

СЗ (04)

С-56

613



613

МАТЕРИАЛЫ  
ТРЕТЬЕГО СОВЕЩАНИЯ  
ПО НЕЙТРОДЕФИЦИТНЫМ ИЗОТОПАМ

т. 1. Тяжелые редкие земли.  
(от Gd до Lu )

Дубна 1960 год

МАТЕРИАЛЫ  
ТРЕТЬЕГО СОВЕЩАНИЯ  
ПО НЕЙТРОДЕФИЦИТНЫМ ИЗОТОПАМ

т. 1. Тяжелые редкие земли  
(от Gd до Lu)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## А Н Н О Т А Ц И Я

Материалы III-го совещания по нейтроно-дефицитным изотопам публикуются в двух томах. Последовательность в материалах сохранена та же, что в повестке дня совещания. В первом томе собраны материалы по тяжелым редким землям (от *Gd* до *Lu* ), во втором - материалы по легким редким землям, по другим нейтронодефицитным изотопам, по выходам, по химическим проблемам разделения фракции и работы, оформление которых задержалось. Обзорные доклады предполагается издать отдельно.

Оргкомитет

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие .....	5
В.Барановский, Г.Городинский. "Определение доли электронного захвата, непосредственно приводящего к основному состоянию при радиоактивном распаде ядра $^{173}\text{Lu}$ .....	173 7
З.Плайнер, Л.Малы, М.Вобецкы. "Радиоактивный распад $\text{Lu}^{171}$ и $\text{Lu}^{172}$ " .....	23
З.Плайнер, Л.Малы, М.Вобецкы. "Спектр конверсионных электронов $\text{Lu}^{169}$ и $\text{Lu}^{170}$ " .....	32
Б.Джелепов, В.Сергиенко. "О $e^- e^-$ -совпадениях при распаде $\text{Lu}^{171}$ " .....	40
Б.Джелепов, А.Медведев, И.Учеваткин, С.Шестопалова "Спектр конверсионных электронов $\text{Lu}^{170}$ в области энергии 1350-3200 Кэв" .....	46
А.Абдуразаков, Ф.Абдуразакова, К.Громов, Б.Джелепов, Г.Умаров. "Спектр конверсионных электронов лютециевой фракции" .....	54
Е.Божек, Х.Неводничанский, С.Огаза, С.Шимчак, Ю.Норсеев. "Энергетические уровни $\text{Er}^{168}$ " .....	65
Е.Григорьев, К.Громов, Б.Джелепов. "Конверсионные электроны $\text{Yb}^{166}$ " .....	83
Я.Жилич, Ю.Норсеев, З.Прейбиш, С.Хойнацкий, Е.Воловский. "Позитроны $\text{Tl}^{166}$ " .....	95
К.Громов, Б.Джелепов, Зыонг Чонг Бай, В.Халкин, В.Чумин. "Исследование спектра конверсионных электронов цепочки распадов $\text{Yb}^{164} \xrightarrow{75 \text{ мин}} \text{Tl}^{164} \xrightarrow{2 \text{ мин}} \text{Er}^{164}$ в области от 150 до 900 Кэв" .....	101
О.Волчек, Я.Жилич, З.Прейбиш, С.Хойнацкий, И.Ютландов. " $\beta^-$ -излучение $\text{Tl}^{172}$ " .....	106
В.Брабец, Б.Крацик, М.Вобецкы. "Изучение радиоактивного распада $\text{Tl}^{168}$ " .....	112
Э.Кудряшов, Г.Новиков, И.Рогачев. "Определение периодов полураспада $\text{Tl}^{187}$ и $\text{Tl}^{168}$ " .....	118

К. Громов, Б. Джелепов, А. Дмитриев, М. Никитин, К. Яковлев. "О схеме распада $Tu^{167}$ " . . . . .	124
С. Хойнацкий, А. Ясинский, В. Куш, Я. Ковнацкий, Г. Ланцман, И. Ютландов. "Гамма-спектр $Tu^{167}$ " . . . . .	131
Б. Джелепов, И. Рогачев. "О распаде $Tu^{167}$ " . . . . .	135
Б. Далхсурен, Л. Гвоздева, М. Кузнецова, И. Левенберг, Ю. Норсеев, В. Покровский, И. Ютландов. "Некоторые замечания о цепочках распадов $Tu^{163} \xrightarrow{2\text{ часа}} E\gamma^{163} \xrightarrow{75\text{ м}} Ho^{163} \xrightarrow{?} Dy^{163}$ и $Tu^{161} \xrightarrow{37\text{ м}} E\gamma^{161} \xrightarrow{35\text{ з}} Ho^{161} \xrightarrow{2,5\text{ з}} Dy^{161}$ " . . . . .	143
А. Абдуразаков, К. Громов, Б. Джелепов, В. Халкин. "Конверсионные электроны эрбиевой фракции в интервале энергии от 20 до 90 Кэв". . . . .	149
Н. Бонч-Осмоловская, Б. Джелепов, О. Крафт, Чжоу Юе-ва. "О позитронных спектрах нейтроно-дефицитных изотопов гольмия, тербия и гадолиния" . . . . .	162
Е. Григорьев, Б. Джелепов, В. Звольска, А. Золотавин. "О распаде $Ho^{160}$ " . . . . .	176
Б. Джелепов, И. Звольский, М. Никитин, В. Сергиенко. "Совпадения конверсионных электронов при распаде $Ho^{160} \rightarrow Dy^{160}$ " . . . . .	187
А. Басина, К. Громов, Б. Джелепов. "Спектр конверсионных электронов гольмиевой фракции" . . . . .	197
Е. Григорьев, Б. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский, И. Адам, В. Халкин. "О спектре конверсионных электронов диспрозиевой фракции" . . . . .	209
А. Абдуразаков, К. Громов. "Спектр конверсионных электронов тербиевой фракции" . . . . .	215
Я. Франа, И. Ржезанка, М. Вобецки, В. Гушак. "Нейтроно-дефицитные изотопы тербия с периодом полураспада 18 часов" . . . . .	220
Б. Джелепов, А. Феоктистов. "Спектр конверсионных электронов $Gd^{149}$ в области от 300 до 1000 Кэв". . . . .	224

ПРЕДИСЛОВИЕ

Третье совещание по ядерной спектроскопии нейтроно-дефицитных изотопов происходило в Дубне с 20 по 26 июня 1960 г. На совещании обсуждались работы, выполненные за год, прошедший со времени второго совещания.

Всего было представлено на обсуждение 66 докладов, из них к настоящему времени вышли в периодической печати, напечатаны или печатаются в виде препринтов следующие:

1. А. Абдуразаков, К. Громов, Б. Далхсурен, Б. Желепов, И. Левенберг, А. Мурин, Д. Норсеев, В. Покровский, В. Чумин, И. Отландов " Цепочка распада  $U_{64}^{164} \rightarrow Th_{164}^{164} \rightarrow Er_{164}^{164}$  " препринт ОИЯИ Р-493 (1960).

2. В. Баранов, К. Громов, Б. Желепов, Зьонг Чонг Бай, Т. Малышева, Б. Хотин, В. Чумин " Новые изотопы  $Jr$  и  $Pt$  " Препринт ОИЯИ Р-493 (1960).

3. А. Басина, К. Громов, Б. Желепов " Спектр конверсионных электронов диспрозиевой фракции". ОИЯИ Р-595 (1960).

4. Е. Григорьев, К. Громов, Б. Желепов, В. Звольска, А. Золотавин, М. Вейс, Ван Юн Юй "Распад двухчасового изотопа  $Lu^{168}$ " Препринт ОИЯИ 596 (1960).

5. Б. Желепов, Зьонг Чонг Бай, В. Халкин, В. Чумин, Чжоу Де-ва "Позитронный спектр радиоактивной цепочки  $Sm^{142} \rightarrow Pm^{142} \rightarrow Nd^{142}$  " Препринт ОИЯИ 596 (1960).

6. Н. Бонч-Осмоловская, Ван Юн-йи, Б. Джелепов, О. Крафт  
 "О цепочках распадов  $Er^{158} \xrightarrow{2,5 \text{ ч.}} Ho^{158} \xrightarrow{27 \text{ м}}$

$Pu^{158}$  " Препринт ОИЯИ 596 (1960).

7. А. Абдуразаков, К. Громов, Б. Джелепов, Г. Умаров  
 "Спектр конверсионных электронов диспрозиевой фракции"

Препринт ОИЯИ Р-595 (1960).

8. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева.

"Исследование позитронных спектров  $Eu^{145} \rightarrow Eu^{146}$  ".

9. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева.

"Исследование спектра конверсионных электронов  $Eu^{146}$  ".

10. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева, Р. Степич.

"Исследование конверсионных электронов  $Eu^{148}$  и  $Eu^{149}$  ".

11. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева.

" Исследование позитронного спектра тербиевой фракции"

12. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева, Р. Степич.

"Исследование  $\beta^-$ -спектра и конверсионных электронов

$Tu^{168}$  ".

13. Б. С. Джелепов, Ж. Т. Желев, А. В. Кудрявцева, О. В. Ларионов,

М. К. Никитин " Исследование  $\beta^-$ -спектра тулиевой фракции"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАХВАТА, НЕПОСРЕДСТВЕННО  
 ПРИВОДЯЩЕГО К ОСНОВНОМУ СОСТОЯНИЮ  $^{173}\text{Lu}$  ПРИ РАДИО-  
 АКТИВНОМ РАСПАДЕ ЯДРА  $^{173}\text{Lu}$

В.И. Барановский, Г.М. Городинский

Настоящая работа имеет целью :

а/ Показать возможность непосредственного определения доли электронных захватов на основной уровень при использовании экспериментальной и расчетной методики, развитой авторами в предыдущих работах (1,2).

б/ Измерить долю электронных захватов на основной уровень  $^{173}\text{Lu}$  при распаде ядра  $^{173}\text{Lu}$ .

в/ Повторно определить период полураспада  $^{173}\text{Lu}$  на 4п-сцинтилляционном счетчике.

Для изучения доли распадов  $^{173}\text{Lu}$ , непосредственно приводящих к основному уровню, нами был использован 4п-сцинтилляционный счетчик с одноканальным  $\gamma$ -спектрометром, описанный в /3/. В работе /1,2/ нами был разработан метод учета совпадений поглощения рентгеновского и  $\gamma$ -излучения внутри кристалла, что дает возможность определить коэффициент счетности для разных изотопов -  $\xi$ .

Было показано, что

$$\xi = 1 - \sum_{ie} N_{ie} (1 - w_k w_{k_i}) \prod_m (1 - w_{iem}),$$

где  $\xi = \frac{N_{зар}}{N_0}$  отношение числа зарегистрированных импульсов к числу актов распада ;



$N_{ie}$  - число актов распада, происходящих через  $ie$ -тый канал /см. /1,2/ .

$W_K$  - выход флюоресценции для К-оболочки дочернего ядра.

$W_{K_i}$  - доля К-захватов при переходе на  $i$ -ый уровень.

$W_{ilm}$  - вероятности регистрации излучения от  $ilm$ -того перехода :

$$W_{ilm} = \frac{W_K \alpha_{Kilm} + P_{\gamma ilm}}{1 + \alpha_{ilm}} \quad /2/$$

$\alpha_{Kilm}$  - коэффициент внутренней конверсии на К-оболочке,

$\alpha_{ilm}$  - полный к.в.к.,  $P_{\gamma}$  - вероятность регистрации

$\gamma$  - кванта для  $ilm$ -ого перехода/.

В /1,2/ величина  $W_{K_i}$  была вынесена за знак суммы, что не вполне справедливо, т.к.  $W_{K_i}$  может изменяться в зависимости от энергии распада на данный уровень.

При определении величины  $\xi$  зависимость  $W_{K_i}$  от энергии распада и степени запрещения перехода можно пренебречь, но при определении доли переходов на основное состояние эту зависимость желательно учитывать.

Если доля распадов на основной уровень неизвестна и равна

$x$ , то :

$$\xi = 1 - x(1 - W_K W_{K_0}) - (1 - x) \sum_{ie, i \neq 0} \frac{N_{ie}}{m} (1 - W_K W_{K_i}) \pi (1 - W_{ilm}) \quad /3/ ,$$

где  $\sum_{ie} N_{ie}$  /  $i \neq 0$  / должна быть нормирована к единице.

Существенно то, что при распаде непосредственно на основной уровень единственным видом излучения, регистрируемым прибором, будет К-рентгеновское излучение. В то же время при

распаде через возбужденные уровни рентгеновское излучение, возникающее от К-захвата, в значительной степени / зависящей от конкретной схемы распада / совпадает с другими видами излучений, сопровождающими данный акт распада / в том числе и с рентгеновским излучением, возникающим, например, при конверсии другого  $\gamma$  - перехода/.

В этом случае К-рентгеновское излучение уводится из рентгеновского фотопика ; последний легко выделить, сняв  $\gamma$  -спектр препарата, помещенного в центре кристалла.

Число же рентгеновских К-квантов, не совпадающих с другими видами излучения, можно вычислить тем же способом, который применен в /1,2/. Мы сохраним прежние обозначения.

Рассмотрим  $m'$  -ый переход  $il$  -ого канала. Вероятность того, что рентгеновское излучение, сопровождающее этот переход, не совпадает ни с  $\gamma$  -, ни с рентгеновскими квантами, возникающими при распаде через данный канал, равна :

$$W_{ilm'}^K \prod_{m \neq m'} (1 - W_{ilm}), \quad /5/$$

где  $W_{ilm}^K$  - полная вероятность регистрации К-излучения от  $m'$  -ого перехода ;  $W_{ilm}^K = \frac{W_K a_{Kilm'}}{1 + a_{ilm'}}$  ; для рентгеновского излучения от захвата К-электрона  $W_{ilm}^K = W_K W_{Ki}$  ;

$W_{ilm}$  -имеет прежний смысл.

Полную вероятность  $\xi_K$  регистрации рентгеновского излучения в рентгеновском фотопике мы получили, просуммировав вероятности по всем  $m'$  данного канала и далее по всем каналам с учетом их вклада :

$$\xi_K = \frac{N_{K \text{ зап}}}{N_0} = \sum_{i, l, m'} N_{il} W_{ilm}^K \prod_{m \neq m'} (1 - W_{ilm}),$$

или более подробно :

$$\xi = W_K W_{K_0} x + (1+x) \sum_{i \in L} N_{iL} [(1 - W_K W_{K_i}) \sum_{m'} \left( \frac{W_K \cdot d_{K i L m}}{1 + d_{i L m}} \right) x + \prod_{m \neq m'} (1 - W_{i L m}) + W_K W_{K_i} \prod_m (1 - W_{i L m})], \quad /6/$$

где  $N_{K \text{зар}}$  - число импульсов зарегистрированных в рентгеновском фотопике.

$x$  - по-прежнему доля распадов на нижний уровень.

Таким образом,  $\xi$  и  $\xi_K$  являются линейными функциями от  $x$  вида  $a + bx$ , причем коэффициенты "а" и "в" могут быть рассчитаны, если известны элементы схемы распада данного изотопа.

Легко видеть, что :

$$\frac{N_{K \text{зар}}}{N_{\text{зар}}} = \frac{\xi_K}{\xi} = \frac{a + bx}{a' + b'x}$$

и если вычислены коэффициенты в правой части равенства /7/, то, определив экспериментально отношение  $\frac{N_{K \text{зар}}}{N_{\text{зар}}}$ , тем самым можно определить и долю распадов на основной уровень дочернего ядра.

Расчет величин  $\xi$  и  $\xi_K$  производился по формулам /1/ и /6/ ; значения параметров, принятых при расчете, приведены в табл. I . Они , так же как и схема распада, заимствованы из обзора К.Я. Громова и Б.С. Джелепова /4/. Величины  $P_\gamma$  рассчитаны по данным работы /1/ для кристалла  $\text{CsI}$  размером  $40 \times 40 \text{ мм}^2$ , в котором и производились измерения.

Особо следует сказать о величинах  $W_{K_i}$  - долях К-захвата при распаде на  $i$ -ый уровень. Эти величины рассчитаны по данным работ /5,6/. Некоторую неопределенность создает незнание величины  $E_0$  - полной энергии распада  $\text{Lu}^{173}$ .

Эта неопределенность в величинах  $W_{K_i}$  составляет около 1 % для всех уровней, кроме последнего ; для него  $W_{K_4}$  меняется от 0 до 0,84 в зависимости от принятого значения  $E_0$ , поэтому для  $W_{K_4}$  принято значение  $0.4 \pm 0.4$ , что создает сравнительно небольшую неопределенность при вычислениях  $\xi$  и  $\xi_K$  вследствие малого числа распадов через уровень 637 Кэв /3%/. \*)

Рассчитанные значения  $W_{K_i}$  относятся к разрешенным переходам ; для переходов I-го и 2-го запрещения / которые могут присутствовать если спин  $Lu^{173}$  9/2- или 7/2+ / значения  $W_{K_i}$  практически / в пределах 1 процента/ совпадают с  $W_{K_i}$  для разрешенных переходов /5,8/. Исключение опять составляет уровень 637 ; однако, эта неопределенность входит в указанную выше для  $W_{K_4}$ .

Рассчитанные по формулам /I/ и /6/ величины  $\xi$  и  $\xi_K$  равны :

$$\xi_K = 0.795x + /0.1905 \pm 0.0003/ / I-x / /8/$$

$$\xi = 1-0.205x - /1-x / / 0.0343 \pm 0.005 / , /9/$$

или

$$\xi = 0.1905 + 0.605x \quad /10/$$

$$\xi = 0.966 - 0.171x . \quad /11/ .$$

Для измерений использовались два препарата ; один короткого облучения, выдержанный в течение года после облучения . В течение этого года снималась кривая его распада / см.рис.I/. На этом же рисунке изображена кривая распада другого препарата, аналогичного происхождения / Lu II/. Период полураспада для обоих препаратов равен  $440 \pm 40$  дня, никаких других периодов, кроме периода 8 дней / Lu <sup>171, 172</sup> /, не обнаружено.

\*) В работе /7/ , с которой авторы познакомились после проведения указанных расчетов, определена энергия перехода  $E_0=730$ Кэв

Второй препарат - длительного облучения, выдержанный в течение 6 месяцев, перед измерениями был хроматографически очищен от возможных загрязнений иттербием.

В препаратах, приготовленных описанным выше образом, в принципе, помимо  $Lu^{I73}$ , мог присутствовать изотоп  $Lu^{I74}$  с  $T_{1/2} \sim 150$  дней.

Значение выхода  $Lu^{I74}$ , рассчитанное согласно данным доклада Мурина и др. /9/, составляет менее 3% от выхода  $Lu^{I73}$ . Это согласуется с тем, что нами не было обнаружено заметной примеси посторонней активности ни в спектре наших препаратов, ни на кривой распада лутециевой фракции, которую можно было бы приписать  $Lu^{I74}$ . Последний изотоп распадается, по имеющимся данным, в основном путем К-захвата непосредственно на нижний уровень  $Yb^{I74}$  /4/.

Если бы он присутствовал в заметных количествах, это привело бы к завышению экспериментально определенного отношения  $\frac{N_{K\text{ зар}}}{N_{\text{ зар}}}$  по сравнению с истинным отношением для  $Lu^{I73}$ . Следует заметить, что за время около года  $Lu^{I74}$  заметно распадался бы по сравнению с  $Lu^{I73}$ , т.е. его относительная активность в препарате уменьшалась бы.

Измерения проводились в кристалле  $CsJ(Te)$  40 x 40 мм. Предварительно снимался спектр  $Lu^{I73}$  в этом кристалле /рис.2/. Измерялись активности препарата при значениях порога, соответствующих линиям А и В на рисунке 2. Значения этих активностей обозначены  $N_A$  и  $N_B$ . При этом  $N_A = N_{\text{зар}}$ ,

$N_A - N_B \approx N_{K_{зар}}$ , однако, в последнем случае надо ввести поправку, учитывая, что область спектра между А и В включает в себя также комптон-фон от более жестких линий и, возможно, часть фотопика линии 100 Кэв. Рассмотрение спектров  $Lu^{173}$ , снятых в 4п-счетчике показывает, что

$$N_{K_{зар}} = (N_A - N_B) \cdot 0.85 \pm 0.08 /$$

Для каждого из препаратов была проведена серия измерений на протяжении 2-4 месяцев и вычислены средние отношения  $\frac{N_{K_{зар}}}{N_{зар}}$ , которые для обоих препаратов равны  $0.25 \pm 0.02$  /приведенная ошибка отражает неопределенность при разложении  $\gamma$ -спектра  $Lu^{173}$ , см. выше /, снятого в 4п-счетчике.

На основании выражений /I0/ и /II/ нами была построена расчетная кривая, выражающая зависимость отношения  $\frac{N_{K_{зар}}}{N_{зар}}$  от  $x$  /рис.4/. На этом же рисунке нанесена экспериментально полученная величина  $\frac{N_{K_{зар}}}{N_{зар}}$ ; видно, что ей соответствует  $= 0.08 \pm 0.03$ .

Т.о., доля переходов на основной уровень  $U_6^{173}$  при распаде  $Lu^{173}$  составляет  $8 \pm 3\%$ .

При этом надо учитывать, что величина  $f$  весьма слабо зависит / как это было показано в /I// от различных вариаций величин, входящих в формулу /I/. Поэтому при малых значениях  $x$  основную роль при оценке отношения  $\frac{N_{K_{зар}}}{N_{зар}}$  играет коэффициент при / I-  $x$  / в выражении для  $f_K$  /формула 5/.

I. Если принять  $N_H = 0.48 / 7$ , IO / , то при этом значение  $f_K$  несколько уменьшится, по сравнению со значением  $f_K$ , рассчитанным для  $N_H = 0.54$ .

2. В наших расчетах принято, что  $P_K = 1$ . На самом деле, видимо,  $P_K$  несколько меньше единицы / по-видимому,  $P_K = 0.96 + 0.98/$ . Учет этого опять-таки приводит к снижению значения  $\xi_K$  по сравнению с вычисленным нами / однако, это уменьшение пренебрежимо мало/.

3. Неучет возможности регистрации электронов внутренней конверсии. Их учет также снизит величину  $\xi_K$ , т.к. рентгеновские кванты будут уводиться из рентгеновского фотопика вследствие совпадений со "своими" конверсионными электронами.

Расчет показал, что для случая, когда могут регистрироваться в кристалле электроны с энергией, большей 30-40 Кэв

$$\frac{\xi_K}{\xi} = \frac{0.148 + 0.647x}{0.97 - 0.171x}$$

для  $x = 0.08$   $\frac{\xi_K}{\xi} = 0.21$ .

Была сделана попытка проверить это экспериментально. При обычных измерениях препараты были обернуты несколькими слоями фольги толщиной  $\sim 3 \text{ мг/см}^2$ , что обеспечивало поглощение всех мягких конверсионных электронов и не препятствовало прохождению X-лучей. Один из препаратов был измерен без этой упаковки, так что конверсионные электроны могли регистрироваться кристаллом. В этих случаях на  $\gamma$ -спектре было замечено уменьшение рентгеновского пика и относительное увеличение фотопика линии  $\sim 100 \text{ Кэв}$ . Измерения дали значение  $\frac{N_{K, \text{зар}}}{N_{\text{зар}}} = 0.212 \pm 0.02$ , что совпадает с приведенным выше значением  $\xi_K/\xi = 0.21$ .

Однако, утверждения о точном количественном совпадении расчетов с экспериментом в случае влияния электронов были бы, пожалуй, слишком смелыми.

4. Если принять значения  $d_K$  и  $d_L$  для перехода 78,7, полученные Ричардом и др. /7/ /  $d_K = 4,8 \pm 0,5$ ;  $d_L = 0,93$ , то, как можно сосчитать, величины  $W_{icm}$  и  $W_{icm}^K$  для этого перехода останутся теми же, что и принятые нами. Таким образом, это не скажется на величине  $F_K$ .

5. По данным Ричарда и др. /7/ энергия распада  $Lu^{173}$  меньше или равна 730 Кэв, а доля захватов на уровень 637 Кэв составляет меньше, чем 10% полного числа захватов на этот уровень. Учет этого опять - таки приведет к некоторому / однако, чрезвычайно малому, порядка 0,2% / снижению величины  $\xi_K$  по сравнению с вычисленной нами.

Т.о., учет возможных ошибок приводит к тому, что рассчитанное нами значение отношения  $\frac{\xi_K}{F}$  несколько завышено по сравнению с действительным положением вещей. Отсюда следует, что значение величины  $x$  скорее занижено нами, чем завышено, по сравнению с истинной картиной. Поэтому при анализе схемы распада следует, согласно данным настоящей работы, считать, что число К-захватов на основное состояние  $Yb^{173}$  составляет  $8 \pm 3\%$  или несколько больше.

Это не противоречит экспериментальным данным, полученным в совокупности предыдущих работ по  $Lu^{173}$  /см. обзор (4)



и работу (7)%. В цитированных работах доля распадов на основной уровень непосредственно не определялась, а вычислялась как разность между полной экспериментально измеренной интенсивностью  $x_K$  - лучей, обусловленной переходами на все возбужденные состояния/ с учетом  $x_K$  -лучей от конверсии всех переходов /. В /7/ эта разность имеет отрицательное значение и составляет 7% от полной интенсивности рентгеновского K-излучения. Несмотря на это, авторы /7/ считают, что погрешность измерений не исключает возможного существования 25% переходов на основной уровень.

В обзоре /4/ и работе /II/ поток переходов на основной уровень превышает интенсивность  $x_K$  -лучей, обусловленных захватом, приблизительно на 30%.

В /4/ выдвинуто предположение, что Дильман и др./II/ занизили интенсивность рентгеновских лучей. Мы полностью поддерживаем такое допущение. Занижение интенсивности лучей, по-видимому, происходит, главным образом, из-за несовершенства регистрирующей радиотехнической аппаратуры в  $\gamma$  -спектрометре.

Опыт работы с  $\gamma$  - спектрометрами различных систем показал, что при регистрации интенсивного рентгеновского излучения на фоне достаточно интенсивных более жестких  $\gamma$  -лучей всегда происходит изменение ширины каналов в мягкой части спектра. Это приводит к занижению интенсивности  $x_K$  - лучей / сужение каналов/.

На рис. I в скобках приведены новые значения переходов на различные уровни, вычисленные с учетом результатов настоящей работы и работы /4/.

Наличие заметной интенсивности перехода на основное состояние требует пересмотра оценки значения спина  $Lu^{I73}$ . Поскольку вероятности распада  $Lu^{I73}$  на три уровня  $\frac{5}{2}$ ;  $\frac{7}{2}$  и  $\frac{9}{2}$  отличаются друг от друга в пределах одного порядка величины /8% ; 50% ; 18% ; соответственно /, естественно, из двух возможных по Нильсену значений спина  $Lu^{I73}$  :  $\frac{9}{2} - \frac{7}{2} +$  выбрать  $\frac{7}{2} +$ . Такой выбор устраняет две трудности, отмеченные в работе /4/.

1. Переход  $\frac{7^+}{2} \rightarrow \frac{5^-}{2}$  ;  $\frac{7^+}{2} \rightarrow \frac{7^-}{2}$  ;  $\frac{7^+}{2} \rightarrow \frac{9^-}{2}$  должен быть запрещен / изменение четности/.

Поэтому большие значения  $lg ft$  для этих переходов /  $> 8,9$  ;  $8,4$  ;  $8,4$  по работе /7// находят естественное объяснение.

2. При распаде  $Lu^{I73}$  из основного состояния /  $\frac{7}{2} +$  / не реализуется третий возбужденный уровень со спином /  $\frac{II}{2} -$  /, поскольку вероятность "уникального" перехода мала.

Для проверки наших результатов следует провести исследование препарата  $Lu^{I73}$ , выделенного из  $Hf$ .

Авторы выражают благодарность О.М. Лиловой за помощь в химической очистке препаратов и К. Шевелеву за проведение ряда измерений. Мы также признательны А.Н. Мурину за поддержку работы.

Л и т е р а т у р а

1. В.И.Барановский и Г.М.Городинский. Изв. АН СССР, сер.физ, т. XXIV, № 3, 313 / 1960 /.
2. В.И.Барановский, Г.М.Городинский. ЦИТЭИ. Передовой научно-технический и производственный опыт. Приборы для исследования внутриатомных процессов. Выпуск 4, тема 36, № П-60-37/4. Москва / 1960 /.
3. Г.М.Городинский, В.А. Кочеванов. ПТЭ, № 4, 81 /1959/.
4. К.Громов, Б.Джелепов, Материалы второго совещания по нейтроно-дефицитным изотопам редких земель. I Лютециевая фракция. ОИЯИ ЛЯП. Дубна, июнь 1959 г., стр.5.
5. И.М.Банд, Л.Н.Зырянова, Ю.П.Суслов. Изв. АН СССР, сер.физ. т. XXII, № 8, 952, /1958/.
6. И.М.Банд, Л.Н.Зырянова и Цин Чен-хуй. Изв. АН СССР, сер.физ. и. XX, № 12, 1387 /1956/.
7. J.W. Richard, J.W. Mihelich, B. Harnatz, Phys.Rev. 116, N 3, 720 (1959).
8. M.E. Rose, H. Brysk, Rev.Mod.Phys., 30, 1169 (1958).
9. А.Н.Мурин, В.И.Барановский и Б.К.Преображенский. Доклад на 3-м совещании по нейтроно-дефицитным изотопам редких земель в Дубне / ОИЯИ/.
10. Г.М.Городинский, А.Н.Мурин. В.Н.Покровский и Б.К.Преображенский. Изв.АН СССР, сер.физ. т. XXII, № 7, 818 /1958/.
11. L. Dillman, R. Henry, N. Gove, R. Becker, Phys.Rev. 113, 635 (1959).

Таблица I

$i$	$W_{Ki}$	$e$	$m$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$d_{Kilcm}$	$d_{ilm}$	$P_{\gamma}$	$1-W_{ilm}$	$W_{ilm}^K$	
1.	$0.852^{\pm}$ $\pm 0.008$	I	I	78,7	5,52	6,9	I	0.22	0.65	
2.	$0.847^{\pm}$ $\pm 0.010$	I	I	78,7	5,52	6,9	I	0.22	0.65	
			2	100,7	1.78	2.25	I	0.185	0.51	
3.	$0.837^{\pm}$ $\pm 0.015$	I	2	179,5	0.22	0.39	I	0.135	0.147	
			I	I	78,7	5,52	6.9	I	0.22	0.65
				2	100,7	1.78	2.25	I	0.185	0.51
				3	171,4	0.081	0.10	I	0.025	0.068
			2	I	78,7	5,52	6,9	I	0.22	0.65
2	272,5	0,025	0.030	0.872	0.132	0.022				
3	I	351,2	0,01	0.01	0.774	0.225	0,01			
4.	$0.4^{\pm}$ $\pm 0.4.$	I	I	636,8	0	0	0.55	0.45	0	
			2	I	78,7	5,52	6,9	I	0.22	0,65
		2	2	558,1	0.015	0.015	0.59	0.595	0.014	

$$W_K = 0.93$$

$N_{ie}$	$N_{0I}$	$N_{II}$	$N_{2I}$	$N_{22}$	$N_{3I}$	$N_{32}$	$N_{33}$	$N_{4I}$	$N_{42}$
Принятое при расчёте	$x$	0.54	0.18	0.016	0.037	0.19	0.007	0.02	0.01
Исправленная с учетом наших данных	0.08	0.50	0.166	0.015	0.034	0.175	0.0064	0.018	0.009

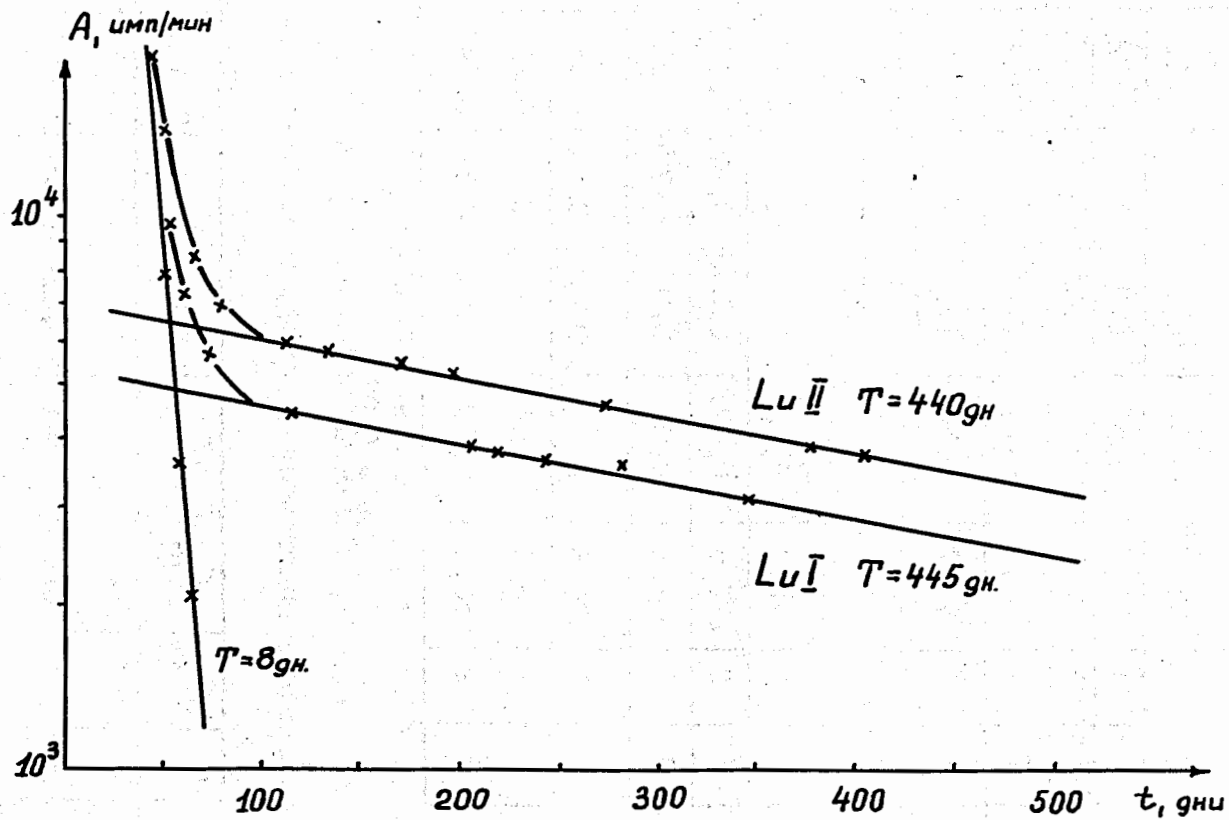


Рис. I. К определению периода полураспада  $Lu^{173}$  по измерению в 4п-сцинтилляционном счетчике.

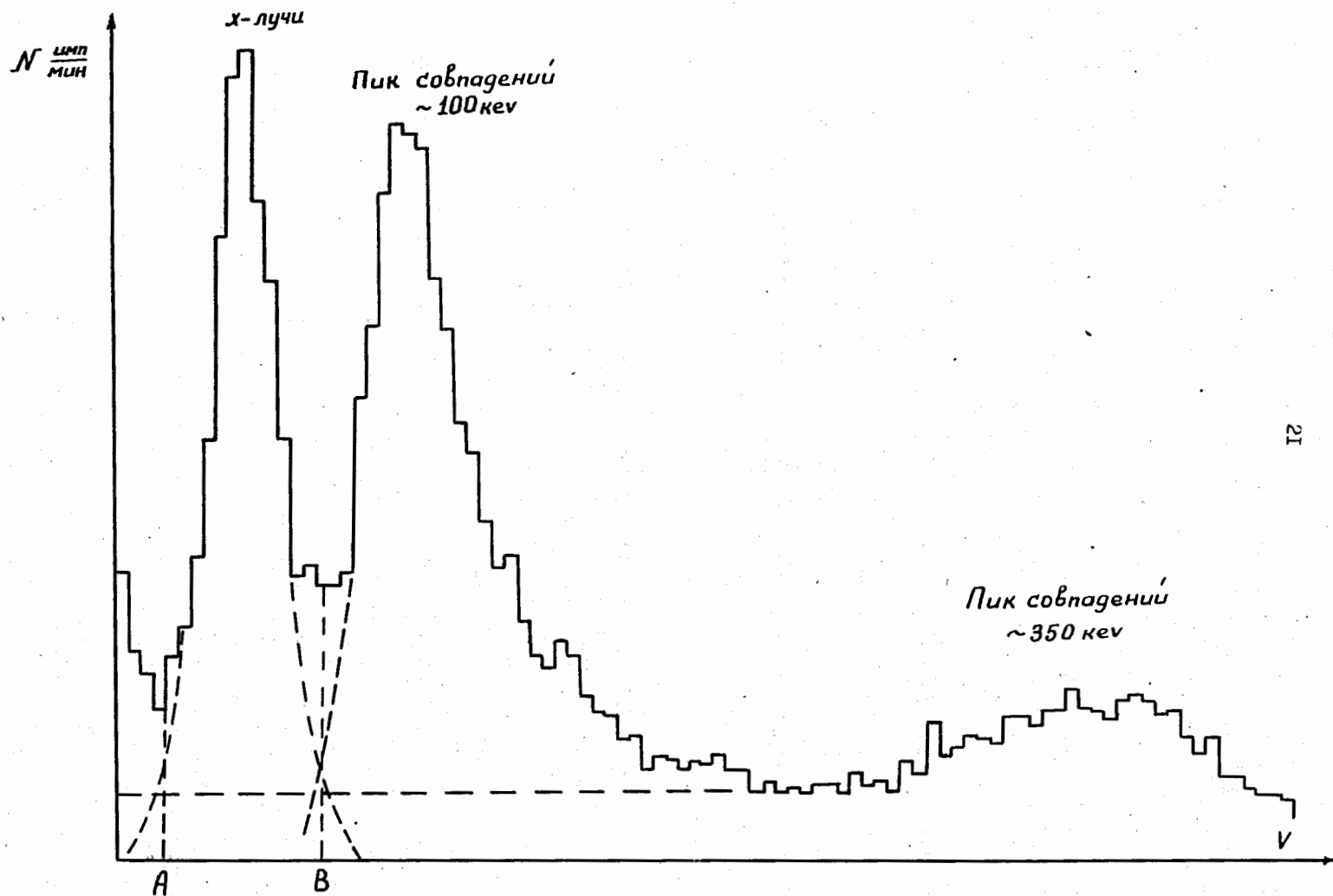


Рис. 2. Спектр  $Lu^{173}$ , полученный при помещении препарата  
 в центре кристалла  $GsJ(Te)$  размерами  $40 \times 40 \text{ мм}^2$ .

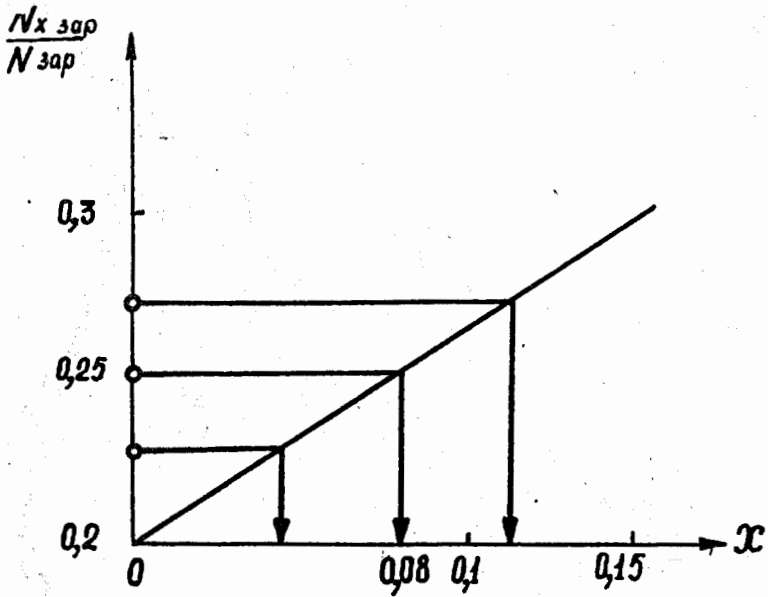


Рис. 3. К определению процента перехода на основной уровень  $y_6^{173}$ .

РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД ИЗОТОПОВ  $Lu^{171}$  и  $Lu^{172}$ 

З.Плайнер, Л.Малы, М.Вобецкы

Подробный перечень работ по распаду  $Lu^{171}$  и  $Lu^{172}$  до половины 1959 г. приведен в обзорном докладе I. Позднее были опубликованы работы /2, 5, 6, 7/.

Мишень из металлического тантала была облучена протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне в течение 4 часов.

Облученный тантал растворяли в смеси фтористоводородной и азотной кислот. Редкоземельные элементы были отделены от остальных элементов соосаждением с фтористым лантаном; после вторичного осаждения гидроокисей и оксалатов редкие земли были выделены на колонке катионообменника градиентным вымыванием молочнокислым аммонием.

Химическое разделение было закончено спустя 18 час. после облучения, а измерение спектров конверсионных электронов было начато спустя 3 часа после химического разделения. Для настоящей работы были обработаны три мишени, в которых мы наблюдали конверсионные линии изотопов  $Lu^{169}$  /1,5 дня/,  $Lu^{170}$  /2 дня/,  $Lu^{171}$  /8,1 дня/,  $Lu^{172}$  /6,7 дней/ и  $Lu^{173}$  /1,4 года/. Спектры фракции лютеция изучались в течение нескольких недель. После распада  $Lu^{169}$  и  $Lu^{170}$  в спектре остались только линии  $Lu^{171}$ ,  $Lu^{172}$  и  $Lu^{173}$ , а также линии  $Yb^{169}$ , образующегося в качестве дочерней активности из материнского  $Lu^{169}$ . Линии  $Lu^{173}$



и  ${}^{169}\text{Ce}$  можно легко определить ввиду большой разницы в периодах полураспада /1,4 года и 30 дней/.

Радиоактивный источник размерами 1 x 25 мм был получен капельным методом на алюминиевой подкладке толщиной 5  $\mu$ . Спектр изучали на спектрометре с двойной фокусировкой /8/ при разрешающей способности прибора 0,25% и светосиле 0,6%. Входное окошко счетчика пропускало электроны от 5 Кэв. Энергии конверсионных линий определены с точностью 0,1% во всем исследованном интервале; относительные интенсивности носят ориентировочный характер.

Измеренный нами спектр конверсионных электронов  ${}^{171}\text{Lu}$  и  ${}^{172}\text{Lu}$  состоит из 150 линий. Ввиду большого числа линий и небольшой разницы в периодах полураспада перечисленных изотопов нельзя было исследовать кривые распада отдельных конверсионных линий и определить, какому именно изотопу соответствуют отдельные гамма-переходы. Для идентификации мы воспользовались работой /9/, в которой исследовался спектр электронов конверсии чистого  ${}^{171}\text{Lu}$ . Переходы, идентичные с переходами, наблюдавшимися в /9/, мы приписали  ${}^{171}\text{Lu}$ , а остальные, конверсионные линии которых имеют относительные интенсивности выше, чем самые слабые линии в /9/, мы приписали  ${}^{172}\text{Lu}$ . Для нескольких слабых переходов /указанных в таблице/ идентификация не вполне достоверна.

Результаты наших работ приведены в таблицах I и 2.

Таблица I

Относительные интенсивности наблюдавшихся конверсионных линий при распаде  $Lu^{171}$  /8,1 дня/  $\rightarrow Yb^{171}$ . а)

Энергия гамма-перехода (КэВ)	K	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	M	$N$	Примечание
19,4	-	~150	~155	~245	131	~45	$M_I = 37;$ $M_{II} = 56;$ $M_{III} = 38$
27,0	-	~5	$\delta$	~7	~6		
46,6	-	23	6,5	5,8	6,0		
55,7	-	118	~4	~9	~30 <sup>c</sup>		
66,7	-	125	265	260	65		
72,3	~127	96	22	24			
75,8	~140		940	1000	550	150	
95,5	110		$\delta$	$\delta$	$\delta$		
91,3	49		$\delta$	$\delta$			
109,2	~60	15		~5 <sup>c</sup>			
142,6	$\delta$	$\delta$	$\delta$				
163,8	$\delta$		~2	~1,0	1,7		
195,0	3,5		$\delta$	$\delta$			

Энергия гамма перехода (КэВ)	K	L	M	Энергия $\gamma$ -перехода (КэВ)	K	L	M
499,8	0,6	$\delta$		741,0	21,0	2,8	0,7
518,4	1,7	0,3		769,4	1,4	0,3 <sup>c</sup>	
628,1	2,2	0,2	$\delta$	782,5	1,8	$\delta$	
668,4	6,5	0,8	0,2	840,6	5,8	1,0	
690,3	1,1	$\delta$		853,1	1,0	$\delta$	
713,8	20	0,2 <sup>c</sup>					

а) Нельзя сравнивать интенсивности линий принадлежащих различным изотопам.

б) Конверсионная линия состоит из двух или нескольких линий

с) Конверсионная линия не полностью разрешена

д) Линия слабая.

$L_{II}^{I71}$  мы приписали 24 перехода (см. таблицу I). Мы не наблюдали переходов 154,6; 170,6; 183,2; 786,0; 795,1; 827,3 Кэв, приведенных в /9/ в спектре чистого  $L_{II}^{I71}$ , и переходов 318; 377 Кэв, приведенных в /6/. Переходы 482; 486; 536; 697 Кэв, приведенные в /6/, мы приписали  $L_{II}^{I72}$ , так как такие переходы не наблюдались в /9/.

Самыми сильными линиями спектра  $L_{II}^{I71}$  являются конверсионные линии перехода 75,8 Кэв. Как известно из работ /1,9/, мы имеем здесь переход между вторым ротационным и основным состоянием первой ротационной полосы. Для отношения коэффициентов конверсии мы получили экспериментальное значение

$$K : L_{I+\bar{II}} : L_{III} = 0,45 : 1,05 : 1$$

в хорошем согласии с /4,9/, в то время как теоретическое значение для чистого перехода E 2 будет

$$K : L_I : L_{II} : L_{III} = 0,52 : 0,06 : 0,96 : 1.$$

Из сопоставления очевидно, что мы имеем здесь дело с чистым переходом типа E 2. Несколько более низкое значение для линии K можно объяснить ее малой энергией и неточностью поправок.

Переход 66,7 Кэв, который наблюдали совместно с переходом 75,8 Кэв Эльбек и др. /10/ при кулоновском возбуждении, является несомненно также переходом между низкими возбужденными состояниями. Для отношения коэффициентов конверсии мы получили для этого перехода значение

$$L_I : L_{II} : L_{III} = 1 : 2,14 : 2,15,$$

не удовлетворяющее никакому чистому переходу. Подобные результаты были также получены авторами /4,9/. Хорошее согласие с нашим экспериментальным отношением мы имеем для смеси 65% М I - 35% Е 2.

Низкоэнергетический переход 19,35 Кэв, который авторы работы /9/ приводят в качестве вероятного перехода Е I, по нашим результатам представляет собой именно переход Е I. Для отношений коэффициентов конверсии мы получили экспериментальное значение

$$L_I : L_{II} : L_{III} : M_I : M_{II} : M_{III} = 1 : 1,30 : 2,30 : 0,30 : 0,39 : 0,31.$$

Теоретические значения по /12/ дают для Е I

$$L_I : L_{II} : L_{III} : M_I : M_{II} : M_{III} = 1 : 1,05 : 2,2 : 0,23 : 0,16 : 0,25.$$

Точные значения отношений коэффициентов конверсии для остальных низкоэнергетических переходов  $L_{\alpha}^{I7I}$  нам до сих пор не удалось определить. У переходов в жесткой области мы определили только отношение  $K/L$  для трех переходов.

Для  $h\nu = 668,4$  Кэв мы получили  $K/L = 6,6$ , что указывает на возможность смеси Е I + М 2 или Е 2 + М I.

Для  $h\nu = 741$  Кэв  $K/L = 7,5$ . Это отношение наиболее близко к теоретическим значениям 7,3 (Е I) и 7,2 для М I.

Наконец, для перехода 840,6 Кэв мы имеем  $K/L = 5,5$ . К этому значению наиболее близки теоретические значения 5,6 для Е 2 и 5,7 для М I.

$L_{\alpha}^{I72}$  /таблица 2/ мы приписали 3I переход в измеренной нами области. Мы не наблюдали переходы 575,6; 594,0; 814 Кэв,

приведенные в /5/ и /3/, и 539,5; 575,6; 594,0; 814; 985,7; 1103 Кэв, приведенные в /II/ для конверсионного спектра смеси  $Lu^{I71} + Lu^{I72}$ , которые, очевидно, не принадлежат  $Lu^{I71}$ , так как они не наблюдались /9/ в спектре конверсии чистого  $Lu^{I71}$ . Для решения вопроса об их существовании необходимы дальнейшие измерения.

Переходы с энергиями 78,7 Кэв и 181,8 Кэв относятся к ротационной полосе основного состояния. Для  $h\nu = 78,7$  Кэв мы определили отношение  $K : L_{I+II} : L_{III} = 0,37 : 0,96 : 1$  в относительно хорошем согласии с /4/. Теоретическое значение

$$K : L_I : L_{II} : L_{III} = 0,56 : 0,06 : 0,96 : 1$$

для E 2 указывает на то, что мы имеем дело действительно с переходом такого типа. Несколько большее различие между теорией и опытными данными можно объяснить тем, что линии этого перехода содержат некоторую примесь других линий. Для

$h\nu = 181,8$  Кэв мы определили опытным путем отношение:

$$K : L_{I+II} : L_{III} = 5,0 : 1,9 : 1,$$

в то время как теоретическое значение для E 2 равно

$$K : L_I : L_{II} : L_{III} = 5,1 : 0,51 : 1,35 : 1.$$

Переходу 280,0 Кэв, который мог бы быть переходом между уровнями  $6^+ - 4^+$  ротационной полосы основного состояния /I/, соответствует экспериментальное отношение  $K/L = 3,5$ . Этому значению наиболее удовлетворяет теоретическое значение 3,2 для перехода типа E 2, но нельзя полностью исключить также и тип M 3.

У перехода 90,6 Кэв мы из отношения

$$L_I : L_{II} : L_{III} = 0,3 : 1,16 : 1$$

определили, что в данном случае мы имеем дело со смесью E 2 + M I с более сильным вкладом E 2.

$$L_I : L_{II} : L_{III} = 0,09 : 1,01 : 1 \text{ для E 2}$$

$$L_I : L_{II} : L_{III} = 1 : 0,09 : 0,013 \text{ для M I/}$$

Переход 203,3 Кэв относится к типу E 2. Соответствующее ему отношение  $K/L = 0,34$  хорошо согласуется с теоретическим значением для E2, равным 0,31. К отношению  $K/L = 7,3$  для перехода 270,5 Кэв ближе всего теоретические значения 7,1 для E I и 7,6 для M I. У переходов 324,4 Кэв и 373,2 Кэв отношение  $K/L = 3,5$  ближе всего к теоретическим значениям для E 2, равному 3,8 и 3,7 для M3 в обоих случаях.

Т а б л и ц а 2

Относительные интенсивности наблюдавшихся конверсионных линий при распаде  $Lu^{172}$  /6,7 дня /  $\rightarrow$   $Yb^{172}$  а)

Энергия гамма-перехода (КэВ)	K	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	M	$N$
78,7	$\sim 300^b$		$910^c$	1000	450	150
90,5	$\sim 150$	$17^c$	$220^c$	180	105	45
112,6	$\sim 28$	$6$	$6$	$6$		
181,8	$211^c$		103	66	40	10
203,3	53		15	$6$	9	

Энергия гамма-перехода (КэВ)	K	L	M	Энергия гамма-перехода (КэВ)			
				K	L	M	
270,5	32	$4,3^c$	2,5	$637,1^d$	I		
280,0	6,6	2,5	0,8	698,6	8,1	I	
324,4	$14,7^c$	3,8	$\sim 1,5$	811,1	16,5	2,8	I,3
373,2	$\sim 12$	2,8	1,5	901,9	28,0	4,5	I,1
400,8	3,1	0,5		913,4	$5,3^c$	1,2	
411,1	8,2	1,8	$\sim 0,45$	914,7	$5,7^c$		
483,7 <sup>d</sup>	2,1			930,3	2,8		
486,7 <sup>d</sup>	2,1	$6$	0,7 <sup>c</sup>	954,3	1,3		
491,3	6,6	$1^b$		1003	2,7	0,54	
529,5	10,9	$2^c$	$6$	1023	1,4		
537,5	$6$	$6$		1084	$\sim 1,1$	0,3	
541,1	$4,7^b$	$1,4^b$	0,6	1095	24,1	4,5	I,3
631,9 <sup>d</sup>	2,0	1,4		1114	1,4		

а) Нельзя сравнивать интенсивности линий принадлежащих разным изотопам.

б) Конверсионная линия состоит из двух или нескольких линий

с) Линия конверсии не полностью разрешена

д) Переход может принадлежать  $Lu^{171}$ .

ЛИТЕРАТУРА

- I Громов К., Джелепов Б. Материалы II совещания по нейтроно-дефицитным изотопам редких земель - том I, стр. 5-107.  
Дубна - июнь 1959 г.
- 2 Б.Джелепов, В.Сергиенко. То же стр. 134.
- 3 В.Романов, Л.Пекер, В.Тучкевич, М. Иодко. То же, стр. 153.
- 4 М.Иодко, В. Тучкевич, В. Романов, О.Кресин. То же, стр.145.
- 5 В.Тучкевич, В. Романов, М.Иодко. Программа и тезис докладов X ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Москве, Издат. АН СССР Москва - Ленинград 1960, стр.86.
- 6 М.Иодко, В.Романов, В. Тучкевич. То же, стр. 86.
7. R.G. Wilson, M.L. Pool, BAPS 5 N 11, 1 (1960).
8. Z. Plajner, L. Malý, Cs.Cas. Fys. 10, 47 (1960).
9. B. Harnatz, Th. Handley, J.W. Mihelich, Phys.Rev. 114, 1082(1959)
10. B. Elbek, R.O. Nielson, M.G. Olesen, Phys.Rev. 108, 406 (1957).
- II В.Кельман, Р.Мецхваришвили, Б.Преображенский, В.Тучкевич.  
ЖЭТФ, 35, 1309 (1958).
12. M.E. Rose, Internal Conversion Coefficients, North-Holland Publishing Co.-Amsterdam 1958.

Институт ядерных исследований ЧСАН, Прага



СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ  $Lu^{169}$  и  $Lu^{170}$ .

Э.Плайнер, Л.Малы, М.Вобецкы

Распад активностей, идентифицированных как  $Lu^{169}$  Нервиком и Сиборгом /1/ и  $Lu^{170}$  Вилькинсоном и Гиксом /2/ , исследовали авторы работ /3 - II/ .

При исследовании фракции  $Lu$ , выделенной из мишени Та после облучения быстрыми протонами /660 Мэв/, в спектре конверсионных электронов встречаются линии, имеющие период полураспада  $\sim 2$  дня. Эти линии соответствуют двум изотопам:  $Lu^{169}$  и  $Lu^{170}$ . Период полураспада  $Lu^{169}$  был определен в работах /1, 4, 6, 13/. В своей работе мы взяли для  $Lu^{169}$   $T_{1/2} = 1,5$  дня и для  $Lu^{170}$   $T_{1/2} = 2$  дня.

Измерения производили на спектрометре с двойной фокусировкой /14/ со светосилой 0,6 %. Приборная разрешающая способность в этом случае равна 0,25%. В мягкой области ширина линий была больше вследствие толщины источника. Окошко детектора пропускало электроны от энергии  $\sim 5$  Кэв. Энергия конверсионных линий определена во всей области с точностью 0,1%. Всего было произведено измерение трех источников в области 7,5 Кэв - 1600 Кэв, полученных из мишеней, облученных в течение короткого времени (4 часа). Химическое разделение было выполнено спустя 18 часов после облучения, а измерения начаты приблизительно через 2 часа после разделения. Линии изотопов  $Lu^{169}$  и  $Lu^{170}$  исследовались в течение приблизительно 8 дней.

Ввиду близких значений периодов полураспада нельзя было непосредственно приписать линии конверсии отдельным изотопам. Поэтому мы приписали  $\text{Lu}^{169}$  все переходы, известные из подробной работы Гарматца, Гэндли и Михелича /8/ , исследовавших практически чистый изотоп  $\text{Lu}^{169}$ . Линии, соответствующие переходам, не указанные в этой работе, мы ввели в таблицу  $\text{Lu}^{170}$ , если их интенсивность была выше или сравнима со слабыми линиями, указанными для  $\text{Lu}^{169}$ .

Мы отдаем себе отчет в том, что приписывать таким образом линии отдельным изотопам не всегда правильно.

Относительные интенсивности, приведенные в таблицах I, II в настоящей статье, представляют собой только ориентировочные данные, так как, особенно в мягкой области, приходилось анализировать весьма сложный спектр. Кроме того, спектр всей области не измеряли одновременно из одного источника. Нам приходилось сшивать две части спектра, что может вести к ошибке. Наконец, возможное отклонение использованных периодов полураспада от правильных значений может значительно повлиять на наши результаты в случае линий, измерение которых производилось спустя несколько дней после облучения. Однако, значения отношений  $K:L_1:L_2:L_3$  являются относительно точными, так как промежуток времени между измерениями отдельных линий был довольно небольшим и соответствующие линии измеряли всегда из одного и того же источника в нескольких последовательных сериях.

$\text{Lu}^{169}$  мы приписали 57 переходов в измеренной нами области. Мы не нашли 6 переходов, приведенных в /8/ , и один переход из /II/ . Наши измерения не опровергают существования этих переходов, так как эти линии лежат в области, в которой

мы наблюдали линии других изотопов  $Lu$ . Переход 419 Кэв, приведенный в /II/, очевидно, идентичен с переходом 420,3 Кэв, принадлежащим  $Lu^{170}$ . Результаты наших измерений собраны в таблице I, в которой указаны энергии переходов и относительные интенсивности этих переходов.

Т а б л и ц а I

Относительные интенсивности конверсионных линий при распаде  $Lu^{169}$  /1,5 дней/  $\rightarrow Yb^{169}$ .

Энергия гамма-перехода (Кэв)	K	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	M
24,15		a	II25	I344	750
62,75		594	I270	I070Ь	I420
70,8	I375	I9I	a	a	
75,0	sa	a		a	a
87,2	27I0	a	a	a	38I
90,7	a	a	a	a	a
9I,9	89I				37
I04,3	a		I26 <sup>c</sup>	a	
I08,0	a		58 <sup>c</sup>		a
II0,9	2845	~625			
I33,5	a		5I <sup>c</sup>	34	
I44,6	a		I06 <sup>c</sup>	a	
I57,0	582		33I <sup>c</sup>	200	
I65,0	853		439 <sup>c</sup>	I95	
I66,5	97				
I9I,4	I375		384 <sup>c</sup>		I28
I98,4	II9				

Энергия, гамма перехода(КэВ)	К	L	М	(КэВ)	К	М
226,2	а			762,0	а	
245,0	а			881,0	7,2	
258,9	97			891,2	а	
291,7	100	20		962,0	94	12
369,9	117	135		1062	64	
379,5	177	29	21	1072	4I <sup>B</sup>	10
405,1	13			1076	10 <sup>B</sup>	
457,0	91	8,7		1081	5,2 <sup>a</sup>	
471,5	~37 <sup>B</sup>			1173	11	
480,1	12			1178	~10	
483,6	а			1179	8,1 <sup>B</sup>	
550,1	22			1187	30	9.4
564,3	15	5,4		1192	~5	
577,8	а			1208	7,0	
592,2	31			1274	12	3,6
624,1	~13 <sup>a</sup>	14		1293	13	
637,1	а			1381	8,7	
649,6	9			1394	27	
656,7	4,5					
691,3	а					
709,2	а					
725,9	9					

а= линия состоит из двух или нескольких линий

в =линия не полностью разрешена

S = линия очень слаба

с = интенсивность приводится для суммы линий  $L_I + L_{II}$

Для нескольких переходов мы определили мультипольности переходов из отношений  $K:L_I:L_{II}:L_{III}$ , причем мы брали теоретические значения из таблиц /15/. Для переходов 24,15 Кэв мы получаем отношения  $L_{II}:L_{III}:M_{II}:M_{III} = 1 : 1,33 : 0,35 : 0,41$ . Отношение  $L_{II}/L_{III} = 0,75$  свидетельствует о том, что мы имеем дело с переходом типа E3 или E2, теоретические отношения которых равны 0,77 для E3 и 0,75 для E2. У перехода 62,7 Кэв линия  $L_{II}$  перекрыта линией  $L_I$  перехода 63,1 Кэв  $Y_6^{I69}$ . Отношение  $L_I/L_{III} = 0,42$  свидетельствует о том, что мы имеем здесь смесь типа E2 + M1. Тип перехода I65,2 Кэв был определен из  $K:L_{I+II}:L_{III} = 1 : 0,4 : 0,2$  как E2, причем имеется очень хорошее совпадение с теоретическими значениями  $K:L_I:L_{II}:L_{III} = 1 : 0,21 : 0,22$ .

$\gamma$  - переходы, соответствующие линиям конверсии  $hw^{I70}$ , и относительные интенсивности линий конверсии приведены в таблице П.

Наблюдавшаяся при распаде линия  $h\nu = 84,2$  Кэв представляет собой переход из первого ротационного уровня в основное состояние. Точное определение отношений  $K:L_I:L_{II}:L_{III}$  затруднительно, так как в области линий  $L$  находятся линии от переходов других изотопов  $hw$ . После поправок на эти примеси мы получили отношение  $K:L_{I+II}:L_{III} = 0,5 : 0,94 : 1$  в хорошем согласии с /4/. Теоретическое отношение для перехода типа E2 равно  $0,6 : 0,07 : 0,97 : 1$  для  $K:L_I:L_{II}:L_{III}$ . Очень хорошее совпадение с теоретическим значением свидетельствует о том, что этот переход представляет собой чистый E2.

Переход 193,5 Кэв является, очевидно, переходом из второго вращательного уровня на первый. Отношение  $K: L_{I+II} : L_{II} = I : 0,43 : 0,21$  является только приблизительным, так как в области линии  $L_{II}$  лежит также линия К - перехода 226, 2 Кэв из  $^{169}\text{Lu}$ .

В таблице II содержатся все переходы, известные до настоящего времени по литературе, а также ряд переходов, наблюдавшихся впервые.

Работа над этими изотопами еще не закончена; продолжают дальнейшие измерения. После окончания новых серий измерений можно будет определить мультипольности дальнейших переходов и попытаться построить схемы распада.

Т А Б Л И Ц А П

Относительные интенсивности наблюдавшихся конверсионных  
линий при распаде  $Lu^{170}$  /2 дня/  $\rightarrow$   $Yb^{170}$

Энергия гамма перехода (КэВ)	К	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	М
84,2 193,5	~1000 178	$40^B$ 1720 <sup>ас</sup>	42	1830	а
Энергия гамма перехода (КэВ)	К	М	Энергия гамма перехода (КэВ)	К	М
283,7	13,1	~1,6	1165	0,6	
287,1	4,4	~1,5 <sup>а</sup>	1224	6,4 <sup>В</sup>	1,6 <sup>В</sup>
396,9	8,3	2,5	1229	5,1 <sup>В</sup>	а
420,3	16,1	5,5 <sup>а</sup>	1282	7,2	0,7
545,5	15,4 <sup>В</sup>	2,7 <sup>а</sup>	1297	1,9 <sup>В</sup>	
573,6	3,4	~2,8 <sup>В</sup>	1309	4,4	~0,6 <sup>В</sup>
758,5	~4,0		1343	3,6 <sup>а</sup>	а
856,3	5,9 <sup>В</sup>		1366	2,8	~0,4
918,1	1,8	а	1407	1,8	а
940,4	8,1	а	1430	4,3	а
987,0	17,3	2,7	1453	44,3	а
1001	~8,9 <sup>а</sup>	а	1467	1,6	а
1004	~8,9 <sup>а</sup>	а	1482	28,4	4,8
1030	~1,5	а	1502	а	1,4
1056	12,1	1,6 <sup>В</sup>	1515	а	а
1103	1,8	а	1569	а	0,7
1135	~3,1 <sup>В</sup>	а			
1140	6,6 <sup>В</sup>	0,9 <sup>а</sup>			
1148	~4,0 <sup>а</sup>	1,2			

а = линия состоит из двух или нескольких линий

в = линия не полностью разрешена

с = интенсивность приводится совместно для линий  $L_I + L_{II}$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Wilkinson A., Hicks H. Phys.Rev. 75, 1371 (1951).  
81, 540 (1951).
2. Nervick W., Seaborg A. Phys.Rev. 97, 1092 (1955).
3. Бобров Ю.Г., Громов К.Я., Джелепов В.С., Преображенский Б.К.  
Изв. АН СССР 21, 940 (1957) сер. физ.
4. Mihelich J.W., Harmatz B., Handley T.H. Phys.Rev., 108, 989  
(1957).
5. Кельман В.М., Мецхваришвили Р.Я., Преображенский Б.К.,  
Романов В.А., Тучкевич В.В., ЖЭТФ 35, 1309 (1958).
6. Dillman L.T., Henry R.W., Gove N.B., Becker R.A. Phys.Rev. 113  
635 (1959).
7. Boskma P., H. de Ward Proc. Rehovoth; Conf. Nucl. Struct. 1957.
8. Harmatz B., Handley T.H., Mihelich J.W. Phys.Rev. 114, 1082  
(1959).
9. Джелепов В.С., Учеваткин И.Ф., Шестополова С.А.  
Материалы X совещания по ядерной спектроскопии  
Москва 1960 .
10. Тучкевич В.В., Романов В.А., Иодко М.Г. То же
11. Иодко М.Г., Романов В.А., Тучкевич В.В. То же
12. Wilson R., Pool M. VAPS, 4 N 4, 294 (1959).
13. Городинский Г.М., Мурин А.Н., Покровский В.Н.,  
Преображенский В.К.; Изв. АН СССР 21, 1004 (1957).
14. Plajner Z., Malý L. Čs. Čas. Fys. 10, 47 (1960).
15. Rose M.E. Internal Conversion Coefficients; North-Holland  
Publishing Co.-Amsterdam 1958.

Институт ядерных исследований, ЧСАН, Прага



"О  $e^-e^-$ -совпадениях при распаде  $Lu^{171}$ ".

Б.С.Джелепов, В.А.Сергиенко

На сдвоенном линзовом  $\beta$ -спектрометре / 1 / мы продолжали изучение совпадений по времени образования конверсионных электронов, возникающих при распаде  $Lu^{171}$  ( $T_{1/2} \approx 8$  дней).

В качестве препаратов использовались лютециевая фракция редких земель и нейтроно-дефицитные изотопы  $Lu$ , накопившиеся при распаде изотопов  $Hf$ . Изотопы  $Lu$  и  $Hf$  были получены в реакции  $Ta+p$  (660 МэВ). Условия опытов и способ выделения  $Lu$  из  $Hf$  были те же, что и в работе /2/.

Ранее нами сообщалось /2/, что при распаде  $Lu^{171} \rightarrow Yb^{171}$  были обнаружены совпадения по времени возникновения электронов от переходов с энергиями 66,7 и 55,7 КэВ и не были найдены совпадения между электронами переходов с энергиями 75,9 и 55,7 КэВ, 75,9 и 66,7 КэВ. Также были зарегистрированы совпадения электронов линии  $L_{75,9}$  с электронами, имеющими энергию 9; 17 и 36 КэВ. Настоящие опыты эти данные подтверждают.

На рис. 1 представлены спектры совпадений между электронами  $L$  - линий 75,9 КэВ  $Lu^{171}$  и 78,7 КэВ  $Lu^{172}$  и электронами с энергиями от 5 до 50 КэВ, а также "самосовпадения" электронов с  $E = 17$  КэВ.

Как видно из рис. 1, отчетливо проявились совпадения (75,9) (L 19,3); (L 75,9) (M 19,3 + L 27,0); (L 75,9) (K 91,3) (L 75,9) (L 46,5) происходящие в  $Lu^{171}$ , а также совпадения (L 79) (K 90,6) в  $Lu^{172}$ . Из сопоставления скоростей счета совпадений в спектрах электронов L 75.9  $Lu^{171}$  и L 78.7  $Lu^{172}$  можно однозначно заключить, что подтверждается приписание переходов с энергией 19,3 и 46,5 Кэв распаду  $Lu^{171}$ , сделанное Михеличем и др. [3], а перехода с энергией 90,6 Кэв - распаду  $Lu^{172}$ . Небольшое число "самосовпадений" для электронов с энергией 17 Кэв может быть обусловлено каскадом 19,3 - 27,0 Кэв  $Lu^{171}$ : (M 19,3 + L 27,0) (M 19,3 + L 27,0).

Кроме этого нами были обнаружены совпадения между электронами от переходов с энергией 85,5 и 109,2 Кэв (Рис.2). Совпадения по времени образования электронов от переходов 75.9 и 85.5; 75.9 и 72; 75,9 и 91,3 Кэв не были замечены.

На рис.3 приведена схема уровней  $Ue^{171}$  до энергии 230 Кэв, уже встречавшаяся в литературе. В нее хорошо укладываются все выделенные нами каскады  $\gamma$ -переходов, кроме каскада 85,5 и 109 Кэв.  $\gamma$ -переходы, между электронами которых были зарегистрированы совпадения, отмечены жирными линиями

Авторы выражают благодарность М.К. Никитину и Г.Новикову за изготовление источников.

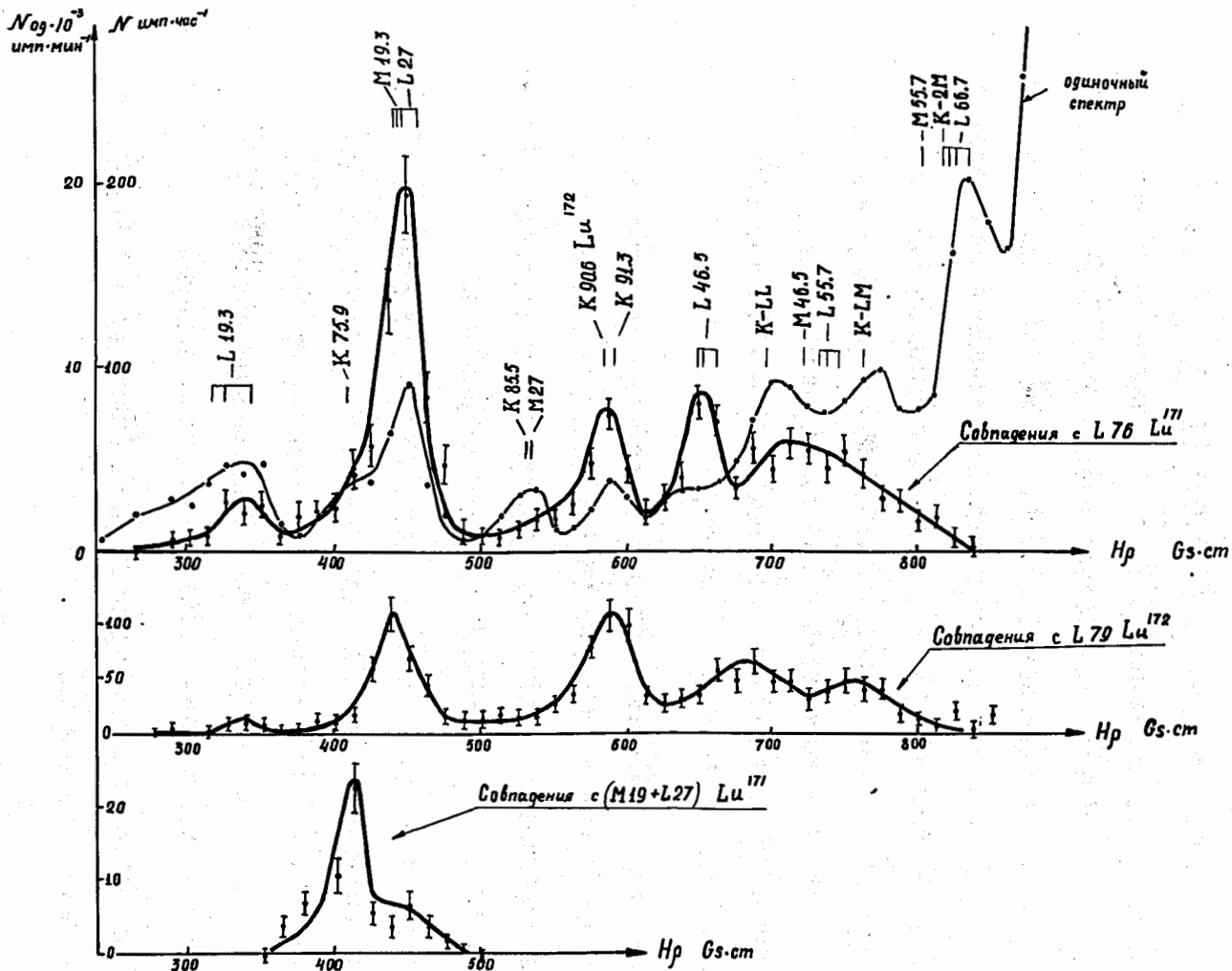


Рис. 1. Совпадения конверсионных электронов

(L 75,9) (L и M - 19,3); (L 75,9) (K 85,5);

(L 75,9) (K 91,3); (L 75,9) (L 46,5); (L 27) (M 19,3)

Lu<sup>171</sup>.

Самая верхняя кривая-вид спектра конверсионных электронов в мягкой области Lu<sup>171</sup> и Lu<sup>172</sup>.

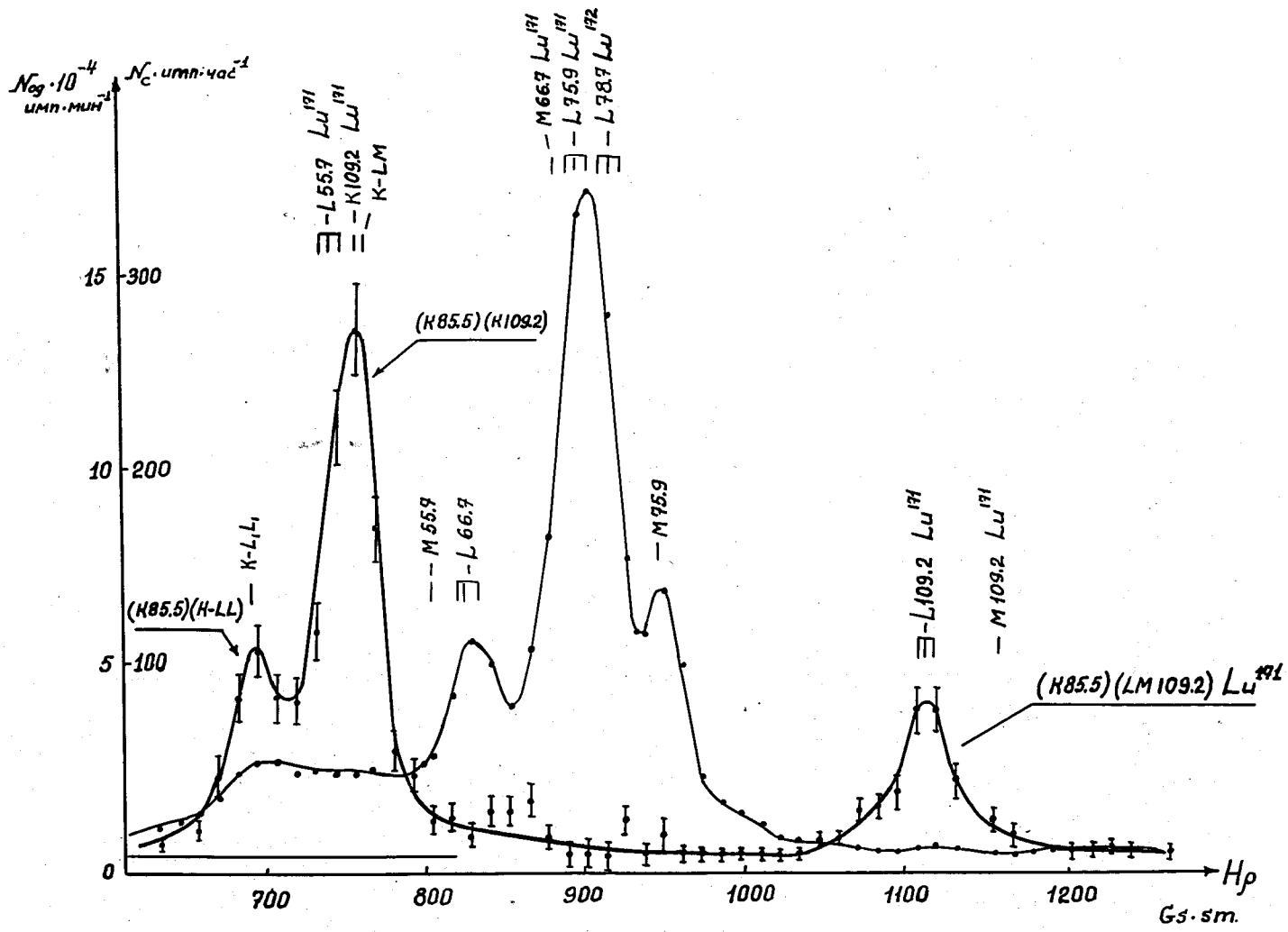


Рис.2 Совпадения конверсионных электронов К 85,5 с К и LM-электронами перехода 109 Кэв.

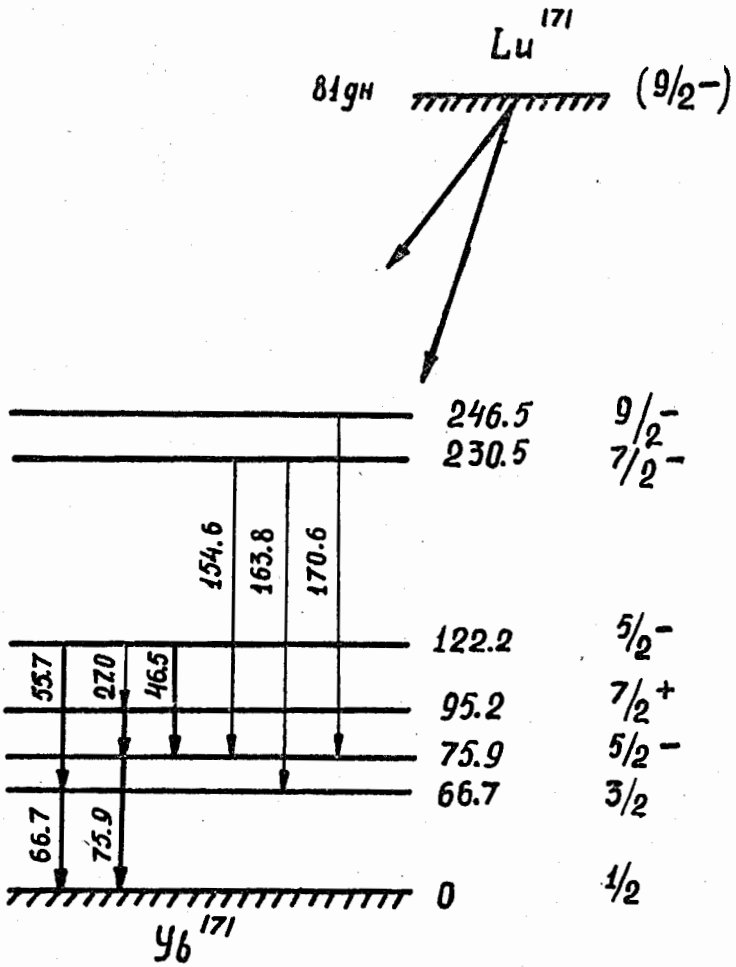


Рис. 3. Схема распада  $Lu^{171} \rightarrow Yb^{171}$ .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сергиенко В.А. Изв. АН СССР, Серия физическая, 22, 198 (1958).
2. Джелепов Б.С., Сергиенко В.А. - Материалы второго совещания по нейтроно-дефицитным изотопам редких земель г.Дубна, № 459 стр. 134 (1959).
3. В. Harnatz, T. Handley, J. Mihelich Phys.Rev.114,1082(1959).

" СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ  $L_{II}^{I70}$  В ОБЛАСТИ  
ЭНЕРГИИ 1350-3200 КЭВ "

Б.С.Джелешов, А.И.Медведев, И.Ф.Учеваткин,  
С.А.Шестопалова

В 1959 г. в работе / 1 / было обнаружено, что при распаде  $L_{II}^{I70}$  спектр конверсионных электронов простирается вплоть до 3300 Кэв. Измерения проводились на спектрометре с трехкратной фокусировкой с разрешающей способностью  $\sim 3,5\%$ . При такой разрешающей способности конверсионные линии не разделялись; отчетливо проявились 7 широких максимумов (табл. I, графа 4). Поскольку данные о жестких линиях представляют интерес для уточнения положения верхних уровней возбуждения  $U_{II}^{I70}$ , мы исследовали спектр конверсионных электронов при помощи бета-спектрометра с трехкратной фокусировкой в условиях, когда разрешающая способность составляла 1,4%.

Результаты представлены на рис. 1а и 1б и в таблице I.

Как видно из рис. I, спектр в этой области энергий настолько сложен, что и при  $\frac{\Delta H_p}{H_p} = 1,4\%$  далеко не все линии разделяются.

Участок спектра 1350-1600 Кэв мы разложили на компоненты (рис. 2). Положение известных конверсионных линий, соответствующих  $\gamma$ -переходам 1454, 1481, 1567 Кэв (работа /2/) и 1593 Кэв (эта линия согласно работе /3/ принадлежит  $L_{II}^{I69}$ ) считалось заданным; после проведения этих линий с максимально возможной интенсивностью, оказалось, что избыток конверсионных электронов соответствует положению двух  $L$ -линий от  $\gamma$ -переходов 1454 и 1481 Кэв. Сравнение граф 3 и 7 (табл. I) показывает хорошее

совпадение данных по относительным интенсивностям для К-конверсионных электронов, соответствующих переходам I454, I48I и I567 Кэв.

На участке спектра выше I600 Кэв только одна конверсионная линия I992 Кэв оказалась одиночной.

Определение периода полураспада в районах наиболее интенсивных максимумов еще раз подтвердило принадлежность этих конверсионных электронов  $Lu^{170}$ .





I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
16	2230	} 0,07	2300 $\pm$ 20	} 0,16			-			-			
17.	2320							-			-		
18	2380								-			-	
19	2660	} 0,16	2670 $\pm$ 20					-			-		
20	2735							-			-		
21	2830				2860 $\pm$ 20				-			-	
22	2925				(3000 $\pm$ 30)				-			-	
23	3010							-			-		
24	3090							-			-		
25	3160						-			-			

х) Для энергии принято значение из работы /2/, как наиболее точное.

xx) Для энергии принято значение из работы /3/. Линия принадлежит  $Lu^{169}$ .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.Джелепов , И. Учеваткин, С.Шестопалова.

1) Материалы второго совещания по нейтроно-дефицитным изотопам редких земель т.1, 168 (1059), г.Дубна.

2) Материалы 10-го Всесоюзного Совещания по ядерной спектроскопии. Москва, 1960 г.

2. В. Тучкевич, В.Романов, М.Иодко.

Материалы 10-го Совещания по ядерной спектроскопии (Москва, 1960 г.).

3. В. Harmatz, T. Handley, J. Mihelich, Phys. Rev. 114, 1082 (1959).

4. L. Dillman, R. Genry, N. Gove, R. Becker, Phys.Rev.Lett. 2, 27 (1959). Phys.Rev. 113, 635 (1959).

Всесоюзный научно-исследовательский  
институт метрологии им.Д.И.Менделеева.

5I

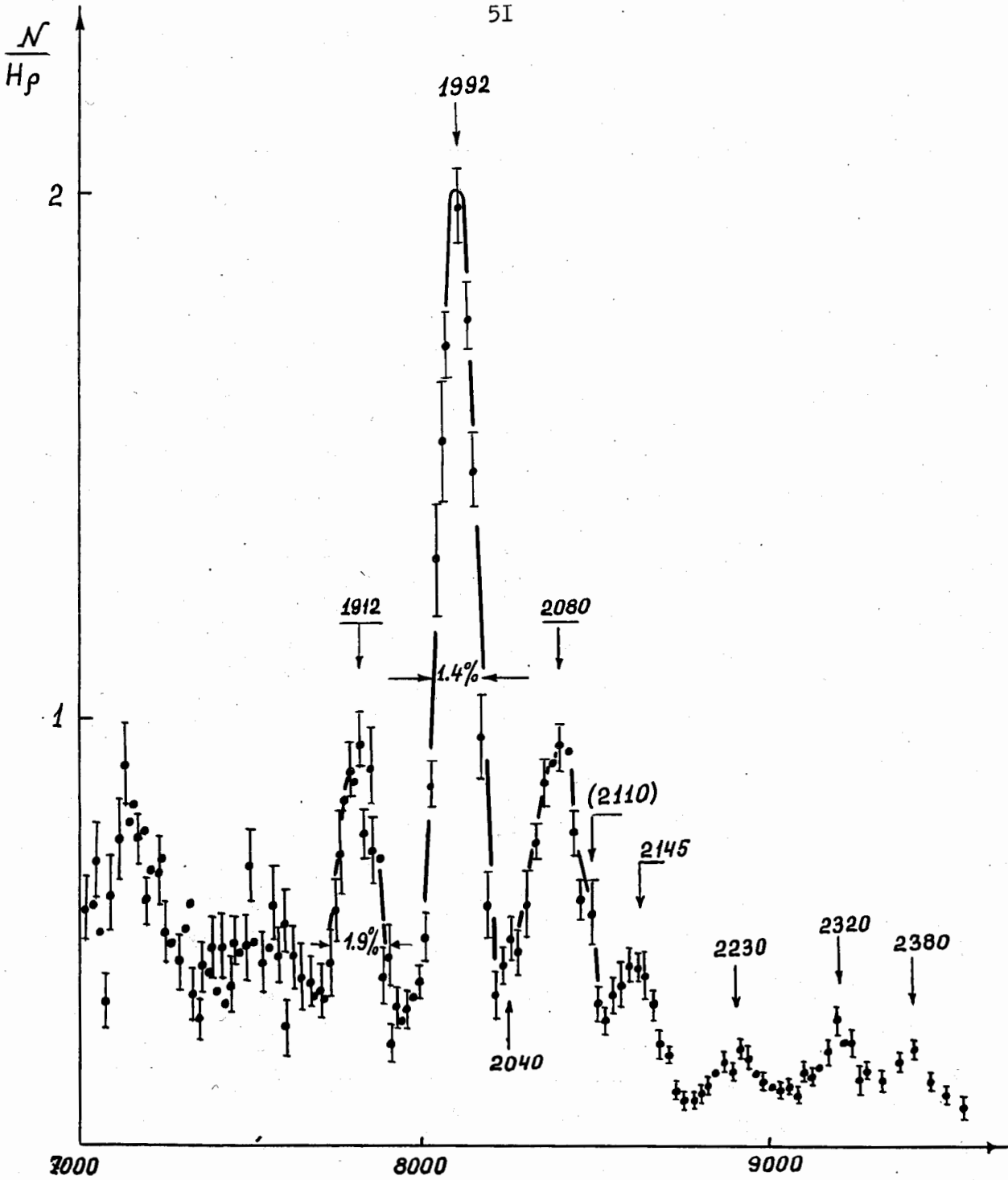


Рис. 1а. Спектр конверсионных электронов  $Lu^{170}$ .  
У стрелок даны энергии конверсионных линий.

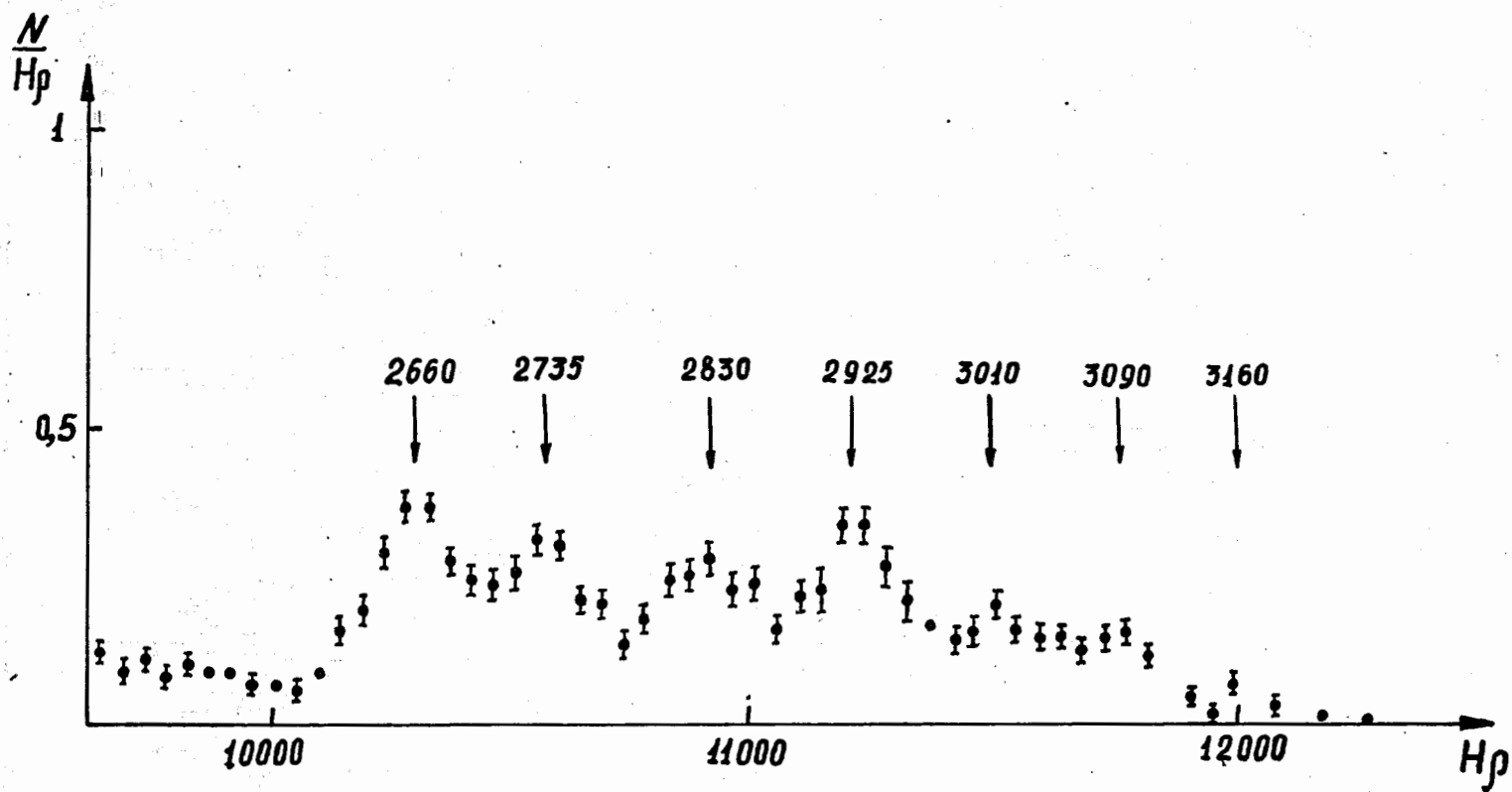


Рис. 16.

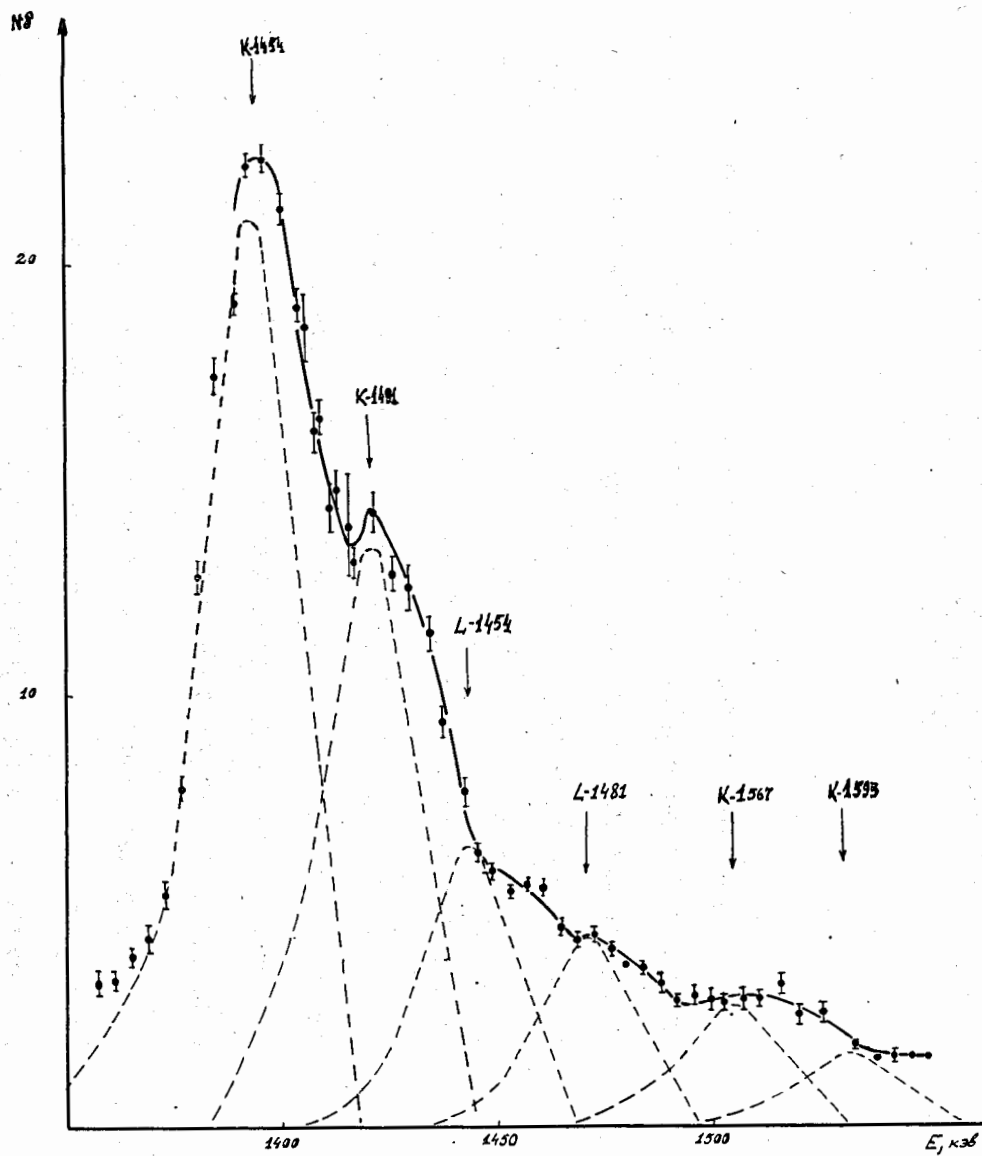


Рис. 2. Разложение на компоненты. Сплошная линия - сумма всех компонентов.

## СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЛЮТЕЦИЕВОЙ ФРАКЦИИ

А.А.Абдуразаков, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов,  
Б.С.Джелепов и Г.Я.Умаров

Изучению спектра конверсионных электронов лютециевой фракции посвящено много работ, в частности, (1,2,3). С целью проверки имеющихся данных в спектре  $Lu$  - фракции нами при помощи  $\beta$  - спектрографа с постоянным магнитным полем было снято несколько спектрограмм спектра конверсионных электронов  $Lu$ , образующегося в реакции глубокого отщепления на тантале.

В наших опытах танталовая мишень облучалась  $\sim 2$  часа. Регистрация электронов на первой фотопластинке начиналась через 3-4 часа после конца облучения и через 1 час после хроматографического выделения лютеция.

Использование прибора, регистрирующего одновременно электроны в широком диапазоне энергии за 5-10 минут, а также возможность заменять фотопластинки, позволили нам, пользуясь двумя препаратами лютеция, снять спектр конверсионных электронов в интервале энергии от 30 до 1000 кэв.

С каждым препаратом последовательно были экспонированы по 3 фотопластинки с разными временами экспозиции.

Для калибровки  $\beta$  - спектрографа в указанном диапазоне энергии были использованы следующие интенсивные линии  $U^{169}$ ,

энергия которых измерена Дю Мондом и др. /5/ :  $K$  и  $L$ , 109,78 Кэв,  $K$  и  $L$ , 177,24 Кэв,  $K$  и  $L$ , - 307,7 Кэв, а также линии 456,8 Кэв, 962,4  $Lu^{169}$  /2/ .

Оценка интенсивностей производилась только визуально. Приписание наблюдаемых линий тому или иному изотопу  $Lu$  производилось по литературным данным и по грубой оценке периода полураспада. Задача сводилась к определению энергии и к поискам новых линий. В таблицах 1, 2, 3, 4, 5 и 6 сгруппированы замеченные нами линии  $Lu^{167}$ ,  $Lu^{169}$ ,  $Lu^{170}$ ,  $Lu^{171}$ ,  $Lu^{172}$ ,  $Yb^{167}$ ,  $Yb^{169}$  и  $Tl^{167}$ . Новых линий с периодом  $>3$  часов обнаружено не было. Не было обнаружено также самой интенсивной в выбранной области энергии линии  $Lu^{173}$  - 78,8 Кэв.

В 1959 г. Громов и др. /4/ в лютециевой фракции обнаружили конверсионную линию с  $E_e = 78,7$  Кэв, интенсивность которой убывала с периодом полураспада около 2 часов. Авторы этой работы предполагали, что этот период полураспада может быть связан либо с новым изотопом лютеция, либо с изомерным состоянием какого-то из известных изотопов.

По данным Григорьева и др. /6/  $\gamma$  - переход, наблюдаемый ими в лютециевой фракции с периодом полураспада 2,3 часа, происходит в ядре  $Yb$ . Этот  $\gamma$  - переход ( $h\nu = 87,7$  Кэв) приписывается распаду  $Lu^{168}$ .

В наших опытах наблюдались линии  $L_{II}$  ( $E_e = 77,67$  Кэв) и  $L_{III}$  ( $E_e = 78,68$  Кэв) перехода  $h\nu = 87,7$  Кэв. Из сопоставления интенсивностей последовательно экспонированных фотопластинок с одним и тем же источником видно, что для соответствующего изотопа  $T_{1/2} < 3$  часов.



Конверсионные линии, которые мы приписываем цепочке  $Lu^{I67} \longrightarrow Yb^{I67} \longrightarrow Tu^{I67}$ , приведены в таблице 6. Наши данные хорошо согласуются с данными Михелича и др. /2/.

Кроме того, нами обнаружены две новые конверсионные линии с энергией 105,9 Кэв и 169,1 Кэв и периодом полураспада  $\sim 3$  час. По-видимому, эти линии принадлежат либо  $Lu^{I67}$  ( $T_{1/2} = 54$  мин), либо  $Lu^{I68}$  ( $T_{1/2} = 2,3$  часа).

Затруднения с идентификацией возникли на участке 30-45 Кэв на третьей пластинке. В этой области наблюдаются линии 33,6; 34,8; 40,5; 41,6; 42,1; 42,8 и 43,1 Кэв. Первые две линии могли бы принадлежать  $Lu^{I74}$ . Остальные линии по энергии можно было бы приписать Оже-электронам. Однако относительные интенсивности этих линий противоречат такой идентификации. Возможно, что мы здесь имеем дело с новыми  $\gamma$ -переходами. Этот участок спектра необходимо дополнительно изучить.

Таблица I  
 Результаты изучения спектра конверсионных  
 электронов  $L_{U}^{I72}$

№	$H_p$	$E_e$ (Кэв)	Идентификация
I.	913,5	68,74	$L_{II} - 78,7$
2.	920,5	69,74	$L_{III} - 78,7$
3.	Совпадает с	$L_I - 87,4 - L_{U}^{I69}$	$M - 78,7$
4.	Совпадает с	$L_{III} - 87,4 - L_{U}^{I69}$	$N - 78,7$
5.	994,8	80,64	$L_{II} - 90,6$
6.	1000	81,43	$L_{III} - 90,6$
7.	1045	88,37	$M - 90,6$
8.	1057	90,30	$N - 90,6$
9.	1237	120,3	$K - 181,8$
10.	1557	142,2	$K - 203,5$
11.	1511	171,8	$L_{II} - 181,8$
12.	1517	173,0	$L_{III} - 181,8$
13.	1693	209,1	$K - 270,5$
14.	1549	179,5	$M - 181,8$
15.	1936	262,2	$K - 323,6$
16.	2152	311,9	$K - 373,2$
17.	2308	349,0	$K - 410,3$ x
18.	2629	428,2	$K - 489,5$ x
19.	2790	469,0	$K - 430,3$ x
20.	3425	635,7	$K - 697,0$ x
21.	3842	748,8	$K - 810,2$ x
22.	4170	839,3	$K - 901,0$ x

x. Эти линии наблюдались только в работе В.Романова и др. /3/

Таблица 2

Результаты изучения спектра конверсионных электронов

 $Lu^{171}$  (8,1 дня)  $U^{171}$ 

№	$H_p$	$E_e$ КэВ	Идентификация
1.	821,0	56,17	$L_1$ -66,7
2.	825,0	56,70	$L_{II}$ -66,7
3.	832,5	57,66	$L_{III}$ -66,7
4.	Совпадает с	$L_{III}$ - 75,0 $Lu^{169}$	$L_{III}$ -75,8
5.	900,0	66,84	$L_{III}$ -75,8
6.	997,0	73,55	$M$ -75,8
7.	Совпадает с	$L_{III}$ 84,2 $Lu^{170}$	$N$ -75,8
8.	3589	680,0	$K$ -741,2

Таблица 3

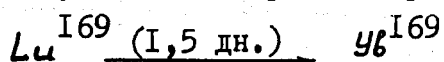
Результаты изучения спектра конверсионных электронов

 $Lu^{170}$  ( $T_{1/2} = 1,9$  дн. )

№	$H_p$	$E_e$ КэВ	Идентификация
1.	951,4	74,20	$L_{II}$ -84,2
2.	958,8	75,25	$L_{III}$ -84,2
3.	1004	82,09	$M$ -84,2
4.	1015	83,80	$N$ -84,2
5.	1303	132,3	$K$ -193,6
6.	2346	358,2	$K$ -419,5
7.	2847	483,7	$K$ -545,0

Таблица 4

Результаты изучения спектра конверсионных электронов



№	$H_p$	$E_e$ кэВ	Идентификация
I	2	3	4
I.	712,5	42,84	K - 104,2
2.	759,1	49,59	K - 111,0
3.	790,4	52,25	$L_I$ - 62,6
4.	794,2	52,75	$L_{II}$ - 62,7
5.	801,8	53,70	$L_{III}$ - 62,7
6.	852,5	60,33	$L_I$ - 70,8
7.	855,8	60,77	$L_{II}$ - 70,8
8.	864,0	61,88	$L_{III}$ - 70,8
9.	886,3	64,94	$L_{II}$ - 75,0
10.	893,0	65,87	$L_{III}$ - 75,0
11.	Совпадает с	$L_{II}$ - 78,7 - $Lu^{172}$	M - 70,8
12.	937,5	72,18	K - 133,48
13.	941,2	72,71	M - 75,0
14.	969,0	76,79	$L_I$ - 87,3
15.	972,5	77,30	$L_{II}$ - 87,3
16.	979,4	78,33	$L_{III}$ - 87,3
17.	991,0	80,07	$L_I$ - 90,6
18.	Совпадает с	$L_{III}$ - 90,6 - $Lu^{172}$	$L_I$ - 92,0
19.	1011	83,16	K - 144,7
20.	1023	85,02	M - 87,3
21.	1036	86,96	N - 87,3
22.	Совпадает с	M - 90,6 - $Lu^{172}$	M - 90,6

1	2	3	4
23.	I079	93,75	L <sub>1</sub> -I04,2
24.	I090	95,60	K-I57,0
25.	II2I	I00,6	L <sub>1</sub> -III,0
26.	II24	I0I,I	L <sub>II</sub> -III,0
27.	II30	I02,I	L <sub>III</sub> -III,0
28.	II4I	I03,9	K-I65,2
29.	II50	I05,4	K-I66
30.	II70	I08,8	M-III,0
3I.	II8I	II0,6	N-III,0
32.	I29I	I30,I	K-I9I,4
33.	I3I5	I34,4	L <sub>1</sub> -I44,7
34.	I330	I37,2	K-I98,5
35.	I383	I47,0	L <sub>II</sub> -I57,0
36.	I389	I48,I	L <sub>III</sub> -I57,0
37.	I426	I55,3	L <sub>II</sub> -I65,2
38.	I432	I56,4	L <sub>III</sub> -I65,2
39.	I466	I63,0	M-I65,2
40.	I476	I65,0	K-226,2
4I.	I557	I8I,0	L <sub>1</sub> -I9I,4
42.	I569	I83,6	K-244,9
43.	I637	I97,4	K-258,7
44.	I792	230,4	K-29I,7
45.	2I37	308,4	K-369,7
46.	2I75	3I7,3	K-378,8
47.	2284	343,3	K-404,6
48.	2388	368,5	L <sub>1</sub> -378,8
49.	2498	395,5	K-456,8

1	2	3	4
50.	2553	409,2	K-470,5
51.	2972	516,0	K-577,3
52.	4392	901,1	K-962,4

Таблица 5

Результаты изучения спектра конверсионных электронов  
у<sup>238</sup>U

№	$H_p$	$E_e$ кэВ	Идентификация
I.	775,0	50,45	K-I09,78
2.	841,0	58,8	K-II8,2
3.	930,0	71,10	K-I30,6
4.	III6	99,64	$L_1$ -I09,7
5.	I223	117,91	K-I77,24
6.	I240	120,9	$L_{II}$ -I30,6
7.	I246	121,9	$L_{III}$ -I30,6
8.	I282	128,4	M-I30,6
9.	I338	138,64	K-I97,9
10.	I488	167,10	$L_1$ -I77,24
11.	I591	187,86	$L_1$ -I97,97
12.	I874	248,4	K-307,7
13.	2030	297,6	$L_1$ -307,7

Таблица 6

Результаты изучения спектра конверсионных электронов

 $Lu^{167}$ ;  $Yb^{167}$ ;  $Tu^{167}$ ;

№	$H_p$	$E_e$ КэВ	Идентификация
$Lu^{167} \xrightarrow[\text{К}]{(54 \text{ мин})} Yb^{167}$			
1.	I409	I51,9	K-213,2
2.	I542	I78,1	K-239,4
3.	I729	216,8	K-278,1
4.	I785	228,9	L -239,4
5.	I908	255,9	K-317,3
6.	227I	340,1	K-401,4
$Yb^{167} \xrightarrow{(18 \text{ мин})} Tu^{167}$			
I	745,5	46,73	K-I06,2
2	794,0	52,7	L <sub>I</sub> -62,8
3	804,0	54,0	K-II3,4
4	853,0	60,4	M- 62,8
5	939	72,4	K-I31,9
6	I093	96,1	L <sub>I</sub> -I06,2
7	II38	I03,5	L <sub>I</sub> -II3,4
8	II41	I03,9	M-I06,2
9.	II60	I07,1	L <sub>II</sub> -II6,7
I0	II66	I08,2	L <sub>III</sub> -II6,7
II	II84	III,2	M-II3,4
I2	I217	II6,9	K-I76,2
I3	I249	I22,5	L <sub>II</sub> -I31,9
I4	I254	I23,5	L <sub>III</sub> -I31,9

$$T_u^{I67} \xrightarrow[\kappa]{(9,6 \text{ дн})} E_r^{I67} \text{ стаб.}$$

1	I403	150,8	K-208,3
2	I644	199,0	L <sub>II</sub> -208,3
3	I649	199,3	L <sub>III</sub> -208,3
4	I680	206,5	M-208,3
5	I686	207,7	N-208,3



## Л и т е р а т у р а

1. Ю.Т.Бобров, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Б.К.Преображенский  
изв. АН СССР сер.физ. 795 (1958).
2. В. Harnatz, T. Handley, I. Mihelich, Phys.Rev. 114, 1082 (1959).
3. В.А.Романов, М.Г.Иодко, В.В.Тучкевич,  
Материалы X-ежегодного совещания по ядерной спектроскопии  
в Москве, январь 1960 г.
4. К.Громов, Б.Джелепов, И.Днепровский  
Материалы второго совещания по ядерной спектроскопии  
нейтроно-дефицитных изотопов. Препринт ОИЯИ, Р-459, Дубна 1959г.
5. E.N. Hatch, F. Boehm, P. Marmier, I.W.DuMond, Phys.Rev. 104,  
745 (1956).
6. Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, В.Звольска,  
А.В.Золотавин, М.Вейс, Ван. Юн-ви  
Материалы настоящего совещания.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ  $E_r^{166}$ 

Е.Божек, Х.Неводничанский, С.Огаза, С.Шимчик, Ю.Норсеев

## I. ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящей работы - получить более полную информацию о схеме уровней  $E_r^{166}$  при распаде  $U_6^{166}$ .

Ядро  $U_6^{166}$  (58 час) распадается электронным захватом в  $Tu^{166}$  (7,7 час), который в свою очередь распадается электронным захватом и с малой величиной  $\beta^+$  в  $E_r^{166}$ .

За последние несколько лет энергии  $\gamma$ -излучения и конверсионных электронов при распаде  $U_6^{166}$  и  $Tu^{166}$  измерялись различными авторами (1-6). Неполная схема уровней  $E_r^{166}$  при распаде  $Tu^{166}$  была предложена Громовым и др. (6) и Джакобом и др. (2). Их предположения основывались на измерениях энергий и интенсивностей переходов. Боскма и де Ваард (6) на основании опытов по совпадениям конверсионных электронов и  $\gamma$ -лучей и по  $\gamma$ - $\gamma$ совпадениям предложили схему уровней для наиболее интенсивных переходов в  $E_r^{166}$ .

В настоящей работе описаны некоторые опыты по  $\gamma$ - $\gamma$ совпадениям при распаде  $U_6^{166}$  и предложена более полная схема уровней  $E_r^{166}$ .

2. ИСТОЧНИКИ И АППАРАТУРА

Изотопы  $U_6$  получались в реакции расщепления при 3-4 часовом облучении Та протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне.

Химические операции - выделение группы редких земель из Та мишени и хроматографическое разделение элементов - были произведены в Дубне через 11-19 часов после облучения.

Измерения в Кракове начинались через 1,5-3 дня после облучения. В опытах, описанных в этой статье, использовались образцы полученные из четырех Та мишеней. Облучения производились с интервалами приблизительно в 2 месяца. В первых двух опытах измерения  $\gamma$  - излучения производились неоднократно с целью изучения всего спектра смеси изотопов иттербия. В двух других опытах были измерены  $\gamma$ - $\gamma$  - совпадения.

Простой  $\gamma$  - спектр был получен с помощью сцинтилляционного спектрометра с кристаллом  $NaJ (Te)$  1,5" x 1" с фотоумножителем EM I 6097F и 100 канальным амплитудным анализатором. Разрешающая способность этого спектрометра на линии  $Cs^{137}$  66I Кэв была 8,2%.

$\gamma$  -  $\gamma$  совпадения регистрировались многоканальным амплитудным анализатором. Для выделения спектра совпадений использовалась схема быстро-медленных совпадений. Блок-схема дана на рис. I. Использовался кристалл  $NaJ (Te)$  1,75 x 2" и 2" x 2" и фотоумножитель EM I 6097F. Разрешающая способность обоих спектрометров на линии  $Cs^{137}$  была 9%. Разрешающее время схемы совпадений  $2\tau = 5.5 \cdot 10^{-8}$  сек.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Можно ожидать, что исследуемый источник содержит излучения следующих нейтроно-дефицитных изотопов :  $Yb^{166}$  в равно-

веса с  $Tu^{166}$  и  $Уб^{169}$ .

Простой  $\gamma$ -спектр, зарегистрированный 100-канальным амплитудным анализатором, показан на рис. 2а, 2в. Анализ распада фотопика показывает, что распад происходит с полупериодом около 57 час., т.е. он принадлежит спектру  $Уб^{166}$ .

Через несколько дней после начала измерений наблюдались линии 115, 180, 250 и 300 Кэв с периодом полураспада 30,6 дня. Это распад  $Уб^{169}$ . Из анализа было установлено, что опыты по совпадениям для  $Уб^{166}$  могут быть выполнены в первую неделю измерений, когда активность  $Уб^{166}$  велика по сравнению с другими активностями, присутствующими в образце. Сравнение значения энергии  $\gamma$ -излучения  $E_{\gamma}^{166}$ , полученных в наших измерениях, со значениями, полученными другими авторами, показано в таблице I.

Существование перехода с энергией 880 Кэв, сообщенное только Брабецом (4), подтверждается нашими измерениями совпадений.

Мы не обнаружили линий 153 и 522 Кэв, измеренных на сцинтилляционном спектрометре Барановским и Покровским (5), и линию 1550 Кэв, обнаруженную Боскма и де Ваардом (6).

Ширина и форма фотопиков с энергиями 185, 710 и 790 Кэв показывает, что эти пики содержат более, чем один переход.

Результаты наших измерений совпадений даны в таблице II. Линии 185, 710, 790, 1180, 1270 и 2070 Кэв различались с помощью одноканального амплитудного анализатора. Измерения каждой линии производились при различных усилениях усилителя, различной ширине каналов и различном положении каналов на пике.

Таким путем измерялся и интервал энергии спектра совпадений, зарегистрированный многоканальным анализатором и интервал энергий, отбираемый одноканальным анализатором.

Следующие совпадения, полученные в настоящей работе, находятся в согласии с результатами Боскма и де Ваарда (6); линия 185 Кэв с фотопиками 80, 710, 790, 1180 Кэв; линия 790 Кэв с пиками 80 и 1270 Кэв; линия 1180 Кэв с пиками 80, 185, 210 Кэв и линия 1270 с пиками 80 и 790 Кэв.

Кроме этого подтверждения результатов Боскма и де Ваарда (6), мы получили совпадение с линией 185 Кэв фотопиков 185, 460 и 1880 Кэв (рис.3 а,в), но не могли подтвердить совпадение линии 185 Кэв с пиком 2070 Кэв, указанное Боскма и де Ваардом. В дальнейшем мы получили следующие совпадения: между линией 710 Кэв и пиками 460, 710 Кэв (рис.4); между линией 790 Кэв и пиками 185, 460, 710 Кэв (рис.4); между 1180 Кэв и пиком 880 Кэв (рис.5); между линией 1270 Кэв и пиками 185, 600 Кэв (рис.5) и между линией 2070 Кэв и фотопиками 80, 185 Кэв. Такие совпадения Боскма и де Ваард не наблюдали.

#### 4. СХЕМА УРОВНЕЙ

На основании наших опытов и величин энергий переходов, даваемых Громовым и др.(7)(см.таблицу I), мы предположили схему уровней  $Er^{166}$  при распаде  $Tl^{166}$ . Эта схема уровней дана на рис. 6.

Два уровня 80 и 264 Кэв были указаны Боскма и де Ваардом (6) и также известны из распада  $Ho^{166}$ . Они интерпретировались как ротационные состояния. Им приписали соответственно  $(0,2+)$  и  $(0,4+)$ .

Три уровня 788, 862 и 967 Кэв могут интерпретироваться как относящиеся к вибрационному состоянию, и два наимизших ротационных уровня были построены на основании этого. Их значения соответственно  $/2,2+/, /2,3+/$  и  $/2,4+/. Боскма и де Ваард интерпретировали уровень 862 Кэв как вибрационный с значением  $/2,2+/$  и уровень 957 Кэв как ротационный  $/2,3+/. Они не упоминали об уровне 788 Кэв. В схеме уровней, предлагаемой Боскма и де Ваардом имеется непоследовательность.$$

Согласно их схеме должны встречаться два перехода почти с той же самой энергией 870 Кэв; первый — между уровнем 862 Кэв и основным состоянием, второй — между уровнями 957 и 80 Кэв. Полная интенсивность обоих переходов достаточно велика для наблюдения фотопика в простом  $\gamma$ -спектре. Это противоречие отсутствует в схеме рис.6.

В таблице III даны отношения интенсивностей переходов между уровнями с  $K=2$  и уровнями с  $K=0$ , вычисленные на основании теоретических заключений Алага для уровней, приводимых в работе Боскма и де Ваарда и для уровней предлагаемой нами схемы. Для сравнения в таблице также даны экспериментальные данные, полученные Громовым и др. (7). Из этой таблицы ясно видно, что схема, предложенная нами, находится в хорошем согласии с экспериментальными данными.

На основании совпадений фотопиков 710 и 790 Кэв можно предположить существование уровня 1536 Кэв. Т.к. характер E-I переходов 674 и 749 Кэв определяется размерами коэффициентов конверсии (7), то уровню 1536 Кэв можно приписать (2,2-) Однако, экспериментально определенное отношение интенсивностей

этих переходов не согласуется с теоретическими предположениями.

Уровень 2140 Кэв также дан Боскма и де-Ваардом, которые приписали ему (2-) на основании подсчета  $\log ft$  электронного захвата при переходе с основного состояния  $Tu^{166}$  на этот уровень и взятого согласно измерений отношения линий переходов 1180 и 1270 Кэв. С другой стороны, Громов и др. (7) показали, что оба перехода 1181 и 1277 Кэв имеют E-2 или возможно (M1+E2) тип, и, следовательно, уровень 2140 Кэв имеет положительный спин. Так как переход 1352 Кэв с уровня 2140 на 788 Кэв не был найден, спин уровня 2140 Кэв должен быть, по крайней мере, =5. Однако, это маловероятно из-за малых значений  $\log ft$  перехода на этот уровень путем электронного захвата и также из-за значения спина 2 или 3 и отрицательной четности основного состояния  $Tu^{166}$ . Последнее значение спина и четность ожидаются по схеме Нильсона и путем сравнения спина и четности соседних четно-нечетных ядер с тем же числом протонов и нейтронов.

Уровень 2354 Кэв может быть тем же самым, которому Боскма и де Ваард приписали энергию 2260 Кэв, основываясь на соотношениях совпадений 180-2000 Кэв. Энергия 2354 Кэв, приписанная этому уровню, позволяет ввести в схему уровней переход 214,1 Кэв. Если мы поместим этот переход между уровнями 2354 и 2140 Кэв, тогда можно объяснить совпадения между фотопиками 185 Кэв и 185, 790, 1270 Кэв. Характер E1 перехода 214,1 Кэв (7) в соединении с положительной четностью уровня 2140 Кэв требует отрицательной четности уровня 2354 Кэв, в согласии с предсказаниями Боскма и де Ваарда. В наших измерениях мы не наблюдали фотопика 2070 Кэв в спектре совпадений с линией 185 Кэв, но с другой стороны, в

Спектре совпадений с линией 2070 Кэв мы наблюдали линии 80 и 185 Кэв. Этот факт можно объяснить, если мы примем, что только переход 2088 Кэв совпадает с линией 183,9 Кэв и что переход 2060 Кэв (наблюденный в спектре конверсионных электронов) (4) является переходом между уровнями 2140 и 80 Кэв.

Линия 460 Кэв, которая наблюдалась в наших измерениях спектра совпадений с линиями 185, 710 и 790 Кэв не уместается в предполагаемую схему уровней. Это не может быть переход между уровнями, предложенными в настоящей работе. Для того чтобы объяснить появление этой линии требуется новый уровень. Однако, для правильного размещения этого уровня в схему уровней наших знаний недостаточно.

Предложенная нами схема уровней  $\text{Er}^{166}$  нуждается в более полном подтверждении. Для этого мы начали эксперименты по  $\gamma$ - $\gamma$ -угловой корреляции, чтобы получить определенные величины спинов для уровней 788, 862, 957 и 2140 Кэв.

Авторы благодарны С.Хойнацкому и И.А.Ютландову за работу по приготовлению источников. Так же благодарят К.Малиновского и Т.Вальцак за помощь в измерениях.

Институт ядерной физики

г.Краков

Объединенный институт  
ядерных исследований

г.Дубна



ТАБЛИЦА I.

Сведения о  $\gamma$ -лучах (Кэв)  $T_{1/2}^{I66}$ 

Магнитные спектрометры			Сцинтилляционные спектрометры		
Громов /7/	Михелич /I/	Боскма /6/	Боскма /6/	Барановский /5/	Наши результаты
80,0	80,7	80,2	80	80	80
153,4	154,6	-	-	153	
183,9	184,7	183	180	184	
193,6	194,8	192		194	185
214,1	215,4	-		215	
282					
299					
347					
405					
433					
459		464	464	450	460*
522				522	
596				596	600
598					
674					
693		710	710	690	710
707					
749					
760					
782		790	790	780	790
789					
/807/					
877					880*
/1158/					
1181			1180	1180	1180
/1209/					
/1209/					
1277			1270	1280	1270
/1309/					
1380				1380	/1380/
/1423/					
-			1550		
1878				1880	1880*
2060			2000	2060	2070

\*) Наблюдался в спектре совпадений.

ТАБЛИЦА II

Сведения при распаде

T<sub>1/2</sub> I66

	80	I85	460	600	710	790	880	II80	I270	I880	2070
I85	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-
710	+	+	+	-	/+/ +	+	-	+	-	-	-
790	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-
II80	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
I270	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
2070	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ТАБЛИЦА III

Отношение интенсивностей переходов с уровней с K=2 на  
уровни с K=0 в E<sub>r</sub>I66

Уровни и переходы	Отношение интенсивностей		
	Эксперимент /7/	Боскма и де Ваард /6/	Теоретические наши схемы
788 Кэв уровень 789 Кэв 707 Кэв	I = 0,63 I	-	I /2 0/ = 1,19 I /2 2/
862 Кэв уровень 782 Кэв 598 Кэв	I = 17,5 I I = I	I /2 2/ = 53,3 I /2 4/ I /2 2/ = 5,35 I /2 0/	I /3 2/ = 9,26 I /3 4/ I /3 2/ = I I /3 0/
957 Кэв уровень 877 Кэв 693 Кэв	I = 0,66 I	I /3 2/ = 8,08 I /3 4/	I /4 2/ = 1,09 I /4 4

Л и т е р а т у р а

1. J.W. Mihelich, B. Hartmatz, T.H. Hangley Phys.Rev. 108, 989 (1957).
2. К. Р. Jacob, J.W. Mihelich, B. Hartmatz, T.H. Handley, Bull.Am. Phys. Soc. 3, 358 (1958).
3. Г.М.Городинский, А.М. Мурин, В.Н. Покровский, Б.К.Преображенский, Н.Е.Титов, Докл.Академии наук, 2, 39 (1957).
4. В.Брабец, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, А.Г. Дмитриев, В.А.Морозов. Изв. Академии наук СССР, 23, 812 (1959)
5. В.И.Барановский, В.Н.Покровский. Изв. АН СССР, 23, 819 (1959).
6. P. Boskma, H. De Waard, Nucl.Phys., 12, 533 (1959).
7. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, В.Н.Покровский. Изв. АН СССР, 23,821 (1959).

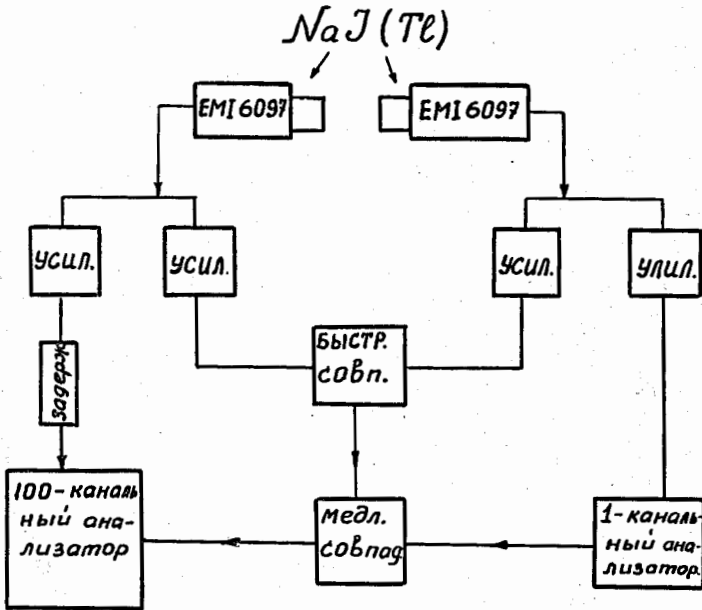


Рис. 1. С Блок-схема.

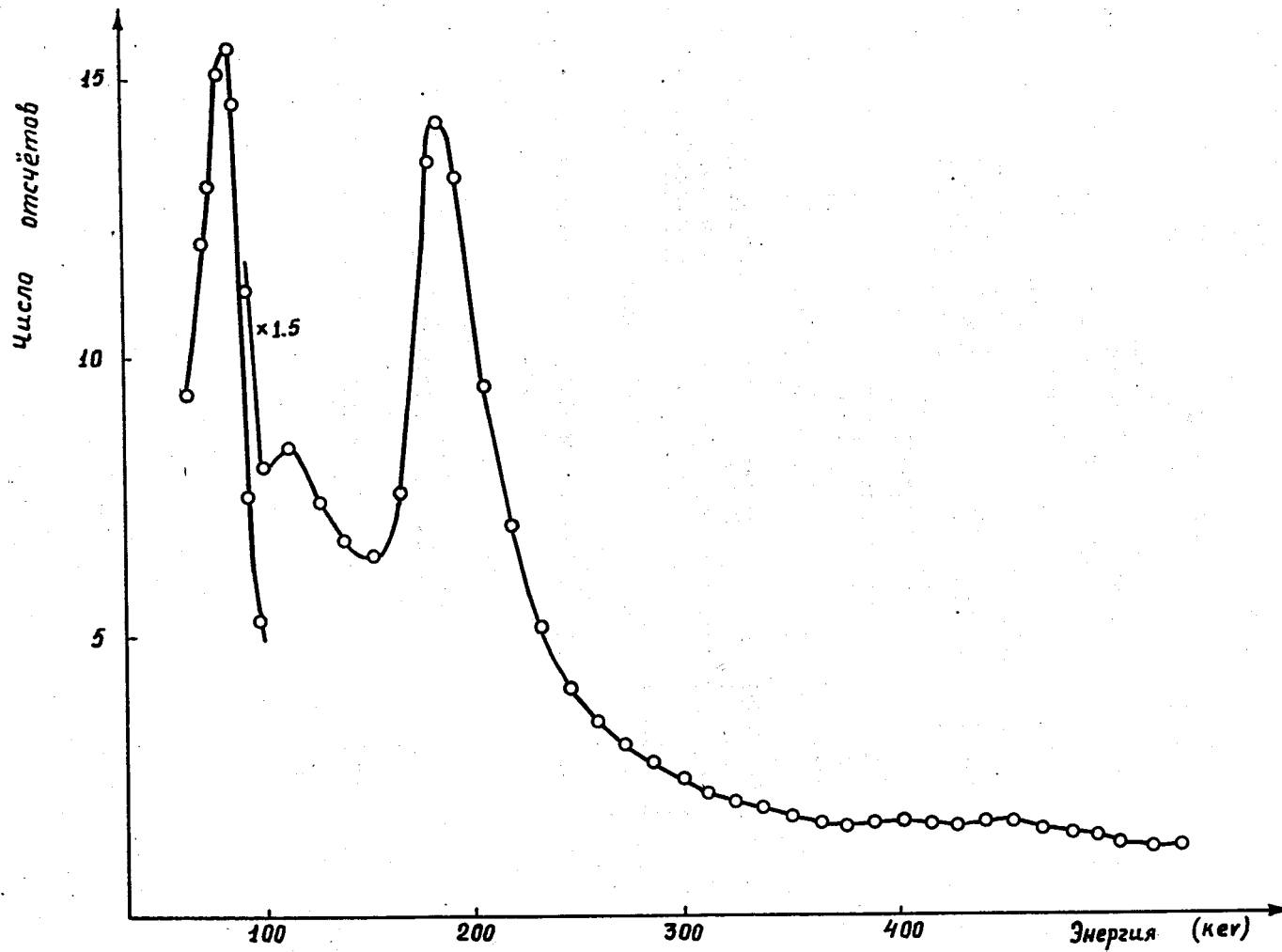
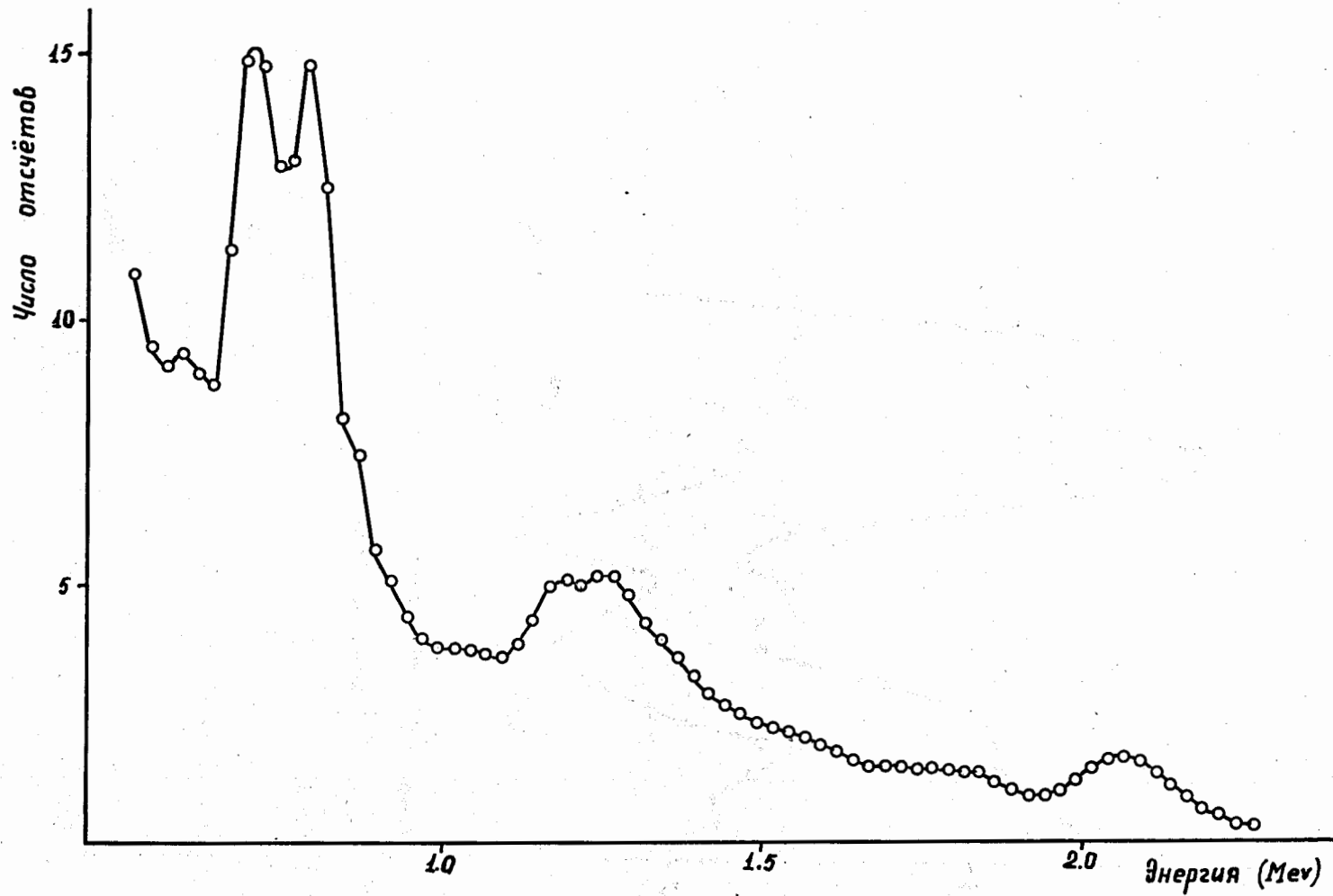


Рис. 2а. Низкоэнергетичная часть  $\gamma$ -спектра Tl.



77

Рис. 2в. Высокоэнергетическая часть  $\gamma$ -спектра Jb.

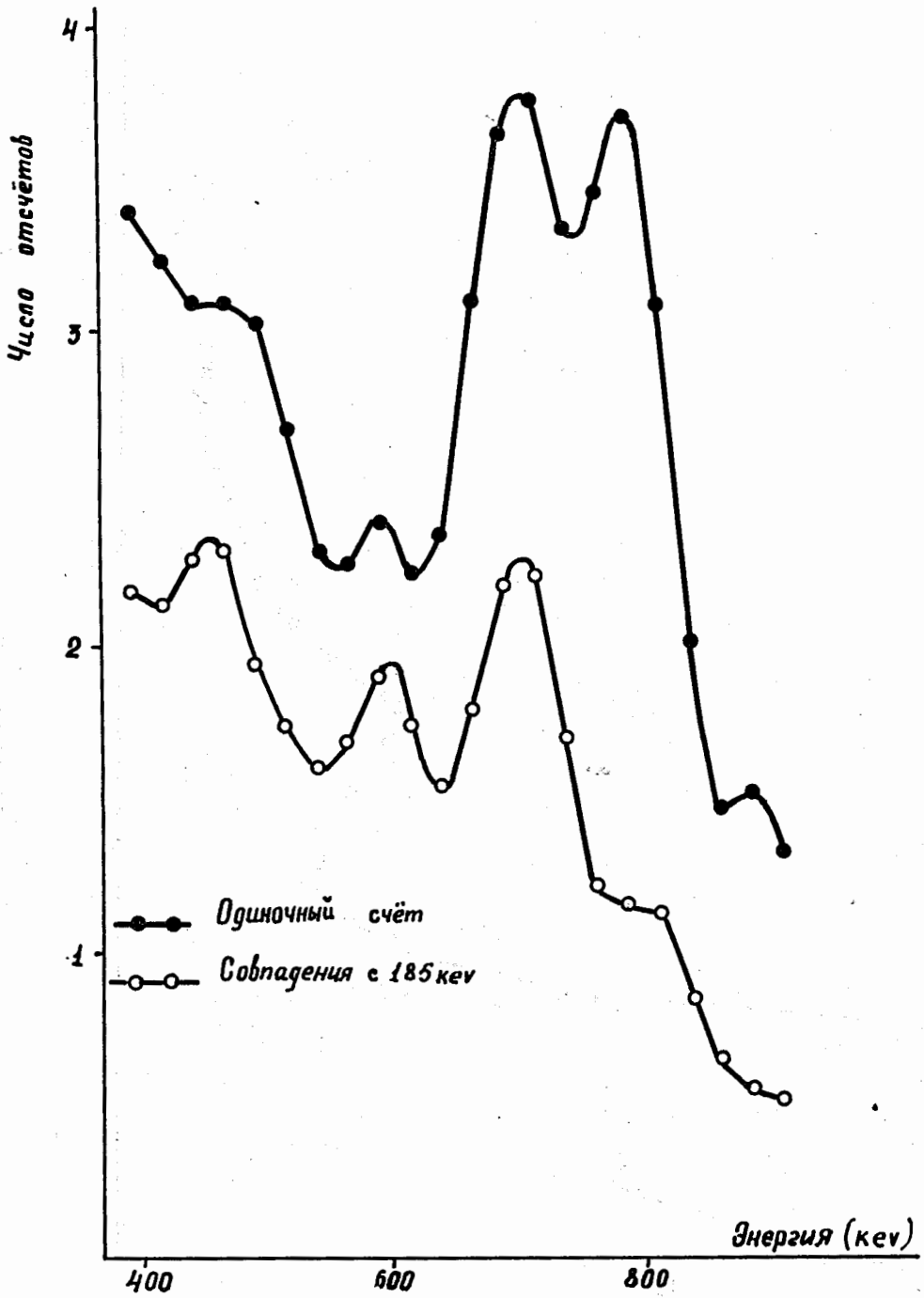


Рис.3а.  $\gamma$ - $\gamma$  - совпадения линий 460, 603 и 710 Кэв.

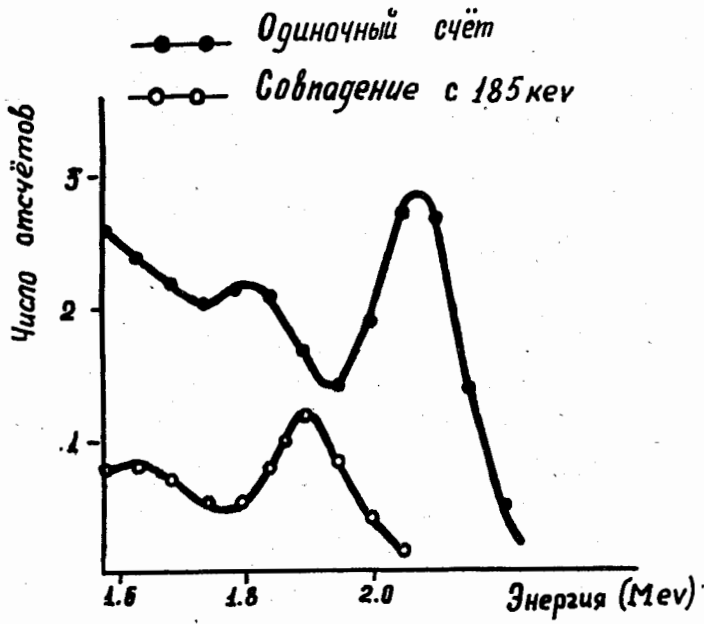


Рис. 3в.  $\gamma$ - $\gamma$  совпадения линии 1880 Кэв с линией 185 Кэв  $E_2^{166}$



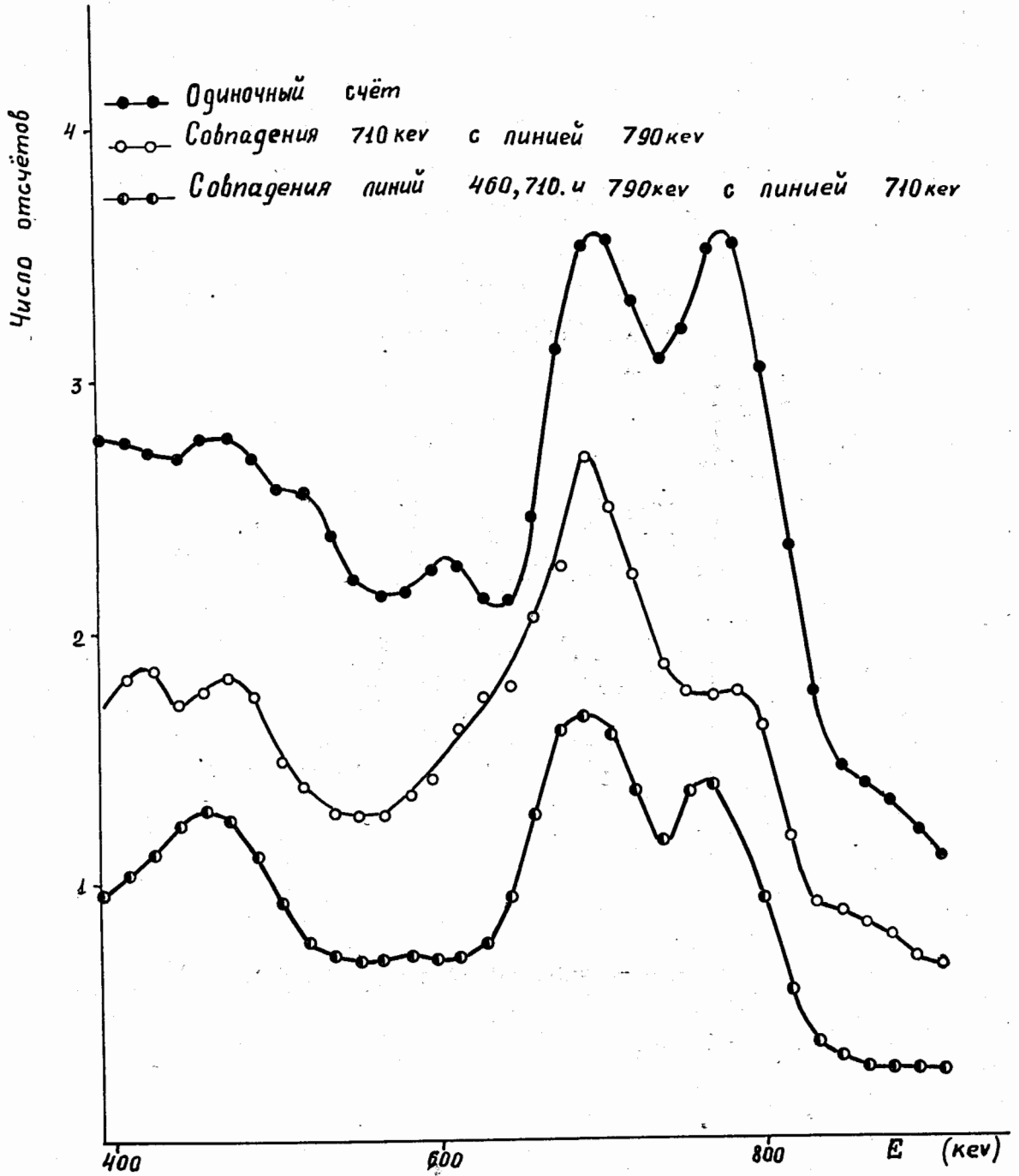


Рис. 4.

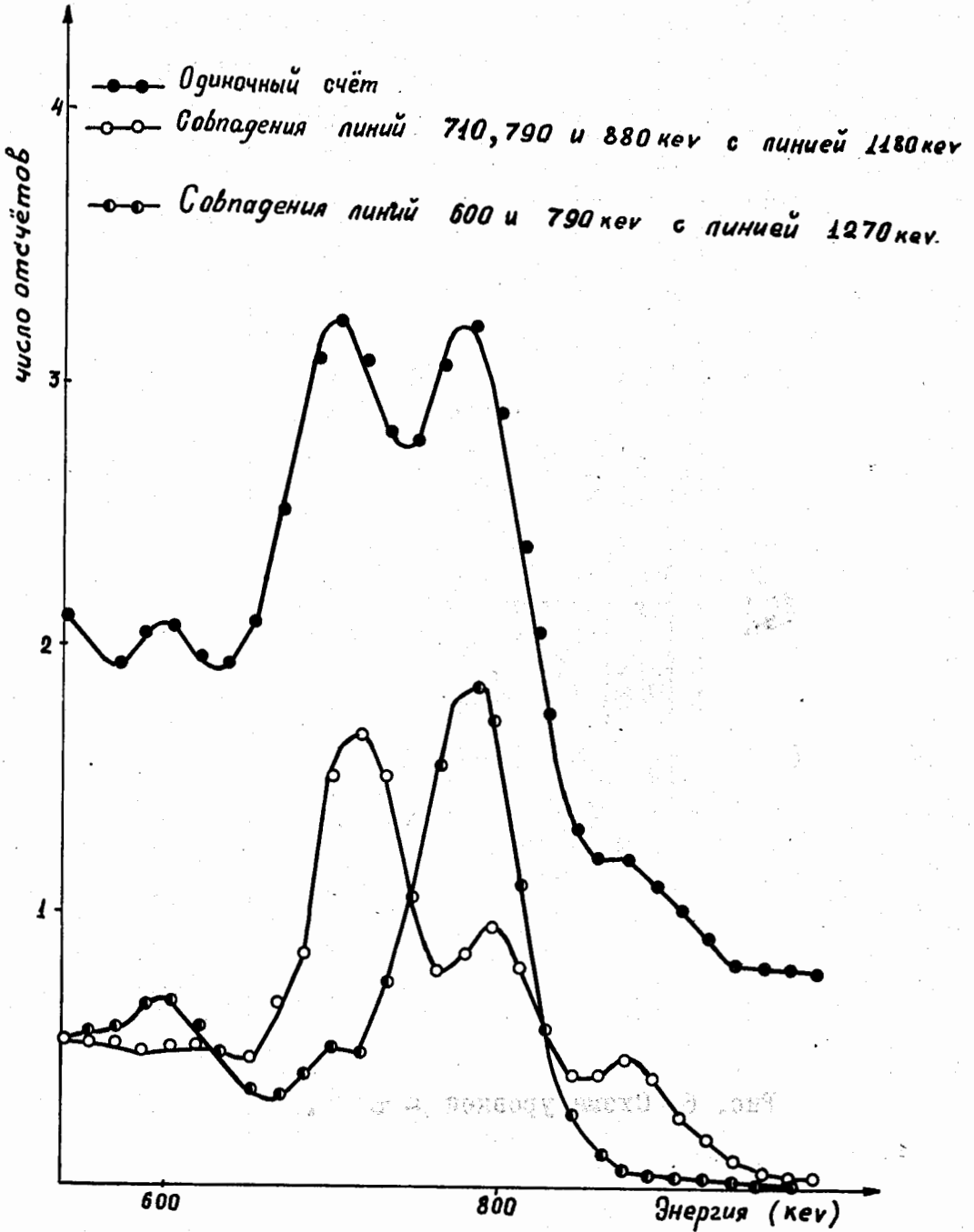


Рис. 5.  $\gamma\gamma$ -совпадения линий 1180 и 1270 Кэв  $E_{\gamma}^{166}$ .

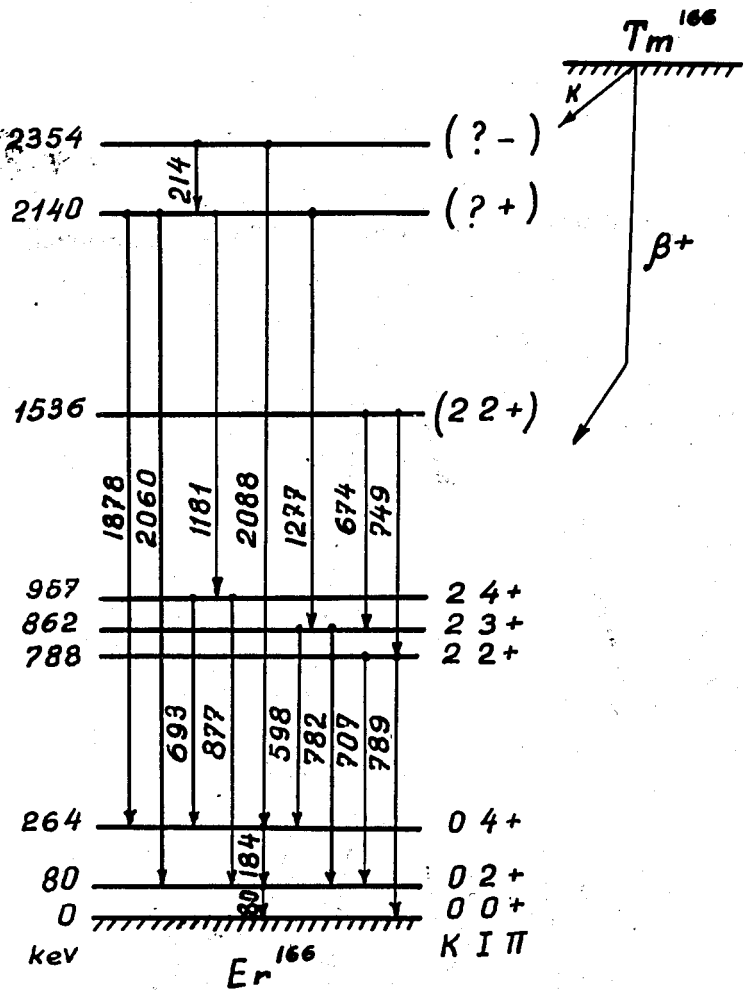


Рис. 6. Схема уровней  $Er^{166}$ .

## КОНВЕРСИОННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ $\gamma$ $^{166}\text{U}$

Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов

На  $\beta$  - спектрометре с двойной фокусировкой был исследован спектр конверсионных электронов  $\gamma$   $^{166}\text{U}$ , находящегося в равновесии с  $\text{Tl}^{166}$ .

Целью исследования было установление энергий  $\gamma$  - переходов с точностью 0,05-0,10%; этой цели можно было достичь, используя метод протонного резонанса для измерения магнитного поля. В таблице I приведены полученные нами значения энергий переходов, а также энергии переходов по работам Брабеца и др. /1/ и Джекоба и др. /2/.

Так как авторы работы /2/ указывают погрешность в определении энергий 0,15%, то наши результаты согласуются с результатами /2/ в пределах погрешности. Расхождения с данными Брабеца и др. /1/ достигают 0,8%; они имеют систематический характер в области больших энергий.

Нами уточнена также энергия перехода с возбужденного уровня  $\text{Tl}^{166}$  на основное состояние. В работе /3/ установлено, что мультипольность этого перехода M1, а о характеристиках уровней  $\text{Tl}^{166}$  сделано заключение в работе /4/.

На рис. I показана схема уровней  $Er^{166}$ , в которой размещена большая часть исследованных  $\gamma$ -переходов. В таблице 2 приведен энергетический баланс схемы уровней  $Er^{166}$ .

Значения энергии уровней, определенные по разным переходам, хорошо согласуются между собой.

Самые жесткие переходы  $\Delta E = 2053,6$  и  $2080,2$  Кэв на рис. I связаны с хорошо определенными уровнями. Однако, в двух работах /5 и 6/ наблюдались совпадения  $\gamma$ -лучей с энергиями 2000 и 200 Кэв (а не 80 Кэв). Если бы переходом 2053,6 и 2080,2 Кэв предшествовал достаточно интенсивный переход с  $\Delta E = 200$  Кэв, он должен был бы наблюдаться по конверсии.

В двух более ранних работах /1 и 2/ имеются данные об относительных интенсивностях конверсионных линий, которые несколько расходятся между собой. В таблице 3 приведены полученные нами значения и данные работ /1 и 2/.

На основании полученных результатов можно сделать некоторые заключения о четно-четном ядре  $Er^{166}$ . Четыре нижних уровня составляют ротационную полосу с  $K=0$ ; три следующих относятся к полосе, основанной на уровне 786,5 Кэв с  $K=2$  (если считать ядро  $Er^{166}$  аксиально-симметричным). Точное определение энергий уровней позволяет вычислить параметры  $A$  и  $B$  для ротационных полос, т.е. моменты инерции ядра и

величину связи между вращением ядра и другими видами его движения. Эти параметры определяются по известной формуле Бора-Моттельсона:

$$E_i = E_0 + A[I_i(I_i + 1) - I_0(I_0 + 1)] - B[I_i(I_i + 1) - I_0(I_0 + 1)]^2.$$

Для нижней ротационной полосы:

$$A_1 = 13,51 \pm 0,03 \text{ КэВ}$$

$$B_1 = 0,013 \pm 0,003 \text{ КэВ}.$$

Для ротационной полосы, основанной на уровне 786,5 КэВ:

$$A_2 = 12,33 \pm 0,13 \text{ КэВ}$$

$$B_2 = 0,014 \pm 0,008 \text{ КэВ}.$$

Малая величина  $B$  характерна для изотопов, относящихся к середине области деформированных ядер.

Знание интенсивностей конверсионных линий можно использовать для сравнения с теоретическими значениями, вычисленными по обобщенной модели (правила Алаги) и по теории неаксиальных ядер. В таблице 4 приводится сравнение относительных интенсивностей конверсионных линий переходов, идущих между уровнями первой и второй ротационных полос с теоретическими значениями. Предполагается, что мультипольности всех переходов  $E2$ .

Из таблицы 4 видно, что экспериментальные значения отношений интенсивностей лежат, как правило, между теоретическими величинами. Примерно такая же картина наблюдается и для большинства других деформированных ядер /7/.

Ленинградский Университет  
Объединенный институт ядерных исследований

Таблица I

Энергия переходов в  $E_{\gamma}^{I66}$  в КэВ

№ пп	Брабец и др./1/	Джекоб и др./2/	Наши данные
1	2	3	4
			82,4 ( $T_{\alpha}^{I66}$ )
I	80	80,6	80,6
2	-	84,1	-
3	-	147,2	- x
4	153,4	154,3	- x
5	-	170,0	-
6	183,9	184,5	184,4
7	193,6	194,7	194,8
8	214,1	215,1	215,4
9	282	280,2	280,5
10	299	-	298,3 x
11	347	345,5	344,3 x
12	405	403,8	403,9 x
13	433	-	- x
14	459	459,3	459,5
15	522	-	- x
16	596	595,0	594,8
17	598	-	599,0 x
18	-	-	(604,7)x
19	674	672,3	672,8
20	-	675,4	675,0
21	693	692,3	691,9
22	707	706,2	705,8
23	749	-	- x

I	2	3	4
24	760	758,9	758,9 x
25	782	780,0	779,6
26	789	787,1	786,7
27	(807)	-	- x
28	877	876,9	875,6
29	-	1081,6	1080,0
30	1158	1155,2	1153,8
31	1181	1179,8	1178,2
32	1209	-	1204,5
33	1277	1276,9	1275,0
34	1309	1304,3	1302,7
35	-	1350,4	1348,1
36	1380	1377,6	1375,9
37	(1423)	-	- x
38	-	1451,2	- x
39	-	1508,5	- x
40	1878	-	1868,9
41	2060	-	2053,6
42	2088	-	2080,2

x - переходы, не размещенные в схеме уровней (рис.1)



Таблица 2

Энергетический баланс в схеме уровней  $E_{r^{I66}}$ 

Принятая нами энергия уровня (КэВ)	Энергия прямого перехода на основной уровень $E_{r^{I66}}$ и сумма энергий каскадных переходов, идущих с данного уровня хх) КэВ.
80,6	80,6
265,0	80,6 + 184,4 = 265,0
545,5	265,0 + 280,5 = 545,5
786,5	786,7
	80,6 + 705,8 = 786,4
860,0	80,6 + 779,6 = 860,2
	265,0 + 594,8 = 859,8
956,5	80,6 + 875,6 = 956,2
	265,0 + 691,9 = 956,9
	786,5 + 170,0 = 956,5 <sup>x</sup>
1246,0	786,5 + 459,5 = 1246,0
1461,4	786,5 + 675,0 = 1461,5
	1246,0 + 215,4 = 1461,4
1545,5	786,5 + 758,9 = 1545,4
	1461,5 + 84,1 = 1545,6 <sup>x</sup>
1940,1	786,5 + 1153,8 = 1940,3
	860,0 + 1080,0 = 1940,0
2134,5	80,6 + 2053,6 = 2134,2
	265,0 + 1868,9 = 2133,9
	786,5 + 1348,1 = 2134,6
	860,0 + 1275,0 = 2135,0
	956,5 + 1178,2 = 2134,7
	1461,4 + 672,8 = 2134,2
	1940,1 + 194,8 = 2134,9

2161,7	$80,6 + 2080,2 = 2160,8$
	$786,5 + 1375,9 = 2162,4$
	$860,0 + 1302,7 = 2162,7$
	$956,5 + 2104,5 = 2161,0$

- x - энергия переходов 84,1 и 170,0 Кэв взята по работе /2/.
- xx - складываются энергия перехода, идущего с рассматриваемого уровня и принятая раньше и указанная в первой колонке энергия уровня, на который идет переход.

Таблица 3

Относительные интенсивности K-конверсионных линий

 $\gamma$  - переходов в  $Er^{166}$ .

$h\nu$ КэВ	Относительные интенсивности		
	Брабец и др./1/	Джекоб и др./2/	Наши данные
1	2	3	4
80,6	L I640	L I200	L I670
	M+N 450	M + N 435	M+N 420
184,4	I00	I00	I00
194,8	II	10,3	8,3
215,4	8,4	8,7	7,3
280,5	0,84	0,81	0,56
298,3	0,77	-	0,57
344,3	-	2,1	1,2
403,9	1,0	2,0	1,2
433 <sup>x</sup>	0,45	-	-
459,5	2,7	4,9	3,3
522 <sup>x</sup>	0,13	-	-
594,8	1,0	1,5	0,97
599,0	0,27	-	0,27
604,7	-	-	0,1
672,8 } 675,0 }	0,77	0,91	0,52
		0,39	0,17
691,9	1,45	2,2	1,63
705,8	2,4	3,4	2,7
749 <sup>x</sup>	0,18	-	-
758,9	0,77	1,4	0,80

1	2	3	4
779,6	2,7	4,4	3,6
786,7	1,2	2,3	2,2
875,6	0,55	0,73	0,56
1080,0	-	слаб.	0,18
1153,8	0,23	0,43	0,32
1178,2	1,2	1,3	1,3
1204,5	0,14	-	0,18
1275,0	1,7	1,9	2,0
1302,7	0,1	0,13	0,20
1348,1	-	0,14	0,17
1375,9	0,59	0,57	0,60
1423 <sup>x</sup>	0,1	-	-
1451 <sup>xx</sup>	-	0,15	0,07
1508 <sup>xx</sup>	-	0,097	-
1868,9	0,37	-	0,16
2053,6	0,68	-	0,65
2080,2	0,27	-	0,2

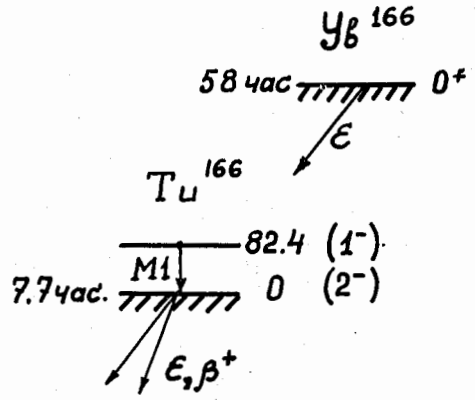
x - энергия перехода взята по работе /1/.

xx - энергия перехода взята по работе /2/.

Таблица 4

Экспериментальные и теоретические отношения  
интенсивностей конверсионных линий I66

Переходы	Теория		Эксперимент		
	аксиальные ядра	неаксиаль- ные ядра	Брабец и др./1/	Джекоб и др./2/	Наши данные
$2^+_{2} \rightarrow 0^+$	0,92	0,59	0,49	0,68	0,82
$2^+_{2} \rightarrow 2^+_{I}$					
$3^+_{2} \rightarrow 4^+_{I}$	0,14	0,34	0,37	0,34	0,27
$3^+_{2} \rightarrow 2^+_{I}$					
$4^+_{2} \rightarrow 4^+_{I}$	1,63	5,5	2,7	3,0	2,9
$4^+_{2} \rightarrow 2^+_{I}$					



$E_r^{166}$

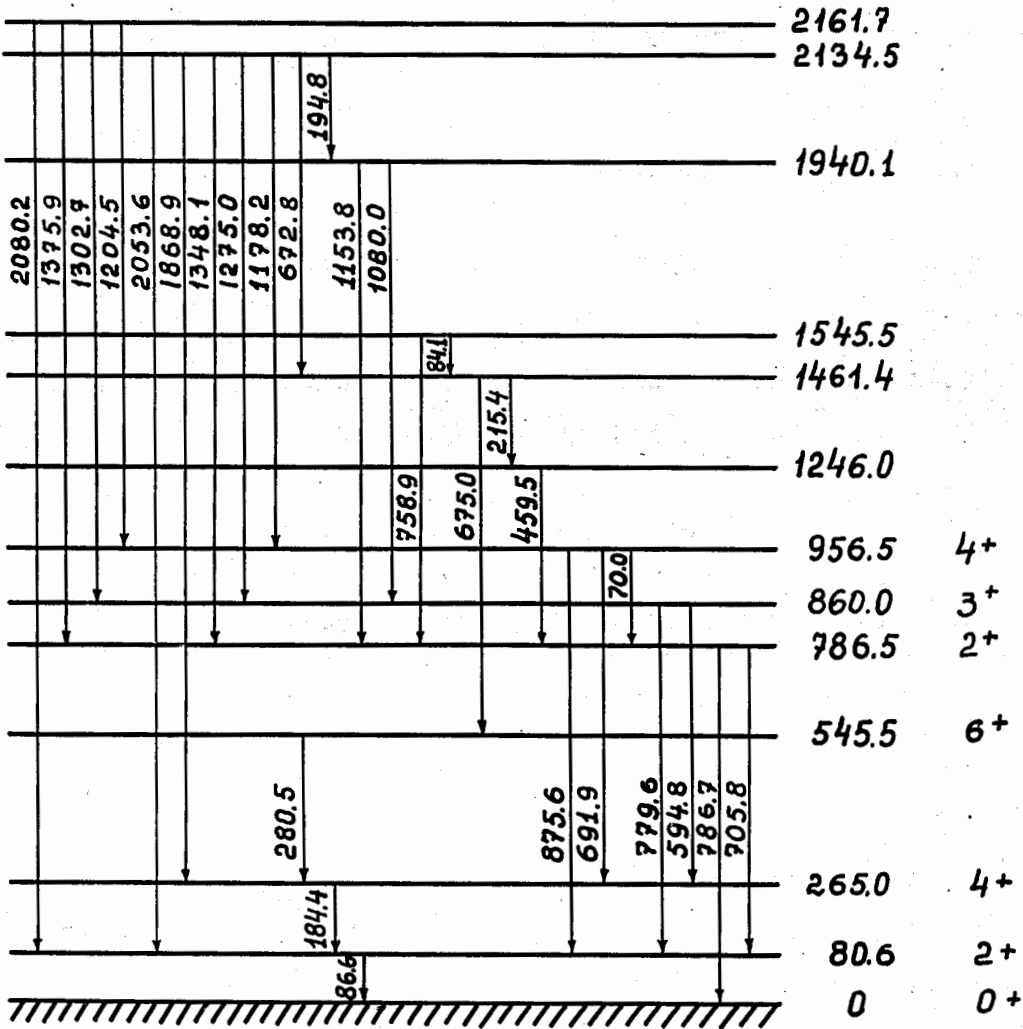


Рис. I Схема распада  $Y_B^{166} \rightarrow T_U^{166} \rightarrow E_r^{166}$

Литература

1. В. Брабец, К. Я. Громов, Б. С. Желепов, А. Г. Дмитриев,  
В. А. Морозов. Изв. АН СССР (сер. физ.) 23, 812, (1959).
2. K. P. Jacob, J. W. Mihelich, B. Harnatz, T. H. Handley  
Phys. Rev. 117, 1102 (1960).
3. Е. П. Григорьев, Б. С. Желепов, А. В. Золотавин  
Изв. АН СССР (сер. физ.) 23, 188 (1959).
4. Е. П. Григорьев, Б. С. Желепов, А. В. Золотавин  
Изв. АН СССР (сер. физ.) 23, 864 (1959)
5. P. Boskma, H. de Waard Nucl. Phys. 12, 533 (1959).
6. Е. Божек, Х. Неводничанский, С. Огаза, С. Сцимчик, Д. В. Норсеев  
Материалы 3-го совещания по нейтроно-дефицитным изотопам  
Дубна (1960).
7. Е. П. Григорьев, М. П. Авотина  
Изв. АН СССР (сер. физ.) 24, 325, (1960).

## П О З И Т Р О Н Ы $Tu^{166}$

Я.Жилич, Д.Норсеев, З.Прейбиш, С.Хойнацкий, Е.Воловский

Данные по позитронному излучению  $Tu^{166}$  ( $T_{I/2} = 7,7$  часов) можно найти в работах Вилкинсона и Хикса /1/, а также Боскма и де Ваарда /2/. Эти данные противоречивы. Согласно первой работе, максимальная энергия позитронного спектра равна 2,1 Мэв (около 0,5% позитронов на распад). Боскма и де Ваард утверждают, что они нашли две компоненты с энергиями  $450 \pm 80$  Кэв (1,8%) и  $1300 \pm 100$  Кэв (1,3%). В обоих случаях  $Tu^{166}$  получали и исследовали непосредственно.

В настоящей работе исследовалось  $\beta^+$ -излучение  $Tu^{166}$ , находящегося в равновесии с  $Ue^{166}$  ( $T_{I/2} = 57$  час.) который не излучает позитронов. Иттербий был получен из танталовой мишени, облученной протонами с энергией 660 Мэв. Фракция иттербия после выделения из мишени была немедленно подвергнута дополнительной очистке. Измерения начались по истечении 48 часов, когда  $Tu^{166}$  почти достиг равновесия с  $Ue^{166}$ .

$\beta^+$ -излучение  $Tu^{166}$  наблюдалось также в фракции тулия. Однако, через 48 часов после облучения (время необходимое для обработки мишени и перевозки изотопов из Дубны в Варшаву) интенсивность его была слишком слабой для точных измерений.



Измерения производились при помощи спектрометра с длинной линзой, в котором использовались спиральные диафрагмы для отделения позитронов от электронов.

На рис. I представлен спектр позитронов  $Tl^{166}$  в координатах Кюри, а на рис. 2 - энергетическое распределение. Четко видны две  $\beta$  - компоненты с максимальными энергиями 1,9 и 1,2 Мэв. Не исключено наличие компоненты (или компонент) с максимальной энергией ниже 1 Мэв.

Интенсивность излучения убывала с периодом полураспада  $^{166}Pb$ :  $T_{1/2} = 57$  часов.

В таблице собраны окончательные результаты - средние из трех измерений.

Компонента	Емакс (кэв)	Относительная интенсивность	Количество позитронов на распад /%	$\log ft$	$E/\beta^+$ (теорет)
$\beta_1$	$1920 \pm 20$	1	$\sim 1$	$\sim 7,8$	4
$\beta_2$	$1219 \pm 40$	0,092	$\sim 0,1$	$\sim 7,9$	18

Анализ спектра был сделан при условии, что форма обеих компонент соответствует разрешенным переходам.

При вычислении количества позитронов на распад предполагалось, что в основное состояние ведут только переходы 80,6 Кэв и 787,1 Кэв (смотри Джекоб и др). При этом использовались относительные интенсивности конверсионных линий, приведенные Брабецом и др. /4/.

Отношения вероятности электронного захвата к вероятности излучения позитронов ( $E/\beta^+$ ) определялись на основании данных собранных Вапстрой и др./5/. Эти данные точны для разрешенных переходов, а для первых запрещенных их можно рас-

смагивать в качестве первого приближения.

На рис. 2 представлена система низших возбужденных уровней  $E_{\Gamma}^{166}$ , взятая из работы Джекоба и др. /3/. Разница энергий уровней 787,1 Кэв ( $2+$ ) и 80,6 Кэв ( $2^+$ ) равна 796,5 Кэв. Эта величина близка к разнице максимальных энергий компонент  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (701 Кэв). Тогда очень вероятно, что эти компоненты соответствуют  $\beta$ -переходам на уровни 80,6 Кэв и 787,1 Кэв.

Основное состояние  $T_{11}^{166}$  обладает вероятно квантовыми характеристиками  $2^-$  /6/. Отсюда следует, что обе позитронные компоненты являются запрещенными переходами первого порядка.

Полная энергия перехода составляет

$$Q = 81 + 1920 + 1022 = 3023 \text{ Кэв.}$$

Институт ядерных исследований Польской  
Академии Наук. Варшава.

Институт экспериментальной физики  
Варшавского Университета. Варшава.

Объединенный институт ядерных исследова-  
ний. Дубна.

Л и т е р а т у р а

1. G. Wilkinson and H.G. Hicks, Phys.Rev. 75, 1370 (1949).
2. P. Boksma and H.DeWaard Nuclear Physics 12, 533 (1959).
3. K.P. Jacob, J.W. Michelich, B.Harmatz and T.H. Handley  
Phys.Rev. 117, 1102 (1960).
4. В.Брабец, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, А.Г.Дмитриев и  
В.А.Морозов, изв. АН СССР (сер.физич.) 23. 812 (1959).
5. A.H. Wapstra, G.J. Nijgh, R. Van Lieshout, Nuclear Spectroscopy Tables, North - Holland Publishing Company.
6. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Материалы второго совещания по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов редких земель, II. Итербиевая и тулиевая фракция, Обзорный доклад, Дубна 1959 г.

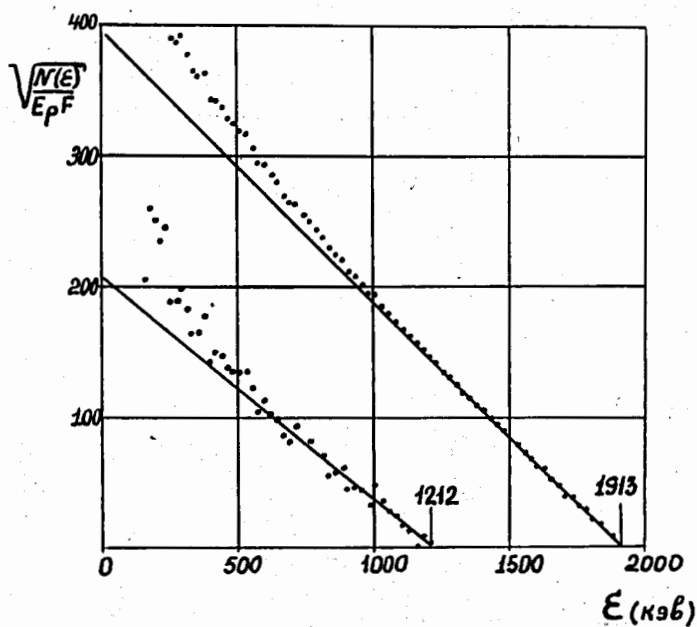


Рис. 1. Спектр позитронов  $Tl^{166}$ , полученный в одной из трех серий измерений. Координаты Кюри.

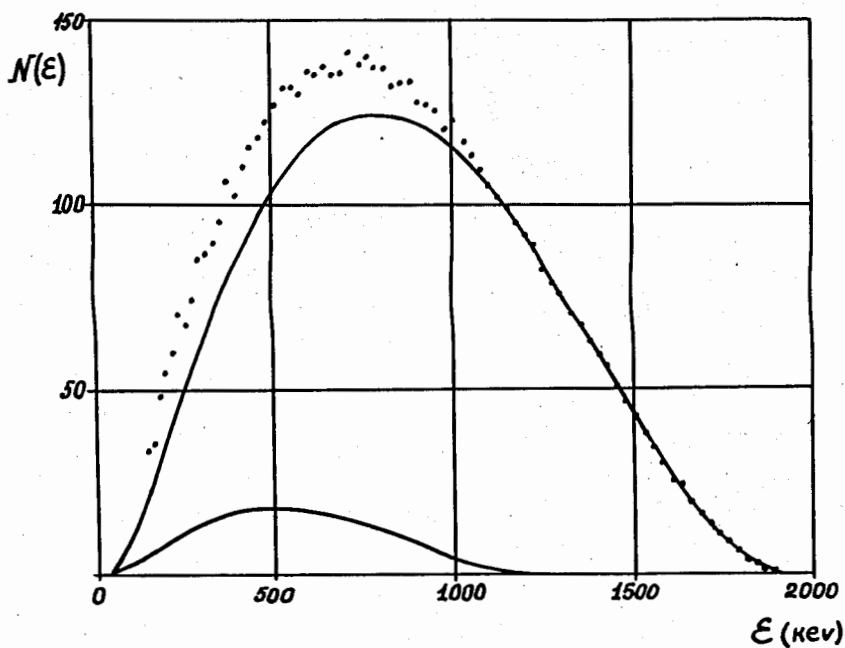


Рис. 2. Энергетическое распределение позитронов  $Tl^{166}$ .



ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЦЕПОЧКИ  
 РАСПАДОВ  $Ue^{164}$   $\xrightarrow{75\text{м}}$   $Tu^{164}$   $\xrightarrow{2\text{м}}$   $Er^{164}$  В ОБЛАСТИ  
 ОТ 150 КЭВ ДО 900 КЭВ

К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Зыонг Чонг Бай,  
 В.А. Халкин, В.Г. Чумин

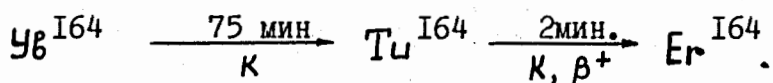
Цепочка распадов  $Ue^{164} \longrightarrow Tu^{164} \longrightarrow Er^{164}$  идентифицирована в работах /1,2/. Установлено, что  $Ue^{164}$  с периодом полураспада 75 мин. превращается путем К-захвата в  $Tu^{164}$ . Период полураспада  $Tu^{164} \sim 2$  мин. При распаде  $Tu^{164}$  возникают позитроны с граничной энергией 2940 Кэв и  $\gamma$ -лучи с энергией 91,5 Кэв и 211 Кэв. Установлено, что позитронный распад идет главным образом на основной уровень  $Er^{164}$ . Переходы 91,5 Кэв и 211 Кэв возникают при разрядке уровней 2+ и 4+ ротационной полосы основного состояния.

Мы продолжили исследование спектра конверсионных электронов цепочки начинающейся с  $Ue^{164}$ .

Препарат, содержащий  $Ue^{164}$ , получался так же как и в работах /1,2/ (облучение тантала быстрыми протонами). Длительность облучения, как правило, составляла около 2-х часов. Хроматографическое выделение иттербиевой фракции происходило через 2-2,5 часа после конца облучения. Измерения начинались через двадцать-тридцать минут после выделения иттербия.

Изучение спектра конверсионных электронов производилось при помощи  $\beta$ -спектрометра с однородным поперечным магнитным полем (светосила  $\sim 0,1\%$ , разрешающая способность  $\sim 0,8\%$ ).

Целью исследований являлось получение сведений о конверсионных электронах, возникающих при распаде



Известно, что в иттербии, выделенном из тантала, облучённого быстрыми протонами, при указанных выше временах облучения и химической обработки, содержатся следующие изотопы иттербия:  $Yb^{164}$  (75 мин.),  $Yb^{166}$  (60 час),  $Yb^{167}$  (18 мин) и  $Yb^{169}$  (30 дней).

Естественно, что конверсионные электроны, возникающие при распаде  $Yb^{166}$ ,  $Yb^{167}$  и  $Yb^{169}$ , затрудняли решение поставленной задачи. Электронные спектры  $Yb^{169}$  и  $Yb^{166}$  и дочернего  $Tm^{166}$  (7,7 часа) достаточно хорошо изучены. При учете излучения этих изотопов мы использовали данные работ /3,4/. О спектре  $Yb^{167}$  в изучаемой области ничего неизвестно; поэтому приходилось учитывать возможность присутствия электронных линий с периодом полураспада 18 мин. За один опыт удавалось исследовать, т.е. обнаружить конверсионные линии и грубо проследить за их периодом полураспада, участок спектра протяжением в 50-80 Кэв.

Интенсивность линий определялась по отношению к позитронному спектру. Для этого каждый раз измерялась скорость счета на максимуме позитронного спектра  $Yb^{164}$ . Форма позитронного спектра изучена в работе /1/.

Предварительные результаты опытов, представленные в таблице I, позволяют сделать следующие выводы:

I. При распаде  $Yb^{164} \rightarrow Tm^{164} \rightarrow Er^{164}$  возникает много  $\gamma$ -переходов. Это значит, что в этой цепочке воз-

буждается много уровней  $E_r^{I64}$ , а возможно и  $T_L^{I64}$ .

2. Возможно, что переходы 773 Кэв и 862 Кэв есть переходы с уровня с энергией 862 Кэв на основное и первое возбужденное состояние ротационной полосы основного состояния  $E_r^{I64}$ .

Таблица I. Результаты изучения спектра конверсионных электронов  $^{164}\text{U}$   $\frac{75 \text{ м.к.}}{\text{К}}$   $T_L^{I64}$   $\frac{2 \text{ м.к.}}{\text{К, } \beta^{\pm}}$   $E_r^{I64}$ .

№	$H_p$	$E_e$ (кэв)	Идентиф.	Относит. интенсивн. (а)	$T_{1/2}$
1.	1402,6	$150,7 \pm 1,0$ (б)	К 208	0,22	
2.	1488	167,3 (в)		0,01	$100 \pm 25$ мин.
3.	1590	187,8 (в)		0,01	~80 мин.
4.	1641	198,3 (б)	L 208	0,1	
5.	1675	205,4 (б)	M 208	0,02	
6.	2092	$297,9 \pm 1,0$	К 355,4	0,01	~70 мин.
7.	2116	$303,3 \pm 1,0$	К 360,8	0,016	~70 мин.
8.	2239	$332,5 \pm 1,0$	К 391	0,04	50-80 мин.
9.	2354	$360 \pm 2$			
10.	2438	390,8			$\leq 75$ мин.
11.	2462	$386,6 \pm 1$	(К 446)		$90 \pm 30$ мин.
12.	2549	408,2			
13.	2578	415,4			~75 мин.
14.	2596	419,9 (г)			
15.	2635	429,7 (г)			
16.	2662	$436,5 \pm 1$	(L 446)		$110 \pm 40$ мин.
17.	2693 $\pm 5$	$444,2 \pm 1,5$	(M 446)		$110 \pm 40$ мин.
18.	2704	447			
18a.	2835	481		0,007	
19.	3719	$715,3 \pm 2,5$	К 773	0,014	$(80 \pm 20)$ мин.
20.	4046	$805 \pm 3$	К 862	0,011	$(90 \pm 30)$ мин.
21.	3355	617,1			$\leq 75$ мин.
22.	4210	$850 \pm 3$	К 907,5	0,005	$(80 \pm 20)$ мин.
23.	4287	$872 \pm 3$	К 930	0,008	$(90 \pm 20)$ мин.



Примечания к таблице

- а) Интенсивности даются по отношению к интенсивности позитронного спектра, принятой за 100 .
- б) К-208, L-208 и M-208 - уточненные данные о переходе  $E_{\gamma} = 211$  Кэв.
- в) Линии совпадают по энергии с L 177,3 и L198,0 Кэв  $_{\text{у}}\text{I}69$  .
- г) Линии проявились только после вычитания спектра конверсионных электронов  $T_{\text{L}}\text{I}66$  .

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, Г.Я.Умаров, В.Г. Чумин.  
Изв. АН СССР сер. физич. 24, № 3, 278 (1960)
2. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.Далхсурен, Б.С.Джелепов, И.Ю.Левенберг, Ю.В.Норсеев, В.Н.Покровский, В.Г.Чумин, И.А.Ютландов.  
Препринт ОИЯИ Р.493 Дубна 1960 г.
3. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Б.К.Преображенский  
Изв. АН СССР сер. физ. т.22, № 8, стр.775 (1958).
4. В.Брабец, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, А.Г.Дмитриев, В.А.Морозов .  
Изв. АН СССР сер. физ. т.23, № 7, 812 (1959).

$\beta^-$  - ИЗЛУЧЕНИЕ  $Tu^{172}$ 

О. Волчек, Я. Жилич, З. Прейбиш, С. Хойнацкий, И. Ютландов

В 1951 году Фолгер и др. /1/ впервые установили существование изотопа тулия с периодом полураспада 2-3 дня, но массы его не определили. Пятью годами позже Нэзевей и др. /2/ изучили изотоп более точно :

1. Установили массовое число:  $A=172$ .
2. Измерили период полураспада:  $T_{1/2} = 63,6 \pm 0,3$  часа.
3. Установили наличие  $\beta^-$ -излучения с максимальной энергией 1,5 Мэв /измеренной абсорбционным методом/.
4. Нашли ряд  $\gamma$ -переходов: 1,79; 1,44 ; 1,09 ; 0,076, а также более слабые 0,40 и 0,18 Мэв.

Во время исследования изотопов тулия, полученных из танталовой мишени, облученной протонами с энергией 660 Мэв, был замечен (в настоящей работе) сплошной спектр электронов (рис.1). Приведенные ниже факты дают указание на то, что это излучение  $Tu^{172}$ .

1. Фракция тулия после выделения из мишени была дополнительно очищена (рис.2), поэтому мы уверены в том, что наблюдаемое  $\beta^-$  - излучение принадлежит к изотопу тулия.

2. Измеренный период полураспада равен  $61 \pm 3$  часам (рис.3); таким образом, он близок к величине, приведенной в работе Нэзевей и др. /2/.

3. Характер излучения был определен точно, так как в измерениях пользовались линзовым спектрометром со спиральными диафрагмами для отделения позитронов и электронов.

4. Отношение поперечных сечений для создания исследуемого изотопа  $Tu^{167}$  равно  $\sim 10^{-4}$ , что качественно соответствует ожидаемому.

Рис. 4 представляет  $\beta$ -спектр в координатах Кюри. По истечении пяти дней после облучения мишени сплошной спектр был еще сильно деформирован наличием конверсионных линий  $Tu^{165}$ . Через семь дней, отделявших нас от первого измерения, график Кюри представлял уже прямую линию в пределах энергии от 900 Кэв до 1866 Кэв (максимальная энергия).

Если предположить, что наблюдаемая компонента является единственной, то  $\log ft$  равен 8,2. Большое количество конверсионных линий  $Tu^{165}$  и  $Tu^{167}$  с энергией ниже 900 Кэв делает оценку интенсивности и энергии мягких компонент  $\beta^-$ -спектра (если они вообще существуют) практически невозможной.

При исследовании распада  $Lu^{172}$  обнаружено существование ротационных уровней  $Yb^{172}$ : 76 Кэв (2+) и 256 Кэв (4+) (см. книгу Желепова и Пекера /3/). Согласно Пекеру /4/, основное состояние  $Tu^{172}$  имеет следующие квантовые характеристики: спин 2 и отрицательную четность. Следовательно, наблюдаемое в настоящей работе  $\beta^-$ -излучение, возможно, соответствует переходу на уровень 76 Кэв (2+) (запрещение первого порядка). Схему распада  $Tu^{172}$  в данном предположении представляет рис.5.

Примечание. Близкие результаты ( $T_{1/2}=58$  час,  $E_{\beta} = 1900$  Кэв) были доложены на X совещании по ядерной спектроскопии в январе 1960 года Ж. Желевым и др.

Л и т е р а т у р а

1. Folger, Stevenson and Seaborg University of California Radiation Laboratory Report UCRL - 1195 (revised), May, 1951 (unpublished).
2. D.R. Nethaway, M.C. Michel, W.E. Netvik Phys.Rev. 103, 147 (1956).
3. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер, Схемы распада радиоактивных ядер, издательство АН СССР, Москва - Ленинград, 1958 .
4. Л.Пекер, изв. АН СССР (сер.физич.), 21, 1029, (1957)

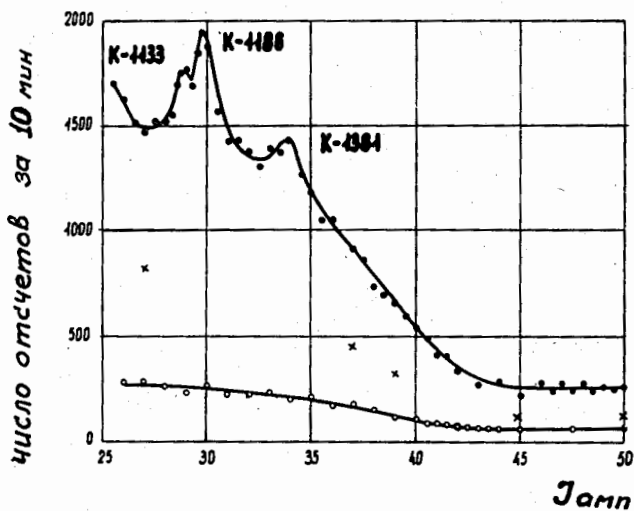


Рис. 1. Сплошной  $\beta^-$ -спектр (5, 8 и 12 дней после облучения мишени).

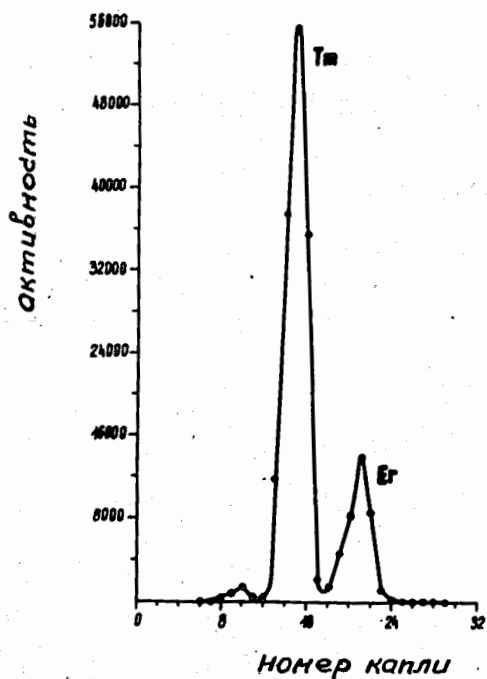


Рис. 2. График добавочной очистки тулиевой фракции.

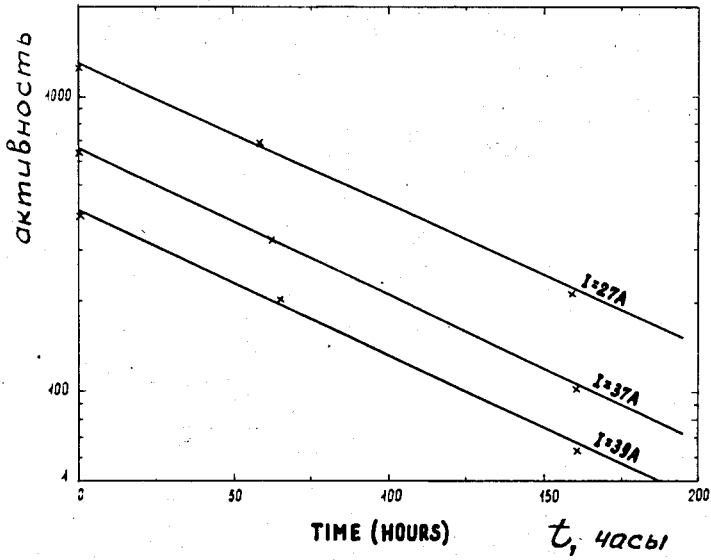


Рис.3. Измерение периода полураспада.

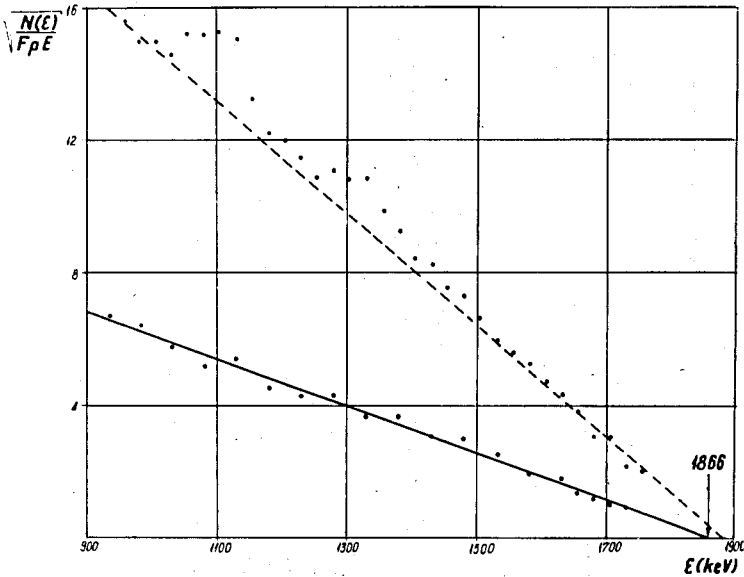


Рис.4. График Кюри (5 и 12 дней после облучения мишени).

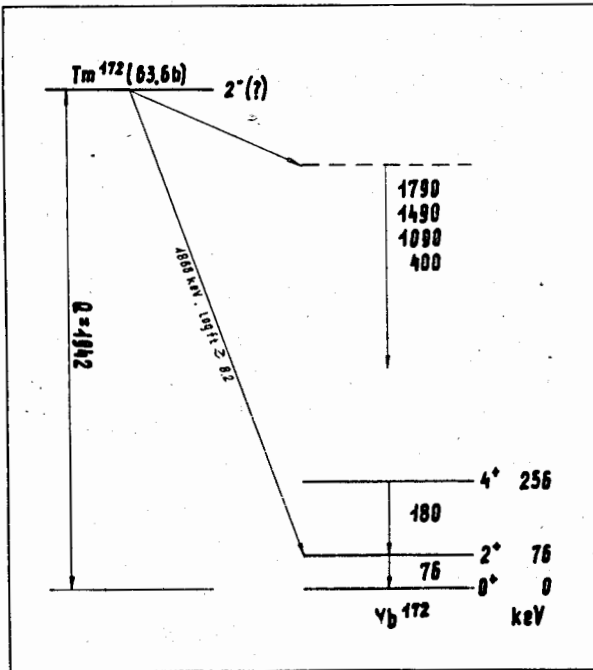


Рис.5. Возможная схема распада  $Th^{172}$

Институт ядерных исследований Польской Академии наук, Варшава.  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.



ИЗУЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  $Tu^{168}$ 

В. Брабец, Б. Крацик, М. Вобецки

Радиоактивный  $Tu^{168}$  (период полураспада  $T = 87g$ ) лежит между двумя стабильными изобарами —  $Er^{168}$  и  $Yb^{168}$ , поэтому принципиально возможен распад в обе стороны. Однако, до сих пор известен распад только в  $Er^{168}$  /1-3/, который происходит путем электронного захвата. Только в работе Вилкинсона и Хикса /4/ было высказано предположение, что  $Tu^{168}$  переходит путем  $\beta^-$ -распада также в  $Yb^{168}$ . Предположение было сделано на основании того, что в спектре излучения  $Tu^{168}$  авторы обнаружили электроны с энергией  $\sim 500$  Кэв, которые можно было идентифицировать как электроны сплошного  $\beta^-$ -спектра. В таком случае для отношения обеих ветвей распада авторы получили величину  $\frac{\beta^-}{\beta^+} \approx 2\%$ . Нами была предпринята попытка проверить это предположение.

$Tu^{168}$  был получен в реакции глубокого отщепления тантала, облученного протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне. Из тантала химически были выделены редкие земли, которые затем разделялись по  $Z$ . Из тулиевой фракции было изготовлено несколько источников разной толщины и различной активности. Подложкой источника служила алюминиевая фольга толщиной  $5\mu$ , диаметр источника при всех измерениях был 3 мм. Измерения были проведены с помощью магнитного спектрометра с промежуточным изображением /5/, который обладает высокой светосилой. Разрешающая способность спектрометра составляла около

Тулиевая фракция, кроме  $Tu^{168}$ , содержит также  $Tu^{167}$   
 $/ T_{1/2} = 9,6$  дня  $/$ ,  $Tu^{166} / T_{1/2} = 7,7$  час. $/$  и  $Tu^{165}$   
 $/ T_{1/2} = 29$  час. $/$ . Измерения поэтому были начаты через 3 недели  
 после конца облучения, когда  $Tu^{166}$  и  $Tu^{165}$  уже распались, и  
 продолжались три месяца. К концу измерений практически распался  
 и  $Tu^{167}$ .

В спектре конверсионных электронов  $Tu^{167}$  нами были наблю-  
 дены конверсионные линии, соответствующие переходам с энергией  
 57, 208 и 536 Кэв.

В спектре конверсионных электронов  $Tu^{168}$  мы наблюдали 9  
 линий, идентификация и относительные интенсивности которых при-  
 ведены в табл. Линия K-304 другими авторами не наблюдалась.

Конверсионные линии наблюдались на фоне сплошного  $\beta$ -спек-  
 тра, который распадался с периодом, примерно равным периоду по-  
 лураспада  $Tu^{168}$ . Так как в контрольных измерениях, проведенных  
 на сцинтилляционном спектрометре, мы не нашли  $\gamma$ -линию, соот-  
 ветствующую аннигиляционным квантам, и так как эта линия не была  
 наблюдаема другими авторами  $/2/$ , можно утверждать, что речь идет  
 о  $\beta^-$ -спектре. С помощью графика Ферми  $/$  рис. I  $/$  была определе-  
 на граничная энергия  $\beta^-$ -спектра  $E_0 = 940 \pm 20$  Кэв. Отношение  
 интенсивностей сплошного спектра и конверсионной линии L + M-80  
 равно  $\frac{J_{\beta}}{J_{L+M-80}} = 0,45 / 44$  день после облучения  $/$ .

Так как найденная нами граничная энергия очень хорошо сог-  
 ласуется с граничной энергией  $\beta^-$ -спектра  $Tu^{170} / T=129$  дней/  
 возникает вопрос, не принадлежит ли измеренный нами сплошной  
 спектр  $Tu^{170}$ . Это означало бы, что в реакции глубокого отщеп-  
 ления Ta возникает наряду с нейтроно-дефицитными изотопами

$T_{\mu}^{I65-I68}$  и нейтроно-избыточный изотоп  $T_{\mu}^{I70}$ . Дать ответ на этот вопрос мы сможем примерно через год на основании точного измерения кривой распада тулиевой фракции.

В том случае, если наблюдаемый сплошной спектр принадлежит  $T_{\mu}^{I68}$ , электронный захват проходил бы в 81%, а  $\beta^{-}$ -распад - в 19% всех распадов  $T_{\mu}^{I68}$ .

Если же сплошной спектр принадлежит  $T_{\mu}^{I70}$ , то для отношения выходов  $T_{\mu}^{I68}$  и  $T_{\mu}^{I70}$  в реакции глубокого отщепления Та получается величина 100 : 30. Эти величины мы рассчитали на основе измеренного нами отношения интенсивностей сплошного

$\beta$ -спектра и конверсионной линии  $L + M - 80$  и схемы распада и интенсивностей отдельных  $\gamma$ -переходов, приведенных в работе /3/.

Институт ядерных исследований ЧСАН, Прага

ТАБЛИЦА

№	Энергия электронов, КэВ	Относительная интенсивность	Идентификация
1.	70,8	$9.000 \pm 1.500$	L + M - 80
2.	123	-	K - 180
3.	139	-	K - 196
4.	247	$40 \pm 13$	K - 304
5.	393	100	K - 450
6.	441	$20 \pm 6$	L - 450
7.	500	$16 \pm 6$	K - 557
8.	686	$16 \pm 6$	K - 745
9.	766	$40 \pm 13$	K - 823

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов К.Я., Джелепов Б.С., Преображенский Б.К.,  
Изв. АН СССР, сер. физ. 21, 918 /1957/.
2. Кочеванов В.И., Кузнецов Р.А., Мурин А.Н., Покровский В.Н.  
Смирнов Л.А., Изв. АН СССР, сер. физ. 23, 1455 /1959/
3. Jacob K.P., Mihelich J.W., Harmatz B., Handley T.H. Phys.Rev.  
117, 1102 (1960).
4. Wilkinson G., Hicks H.G Phys.Rev. 75, 1370 (1949).
5. Plajner Z., Brabec V. Cs. Cas. fys. 10, 115 (1960).

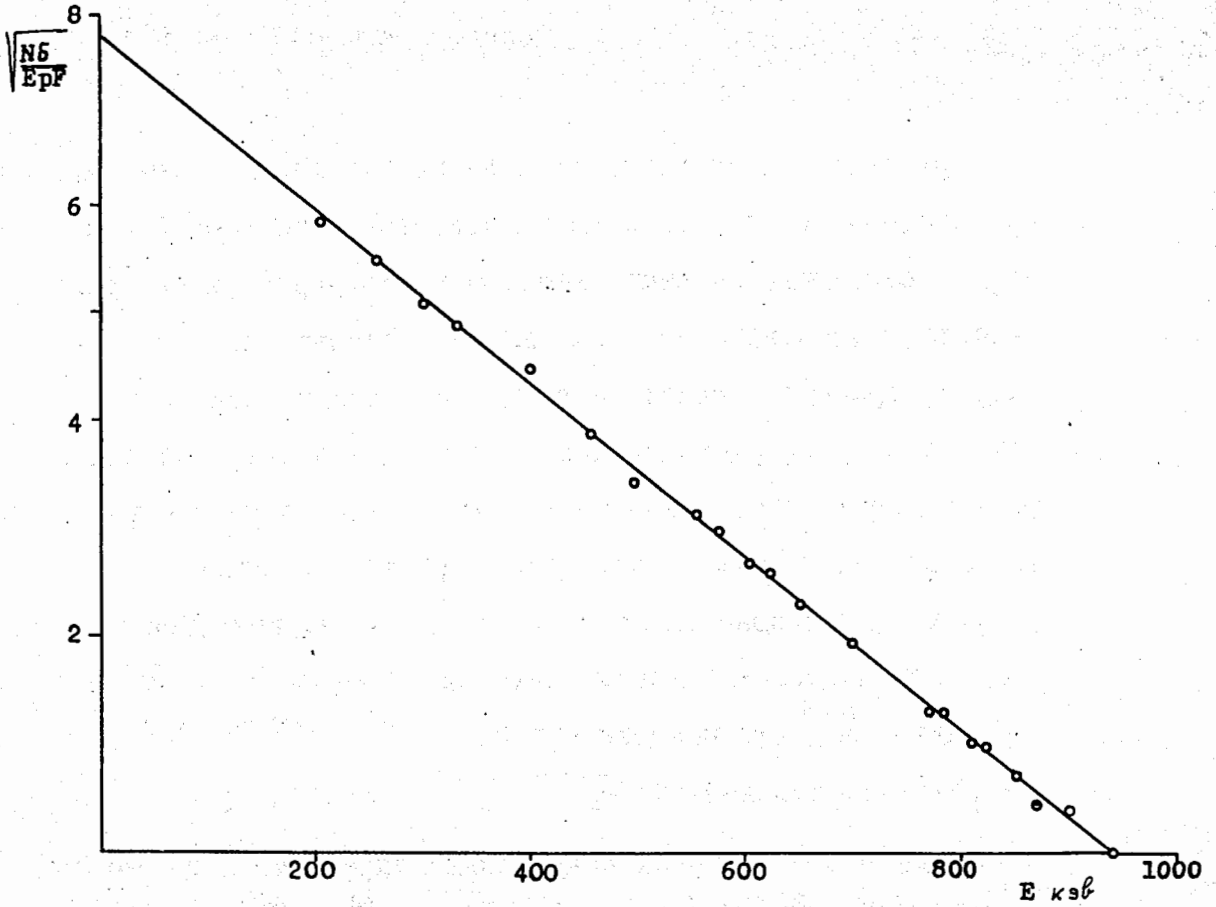


Рис. 1. График ферми для сплошного  $\beta^-$ -спектра, измеренного в тулливой фракции.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА $Tu^{I67}$ и $Tu^{I68}$

Э.А.Кудряшов, Г.С.Новиков, И.М.Рогачев

При определении периодов полураспада долгоживущих изотопов непосредственно по убыванию активности, возникают большие трудности, связанные со стабильностью регистрирующей аппаратуры в течение длительного времени. Вполне естественно установить период полураспада исследуемого изотопа сравнением убывания интенсивности его конверсионных линий и конверсионных линий изотопа с достаточно большим и надежно установленным периодом полураспада. Для этого необходимо подмешать реперный изотоп и сравнить интенсивности по крайней мере двух конверсионных линий, принадлежащих разным изотопам; искомому -  $J_1^{(1)}$  и эталонному -  $J_1^{(2)}$ , в моменты времени  $t_1^{(1)}$  и  $t_1^{(2)}$ , и соответственные значения интенсивностей  $J_2^{(1)}$ ,  $J_2^{(2)}$  в моменты времени  $t_2^{(1)}$ ,  $t_2^{(2)}$ .

Тогда искомый период полураспада определится по формуле:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{t_2^{(2)} - t_1^{(2)}}{T_2^{(ст.)} (t_2^{(1)} - t_1^{(1)})} + \frac{\lg J_1^{(1)} - \lg J_1^{(2)} + \lg J_2^{(2)} - \lg J_2^{(1)}}{0.301 (t_2^{(1)} - t_1^{(1)})}$$

В настоящей работе к тулиевой фракции, в которой спустя 30 дней после хроматографического разделения присутствовал лишь изотоп  $Tu^{I67}$ , был подмешан  $Ue^{I69}$ .

Период полураспада  $Ue^{I69}$  определен в ряде работ /1,2,3/. Мы приняли значение  $T_{1/2} Ue^{I69}$  равным  $(30,6 \pm 0,2)$  дн., согласно /3/. Препарат  $Tu^{I67} + Ue^{I69}$ , приготовленный таким образом, измерялся последовательно 3 раза с интервалом около 14 дн.

На рис. I изображены две серии измерений. Как видно, группа конверсионных линий  $Yb^{169}$  хорошо отделена от линий  $Tu^{167}$ .  
 Лишь на интенсивную линию (L + M) 208,3  $Tu^{167}$  накладывается слабая линия (L + M) 198  $Yb^{169}$ . Её интенсивность была учтена по данным работы /4/.

В табл. I приведены интенсивности сравниваемых линий и промежутки времени между моментами их измерений. Значения периодов  $T_{I/2}$   $Tu^{167}$ , вычисленные по формуле (I), приведены в табл. 2. В столбце 2 табл. 2 указано, сравнением каких линий получено данное значение  $T_{I/2}$ . Следует заметить, что погрешность в определении  $T_{I/2}$  при использовании формулы (I), составляет более чем учетверенную погрешность интенсивности конверсионных линий. Несмотря на то, что спектры, изображенные на рис. I, снимались очень тщательно, максимальный разброс значений  $T_{I/2}$  достигает 13%, что соответствует погрешности в измерении интенсивности конверсионных линий около 3%. Погрешность, связанная с конечным временем измерения линии, не превышает 0,3% для  $Yb^{169}$  и 0,7% для  $Tu^{167}$ . Среднее значение периода полураспада и средняя погрешность оказались равным

$$T_{I/2} Tu^{167} = (9,6 \pm 0,3) \text{ дня.}$$

Для оценки периода полураспада  $Tu^{168}$  был использован выдержанный длительное время источник, приготовленный испарением в вакууме части тулиевой фракции, содержащий небольшую примесь  $Yb^{169}$ . Сравнивались интенсивности конверсионных линий L + (M + N) -80  $Tu^{168}$  и K-198  $Yb^{169}$  по трем сериям измерений.



В табл. 3 приведены интенсивности указанных линий и промежутки времени между моментами измерений.

Вычисленное по формуле (I) значение  $T_{I/2} \text{ } ^{168}\text{Pu}$  составляет  $(87 \pm 12)$  дней.

Большая погрешность объясняется малой интенсивностью линий  $^{169}\text{Yb}$ .

Таблица I.

Интенсивности сравниваемых линий

в препарате  $^{167}\text{Tl} + ^{169}\text{Yb}$

№	Наименован. линии	Интенсивность			$\Delta t$ 2-1 (дней)	$\Delta t$ 3-1 (дней)	$\Delta t$ 3-2 (дней)
		I сер.	II сер.	III сер.			
1.	К 198 $^{169}\text{Yb}$	8,3	10,5	5,3	13,8	30,8	17,0
2.	(К-177 + М) 130,5 $^{169}\text{Yb}$ К-198	20,6	24,8	12,4	13,8	30,8	17,0
3.	К 208,3 $^{167}\text{Tl}$	33,5	20,5	4,2	13,80	30,8	17,0
4.	(L + M) 208,3 $^{167}\text{Tl}$	69,1	40,7	11,1	14,2	31,1	16,9

Таблица 2.

Определение периода полураспада  $T_{1/2}$  I67

№	Сравниваем. линия	№ серия	$T_{1/2}$ (дней)	№	Сравн. линии	№ серии	$T_{1/2}$ (дней)
1.	K-I98 K-208,3	1,2	9,26	7.	K-I77+K-I98 K-208,3	1,2	9,77
2.	-"-	1,3	9,32	8.	-"-	1,3	9,68
3.	-"-	2,3	9,10	9.	-"-	2,3	9,11
4.	K-I98 (L +M)208,3	1,2	9,09	10.	K-I77+K-I98 (L +M)208,3	1,2	9,58
5.	-"-	1,3	10,04	11.	-"-	1,3	10,07
6.	-"-	2,3	10,17	12.	-"-	2,3	10,20

Таблица 3.

Определение периода полураспада  $T_{1/2}$  I68.

№	Наименован. линии	Интенсивность			$\Delta t$ 2-1 (дней)	$\Delta t$ 3-1 (дней)	$\Delta t$ 3-2 (дней)
		I серия	II серия	III серия			
1.	L +(M+ N)-80 $T_{1/2}$ I68	44,1	43,8	34,7	2,0	22,1	20,0
2.	K I98 $T_{1/2}$ I69	21,0	17,9	10,3	2,8	22,9	20,2

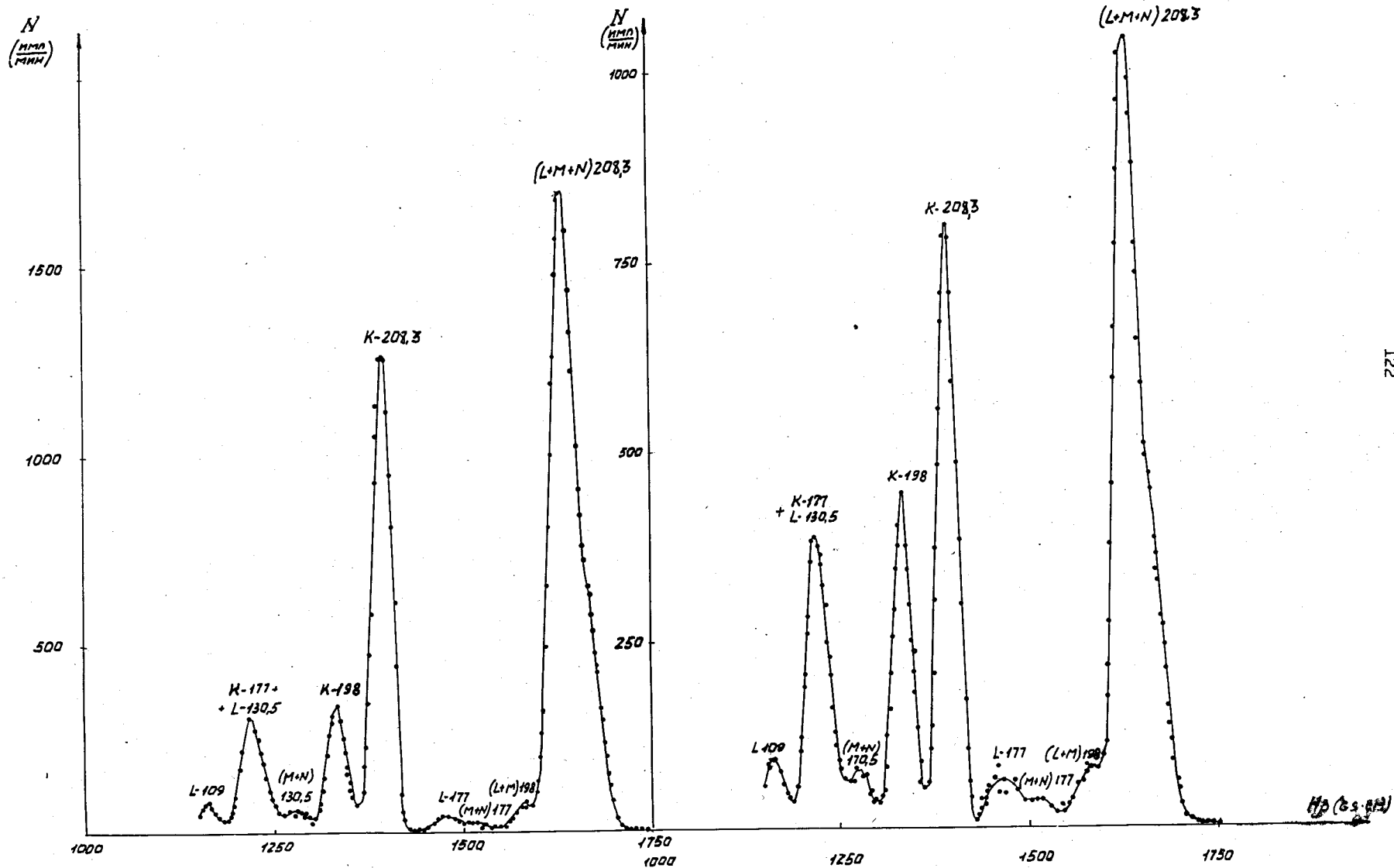


Рис. I. Спектр конверсионных электронов препарата  $Tu^{167} + Yb^{169}$  в интервале ( 1150 - 1750 )  $Hp$  (см. сс ).

Цитированная литература

1. T. Handley, E. Olson Phys.Rev. 94, 968 1954.
2. M. Michel, D. Templeton Phys.Rev. 93, 1422 1954.
3. J. Cork, M. Brice, D. Martin, L. Schmidt, R. Helmer Phys.Rev. 101, 1042 1956; 100, 1237 1955.
4. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Б.К.Преображенский. Изв.АН СССР, сер.физическая, 22, 775 (1958).

О СХЕМЕ РАСПАДА  $Tu^{167}$ 

К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, А.Г.Дмитриев, М.К.Никитин,  
К.И.Яковлев

Ядерное излучение, возникающее при распаде  $Tu^{167}$  ( $T_{1/2}=9,6$  дня) изучалось в ряде работ (см.1). Было установлено, что  $Tu^{167}$  К-захватом превращается в  $Er^{167}$ . При этом возбуждаются уровни 208,2 Кэв (квантовые характеристики  $1/2 - /52I/$ ) и 265,4 Кэв ( $3/2 \ 1/2 - /52I/$ ). Квантовые характеристики уровней даются в терминах модели Бора-Мотельсона-Нильсона ( $J, \Omega, \pi [N n_z \ell]$ ). К-захват из основного состояния  $Tu^{167}$  ( $1/2 + /4II/$ ) происходит на уровни 265,4 Кэв (33%) и 208,3 Кэв (67%). Разрядка уровня 265,4 Кэв осуществляется  $\gamma$  - переходом 57,1 Кэв (типа  $M1+E2$ ). Разрядка уровня 208,2 Кэв осуществляется переходом 208,2 Кэв (типа  $E3$ ). Переходов из  $Tu^{167}$  в основное состояние  $Er^{167}$  ( $7/2 \pm /633/$ ), по-видимому, нет  $/I/$ .

В 1959 г. появились сообщения группы Михелича о том, что при распаде  $Tu^{167}$  возникает еще один  $\gamma$  - переход с энергией около 533 Кэв  $/2/$ .

В настоящей работе продолжены исследования спектра конверсионных электронов и  $\gamma$  - спектра  $Tu^{167}$ . Изучение спектра конверсионных электронов выполнено при помощи магнитного спектрометра с улучшенной фокусировкой типа "кэatron". Разрешающая способность  $\beta$  - спектрометра  $\sim 0,4\%$ . Светосила  $\sim 0,5\%$ . Исследование  $\gamma$  - спектра  $Tu^{167}$  выполнялось при помощи сцинтилляционного  $\gamma$  - спектрометра. Разрешающая способность прибора при исследовании  $\gamma$  - линии 661 Кэв  $Cs^{137}$  - 11%.

Таблица № 1.

Новые данные о спектре конверсионных электронов

	Энергия электронов	Относительные интенсивности
Хойнацкий и др. / 3 /	К 207	100
	К 534	0,1
Джелепов и др. / 4 /	К 208	100
	К 534	0,07
	L 534	0,02
Харматц и др. / 2 /	К 208,2 -	100
	К 532,2 -	0,22
	L 532,2 -	0,035
Настоящая работа	К 208	100
	К 533	0,18
	L 533	0,051

Таблица № 2Результаты изучения спектра  $\gamma$  - лучей

Энергия $\gamma$ - лучей	Относительные интенсивности
207 Кэв	100
540 Кэв (700 Кэв)	$3,2 \pm 0,5$ ( $\sim 0,8$ )
790 Кэв ( 880 Кэв )	$2,3 \pm 1$ ( $\sim 1,1$ )

Препарат  $Ta^{167}$  получен при бомбардировке тантала быстрыми протонами на синхроциклотроне в Дубне с последующим химическим разделением элементов, полученных в результате реакции глубокого расщепления.

Целью настоящих исследований было изучение жесткой части конверсионного и  $\gamma$ -спектров  $Ta^{167}$ . Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2.

В таблице 1 для сравнения представлены экспериментальные данные о конверсионных электронах  $\gamma$ -перехода 533 Кэв, опубликованные другими авторами.

Поскольку в этой работе мы не изучали участок спектра конверсионных электронов в области энергий  $h\nu < 208$  Кэв, в таблице 1 не приводятся данные других авторов об этом участке спектра.

Как видно из таблицы № 1  $\gamma$ -переход 533 Кэв обнаружен в четырех работах. Данные о конверсионных электронах этого перехода достаточно хорошо согласуются между собой. При исследовании  $\gamma$ -спектра, кроме  $\gamma$ -перехода 540 Кэв обнаружены новые  $\gamma$ -лучи с энергией 790 Кэв. Возможно также существование  $\gamma$ -лучей с  $E_{\gamma_1} = 700$  Кэв и  $E_{\gamma_2} = 880$  Кэв. Эти  $\gamma$ -лучи не проявились явно в нашем  $\gamma$ -спектре, но предположения о их наличии возникали при анализе  $\gamma$ -спектра.

Полученные данные об относительных интенсивностях  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов  $\gamma$ -переходов 208 Кэв и 533 Кэв, а также известная мультипольность - Е3 для перехода 208 Кэв ( $\alpha_{K208} = 0,49$ ), позволяют вычислить коэффициент конверсии на К оболочке для  $\gamma$ -перехода 533 Кэв. Используя наши данные об интенсивностях  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов получаем для  $\alpha_K$  533 значение  $(0,028 \pm 0,015)$ . Это значение хорошо



согласуется с  $\alpha_K 533 = (0,036 \pm 0,015)$ , полученным Харматцем и др. /2/. Вычисление  $\alpha_L 533$  дает значение  $\alpha_L 533 \sim 0,009$ .  $\gamma$  - переходу  $E_\gamma = 533$  Кэв можно приписать мультипольность типа М1 или М1+E2.

Попытки найти конверсионные электроны, соответствующие  $\gamma$  - переходу с  $E_\gamma = 790$  Кэв не увенчались успехом. Верхний предел  $J_{K790} \sim 0,01$  в единицах таблицы № I. Отсюда следует, что мультипольность  $\gamma$  - перехода с  $E_\gamma = 790$  Кэв, возможно, типа Е1.

На рис. I приведена схема распада  $Tu^{167}$ , которая в пределах точности измерения энергий  $\gamma$  - переходов не противоречит предположению о наличии уровня с энергией 798 Кэв (534 Кэв + 265 Кэв). С этого уровня идут 2 перехода 790 Кэв и 534 Кэв.

Найденное значение мультипольности перехода 534 Кэв и оценка (предполагаемая) мультипольности перехода с  $E_\gamma = 790$  Кэв позволяют приписать уровню с энергией 798 Кэв тип  $5/2 - /512/$ . Переходы с энергией 700 и 880 Кэв в данную схему распада тока не укладываются.

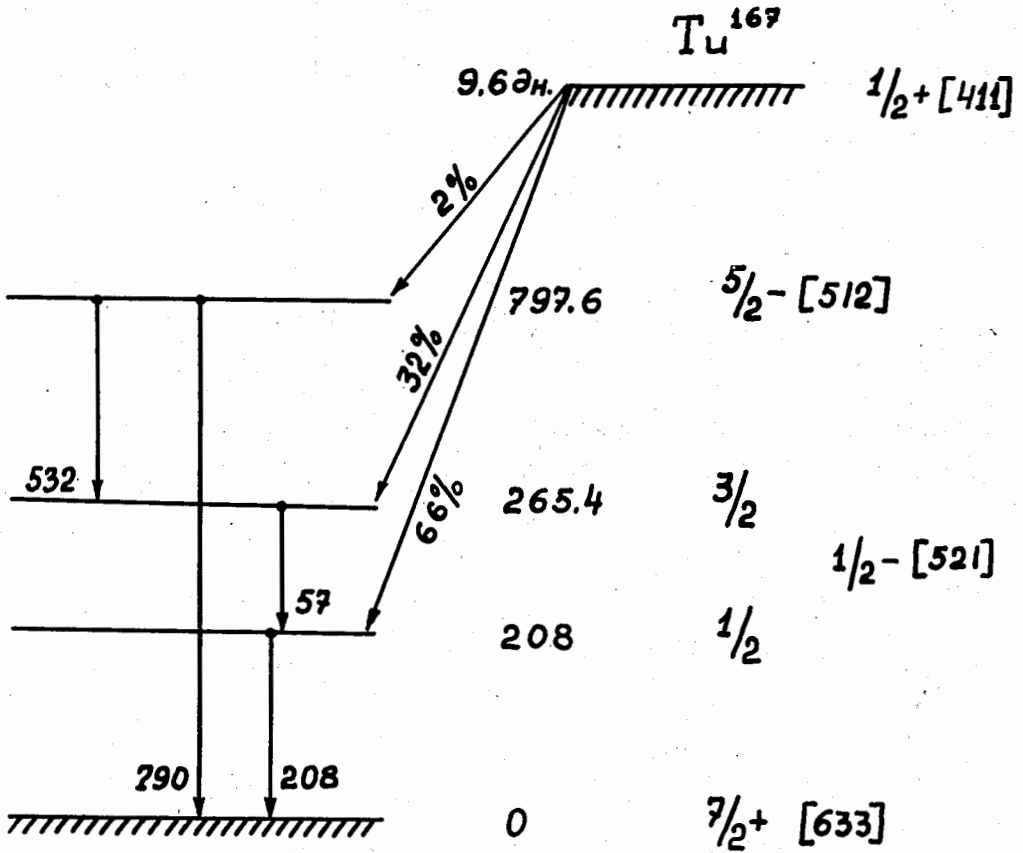


Рис. I.

Л и т е р а т у р а

1. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд.АН СССР, М-Л, 1958.
2. В. Harmatz, T.H. Handley, I.W. Mihelich, Phys.Rev. 114, 1082 (1954).
3. С.Хойнацкий, Х.Локуман, Р.Сосновский, О.Волчек, И.Отландов. Материалы II совещания по нейтроно-дефицитным изотопам, т.П, Дубна 1959 г.
4. Б.Джелепов, Ж.Желев, А.Кудрявцева. Тезисы X совещания по ядерной спектроскопии, Москва, январь 1960 г.

ГАММА - СПЕКТР  $Ta^{167}$ 

С. Хойнацкий, А. Ясинский, В. Куш, Я. Ковнацкий, Г. Ланцман,  
И. А. Бтландов

Исследуемый изотоп был получен путем реакции глубокого отщепления при облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне. Фракция тулия была выделена по методу хроматографии.

Для измерения гамма спектра  $Ta^{167}$  был использован сцинтилляционный спектрометр со стоканальным амплитудным анализатором. Разрешающая способность спектрометра составляла 7,8% для линии 660 Кэв  $Cs^{137}$ .

Измерения начались через 20 дней после выделения фракции тулия из облученной мишени, когда отсутствовало уже излучение более короткоживущих изотопов.

На рис. 1 показаны результаты измерений гамма спектра  $Ta^{167}$  на фоне 85-дневного изотопа  $Ta^{168}$ : (линии 444,730 и 825 Кэв). Кроме линии 208 Кэв отчетливо видна линия  $527 \pm 10$  Кэв. Линия 120 Кэв является аппаратным эффектом, что следует из измерений, проведенных со свинцовым коллиматором толщиной 10 см. (рис. 2).

Определенный по падению интенсивности линии 527 Кэв период полураспада равен 10 дням (без учета поправки на 85-дневную составляющую).

Оценено отношение интенсивностей линии (527):(208)=0,059  $\pm$  0,005. Принимая во внимание отношение интенсивностей конверсионных линий  $\mathcal{N}_e$  (527) :  $\mathcal{N}_e$  (208) = 0,11  $\pm$  0,04 /1/ и известный коэффициент внутренней конверсии на к-оболочке для перехода 208 Кэв  $\alpha_k = (0,55 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$  /2/, а также результат наших измерений, мы оценили коэффициент внутренней конверсии для перехода 527 Кэв и получили  $\alpha_k = (1,02 \pm 0,41) \cdot 10^{-2}$ . Сравнивая это значение с табличными данными /3/, можно заключить, что рассматриваемый переход вероятнее всего типа E2 (с возможной малой примесью M1). На основании сказанного, уровню 735 Кэв  $E_r^{167}$  можно приписать спин 5/2 или 3/2 и отрицательную четность (если принять, что мы имеем дело с переходом на уровень 208 Кэв).

### Л и т е р а т у р а

1. S. Chojnacki, H. Lancman, R. Sosnowski, O. Wolczek, J. Zylicz, J.A. Jutlandow Bull. Acad. Pol. Sci. VIII. 535 (1959).
2. E. Campbell, J. Kahn, M. Goodrich - Nu.Sci. 10, 256 (1956) .
3. M.E. Rose, Internal Conversion Conversion Coeficients, North-Holland Publ. Comp., Amsterdam (1958).

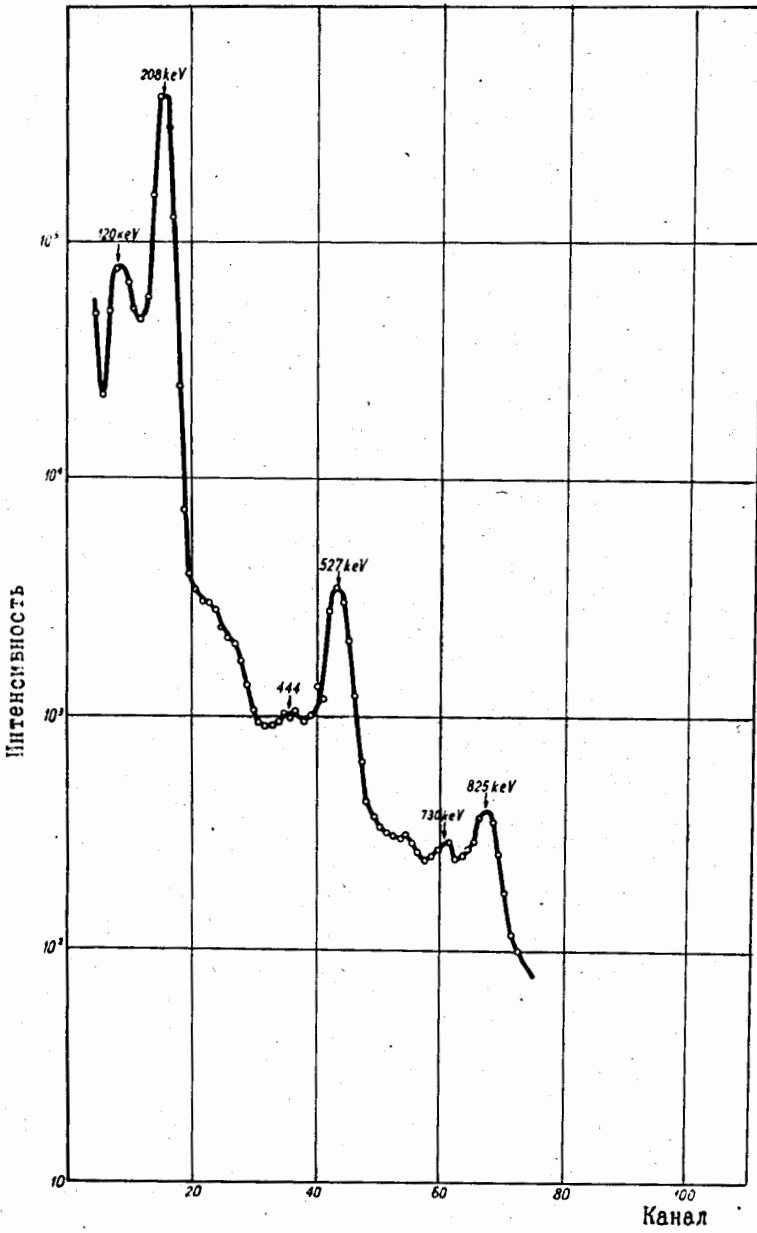


Рис. 1. Гамма спектр  $Tl^{167}$  на фоне спектра  $Tl^{168}$ .

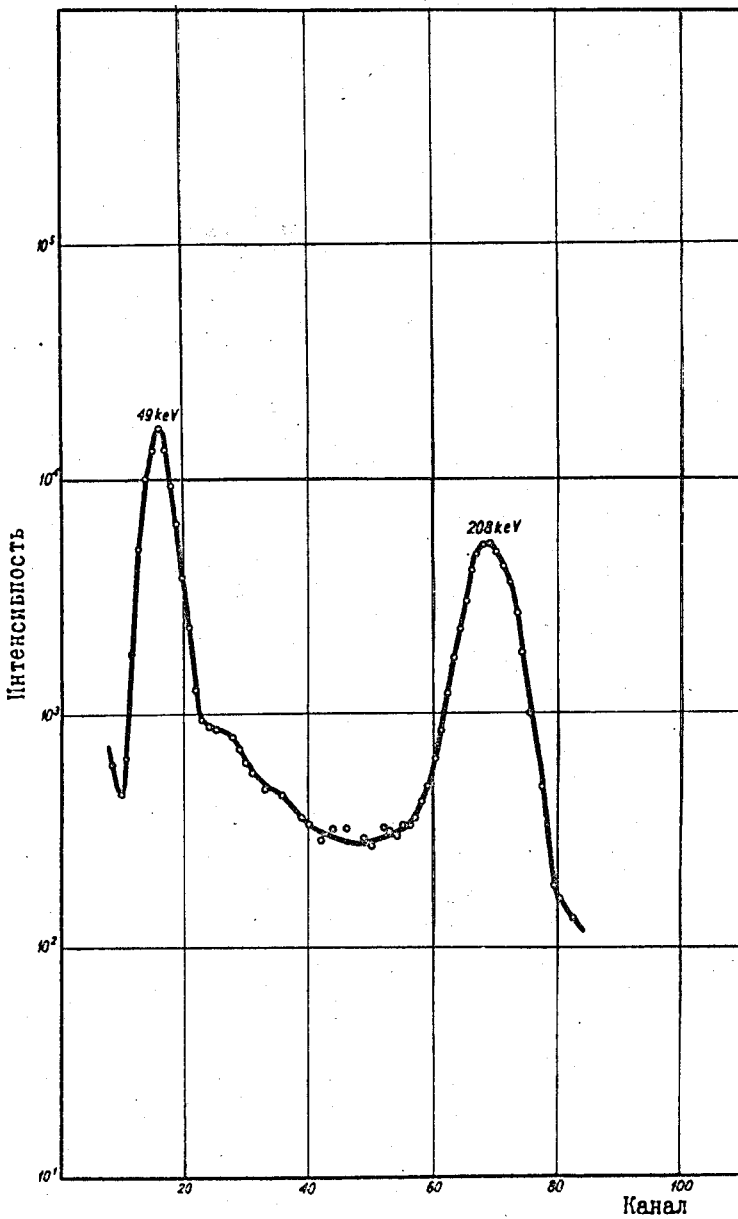


Рис. 2. Гамма спектр  $Tc\ 167$ , измеренный со свинцовым коллиматором.

О РАСПАДЕ  $Tu^{167}$ 

Б.С.Джелепов, И.М.Рогачев

В настоящей работе изучался спектр конверсионных и Оже-электронов  $Tu^{167}$  с помощью магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра с промежуточным ускорением, который имеет относительную полуширину линии 2,2 % при светосиле 0,44 % /1/. Окно счетчика  $\varnothing$  4 мм было закрыто тонкой пленкой, которая пропускала электроны, начиная с 2-х Кэв.

Препараты  $Tu^{167}$  готовились испарением в высоком вакууме части тулиевой фракции 4-х часового облучения спустя 10-15 дней после хроматографического разделения. За это время коротко-живущие изотопы  $Tu^{165}$  /  $T_{1/2} = 29$  час/ и  $Tu^{166}$  /  $T_{1/2} = 7,7$  часа/ /12/ практически распадались полностью и не присутствовали в источниках. Испарение производилось на алюминиевую фольгу толщиной 5  $\mu$  ; диаметр активного пятна составлял 3 мм.

На рис. I представлен экспериментальный спектр, полученный в одной из серий измерения препарата тулия.

В спектре, помимо хорошо известных линий  $Tu^{167}$ , присутствуют слабые линии  $Tu^{168}$ , который в небольших количествах получается и при коротких облучениях, и  $Yb^{169}$  ; последний попадает при хроматографическом разделении элементов редких земель в тулиевую фракцию в виде небольшого загрязнения.

На некоторые линии  $Tu^{167}$  налагаются слабые примесные линии  $Tu^{168}$  и  $Yb^{169}$  ; их вклад в интенсивность линий  $Tu^{167}$  был учтен на основании данных работ /3,4/.



Таблица I.

Относительные интенсивности линий в спектре  $Tu$  167

№ пп	H $\nu$ ( <i>гаусс.см</i> )	E /Кэв/	Идентифи - кация	Относительные интенсивности				
				Данные настоящей работы		Харматц. и др.	Михелич и др.	Громов и др.
				Суммарная интенсивн. по	Разделен /3/	/8/	/3/	/4/
1.	I73 - 350	2,69-10,66	L -XY	7650 $\pm$ 1500				
2.	682,5	39,4	K - LL	234 $\pm$ 25	234			
3.	75I	47,4	K- LM K- LN	1290 $\pm$ 130	141			
4.			L -57,I		1159	860	845	1060
5.	8II	54.9	M 57.I	360 $\pm$ 40	360	230	240	324
6.	I395	149.3	K-208.3	1000	1000	1000	1000	1000
7.								
8.	I636	197.2	{ L-208.3 M+N 208.3	1840 $\pm$ 200	1345 495	1250 470	1345 495	1410 424

В таблице I приведены полученные нами относительные интенсивности линий  $T_{L}^{I67}$ ; для сравнения выписаны результаты других авторов.

В настоящей работе на основании сравнения интенсивностей К-Оже-электронов и линий 57, I и 208,3 независимым образом установлены доли захвата  $T_{L}^{I67}$  на возбужденные уровни 265,4 и 208,3 Кэв  $E_{r}^{I67}$ . Это сделано в рамках схемы распада рис.2.

В спектре хорошо выделилась К-LL группа Оже-электронов, ее интенсивность равна 234, если интенсивность К 208,3 принять за 1000; интенсивность остальных Оже-электронов К-серии составляет, согласно  $^{15}/_{0,6}$  от  $J_{K-LL}$ , что дает для полной интенсивности Оже-электронов К-серии 375 единиц.

Для подсчета числа вакансий, образующихся на К-оболочке, мы полагаем выход К-Оже-электронов равным  $a_K = 0.068^{16/}$ .

Из полученного числа  $N_K$  мы вычитали число актов К-конверсии, т.е. практически интенсивность линии К 208,3, поскольку линия К-532 очень слаба. При этом мы получили число К-захватов  $N_K$ -захв. = 4360.

Число L-захватов, согласно теории, составляет 0.13 от числа К-захватов.  $N_L$ -захв. = 0.13,  $N_K$ -захв.=568, и, таким образом, полное число захватов в  $T_{L}^{I67}$   $N$  захв = 4360 + 568 = 4928 в единицах К 208,3 =1000.

Относительно нижнего перехода с энергией 208,3 Кэв /см.схему распада рис.2/ однозначно установлено  $^{17,8/}$ , что он является переходом типа ЕЗ. По теоретическому значению коэффициента конверсии на К-оболочке  $L_K = 0,48$  нами была вычислена интенсивность неконвертированного  $\gamma$  - излучения;

прибавив интенсивность конверсионных линий К 208,3 и /L + M/ 208,3 /таблица I/, получаем полную интенсивность перехода 208,3 равной 4920 в тех же единицах. Совпадение этого числа с определенным выше  $\sqrt{N}$  захв. показывает, что интенсивность захвата на основное состояние очень мала.

При определении интенсивности верхнего перехода 57,1 кэв принимаем по Громову /7/, что состав излучения соответствует смеси 75% MI + 25% E2 ; тогда коэффициент конверсии на L - оболочке  $\alpha_L$  получается  $\alpha_L = 3,04$ , а полная интенсивность перехода 57,1 кэв в тех же единицах равной 1806. Последняя величина соответствует согласно схеме распада полному числу захватов на уровень 265 кэв, а число захватов на уровень 208,3 равняется разности интенсивности переходов 208,3 и 57,1 кэв, поскольку уровень 208,3 кэв заселяется не только из-за захвата непосредственно на него  $T_{L167}$ , но и за счет переходов с уровня 265 кэв ; тогда полное число захватов на уровень 208,3 оказывается равным  $4920 - 1806 = 3114$ .

Таким образом, на уровень 208,3  $E_{r167}$  идет  
 $= \frac{3114 \cdot 100}{4928} = 63 \%$ , а на уровень 265 кэв

$= \frac{1806 \cdot 100}{4928} = 37 \%$  всех захватов в  $T_{L167}$

Для излучения 57,1 кэв Михелич /3/ дает несколько иной состав смеси : 87 % MI + 13% E2.

Мы вычислили интенсивность перехода 57,1 для этого случая. Оказалось, что такое изменение в характере перехода 57,1 кэв не сильно изменяет доли распада на уровни 208,3 и 265,4 кэв : они получились равными 60 % и 40 % соответственно.

Захват на основное состояние  $E_{\gamma}^{I67}$  не происходит, поскольку интенсивность перехода 208,3 Кэв совпала с полным числом распадов  $T_{1/2}^{I67}$ .

Полученные результаты хорошо согласуются с данными других работ, где доли распада были установлены на основании анализа интенсивностей переходов 57,1 и 208,3 Кэв.

Авторы выражают благодарность студенту Ленинградского Университета Э. Кудряшovu за помощь в работе.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Б.С.Джелепов, И.М. Рогачев  
Магнитно-линзовый  $\beta$ -спектрометр с промежуточным ускорением.  
Программа и тезисы докладов X ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Москве 19-27 января 1960 г., стр.102. Изд. АН СССР. М-Л 1960.
2. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер  
Схема распада радиоактивных ядер .Изд. АН СССР, М-Л, 1958.
3. J.W. Mihelich, B. Harmatz and T.H. Handley Phys.Rev. 108,  
989(1957).
4. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов и Б.К.Преображенский  
Изв. АН СССР, 22,775 /1958/
5. М.А.Листенгартен, Оже-эффект  
Доклад на X Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии в Москве. Тезисы докладов X ежегодн.совещания по ядерн.спектр.  
Изд. АН СССР. М-Л 1960 г.
6. A.H. Wapstra, G.J. Nijgh, R. Wan Lieshout, Nuclear Spectroscopy  
Tables, Amsterdam, 1959.
7. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов и Б.К. Преображенский  
Изв. АН СССР, 21, 918 / 1957 /
8. B. Harmatz, T.H. Handley, J.W. Mihelich, Phys.Rev. 114,

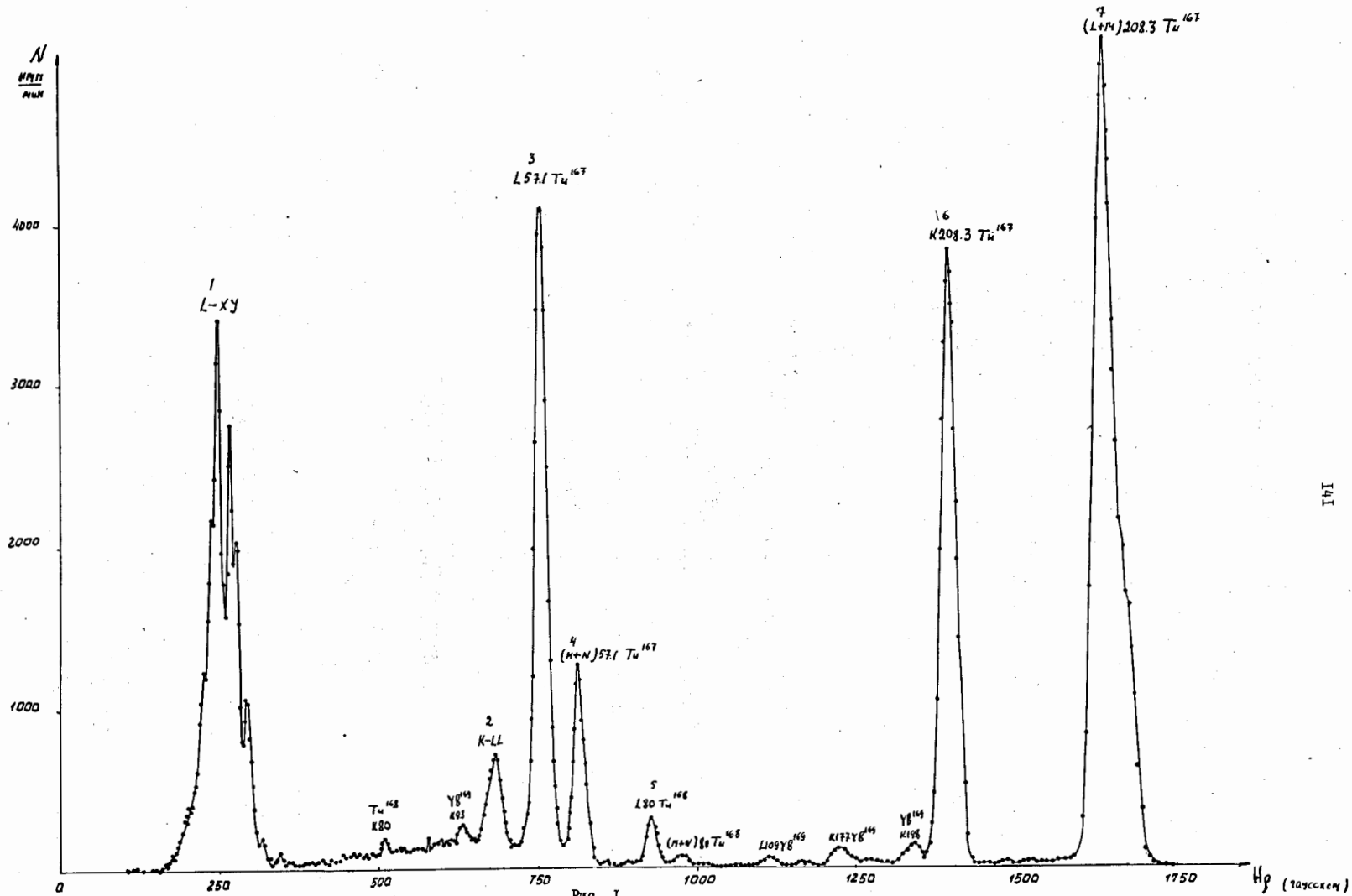


Рис. I.

141

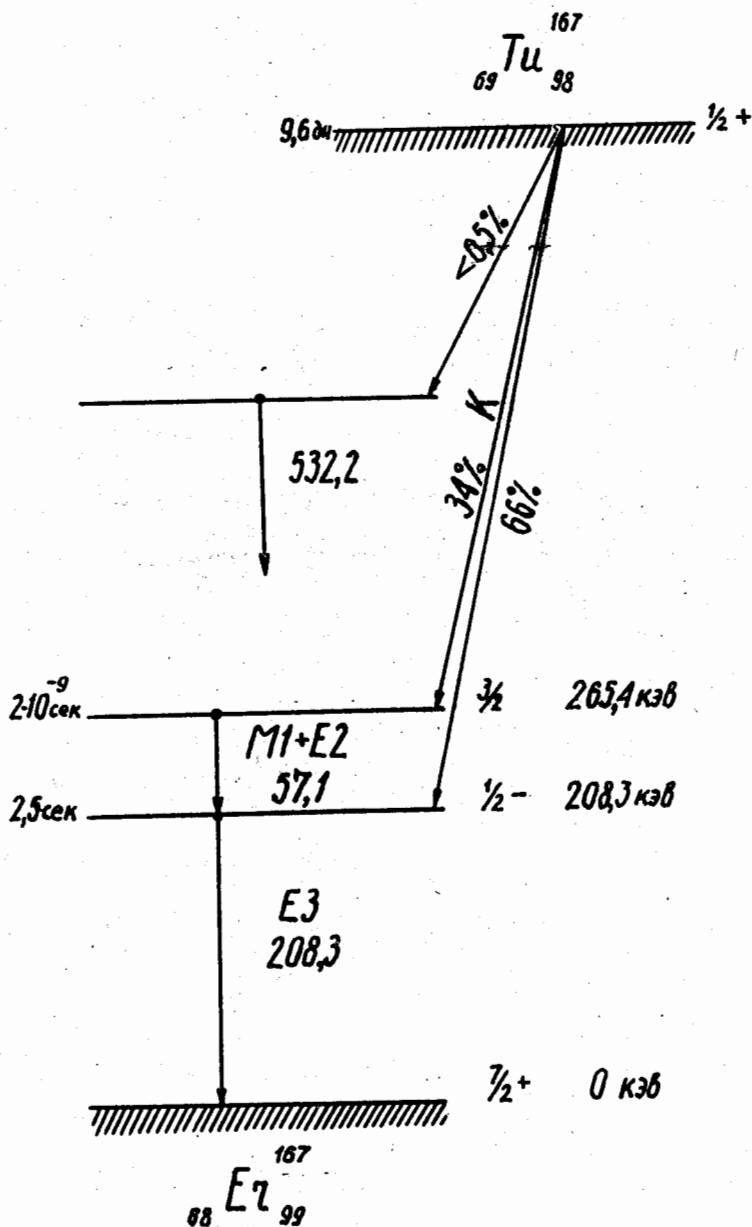
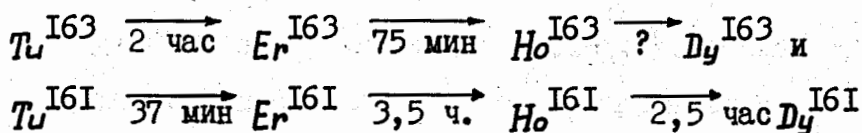


Схема распада  $Tu^{167} \rightarrow E1^{167}$

Рис. 2.

## НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ЦЕПОЧКАХ РАСПАДОВ



Далхсурен Б., Гвоздева Л.М., Кузнецова М.Я.,  
 Левенберг И.Д., Норсеев Д.В., Покровский В.Н.,  
 Отландов И.А.

Изотопы  $\text{Tl}^{163}$  ( $T_{1/2} = 2$  час) и  $\text{Tl}^{161}$  ( $T_{1/2} = 30$  мин) были открыты (1) при облучении  $\text{Er}$  протонами. Они дают начало генетическим цепочкам, оканчивающимся ядрами стабильного  $\text{Dy}$ . По этой причине, а также вследствие сложной смеси изотопов во фракции  $\text{Tl}$  ( $A \geq 161$ ), нам не удалось получить достоверных сведений о  $\gamma$ -лучах, сопровождающих распад изотопов  $\text{Tl}^{163,161}$ . Однако, последовательные выделения дочерних элементов ( $\text{Er}$  и  $\text{Ho}$ ) из фракции  $\text{Tl}$  позволили получить некоторые сведения о характеристиках распада рассматриваемых цепочек.

$A = 163$  . В первых опытах мы очень неуверенно наблюдали

$\gamma$ -спектр  $\text{Er}^{163}$  (о причинах см. далее) и только после принятия специальных мер (дополнительная очистка  $\text{Er}$ , проведение выделений после распада  $\text{Tl}^{161}$ ) смогли получить достоверные сведения.

Период полураспада  $\text{Tl}^{163}$ , измеренный по количествам  $\text{Er}^{163}$  (интенсивности  $\gamma$ -линии 430 Кэв) в последовательных выделениях, составляет  $122 \pm 15$  мин., что хорошо согласуется со значением  $T_{1/2} = 2$  часа по (1). Период полураспада  $\text{Er}^{163}$  составляет  $\sim 75$  мин., а его  $\gamma$ -спектр содержит линии близкой интенсивности с  $E_\gamma = 430$  Кэв и  $\sim 1100$  Кэв и, возможно,



~300 Кэв. Данные о  $\gamma$ -спектре  $Er^{163}$  хорошо согласуются с данными (2), где указываются  $\gamma$ -линии 430 и 1100 Кэв. Линия с  $E_\gamma \sim 300$  Кэв, не очень надежно проявившаяся в наших опытах, возможно, есть изомерный переход 305 Кэв, обнаруженный (3) в ядре  $Ho^{163}$ . Установление ранее не наблюдавшейся генетической связи между  $Tu^{163}$  и  $Er^{163}$  (массовые числа этим изотопам были приписаны независимо друг от друга) позволяет считать более достоверным значение  $A=163$  для этой цепочки.

Было проведено также измерение одного и того же образца  $Er^{163}$  (содержащего также  $Er^{165}$ , дочерний  $Tu^{165}$ ) на  $4\pi$ -сцинтилляционном счетчике и  $\gamma$ -спектрометре. Поскольку измерения на  $4\pi$ -счетчике давали значения числа распадов (4), то измерения на  $\gamma$ -спектрометре позволяли (по известной эффективности кристалла) оценить числа  $\gamma$ -квантов, приходящихся на акт распада. Оказалось, что  $\gamma$ -кванты 430 Кэв и 1100 Кэв испускаются не более, чем в 0,2% распадов (оценка для ~300 Кэв еще меньше). Этим объясняются трудности наблюдения  $\gamma$ -спектра  $Er^{163}$  при выделении  $Er$  из  $Tu$ , а также то, что в /I/ не было замечено нарастания линий  $Er^{163}$  в источнике  $Tu^{163}$ .

Из приведенной выше оценки можно заключить, что распад  $Er^{163}$  происходит в подавляющем числе случаев на основное состояние  $Ho^{163}$ . Отсюда можно получить оценку для  $ft$  (хотя и не очень точную), взяв энергию распада из (5):  $\log ft \approx 4,7$ , что указывает на разрешенный характер перехода.

Поскольку для  ${}_{67}^{163}Ho$  основное состояние типа  $[523] 7/2$ , то для основного состояния  ${}_{68}^{163}Er$  следует выбрать  $[523] 5/2$ ,

допускаемое диаграммой Нильссона для 95-ого нейтрона. Распад между этими состояниями классифицируется, как разрешенный незатрудненный. Экспериментально определено (6), что спин  ${}_{66}^{161}\text{Dy}_{95}$  есть  $5/2 +$ , что означает реализацию состояния [642]  $5/2$  для 95-ого нейтрона. Различие в состояниях 95-ого нейтрона в соседних ядрах  ${}_{66}^{161}\text{Dy}$  и  ${}_{68}^{163}\text{Ho}$  можно отнести на счет различия деформации ядер.

Заметим, что в опытах не было получено данных о распаде  $\text{Ho}^{163}$ . Это согласуется с предположением о большом значении периода полураспада этого ядра.

$A = 161$ . Период полураспада  $T_{1/2}^{161}$ , измеренный по количествам  $\text{Er}^{161}$  в последовательных выделениях, составляет  $37 \pm 5$  мин ( $30 \pm 10$  мин<sup>(1)</sup>).

$\gamma$ -спектр  $\text{Er}^{161}$  ( $T_{1/2} = 3,4 \pm 0,2$  час) состоит из линий 210, 825 и  $\sim 1200$  Кэв с относительными интенсивностями  $J_{\gamma 210} : J_{\gamma 825} : J_{\gamma 1200} = (13 \pm 2) : 100 : \sim 5$ . Значение энергии последнего перехода несколько отличается от  $E_{\gamma} = 1120$  Кэв, приводимого в (7). Не проявляется в  $\gamma$ -спектре переход 592 Кэв, отнесенный Днепровским (8) к распаду  $\text{Er}^{161}$ . Возможно, что это связано с малой интенсивностью  $\gamma$ -линии 592 Кэв, которая по нашей оценке не превосходит 5% от  $J_{\gamma 825}$ .

Схема распада  $\text{Er}^{161}$  предложена Днепровским и др. (9). Там же указаны точные значения энергий переходов (по измерениям спектра конверсионных электронов) — 211 и 826 Кэв и мультипольности (E3 и M1 соответственно). Нами были оценены числа  $\gamma$ -квантов 211 и 826 Кэв на распад таким же образом, как и для  $\text{Er}^{163}$ . Оказа-

лось, что суммарная интенсивность (с учетом конверсии) переходов 2II Кэв (23%) и 826 Кэв (77%) составляет  $(100 \pm 3)\%$ . Это говорит о том, что на основное состояние  $\text{No}^{161}$  распадов не происходит и что переход  $E_\gamma \approx 1200$  Кэв также идет не на него. Можно предположить, что кроме уровней 2II и 826 Кэв существует уровень 1418 Кэв, с которого идут переходы 592 и 1207 Кэв (рис. I). Заселенности уровней, указанные на рис. I, оценены предположительно. Более точная оценка может быть сделана после более точного определения интенсивностей переходов 592 и 1207 Кэв. Это не может, впрочем, заметно изменить значения  $lg ft$  для переходов из основного состояния  $E_r^{161}$  на уровни 2II и 826 Кэв ядра  $\text{No}^{161}$ , вычисленные нами для энергии распада  $E_r^{161}$ , равной 2033 Кэв<sup>(5)</sup>. Видно, что значения  $lg ft$  согласуются с принятыми для уровней  $E_r^{161}$  спинами, согласно которым распад на уровень 2II Кэв — однократно запрещенный незатрудненный, а на уровень 826 Кэв — разрешенный затрудненный. Недостаточная точность экспериментальных данных не позволяет выяснить характеристики уровня 1418 Кэв.

Заметим, что в статье<sup>(9)</sup> приводится отношение  $J_{\gamma 826} : J_{\gamma 2II} = 8$ , что хорошо согласуется с нашими данными. Однако, заселенности уровней 2II Кэв (10%) и 826 Кэв (90%) указаны, видимо, ошибочно, без учета конверсии.

Данные о распаде  $\text{No}^{161}$ , полученные нами, хорошо согласуются с данными ранее выполненных работ и поэтому мы на них не останавливаемся.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. B. Harmatz, T.H. Handley, J.W. Mihelich, Phys.Rev. 114,  
1082 (1959).
2. T.H. Handley, E.L. Olson, Phys.Rev. 92, 1260 (1953).
3. C.L. Hammer, M.G. Stewart, Phys.Rev. 106, 1001 (1957).
4. В.И.Барановский, Г.М. Городинский. Изв. АН СССР,  
серия физическая 24, 313 (1960)
5. A.G.W. Cameron "A Revised Semi-Empirical Atomic Mass Formula,"  
Chalk River, Ontario, A.E.C.L. 433 (1957).
6. J. Park, Proc. Roy.Soc. 245, 118 (1958).
7. T.H. Handley, E.L. Olson, Phys.Rev. 93, 524 (1954).
8. И.С.Днепровский. Материалы настоящего совещания.
9. И.С.Днепровский, Л.Нэмет, Л.К.Пекар, ЖЭТФ, 39, 13 (1960).

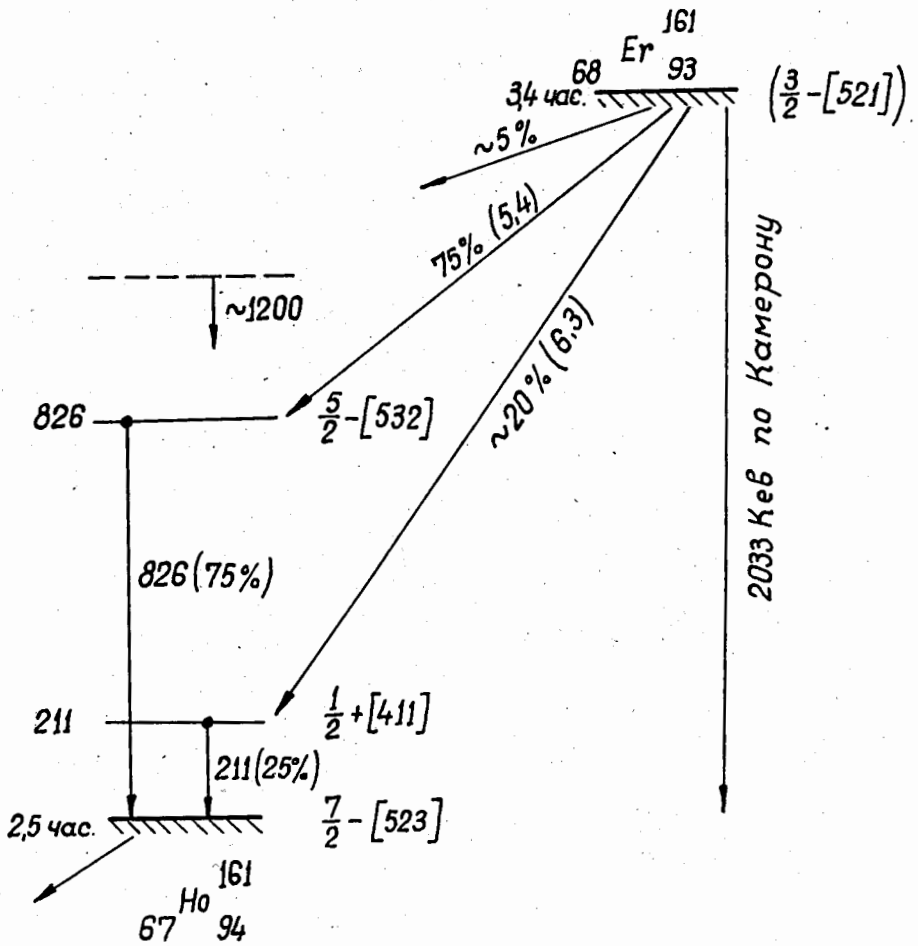


Рис. I. Схема распада  $Er^{161}$ .

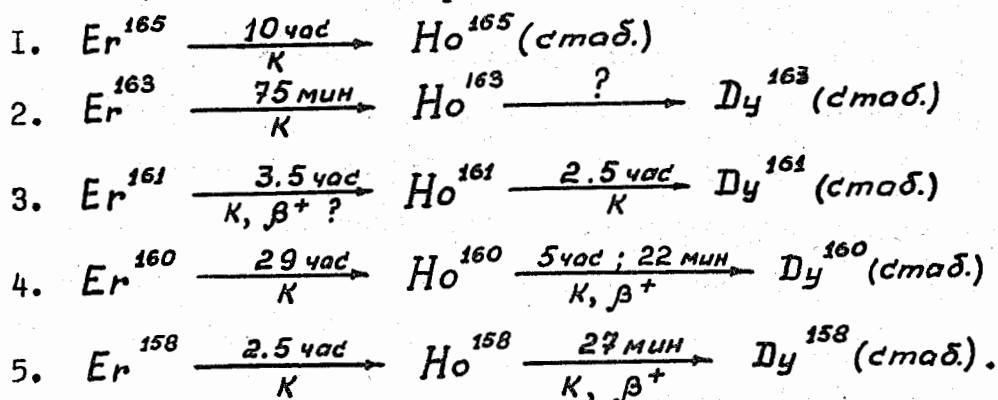
В квадратных скобках указаны асимптотические квантовые числа  $\mathcal{N}$ ,  $n_2$ ,  $\Lambda$ . Рядом с энергией переходов указаны  $\%$  на распад. Заселенность уровня  $I4I8 \text{ КэВ}$  оценена предположительно; в скобках указаны значения  $lg ft$ .

КОНВЕРСИОННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ ЭРБИЕВОЙ ФРАКЦИИ В ИНТЕРВАЛЕ  
ЭНЕРГИИ ОТ 20 ДО 900 КЭВ

А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, В.А.Халкин

Спектр конверсионных электронов изотопов эрбия, образующихся при облучении тантала протонами с энергией 660 Мэв, изучался при помощи  $\beta$ -спектрографа с постоянным однородным магнитным полем.

В настоящее время известны следующие радиоактивные цепочки, начинающиеся с изотопов эрбия:



(Перечислены только нейтроно-дефицитные изотопы эрбия, нейтроно-избыточные изотопы в использованной реакции практически не образуются).

Целью опытов было уточнить энергии  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде  $\text{Er}^{161} \rightarrow \text{Ho}^{161}$  и в цепочке распадов  $\text{Er}^{158} \rightarrow \text{Ho}^{158} \rightarrow \text{Dy}^{158}$ .

Использовано два препарата эрбия. При экспонировании пластинок от одного препарата поле было выбрано так, чтобы на фотопластинку падали электроны с энергией от 20 до 170 Кэв; при экспонировании от другого препарата регистрировались электроны с энергией от 135 Кэв до 900 Кэв.

В каждом из этих опытов танталовая мишень облучалась около двух часов. Экспозиции начаты через три-четыре часа после конца облучения и приблизительно через час после хроматографического выделения эрбия. От каждого источника последовательно экспонировано по три фотопластинки. Экспозиции были выбраны так, чтобы иметь возможность отличить линии изотопов с разными периодами полураспада. Для калибровки полученных спектрограмм по энергии были использованы значения энергии некоторых  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде  $Er^{160}$ , полученные Григорьевым и др. /1/. В таблице I сравниваются наши данные об энергии  $\gamma$ -переходов  $Er^{160} \rightarrow Ho^{160} \rightarrow Dy^{160}$  с данными Григорьева и др. /1/.

В графе "наши данные" пропущены энергии  $\gamma$ -переходов, конверсионные линии которых использованы для калибровки.

При анализе полученных данных использованы результаты фотометрирования спектрограмм. Количественная обработка результатов фотометрирования, с целью получения относительных интенсивностей конверсионных линий, не закончена.

Мы не обнаружили конверсионных линий, которые на основе наших или литературных данных можно было бы отнести к изотопам эрбия с  $A = 165$  или  $163$ . Все обнаруженные линии мы приписываем цепочкам с  $A=161$  и  $A=158$ .

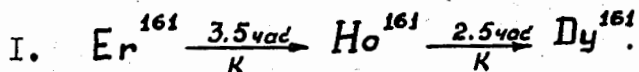
Таблица I.

Энергии  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде  $Er^{160} \rightarrow Ho^{160} \rightarrow Dy^{160}$  стаб.

№ п/п	Наши данные *)	Данные /1/
I.	60,1 ± 0,1	60,1 ± 0,1
2.	-	86,84 ± 0,07
3.	-	197,0 ± 0,2
4.	297,4 ± 0,5	297,7 ± 0,3
5.	298,6 ± 0,5	298,8 ± 0,3
6.	406,0 ± 0,6	405,7 ± 0,4
7.	513,9 ± 0,6	513,5 ± 0,4
8.	-	538,7 ± 0,4
9.	-	645,5 ± 0,4
10.	-	728,5 ± 0,5
11.	754,1 ± 1,0	754,5 ± 0,6
12.	765,5 ± 1,0	765,7 ± 0,6
13.	873,1 ± 1,0	872,5 ± 0,8
14.	-	879,8 ± 0,6
15.	-	962,8 ± 0,6
16.	966,1 ± 1,0	966,4 ± 0,6

\*) Энергии  $\gamma$ -переходов, конверсионные линии которых использованы для калибровок, пропущены.





Этой цепочке распадов мы приписываем конверсионные линии, перечисленные в таблице 2. Переход 77,6 Кэв наблюдался в ряде работ и, в частности, в работе Михелича и др. /2/. По данным Михелича это самый сильный переход при распаде  $Ho^{161}$ . Другие более слабые переходы  $Ho^{161}$  на наших пластинках не проявились.

Следующие аргументы позволяют приписать переходы 2II, I Кэв, 592,6 Кэв и 827, I Кэв распаду  $Er^{161} \longrightarrow Ho^{161}$ .

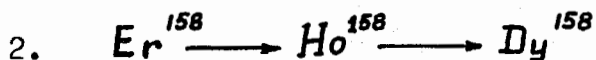
1. В работах Днепровского /3,4/, определен период полураспада, с которым убывает интенсивность конверсионных линий этих переходов. Полученные результаты позволяют однозначно отнести перечисленные переходы к цепочке, начинающейся с  $Er^{161}$ .

2. Значения разностей энергий  $K$ ,  $L$  и  $M$  конверсионных линий таблицы 2 позволяют установить, что переходы 2II, I; 592,6 и 827, I Кэв происходят в ядре  $Ho$ .

Таблица 2.

Результаты изучения спектра конверсионных электронов  
цепочки  $Er^{161} \longrightarrow Ho^{161} \longrightarrow Dy^{161}$  стаб.

	$H_p$	$E_e$ кев	Идентификация	$h\nu$ кев
	$Er^{161} \longrightarrow Ho^{161}$			
I.	1427	155,4	K - 2II,I	2II,I $\pm$ 0,3
2.	1660	202,2	$L_I + L_{II}$ - 2II,I	
3.	1664	203,1	$L_{III}$ - 2II,I	
4.	1693	209,2	M - 2II,I	
5.	1700	210,6	N - 2II,I	
6.	3053	537,6	K - 592,6	592,6 $\pm$ 0,6
7.	3228	583,2	$L_I$ - 592,6	
8.	3925	771,6	K - 827	827,I $\pm$ I,0
9.	4092	817,7	$L_I$ - 827	
10.	4117	824,6	M - 827	
	$Ho^{161} \longrightarrow Dy^{161}$ стаб.			
I.	912,0	68,53	$L_I$ - 77,6	77,6 $\pm$ 0,I
2.	915,0	68,95	$L_{II}$ - 77,6	
3.	920,0	69,67	$L_{III}$ - 77,6	
4.	960,4	75,51	M - 77,6	



В таблице 3 перечислены линии конверсионных электронов, которые мы относим к распаду  $Er^{158} \longrightarrow Ho^{158} \longrightarrow Dy^{158}$ .

$\gamma$  - переход 67,3 Кэв. Наши данные: разность энергии  $L_{III}$  и  $N$  конверсионных линий позволяет утверждать, что этот переход происходит в ядре гольмия. Согласно Днепровскому<sup>/4/</sup>, интенсивность конверсионных линий этого перехода убывает в эрбиевой фракции с периодом полураспада  $(130 \pm 25)$  мин. Басина и др.<sup>/5/</sup> наблюдали  $L$  - линию этого перехода в гольмиевой фракции и установили, что ее интенсивность убывает с периодом  $\sim 30$  мин. Эти факты показывают, что переход 67,3 Кэв происходит в ядре  $Ho^{158}$ .

$\gamma$  - переход 387,0 Кэв. Этот переход наблюдал Днепровский<sup>/3/</sup> при изучении спектра конверсионных электронов эрбиевой фракции. В этой работе было установлено по периоду полураспада конверсионных линий и по значению разностей энергии  $K, L$  и  $M$  - линий, что этот переход происходит в ядре  $Ho^{158}$ . Наше значение разности  $K-L$  подтверждает этот вывод.

Таблица 3.

Результаты изучения спектра конверсионных электронов  
цепочки  $Er^{158} \longrightarrow Ho^{158} \longrightarrow Dy^{158}$  *стаб.*

	$H\rho$	$E_e$ keV	Идентификация	$h\nu$
I.	2.	3.	4.	5.
$Er^{158} \longrightarrow Ho^{158}$				
I.	838,2	58,43	$L_{II} - 67,35$	$67,3 \pm 0,1$
2.	844,0	59,20	$L_{III} - 67,27$	-
3.	890,0	65,45	$M - 67,58$	-
4.	900,0	66,84	$N - 67,27$	-
5.	2234	331,2	$K - 386,8$	$387,0 \pm 0,5$
6.	2426	377,8	$L_I - 387,2$	-
$Ho^{158} \longrightarrow Dy^{158}$ <i>стаб.</i>				
I.	656,5	36,58	-	-
2.	663,4	37,30	-	-
3.	670,0	38,05	-	-
4.	674,0	38,50	-	-
5.	723,4	44,II	-	-
6.	732,5	45,18	$K - 98,97$	$99,0 \pm 0,1$
7.	869,0	62,56	-	-
8.	I055	89,86	$L_I - 98,94$	-
9.	I058	90,4I	$L_{II} - 99,03$	-
10.	I062	91,05	$L_{III} - 98,90$	-
11.	II00	97,15	$M - 99,19$	-
12.	II09	98,6I	$N - 99,03$	-
13.	I344	I39,7	$K - 193,5$	$193,5 \pm 0,2$
14.	I472	I64,2	$K - 218,03$	$218,1 \pm 0,2$
15.	I554	I80,4	-	-

I	2	3	4	5
16.	I565	182,7	-	-
17.	I578	185,3	-	-
18.	I603	190,4	-	-
19.	I6I2	192,3	-	-
20.	Совпадает с M-2II, I Ер <sup>I6I</sup>		$L_1 + L_{II} - 218,3$	-
21.	Совпадает с N-2II, I Ер <sup>I6I</sup>		$L_{III} - 218,5$	-
22.	I726	216,2	$M - 218,2$	-
23.	I733	217,7	$N - 218,1$	-
24.	I794	230,8	$K - 284,6$	284,6 $\pm$ 0,5
25.	I829	238,5	$K - 292,2$	292,2 $\pm$ 0,5
26.	I872	247,9	$K - 301,5$	301,5 $\pm$ 0,5
27.	I905	255,3	$K - 308,9$	308,9 $\pm$ 0,5
28.	I922	259,1	$K - 312,7$	312,7 $\pm$ 0,5
29.	I956	266,7	$K - 320,53$	320,5 $\pm$ 0,5
30.	2II3	302,8	$K - 356,6$	356,6 $\pm$ 0,5
31.	2I50	311,4	$L_1 - 320,54$	-
32.	2304	348,1	$L_1 - 357,1$	-
33.	2372	364,6	-	-
34.	2402	371,9	-	-
35.	2549	408,2	$K - 462,0$	462,0 $\pm$ 0,6
36.	2584	416,9	$K - 470,7$	470,7 $\pm$ 0,6
37.	2720	451,2	$K - 505,0$	505,0 $\pm$ 0,6
38.	3I72	568,5	$K - 622,3$	622,3 $\pm$ 1,0
39.	3265	593,0	$K - 646,8$	646,8 $\pm$ 0,7
40.	3579	677,3	$K - 731,0$	731,0 $\pm$ 0,8
41.	4006	794,0	$K - 846,7$	846,7 $\pm$ 0,9
42.	40I4	796,3	$K - 850,1$	850,1 $\pm$ 0,9
43.	4302	876,0	$K - 929,8$	929,8 $\pm$ 1,0
44.	4359	891,9	$K - 945,7$	945,7 $\pm$ 1,0
45.	4369	894,7	$K - 948,5$	948,5 $\pm$ 1,0

$\gamma$  - переходы 99,0 Кэв и 218,1 Кэв. Разности энергий конверсионных линий этих переходов (табл.3) точно совпадают с соответствующими табличными значениями для Ду. Эти переходы наблюдались в эрбиевой фракции Днепровским<sup>/3/</sup> и в гольмиевой фракции Громовым и др.<sup>/6/</sup> и Басиной и др.<sup>/5/</sup>. Можно считать установленным, что эти переходы возникают при распаде  $\text{No}^{158} \longrightarrow \text{Dy}^{158}$ .

$\gamma$  - переходы 320,5 и 356,6 Кэв наблюдал Днепровский<sup>/3/</sup>. Был определен период полураспада линий конверсионных электронов этих переходов ( $T_{1/2} \approx 2,5$  часа). По разностям энергий

$K$ ,  $L$  и  $M$  - линий определено, что эти переходы происходят в ядре Ду. Наши данные о разностях энергий  $K$  и  $L$  - линий подтверждают это. Таким образом можно считать, что при распаде  $\text{No}^{158}$  в  $\text{Dy}^{158}$  возникают  $\gamma$  - переходы (320,5 $\pm$ 0,5) Кэв и (356,6 $\pm$ 0,5) Кэв. Переход 356,6 Кэв ( $T_{1/2} \sim 30$  мин) наблюдали Басина и др.<sup>/5/</sup> при изучении гольмиевой фракции.

Следующие аргументы позволяют уверенно отнести  $\gamma$  - переходы с энергией 622,3; 646,8; 731,0; 846,7; 850,1; 945,7 и 948,5 Кэв к распаду  $\text{No}^{158} \longrightarrow \text{Dy}^{158}$ :

а) Переходы с энергией  $\sim 619$  Кэв,  $\sim 848$  Кэв и  $\sim 947$  Кэв наблюдали Басина и др.<sup>/5/</sup> при изучении конверсионных электронов гольмиевой фракции. Период полураспада конверсионных линий этих переходов оказался равным  $\sim 30$  мин.

б)  $K$  - линию перехода 647 Кэв наблюдали Григорьев и др.<sup>/7/</sup> в гольмиевой фракции. Период полураспада не определялся.

в)  $\gamma$  - переходы 731,0; 846,7; 850,1; 945,7 и 948,5 Кэв хорошо укладываются в схему распада  $\text{No}^{158}$  (рис.1).

В настоящее время нет аргументов, чтобы утверждать, что указанные в таблице 3  $\gamma$  - переходы с энергией 193,5, 284,6; 292,2; 301,5; 308,9, 312,7; 462,0; 470,7 и 505,0; 929,8 КэВ не возникают при распаде цепочки с  $A = 161$ . Нет также данных, позволяющих сказать в каком ядре (Но или Ду) происходят эти переходы. Все же мы считаем наиболее вероятным, что эти переходы возникают в цепочке  $Er^{158} \longrightarrow No^{158} \longrightarrow Du^{158}$ . Энергии переходов вычислены в предположении, что переходы происходят в ядре Ду.

В таблице 3 приведены также энергии ряда неидентифицированных конверсионных линий, которые, по-видимому, возникают при распаде цепочки с  $A = 158$ .

Имеющиеся данные об излучении, сопровождающем распад  $Er^{158} \longrightarrow No^{158} \longrightarrow Du^{158}$ , позволяют высказать некоторые соображения о схеме распада. В превращении  $Er^{158} \longrightarrow No^{158}$  возникают два  $\gamma$  - перехода 67,3 КэВ и 387,0 КэВ. Тот факт, что переход 67,3 КэВ наблюдался в гольмиевой фракции, позволяет полагать, что период полураспада 27 мин. связан с уровнем 67,3 КэВ; вероятно период полураспада основного состояния  $No^{158}$  еще меньше. Возможно, что уровень 67,3 КэВ в  $No^{158}$  аналогичен уровню 60,1 КэВ в  $No^{160}$ .

Возможная схема уровней  $Du^{158}$ , возбуждающихся при распаде  $No^{158}$ , изображена на рис. I. Эта схема построена на основе данных об энергиях  $\gamma$  - переходов из таблицы 3 по аналогии со схемой уровней  $Du^{160}$ . Переходы 99,0 КэВ и 218,1 КэВ являются переходами между первым ротационным уровнем  $Du^{158}$  - 99,0 КэВ (2,0+) и основным состоянием и между вторым ротационным уровнем - 317,1 КэВ (4,0+) и первым ротационным уровнем, соответственно. Это подтверждается тем, что на основании данных Днепровского<sup>/3/</sup> об отношении интенсивностей ( $L_1 + L_{II}$ ) и  $L_{III}$  - линий перехода 99 КэВ и на основании наших предварительных данных наиболее вероятная

мультипольность этого перехода  $E2$ . Определить мультипольность перехода  $218,1$  Кэв на основании имеющихся данных трудно, т.к.

$L$  - линии этого перехода при измерении спектра эрбиевой фракции совпадают с  $M$  и  $N$  - линиями перехода  $211,1$  Кэв  $Er^{161}$ .

Единственным аргументом в пользу указанного расположения перехода  $218,1$  Кэв является хорошее совпадение отношения энергии уровней  $317,1$  и  $99$  Кэв -  $3,2$  с теоретическим для ротационных уровней -  $3,3$ . Возможно, что переход  $356,6$  Кэв есть переход с третьего уровня ротационной полосы основного состояния  $673,7$  Кэв ( $6,0+$ ) на второй уровень той же полосы. Отношение энергий третьего и первого уровней ротационной полосы в таком случае -  $6,8$  близко к теоретическому -  $7,0$ .

Переходы  $945,7$  Кэв и  $846,7$  Кэв и переходы  $948,5$  Кэв и  $731,0$  Кэв определяют соответственно положение уровней  $945,7$  Кэв ( $2,2+$ ) и  $1047,8$  Кэв ( $3,2+$ ). По предварительным оценкам относительные интенсивности этих переходов очень близки к относительным интенсивностям аналогичных переходов при распаде  $Ho^{160} \rightarrow Dy^{160}$ . Возможно, что  $\gamma$  - переход  $850,1$  Кэв есть переход с уровня  $1167,2$  Кэв ( $4,2+$ ) второй ротационной полосы  $Dy^{158}$ .

Таким образом, в настоящей работе получены наиболее точные значения энергии  $\gamma$  - переходов, возникающих при распаде  $Er^{161} \rightarrow Ho^{161}$  и при распаде  $Er^{158} \rightarrow Ho^{158} \rightarrow Dy^{158}$ . Обнаружен ряд новых  $\gamma$  - переходов и конверсионных линий.

Предложена схема распада  $Er^{158} \rightarrow Ho^{158} \rightarrow Dy^{158}$ .

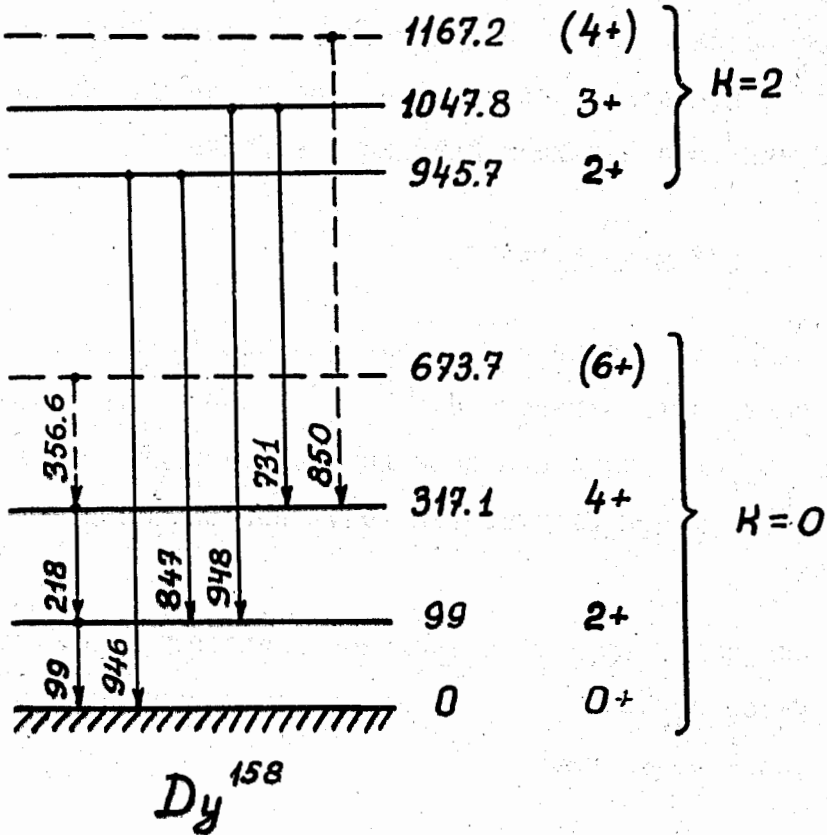
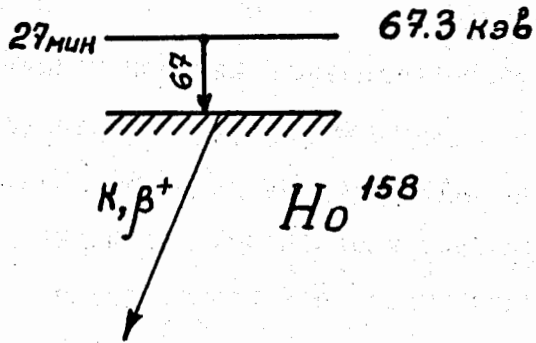
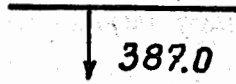
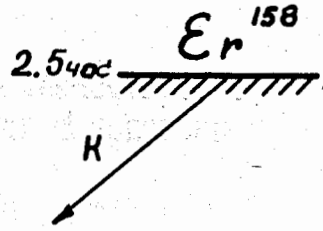
Среднеазиатский Политехнический институт, Ташкент.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.



Л и т е р а т у р а

1. Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, В.Звольска, А.В.Золотавин.  
Материалы настоящего совещания.
2. Harmatz, T. Handley J., Mihelich, Phys. Rev. 114, 1082 (1959).
3. И.С.Днепровский. Материалы второго совещания по ядерной спектроскопии нейтроно-дефицитных изотопов редких земель.  
Дубна июнь 1959г.
4. И.С.Днепровский . Материалы настоящего совещания.
5. А.С.Басина, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов. Материалы настоящего совещания.
6. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Зыонг Чонг Бай, В.Г.Чумин.  
Материалы второго совещания по ядерной спектроскопии нейтроно-дефицитных изотопов редких земель. Дубна. июнь 1959
7. Е.П.Григорьев. Доклад на третьем совещании по нейтроно-дефицитным изотопам. Дубна июнь 1960г.



$Dy^{158}$

I. Схема распада цепочки  $Er^{158} \rightarrow Ho^{158} \rightarrow Dy^{158}$  стаб.

## О ПОЗИТРОННЫХ СПЕКТРАХ НЕЙТРОНО-ДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ ГОЛМИЯ, ТЕРБИЯ И ГАДОЛИНИЯ

Н.А.Бонч-Осмоловская, Б.С.Джеленов, О.Е.Крафт,  
Чжоу Юе-ва

Нейтронно-дефицитные изотопы голмия, тербия и гадолиния получались в реакции глубокого отщепления при облучении танталовой мишени протонами  $E_p = 660$  Мэв на синхротроне ОИЯИ. Облучение проводилось в течение 15, 30, 45 мин. и 2 часов. Фракции выделялись хроматографически. Источник наносился на алюминиевую подложку размером 15x2 мм и толщиной 5 микрон. Измерения производились на  $\beta$ -спектрометре с трехкратной фокусировкой (I) и начинались спустя 3-4 часа после конца облучения и 15-30 мин. после выхода фракции с колонки.

### Голмиевая фракция

Во фракции голмия были обнаружены уже хорошо известный позитронный спектр 5-ти часового  $\text{Ho}^{160}$  (2) и очень интенсивный  $\beta^+$ -спектр с более коротким периодом полураспада (счет на максимуме спектра при получасовом облучении составлял 8000 совп/мин).

Наблюдение за убыванием интенсивности этого  $\beta^+$ -спектра в течение 12 часов показало, что он принадлежит изотопу с периодом полураспада  $53 \pm 7$  минут.

Позитронный спектр оказался сложным, состоящим из трех компонент с граничными энергиями  $2930_{\pm 70}$  Кэв,  $180_{\pm 50}$  Кэв и  $1300_{\pm 50}$  Кэв, и относительными интенсивностями 1:14:4.

В работе (3) на магнитном  $\beta$ -спектрометре были замечены позитроны с граничной энергией около 2 Мэв, принадлежавшие, по мнению авторов, изотопу  $\text{No}^{155}$  с периодом полураспада 50 минут.

По-видимому, авторы наблюдали тот же позитронный спектр, что и мы, но не заметили слабой жесткой компоненты.

Мы не имеем сейчас других данных для идентификации кроме периода полураспада и граничной энергии.

В литературе указаны два изотопа  $\text{No}$  с близкими периодами:  $\text{No}^{156}$  ( $T_{1/2} = 56$  мин (4)) и  $\text{No}^{155}$  ( $T_{1/2} = 46 \pm 3$  мин (5)).

Идентификация  $\text{No}^{156}$  достоверна, так как хорошо известна ротационная полоса перехода  $\text{No}^{156} \rightarrow \text{Dy}^{156}$  [4, 6],  $\text{No}^{155}$  изучен гораздо слабее. Его период полураспада измерен (5) путем последовательных экстракции  $\text{Dy}^{155}$ ; конверсионные линии  $\text{Dy}^{155}$  в голмиевой фракции наблюдались (7), но их нарастание не установлено из-за экранировки линиями  $\text{No}^{156} \rightarrow \text{Dy}^{156}$ . Ввиду близости периодов полураспада  $\text{No}^{155}$  и  $\text{No}^{156}$  идентифицировать наблюдаемые нами позитроны по периоду нельзя.

Однозначно указать изотоп на основании энергии наиболее жесткой компоненты и полуэмпирических данных о разностях масс изотопов (8) также не удастся, хотя предпочтение следует отдать  $\text{No}^{156}$ .

По таблицам Камерона (8)	Но I55	- $Dy^{I55}$	= 3,3 Мэв
	Но I56	- $Dy^{I56}$	= 4,6 Мэв
	опыт дает		3,95 Мэв

### Гадолиниевая фракция

В гадолиниевой фракции мы наблюдали малоинтенсивный позитронный спектр (скорость счета составляла  $\sim 10$  совп/мин. на максимуме спектра). Интенсивность спектра убывала с периодом  $34 \pm 3$  часа.

Хроматограммы показывают, что в гадолиниевой фракции обычно наблюдается много примесей. Поэтому нами неоднократно предпринимались попытки вторичного выделения гадолиниевой фракции. Измерения произведенные до и после очисток гадолиниевой фракции показали, что наблюдаемый нами  $\beta^+$ -спектр сохраняет в пределах погрешностей величину граничной энергии и убывает по интенсивности с прежним периодом. График Кюри, приведенный на рис. I показывает, что  $\beta^+$ -спектр является простым от границы  $E_{gr} = (1020 \pm 50)$  Кэв до 200-300 Кэв.

Известен только один изотоп  $Gd$  с близким периодом полураспада:  $Gd^{I47}$  ( $T_{1/2} = 29 - 36$  час (9), (10), (11)), позитронный распад у этого изотопа не наблюдался.

Мы приписываем  $\beta^+$ -спектр с  $T_{1/2} = (34 \pm 3)$  час  $Gd^{I47}$ . Разность масс  $Gd^{I47} - Eu^{I47}$  по Камерону и Леви имеет значения 2,148 Мэв и 2,329 Мэв соответственно, что согласуется с нашим результатом  $Gd^{I47} - Eu^{I47} \approx 2,522$  Мэв.

Дополнительным аргументом в пользу интерпретации  $\beta^+$ -спектра с  $T_{1/2} = 34$  час, как принадлежащего  $Gd^{147}$ , может служить то, что, используя тот же источник, мы наблюдали известные ранее конверсионные линии  $Gd^{147}$ :  $(396 \pm 10)$  Кэв,  $(770 \pm 10)$  Кэв и  $(915 \pm 10)$  Кэв.

Определив занимаемую этими линиями площадь и зная площадь, занимаемую позитронным спектром  $Gd^{147}$ , мы смогли оценить относительные интенсивности  $\beta^+$ -спектра и конверсионных линий. Для линии 770 Кэв  $S_{\beta^+}/S_{e^-} = 2,98$ , для линии 915 Кэв  $S_{\beta^+}/S_{e^-} = 2,40$  и для линии 396 Кэв  $S_{\beta^+}/S_{e^-} \sim 0,09$ . Эти цифры приблизительно согласуются с результатами работы (II), по которой линия 396 Кэв, грубо говоря, в 50 раз интенсивнее двух других.

#### Тербиевая фракция

В тербиевой фракции мы наблюдали несколько позитронных спектров. Рассмотрим их последовательно:

I)  $T_{1/2} = (18 \pm 1)$  час.

Граничные энергии компонент этого спектра, определенные по графику Кюри, оказались равны  $(2750 \pm 50)$  Кэв,  $(1660 \pm 50)$  Кэв и  $(750 \pm 100)$  Кэв. Об этом спектре появлялось много сведений в литературе (I2), (I3), (I4), (I5) и др. Наши значения периода полураспада и граничной энергии хорошо совпадают с данными других авторов. Идентификацию этого спектра можно считать установленной (I5), (I6), (I7). Он принадлежит ТВ I52.

$$2) \quad \underline{T_{1/2} = (3,1 \pm 0,4) \text{ часа}}$$

Наряду с I8 - часовым спектром мы наблюдали интенсивный  $\beta^+$ -спектр (скорость счета на максимуме спектра была 4000 совп/мин). Период полураспада его равен  $3,1 \pm 0,4$  часа (рис.2).

Разложение спектра с помощью графика Кюри показало, что мы имеем сложный  $\beta^+$ -спектр, состоящий из трех компонент, (рис.3) с граничными энергиями  $(3600 \pm 100)$  Кэв,  $(2800 \pm 100)$  Кэв и  $(1500 \pm 100)$  Кэв и относительными интенсивностями 1:0,48:0,58.

Сведения об излучении в тербиевой фракции с периодом 3-4 часа не раз встречались в литературе. В работе (I8) при бомбардировке  $Gd$ ,  $Dy$  и  $Eu$  протонами с энергией 90-200 Мэв в тербиевой фракции наблюдалась активность с  $T_{1/2} = 4,1$  часа. Она была приписана  $Tb^{149}$  на основании масс - спектрометрических данных. Отмечалось, что позитронов авторы не наблюдали.

В работе (I3) сообщалось, что в тербиевой фракции, образующейся при бомбардировке  $Eu$   $\alpha$ -частицами, также наблюдалась  $\alpha$ -активность, спадающая с  $T_{1/2} = 4$  часа. Позитроны замечены не были. На основании предыдущей работы Рассмусена и др. активность была приписана  $Tb^{149}$ .

В последующей своей работе (I9) Рассмусен и др. исследовали на многоканальном анализаторе  $\gamma$ -лучи 4-х часового тербия, получаемого по реакции  $Pp^{141}(C^{12}, x p)(E_{C^{12}} = 65 \text{ Мэв})$ . Они обнаружили ряд линий, но заметного аннигиляционного пика не наблюдалось.

В Ленинградском университете при изучении тербиевой фракции на спектрометре с трехкратной фокусировкой Желевым и др. (20) был замечен жесткий  $\beta^+$ -спектр с  $T_{1/2} = (3,5 \pm 0,1)$  часа. Так как измерения были начаты спустя 20 часов после конца облучения  $\beta^+$ -спектр с  $T_{1/2} = 3,5$  час. был значительно слабее 18-и часового  $\beta^+$ -спектра и авторы могли измерить только самый конец спектра, где 18-ти часовая компонента отсутствует. Граничная энергия  $\beta^+$ -спектра была определена как  $(3720 \pm 60)$  Кэв. На основании таблиц Камерона и Леви (8) разность масс  $Tb^{149} - Gd^{149}$  равна в среднем 3000 Кэв, в то время как по энергии распада она оказалась  $\geq 4700$  Кэв. Учитывая, что расхождение слишком велико, авторы высказали предположение, что этот спектр может скорее принадлежать новым изотопам  $Tb^{150}$  или  $Tb^{148}$ , для которых энергия распада, согласно (8), 3700 Кэв и 5000 Кэв, соответственно.

Недавно появилась работа, в которой сообщалось об открытии нового изотопа  $Tb^{150}$  (21). Работа выполнена Тотом, Борнхольмом и др. Авторы бомбардировали естественную смесь изотопов  $Gd$  протонами  $E_p = 60$  Мэв. Новый изотоп был выделен масс-сепаратором из химически чистой тербиевой фракции. Период полураспада его оказался равным  $3,1 \pm 0,1$  часа. Одновременно при массовом числе 149 наблюдался 4-х часовой  $Tb^{149}$ . Авторы исследовали  $\gamma$ -спектры  $Tb^{149}$  и  $Tb^{150}$ . Они наблюдали в обоих спектрах аннигиляционные пики, причем в  $Tb^{150}$  он был выражен более отчетливо, чем в  $Tb^{149}$ .



Надо отметить, что разделение фракции по массам было в этом случае неполным в отличие от разделения, проведенного для измерения периодов полураспада.

В принципе, позитронный распад в  $Tb^{149}$  может иметь место. Разность масс  $Tb^{149} - Gd^{149}$  по Камерону и Леви составляет величину  $\sim 3$  Мэв. Однако, то обстоятельство, что позитроны не были замечены ранее, как отмечалось в перечисленных выше работах (18), (13), (19), указывает на то, что  $\beta^+$ -спектр, видимо, мало интенсивен.

Тот же вывод следует и из наших данных. По величине периода полураспада, равной  $3,1 \pm 0,4$  час., наш  $\beta^+$ -спектр может принадлежать скорее  $Tb^{150}$ , чем  $Tb^{149}$ .

Если бы в нашем  $\beta^+$ -спектре присутствовали в заметном количестве позитроны  $Tb^{149}$ , то мы должны были бы наблюдать увеличение значения периода полураспада при измерениях в более мягкой области спектра. Этого не наблюдалось. Во всех опытах значение периода полураспада в пределах погрешностей сохраняет свою величину во всех энергетических интервалах спектра.

$$3) \quad T_{1/2} = (66 \pm 10) \text{ мин.}$$

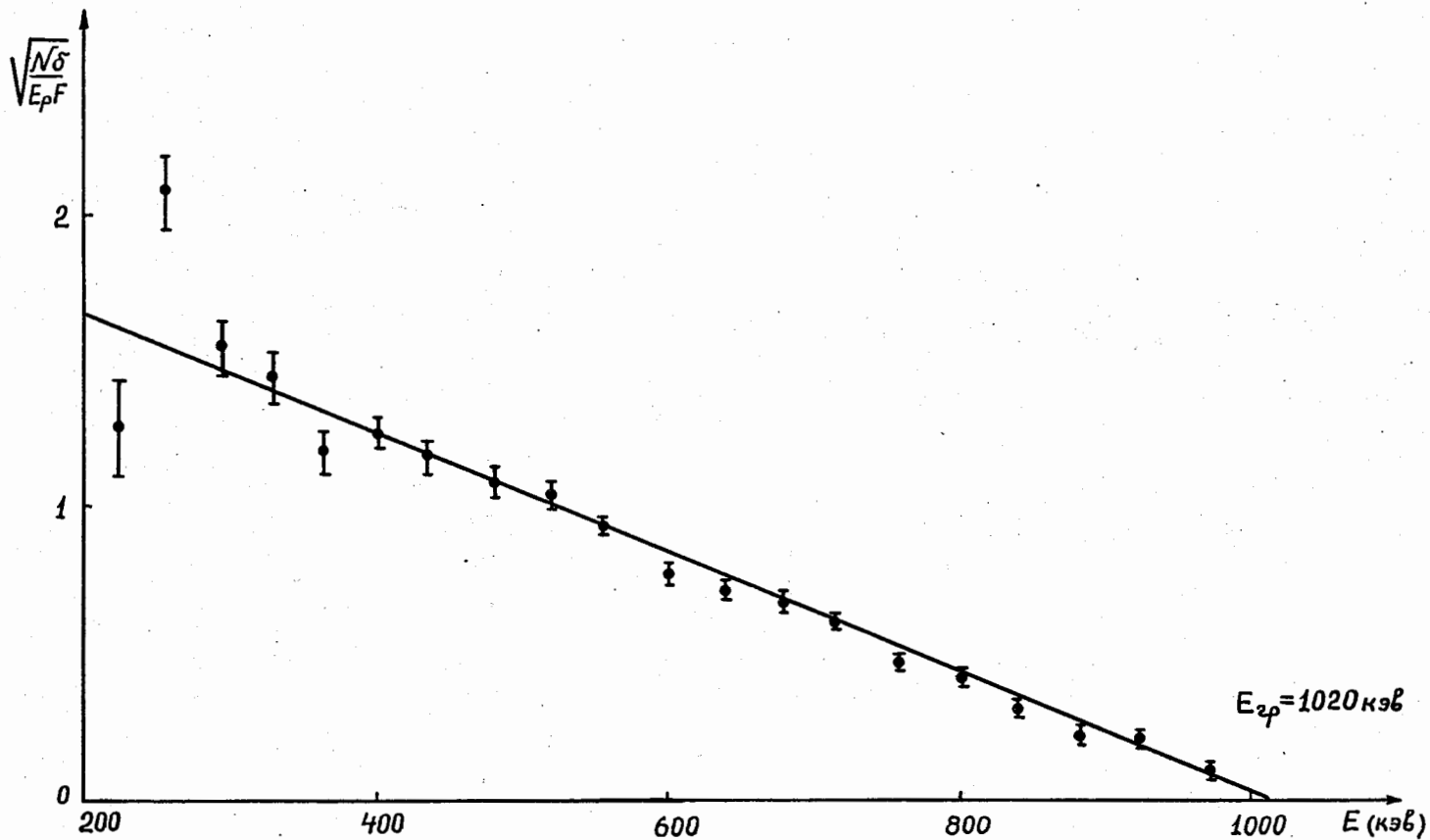
В самой жесткой части спектра тербиевой фракции во всех опытах наблюдалась активность с  $T_{1/2} = (66 \pm 10)$  мин. (рис.4). Это  $\beta^+$ -спектр гораздо менее интенсивен, чем  $\beta^+$ -спектр с  $T_{1/2} = 3,1 \pm 0,4$  часа и поэтому выделить его из суммарного спектра путем вычитания позитронов  $Tb^{150}$  и  $Tb^{149}$  не удавалось. Мы смогли выделить 66-и минутную компоненту только выше 3200 Кэв. Граничная энергия  $\beta^+$ -спектра оказалась равной  $(4500 \pm 200)$  Кэв. (рис.5).

В литературе сообщалось об открытии нового изотопа  $Tb^{I48}$  с  $T_{1/2} = 70$  мин. (19). Авторы наблюдали слабый аннигиляционный пик. Разность масс  $Tb^{I48} - Gd^{I48}$  по таблицам Камерона и Леви равна соответственно 5042 Кэв и 4956 Кэв, что согласуется с нашей величиной  $\geq 5500$  Кэв. Мы считаем, что наблюдаемый нами  $\beta^+$ -спектр с  $T_{1/2} = 66 \pm 10$  мин. относится в  $Tb^{I48}$ .

В заключение авторы выражают искреннюю признательность И.А.Ютландову и В.А.Халкину за тщательное выполнение химической части работы и К.Я.Громову за интерес и внимание к работе.

ОИЯИ

НИФИ Ленинградского Гос.  
Университета



170

Рис. I График Кюри  $Gd^{147}$   
 $T_{1/2} = 34 \pm 3$  часа,  
 $E_{гр.} = (1020 \pm 50)$  КэВ

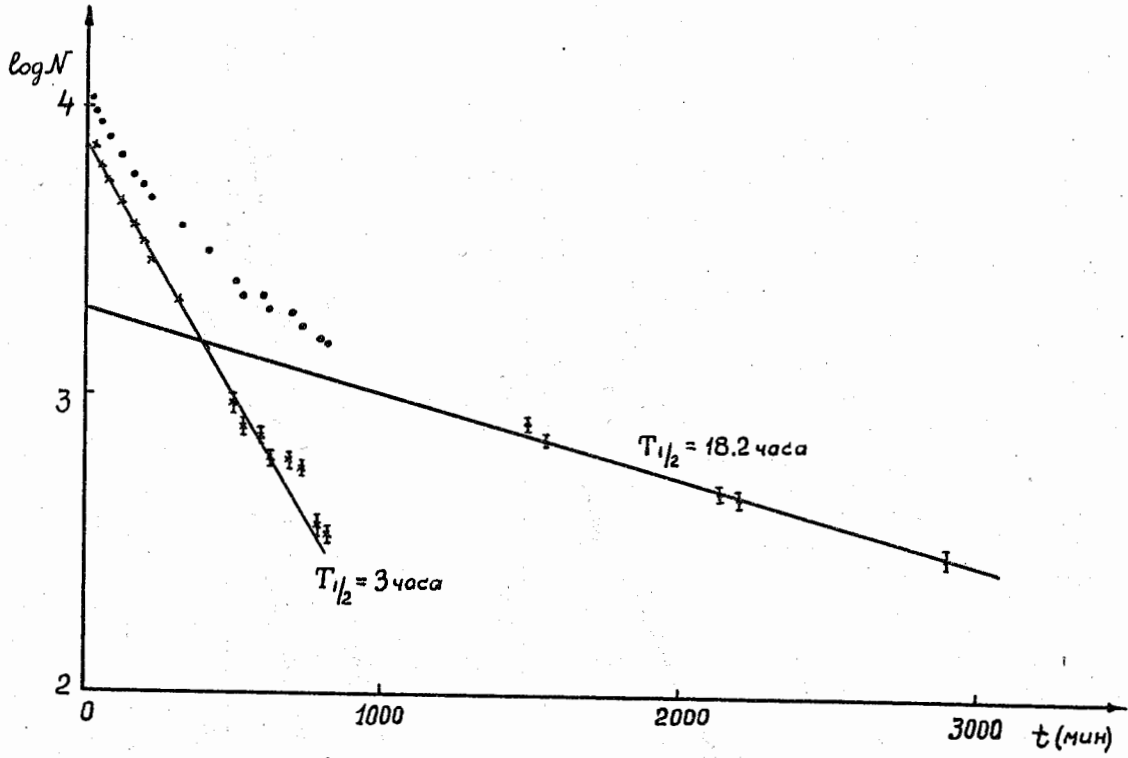


Рис. 2 Периоды полураспада  $\beta^+$ -спектров торбия для  $E = 715 \text{ КэВ}$ .

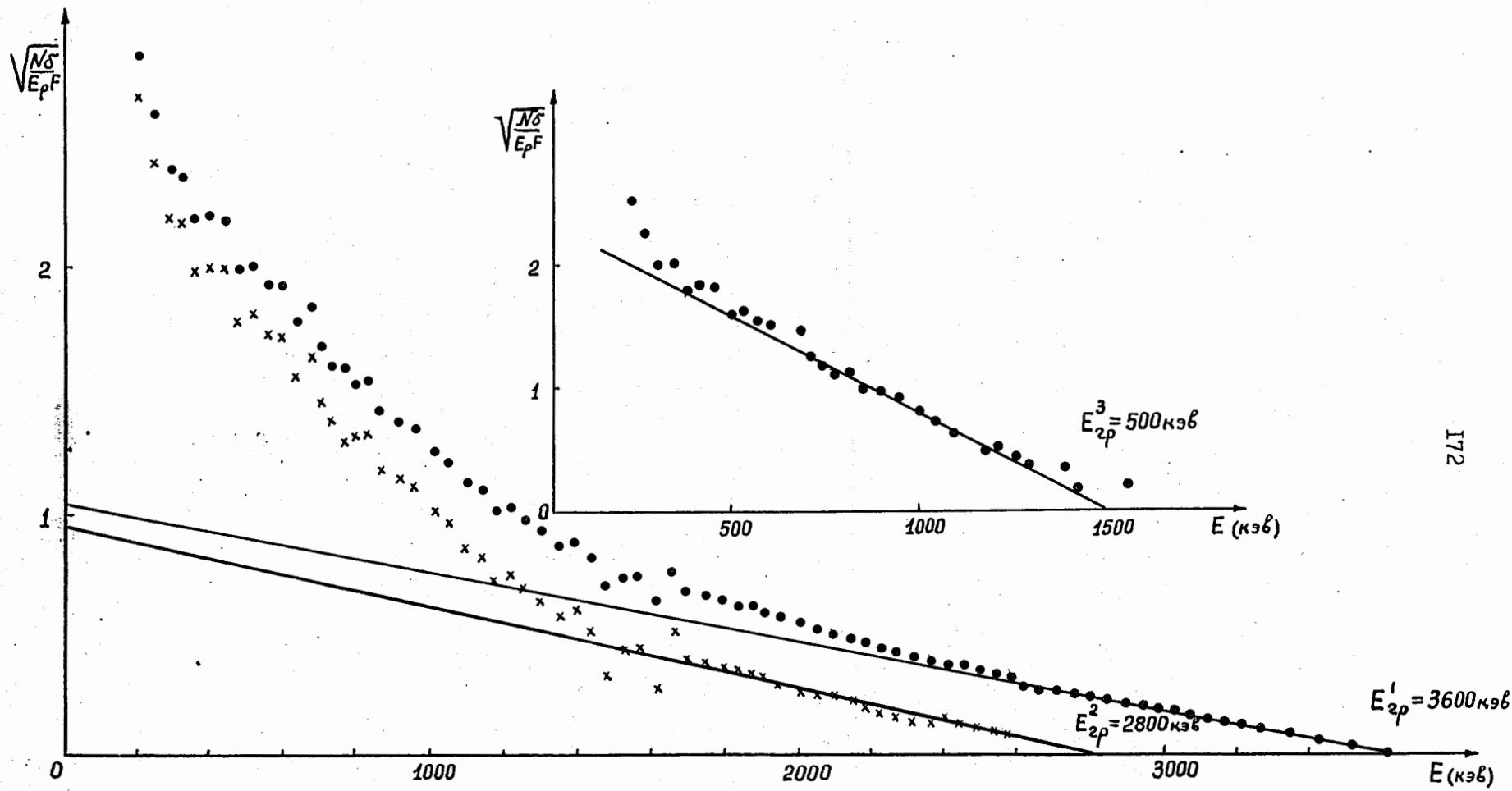


Рис. 3 График Кюри тербия с  $T_{1/2} = (3,1 \pm 0,4)$  час.  
 $E_{\rho} = (3600 \pm 100)$  КэВ  $E_{\rho} = (2800 \pm 100)$  КэВ и  
 $E_{\rho} = (1500 \pm 100)$  КэВ

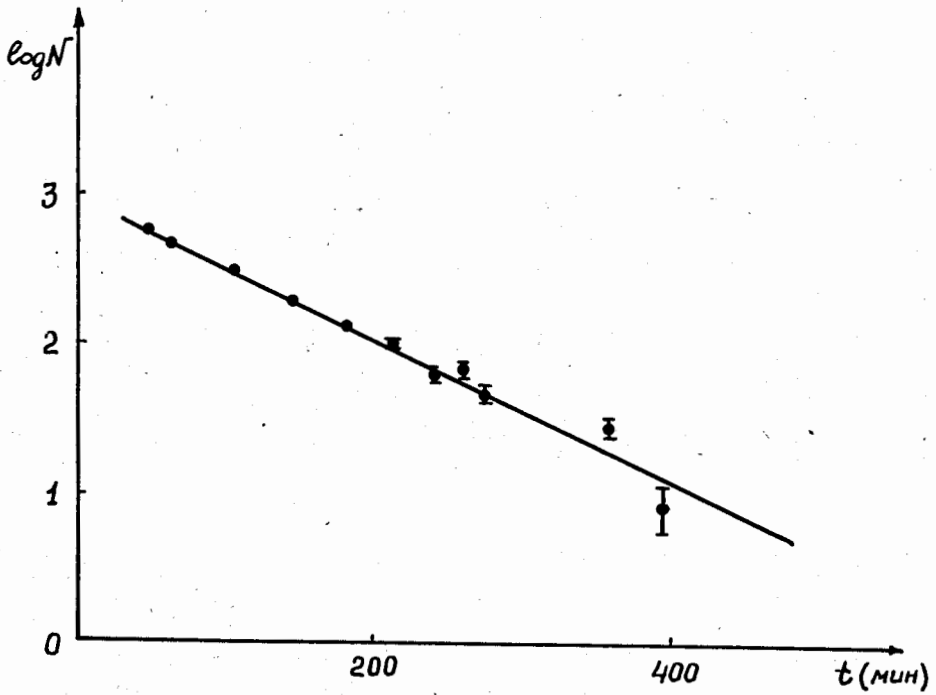


Рис. 4 Период полураспада  $\beta^+$ -спектра тербия для  $E$ -интервала 3050 - 3150 Кэв.

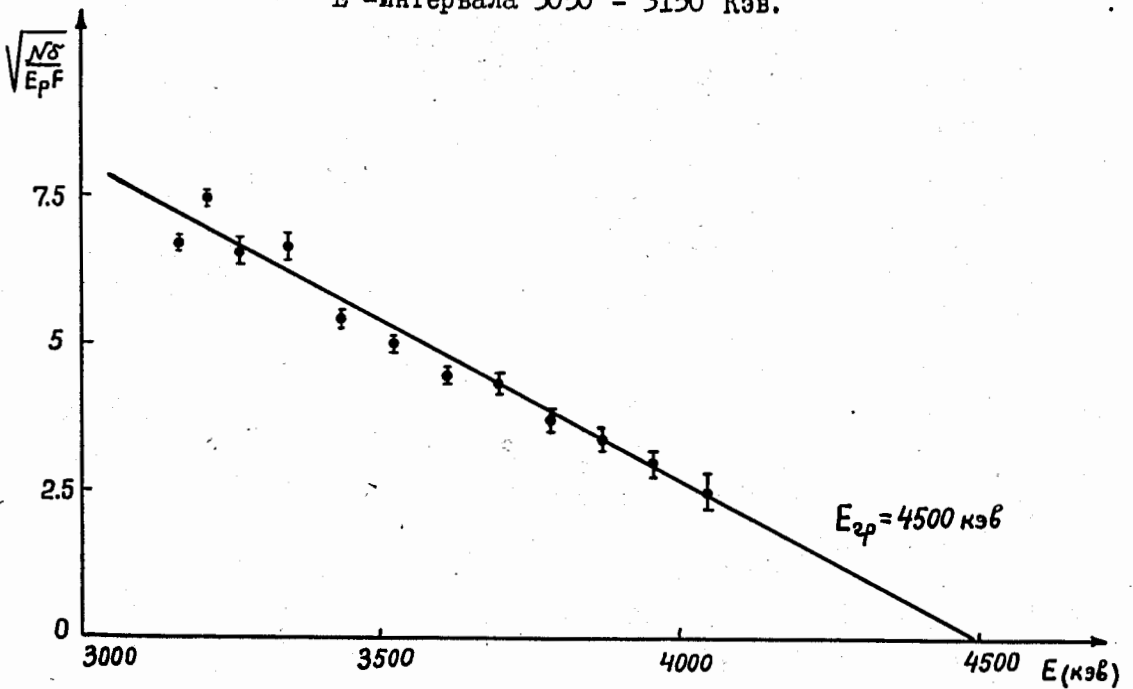


Рис. 5 График Кюри тербия с  $T_{1/2} = 66 \pm 10$  мин.,  
 $E_{гр} = (4500 \pm 200)$  Кэв.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. О.Е.Крафт, Б.С.Джелепов .Изв.АН СССР 20, 318 (1956)
2. Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, О.Е.Крафт, Б.Крацик, Л.К.Пекер, А.В.Золотавин .Изв. АН СССР, сер. физ. 22, 101 (1958).
- 3 А.В.Калямин. И.Ю. Левенберг, В.А. Яковлев.  
Атомная энергия № 5 1959 г.
4. J. Mihelich, V. Harnatz and T. Handley. Phys.Rev. 108, 989  
1957.
5. Б.Далхсурен, И.Ю.Левенберг, Ю.В. Норсеев, В.Н.Покровский, С.С.Хойнацкий. Атомная энергия т.8, вып.3 ( 1960)
6. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Зыонг Чонг Бай, В.Г.Чумин.  
Материалы II совещания по нейтроно-дефицитным изотопам.  
Дубна (1959).
7. А.С. Басина, К.Я.Громов , Б.С.Джелепов.  
Материалы III совещания по нейтроно-дефицитным изотопам  
Дубна (1960г.)
8. A. Cameron. "A revised semi-empirical atomic mass formula".  
AECI. No. 433 (1957).  
J. Riddell. "A table of Levy's empirical atomic mass".  
AECI, No. 339 (1956).
9. Г.М.Городинский, А.Н. Мурин, В .Н. Покровский, Б.К.Преображенский. "Тезисы докладов VIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии", январь 1958 г. Изд. АН СССР М.-Л стр.22.
10. Shirley, Smith, Rasmussen. Nucl. Phys. 4, 395 (1957).
- II. Н.М. Антоньева, А.А.Башилов, Б.С.Джелепов. Изв.АН СССР сер.физ. 22, 906 (1958).

12. G.W.Wilkinson, H.G.Hicks. Phys.Rev. 79, 815 (1950).
13. Rollier, J.O.Rasmussen. Jr. Rend. Acad.Nazl. Lincei, 14,  
526 (1953).
14. Н.М.Антоньева, А.А.Башилов, ДАН, II9, № 2, 241 (1956)
15. R.S. Toth, J.O. Rasmussen Phys.Rev., 115, 158 (1959).
16. Н.А.Бонч-Осмоловская, Б.С.Джелепов, О.Е.Крафт.  
Изв.АН СССР сер.физ.т.XXIV, № 3, 283 (1960)
17. А.С.Басина, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов.  
Материалы X Совещания по ядерной спектроскопии,  
Москва (1960).
18. J.O. Rasmussen, S.G. Thompson, A. Ghiorso, Phys.Rev., 89,  
33 (1953).
19. R.S. Toth, J.O. Rasmussen, J. Jnorg Nucl.Chem., 10,  
198 (1959).
20. Ж.Т.Желев, А.В. Кудрявцева, Б.С.Джелепов. Материалы  
X Совещания по ядерной спектроскопии Москва, (1960)
21. R.S. Toth, S. Björnholm, M. Jørgensen, O.B. Nielsen,  
O. Skilbreid, Phys.Rev., 116, 118 (1959).



Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, В.Звольска, А.В.Золотавин

Введение

Использование метода ядерного магнитного резонанса для измерения магнитного поля спектрометра позволяет с большой точностью определять энергии конверсионных линий радиоактивных изотопов и, таким образом, уточнять схемы возбужденных уровней ядер.

Нами был использован этот метод в  $\beta$ -спектрометре с двойной фокусировкой на угол  $n\sqrt{2}$ , обладающем разрешающей способностью 0,22% на линии 662 Кэв  $Cs^{137}$ . В середине зазора спектрометра была специально создана область однородного поля, в которой находился датчик, позволяющий измерять поля от 60 до 800 гаусс, что соответствует в нашем приборе энергии фокусируемых электронов от 60 до 2700 Кэв.

Из-за некоторой зависимости топографии магнитного поля от его величины не было строгой пропорциональности между импульсом электронов  $H_p$  и резонансной частотой генератора  $f$ . Поэтому была проведена градуировка спектрометра по хорошо известным линиям изотопов  $Th\ B$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Lu^{170}$ ,  $Yb^{169}$  и другим. На рис. I показана градуировочная кривая; по оси ординат отложено отношение импульса электронов  $H_p$  к частоте  $f$ .

Конверсионные линии No I60

Конверсионный спектр No I60 исследовался ранее в ряде работ /1,2/. В результате была построена схема возбужденных уровней  $Dy^{I60}$  вплоть до энергий 3 Мэв. Однако, точность определения энергий переходов составляла приблизительно 0,3%. Нами были промерены энергии наиболее интенсивных линий с точностью 0,05 - 0,10%. В таблице I приведены полученные результаты. Здесь же показаны прежние значения энергий переходов /2/ и, по-видимому, наиболее точные в настоящее время энергии переходов, полученные Бекстромом и др. /4/ при изучении распада  $Tb^{I60}$ . Наши результаты получены при измерении препаратов  $Er^{I60}$  ( $T = 29,4$  час), находящихся в равновесии с No I60 ( $T=4,7$  час).

Т а б л и ц а I

Энергии  $\gamma$ -переходов в  $Dy^{I60}$ .

Наши данные по No I60	Данные /2/ по No I60	Данные $Tb^{I60}$ /4/ по
60, I $\pm$ 0, I (в No I60)	60, I	-
86, 84 $\pm$ 0, 07	86, 5	86, 8 $\pm$ 0, 3
107, 6 $\pm$ 0, 2	107, 4	-
197, 0 $\pm$ 0, 2	196	197, 0 $\pm$ 0, 4
-	214, 8	215, 6 $\pm$ 0, 4
297, 7 $\pm$ 0, 3	297, 2	-
298, 8 $\pm$ 0, 3	298, 4	298, 6 $\pm$ 0, 4
-	393	394, 5 $\pm$ 1, 0
405, 7 $\pm$ 0, 4	407	-
513, 6 $\pm$ 0, 4	514, 6	-

538,7 $\pm$ 0,4	539,5	-
645,5 $\pm$ 0,4	647,4	-
728,5 $\pm$ 0,5	729,7	-
754,5 $\pm$ 0,6	754,6	-
765,7 $\pm$ 0,6	766,4	764 $\pm$ 2
872,5 $\pm$ 0,8	872,4	-
879,8 $\pm$ 0,6	879,9	879,3 $\pm$ 0,2
962,8 $\pm$ 0,6	963,4	962,5 $\pm$ 0,4
966,4 $\pm$ 0,7	966,6	966,3 $\pm$ 0,3
1069,7 $\pm$ 0,8	1069	-
-	-	III5,0 $\pm$ 1,7
-	-	II77,6 $\pm$ 0,3
-	-	II99,9 $\pm$ 0,8
-	I272	I272,3 $\pm$ 0,4
-	I314	I312,4 $\pm$ 0,8

Из таблицы I видно хорошее согласие наших результатов с данными Бекстрема, что является дополнительной проверкой градуировки прибора. Мы используем данные Бекстрема для определения энергий тех уровней  $D_y^{I60}$ , которые слабо возбуждаются при распаде  $Ho^{I60}$ .

#### Уровни $D_y^{I60}$

На рис.2 показана схема уровней  $D_y^{I60}$ , энергия которых уточнена в результате наших измерений. Энергии первых двух уровней устанавливаются по переходам 86,8 и 197,0 Кэв. Это хорошо известные уровни нижней ротационной полосы.

Энергия уровня 966,5 Кэв ( $2^+$ ) определяется переходами на основное состояние и на уровень 86,8 Кэв.

$$0 + 966,4 = 966,4$$

$$\underline{86,8 + 879,8 = 966,6}$$

Среднее 966,5 Кэв.

Уровень 1049,5 ( $3^+$ ) также разряжается двумя переходами:

$$86,8 + 962,8 = 1049,6$$

$$\underline{283,8 + 765,7 = 1049,5}$$

Среднее 1049,5 Кэв.

Энергию уровня 1156,4 Кэв ( $4^+$ ) можно определить по двум переходам:

$$86,8 + 1069,7 = 1156,5$$

$$\underline{283,8 + 872,5 = 1156,3}$$

Среднее 1056,4 Кэв.

Эти три уровня относятся к ротационной полосе с  $K=2$ . Все они заселяются сильными  $\gamma$ -переходами, идущими с уровня 1695,0 Кэв, причем значение его энергии определяется по этим трем переходам:

$$966,5 + 728,5 = 1695,0$$

$$1049,5 + 645,5 = 1695,0$$

$$\underline{1056,4 + 538,4 = 1695,1}$$

Среднее 1695,0 Кэв.

Уровень 1695,0 Кэв — один из наиболее сильно возбуждаемых при распаде  $^{160}\text{Po}$ .

Переходы 1177,6, 215,6 и 298,6 Кэв (энергии взяты по работе /4/) идут с уровня 1264,9 Кэв. Этот уровень отчетливо

проявляется при распаде  $T\beta^{160}$  и спин его -  $2^- / 8/$ . Однако в конверсионном спектре  $Ho^{160}$  линии  $1177,6$  и  $215,6$  малоинтенсивны. Считая, что линия  $215,6$  Кэв в спектре  $Ho^{160}$  идет с уровня  $1264,9$  Кэв, можно сделать заключение, что интенсивность линии  $298,8$  Кэв должна составлять лишь 20% от интенсивности дублета  $297,7 + 298,8$  Кэв.

Эксперимент показывает, что жесткая компонента дублета составляет по интенсивности от 15 до 30%. Сильная мягкая компонента должна быть расположена в другом месте схемы.

Уровень  $1359,2$  Кэв определяется двумя переходами (энергии взяты по работе /4/.

$$86,8 + 1272,3 = 1359,1$$

$$\underline{1264,9 + 94,3 = 1359,2}$$

Среднее  $1359,2$  Кэв.

Эти переходы хорошо наблюдаются при распаде  $T\beta^{160}$ , и они малоинтенсивны в спектре  $Ho^{160}$ .

Уровень  $1563,7$  Кэв проявляется только при распаде  $Ho^{160}$ ; его энергия определяется по трем переходам:

$$1049,5 + 513,6 = 1563,1$$

$$1264,9 + 298 = 1563$$

$$\underline{86,8 + 1476 = 1563}$$

Среднее  $1563$  Кэв.

Энергия последнего перехода взята из работы /2/. По-видимому, с этого уровня может также идти на уровень  $283,8$  Кэв одна

из компонент сложной линии I285 Кэв, которая наблюдалась в той же работе /2/.

Размещение линии 298 Кэв в этом месте позволяет объяснить "самосовпадения" линии 298 Кэв /3/. Видимо, эта линия еще сложнее, чем двойная.

Ниже вычислены параметры А и В для ротационных полос  $D_{\gamma}^{160}$ . Используя полученные значения, можно вычислить положение уровня  $6^+$  нижней полосы. Оно равно  $578_{\pm 5}$  Кэв. Можно предположить, что с этого уровня идет переход 297,7 Кэв. В этом случае энергия уровня 581,5 Кэв совпадает в пределах погрешностей с вычисленной. Такое расположение перехода 297,7 Кэв объясняет большое количество  $e - e$  - совпадений (197 + 298) /3/. Согласно работе /3/ около 70% интенсивности дублета относится к переходу  $581,5 \rightarrow 283,8$ .

Аналогично вычисляется энергия уровня  $5^+$  второй полосы. Она равна  $1283_{\pm 12}$  Кэв. В спектре  $No^{160}$  есть переход 708,6 Кэв /2/, который можно расположить между уровнем  $5^+$  и уровнем 581,5 Кэв. Тогда энергия 1290 Кэв, полученная экспериментально, хорошо совпадает с вычисленной. Переход 405,7 Кэв по энергии хорошо укладывается между уровнями 1695,0 и 1290 Кэв.

Заселение уровня  $6^+$  581,5 Кэв при  $\beta$ -распаде  $No^{160}$  маловероятно из-за К-запрета. Интенсивности переходов 297,7 и 708,6 примерно одинаковы, а уровень 1290 Кэв может заселяться путем электронного захвата или переходов с более высоких уровней.

Свойства состояний  $Dy^{160}$

На основе точного определения энергий уровней можно сделать некоторые заключения о ротационных параметрах  $Dy^{160}$ . Из энергий уровней первой ротационной полосы определяется момент инерции  $Dy^{160}$  в основном состоянии, связанный с параметром  $A$  формулой  $A = \frac{h^2}{2J}$ . Из формулы

$$E_i^* = E_0 + A[I_i(I_i + 1) - I_0(I_0 + 1)] - B[I_i(I_i + 1) - I_0(I_0 + 1)]^2$$

определяется также параметр  $B$ . Для первой ротационной полосы  $A_1 = 14,59 \pm 0,03$  Кэв  $B_1 = 0,020 \pm 0,03$  Кэв.

Для ротационной полосы на состоянии 966,5 Кэв,  $2^+$

$$A_2 = 14,01 \pm 0,17 \text{ Кэв} \quad B_2 = 0,032 \pm 0,016 \text{ Кэв.}$$

Меньшее значение  $A_2$  чем  $A_1$ , т.е. большее значение момента инерции возбужденного состояния характерно для соседних четно-четных ядер:

$E_r^{166}$	$A_1 = 13,51 \pm 0,03$	$B_1 = 0,013 \pm 0,003$	$A_2 = 12,32 \pm 0,13$	$B_2 = 0,01 \pm 0,01$ /5/
	$A_1 = 13,5$	$B_1 = 0,013$	$A_2 = 12,3$ /6/	
$E_r^{168}$	$A_1 = 13,3$	$B_1 = 0,066$	$A_2 = 12,4$ /6/	

Мультипольности переходов

Высокое разрешение прибора позволило провести разложение  $L$ -линий переходов 86,8 Кэв и 60,1 Кэв и по отношению интенсивностей  $L_I$ ,  $L_{II}$  и  $L_{III}$  линий сделать заключение о мульти-

польности переходов (табл.2). Значительная экспериментальная погрешность обусловлена большой толщиной источника. Переход 86,8 Кэв идет с первого ротационного уровня на основное состояние  $Dy^{160}$ , и его мультипольность, несомненно, E 2. Таблица 2 подтверждает это.

Вывод о том, что мультипольность перехода 60,1 Кэв в  $Ho^{160}$  - E3, был сделан по времени жизни возбужденного состояния  $Ho^{160}$  /1/. Полученное отношение  $L_I : L_{II} : L_{III}$  (таблица 2) лучше согласуется с теоретическими значениями для E 3 перехода, чем для E2.

Таблица 2

Сравнение экспериментальных отношений  $L_I : L_{II} : L_{III}$  с теоретическими для переходов 86,8 Кэв в  $Dy^{160}$  и 60,1 Кэв в  $Ho^{160}$ .

Переход	60,1 Кэв		86,8 Кэв
Мультипольность	E 2	E 3	E 2
Слив и Банд	0,029:0,88:1	0,0125:0,95:1	
Роуз	0,034:0,88:1	0,013:0,96:1	0,12:0,96:1
Опыт	(0,017±0,010) : (0,692±0,03) : 1		
		(0,10±0,03):(0,94±0,04):1	



## Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. Григорьев Е.П., Джелепов Б.С., Золотавин А.В., Крафт О.Е.  
Крацик Б., Пекер Л.К. Изв. АН СССР (сер. физ.) 22, 1016 (1958).
2. Григорьев Е.П., Джелепов Б.С., Золотавин А.В., Крацик Б.,  
Биттерлих Г. Изв. АН СССР (сер. физ.) 23, 868 (1959).
3. Б.С.Джелепов, И.Звольский, В.А. Сергиенко, М.К. Никитин.  
Материалы настоящего совещания.
4. G. Backstrom, K.O. Bergman, E. Bashandy, A. Backlin Arkiv, f.Fys.  
15, 121 (1959).
5. Е.П. Григорьев, К.Я. Громов, Б.С.Джелепов.  
Материалы настоящего совещания.
6. K.P. Jacob, J.W. Mihelich, B. Harnatz, T.H. Handley  
Phys.Rev. 117, 1102 (1960).
7. М.В. Клементовская, Г.Чандра.  
Программа и тезисы докладов X совещания по ядерной  
спектроскопии , стр. 80 М.Л. (1960 ).

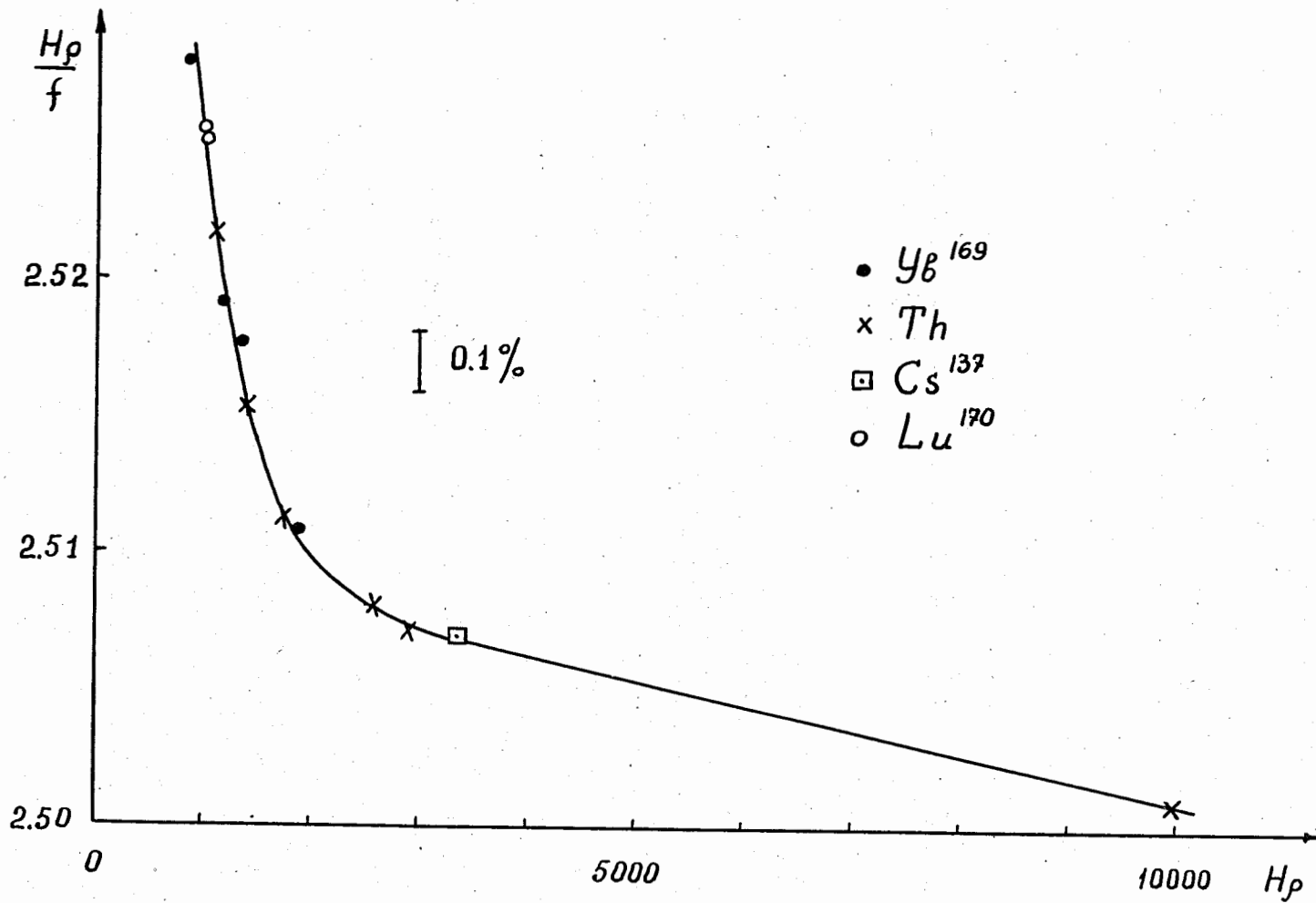


Рис. I. Градуировочная кривая спектрометра.

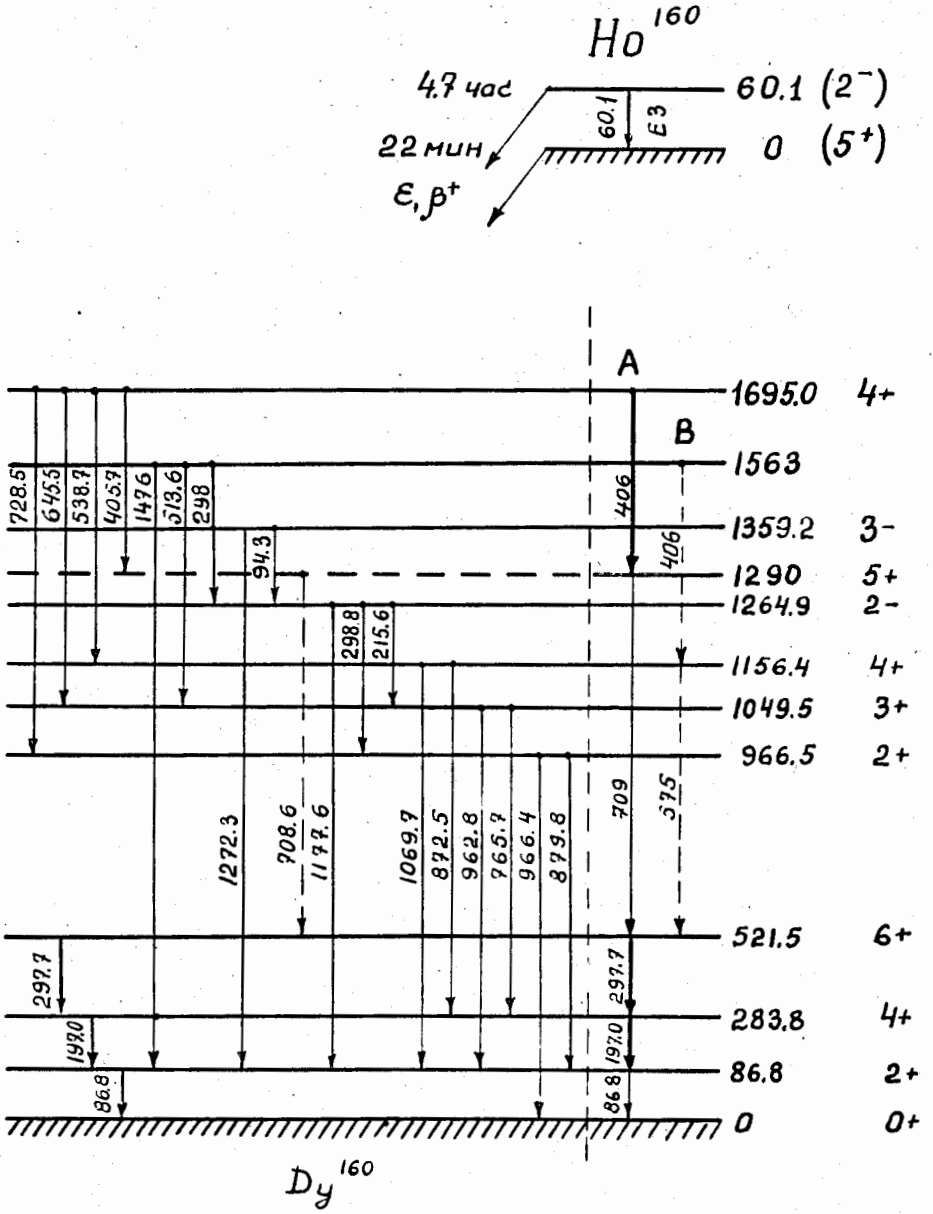
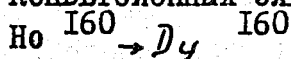


Рис.2. Часть схемы распада  $No^{160}$ .

## СОВПАДЕНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ РАСПАДЕ



Б.С.Джеленов, И.Звольский, М.К.Никитин, В.А.Сергиенко

При помощи сдвоенного линзового  $\beta$  - спектрометра /1/ мы продолжали изучение совпадений между конверсионными электронами, возникающими при распаде  $\text{Ho}^{160} \rightarrow \text{Dy}^{160}$

$$T_{1/2} = 5 \text{ ч.}$$

В качестве препарата нами был использован  $\text{Er}^{160}$

$T_{1/2} = 29 \text{ ч.}$ , превращающийся путем захвата атомных электронов в  $\text{Ho}^{160}$ .  $\text{Er}^{160}$  был получен в реакции  $\text{Ta} + p$  (660 Мэв).

Условия опытов были те же, что и в работе /4/. Как уже сообщалось, в этой работе нами были зарегистрированы совпадения между электронами от переходов с энергиями:

1) 86,6 и 107; 197; 298; 540; 647; 730; 755+766; 873+880; 963+966 Кэв,

2) 197 и 107; 298; 540; 647; 730; 755+766; 876+880 Кэв,

3) 297 и 298 Кэв,

4) 540 и 873+880 Кэв,

5) 730 и 873+880 Кэв,

6) 963+966 и 647; 730 Кэв.

В этот раз мы изучали совпадения между К-электронами от переходов 406 и 197, 298 Кэв. Электроны К406 проходили через

прокладку - слегка алюминированную коллодиевую пленку; она была, однако, достаточно тонкой и полуширина линии К406 была одинаковой на обеих половинах спектрометра, а скорость счета на них отличалась не более, чем на 10%. Результаты наших опытов представлены на рис. 1. Число совпадений (К 197) (К 406) и (К 298) (К 406) на максимумах линий соответственно составляло 35 и 9 имп.час<sup>-1</sup>. Несмотря на малое число истинных совпадений существование каскадов переходов 407 и 298; 407 и 196 Кэв мы считаем доказанным.

Совпадения (К 406) (К197).

В схеме распада  $\text{Ho}^{160} \rightarrow \text{Dy}^{160}$  (рис. 2) разность около 406 Кэв встречается в двух местах, а именно: между уровнями I563 и II56,4 Кэв (разность 406,6 Кэв) и между уровнями I695,0 и I290 Кэв (разность 405 Кэв) (энергии уровней здесь и дальше даны по наиболее точным измерениям Григорьева и др. /2/). При размещении перехода 406 Кэв между этими уровнями в обоих случаях должны наблюдаться совпадения электронов перехода 406 Кэв с электронами перехода нижней ротационной полосы I97 Кэв.

Экспериментальная скорость счета совпадений (К406) (К197) согласуется с расчетной в предположении, что всегда после перехода 406 Кэв следует переход I97 Кэв (экспериментальная - 35 совп./час, расчетная - 28 совп./час).

При различном расположении перехода 406 Кэв совпадения (К406) (К197) могут возникать в каскадах:

А) 406  $\rightarrow$  708,6  $\rightarrow$  297,7  $\rightarrow$  I97,0  $\rightarrow$  86,8

( 100% переходов I96 Кэв после 406 Кэв )

В) 406 → 872,5 → 197,0 → 86,8

( 70% переходов 197 Кэв после 406 Кэв ).

Мы отдаем предпочтение каскаду А и, следовательно, более высокому расположению перехода 406 Кэв, исходя из наблюдаемой скорости счета совпадений (К406) (К197) и из наличия совпадений (К406) (К298) (в каскаде В их не должно быть совсем)

### Строение линии К298.

Линия К298 имеет сложное строение. Это было замечено по форме конверсионной линии<sup>/3/</sup> и по наличию самосовпадений (К298)(К298)<sup>/4/</sup>. При распаде  $Ho^{160}$  наиболее интенсивная часть компоненты К298 возникает, по-видимому, при переходах между уровнями 581,5 и 283,8 Кэв нижней ротационной полосы  $Dy^{160}$  (компонента К297,7); более слабые компоненты - К298,4 и К298,1 - при переходах между уровнями 1264,9-966,5 Кэв и 1563 - 1264,9 Кэв (рис. 2, верх).

Аргументы в пользу такого строения линии К298 изложены ниже.

1. Сложное строение линии К298 в  $Ho^{160}$  было замечено еще в 1958 г. Григорьевым и др.<sup>/3/</sup>. В 1960 г. оно подтвердилось на приборах с лучшей разрешающей способностью: Григорьев и др.<sup>/2/</sup> отмечают дублетное строение линии (К297,7 и К298,8) при помощи магнитного спектрометра, а Абдуразаков и др.<sup>/5/</sup> - при помощи магнитного спектрографа (К297,8 и К299,0). Григорьев и др. сообщают, что мягкая компонента дублета К298 интенсивнее жесткой в 3-6 раз.

2. В действительности, линия, по-видимому, триплетная, но более жесткая часть дублета ( $K_{298, I+K_{298, 4}}$ ) на составляющие пока не разделена. Триплетное строение вытекает из "самосовпадений" ( $K_{298}$ )( $K_{298}$ ). Наиболее интенсивная компонента триплета возникает при ротационном переходе  $6^+ \rightarrow 4^+$  (см. дальше п. 3). Она не может дать существенного количества совпадений ( $K_{298}$ )( $K_{298}$ ), так как мультипольности переходов  $I_{264,9}$  Кэв ( $2^-$ )  $\rightarrow$   $58I,5$  Кэв ( $6^+$ ) и  $966,5$  Кэв ( $2^+$ )  $\rightarrow$   $58I,5$  Кэв ( $6^+$ ) очень высоки и переходы не наблюдаются. Поэтому совпадения ( $K_{298}$ )( $K_{298}$ ) приходится отнести к двум переходам между верхними уровнями. Если предположить, что эти переходы находятся в прямом каскаде, использовать относительные интенсивности трех каналов разрядки уровня  $I_{264,9}$  Кэв и коэффициент конверсии перехода  $298$  Кэв в  $T_{\beta} I_{60}$ , то можно рассчитать скорость счета совпадений ( $K_{298}$ )( $K_{298}$ ); она оказывается на 30% ниже экспериментальной.

3. То, что наиболее интенсивная часть триплета при распаде  $^{60}\text{Ni}$  (рис. 2, верх) возникает при переходах между уровнями  $58I,5$  и  $283,8$  Кэв следует из интенсивности совпадений ( $K_{298}$ )( $K_{I97}$ ).

Соответствующие переходы в ротационной полосе находятся в прямом каскаде и по интенсивности конверсионных линий можно рассчитать скорость счета ожидаемых  $e^- - e^-$  - совпадений. На опыте наблюдается именно такая, в пределах 20%, скорость счета.

Две другие компоненты дублета, возникающие при переходах между верхними уровнями, практически не должны давать ( $K_{298}$ )( $K_{I97}$ ) - совпадений, так как разрядка верхних уровней происходит в основном через уровень  $966,5$  Кэв, а этот последний разряжается таким образом, что переход  $I_{97}$  Кэв возникает в малой доле случаев. (линия  $684$  Кэв гораздо слабее линий  $879,8$  и

966,5 Кэв). Это обстоятельство было установлено также при изучении распада  $Tl^{160}$ : при этом переход 298 Кэв происходит, главным образом или полностью, между верхними уровнями, а совпадений ( $\gamma$  298) ( $\gamma$  I97) наблюдается очень мало<sup>/6/</sup>.

Вследствие этого, если бы наиболее интенсивная часть триплета была связана не с ротационным переходом, а с верхними уровнями, то экспериментальная скорость счета совпадений (K298)(KI97) была бы в 3-6 раз меньше расчетной.

4. При распаде  $Tl^{160}$  ситуация, по-видимому, иная (рис. 2, низ): наиболее интенсивна та компонента триплета, которая возникает при переходах между уровнями I264,9 и 966,5 Кэв. Из наличия большой интенсивности совпадений ( $\gamma$  298) ( $\gamma$  880;  $\gamma$  966), малой интенсивности совпадений ( $\gamma$  298) ( $\gamma$  I97) и отсутствия совпадений ( $\beta$  859) ( $\gamma$  298) следует, что переход  $\gamma$  298 происходит между верхними уровнями (см. п. 2). Из наличия совпадений ( $\beta$  570) ( $\gamma$  298) следует, что  $\gamma$  298 - это переход между уровнями I264,9 и 966,5 Кэв.

#### Совпадения (K406) (K298).

При расположении перехода 406 Кэв между уровнями I695,0 и I290 Кэв или I563 и II56,4 Кэв не могут осуществляться совпадения электронов K406 с электронами тех компонент триплета 298 Кэв, которые возникают в верхней части схемы распада  $Ho^{160}$  (I563  $\rightarrow$  I264,9 Кэв и I264,9  $\rightarrow$  966,5 Кэв).

Однако могут осуществляться совпадения между электронами K406 и электронами K298, образующимися в нижней ротационной полосе.



Если переход 406 Кэв происходит между уровнями I695,0 и I290 Кэв, то образование совпадений (K406) (K298) происходит посредством перехода 709 Кэв, наблюдаемого (по конверсии) в работе /7/ (канал А, рис. 2 предыдущей работы, стр. 186).

В случае расположения перехода 406 Кэв между уровнями I563 и II56,4 Кэв, совпадения (K406) (K298) могли бы осуществляться только при наличии перехода или переходов, связывающих уровни с энергией II56,4 Кэв ( $4^+$ ) и 581,5 Кэв ( $6^+$ ). Однако прямой переход с энергией 575 Кэв пока не наблюдался. Если он существует, но имеет малую интенсивность, то разрядка уровня II56,4 Кэв шла бы мимо него (преимущественно через переход 873 Кэв) и совпадений (K406) (K298) практически не было бы.

Мы считаем поэтому более вероятным первый вариант размещения перехода 406 Кэв (I695,0  $\rightarrow$  I290 Кэв).

Скорость счета совпадений (K406) (K298) составляла в наших опытах 9 имп/час.

Если рассчитать скорость счета совпадений (K406) (K298) по каналу А в предположении, что уровень I290 Кэв разряжается только переходом 709 Кэв, то получается значение 15 совп/час. Понижение экспериментальной скорости счета совпадений по сравнению с расчетной может быть связано с существованием перехода между уровнями I290 ( $5^+$ ) и 283,8 ( $4^+$ ) Кэв, с энергией I006,2 Кэв и с интенсивностью такого же порядка как переход 709 Кэв. Такой переход мог пока остаться незамеченным. В спектре конверсионных электронов *Но* I60 линии K I006,2 и L 962,8 должны находиться на расстоянии I,2 Кэв, а для объяснения наблюдающегося расхождения достаточно существования K I006,2 и более слабой, чем L 962,8 ( L 962,8/K709  $\cong$  5 /7/).

Таким образом, из наших данных следует:

1. Что сложный переход 298 Кэв состоит из трех близких по энергии компонент, расположенных между уровнями I563 и I264,9 Кэв; I264,9 и 966,5 Кэв; 581,5 и 283,8 Кэв.

2. При электронном захвате в  $\text{Ho}^{160}$  возбуждаются уровни I290 Кэв<sup>(5+)</sup> и 581,5<sup>(6+)</sup>  $\text{Dy}^{160}$ .

3. По крайней мере частично переход 406 Кэв осуществляется между уровнями I695,0 и I290 Кэв.

В схеме распада  $\text{Ho}^{160} \rightarrow \text{Dy}^{160}$  (рис. 2 предыдущей работы, стр. 186) выделенный нами каскад переходов отмечен жирными линиями.

Л и т е р а т у р а

1. Сергиенко В.А., Изв. АН СССР. Сер. физ., 22, 198 (1958).
2. Григорьев Е.П., Желепов Б.С., Звольска В., Золотавин А.В.,  
Материалы третьего совещания по нейтроно-дефицитным изотопам.  
Дубна, 1960 г.
3. Григорьев Е.П., Желепов Б.С., Золотавин А.В., Крафт О.Е.,  
Крацик Б., Пекер Л.К., Изв. АН СССР. Сер. физ., 22, 101 (1958).
4. Горжак А., Желепов Б.С., Звольский К., Сергиенко В.А.  
Материалы второго совещания по ядерной спектроскопии нейтро-  
нодефицитных изотопов редких земель. Дубна, 1959 г., Р-483.
5. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Желепов Б.С., Халкин В.А.,  
Материалы третьего совещания по нейтроно-дефицитным изотопам.  
Дубна, 1960 г.
6. Nathan O. Nuclear Physics, 4, 125 (1957).
7. Григорьев Е.П., Желепов Б.С., Золотавин А.В., Крацик Б.,  
Биттерлих Г., Изв. АН СССР, Сер. физ., 22, 868 (1959).

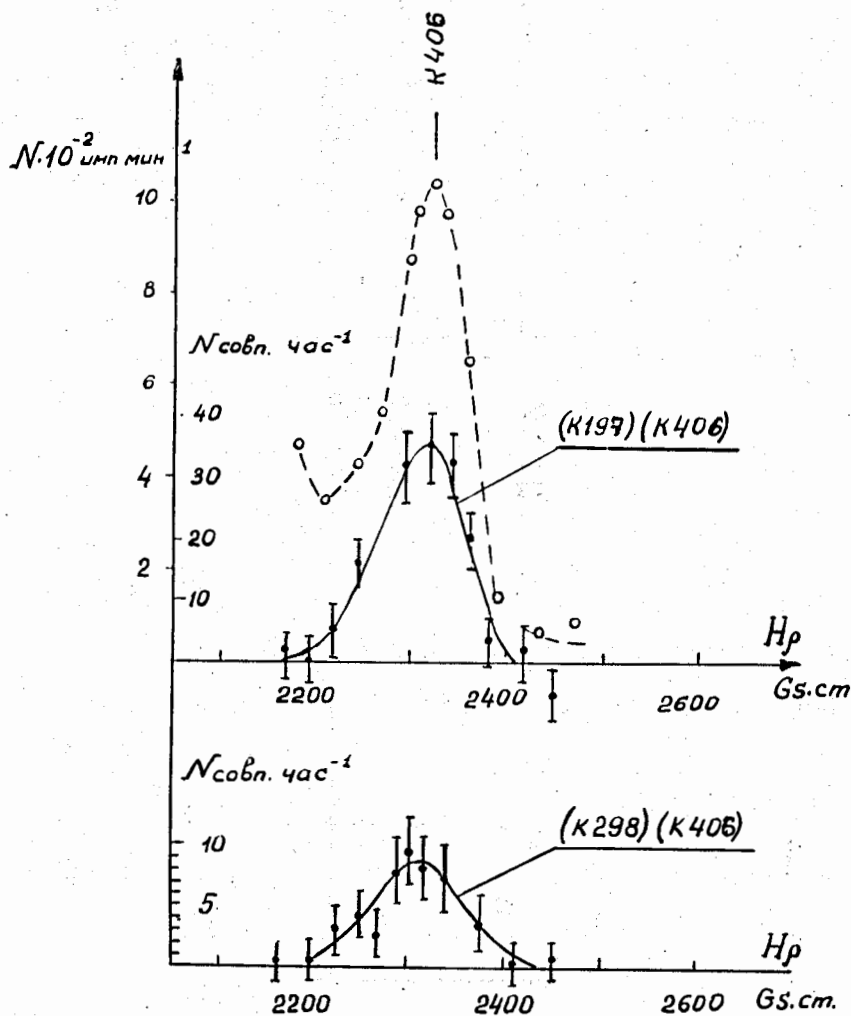


Рис. 1. Совпадения электронов перехода 406 Кэв с электронами от переходов 197 и 298 Кэв.

Самая верхняя кривая - вид линии К 406 на одиночном спектрометре.

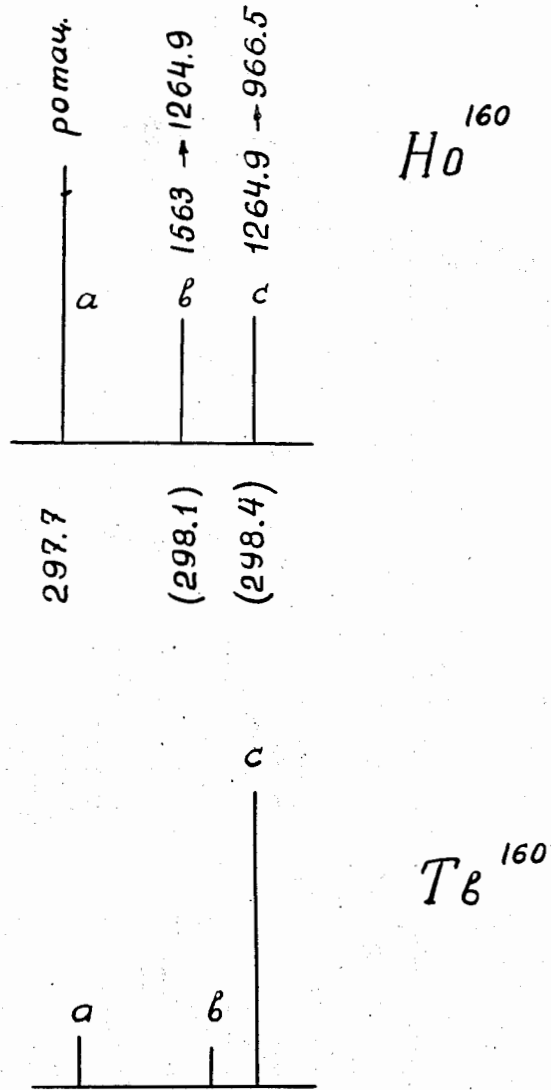


Рис. 2. Предположительное строение триплета К 298 в  $\text{Ho}^{160}$  и  $\text{Tb}^{160}$ .

Относительное расположение линий триплета взято по работе Григорьева и др. [2]. Соотношение интенсивностей  $b : c$  в  $\text{Ho}^{160}$  и  $a : b$  в  $\text{Ho}^{160}$  неизвестно, но  $a : (b + c) = 3 - 6$  в  $\text{Ho}^{160}$  и  $(a + b) \ll c$  в  $\text{Tb}^{160}$ .

## СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ГОЛЬМИЕВОЙ ФРАКЦИИ

А.С.Басина, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов

Спектр конверсионных электронов фракции гольмия, полученный из продуктов расщепления тантала быстрыми протонами на синхроциклотроне ОИЯИ, был исследован с помощью линзового  $\beta$ -спектрометра, обладающего разрешающей способностью 1,9%.

Процесс радиохимического выделения фракции гольмия длится примерно 3 часа, так что измерение спектра начиналось спустя

~ 3,5 часа после окончания облучения мишени. Нами исследован участок спектра от 30 до 1000 Кэв.

Спектр фракции гольмия непрерывно измерялся в течение 20 часов и далее, когда это требовалось для исследования долгоживущих линий. Поскольку нашей задачей являлось исследование спектра короткоживущих изотопов гольмия (с периодом ~1 часа и короче), то долгоживущие линии интересовали нас главным образом как фон, подлежащий вычитанию; в некоторых случаях их идентификация была существенна для выяснения генетических связей.

Мы наблюдали во фракции гольмия конверсионные линии с периодами полураспада: ~ 30 минут, ~1 час, ~2,5 часа, ~5 часов, ~10 часов и несколько дней.

$$T = (5 \pm 0,5) \text{ часа. Но } {}^{160}\text{Ho}$$

Конверсионные линии с таким периодом полураспада принадлежат хорошо известному изотопу  ${}^{160}\text{Ho}$ . Мы наблюдали конверсионные линии,

принадлежащие переходам с энергией  $h\nu = 60,87, 197, 298, 540, 648, 730, 880, 963$  Кэв, исследованным ранее в работах /1,2,3,4,5/. Все эти линии четко проявлялись в спектре нашего препарата через 6 и более часов с момента начала измерений, когда исчезали линии, связанные с распадом более короткоживущих изотопов гольмия.

$$\underline{T = (3 \pm 0,5) \text{ часа. Но } {}^{161}\text{Ho}}$$

Мы наблюдали лишь одну конверсионную линию с таким периодом полураспада:  $E_e = 69,0$  Кэв. Михелич и др. /4/ идентифицировали ее как  $L_{\gamma\gamma}$   ${}^{161}\text{Ho}$ . Других линий, принадлежащих этому изотопу, мы не наблюдали, так как они либо мало интенсивны, либо замаскированы более сильными линиями других изотопов гольмия.

$$\underline{T = (55 \pm 5) \text{ минут. Но } {}^{156}\text{Ho}}$$

Существование изотопа гольмия с периодом полураспада близким к 1 часу было замечено впервые в работе Михелича и др. /4/. При облучении протонами с энергией 22 Мэв диспрозиевой мишени, обогащенной изотопом диспрозия 156, в продуктах реакции наблюдался переход  $h\nu = 138$  Кэв, принадлежащий часовой активности. При облучении мишеней, обогащенных изотопом диспрозия 158, такой переход не наблюдался. На этом основании авторы предположительно приписали изотопу гольмия с периодом  $\sim 1$  час массовое число 156.

Часовая активность во фракции гольмия, выделенной из продуктов расщепления тантала протонами, наблюдалась Громовым и др. /6/. Кроме линий перехода 138 Кэв, известного по Михеличу, авторы обнаружили линию с энергией  $(214 \pm 2)$  Кэв /  $T = 55 \pm 2$  / минуты, идентифицировали ее как  $K_{268}$  и предположили, что переходы 138 и 268 Кэв образуют ротационную полосу в ядре  $Dy^{156}$ .

В таблице приведены данные об энергиях, периодах полураспада и относительных интенсивностях конверсионных линий  $\text{Ho}^{156}$ , которые получены в наших измерениях.

В дополнение к известным ранее, нам удалось наблюдать переходы с энергией 366 Кэв и 686 Кэв. Возможно, что переход с энергией 366 Кэв происходит между третьим и вторым уровнями ротационной полосы ядра  $\text{Dy}^{156}$ , (энергии уровней :  $E_1 = 138$ ,  $E_2 = 406$  и  $E_3 = 772$  Кэв). Отношение энергий уровней  $E_3/E_1 = 5,6$  является несколько заниженным по сравнению с теоретическим значением 7 для четно-четных деформированных ядер. Это, однако, неудивительно, поскольку ядро  $\text{Dy}^{156}$  расположено вблизи границы области деформированных ядер.

Данные об относительных интенсивностях переходов 138, 268, 366 Кэв не противоречат предположению, что эти переходы типа E 2 и следуют в каскаде.

Место перехода с энергией 686 Кэв остается пока неясным, хотя по периоду полураспада этот переход также следует отнести к  $\text{Ho}^{156}$ .

$\text{Ho}^{158}$   $T = (30 \pm 5)$  минут

Получасовая (точнее, 27 минутная) активность в гольмиевой фракции была исследована ранее в работе Громова и др. /6/ на спектрометре с поперечным однородным магнитным полем, в интервале энергий 70 - 315 Кэв. Авторы наблюдали переходы  $h\nu = 98$  и 218 Кэв. Соотношение энергий этих уровней позволяло думать, что они образуют ротационную полосу в четно-четном ядре.

В работе Днепровского /7/, посвященной исследованию эрбиевой фракции на приборе с высоким разрешением, наблюдались переходы с



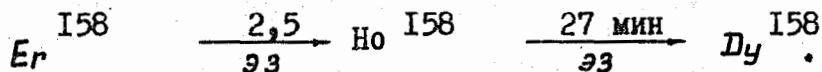
Таблица I

КОНВЕРСИОННЫЕ ЛИНИИ No I56

$H_p$	$E_{e \text{ КэВ}}$	$h\nu$ КэВ	$T_{1/2}$ минуты	Идентифи- кация	Относительная интенсивность
I020	84,5	I38,3	60 $\pm$ 5	K I38	I420
I292	I30,2	I39,2	60 $\pm$ 5	L I38	I000
I335	I38	I40	-	M I38	300
I720	2I4,9	268,7	58 $\pm$ 3	K 268	300
I925	259,7	268,3	50 $\pm$ 5	L 268	I54
2I55	3I2,6	366,4	52 $\pm$ 3	K 366	3I
2349	359	367,6	53 $\pm$ 2	L 366	II
34I2	632,3	686	60 $\pm$ 5	K 686	24

энергиями 98,6 ; 218 ; 320 ; и 356,5 Кэв, интенсивность которых убывала с периодом полураспада около 2,5 часов. Заряд ядра, определенный по разностям K-L и K-M для этих переходов, указывал, что они происходят в ядре диспрозия.

Из энергии 98,6 Кэв первого уровня возбуждения четно-четного ядра следует массовое число 158 для изотопа холмия, при распаде которого возбуждаются эти переходы. Таким образом, происходят последовательные распады



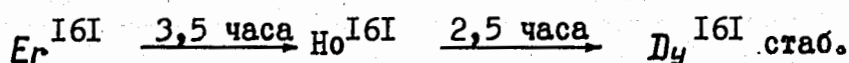
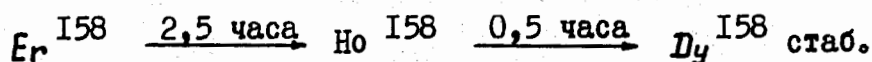
В спектре нашего препарата мы наблюдали ряд конверсионных линий с периодом полураспада, близким к 30 минутам. Энергии, периода полураспада и относительные интенсивности этих линий указаны в таблицах II и III.

Таблица II

КОНВЕРСИОННЫЕ ЛИНИИ No 158

$H_p$	$E_e$	$h\nu$	$T_{мин}$	Идентификация	Относительная интенсивность
729	44,8	98,6	$27 \pm 3$	K 98	86
839	58,5	-	$33 \pm 3$	-	II5
I062	90,8	99,4	$28 \pm 3$	L 98	I00
II02	97,5	99,5	$27 \pm 3$	M 98	34
I48I	I65,9	2I8,7	$32 \pm 4$	K 2I8	26
2I02	300,2	354	$40 \pm 10$	K 356	$\sim 1,5$
3I59	565	6I9	-	K 6I9	-
4000	792	846	-	K 848	-
4365	892	947	-	K 947	-
4530	940	948	-	L 948	-
4800	I0I6	I070	-	K I070	-

В таблице II имеются конверсионные электроны 8 переходов, в том числе конверсионные электроны от хорошо известных  $\gamma$ -переходов в  $\text{No}^{158}$ :  $h\nu = 98,6$ ;  $218,7$   $356$  Кэв /6/. (Переход с энергией  $320$  Кэв в спектре нашего препарата не виден, по-видимому, он замаскирован более интенсивными линиями  $\text{No}^{156}$ ). Остальные линии табл. II - К 619, К 848, К 947 и К 1070 - были замечены Днепровским /7/ также в эрбиевой фракции, где они убывали по интенсивности с периодом 2-4 часа. Известны только 2 изотопа  $\text{Er}$  с близкими периодами -  $\text{Er}^{158}$  и  $\text{Er}^{161}$  - которые являются родоначальниками цепочек:



Поскольку в гольмиевой фракции эти линии убывают с периодом 0,5 - 1,0 часа, то их следует приписать  $\text{No}^{158}$ .

Обоснование этого вывода не изменилось бы, если бы существовал  $\text{Er}^{156}$  с периодом 2-4 часа, так как в этом случае в эрбиевой фракции должны были бы наблюдаться линии  $\text{No}^{156}$ , чего нет на самом деле /7,8/.

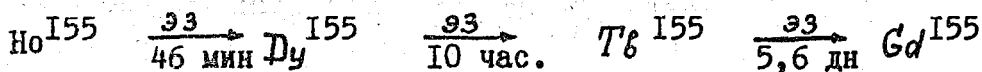
Помимо ранее обнаруженных /6,7/ линий получасовой активности  $\text{No}^{158}$ , в конверсионном спектре фракции  $\text{No}$  наблюдается интенсивная линия  $E_e = 58,5$  Кэв  $T_{1/2} = (33 \pm 3)$  минуты/ (см. таблицу II).

Можно думать, что это  $L$  линия, поскольку отсутствуют линии, которые можно бы истолковать как  $L$  и  $M$  линии, если считать линию  $58,5$  Кэв за  $K$  линию. Не исключено, что слабая короткоживущая линия  $E_e \approx 67$  Кэв, отмеченная в списке

неидентифицированных переходов, является M-линией перехода 67 Кэв. Переход с такой энергией  $h\nu = 66,9$  Кэв наблюдался Днепровским во фракции эрбия в периодом полураспада  $135 \pm 15$  минут и был идентифицирован как изомерный переход в ядре  $\text{No}^{158}$  (аналог перехода 60 Кэв в  $\text{No}^{160}$ ).

В таблице III собраны короткоживущие конверсионные линии, которые наблюдаются во фракции гольмия и не наблюдаются в эрбиевой фракции, т.е. линии, не связанные с распадом  $\text{No}^{161}$  или  $\text{No}^{158}$ .

Из них линия  $E_e = 201,8$  является достаточно сильной, чтобы точно определить период, найденный равным  $34 \pm 4$  мин.



Изотоп гольмия с массовым числом 155 обнаруживается в гольмиевой фракции по дочернему  $\text{Dy}^{155}$ .

Период  $\text{No}^{155}$ , определенный в работе /10/ с помощью повторных выделений  $\text{Dy}$  из  $\text{No}$ , близок к 45 минутам. Наличие  $\text{Dy}^{155}$  в гольмиевой фракции отмечалось в работе Громова и других /6/.

В спектре нашего препарата также хорошо заметны линии перехода с энергией 227 Кэв в ядре  $\text{Tb}^{155}$ , а через 60-80 часов, когда исчезают линии, связанные с распадом изотопов гольмия, становятся заметными линии переходов с энергиями  $h\nu = 86$ ; 105; 162; 180 и 262 Кэв, принадлежащие  $\text{Tb}^{155}$ , третьему члену генетической цепочки  $\text{No}^{155} \longrightarrow \text{Dy}^{155} \longrightarrow \text{Tb}^{155} \longrightarrow \text{Gd}^{155}$ .

Таблица III

Не идентифицированные конверсионные линии  
короткоживущих изотопов Ho

$H_f$	$E_e$	T мин.	Примечание
903	67,3	-	Плохо разреш.с L 77 Ho <sup>161</sup>
I658	201,8	$34 \pm 4$	По интенсивности ~ 20% от L 98 Ho <sup>158</sup>
I813	235	-	
2620	425	-	
2928	504,6	-	
2745	457,6	$46 \pm 10$	
3700	710	$50 \pm 15$	

Сделанная нами попытка определить период  $\text{No}^{155}$  по нарастанию линии К 227 дочернего  $\text{Dy}^{155}$  не увенчалась успехом, так как в первые часы измерений линия К 227 плохо видна из-за близкого соседства интенсивных короткоживущих линий.

По-видимому, на приборе с лучшей разрешающей способностью эта задача может быть решена.

Мы не наблюдали сильных конверсионных линий с периодом полураспада 45 минут. Однако, нельзя уверенно отрицать их существование, поскольку они могут оказаться с числе слабых короткоживущих линий, перечисленных в таблице III, для которых мы затрудняемся определить период полураспада.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность И.А.Отландову и В.А.Халкину за выделение препаратов, М.А.Долгобородовой и Ку За Хек за помощь в измерениях.

НИФИ ЛГУ

О И Я И

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. D.Strominger, J.M.Hollander, G.T.Seaborg. "Tables of Isotopes", Rev.Mod.Phys. v.30, n2, L 1958.
2. Джелепов Б.С., Преображенский Б.К., Рогачев И.М., Тишкин П.А. ИАН СССР 21, № 7, 1957 .
3. Григорьев Е.П., Джелепов Б.С., Золотавин А.В., Крацик Б., Преображенский Б.К., Янчевская И.С., ДАН СССР 117,53,1957
4. I.W.Mihelich, B.Narmatz, T.H.Handley. Phys.Rev. v.108, N4,989, 1957.
5. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекар. Деформированные ядра в области  $N \approx O \approx$  Дубна, 1958г. P-247.
6. Громов К.Я., Джелепов Б.С., Зыонг Чонг Бай, Чумин В.Г. - материалы второго совещания по ядерной спектроскопии нейтроно-дефицитных изотопов редких земель. г.Дубна 1959 год.
7. Днепровский И.С., Материалы Второго совещания по ядерной спектроскопии нейтроно-дефицитных изотопов редких земель г.Дубна 1959 год.
8. Абдуразаков А.А., Громов К.Я.,Джелепов Б.С. материалы настоящего совещания.
9. Днепровский И.С., Колесов Г.М. ИАН СССР т.22,№8, 935 1958 г.
10. Далхсурен Б.,Левенберг И.Ю., Норсеев Ю.В., Покровский В.Н. Хайнацкий С.С. А.Э. 8 выпуск 3, 248 1960 г.



11. Днепровский И.С., Колесов Г.М., ИАН СССР т.22 № 8,  
935, 1958 год.

12. Днепровский И.С.  
Материалы настоящего совещания.

## О СПЕКТРЕ КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ДИСПРОЗИЕВОЙ ФРАКЦИИ

Е.П. Григорьев, Б.С. Желепов, В. Звольска,  
И. Звольский, И. Адам, В.А. Халкин

На  $\beta$ - спектрометре с двойной фокусировкой на угол  $\Pi\sqrt{2}$  и с прямым измерением магнитного поля методом ядерного резонанса исследовался спектр конверсионных электронов диспрозиевой фракции в области энергий от 25 до 180 кэв. Разрешающая способность прибора в этих опытах была 0,2%. Источник диспрозия был получен хроматографическим выделением из смеси редкоземельных элементов, возникающих при облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 Мэв.

В работах /1,23/ было установлено, что в реакции глубокого отщепления на тантале в заметном количестве образуются изотопы диспрозия с массовыми числами 159, 157, 155, 153 и 152. В нашем спектре были идентифицированы конверсионные линии  $Dy^{157}$ , обнаруженные Михеличем и др. в работе /4/. Список этих линий приведен в таблице I.

В таблице 2 приведены наши данные о конверсионных электронах  $Dy^{155}$ ; эти электроны были впервые обнаружены Тосом и Расмуссеном /5/ при изучении распада  $Dy^{155}$ .

Конверсионные электроны, обнаруженные в нашем спектре, которые мы отнесли к распаду  $Dy^{153}$ , перечислены в таблице 3. В таблице приводятся периоды полураспада и относительные интенсивности некоторых конверсионных линий.

Данные о конверсионных электронах  $Dy^{153}$  впервые были приведены в работах /6, 7/. Интерпретация имела ориентировочный характер. Наши данные о периодах полураспада могут служить прямым доказательством принадлежности всех конверсионных электронов, перечисленных в таблице 3, к одному изотопу. Они уточняют значения периодов полураспада, определенные в работах /2, 8/. Наше среднее значение  $T_{1/2} = 6,4 \pm 0,3$  час.

Идентификация перехода  $I_{49,0}$  Кэв на основании наблюдаемых нами К и L электронных линий дана в настоящей работе впервые.

В таблице 4 приведены результаты наших измерений конверсионных электронов короткоживущего изотопа  $Dy^{152}$ .

Авторы выражают свою благодарность А.А.Абдуразакову и К.Я.Громову за предоставление результатов изучения диспрозиевой фракции на спектрографе до их опубликования.

ТАБЛИЦА № 1

Dy I57

№№ пп	H <sub>p</sub>	E <sub>e</sub> (кэв)	Идентифика- ция
1.	603,0	31,04	К 83,01
2.	788,74	52,05	L, 60,77
3.	1067,1	91,87	К 143,9
4.	1294,0	130,55	К 182,5
5.	1989,9	274,43 ± 0,2	К 326,4

ТАБЛИЦА № 2

Dy I55

№№ пп	H <sub>p</sub>	E <sub>e</sub> (кэв)	Идентифика- ция
1.	672,8	38,36	К 90,36
2.	825,5	56,76	L, 65,48
3.	875,2	63,41	М 65,38 (К 115,7)
4.	1002,8	81,85	L, 90,57
5.	1140,9	103,38	К 155,9
6.	1174,70	109,57	К 161,6
7.	1305,0	132,54	К 184,5
8.	1527,46	175,12	К 227,1
9.	1736,2	218,35 ± 0,2	L, 227,1
10.	1767,7	225,12 ± 0,2	М 227,1

ТАБЛИЦА 3

Dy I53

№№ п/п	$H_p$	$E_{e_{кэб}}$	Иденти- фикация	$h\nu$ кэб	Относительные интенсивности конверсион. линий	$T_{I/2час.}$
1.	580,65	28,82 ± 0,10	K	80,84	3.700	6,5 ± 0,3
2.	597,86	30,52 ± 0,10	K	82,48	3.250	6,5 ± 0,3
3.	753,96	47,75 ± 0,10	K	99,75	2.100	6,3 ± 0,3
4.	937,10	72,11 ± 0,10	$L_1$	80,84	$L_1 + L_{II} + L_{III} = 730$	6,3 ± 0,5
5.	940,56	72,61 ± 0,10	$L_{II}$	80,84	$L_1 : L_{II} : L_{III} = 5, 1 : 1 : \leq 1$	6,0 ± 0,5
6.	948,6	73,78 ± 0,10	$L_1$	82,48	$L_1 + L_{II} + L_{III} = 760$	6,0 ± 0,5
7.	952,1	74,30 ± 0,10	$L_{II}$	82,48	вместе с $L_{III} 83,0$ Dy I57	
8.	956,5	74,95 ± 0,10	$L_{III}$	82,48	$L_1 : L_{II} : L_{III} = 3, 5 : 1, 1 : 1$	
9.	189,04	78,87 ± 0,10	M	80,84	210	
10.	993,93	80,42 ± 0,10	M	82,48	240 вместе с N 80,84	
11.	1004,5	82,11 ± 0,15	N	82,48		
12.	1018,6	84,27 ± 0,10	$L_1$	93,00	32	7,3 ± 1
13.	1061,9	91,03 ± 0,10	$L_1$	99,75	360	6,6 ± 0,3
14.	1090,9	95,67 ± 0,10	K	147,6	260	6,6 ± 0,3
15.	1099,6	97,07 ± 0,10	K	149,0	54	6,8 ± 0,6
16.	1103,3	97,70 ± 0,10	M	99,75	72	7,0 ± 1,0
17.	1113,5	99,36 ± 0,10	N	99,75	20	
18.	1244,3	121,66 ± 0,15	K	173,6	14	6,1 ± 0,7
19.	1338,7	138,73 ± 0,15	L	147,6	50	6,3 ± 0,6
20.	1346,9	140,25 ± 0,15	L	149,0	I6 вместе с $L_{III} 147,6$	
21.	1484,1	166,52 ± 0,15	K	218,6	30	6,3 ± 0,3
22.	1594,8	188,75 ± 0,2	K	240,7	8,7	
23.	1612,7	192,43 ± 0,2	K	244,4	46	6,0 ± 0,3
24.	1660,6	202,37 ± 0,2	K	254,4	100	5,5 ± 0,7
25.	1698,8	210,40 ± 0,2	L	218,6	11	
26.	1757,4	222,94 ± 0,2	K	274,9	35	6,2 ± 0,3
27.	1816,2	235,65 ± 0,2	L	244,4	7	

I	2	3	4	5	6	7
28.	1861,8	245,68 ± 0,2	L	254,4	I5	6,8 ± I
29.	1893,6	252,73 ± 0,3	K	304,7	5	
30.	1952,9	266,04 ± 0,2	L	274,8	II	
31.	2260,5	337,66 ± 0,3	K	389,7	9	
32.	2369,2	363,89 ± 0,3	K	415,9	3	

ТАБЛИЦА 4

Dy<sup>I52</sup>.

I.	1673,0	204,96 ± 0,2	K	257,0	I00	2,6 ± 0,3
2.	1873,5	248,27 ± 0,2	L	257,0	I7	

ЛИТЕРАТУРА :

1. Городинский Г.М., Мурин А.Н., Покровский В.Н., Преображенский В.К., Изв. АН СССР, сер. физ., 21, 1624 ( 1957 ).
2. Добронравова А.Н., Крижанский Л.К., Мурин А.Н., Покровский В.Н., Изв. АН СССР, Сер. физ., 22, 815 (1958).
3. Н.А.Бонч-Осмоловская, Б.С.Джелепов, О.Е.Крафт. Тезисы докладов X совещания по ядерной спектроскопии в Москве.
4. Mihelich J.W., Harnatz B., Handley T.N. Phys.Rev. 108, 989 (1957).
5. Toth K.S., Rasmussen J.O. Phys.Rev. 115, 150 (1959).
6. Джелепов Б.С., Звольский И.  
Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии в Москве.
7. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Джелепов Б.С., Умаров Г.Я.  
Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии в Москве.
8. Toth K.S., Rasmussen J.O. Phys.Rev. 109, 121, (1958).

## СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ТЕРБИЕВОЙ ФРАКЦИИ

А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов

Спектр конверсионных электронов изотопов тербиевой фракции, образующихся в реакции глубокого отщепления на тантале ( $E_p = 660$  мэв), изучался при помощи  $\beta$ -спектрографа с постоянным магнитным полем.

Танталовая мишень облучалась 15-20 мин, а экспозиция на  $\beta$ -спектрографе начиналась через 3-4 часа после конца облучения и через 1 час после хроматографического разделения тербия. Были последовательно экспонированы две фотопластинки типа Р-50м со временами экспозиции 10 часов и 18 часов.

Для калибровки  $\beta$ -спектрографа были использованы следующие интенсивные линии  $Tb^{151} / \gamma$ :

К-108.3 ; К-180,3 ; К-252,1 и К-287.6

Результаты опытов представлены в таблице I.

ТАБЛИЦА № I

Результаты изучения спектра конверсионных электронов тербиевой фракции

№ п.п.	$H_p$	$E_e$ мэв	Идентификация
1	2	3	4
I.	835,5 <sup>x</sup>	58.07	К - 108.3 $Tb^{151}$



1	2	3	4	
2.	III6,0	99.76	$L_1$ -108.3	$T\beta$ I5I
3.	III8,5	100.2	$L_n$ -108.3	$T\beta$ I5I
4.	II23,0	100.9	$L_{III}$ -108.3	$T\beta$ I5I
5.	II56,0	106.4	M -108.3	$T\beta$ I5I
6.	II65.5	108.0	(N -108.3	$T\beta$ I5I)
7.	I205,5	114.9	K-I65.I	$T\beta$ I59 или I50
8.	I216,0	116.7		
9.	I291.4 *	130	K-I80.3	$T\beta$ I5I
10.	I356.2	142.0	K-I92.2	$T\beta$ I5I
11.	I512.6	172,0	$L_1$ -180.3	$T\beta$ I5I
12.	I658.2 *	201.9	K-252.I	$T\beta$ I5I
13.	I649.0	221.10	K-271.3	$T\beta$ I52
14.	I773.5	226.9		
15.	I824,1*	237.4	K-287.6	$T\beta$ I5I
16.	2075,0	294.0	K-344.2	$T\beta$ I52

\* - приняты для калибровки.

Как видно из таблицы, в основном, мы наблюдали конверсионные электроны  $T\beta$  I5I.

Конверсионный спектр тербиевой фракции изучался в работах (1,2). Наши результаты хорошо согласуются с данными Михелича и др. (1).  $\gamma$ -лучи, сопровождающие распад  $T\beta$ , изучались Городинским, Муриным и др. (3) и Барановским, Муриным и др. (4). Наблюдаемые нами переходы с энергией 271.3 Кэв и 344,3 Кэв, которые мы приписываем  $T\beta$  I52, ранее наблюдались в работах (2,3,4). Однако, они ошибочно приписывались  $T\beta$  I5I

или  $Tb^{154}$ . В пользу того что переходы с энергией 271,2 Кэв и 344,3 возникают при распаде  $Tb^{152}$ , говорит тот факт, что эти переходы отчетливо появляются в спектре диспрозиевой фракции. Кроме того, в диспрозиевой фракции мы наблюдаем переходы с энергией (186,9 Кэв), 411,3 Кэв, 432,5 Кэв ; 588,4 и 616,2 Кэв. Все эти переходы (кроме 186,9 Кэв) были наблюдаемы Башиловым и др. /2/ в тербиевой фракции.

Ввиду этого, можно считать установленным, что переходы с энергией 271,3 Кэв, 344,3 Кэв возникают при распаде  $Tb^{152}$ .

Линия  $E_e = 114,9$  Кэв отчетливо видна на первой пластинке. Из соотношения интенсивностей линий в двух последовательно экспонированных пластинках видно, что период убывания интенсивности конверсионной линии с энергией 114,9 Кэв, значительно меньше чем период полураспада  $Tb^{151}$  ( $T_{1/2} = 20$  час). Эту линию мы идентифицируем как K-линию перехода с  $h\nu = 165,1$  Кэв.

Из литературных данных известно, что существует  $Tb^{149}$ , период полураспада которого 4,1 часа /5/, и  $Tb^{150}$ , с периодом, 3,1 /6/ или 3,5 часа /7/. Однако данных о спектре конверсионных электронов  $Tb^{149}$  и  $Tb^{150}$  в литературе нет.

Расмуссен и др. /8/ при изучении  $\gamma$ -спектра  $Tb$ , полученного по реакции  $Pr^{141}(\alpha, xn)$  ( $E = 65$  Мэв) на многоканальном анализаторе обнаружили  $\gamma$ -линии с  $h\nu = 170$ ; 230; 360; 640 Кэв, интенсивность которых убывала с периодом 4,1ч; они приписали их  $Tb^{149}$ .

Возможно, что наблюдавшаяся нами линия  $h\nu = 165,1$  Кэв возникает при распаде  $Tb^{149}$ .

Конверсионные линии  $E_e = 116.68$  Кэв и  $226,37$  Кэв настолько слабы, что трудно что либо сказать об их принадлежности какому-либо изотопу.

Средне-Азиатский Политехнический институт

Объединенный институт  
ядерных исследований

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. I.W.Mihelich, B.Harmatz, T.H.Handley. Phys.Rev. 108, 989 (1957).
2. Н.М.Антоньева, А.А.Башилов, Б.С.Джелепов и Б.К.Преображенский ДАН СССР 19 241 (1958).
3. Г.М.Городинский, А.Н.Мурин, В.Н.Покровский и Б.К.Преображенский Изв. АН СССР. сер.физ. 21 1624 (1957).
4. В.И.Барановский, А.Н.Мурин, В.Н.Покровский и И.А.Ютландов Изв. АН СССР сер. физ. 22 808 (1958).
5. D.Strominger, I.H.Hollender, and C.T.Seaborg. Rev.Mod.Phys. 2, 739 (1957).
6. K.S.Toth, S.Bjorholm, M.Jorgensen, O.B.Nielson, O.Skiebreid. Phys.Rev.Lett., 3, 406 (1959).
7. Ж.Т. Желев, А.В. Кудрявцева, Б.С.Джелепов.

Материалы X-ежегодного совещания ядерной спектроскопии в Москве, январь 1960 год.

8. K.S.Toth, I.O.Rasmussen, I.Juorg,. Nucl.Chem. 10, 198 (1959).

## НЕЙТРОНО-ДЕФИЦИТНЫЕ ИЗОТОПЫ ТЕРБИЯ С ПЕРИОДОМ ПОЛУРАСПАДА 18 ЧАСОВ

И. Франа, И. Ржезанка, М. Вобецки, В. Гушак

Массовое число нейтроно-дефицитных изотопов тербия меньше 159. Изотоп 158 пока неизвестен, существование  $\overline{Tb}^{157}$  является спорным. Спектры электронов  $\overline{Tb}^{155}$  и  $\overline{Tb}^{156}$  ( $T \sim 5$  дней) были подробно исследованы в работах (1, 2, 3),  $\overline{Tb}^{153}$  ( $T \sim 2,3$  дня) был наиболее подробно измерен в работах (5) и (3). Наиболее подробные данные о  $\overline{Tb}^{154}$  с  $T = 18$  час. содержатся в (5), о  $\overline{Tb}^{151}$  с почти таким же периодом полураспада ( $T \sim 18$  час) в (2, 3, 4). В последнее время появились данные, свидетельствующие о существовании  $\overline{Tb}^{152}$  с периодом полураспада 18 час.,  $\overline{Tb}^{152}$  (6). Изотопы с  $A < 151$  имеют периоды полураспада меньше 4 час. (10).

В своей работе мы выделили хроматографическим методом из танталовой мишени, облученной протонами 660 Мэв на синхротроне ОИЯИ в Дубне, фракцию  $\overline{Tb}$ . Эта фракция была измерена на спектрометре с короткой линзой, работающем с разрешающей способностью 1,6 % (7). Свое основное внимание мы сосредоточили на активностях с  $T \sim 18$  час. Кроме них, мы нашли большинство линий  $\overline{Tb}^{153}$ ,  $\overline{Tb}^{155}$  и  $\overline{Tb}^{156}$ ; изотопы с более коротким

периодом полураспада не наблюдались, так как измерения были начаты спустя 30 час. после облучения.

В активности с  $T \sim 18$  час. был найден ряд конверсионных линий и сплошной позитронный спектр. В соответствии с результатами работ (1,2,4,5), в которых использовались обогащенные стабильные изотопы, облученные протонами и альфа - частицами разных энергий, позитронный спектр соответствует изотопу  $^{154}\text{Sm}$ .

Сплошной спектр мы разложили на компоненты с граничными энергиями 2830, 1550 и 800 КэВ с относительными интенсивностями 67:20:13. Намечается компонента с  $E_{гр.} = 1100$  кэВ. Из известных линий конверсии этого изотопа мы нашли только наиболее сильные, связанные с  $\gamma$ -переходом 123 КэВ; более слабые линии этого изотопа нами не наблюдались. Мы приписываем все остальные линии конверсии смеси  $^{151}\text{Sm} + ^{152}\text{Sm}$ . Соответствующие энергии переходов и относительные интенсивности линий конверсии приведены в таблице.

Точность при определении энергий была 0,3 %, у слабых линий выше 700 КэВ-0,6 %, ошибка в определении интенсивностей-10-20 %.

Измерения будут продолжаться.

Т а б л и ц а

Энергия гамма перехода в КэВ			Относительные интенсивности линий конверсии		
3	4	Наши измерения	K	L	M
I	2	3	4	5	6
109	108,1	108	750	300	81
180	180,1	180	140	21	6

I	2	3	4	5	6
I9I	I92,0	I92	45	8	-
250	25I,8	252	I30	22	-
27I	27I,I	27I <sup>a</sup>	32	8	-
287	287,3	288	I00	I4	-
343	344,I	345 <sup>a</sup>	IIO	42	I2
4I0					
4I6		4I3 <sup>a</sup>	6	-	-
426					
43I	432,I	433	35	5	-
442		444	I2	-	-
477		479	8	-	-
589		588	I8	3	-
6I6	6I5,2	6I6 <sup>a</sup>	65	II	-
		70I <sup>a</sup>	3	-	-
		732	2,2	-	-
		777 <sup>a</sup>	2	-	-
		900	I,4	-	-
		(943) <sup>б</sup>	-	-	-
		977 <sup>a</sup>	I,7	-	-
I050		I049	I,6	-	-
		III0 <sup>a</sup>	I	-	-

а) Переходы, наблюдавшиеся при распаде  $\text{Eu}^{152}$  и  $\text{Eu}^{152m}$  в  $\text{Gd}^{152}$ . (8,9).

б) Существование линий не является установленным достоверно.

## Л и т е р а т у р а

1. Ward T.J., Jacod K.P., Mihelich J.W. Bull.Am.Phys.Soc. 2, (1957), 259.
2. Mihelich J.W., Harmatz B, Handley T.H. Phys.Rev. 108 (1957), 989.
3. Антоњева Н.М., Башилов А.А., ДАН II9 /1957/, 241.
4. Toth K.S., Rasmussen J.O., UCRL 8192 (1958)
5. Toth K.S., Rasmussen J.O., Phys.Rev. 115 (1959), 150.
6. Toth K.S., Faler K.T., Rasmussen J.O., Phys.Rev. 115 (1959), 158.
7. Plajner Z., Cs. čas. fys. 5 (1955). 204.
8. Marklund I., Nucl.Data Sheets 1959, NRC 59-4-87.
9. Grodzius L., Kendall H., Bull. Am.Phys.Soc. 1 (1956), 163.
10. Toth K.S., Bjrhholm S. et.al., Phys.Rev. 116 (1959), 118.

Институт ядерных исследований  
 ЧСАН

Факультет ядерной и  
 технической физики  
 Политехнического института  
 ЧСАН



СПЕКТР КОНВЕРСИОННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ  $Gd^{149}$   
 В ОБЛАСТИ ОТ 300 КЭВ ДО 1000КЭВ

Б.С.Джелепов, А.И.Феокистов

На магнитном  $\beta$ -спектрометре типа "кэatron" изучался спектр конверсионных электронов  $Gd^{149}$  в области от 300 Кэв до 1 Мэв.

Полученные результаты приведены в таблице :

№ пп	Е Кэв	Наблюдаемые линии	К : L	(К : $K_{346}$ ) $\times 100$
1.	298	K	$6 \pm 1$	$46 \pm 3$
2.	346	K, L, M	$5,7 \pm 0,2$	100
3.	461	K	-	$0,38 \pm 0,20$
4.	497	K,	-	$1,1 \pm 0,1$
5.	517	K,	-	$1,0 \pm 0,1$
6.	535	K, L, M	$5,8 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,1$
7.	787	K, L	-	$0,5 \pm 0,05$
8.	939	K, L	-	$0,18 \pm 0,02$

Относительные интенсивности большинства K-линий, полученных в данной работе, в пределах ошибок измерений согласуются с результатами, опубликованными в работе /1/.

Переход с энергией  $E_{\gamma} = 787$  Кэв в работе /1/ не обнаружен, но он наблюдался в работе /2/ по  $\gamma$ -лучам.

Наблюдение этого перехода по конверсионным электронам затруднено тем, что на К-линию накладываются еще 2 линии : К - 787  $Gd^{I47}$  и L-748  $Eu^{I46}$ . Однако К-линия перехода E = 787 Кэв в  $Gd^{I47}$  слабая и уже через 7-9 дней после выделения гадолиниевой фракции практически исчезает. Вклад от L-пика перехода E = 748 Кэв  $Eu^{I46}$  можно учесть, если следить за К-пиком этого перехода.

После вычитания L-пика  $Eu^{I46}$  получается линия, интенсивность которой спадает с периодом полураспада порядка 10 дней. Это позволяет приписать ее  $Eu^{I49}$ . Нами наблюдался и L-пик перехода E = 787 Кэв, однако он еще плохо изучен.

### Л и т е р а т у р а

1. Антоньева Н.М., Башилов А.А., Желепов Б.С., Преображенский Б.К. Изв. АН СССР сер. физ. 22, 895 (1958).
2. Shirley.Y, Smith W, Rasmussen S., Nucl.Phys., 4, 395 (1957).