

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 34321
К-228

19/8-74

РЗ - 7980

Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов, Х.Файков

3209/2-74

ПАРАМЕТРЫ

НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ ИЗОТОПОВ

^{161}Dy и ^{163}Dy

1974

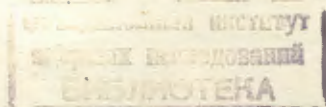
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

РЗ - 7980

Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов, Х.Файков

ПАРАМЕТРЫ
НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ ИЗОТОПОВ
 ^{161}Dy и ^{163}Dy

Направлено в ЯФ



Каржавина Э.Н., Ким Сек Су, Попов А.Б., Файков Х. РЗ - 7980

Параметры нейтронных резонансов изотопов ^{161}Dy и ^{163}Dy

На нейтронном спектрометре Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ с разрешением 16 нсек/м проведены измерения спинов нейтронных резонансов ^{161}Dy и ^{163}Dy методом множественности гамма-квантов. Определены спины и нейтронные ширины для 44 резонансов ^{161}Dy и 38 резонансов ^{163}Dy . Получены следующие значения силовых функций для ^{161}Dy : $S_{J=2} = (1,96 \pm 0,65) \cdot 10^{-4}$, $S_{J=3} = (1,33 \pm 0,42) \cdot 10^{-4}$, для ^{163}Dy : $S_{J=2} = (2,1 \pm 0,7) \cdot 10^{-4}$, $S_{J=3} = (1,0 \pm 0,35) \cdot 10^{-4}$.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Karzhavina E.N., Kim Sek Su,
Popov A.B., Faikov Kh.

РЗ - 7980

Neutron Resonance Parameters of ^{161}Dy and ^{163}Dy
Isotopes

Neutron resonance spins for ^{161}Dy and ^{163}Dy were measured by the gamma-quantum multiplicity method using the neutron spectrometer (Laboratory of Neutron Physics, JINR) with the resolution of 16 ns/m. The spins and neutron widths were determined for 44 resonances of ^{161}Dy and for 38 resonances of ^{163}Dy . There were obtained the values of the strength functions for ^{161}Dy : $S_{J=2} = (1.96 \pm 0.65) \cdot 10^{-4}$, $S_{J=3} = (1.33 \pm 0.42) \cdot 10^{-4}$, and for ^{163}Dy : $S_{J=2} = (2.1 \pm 0.7) \cdot 10^{-4}$, $S_{J=3} = (1.0 \pm 0.35) \cdot 10^{-4}$.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

Введение

Настоящее сообщение является продолжением работы ^{1/} по исследованию спинов нейтронных резонансов методом множественности гамма-квантов. В ^{1/} измерения были выполнены на естественном образце Dy и охватывали область только до 60 эВ. Ввиду того, что некоторые резонансы ^{161}Dy и ^{163}Dy имеют близкие энергии, а также из-за возможного различия спиновых эффектов для этих изотопов результаты, полученные в ^{1/}, требовали уточнения. Поэтому нами были проведены измерения на разделенных изотопах ^{161}Dy и ^{163}Dy , результаты которых приводятся ниже. Мы имели также возможность, кроме спинов нейтронных резонансов, определить и их нейтронные ширины. Хотя нейтронные ширины резонансов нечетных изотопов диспрозия были известны ^{2,3/}, наши данные оказались полезными, так как они позволили уточнить и дополнить параметры резонансов ^{161}Dy и ^{163}Dy в исследованных нами энергетических интервалах, в особенности параметры резонансов ^{163}Dy .

Измерения и обработка данных

Описание методики измерений и обработки экспериментальных данных содержится в наших публикациях ^{4,5/}. Гамма-лучи от резонансного захвата нейтронов мы регистрируем 4-кристалльным NaI - детектором, электронная

схема которого имеет каналы одиночного счета и двойных совпадений. Детектор расположен на 243-метровой базе, что позволяет нам иметь разрешение 16 нсек/м в бустерном режиме работы реактора. Измерения выхода γ -лучей проводились одновременно на двух 4096-канальных временных анализаторах, на которые подавались выходы каналов одиночного счета и счета совпадений. Анализ экспериментальных спектров и вычисление площадей наблюдаемых резонансов проводились с помощью осциллографа со световым карандашом. Для каждого резонанса вычислялось отношение площади в режиме одиночного счета S_{Σ} к площади в режиме совпадений S_c :

$$R = S_{\Sigma} / S_c$$

Возможность определения спинов резонансов заключается в том, что совокупность отношений R распадается на две группы в зависимости от спина захватного состояния $J = 1 \pm 1/2$ / I - спин мишени/. Статистическая достоверность определяемых значений спина оценивалась методом, предложенным в [6] /см. [1] /.

В качестве исследуемых образцов использовалась окись диспрозия, обогащенная изотопами ^{161}Dy и ^{163}Dy . Изотопный состав образцов приведен в табл. 1.

Таблица 1
Изотопный состав образцов в %

Изотоп образец	156	158	160	161	162	163	164
$^{161}\text{Dy}_2\text{O}_3$	0,1	0,1	0,49	92,2 \pm 0,2	5,48	1,17	0,66
$^{163}\text{Dy}_2\text{O}_3$	0,2	0,2	0,2	0,22	1,27	92,5 \pm 0,1	6,1

Для ^{161}Dy измерения выполнены для трех толщин образцов $/4,36 \cdot 10^{20}$; $1,32 \cdot 10^{21}$; $4,81 \cdot 10^{21}$ ат/см² по ^{161}Dy /, для ^{163}Dy - для двух толщин $/1,21 \cdot 10^{21}$ и $4,43 \cdot 10^{21}$ ат/см² по ^{163}Dy /. Измерения с разными толщинами были выполнены с целью проверки стабильности идентификации спинов близко расположенных резонансов, так как с уменьшением толщины образца в ряде случаев ослаблялось влияние соседних резонансов. Данные о площадях резонансов для образцов разной толщины были полезны также при вычислении нейтронных ширин. Мы использовали следующие пороги: в канале одиночного счета - 2,3 МэВ, в канале совпадений - 0,33 и 0,1 МэВ. Величина спинового эффекта

$$a = \frac{1}{2} \frac{\langle R_{I-1/2} \rangle - \langle R_{I+1/2} \rangle}{\langle R_{I-1/2} \rangle + \langle R_{I+1/2} \rangle}$$

оказалась зависящей от порога канала совпадений. При пороге 0,33 МэВ a было равно 5,5% и 7,2%, а при пороге 0,1 МэВ - 12,4% и 12,6% для ^{161}Dy и ^{163}Dy соответственно.

Площади резонансов, вычисленные при обработке экспериментальных кривых выхода γ -лучей, были использованы нами для определения нейтронных ширин. Можно написать, что площадь резонанса равна:

$$S = \Pi \epsilon A \frac{\Gamma_{\gamma}}{\Gamma}$$

где Π - поток нейтронов, ϵ - эффективность регистрации акта захвата, A - площадь Юза. Используя для нормировки некоторые резонансы с известными параметрами, мы получили для остальных наблюдаемых резонансов величины

$$C = A \frac{\Gamma_{\gamma}}{\Gamma}$$

При этом, ввиду малости спинового эффекта, мы пренебрегли зависимостью эффективности от спина резонанса. Для уменьшения влияния спиновой вариации эффективности при вычислении нейтронных ширин мы использовали также совместно значения C , полученные из спектров совпадений и одиночного счета.

Вычисление нейтронных ширин проводилось методом площадей с использованием метода наименьших квадратов по новой программе, написанной для ЭВМ CDC-6200. Значения радиационных ширин были фиксированы, при этом полагалось, что для ^{161}Dy $\Gamma_\gamma = 120 \text{ мЭВ}$, для ^{163}Dy $\Gamma_\gamma = 100 \text{ мЭВ}$. Для каждого резонанса использовалось несколько площадей: рассматривались образцы разной толщины и, как отмечено выше, оба типа каналов детектора.

Для образца ^{163}Dy /толщиной $8,7 \cdot 10^{21} \text{ ат/см}^2$ / было проведено также измерение пропускания с помощью батареи ^3He -счетчиков. Для определения фона применялись фильтры Mn или Co, а также собственные сильные резонансы ^{163}Dy . Площади резонансов ^{163}Dy , полученные по кривой пропускания, были включены в обработку при вычислении нейтронных ширин.

На рис. 1 и 2 представлены примеры спектров ^{161}Dy и ^{163}Dy после их обработки.

Результаты и их обсуждение

Полученные нами параметры нейтронных резонансов изотопов ^{161}Dy и ^{163}Dy приведены в табл. 2 и 3. Энергетические интервалы, в которых проведены измерения, были несколько больше, чем указано в таблицах: для ^{161}Dy до 200 эВ, для ^{163}Dy до 450 эВ. Линейная зависимость числа наблюдаемых резонансов от энергии нейтронов в этих интервалах убеждает в том, что в наших измерениях нет заметного пропуска уровней. Однако недостаточное разрешение не позволило полностью обработать экспериментальные спектры.

Проводя сравнение значений спинов для резонансов ^{161}Dy с результатами, полученными нами в [1] для естественного образца, мы вынуждены отметить их плохое согласие. После тщательного анализа мы выделили несколько причин для объяснения такого расхождения. Из настоящих измерений следует, что в естественном образце резонансы 10,3 и 20,3 эВ принадлежат не только

Таблица 2
Параметры нейтронных резонансов ^{161}Dy

E_0 эВ	J	Вероятность %	Γ_n° или $2g\Gamma_n^\circ$ мЭВ
2,72	3		$0,32 \pm 0,04$ *)
3,68	2	100	$1,01 \pm 0,09$ *)
4,31	2	100	$0,56 \pm 0,05$
7,71	3	100	$0,20 \pm 0,02$
10,3	2	100	$0,14 \pm 0,01$
10,8	3	100	$0,14 \pm 0,01$
12,6	3	100	$0,015 \pm 0,004$
14,3	2	97	$1,75 \pm 0,14$
16,7	3	100	$1,85 \pm 0,16$
18,4	2	100	$2,13 \pm 0,16$
20,3	2	90	$0,13 \pm 0,01$
25,2	2	95	$0,29 \pm 0,02$
29,0	2	100	$0,57 \pm 0,03$
29,9	3	90	$0,17 \pm 0,01$
35,7	3	100	$0,40 \pm 0,02$
37,7	3	100	$1,84 \pm 0,16$
38,4	3	100	$2,30 \pm 0,19$
43,2	3	100	$1,96 \pm 0,16$
45,0	2	100	$2,55 \pm 0,19$
48,8			$< 0,1$
50,8	3	98	$0,78 \pm 0,05$
51,6	2	95	$3,63 \pm 0,34$ } дублет
52,2	(3)		
55,0	2	100	$1,48 \pm 0,10$
59,5	2	100	$0,91 \pm 0,06$
61,3	2	100	$1,20 \pm 0,08$
63,5	3	100	$0,56 \pm 0,04$
71,4	(3)		$0,81 \pm 0,05$
73,1	3	97	$0,43 \pm 0,02$
76,6			(0,26)
77,1			(0,20)
78,1			(0,37)
82,2	2	100	$0,34 \pm 0,02$
84,9	3	100	$0,62 \pm 0,05$
86,6			$< 0,1$
88,5	3	100	$1,35 \pm 0,09$
91,1			(0,17)
93,1	3	100	$2,25 \pm 0,30$
95,1	3	95	$0,29 \pm 0,02$
101,0	2	100	$1,50 \pm 0,12$
102,2			(0,07)
104,0			(0,16)
104,8	2	100	$0,82 \pm 0,09$
110,4	3	98	$0,86 \pm 0,09$
112,3	2	97	$0,92 \pm 0,07$
113,3			(0,16)
117,2			(0,17)
118,2	2	100	$0,82 \pm 0,06$
120,3	2	99	$0,75 \pm 0,05$
124,3	2	100	$5,39 \pm 0,63$
127,3	(3)		$0,25 \pm 0,02$
131,1	3	100	$0,53 \pm 0,03$
138,2	3	90	$1,18 \pm 0,10$
142,6	2	99	$1,00 \pm 0,10$

* Данные из [2].

Таблица 3
 Параметры нейтронных резонансов ^{163}Dy

E_0 эВ	J	Вероят- ность %	Γ_n^0 мэВ
1,71	2		$1,65 \pm 0,17$ *)
16,2	3	100	$3,02 \pm 0,44$
19,6	3	100	$0,18 \pm 0,01$
35,7	2	100	$1,68 \pm 0,15$
50,2	3	100	$0,38 \pm 0,03$
55,8	(3)	60	$3,14 \pm 0,30$
59,0	2	100	$11,1 \pm 0,9$
66,0	3	100	$0,76 \pm 0,08$
71,9	3	100	$0,36 \pm 0,03$
75,2	2	100	$0,31 \pm 0,02$
78,9	2	100	$1,68 \pm 0,12$
86,1	3	98	$0,12 \pm 0,01$
94,0	3	100	$1,59 \pm 0,11$
105,8	3	98	$6,1 \pm 1,1$
107,2	2	100	$2,69 \pm 0,46$
120,2	2	98	$1,06 \pm 0,06$
126,4	3	100	$2,28 \pm 0,37$
127,2	(2)		(0,51)
135,1	3	97	$0,36 \pm 0,02$
143,3	2	100	$2,27 \pm 0,48$
144,7	2	100	$3,75 \pm 0,95$
154,7	2	100	$5,08 \pm 0,91$
163,7	3	100	$0,79 \pm 0,05$
177,1	3	100	$0,26 \pm 0,02$
184,9	3	98	$0,34 \pm 0,02$
188,7	2	90	$0,30 \pm 0,02$
203,0	2	99	$2,33 \pm 0,16$
205,0	3	100	$1,76 \pm 0,13$
213,3	3	96	$0,39 \pm 0,04$
223,0	2	94	$11,9 \pm 1,8$
235,4	(3)	71	$0,31 \pm 0,02$
250,6	3	100	$0,88 \pm 0,06$
260,8	2	90	$6,53 \pm 0,79$
268,2	3	93	$6,29 \pm 0,43$
273,8	2	98	$1,47 \pm 0,22$
280,6	3	100	$1,15 \pm 0,18$
288,7	2	98	$4,22 \pm 0,37$
297,4	(2)	80	$4,10 \pm 0,30$
323,0	3	100	

* Данные из /2/.

изотопу ^{161}Dy . Сравнение спектров для естественного образца и для образца, обогащенного ^{161}Dy , имеющего толщину, одинаковую с естественным образцом /см. рис. 3/, доказывает, что в естественном образце в эти резонансы дают существенный вклад другие изотопы. Так, если вычислять нейтронные ширины для этих резонансов по естественному образцу, то мы получим $\Gamma_n = 2,4 \text{ мэВ}$ и $\Gamma_n = 4,7 \text{ мэВ}$ для резонансов 10,3 и 20,3 эВ соответственно. В то время как из данных измерений с обогащенным образцом мы имеем $\Gamma_n = 0,38 \text{ мэВ} /10,3 \text{ эВ}/$ и $\Gamma_n = 0,48 \text{ мэВ} /20,3 \text{ эВ}/$. Мы не смогли определить, какому /или каким/ еще изотопу принадлежат эти резонансы, так как для четных изотопов Dy нет достаточно подробных данных. Остается также открытым вопрос: действительно ли при этих энергиях у ^{161}Dy имеются резонансы? Дело в том, что нейтронные ширины, полученные в разных работах для указанных резонансов, существенно различаются. Кроме того, резонанс 10,3 эВ в спектре, полученном в измерениях с образцом ^{161}Dy , имеет более широкую форму, чем соседний резонанс 10,8 эВ. Наличие в естественном образце сильных резонансов 10,3 и 20,3 эВ, имеющих большие значения R , привело к смещению среднего по резонансам значения $\langle R \rangle$ в большую сторону. Этому эффекту способствовало и то обстоятельство, что среднее значение $\langle R \rangle$ для ^{163}Dy /при пороге в канале совпадений 0,33 МэВ/ оказалось больше, чем для ^{161}Dy . Смещение $\langle R \rangle$ в сторону увеличения и привело к тому, что часть резонансов ^{161}Dy , относящихся к группе со спином 2 при идентификации спинов по естественному образцу, попала в группу со спином 3, так как $\langle R_{J=3} \rangle$ меньше $\langle R_{J=2} \rangle$ /см. /1/. Исключение составляют слабый резонанс 12,6 эВ и резонанс 35,7 эВ. Ошибка в определении спина резонанса 35,7 эВ объясняется наличием при этой энергии более сильного резонанса у ^{163}Dy с противоположным спином.

Значения спинов, полученные в настоящей работе для ^{161}Dy и ^{163}Dy , полностью согласуются с результатами поляризационных измерений Брукхейвенской лаборатории /7,8/, где были измерены спины для области энергий до 19 эВ. Что касается нейтронных ширин, то

наши результаты, в основном, согласуются в пределах ошибок с данными из [2,3]. Мы смогли получить параметры большего числа резонансов для ^{163}Dy . Для ^{161}Dy некоторые резонансы, ранее принимавшиеся за одиночные, оказались дублетами.

Используя параметры резонансов из табл. 2 и 3, мы провели оценку таких усредненных характеристик, как средние расстояния между резонансами и силовые функции. На рис. 4 а,б представлена зависимость от энергии нейтронов числа наблюдаемых уровней, а на рис. 5 а,б - суммы приведенных нейтронных ширин для резонансов с определенным спином. В табл. 4 приведены значения средних расстояний и силовых функций по всем наблюдаемым резонансам и по резонансам с определенным спином, а также оценки спинового фактора σ , входящего в формулу плотности уровней, даваемую статистической моделью. При оценках D_J и S_J для ^{161}Dy было опущено несколько слабых уровней с неопределенными спинами, что не должно существенно повлиять на величины D и S .

Таблица 4
Усредненные параметры ^{161}Dy и ^{163}Dy

Величина	D		D		$S \times 10^4$		σ
	эВ	$S \times 10$	J=2 эВ	J=3 эВ	J=2	J=3	
^{161}Dy	2,5±	1,69±	5,9±	4,7±	1,96±	1,33±	5,00 ⁺¹⁰ -1,7
	0,3	0,36	0,7	0,5	0,65	0,42	
^{163}Dy	7,8±	1,55±	16,7±	14,0±	2,1±	1,0±	4,5 ^{+∞} -1,5
	1,0	0,38	2,0	1,6	0,7	0,35	

Из табл. 4 видно, что силовые функции ^{161}Dy и ^{163}Dy для разных спинов отличаются. Однако делать утверждение о наличии спиновой зависимости силовых функций для этих изотопов нет достаточных оснований,

так как оценка статистической достоверности наблюдаемых значений S_J^0 в предположении, что на самом деле силовые функции для разных спинов одинаковы, дает следующие вероятности случайного наблюдения такого различия: для ^{161}Dy - 50%, для ^{163}Dy - 20% /оценки выполнены методом, предложенным в [9]. Следует принять во внимание также, что ошибка в определении спинов только 1-2 сильных резонансов может резко изменить наблюдаемые значения S_J^0 . Для надежного ответа на вопрос о существовании спиновой зависимости S^0 необходимо получить данные для большого числа резонансов. Так, чтобы вероятность случайного наблюдения таких значений S_J^0 , какие мы видим у ^{161}Dy и ^{163}Dy , была мала /например, меньше 5%/, необходимо увеличить число исследованных резонансов для ^{161}Dy примерно в 10 раз, для ^{163}Dy - в 2 раза. Измерение спинов для такого большого числа резонансов является в настоящее время задачей нереальной, следовательно, нельзя надеяться достоверно обнаружить спиновую зависимость путем анализа индивидуальных резонансов, если силовые функции для разных спинов отличаются в 2 раза и менее, только из-за невозможности достигнуть требуемой статистики уровней, не говоря уже о том, что всегда остается вопрос о возможных ошибках в определении спинов некоторых резонансов. Только прямые измерения спиновой зависимости усредненных сечений способны исключить статистическую неопределенность, поэтому измерения усредненных сечений с поляризованными нейтронами и поляризованными ядрами являются перспективными и очень важными для решения "спиновой проблемы" силовых функций.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Г.Самосвату и В.Г.Николенко за помощь в измерении пропускания ^{163}Dy . Мы признательны также Н.Ю.Шириковой и И.И.Шелонцеву за помощь в написании программы вычисления параметров резонансов.

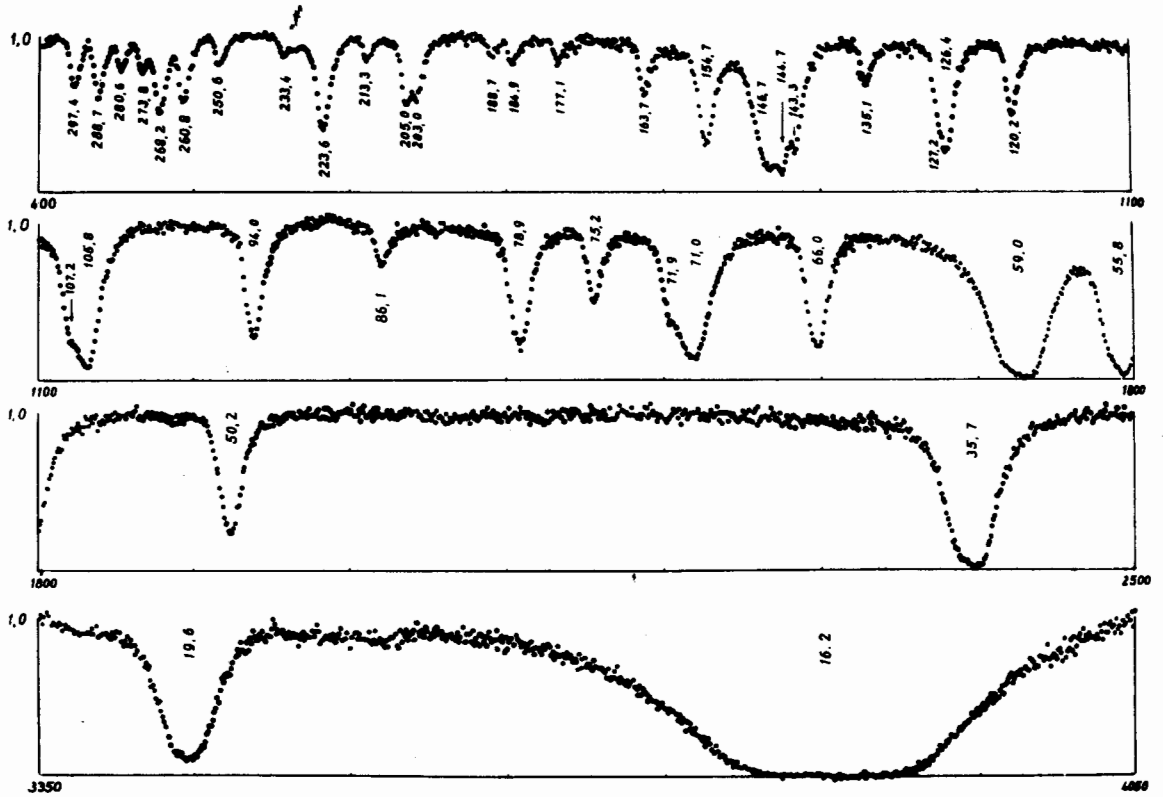


Рис. 1. Резонансное пропускание ^{163}Dy .

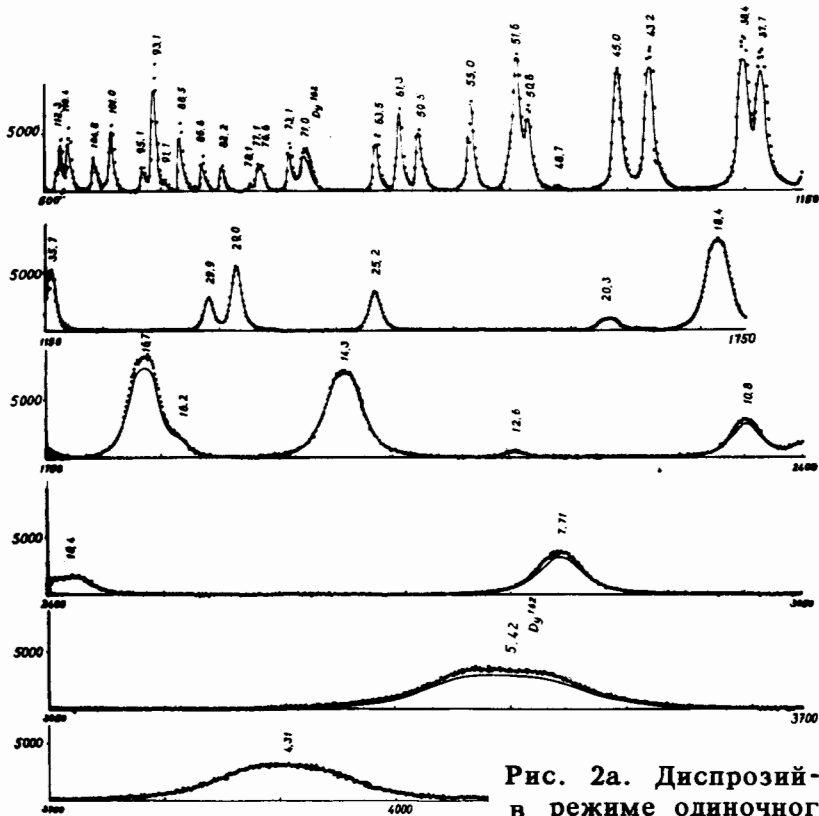


Рис. 2а. Диспрозий-161. Сплошная кривая - спектр в режиме одиночного счета, точки - спектр в режиме совпадений.

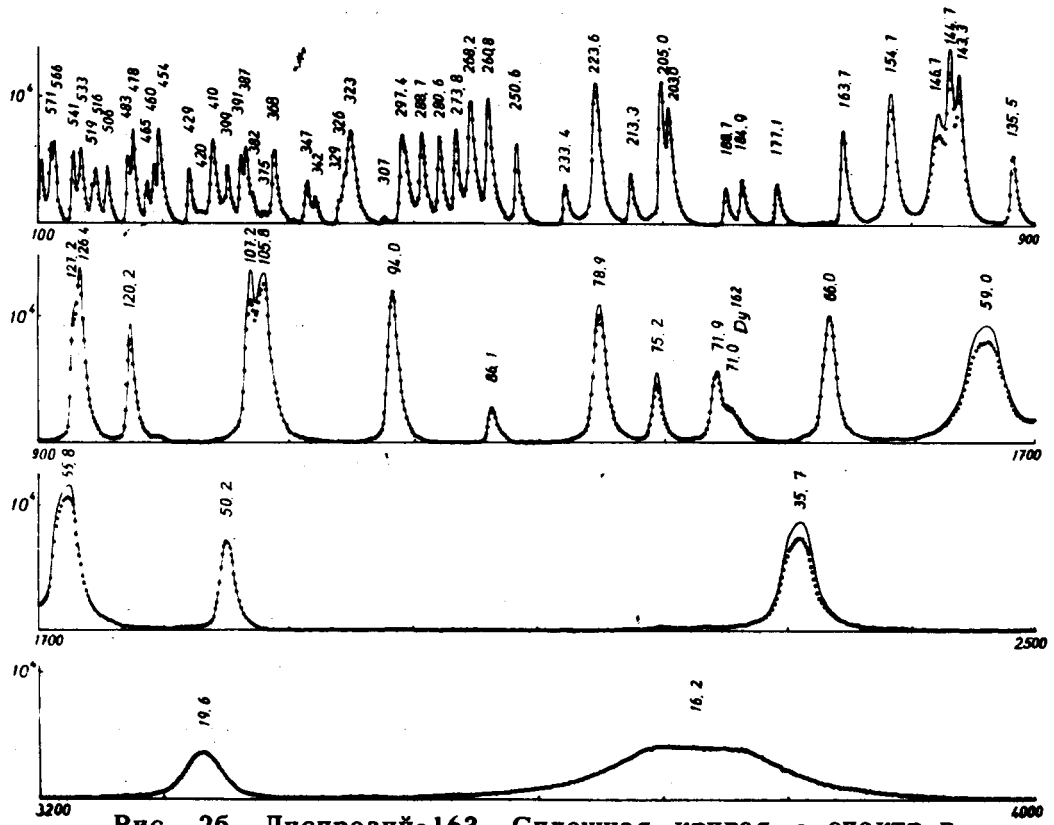


Рис. 26. Диспрозий-163. Сплошная кривая - спектр в режиме одиночного счета, точки - спектр в режиме совпадений.

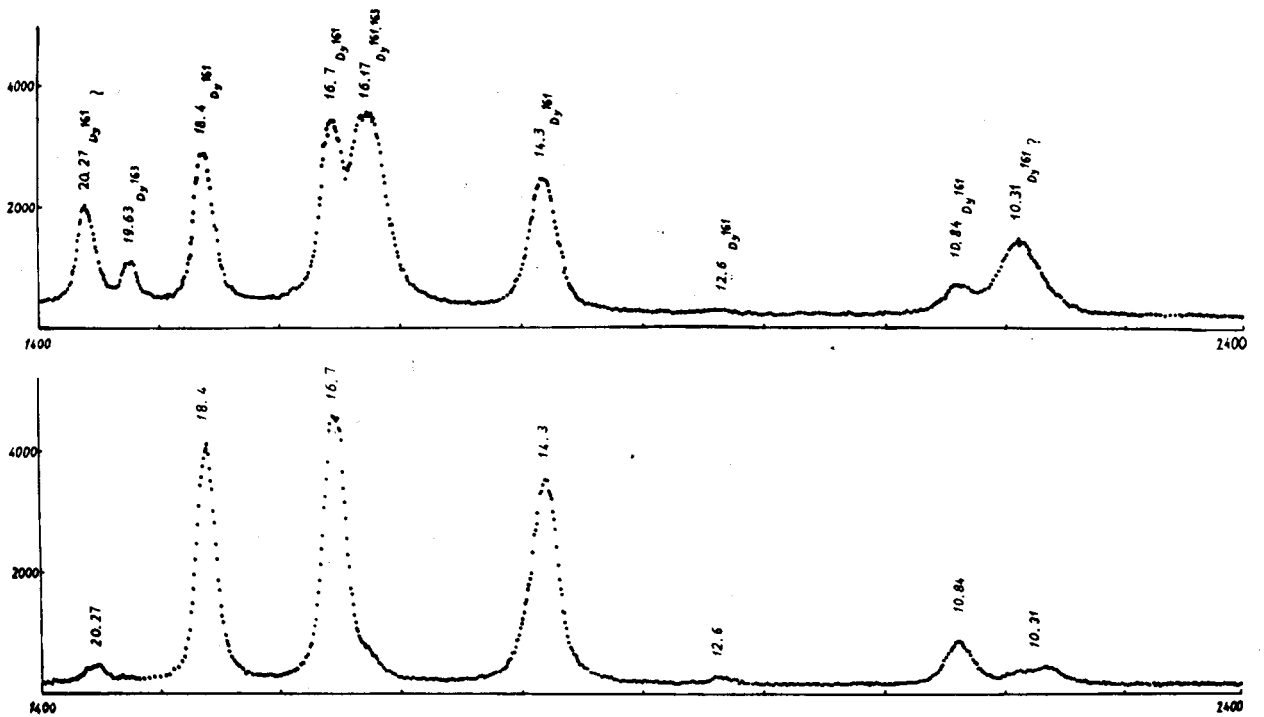


Рис. 3. Участок спектра:верху - естественный образец, внизу - образец ^{161}Dy , толщиной по ^{161}Dy одинаковой с естественным образцом.

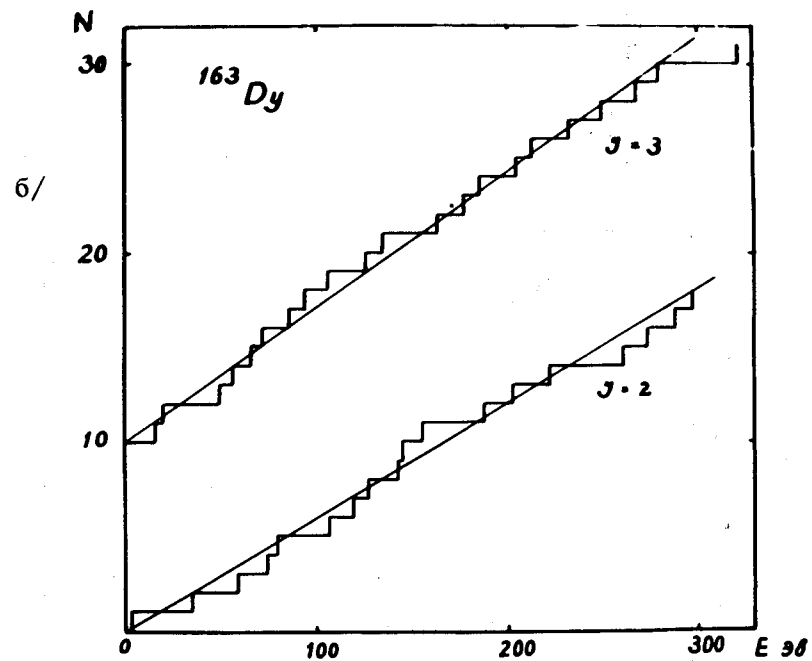
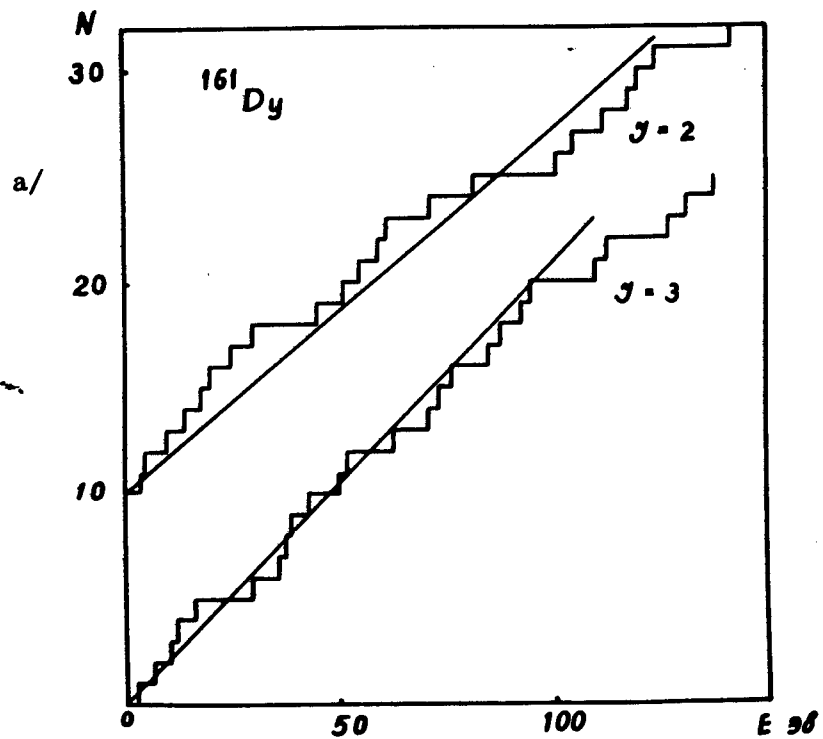
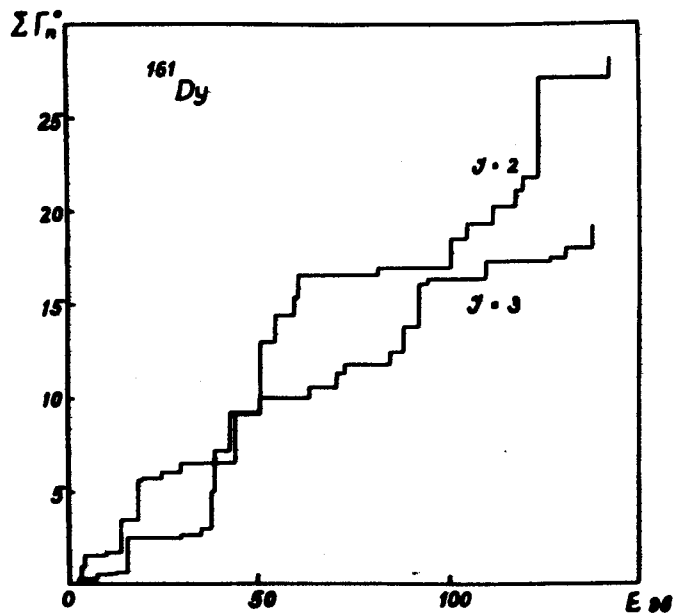


Рис. 4 а/ Зависимость числа резонансов с разными спиновыми состояниями от энергии нейтронов для ^{161}Dy .
 б/ То же для ^{163}Dy .

а/



б/

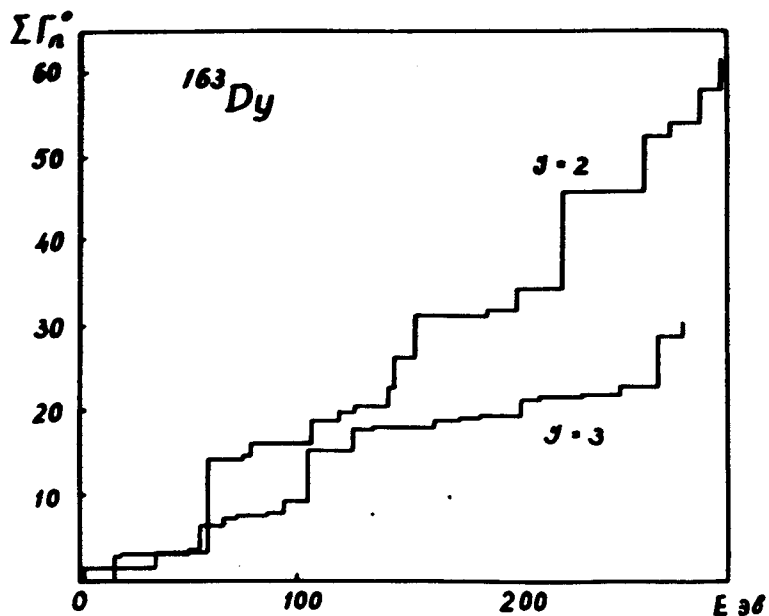


Рис. 5 а/ Зависимость суммы приведенных нейтронных ширин резонансов с разными спиновыми состояниями для ^{161}Dy . б/ То же для ^{163}Dy .

Литература

1. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Препринт ОИЯИ, РЗ-6948, Дубна, 1973.
2. BNL-325, Second Ed., Suppl. No. 2, Vol. II, 1966.
3. S.F.Mughabghab, R.E.Chrien. Phys.Rev., 1c, 1850 (1970).
4. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Сообщение ОИЯИ, РЗ-6237, Дубна, 1972.
5. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Препринт ОИЯИ, РЗ-6092, Дубна, 1971.
6. A.Stolovy et al. Phys.Rev., 5c, 2030 (1972).
7. G.Brunhart, V.Sailor. BNL-15392, 1970.
8. D.Rorer, G.Brunhart. VAPS, 16, 496, 1971.
9. Х.Малецки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин, Э.И.Шапов. Препринт ОИЯИ, РЗ-4484, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 мая 1974 года.