035	12
50	Sn	119	118,94121±0,00024	12
50	Sn	120	119,94060±0,00036	12
50	Sn	120	119,94012±0,00072	7
50	Sn	122	121,94254±0,00037	12
50	Sn	124	123,94482±0,00025	12
52	Te	126	125,9427 ±0,0010	8
52	Te	128	127,9471 ±0,0010	8
52	Te	130	129,9467 ±0,0009	8
53	I	127	126,94539±	12
53	I	127	126,9415 ±0,0025	13
54	Xe	124	123,94594±0,00025	12
54	Xe	126	125,94481±0,00025	12
54	Xe	128	127,94445±0,00013	12
54	Xe	129	128,94608±0,00026	12
54	Xe	129	128,94536±0,00026	10
54	Xe	129	128,9455 ±0,0015	13
54	Xe	130	129,94475±	12
54	Xe	130	129,945 ±0,002	13
54	Xe	131	130,94681±0,00065	12
54	Xe	131	130,944 ±0,002	13
54	Xe	132	131,94614±0,00013	12
54	Xe	132	131,94727±0,00060	10
54	Xe	132	131,945 ±0,002	13
54	Xe	134	133,94801±0,00027	12
54	Xe	134	133,947 ±0,002	13
54	Xe	136	135,95050±0,00014	12
56	Ba	136	135,9488 ±0,0010	8
56	Ba	137	136,9502 ±0,0010	8
56	Ba	138	137,9498 ±0,0009	8
58	Ce	140	139,9489 ±0,0009	8
58	Ce	142	141,9537 ±0,0009	8
59	Pr	141	140,9514 ±0,0008	8
60	Nd	144	143,9560 ±0,0008	8

Продолжение

Z	Элемент	A	Масса и погрешность	Источник
1	2	3	4	5
60	Nd	150	149,9687 ± 0,0008	8
72	Hf	176	175,9923 ± 0,0011	8
72	Hf	178	177,9936 ± 0,0013	8
72	Hf	180	180,0029 ± 0,0007	8
73	Ta	181	181,0031 ± 0,0013	8
74	W	182	182,0033 ± 0,0011	8
74	W	183	183,0059 ± 0,0013	8
74	W	184	184,0052 ± 0,0011	8
78	Pt	194	194,0256 ± 0,0014	7
78	Pt	195	195,02652 ± 0,00078	4
78	Pt	196	196,02744 ± 0,00060	7
82	Pb	208	208,0422 ± 0,0015	7
82	Pb	208	208,0416 ± 0,0010	9
82	Pb	208	208,0416 ± 0,0015	14
83	Bi	209	209,0466 ± 0,0015	14
90	Th	232	232,1093 ± 0,0010	9
92	U	234	234,1129 ± 0,0010	9
92	U	235	235,1156 ± 0,0010	9
92	U	238	238,1241 ± 0,0010	9

Из рисунка очевидно наличие ряда изломов плавной зависимости средней энергии связи от массовых чисел, связанных с заполнением ядерных оболочек. В области самых тяжелых ядер излом в сторону повышения



средней энергии связи соответствует ядру  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ . Это ядро характеризуется заполнением как протонных (82 протона), так и нейтронных (126 нейтронов) оболочек.

Заполнению нейтронных оболочек (82 нейтрона) отвечает излом кривой в точке, соответствующей ядру  ${}_{58}\text{Ce}^{140}$ . Оболочки, содержащие по 50

протонов или нейтронов, заполняются в ядрах  ${}_{50}\text{Sn}^{120}$  и  ${}_{38}\text{Sr}^{88}$ , что также отвечает изломам кривой энергии связи нуклеонов. Наконец, пик кривой для ядра  ${}_{28}\text{Ni}^{62}$  соответствует заполнению оболочки при 20 протонах. Таким образом, систематическое исследование масс ряда ядер в широком интервале массовых чисел подтвердило основные положения представлений о ядерных оболочках. Представляет интерес исследование масс ядер в интервалах массовых чисел, пока ещё мало изученных, а также более подробное рассмотрение суммы уже полученных данных с целью уточнения последовательности заполнения уровней нуклеонов в ядрах.

Г. И.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Селинов, ЖЭТФ, 4, 666 (1934) (доложено 16 апреля 1933 г.).
2. M. G. Mayer, Phys. Rev., 74, 235 (1948).
3. H. Duckworth а. H. Johnson, Phys. Rev., 78, 179 (1950).
4. H. Duckworth и др., Phys. Rev., 78, 479 (1950).
5. H. Duckworth и др., Phys. Rev., 79, 188 (1950).
6. H. Duckworth а. R. Preston, Phys. Rev., 79, 402 (1950).
7. H. Duckworth а. R. Preston, Phys. Rev., 82, 468 (1951).
8. H. Duckworth и др., Phys. Rev., 83, 1114 (1951).
9. G. Stanford, H. Duckworth и др., Phys. Rev., 85, 1039 (1952).
10. C. Kegley а. H. Duckworth, Nature, 167, 1025 (1951).
11. A. Nier и др., Phys. Rev., 85, 726, L 12 (1952).
12. R. Halsted, Phys. Rev., 85, 726, L 13 (1952).
13. S. Goudsmit и др., Phys. Rev., 84, 824 (1951).
14. S. Goudsmit и др., Phys. Rev., 85, 630 (1952).
15. H. Duckworth, Nature, 170, 158 (1952).