

IAE - 2052

ИАЭ-2052



Ордена Ленина

Институт атомной энергии

им. И.В. Курчатова

А. В. Грошев, А. М. Демидов,

В. Ф. Леонов, А. А. Соколовский

Высвечивание ядер самария—148 после захвата тепловых нейтронов

Москва 1970

ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ИМ. И.В.КУРЧАТОВА

И.В.Грошев, А.М.Демидов,
В.Ф.Леонов, Л.Л.Соколовский

ВЫСВЕЩЕНИЕ ЯДЕР САМАРИЯ-148 ПОСЛЕ ЗАХВАТА
ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

М о с к в а
1970

А Н Н О Т А Ц И Я

С помощью однокристального Ge (Li) спектрометра измерен спектр γ -лучей радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами Sm^{147} . Высокая степень обеднения образца самарием-149 была достигнута методом выжигания в интегральном нейтронном потоке $2,2 \cdot 10^{20}$ н/см². Энергия связи нейтрона в Sm^{148} найдена равной 8141,9 кэв. Для выделенных из спектра γ -линий определены энергии и интенсивности. Составлена схема γ -переходов Sm^{148} . Обсуждается структура возбужденных состояний четно-четных ядер изотопов самария в области $82 < N < 92$.

В работе приводятся результаты измерения с германиевым детектором спектра γ - лучей, возникающих при захвате тепловых нейтронов образцом, обогащенным Sm^{147} . Необходимая чистота образца по отношению к Sm^{149} была достигнута путем предварительного облучения в интегральном нейтронном потоке $2,2 \cdot 10^{20}$ н/см². Измерение γ - спектров проводилось на касательном канале реактора ИРТ-М ИАЭ им.И.В.Курчатова. Подробно метод выжигания, схема опыта и методика измерений описаны в работе [1].

О γ - лучах, сопровождающих захват тепловых нейтронов Sm^{147} , известно очень мало. Было проведено измерение [2] на обогащенном Sm^{147} ($\sim 97\%$), однако из-за малого вклада в сечение ($\sim 30\%$) удалось выделить лишь только наиболее интенсивные γ - переходы в Sm^{148} . В работе [3] изучался захват Sm^{147} нейтронов, усредненных по многим резонансам.

Используя метод выжигания, нам удалось существенно повысить вклад Sm^{147} в сечение образца. В таблице I даны некоторые сведения об использованном образце.

Энергии и интенсивности выделенных нами из спектра γ - линий приведены в таблице 2. Ошибка в определении энергии γ - переходов интенсивностью $< 0,01\%$ составляет 2 кэв, а для переходов $> 0,01\%$ порядка 1 кэв [1]. При определении интенсивностей в числах γ - квантов на 100 захваченных нейтронов

использовались значения, полученные в работе [2] для γ -линий 7592 кэв и 550,0 кэв, где принято, что интенсивность γ -перехода с энергией 7210 кэв в Sm^{150} составляет 0,47%. Ошибка в определении интенсивности наиболее слабых переходов не превышает 30%.

Положение уровней Sm^{148} в диапазоне энергий возбуждения до 2 Мэв определялось многими исследователями. Наибольшее количество данных было получено в работах по изучению радиоактивного распада Pm^{148} и Eu^{148} [6-10] и в реакциях (d, p) [11], (d, d') [12-14] и (p, t) [15], а также при кулоновском возбуждении [16-17]. На рис. I приведена схема уровней Sm^{148} , составленная на основании этих работ. Там же показаны γ -переходы и их интенсивности из настоящей работы. Слева обозначены установленные нами энергии уровней. Кроме указанных на схеме, мы идентифицировали еще 10 уровней, принадлежавших Sm^{148} , с энергией (кэв): 3614; 3636; 3702; 3767; 3832; 3845; 3866; 3921; 3972 и 4123. Были измерены два диапазона энергий γ -квантов: 3 + 8 Мэв и 0,4 + 1,5 Мэв.

Поскольку мы зарегистрировали довольно интенсивные переходы на уровни 2^+ , 3^+ и 4^+ , то исходному состоянию Sm^{148} и первому резонансу, определяющему большое сечение захвата нейтронов в тепловой области, следует приписать характеристики 3^- .

Для установления природы возбужденных состояний ядра Sm^{148} очень важно выяснить положение и радиационные свойства 2^+ -уровней. В нашем случае уровни с $I^{\pi} = 2^+$ должны заселяться прямыми переходами из исходного состояния.

Согласно данным работ по кулоновскому возбуждению, (d, d') -реакции и захвату нейтронов, усредненных по большому числу резонансов, предполагается, что характеристики 2^+ имеют уровни с энергией 1454 кэв и 1663 кэв (первое возбужденное 2^+ -состояние здесь не рассматривается). Нами обнаружены прямые переходы на эти состояния ($J_{\gamma} = 0,01\%$ и $J_{\gamma} = 0,11\%$), для которых установлены энергии 1455,5 кэв и 1659,3 кэв. Найдено, что γ -переходы с уровня 1455,5 кэв идут в состояния с $I^{\pi} = 0^+, 2^+$ и с уровня 1659,3 кэв - в состояния с $I^{\pi} = 4^+, 3^-, 2^+$ (спектр при энергиях $> 1,5$ Мэв не измерялся). Таким образом, заселение

и распад этих уровней согласуются с характеристиками для них 2^+ .

Sm^{148} принадлежит к переходной области ядер от деформированного Sm^{152} с ротационными, β - и γ -вибрационными состояниями к сферическому Sm^{144} . Ядра переходной области обычно считались сферическими, т.к. первой теорией, объясняющей некоторые свойства их нижних уровней, была теория квадрупольных колебаний сферических четно-четных ядер [18,19]. Однако в ряде работ [20-32] имеются веские аргументы против описания возбужденных состояний ядер в переходной области с позиций "вибрационной" модели: ускорение $2^+ \rightarrow 0^+$ переходов не только в деформированных и переходных, но и в магических ядрах; отсутствие одного из членов двухфононного триплета; одинаковая вероятность β -переходов на уровни 0^+ и 0^{+1} и замедление β -переходов на уровень 2^{+1} и т.д. Все это заставляет изменить наши представления о структуре возбужденных состояний ядер в этой области.

Для выяснения природы нижних уровней и равновесной формы четно-четных ядер с числом нейтронов меньше 90 полезно проследить трансформацию ротационных, β - и γ -вибрационных полос, известных в деформированных ядрах с приближением к магическому числу $N = 82$.

На рис.2 показаны схемы уровней четно-четных ядер самария с числом нейтронов $82 < N < 92$ до энергий возбуждения ~ 2 Мэв. Данные об уровнях взяты из работ [4, 6, II-I7, 33-35]. Ядра с $N = 82$ и 92 не являются переходными; они включены как предельные точки. Более высокие уровни мы не рассматриваем, поскольку при возбуждениях, больших 2 Мэв, плотность уровней резко возрастает, т.к. величина энергии спаривания для этих ядер порядка 2 Мэв. Следует отметить, что по количеству и надежности экспериментальных данных рассматриваемые ядра сильно отличаются друг от друга, что затрудняет сопоставление состояний. Тем не менее можно отметить некоторые закономерности.

I. Монотонное уменьшение энергии первого 2^+ -уровня с ростом N .

2. Во всех ядрах можно проследить последовательность уровней 0^+ , 2^+ , 4^+ и 6^+ , которая становится основной ротационной полосой в Sm^{152} . Поведение этой группы уровней показано на рис.3. По мере приближения к магическому числу $N = 82$ плавно изменяется соотношение интервалов между уровнями и наблюдается сближение состояний 2^+ , 4^+ и 6^+ .

На рис.4 изображена зависимость параметра деформации β_2 от числа нейтронов для ядер Nd , Sm , Gd , вычисленная из соотношения [36]

$$B(E2 0^+ \rightarrow 2^+) = \left(\frac{3}{4\pi} Z e R_0^2 \right)^2 \beta_2^2$$

Величина β_2 в предельном случае сильно деформированного ядра соответствует равновесной деформации, а в случае сферического ядра - амплитуде нулевых колебаний. Эффективная деформация монотонно убывает при изменении N от 96 до 82. Это указывает на то, что в ядрах с $N < 90$ мы имеем дело не с обычными ротационными полосами, а с некоторой последовательностью коллективных уровней, когда амплитуда нулевых колебаний сравнима с эффективной деформацией [37].

В работе [38] для описания положения уровней основной полосы как деформированных, так и ядер переходной области, предложена зависимость

$$E(I) = \alpha I + k I(I+1)$$

Применение этой формулы к ядрам самария показано на рис. 5 и 6. Параметр " α " плавно меняется от ядра к ядру. Значение коэффициента " k " постоянно и для всех ядер самария равно 13 кэВ. Видно, что указанная зависимость одинаково хорошо описывает положение 2^+ , 4^+ и 6^+ уровней в обеих группах ядер. Характер изменения параметра " α ", относительно большого для ядер переходной области и малого у деформированных, а также поведение интервалов между уровнями основной полосы в зависимости от числа нейтронов (рис.3) свидетельствуют о сходстве природы

возбужденных состояний в обоих типах ядер и позволяют рассматривать состояния 2^+ , 4^+ , 6^+ в переходной области как квазиротационные.

Рассмотрим далее трансформацию β - и γ - полос в переходной области. Наличие таких полос надежно установлено в

Sm^{152} [32, 34]. В работе [27] прослежены подсобные же состояния и установлено изменение их свойств для Sm^{150} .

В случае Sm^{148} экспериментальных данных существенно меньше, хотя и здесь можно предположить наличие квазиротационных β - и γ - полос, связанных с уровнями 0^{+} и 2^{+} . В самом деле, 0^{+} - уровень с энергией 1120 кэВ в Sm^{148} можно интерпретировать как аналог 0_{β}^{+} - состояния 740 кэВ в Sm^{150} . Некоторое повышение энергии 0^{+} - уровня находится в соответствии с предположением о минимуме энергии 0^{+} - уровней в переходной области [23]. Ротационным сателлитом этого 0_{β}^{+} - состояния в Sm^{148} возможно является уровень с энергией 1659,3 кэВ. Причем как для Sm^{150} , так и для Sm^{148} хорошо выполняется соотношение

$$E2_{\beta}^{+} - E0_{\beta}^{+} \approx E2_0^{+}$$

Аналог γ - вибрационной полосы в Sm^{148} , по-видимому, связан с уровнями 1455,5 кэВ (2^{+}) и 1894,1 кэВ (3^{+}). И в этом случае выполняется зависимость

$$E3_{\gamma}^{+} - E2_{\gamma}^{+} \approx E2_0^{+}$$

В ядре Sm^{148} найдено в рассматриваемой области энергий возбуждения (< 2 МэВ) несколько уровней с отрицательной четностью. Эти уровни могут соответствовать как октупольным колебаниям [39], так и двухквaziчастичным возбуждениям [40]. Представляет интерес отметить малое изменение энергии первого состояния 3^{-} в ядрах с $84 \leq N \leq 92$, которое обычно приписывают октупольному возбуждению ядра.

Таблица I

Некоторые сведения об исследованном образце
(200 мг Sm_2O_3)

Изотоп самария	I44	I47	I48	I49	I50	I51	I52	I54
Сечение (барн) [4,5]	0,03	87	4,73	41000	102	15000	220	5
Содержание до выжигания, %	0,1	96,5	2,1	0,5	0,2	-	0,4	0,2
Вклад в сечение до выжигания, %	$\sim 10^{-5}$	29,2	0,03	70,4	0,06	-	0,3	$\sim 10^{-3}$
Содержание после выжигания, %	0,1	95,2	3,4	0,001	0,66	0,004	0,36	0,2
Вклад в сечение после выжигания, %	$\sim 10^{-5}$	96,9	0,2	0,5	0,7	0,8	0,9	$\sim 10^{-3}$

Таблица 2

Энергии и интенсивности χ - переходов в ядре Sm^{148}

Номер линии	Е. э. кэВ	χ , %	Номер линии	Е. э. кэВ	χ , %	Номер линии	Е. э. кэВ	χ , %
1	7592	0,70	22	5501	0,13	43	4833	0,15
2	6983	0,006	23	5460	0,11	44	4804	0,14
3	6961	0,14	24	5449	0,08	45	4766	0,05
4	6708	0,10	25	5430	0,17	46	4754	0,03
5	6686	0,01	26	5419	0,05	47	4738	0,07
6	6548	0,02	27	5388	0,03	48	4728	0,06
7	6482	0,11	28	5329	0,007	49	4704	0,04
8	6424	0,01	29	5281	0,21	50	4676	0,05
9	6408	0,09	30	5251	0,19	51	4662	0,03
10	6248	1,1	31	5224	0,04	52	4634	0,07
11	6110	0,19	32	5176	0,15	53	4622	0,17
12	6031	0,08	33	5150	0,22	54	4579	0,07
13	5995	0,03	34	5092	0,06	55	4543	0,04
14	5926	0,01	35	5079	0,07	56	4528	0,11
15	5914	0,21	36	5053	0,03	57	4506	0,16
16	5815	0,05	37	5035	0,17	58	4440	0,04
17	5744	0,05	38	5003	0,10	59	4375	0,04
18	5701	0,26	39	4978	0,12	60	4310	0,08
19	5617	0,20	40	4906	0,04	61	4297	0,08
20	5600	0,01	41	4880	0,05	62	4276	0,19
21	5510	0,02	42	4855	0,06	63	4221	0,06

х) Некоторый вклад в интенсивность дает линия 477,9 кэВ Li^7 .

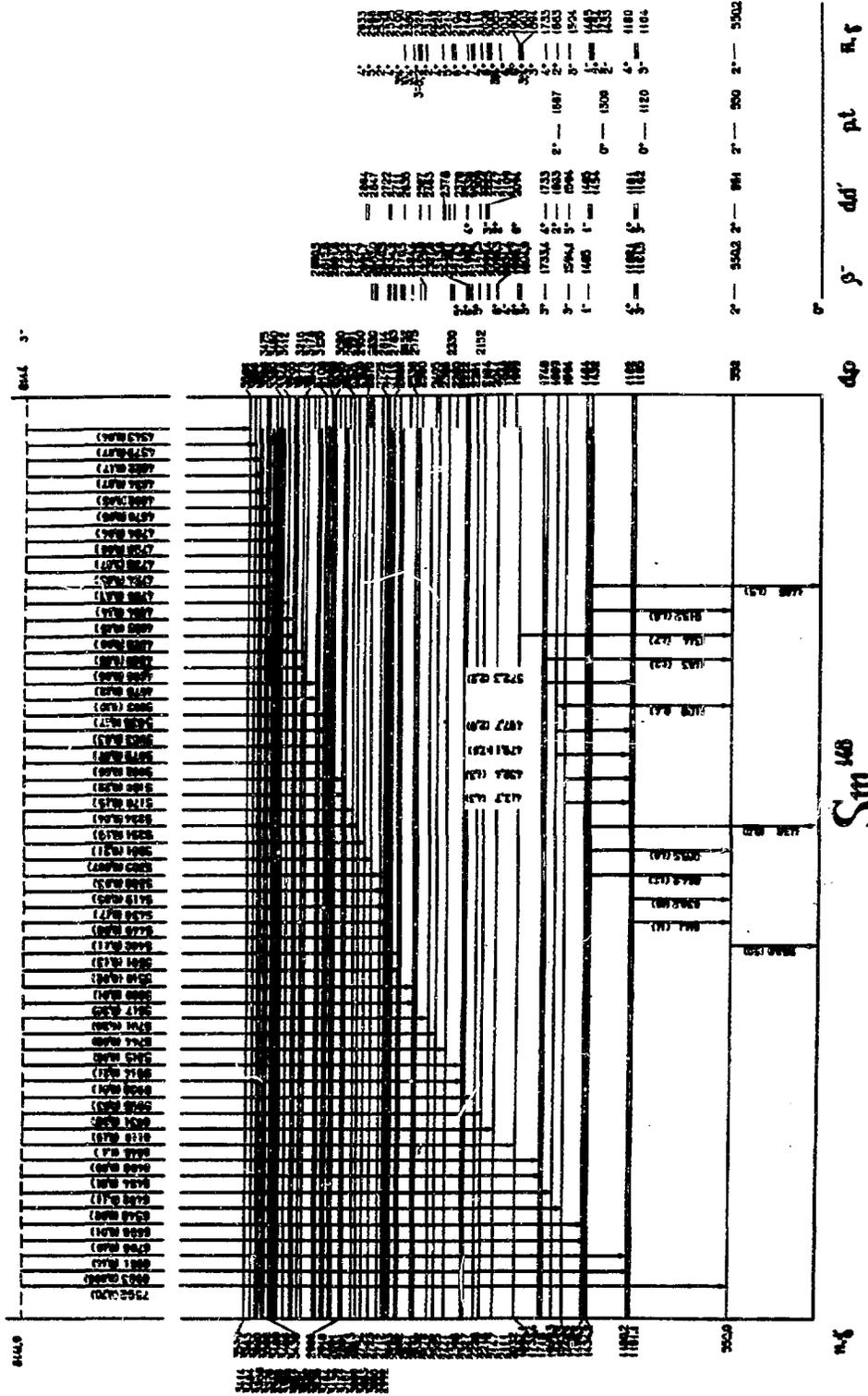


Рис. I. Схема γ - переходов См 146

См 146
62
60

Sm 144 - 154

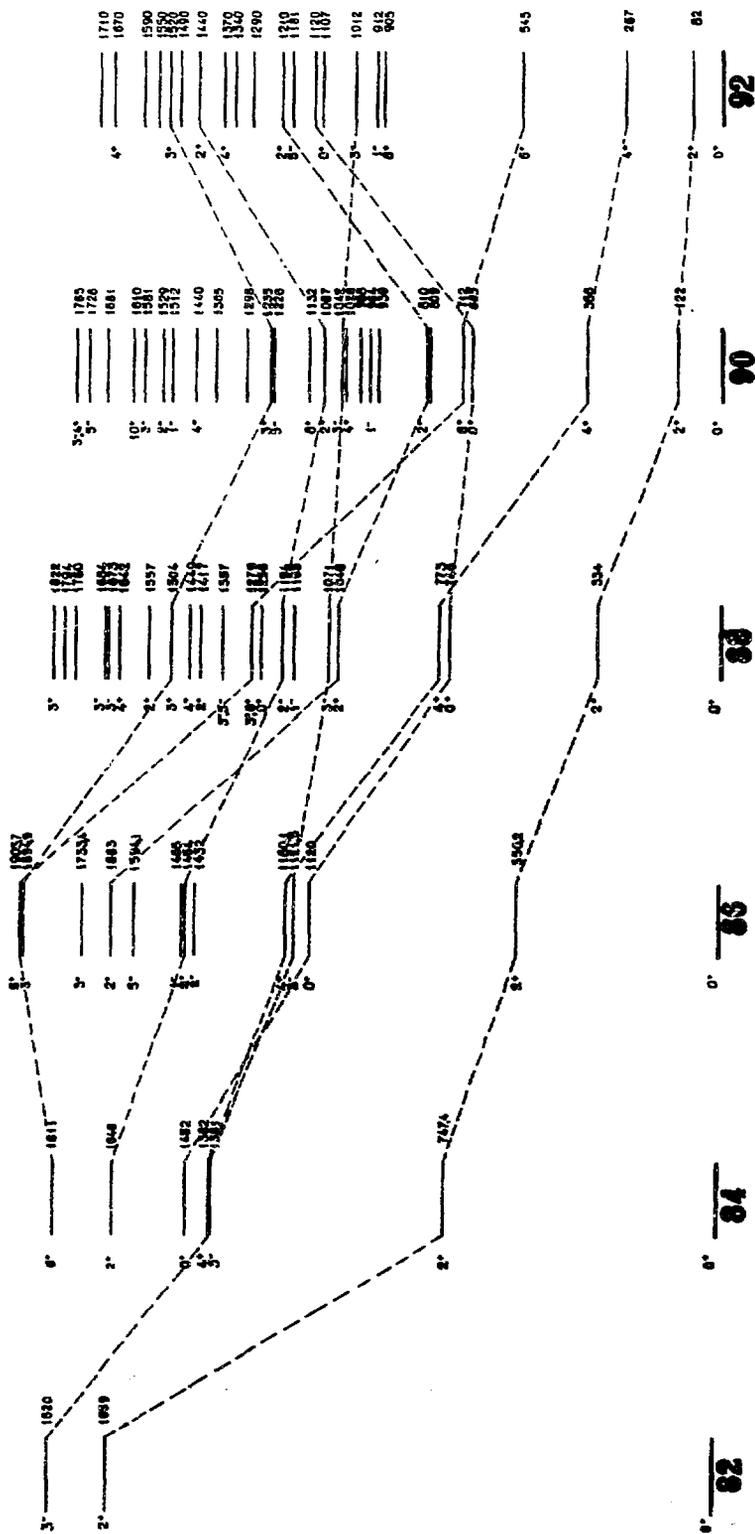


Рис. 2. Схемы уровней ядер самария в области 82 ≤ N ≤ 92. Подобные уровни соединены пунктиром.

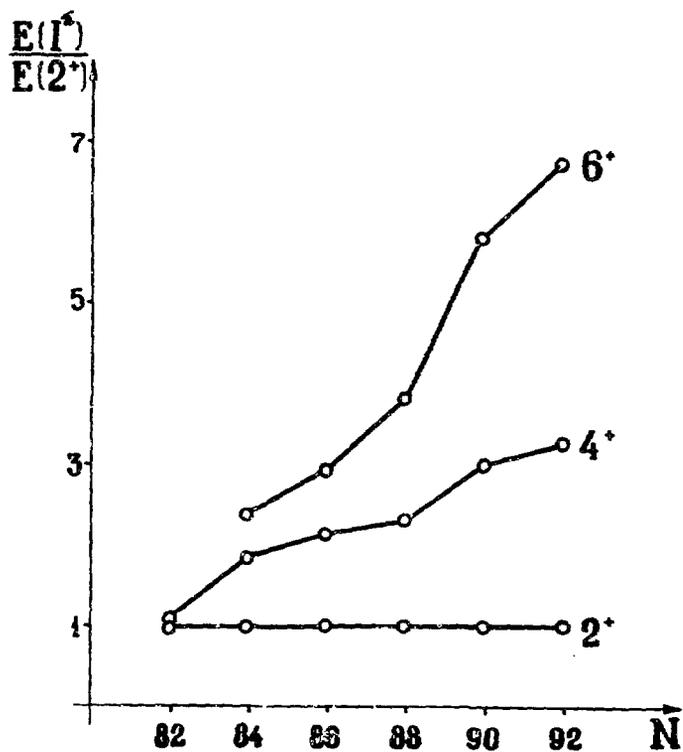


Рис.3. Зависимость энергии уровней 4⁺ и 6⁺ в области с 82 < N < 92.

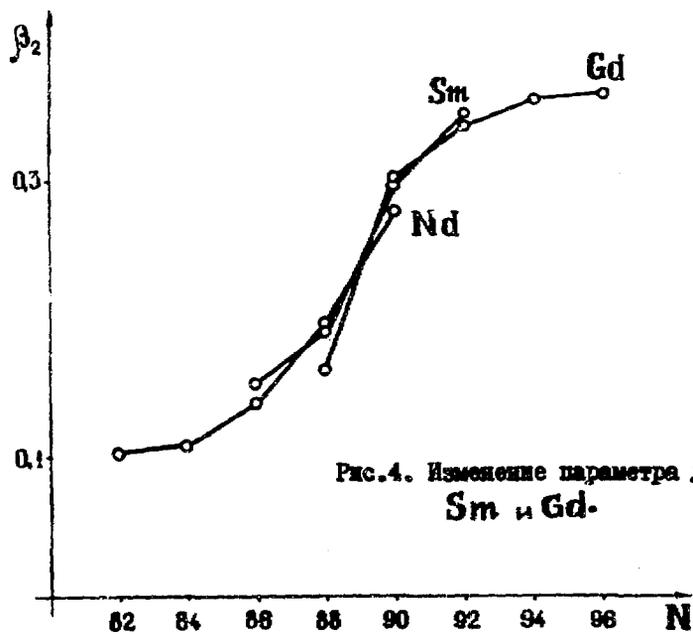


Рис.4. Изменение параметра деформации β_2 для ядер Nd, Sm и Gd.

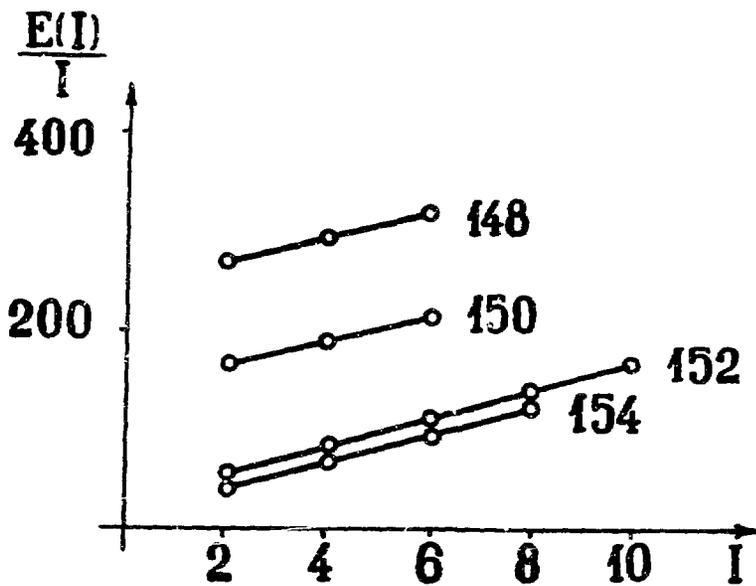


Рис.5. Зависимость $E(I) = aI + kI(I-4)$ от слага I .

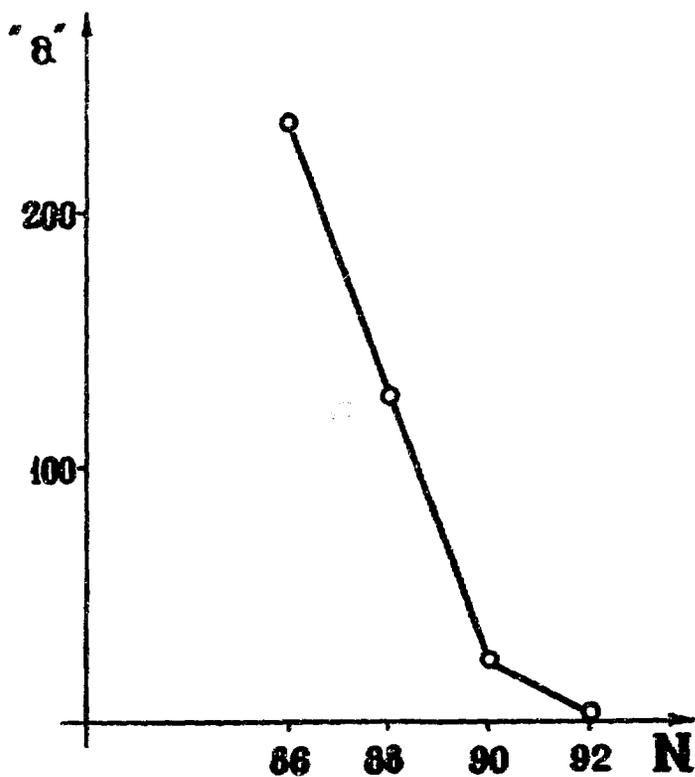


Рис.6. Изменение параметра "a" от числа нейтронов в ядре.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л.В.Грошев, А.М.Демидов, В.Ф.Леонов, Л.Л.Соколовский. Ядерная физика, 12, № 4 (1970).
2. E.R.Reddingius, H.Postma. Physica, 40, 567 (1969).
3. R.K.Smithers, D.J.Buss. RASF, 15, 86 (1970).
4. L.V.Groshev, A.M.Demidov, V.I.Pelekhov, L.L.Sokolovsky, G.A.Bartholomew, A.Doveika, K.M.Eastwood, S.Monaro. Nuclear Data, section A, vol. 5, No. 1-2 (1968).
5. BNL-325, Second Edition, Supplement No. 2, Neutron Cross Section, (1968).
6. C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Perlman. Table of Isotopes, Six Edition (1968).
7. M.J.Martin. Nuclear Data, section B, vol. 2, No. 4 (1967).
8. J.E.Cline. Nucl.Phys., A96, 97 (1967).
9. Е.П.Григорьев, А.В.Золотавин, В.О.Сергеев, М.И.Совцов. Программа и тезисы докладов XX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, часть I, стр. 100 (1970).
10. И.Адам, Б.Амов, Ж.Желев, Н.А.Лебедев, Н.Ненов, Э.З.Рындина, М.Фоминих. Программа и тезисы докладов XX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, часть I, стр. 103 (1970).
11. K.A.Kenfick, R.K.Sheline. Phys.Rev., 133, B25 (1964).
12. B.Elbek, M.Vedelby. Nucl.Phys., 86, 385 (1966).
13. B.Zeidman, B.Elbek, B.Herskind, M.C.Olesen. Nucl.Phys., 86, 471 (1966).

14. E.Veje, B.Elbek, B.Herskind, M.C.Olesen.
Nucl.Phys., A109, 489 (1968).
15. Y.Ishizaku, Y.Saji, T.Ishimatsu, K.Yagi, Y.Yoshida,
C.H.Huang, M.Matoba, Y.Nakajima. Inst.Nucl.Study,
Univ. Tokio, Annual Report 1966, p.31 (1967).
16. R.J.Keddy, Y.Yoshizawa, B.Elbek, B.Herskind, M.C.Olesen,
Nucl.Phys., A113, 676, (1968).
17. G.G.Seaman, J.S.Greenberg, D.A.Bromley, F.K.McGowan.
Phys.Rev., 149 (1966).
18. G.Scharff-Goldhaber, J.Weneser. Phys.Rev., 98, 212 (1955).
19. A.Bohr. Mat.Fys., Medd., Dan.Vid.Selsk, 26, No. 14 (1952).
20. L.S.Usu, J.B.French. Phys.Lett., 19, 135 (1965).
21. M.Sakai. Nucl.Phys., 33, 96 (1962).
22. Y.Futami, M.Sakai. Nucl.Phys., A92, 91 (1967).
23. R.K.Sheline. Revs.Mod.Phys., 32, 1 (1960).
24. V.N.Lutsenko, Nucl.Phys., 47, 42 (1963).
25. J.Burde, R.M.Diamond, F.S.Stephens.
Nucl.Phys., A92, 306 (1967).
26. M.Sakai. Nucl.Phys., A104, 301 (1967).
27. Л.К.Пекер. Изв. АН СССР, сер.физ., 31, 1584 (1967).
28. Л.К.Пекер. Изв. АН СССР, сер.физ., 31, 684 (1967).
29. Э.Я.Луре, Л.К.Пекер, П.Т.Прокофьев.
Изв. АН СССР, сер.физ., 32, 72 (1968).
30. Л.К.Пекер, М.Е.Войханский. Изв.АН СССР, сер.физ.,32,
1024 (1968).
31. О.В.Васильев, В.А.Семенов. Письма ЖЭТФ, II, 520 (1970).
32. P.Dobenhay, H.M.Hintz. Phys.Rev.Lett., 25, 44 (1970).
33. М.Р.Авотина, Е.Р.Григорьев, В.О.Сергеев, А.В.Золотавин.
Phys.Lett., 19, 310 (1965).
34. P.Mukherjee, A.K.Sengupta. Phys.Rev., 182, 1265 (1969).

35. М. Р. Авотина, Е. П. Григорьев, А. В. Золотавин, В. О. Сергеев, В. Г. Тишин. Программа и тезисы докладов 19 ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, часть I, стр. 101 (1969).
36. P.H.Stelson, L.Grodzins. Nuclear Data, section A, vol. I, No. 1 (1965).
37. K.Kumar, M.Barander. Nucl.Phys., A110, 529 (1968).
38. H.Ejiri. INSJ-103 (1967).
39. P.O.Lipas. Nucl.Phys., 40, 629 (1963).
40. R.J.Lombard. Nucl.Phys., A114, 449 (1968).

