

С 341.15
Ж-51

ЯЯ, 1966, т. 4, № 1, с 3-8

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2314



Ж. Желев, Г. Музиоль

О ПОЗИТРОННОМ РАСПАДЕ E_{β} ¹⁴⁵

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

P-2314

Ж. Желев, Г. Музюль

О ПОЗИТРОННОМ РАСПАДЕ E_{α}^{145}

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3599/1, 38-

1. Введение

Распад изотопа Eu^{145} , открытого в 1951 году Хоффом и другими^{/1/}, долгое время после открытия не был надежно идентифицирован. Главная трудность, с которой встречались исследователи распада Eu^{145} , заключалась в том, что не удавалось получить этот изотоп в чистом виде, а лишь в смеси с изотопом Eu^{146} , время полураспада которого составляет 4,6 дней. Близкие значения периода полураспада крайне осложняли исследования и привели к тому, что изотоп Eu^{145} был надежно идентифицирован только в 1959 и 1960 г.г. в работах Гровера^{/2/} и Башилова и др.^{/3/}. Были исследованы спектры конверсионных электронов, спектры γ -лучей, спектры γ - γ -совпадений и угловые корреляции γ -лучей. На основании этих работ, число которых составляет уже свыше 20^{x/}, была разработана схема распада Eu^{145} . Первая схема уровней Sm^{145} , предложенная в работах Антоньевой и др.^{/5/} и Александрова и др.^{/8-8/}, была уточнена в работах Желева^{/4/}, Авотняной и др.^{/9/} и Деметра и др.^{/10/}.

Позитроны при распаде Eu^{145} , ожидаемые по систематике энергий бета-распада, впервые были обнаружены в 1959 г. в работе Желева и др.^{/11/}. В препарате, содержащем европиевую фракцию, были найдены три компонента позитронного спектра, которые авторы этой работы смогли правильно приписать изотомам Eu^{145} и Eu^{146} в более поздней работе^{/12/}. Им удалось получить изотоп Eu^{146} в чистом виде, выделяя его из гадолиниевой фракции, в которой не присутствовал Gd^{145} ($T_{1/2} = 25$ мин). Позитронный спектр Eu^{146} был вычтен из суммарного позитронного спектра $Eu^{145} + Eu^{146}$. Были обнаружены две компоненты β^+ -спектра, относящиеся к распаду Eu^{145} , и определены их интенсивности друг относительно друга и по отношению к K-конверсионной линии γ -перехода 893,3 кэВ.

В работе Фридмана и др.^{/13/xx/} (третья работа, содержащая сведения о позитронах

x/ Обзор работ, посвященных исследованию распада Eu^{145} , есть в работе Ж.Т. Желева^{/4/}.

xx/ В работе^{/13/} было измерено самое точное до сих пор значение времени полураспада Eu^{145} , равное $(5,95 \pm 0,1)$ дней.

при распаде Eu^{145} этот изотоп был получен в чистом виде путем облучения Sm^{144} α -частицами и последующего разделения изотопов на массепараторе. Авторы этой работы определили соотношение интенсивностей позитронов по аннигиляционному пику γ -спектра и $K-X$ лучей, равным 1%. На этом основании они сделали вывод, что распад Eu^{145} осуществляется в 1% всех случаев через β^+ -распад.

Настоящая работа имела целью уточнить граничные энергии компонент позитронного спектра и их интенсивности, а также прямым экспериментом дать ответ на вопрос, на какие уровни Sm^{145} происходит позитронный распад Eu^{145} . Измерения проводились на магнитном β -спектрометре с трехкратной фокусировкой пучка и с помощью спонтанного γ -спектрометра тройных совпадений.

2. Измерения и результаты

Радиоактивные препараты Eu для наших исследований были получены путем облучения Ta -мишени на синхроциклотроне в Дубне протонами с энергией 680 Мэв и последующего разделения продуктов глубокого расщепления на Ta методом хроматографии.

Для исследований на спонтанном спектрометре Eu препарат был выделен из Tb -фракции, где Eu^{145} и Eu^{147} накапливаются вследствие α -распада Tb^{149} ($T_{1/2} = 4,1$ часа) и Tb^{151} ($T_{1/2} = 17$ час). Примеси Eu^{147} измеренные по активности составляли 7%.

Для исследований на магнитном спектрометре были использованы два источника. В первом содержалась вся европиевая фракция с изотопами Eu^{145} (5,9 дн), Eu^{146} (4,8 дн), Eu^{147} (24 дн), Eu^{148} (58 дн) и Eu^{149} (120 дн)^{4/}. Eu^{149} не дает вклада в позитронный спектр, а вклад Eu^{147} и Eu^{148} можно из-за их большого времени полураспада легко определить. Для оценки вклада Eu^{146} был изготовлен источник, содержащий только Eu^{146} , выделенный из Gd -фракции, очищенный от Eu после полного распада Gd^{145} ($T_{1/2} = 25$ мин). Измерения начались, когда накопившийся Eu^{146} находился в радиоактивном равновесии с Gd^{146} .

Результаты исследований на магнитном спектрометре изображены на рис. 1. График $K_{гори}$ указывает на существование двух компонент с граничными энергиями 1740 ± 40 и 800 ± 40 кэв. Для оценки интенсивностей были получены следующие соотношения площадей:

$$\frac{S_{S^+ - 1740}}{S_{\beta^+ - 800}} = 2,5 \quad \frac{S_{\beta^+ - 1740}}{S_{K - 888}} = 5,5 \quad \frac{S_{\beta^+ - 800}}{S_{U - 888}} = 2,2.$$

Судя по разнице между граничными энергиями компонент 1740 ± 40 и 800 ± 40 кэв, рав-

ной 840 ± 80 кэв, можно предположить, что жесткая компонента идет в основное состояние Sm^{145} , а мягкая - на первый возбужденный уровень Sm^{145} с энергией 893,3 кэв.

Для подтверждения этого предположения мы исследовали тройные совпадения между аннигиляционными γ -квантами с энергией 511 кэв и квантами всего γ -спектра. Блок-схема использованной аппаратуры изображена на рис. 2. Принцип действия аппаратуры описан в работе^{14/}. Разрешающее время схемы совпадения составляло $\tau = 3,10^{-8}$ сек. Детекторы I и II состоят из фотоэлектронных умножителей типа ФЭУ-1С и кристалла $NaJ(Tl)$ размером $4,0 \times 4,0$ см, а детектор III - из фотоэлектронного умножителя типа M12 FS 100 и кристалла $NaJ(Tl)$ размером $7,0 \times 5,0$ см. Энергетическое разрешение, измеренное по γ -линии 662 кэв изотопа Cs^{137} , составляет 8, 9 и 11% соответственно. Все детекторы были защищены друг от друга свинцовым поглотителем. Расстояние между источником и детекторами было равно 5 см. Проводились два опыта с разной ориентацией детекторов друг относительно друга. В первом опыте детекторы I и II образовали угол 180° , а детектор III по отношению к ним - угол 90° . Во втором, так называемом фоновом опыте все три детектора образовали систему трех координат с углом 90° между осями.

γ -спектр тройных совпадений изображен на рис. 3. Он является разницей двух спектров, полученных при указанных выше ориентациях детекторов. Таким образом, вычитаются те тройные совпадения, которые были вызваны комптоновским распределением под пиками 511 кэв в каналах I и II. Надо отметить, что фоновый спектр составляет по счёту меньше 5% первого спектра.

Как видно из рис. 3, спектр тройных совпадений содержит одну γ -линию с энергией 890 ± 20 кэв, которую следует приписать переходу с энергией 893,3 кэв. Кроме того наблюдается в районе 120 и 200 кэв повышение счёта, указывающее на наличие изотопа Eu^{147} в нашем источнике. Форма спектра γ -квантов Eu^{147} , совпадающих с позитронными распадами, известна из работы^{127/}, где она была измерена на том же приборе и в тех же условиях. Учитывая вклад Eu^{147} и эффективность всей измерительной системы, мы определили интенсивность γ -перехода 893,3 кэв, совпадающего с двумя аннигиляционными квантами, равной $(25 \pm 4)\%$. Для этого мы отнесли фотовклад перехода 893,3 кэв к числу позитронных распадов $N_{\beta^+}(Eu^{145})$. $N_{\beta^+}(Eu^{145})$ является результатом вычитания числа двойных совпадений между детекторами I и II в геометриях 180° и 90° , учитывая вклад Eu^{147} . Ввиду того, что после вычитания небольшого вклада Eu^{147} спектр тройных совпадений содержит только одну γ -линию с энергией 893,3 кэв и ввиду того, что в схеме уровней Sm^{145} нет изомерных состояний с временем жизни больше $3,10^{-8}$ сек, логичен вывод, что оставшиеся $(75 \pm 4)\% \beta^+$ -распадов следует отнести в основное состояние Sm^{145} .

Для проведения анализа интенсивностей в схеме распада Eu^{145} нам необходимо знать число β^+ -распадов на один распад. С этой целью мы исследовали

дальнейший распад нашего источника в цепочке $Eu^{145} \rightarrow Sm^{145} \rightarrow Pm^{145}$ на сцинтилляционном спектрометре: Известно ^{/25,26/}, что распад $Sm^{145} \rightarrow Pm^{145}$ происходит в (92 + 4)% случаях на уровень с энергией 81,3 кэв Pm^{145} а 8% - в основное состояние Pm^{145} . Если измерять площадь под фотопиком γ -перехода с энергией 893,3 кэв и после полного распада Eu^{145} в Sm^{145} площадь под фотопиком γ -перехода с энергией 81,3 кэв, можно рассчитать число γ -переходов с энергией 893,3 кэв на один распад Eu^{145} по формуле:

$$x = y \frac{S_{893} \sigma_{81} (1 + \alpha_{893}) \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t_2} - e^{-\lambda_2 t_2})}{S_{81} \sigma_{893} (1 + \alpha_{81}) (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t_1}}$$

В этой формуле действительны следующие обозначения:

S - площадь под фотопиком,

σ - эффективность регистрации,

α - полный коэффициент внутренней конверсии,

λ_1 и λ_2 - постоянные распада изотопов Eu^{145} и Sm^{145} , соответственно, y - число переходов с энергией 81,3 кэв на один распад Sm^{145} , равное $0,92 \pm 0,04$. В результате мы получили значение $x = 0,68 \pm 0,14$. Ошибка составляет 20%, она связана главным образом с погрешностями при определении фотоплощадей. Число β^+ -распадов на один распад Eu^{145} можно теперь вычислить с помощью величины x и соотношений $S_{\beta^+} / S_{K_{893}}$, определявшихся на магнитном спектрометре с трехкратной фокусировкой.

Произведенный анализ γ -спектра Eu^{145} подтверждает результаты анализа γ -спектра в работе ^{/10/} в области $E_{\gamma} \geq 511$ кэв.

3. Обсуждение результатов

Результаты наших опытов по β^+ -распаду позволяют довольно точно определить энергию распада $Eu^{145} \rightarrow Sm^{145}$. Она составляет 2760 ± 40 кэв. По систематике энергий β^+ -распада ожидаются значения 3342, 2777, 3028, 2933 и 2790 кэв в соответствии с работами ^{/16-20/}.

Учитывая определенные нами соотношения интенсивностей компонент позитронного распада, мы произвели анализ интенсивностей в схеме распада Eu^{145} . В основу этого анализа мы взяли схему уровней Sm^{145} с изменениями, введенными в работах ^{/4,10/} (рис. 4), интенсивности γ -переходов, измеренными в работе ^{/10/} и в нашей работе на сцинтилляционном спектрометре в чистом препарате Eu^{145} , коэффициенты внутренней конверсии переходов по таблицам ^{/15/} в соответствии с данными по конверсионным линиям и мультипольностей переходов из работ ^{/4/} и ^{/9/}. Полученные интенсивности заселения уровней Sm^{145} и соответствующие им значения $lgft$ перечислены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Е уровень (кэв)	0	893,3	1438	1546	1626	1656,7	1878	1996	2380
% э.э.	3,6	41,0	3,6	17,0	1,6	19,0	2,6	9,8	1,3
% β^+	1,0	0,35	-	-	-	-	-	-	-
$lg(ft)$ э.э.	8,9	7,5	8,3	7,5	8,5	7,4	8,0	7,3	7,0
$lg(ft)_{\beta^+}$	8,9	8,0	-	-	-	-	-	-	-

По нашему анализу значение для интенсивности γ -перехода с энергией 893,3 кэв в процентах на один распад составляет 68%. В работе Фридмана и др. ^{/13/} было определено отношение интенсивности этого же перехода к интенсивности К-Х лучей, равное 0,60. Если в этом отношении учесть долю интенсивности К-Х лучей, вызванной внутренней конверсией на К-оболочку, тогда получаем значение 0,63, которое находится в хорошем согласии с нашим значением 68%.

В работе Александра и др. ^{/6/} был введен в схему распада Eu^{145} уровень с энергией 1004,2 кэв, разряжающийся переходом 110,9 кэв на уровень 893,3 кэв. Предполагалось, что компонента β^+ -распада с граничной энергией 800 кэв направлена на один из уровней 893,3 или 1004,2 кэв. Такой вывод был тогда возможен, потому что граничная энергия этой β^+ -компоненты определялась равной 730 ± 100 кэв ^{/12/}. Результаты наших измерений показывают, что большая доля позитронных распадов совпадает с γ -квантами с энергией 893,3 кэв, и что после вычитания вклада Eu^{147} не остается совпадений с γ -квантами с энергией 110,9 кэв. Из наших опытов следует таким образом, что уровень 1004,2 кэв, если он вообще возбуждается при распаде Eu^{145} и если он не изомерный, не заселяется β^+ -распадом. В работе Деметера и др. ^{/10/} было показано, что этот уровень, по-видимому, не возбуждается при распаде Eu^{145} .

Интересно сравнить экспериментальные значения K/β^+ для уровней 0 и 893 кэв Sm^{145} с теоретическими по таблицам Зыряновой ^{/23/}. Соответствующие значения приведены в таблице 2. Обращает на себя внимание довольно большое расхождение теоретического и экспериментального значений K/β^+ - на уровень с энергией 893,3 кэв. (Таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Е уровень (кэв)	$(K/\beta^+)_{теор.}$ по /23/	$(K/\beta^+)_{эксп.}$	$(K/\beta^+)_{эксп.}$ $(K/\beta^+)_{теор.}$
0	$3,4 \pm 0,4$	3,4	1
893,3	$28 \pm 0,5$	120	4,3

Можно предполагать, что ядра ${}^{145}_{63}\text{Eu}$ и ${}^{145}_{62}\text{Sm}$ не деформированы и что квантовые характеристики их основных состояний определяются по схеме Майер. Для Eu^{145} следует по этой схеме характеристика $d_{5/2}$ или $g_{7/2}$, а для Sm^{145} — $f_{7/2}$ или $h_{9/2}$. Спины основных состояний этих ядер не определялись экспериментально. Спины других соседних ядер с одним нейтроном сверх заполненной оболочки были экспериментально определены. Для ${}^{141}_{58}\text{Ce}$ и ${}^{143}_{60}\text{Nd}$ были получены значения $f_{7/2}$ /21-22/. В цепочке распадов $\text{Eu}^{145} \rightarrow \text{Sm}^{145} \rightarrow \text{Pm}^{145} \rightarrow \text{Nd}^{145}$ был экспериментально определен только спин основного состояния Nd^{145} , равный $f_{7/2}$ /24/. По значениям $\lg ft$ распада $\text{Pm}^{145} \rightarrow \text{Nd}^{145}$ разумно приписать основному состоянию Pm^{145} характеристики $d_{5/2}$ /25/. По аналогии с ядрами ${}^{141}_{58}\text{Ce}$ и ${}^{143}_{60}\text{Nd}$, имеющими так же как и Sm^{145} один нейтрон сверх заполненной оболочки, во всех работах были приписаны квантовые характеристики $f_{7/2}$ основному состоянию Sm^{145} . В связи с этим обращает на себя внимание довольно большое значение $\lg ft$ основного состояния Sm^{145} как по β^+ , так и по электронному распаду равное 8,9. Значение $\lg ft$ основного состояния Pm^{145} , равное 8,8 также повышено. Если не принимать во внимание, что речь идет об уникальных переходах первого порядка запрещения (характеристики $h_{9/2}$ для основного состояния Sm^{145}), то большие значения $\lg(ft)$ можно объяснить только неизвестными структурными изменениями при β -распаде Eu^{145} и Sm^{145} .

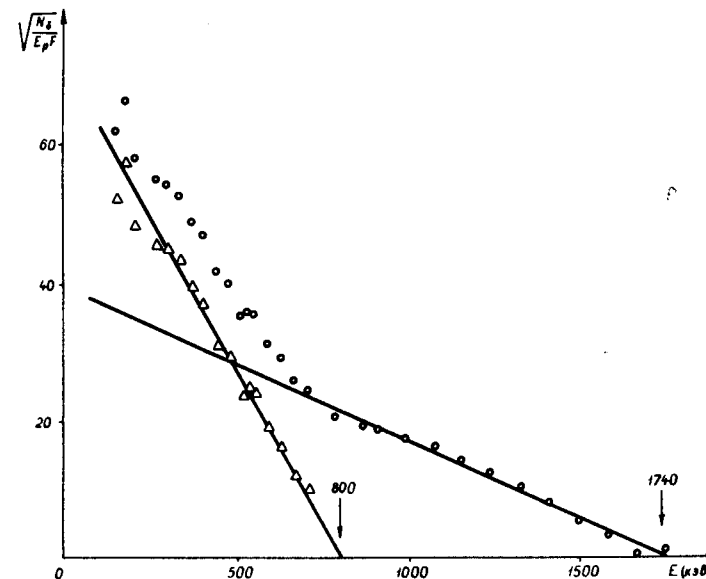
В заключение авторы выражают благодарность К.Я. Громову, В.Г. Калининскому и В.В. Кузнецову за обсуждения результатов и Н.А. Лебедеву за приготовление препаратов.

Л и т е р а т у р а

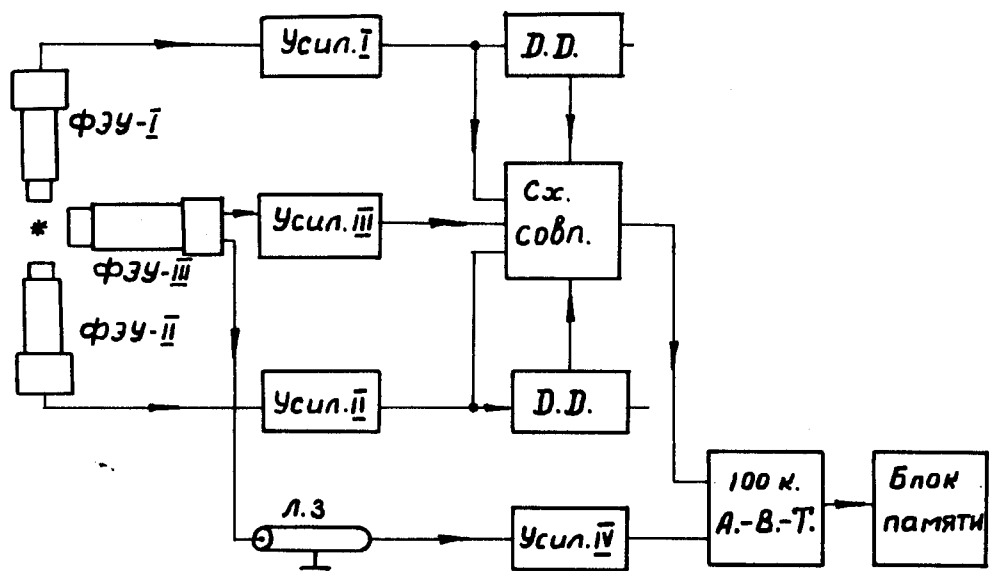
1. R.Hoff, J.Rasmussen, S.Thompson. Phys. Rev., 83, 1068 (1951).
2. J.Grove. Phys. Rev., 116, 406 (1959).
3. А. Башилов, О. Ларионов, М. Никитин, В. Смирнов. Изв. АН СССР, с.ф., 24, 788, (1960).
4. Ж. Желев. Диссертация ОИЯИ, Дубна (1964).
5. Н. Антонова, А. Башилов, Б. Джелепов, К. Каун, А. Майер, В. Смирнов. ЖЭТФ, 40, 23, (1961).
6. Ю. Александров, М. Никитин. Изв. АН СССР, с.ф., 26, 1176 (1961).
7. Ю. Александров, Б. Бемер. Изв. АН СССР, с.ф., 26, 1159 (1962).
8. Ю.А. Александров. Диссертация ЛГУ, 1962 г.
9. М. Авотина, Е. Григорьев, Ю. Егоров, Ж. Желев, А. Золотавин, Н. Лебедев, В. Сергеев, М. Совлов. Препринт ОИЯИ 1915, Дубна, 1964.
10. И. Деметер, Ф. Молнар, Е. Наджаков, А. Новгородов. Препринт Дубна ОИЯИ, Р-2052, Дубна (1965).
11. Б. Джелепов, Ж. Желев, А. Кудрявцева. Препринт ОИЯИ 483, Дубна, 1964.
12. Б. Джелепов, Ж. Желев, А. Кудрявцева. Препринт ОИЯИ 587, Дубна, 1960.
13. A.Friedmann, J.Milstedt, O.Skilbreid. Phys. Rev., 129, 1752 (1963).

14. К. Громов, Д. Еячев, Ж. Желев, И. Звольский, В. Калинин, В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музюль, Хань Шу жунь. Препринт ОИЯИ Р-1846, Дубна 1964.
15. "Гамма-лучи" под редакцией Л.А. Слив. Изд. АН СССР, Москва, Ленинград, 1961.
16. A.Cameron. AECL 433 (1957).
17. J.Riddei. CRP 654 (1956).
18. Г. Драницина. Препринт ОИЯИ 959, Дубна 1962.
19. H.Hillmann. BNL - 846 (1964).
20. V.Viola, G.Seaborg. Systematics of Atomic Nuclei. Частное сообщение.
21. R.Redzic, M.Abraham, C.Jeffries. Phys. Rev., 108, 54 (1957).
22. K.Murakawa, J.Ross. Phys. Rev., 82, 957 (1951).
23. Л.Н. Зырянова. "Уникальные бета-переходы" М.-Л. (1960).
24. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. "Схемы распада радиоактивных ядер с А 100" Изд. АН СССР, М.-Л, 1963 г.
25. A.Brosi, V.Ketelle, H.Thomas, R.Kevv. Phys. Rev., 113, 239 (1959).
26. К.Я. Громов, Ж.Желев, Кунь Сян цзин, Г. Музюль, Хань Шу-жунь. Препринт ОИЯИ Р-2166, Дубна 1965.

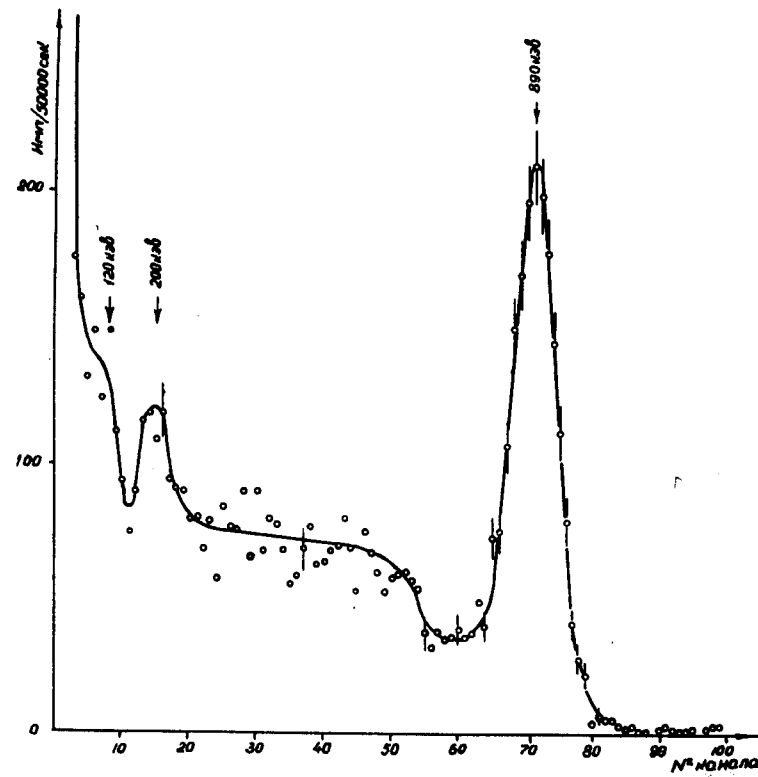
Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1965 г.



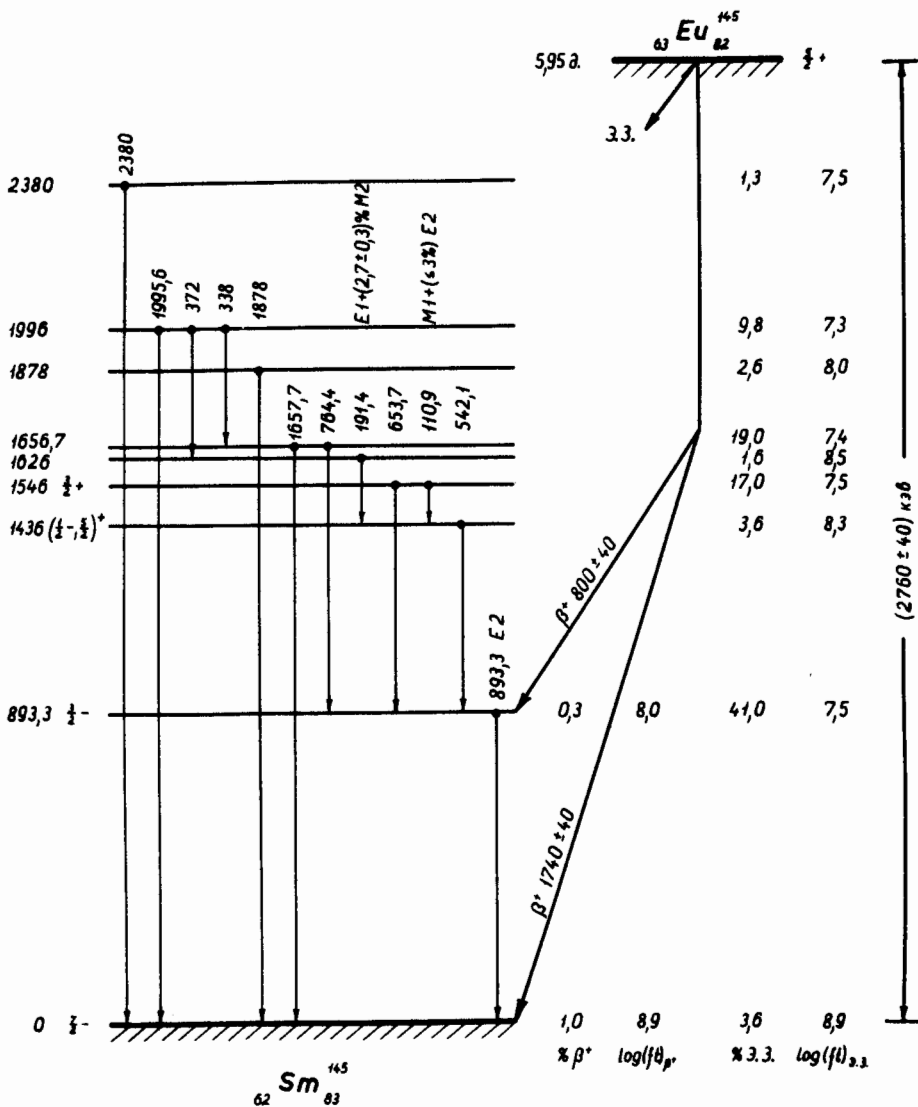
Р и с. 1. График Кюри β^+ -спектра Eu^{145} .



Р и с. 2. Блок-схема установки для измерений тройных совпадений.



Р и с. 3. Спектр тройных совпадений при исследовании распада Eu 145



Р и с. 4. Схема распада $Eu^{145} \rightarrow Sm^{145}$.