

СЗ41 18

A-139

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

18/XII - 64.

P - 1883



А.А. Абдуразаков, К.Я. Громов, В.В. Кузнецов,
Ма Хо Ик, Г. Музиоль, Ф. Молнар, А. Молнар,
Ф. Мухтасимов, Хань Шу-жунь

О РАСПАДЕ Но¹⁶¹

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

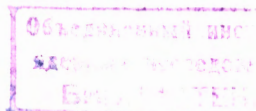
1964

P - 1883

А.А. Абдуразаков,^{x/} К.Я. Громов, В.В. Кузнецов,
Ма Хо Ик, Г. Музиоль, Ф. Молнар, А. Молнар,
Ф. Мухтасимов,^{x/} Хань Шу-жунь

О РАСПАДЕ Но¹⁶¹

Направлено в журнал "Ядерная физика".



^{x/} Ташкентский Политехнический институт.

2826/3 48-

Теория деформированных ядер в настоящее время неплохо описывает свойства нижних состояний возбуждения деформированных ядер с нечетным A . Получение экспериментальных данных об уровнях таких ядер важно для сопоставления с теорией и для дальнейшего ее развития.

Распад Ho^{161} ($T_{1/2} = (8,9 + 0,2) \cdot 10^3$ сек) исследовался авторами работ ^{/1-3/}.

На основании сведений о спектре конверсионных электронов в обзоре Моттельсона и Нильсона ^{/4/} и в работе Михелика и др. ^{/1/} была предложена схема нижних возбужденных состояний Dy^{161} , возбуждающихся при распаде Ho^{161} . Экспериментальные исследования распада Ho^{161} до настоящего времени практически ограничивались изучением спектра конверсионных электронов. В настоящей работе наряду с исследованием спектра конверсионных электронов изучен спектр γ -лучей, возникающих при распаде Ho^{161} .

Экспериментальные результаты

Спектр γ -лучей Ho^{161} исследовался с помощью сцинтилляционного γ -спектрометра со 100-канальным амплитудным анализатором импульсов. При изучении γ -лучей с энергией до 300 кэВ использовался кристалл $\text{NaJ}(\text{Tl})$ размером $40 \times 40 \text{ мм}^2$ и разрешением $\sim 8\%$ на линии с энергией 662 кэВ Cs^{137} . γ -лучи в жесткой области (до 3000 кэВ) исследовались с помощью детектора $\text{NaJ}(\text{Tl})$ размером $70 \times 50 \text{ мм}^2$ и разрешением $\sim 11\%$ на линии с энергией 662 кэВ Cs^{137} .

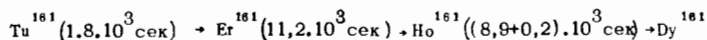
Спектр электронов внутренней конверсии исследовался с помощью бета-спектрографа с постоянным магнитным полем ^{/5/}. Электроны регистрировались фотопластинками типа P-50. Энергии и интенсивности конверсионных линий определялись методом, описанным в работе ^{/6/}. Разрешение на конверсионных линиях составляло $\sim 0,07\%$.

Изотоп Ho^{161} получался в результате глубокого расщепления тантала при бомбардировке его протонами с энергией 660 МэВ.

После выделения из облученной мишени элементов редкоземельной группы проводилось разделение последних хроматографическим методом. При исследовании спектра конверсионных электронов использовались полученные таким образом фракции Ho и Er , которые представляют собой сумму изотопов Ho или Er , образующихся при облучении танталовой мишени, и их дочерних элементов. В препарате Er накоп-

лился Ho^{161} при распаде Er^{161} ($T_{1/2} = 11,2 \cdot 10^3$ сек). Линии конверсионных электронов приписывались изотопу Ho^{161} на основании оценки периода полураспада и определения заряда ядра, в котором происходит переход.

Для исследований γ -спектра мы использовали препарат Ho , выделенный из тулиевой фракции, полученной тем же способом, как эрбий и гольмий. Существование цепочки распада



позволяет получить почти чистый изотоп Ho^{161} . Наблюдавшиеся в использованных препаратах слабые примеси Ho^{160} (менее 0,1%) вероятно связаны с малыми загрязнениями исходного препарата тулия эрбием. Спектры γ -лучей Ho^{161} представлены на рисунках 1 и 2: на рис. 1 - γ -спектр в области энергий до 300 кэв, на рис. 2 - γ -спектр в области энергий до 3000 кэв. С целью поглощения интенсивного χ - и γ -излучения в области энергий до 200 кэв спектр, показанный на рис. 2, снят со свинцовым поглотителем толщиной 1 мм, который помещался между источником Ho^{161} и кристаллом NaJ(Tl) . На рис. 3 и 4 представлены зависимости спада интенсивности пика χ -лучей и γ -линии 760 кэв во времени. По спаду интенсивности χ -лучей определено значение периода полураспада Ho^{161} , равное $(8,9 \pm 0,2) \cdot 10^3$ сек ($2,48 \pm 0,05$ часа), которое является наиболее точным значением периода полураспада Ho^{161} . Интенсивность χ -лучей убывает с периодом полураспада $(8,9 \pm 0,2) \cdot 10^3$ сек ($2,48 \pm 0,05$ часа) в течение 10 периодов полураспада. Это является основанием для утверждения о том, что примеси в использованном препарате были не более 0,1%. Как видно из рис. 4, γ -линия 760 кэв наблюдается вместе с рядом других γ -линий. Интенсивность всех γ -лучей (рис. 2), кроме γ -линий 760 кэв, убывает с периодом полураспада $T_{1/2} = 18 \cdot 10^3$ сек. На кривой распада γ -линии 760 кэв отчетливо проявляется составляющая с периодом полураспада $T_{1/2} = 8,0 \cdot 10^3$ сек (2,5 часа).

Период полураспада ($18 \cdot 10^3$ сек) и сравнение спектра (рис. 2) с измеренным γ -спектром чистого Ho^{160} позволяют надежно приписать загрязнения изотопу Ho^{160} . γ -лучи с энергией 760 кэв, очевидно, принадлежит Ho^{161} . В таблице 1 представлены результаты измерения интенсивностей γ -лучей Ho^{161} . Интенсивности γ -лучей при распаде Ho^{161} даются впервые. Ранее не было известно также о γ -лучах с энергией 210 и 760 кэв.

Т а б л и ц а 1
Интенсивности γ -лучей No^{161}

Энергия γ -лучей $\chi^1/$	25,7	χ -лучи 43,9 49,0 59,2	77,5	98,1	103,0	157,3	175,4	210,4	760
Относитель- ные интенсив- ности γ - лучей	37, <u>+</u> 7	100	3,4 <u>+</u> 0,7	0,6 <u>+</u> 0,1	4,4 <u>+</u> 0,5	0,6 <u>+</u> 0,1	0,6 <u>+</u> 0,1	0,2 <u>+</u> 0,1	0,1

При анализе спектра γ -лучей не обнаружен пик аннигиляционного излучения. По нашей оценке, его интенсивность меньше 0,1 интенсивности γ -линии 760 кэв или <0,01% интенсивности χ -лучей.

В таблице 2 представлены результаты исследования спектра конверсионных электронов. Полученные данные в основном совпадают с данными работ Михелика и др.^{/1/} и Абдуразакова и др.^{/8/}. Обнаружены новые конверсионные линии, приписанные γ -переходам No^{161} с энергией 210,8; 234,5; 239,7; 339,7 и 416,0 кэв. Из-за малой энергии конверсионных линий перехода 25,7 кэв нам не удалось связать интенсивности конверсионных линий этого перехода с интенсивностями других линий. Приводится только отношение $L_I : L_0 : L_{III}$. Нам не удалось получить сведений о конверсионных линиях перехода с энергией 98,1 кэв, так как линии этого перехода близки по энергии к интенсивным линиям перехода 99,0 кэв, возникающего при распаде No^{156} ($T_{1/2} = 1,8 \cdot 10^3$ сек). По относительным интенсивностям K^- , L_I^- , L_{II}^- и L_{III}^- -линий определены мультипольности некоторых γ -переходов (см. таблицу 3). Для определения мультипольности перехода с энергией 98,1 кэв использованы данные работы Михелика и др.^{/1/} об относительных интенсивностях γ -линий этого перехода. Сравнивая полученные данные об интенсивностях γ -переходов и конверсионных линий и принимая при этом теоретическое значение для γ -перехода с энергией 174,4 кэв типа E2, удается определить экспериментальные значения α_k для переходов с энергией 103,0 и 157,3 кэв. Эти данные также использованы в таблице 3 для определения мультипольностей переходов.

Обсуждение результатов. Схема распада No^{161}

Схема уровней Dy^{161} , возбуждающихся при распаде No^{161} , впервые предложена в обзоре Моттельсона и Нильсона^{/4/} и в работе Михелика и др.^{/1/} (см.рис. 5). Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные очень хорошо подтверждают предложенную схему уровней. Мультипольности, определенные для большинства перехо-

$\chi^1/$ Энергии γ -лучей даны по результатам измерений в настоящей работе.

Т а б л и ц а 2
 Результаты изучения спектра конверсионных электронов ^{161}I

№ пп	$h\nu$ кэВ	Относительные интенсивности						Примечание
		K	L_I	L_{II}	L_{III}	K	N	
1	25,7	-	x	x	x	x	x	$L_I : L_{II} : L_{III} : M_{II+III} : N =$ $= 0,75:0,68:1:0,13:0,1$
2	43,9	-	120	64	совпадает с O_{LII}	-	-	
3	49,0	-	62	-	-	-	-	
4	59,2	-	40	-	-	-	-	
5	77,5	сложн.	208	600	585 ^{xxx}	370	57	K-77,5 лежит на $M_I-25,7$
6	98,1	совп.с O_{II}	xx	xx	xx	-	-	
7	103,0	205	40	6	7	-	-	
8	157,3	22	слаб.	-	-	-	-	
9	175,4	40	2,8	7,6	7,3	5,5	3	
10	210,8	10,4	-	-	-	-	-	
11	234,5	1,7	-	-	-	-	-	
12	239,7	сложн.	о.слаб.	-	-	-	-	
13	339,7	слаб.	-	-	-	-	-	
14	416,0	1,0	-	-	-	-	-	
15								

x/ Из-за малой энергии конверсионных линий перехода 25,7 кэВ нам не удалось связать интенсивность конверсионных линий этого перехода с интенсивностями других линий.

xx/ Мы не могли определить относительные интенсивности этих линий, так как они находятся на "хвосте" сильной L_{II} -линии 99,0.

xxx/ Интенсивность L_{II} - 77,5 принята за 585 единиц.

Т а б л и ц а 3
 Определение мультипольности γ -переходов при распаде No^{161}

№ пп	Энергия перехода (кэв)	Метод оп- ределения мульти- польности	Эксперимен- тальные значения	Теоретические значения						Заключение о мультипольно- сти
				E1	E2	E3	M1	M2	M3	
1	25,7	$L_1: L_{II}$ $L_{II}: L_{III}$	$0,75 \pm 0,15$ $0,67 \pm 0,13$	0,87 0,67	$0,0063$ $0,76$	$0,012$ $0,80$	$63,4$ $6,05$	$1,98$ $0,13$	$0,2$ $0,014$	E1 + M2 (< 3%)
2	43,9	$L_1: L_{II}$	$1,88 \pm 0,6$	2,0	$0,022$	$0,01$	7,5	11,5	11,0	E1 или M1(33%) + + E2(67%)
3	77,4	$L_1: L_{II}$ $L_{II}: L_{III}$	$0,36 \pm 0,15$ $1,00 \pm 0,2$	$3,71$ $0,78$	$0,091$ $0,91$	$0,014$ $1,63$	$11,5$ $6,07$	$9,58$ $0,41$	$6,32$ $0,11$	M1(55+15%) + + E2(45+15%)
4	98	$K_1: L_{II}$ $L_{II}: L_{III}$	$0,65$ $0,79$	$4,60$ $3,45$	$0,19$ $0,19$	$0,0196$ $0,029$	$11,6$ $69,0$	$8,65$ $0,56$	$6,05$ $1,02$	M1(52%) + + E2(48%)
5	103,1	$K: L_1$ $L_1: L_{II}$ $L_{II}: L_{III}$ $L_{II}: L_{III}$ a_k	$5,12 \pm 1,5$ $6,7 \pm 2,0$ $0,85 \pm 0,2$ $0,16 \pm 0,05$	$10,0$ $4,39$ $0,82$ $0,25$	$10,6$ $0,19$ $1,04$ $1,04$	$7,95$ $0,029$ $1,15$ $3,50$	$7,30$ $11,84$ $6,28$ $1,90$	$4,81$ $8,44$ $0,58$ $15,4$	$2,57$ $5,77$ $0,19$ $77,2$	E1
6	157,2	a_k	$0,13 \pm 0,06$	$0,081$	$0,33$	$1,21$	$0,60$	$3,5$	$16,5$	E1 + M2 (< 3%)
7		$K_1: L_{III}$ $L_1: L_{II}$ $L_{II}: L_{III}$	$5,47 \pm 1,5$ $0,37 \pm 0,10$ $1,04 \pm 0,2$	$56,4$ $6,15$ $1,0$	$5,58$ $0,43$ $1,18$	$1,42$ $0,80$ $1,43$	$55,8$ $14,6$ $5,15$	$51,2$ $7,16$ $1,01$	$8,12$ $4,24$ $0,32$	E2

лов схемы распада No^{161} (рис. 5), подтверждают предложенные квантовые характеристики уровней. В таблице 4 представлены результаты оценки интенсивностей γ -переходов при распаде No^{161} . При составлении этой таблицы использованы данные таблиц 1 и 2 об интенсивностях γ -лучей и конверсионных электронов. Для связи между единицами таблиц 1 и 2 использовано теоретическое значение a_k для перехода с энергией 175,4, равное 0,25. Интенсивности конверсионных линий и γ -лучей, которые не удалось измерить экспериментально и которые отсутствуют в таблицах 1 и 2, оценивались на основании сравнения с теоретическими коэффициентами конверсии для экспериментально определенных мультипольностей. Мультипольности переходов с энергиями 49,0 и 59,2 кэВ приняты типа M1 и E1, соответственно. Квантовые характеристики уровней делают это предположение наиболее вероятным. Интенсивность конверсионных линий γ -перехода с энергией 25,7 кэВ оценивалась по интенсивности γ -лучей с использованием теоретического значения a_k для перехода типа E1. Интенсивности конверсионных линий этого перехода, указанные в /1/, по-видимому, занижены в 10 раз.

Представленные в таблице 4 оценки интенсивностей γ -переходов не могут, конечно, претендовать на большую точность, так как точность определения относительных интенсивностей γ -лучей и конверсионных линий лежит в пределах 10 – 30%. Однако на основании этих данных можно оценить, как заселяются уровни Dy^{161} при распаде No^{161} . В основном (около 75%) распад идет на уровень 25,7 кэВ. На уровень 103,0 кэВ распад No^{161} происходит приблизительно в 21% случаев; на уровень 201,1 кэВ – в 3%. Уровень 74,7 кэВ заселяется менее чем в 0,3% случаев. Интенсивность впервые обнаруженных и неразмещенных в схеме распада γ -переходов с энергиями 210,8; 234,5; 239,7; 339,7; 416,0 и 760 кэВ очень мала (менее 1 – 2% на распад), и поэтому уровни, с которыми связаны эти переходы, заселяются слабо. Интенсивность $\text{K} - \chi$ -лучей (таблица 4) в пределах экспериментальных ошибок совпадает с интенсивностью $\text{K} - \chi$ -лучей, вычисленной по интенсивности электронного захвата на уровни с энергией 25,7; 103,0 и 201,1 кэВ по суммарной интенсивности K -конверсионных линий.

Однако недостаточная точность данных, приведенных в таблице 4, не позволяет получить надежное значение предела интенсивности электронного захвата на основной уровень Dy^{161} . По-видимому, более точные сведения о распаде в основное состояние можно получить, рассмотрев заселение уровня с энергией 43,9 кэВ. Из таблицы 4 видно, что распады на этот уровень не наблюдались. Верхний предел интенсивности распадов на уровень 43,9 кэВ равен 0,5% (в предположении, что переход 59,2 кэВ расположен где-то в другом месте и других переходов на этот уровень нет). Уровень с энергией 43,9 кэВ относится к ротационной полосе основного состояния $\text{Dy}^{161} (5/2^+ [642])$. Это показано при изучении распада Tb^{161} и при кулоновском возбуждении $\text{Dy}^{161}/3$.

Т а б л и ц а 4
Интенсивности γ -переходов при распаде No^{161}

Энергии γ -лучей (кэВ)	Относительные интенсивности $\chi/$			γ -переходы
	γ -лучи	к-конверсион- ные линии	К, L, M, N конверсион- ные линии	
к- χ - л у ч и	28000	-	-	
25,7	10500	-	23500	34000
43,9	40	-	120	160
49,0	25	-	65	90
59,2	400	-	40	440
77,5	950	3100	4900	5900
98,1	175	300	365	540
103,0	1240	200	275	1500
157,3	170	22	27	200
175,4	160	40	66	225
210	62	10		70
760	30	-	-	30

$\chi/$ интенсивности рассчитаны в единицах таблицы 2. Полное число распадов No^{161} , полученное из интенсивности к- χ -лучей, равное (30000 ± 7000) .

Относительные интенсивности переходов на уровни ротационной полосы обычно зависят только от спинов этих состояний (по правилу Алага). Поэтому можно ожидать, что предел интенсивности электронного захвата в основное состояние = 1,5% (отношение квадратов коэффициентов Клебша-Джордона равно 3,3). Таким образом, в соответствии с предсказаниями обобщенной модели ядра распад Ho^{161} , основное состояние которого характеризуется квантовыми числами $7/2^-/523/$, происходит почти полностью на уровни ротационной полосы состояния $5/2^-/523/$. Этот переход является разрешенным незадержанным переходом. Переходы в состояния $5/2^+/642/$ и $3/2^-/521/$ запрещены. Вероятность электронного захвата на эти уровни мала. Для определения значений $\lg ft$ на уровни Dy^{161} необходимо знать разность масс $\text{Ho}^{161} \rightarrow \text{Dy}^{161}$. Полученные экспериментальные данные позволяют оценить пределы этой величины. Разность масс, естественно, больше 760 кэв, так как мы наблюдаем γ -переход такой энергии. Как указано выше, мы не наблюдали аннигиляционного пика; его интенсивность менее 0,01% от интенсивности рентгеновского пика, т.е. менее 0,01% на распад. Следовательно, отношение интенсивностей K^- и β^+ -распада для разрешенного перехода на уровень 25,7 кэв типа $5/2^-/523/$ больше 9000. Сравнивая это значение с расчетными величинами для разрешенных переходов 171 , можно сказать, что разность масс не больше 1200 кэв. Таким образом, разность масс $\text{Ho}^{161} \rightarrow \text{Dy}^{161}$ больше 760 и меньше 1200 кэв. Оценки пределов значений вероятностей переходов на уровни Dy^{161} сделаны в таблице 5. Из таблицы видно, что оценки значений $\lg ft$ на уровни Dy^{161} совпадают со значениями, предсказываемыми обобщенной моделью ядра. Значение $\lg ft$ для распада на уровень 25,7 кэв Dy^{161} , как это и предсказывает теория В.Г. Соловьёва, совпадает со значениями $\lg ft$ для переходов такого же типа в других ядрах.

Отношение вероятностей электронного захвата на уровни ротационной полосы состояния $5/2^-/523/$ равно 3,1 : 1 : 0,25 для состояний со спинами 5/2, 7/2 и 9/2, соответственно. Это отношение в пределах ошибок эксперимента совпадает с теоретическим расчетом, вычисленным по правилу Алага и равным 3,3 : 1 : 0,13. Хорошее согласие с предсказаниями теории связано с тем, что эти переходы являются разрешенными незадержанными по асимптотическим квантовым числам.

Т а б л и ц а 5
Оценка пределов значений $\lg ft$ на уровни Dy^{161} при распаде Ho^{161} ($T_{1/2} = (8,9 \pm 0,2) \cdot 10^3$ сек.)

Энергия уровня Dy^{161}	Характер перехода	Пределы
0	1h	$\lg ft$ 6,7
25,7	au	4,6 < $\lg ft$ < 5,0
43,9	1h	$\lg ft$ 7,2
74,7	2u	$\lg ft$ 7,4
103,0	au	5,1 < $\lg ft$ < 5,5
201,1	au	5,7 < $\lg ft$ < 6,2

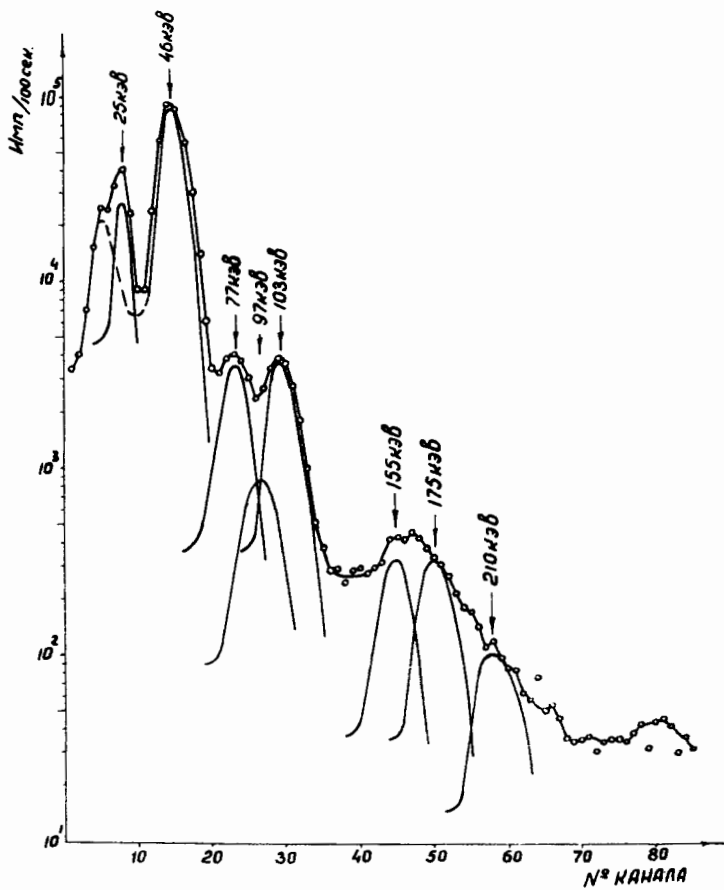
Обращает на себя внимание большой процент примеси E2 – компоненты (50%) к переходам с энергией 77,4 и 98,1 кэв между ротационными уровнями состояния $5/2^-/523/$. Обычно доля E2 в переходах между ротационными уровнями деформированных ядер составляет несколько процентов. Большая доля E2 наблюдается в переходах между уровнями ротационных полос состояния $5/2^-/523/$ в ядрах Du^{163} , Er^{163} , Er^{165} , $Yb^{167}/8/$. Это, по-видимому, связано с тем, что для состояния $5/2^-/523/$ гиромагнитные отношения g_R и g_R близки по величине. Так как вероятность M1 –перехода пропорциональна $(g_R - g_R)^2$, имеет место так называемый “случайный” запрет M1 – перехода, следовательно, доля E2 –компоненты соответственно увеличивается.

Обнаруженные в настоящей работе слабые γ –лучи с энергиями 210,8; 234,5; 239,7; 339,7; 416 и 760 кэв свидетельствуют о том, что при распаде Ho^{161} возбуждаются уровни, не указанные на схеме распада рис. 5. Что-либо о положении этих уровней сейчас сказать трудно.

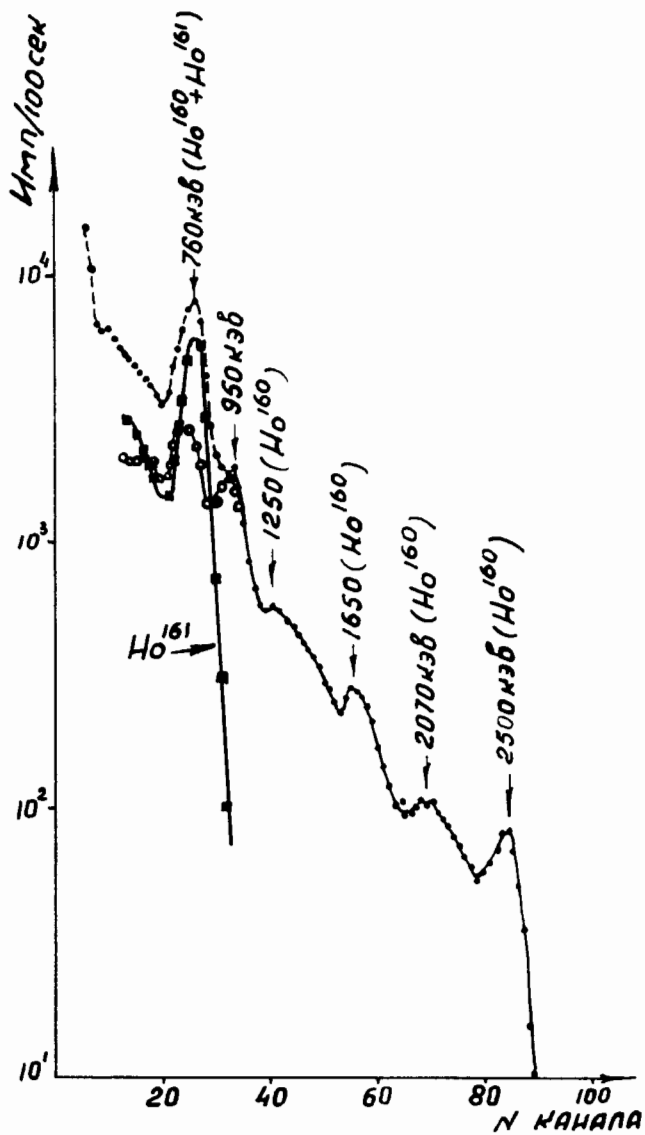
Л и т е р а т у р а

1. V.Harmatz, T.H.Handley, I.W.Michelich. Phys. Rev., 114, 1082 (1958).
2. И.С. Днепровский, Г.М. Колесов. Изв. АН СССР, (серия физ.), 22, 935 (1958).
3. А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов. Материалы совещания по ядерной спектроскопии, Рига, 1961 г. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1961.
4. B.Mottelson, S.O.Nielsson. Kgl. Dansk. Vidensk Selfk Mat. Fys. Medd., N1, 1959.
5. А.А. Абдуразаков, М.И. Абдуразакова, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Г.Я. Умаров. Изв. АН Узб. ССР, серия физ-мат. наук, № 3, 1961.
6. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, Ф. Абдуразакова, К.Я. Громов, Г. Умаров. Изв. АН Узб ССР, серия физ-мат. наук, № 1, 1962.
7. А.Х. Валстра и др. Таблицы по ядерной спектроскопии. М., Атомиздат, 1960.
8. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1963.

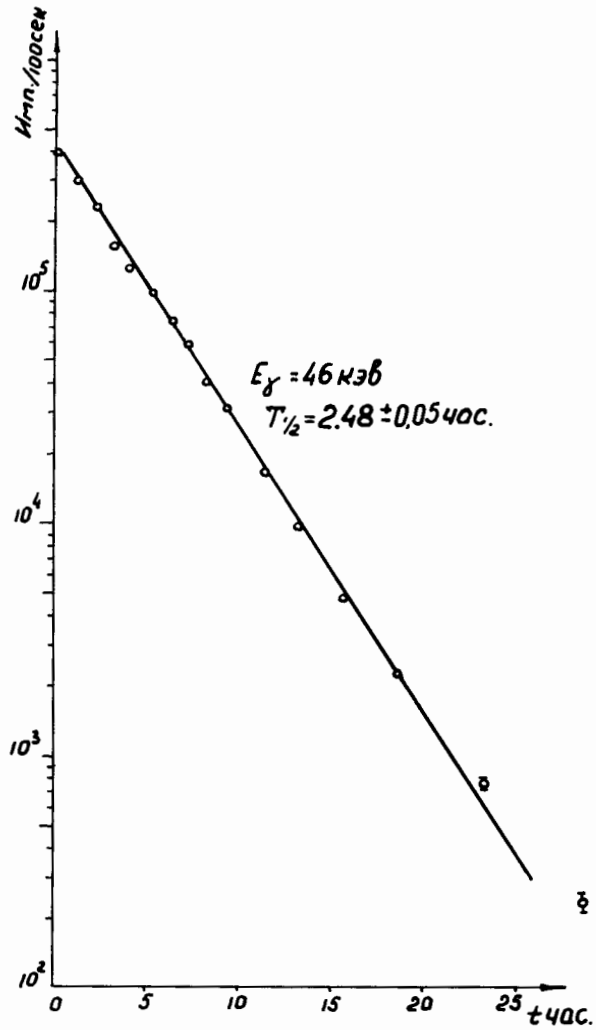
Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1964 г.



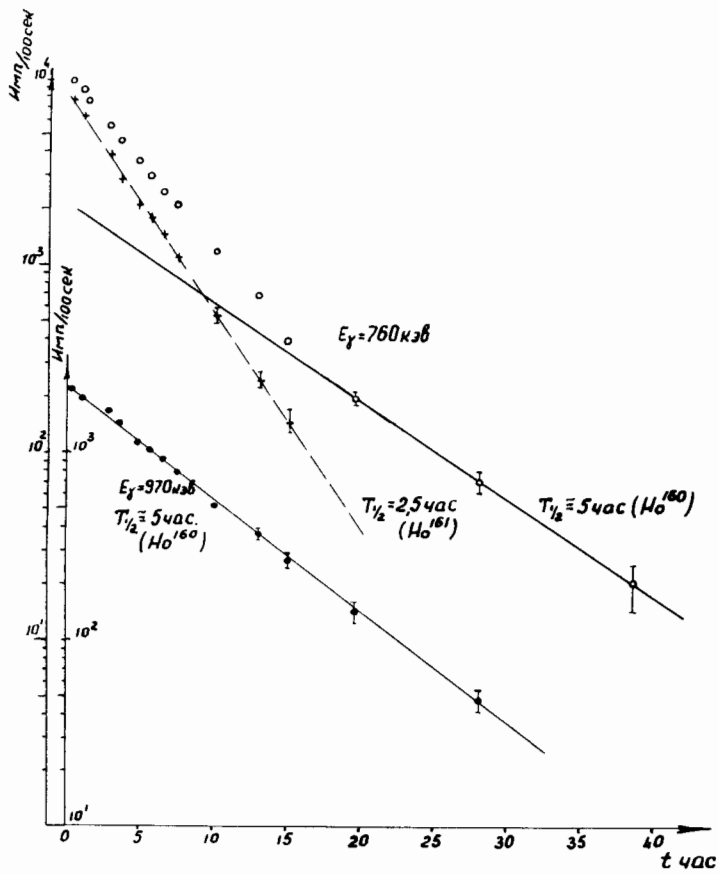
Р и с. 1. Спектр γ -лучей No^{161} в области энергий до 300 кэВ.



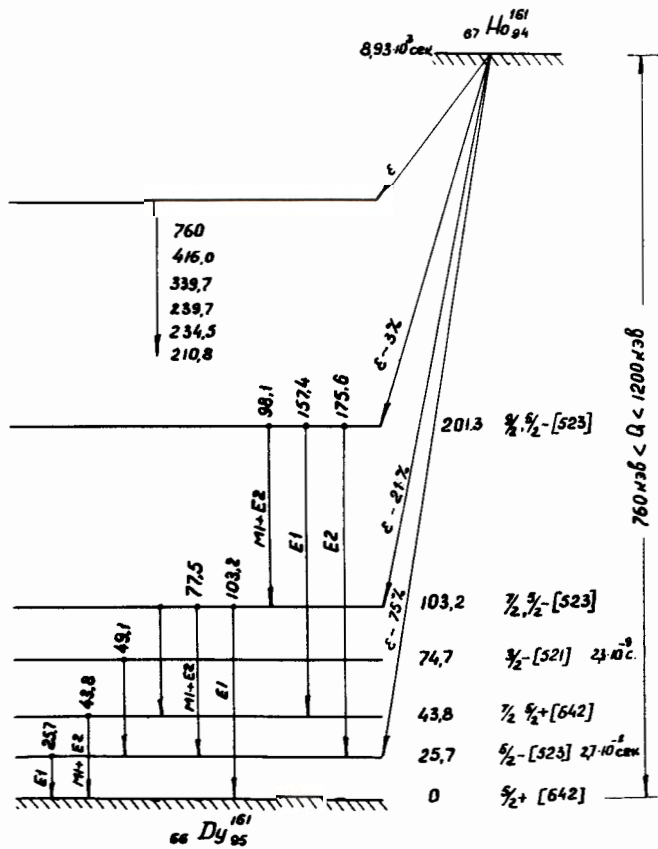
Р и с. 2. Спектр γ -лучей No^{161} в области энергий до 3000 кэв.



Р и с. 3. Определение периода полураспада Po^{210} по скорости спадания интенсивности К - α -лучей.



Р и с. 4. Определение периодов полураспада по скорости спадаения интенсивности γ -лучей с энергиями 760 и 970 кэв.



Р и с. 5. Схема распада Но ¹⁶¹.