

10

Л-68

734



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Ю.В. Лобанов, Ю.Ц. Оганесян

P-734

γ - ИЗЛУЧЕНИЕ СОСТАВНЫХ ЯДЕР
С БОЛЬШИМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ

Дубна 1961 год

Ю.В. Лобанов, Ю.Ц. Оганесян

P-734

γ - ИЗЛУЧЕНИЕ СОСТАВНЫХ ЯДЕР
С БОЛЬШИМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ

1107/3 8.

Объединенный институт
ядерной энергии и следственной
библиотеки

Качественное различие в характере реакций, вызываемых легкими частицами и тяжелыми ионами, заключается в том, что в результате реакции слияния бомбардирующего иона с ядром мишени образовавшееся составное ядро имеет высокий угловой момент.

Наличие момента у составного ядра существенно сказывается на механизме его распада.

Для возбужденного ядра, находящегося в термодинамическом равновесии, в работах В.Струтинского (1) и Г.Пик-Пичака (2) было показано, что в результате испарения нуклонов из ядра уносится почти вся тепловая энергия возбуждения и лишь некоторая часть углового момента. Авторами было сделано предположение, что после испарения определенного числа нуклонов остаточный угловой момент может быть унесен излучением каскада γ -квантов сравнительно низкой энергии.

Эта гипотеза нашла качественное подтверждение в опытах по облучению Sn-мишени ионами углерода с энергией ~ 80 Мэв(3).

Настоящая работа посвящена изучению спектра γ -лучей, возникающих при облучении меди и тантала ускоренными ионами O_{16} и Ne_{20} в некотором интервале энергий.

1. Условия эксперимента

Опыты проводились на внутреннем пучке 300 см циклотрона Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Ионы $^{+3}O_{16}$ и $^{+4}Ne_{20}$, ускоренные внутри камеры циклотрона, бомбардировали выбранную мишень, укрепленную на специальном пробнике.

Опыты проводились в энергетическом интервале от 60 до 140 Мэв для ионов Ne_{20} и 60-100 Мэв для O_{16} . Энергия ионов варьировалась помещением мишени на различные радиусы ускорения и определялась экспериментально по таблицам пробег-энергия в алюминии (4,5), точность в определении энергии составляла $\sim 3\%$.

В качестве мишени использовалась медная и танталовая фольги, толщиной 22 μ и 100 μ соответственно. Полный поток частиц, бомбардирующих мишень, попадал на толстую Ta-пластину, расположенную за мишенью, сигнал с которой подавался на вход чувствительного регистратора ИСТ-1 (6).

Интенсивность пучка ионов была $1,5-5,0 \mu\text{A}$. γ -кванты в интервале энергий от 0,05 до 0,75 Мэв регистрировались фотоумножителем ФЭУ-33 с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})$ ($\emptyset = 30 \times 14$ мм), расположенном на расстоянии 5 м от мишени вне камеры циклотрона под углом $\sim 20^\circ$ к направлению падающего пучка, как показано на рис. 1. Импульсы с фотоумножителя подавались на вход 100-канального амплитудного анализатора АИ-100/1.

Градуировка γ -спектрометра проводилась с помощью источников Hg^{203} ($E_\gamma = 279$ и 75 Кэв) и Cs^{137} ($E_\gamma = 0,662$ Мэв). Ширина канала была равной $7,5$ Кэв; энергетическое разрешение фотопика Hg^{203} ($E_\gamma = 279$ Кэв) $\sim 15\%$.

Полная эффективность спектрометра в предположении изотропного распределения γ -квантов с мишени при данной геометрии была $\sim 2 \cdot 10^{-7}$.

2. Экспериментальные результаты

При токе ионов $\sim 2 \mu\text{A}$ и энергиях частиц, превышающих кулоновский барьер, скорость счета γ -квантов составляла ~ 500 имп./сек, поэтому каждое измерение спектра в течение одной минуты давало достаточную статистическую точность.

Ввиду сравнительно низкой эффективности спектрометра в опыте регистрировался практически спектр одиночных γ -квантов реакции.

Существенную роль в измерениях играет фон, обусловленный γ -квантами тормозного излучения электронов в резонансном контуре ускорителя. В энергетическом распределении фонового излучения (кривая 3 на рис. 2) наблюдается резкий спад до энергий $E_\gamma = eV_0$ (где $2V_0$ - величина ускоряющего напряжения на дуантах циклотрона). Фон, обусловленный активацией элементов камеры ускорителя значительно ниже наблюдаемого эффекта.

На рис. 2 и 3 приведены обработанные спектры γ -квантов, полученные при облучении меди ионами кислорода и неона при различных энергиях бомбардируемых частиц.

Кривые имеют вид непрерывного распределения с максимумами при энергиях γ -квантов ~ 160 Кэв для кислорода и $\sim 200-240$ Кэв в случае неона. На рисунках не воспроизведена форма спектра в области малых энергий ($E_\gamma < 130$ Кэв) ввиду резкого возрастания фона в области низших энергий.

На рис. 4 даны результаты облучения Ta мишени ионами кислорода при энергии 55, 65 и 75 Мэв. Форма кривых имеет вид, аналогичный кривым в реакциях $Cu + Ne_{20}$, $Cu + O_{18}$ с положением максимума в области энергий 300 Кэв.

На рис. 5 проведено сравнение одного из полученных спектров реакции ($Ta + O_{16}$) со спектром γ -квантов, испускаемых при радиационном захвате теплового нейтрона ядром Ta_{181} , приведенного в работе Грошева Л.В. и др. (7).

Существенное различие в спектрах вызвано, по-видимому, тем, что переход ядра в основное состояние происходит с уровня с высоким угловым моментом. В реакциях $Cu + Ne_{20}$ при энергии ионов ~ 120 Мэв составное ядро имеет энергию возбуждения ~ 80 Мэв и максимальный угловой момент $j_{max} \sim 60\hbar$. Величина среднего углового момента может быть получена при усреднении по прицельному параметру и по энергии ионов в соответствии с толщиной мишени и равна 35. Ядро, обладающее столь высокой энергией возбуждения будет испускать нуклоны, которые частично унесут первоначальный момент.

Если предположить, что остаточная энергия ядра может быть снята дипольным излучением, то число γ -квантов будет $\bar{\nu} \geq \bar{j}^*$ (где \bar{j}^* - средний момент ядра после испускания нуклонов).

Нами были произведены оценки среднего числа γ -квантов, испускаемых при распаде составного ядра, как:

$$\bar{\nu} = \frac{N_{\gamma}}{i \bar{\sigma}_c N_0 \epsilon},$$

где N_{γ} - полное число γ -квантов, i - поток ионов, $\bar{\sigma}_c$ - сечение образования составного ядра, приведенное в работе (8), усредненное по толщине мишени, ϵ - эффективность регистрации сцинтилляционного спектрометра в предположении изотропного распределения γ -квантов, N_0 - число работающих ядер мишени. Величина $\bar{\nu}$ в опытах ($Cu + Ne_{20}$) составляет - 40, а в реакции ($Cu + O_{16}$) ~ 30 .

Следует отметить, что такая оценка является весьма приближенной, так как для точного определения среднего числа γ -квантов в каскаде необходимо знать угловое распределение γ -излучения, испускаемого ядром.

Сильное уменьшение эффекта в реакции $Ta + O_{16}$ при изменении энергии от 75 до 55 Мэв обусловлено резким спадом сечения образования составного ядра вблизи кулоновского барьера.

В действительности уменьшение выхода γ - квантов значительно сильнее, чем представлено на рис. 4, так как в опыте незначительная часть пучка могла вызвать подобную реакцию на медном держателе мишени.

Увеличение средней энергии спектра γ - лучей в опытах с Ta -мишенью обусловлено, как нам кажется, сравнительно малым угловым моментом составного ядра при этих энергиях.

Авторы благодарны профессору Г.Н.Флерову, В.А.Карнаухову и В.В.Бабикову за полезные дискуссии и Б.Н.Маркову за помощь в проведении измерений.

Л и т е р а т у р а

1. В.М.Струтинский "Третья Всесоюзная конференция по ядерным реакциям при малых и средних энергиях", Москва, 1957 г. 522.
2. Г.А.Пик-Пичак. ЖЭТФ, т.38, 168 (1960).
3. В.А.Карнаухов, Ю.Ц.Оганесян. ЖЭТФ, 38, 1339 (1960).
4. Ю.Ц.Оганесян. ЖЭТФ, 36, 938 (1959).
5. L.C.Northcliffe. Phys.Rev., 120, 1744 (1960).
6. А.А.Курашов, А.Ф.Линев. ПТЭ 2, 70, (1957).
7. Л.В.Грошев, А.М.Демидов и др. "Атлас спектров γ -лучей радиационного захвата тепловых нейтронов", Москва, 1958г.
8. T.D.Thomas. Phys.Rev., 116, 703 (1959).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1961 года.

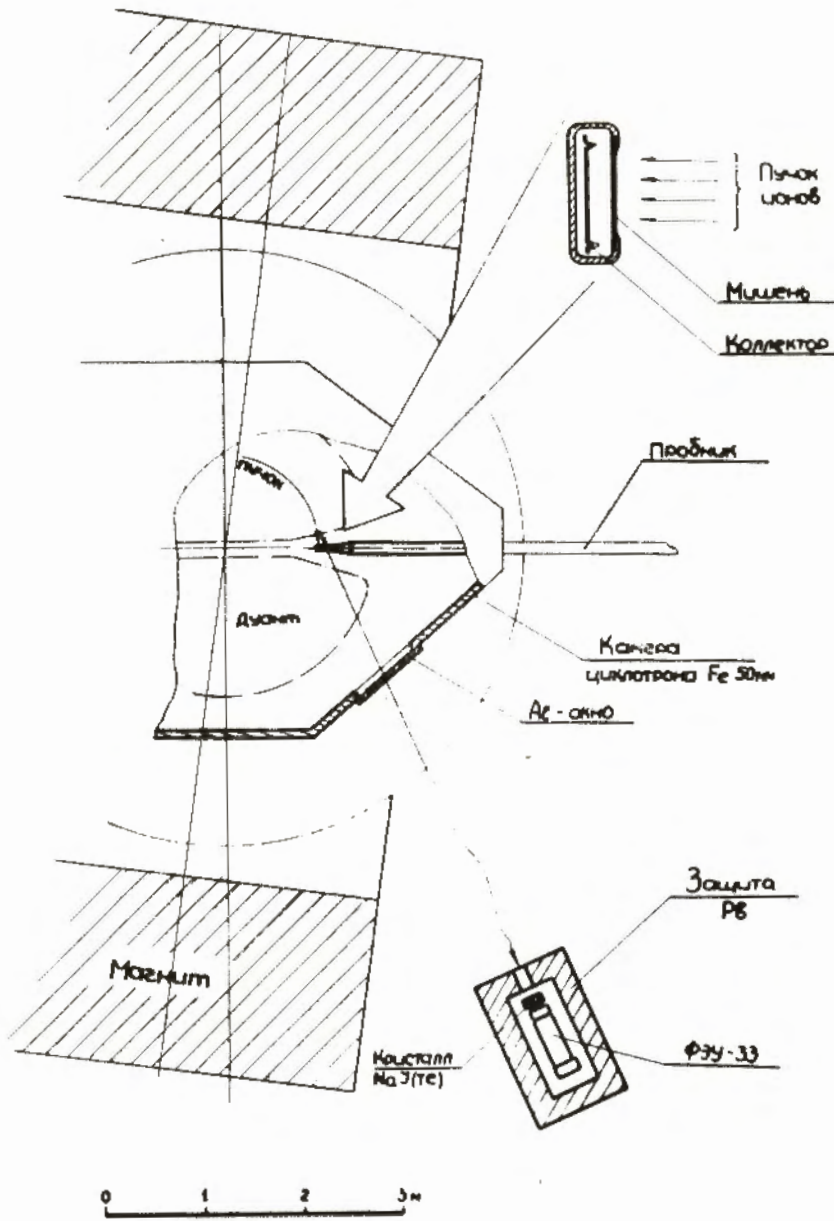


Рис. 1. Схема эксперимента.

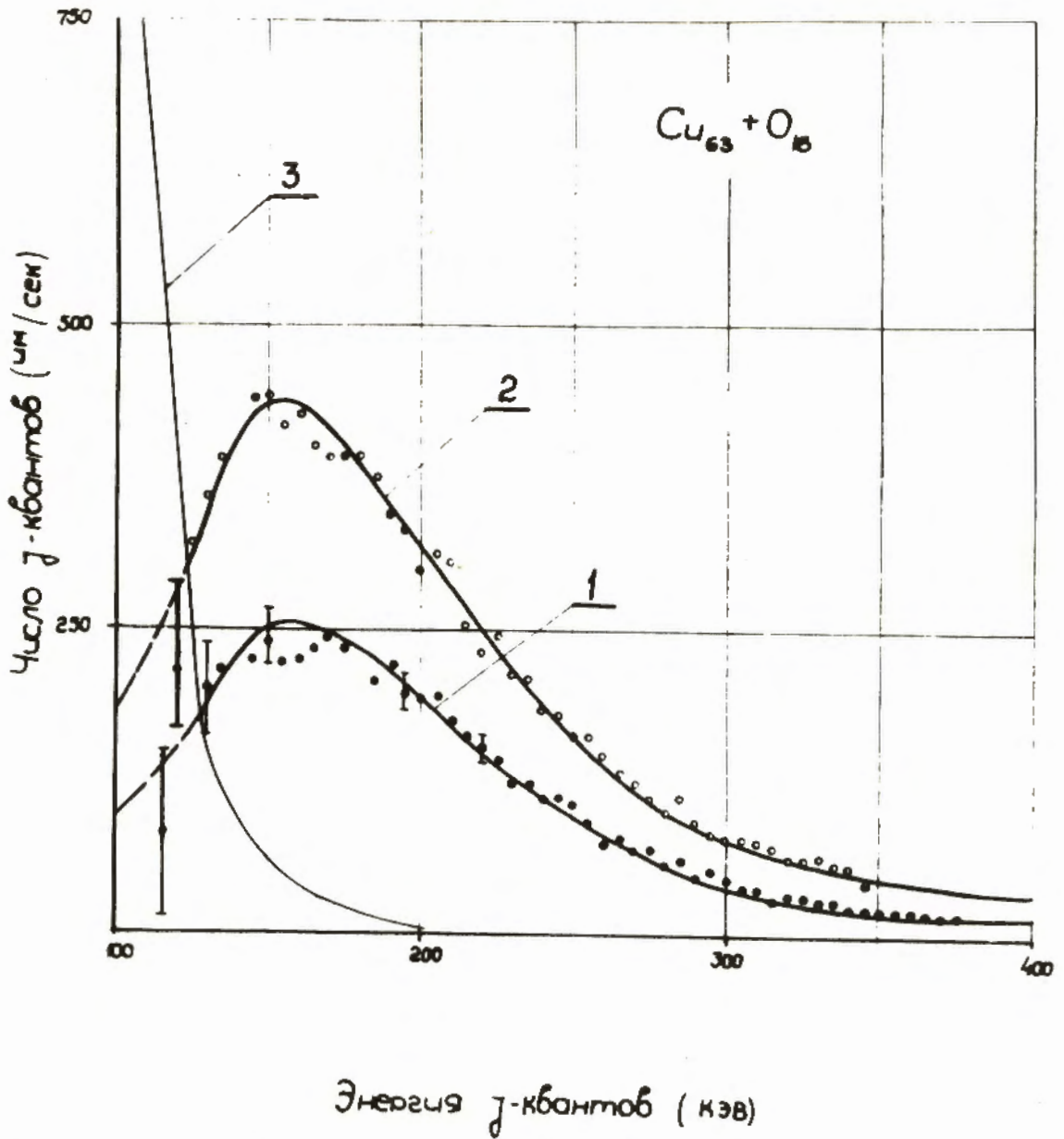


Рис. 2. Спектры γ -квантов реакции $Cu + O_{16}$, полученные на "толстой" медной мишени при энергии ионов кислорода: 1 кривая - 77 Мэв, 2 кривая - 93 Мэв в лабораторной системе; 3 кривая - спектр фона.

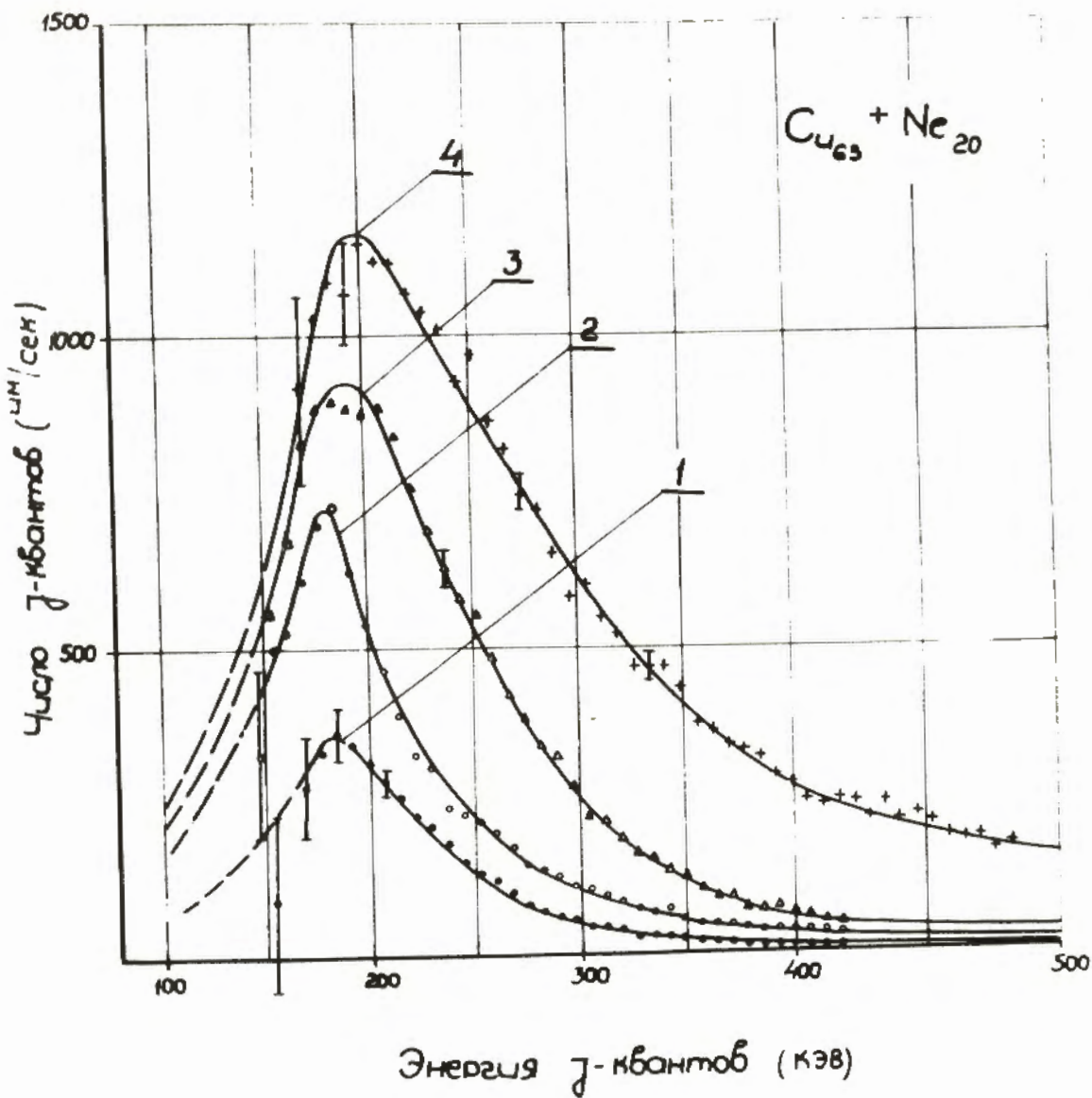


Рис. 3. Спектры γ -квантов реакции $Cu + Ne_{20}$, соответствующие разным энергиям бомбардирующих частиц: 1 кривая - 60 Мэв; 2 кривая - 100 Мэв; 3 - 120 Мэв; 4 кривая - 140 Мэв.

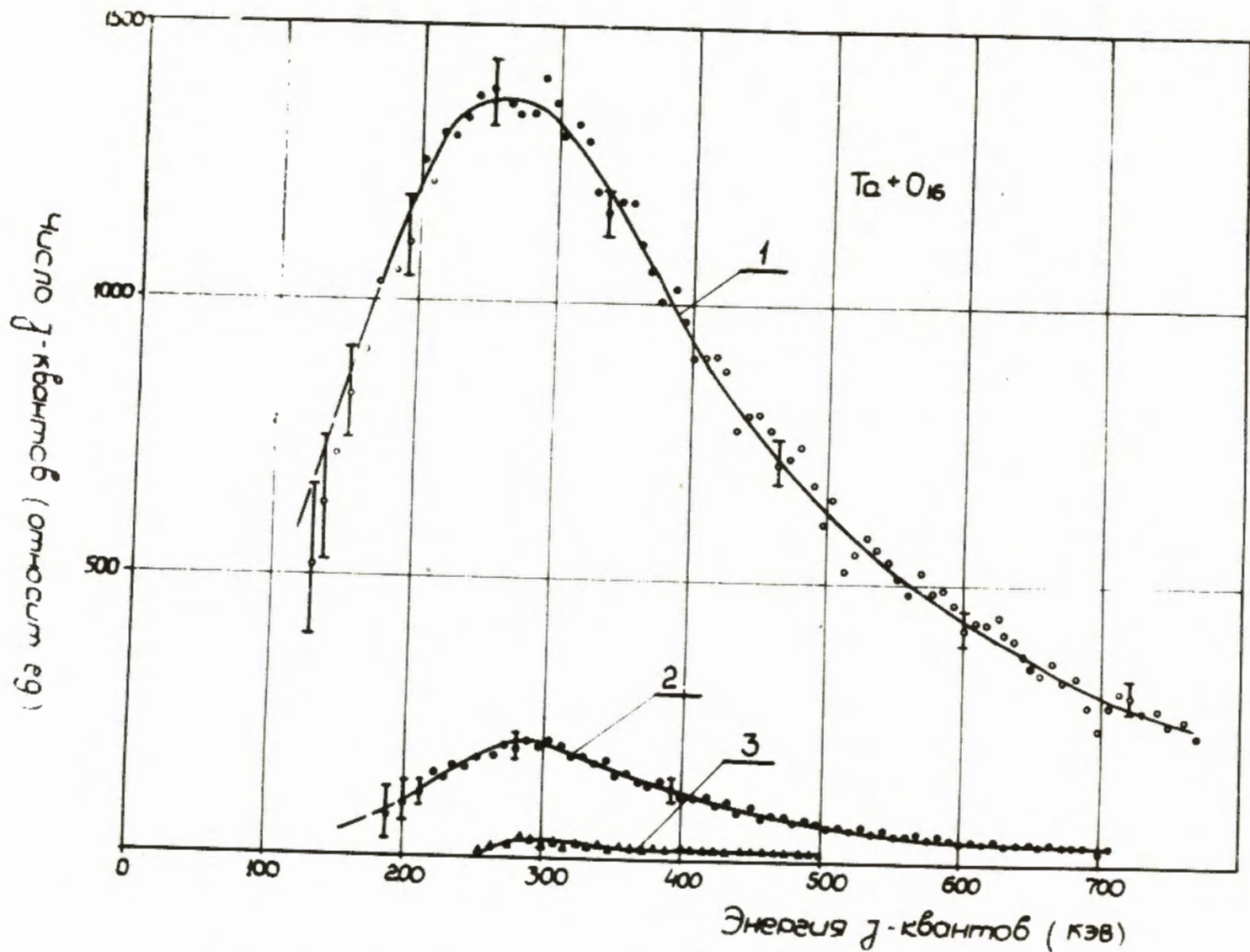


Рис. 4. Спектры γ -квантов реакции $Ta + O_{16}$. Кривые соответствуют энергиям ионов кислорода. 1 - 75 Мэв; 2 - 65 Мэв; 3 - 55 Мэв.

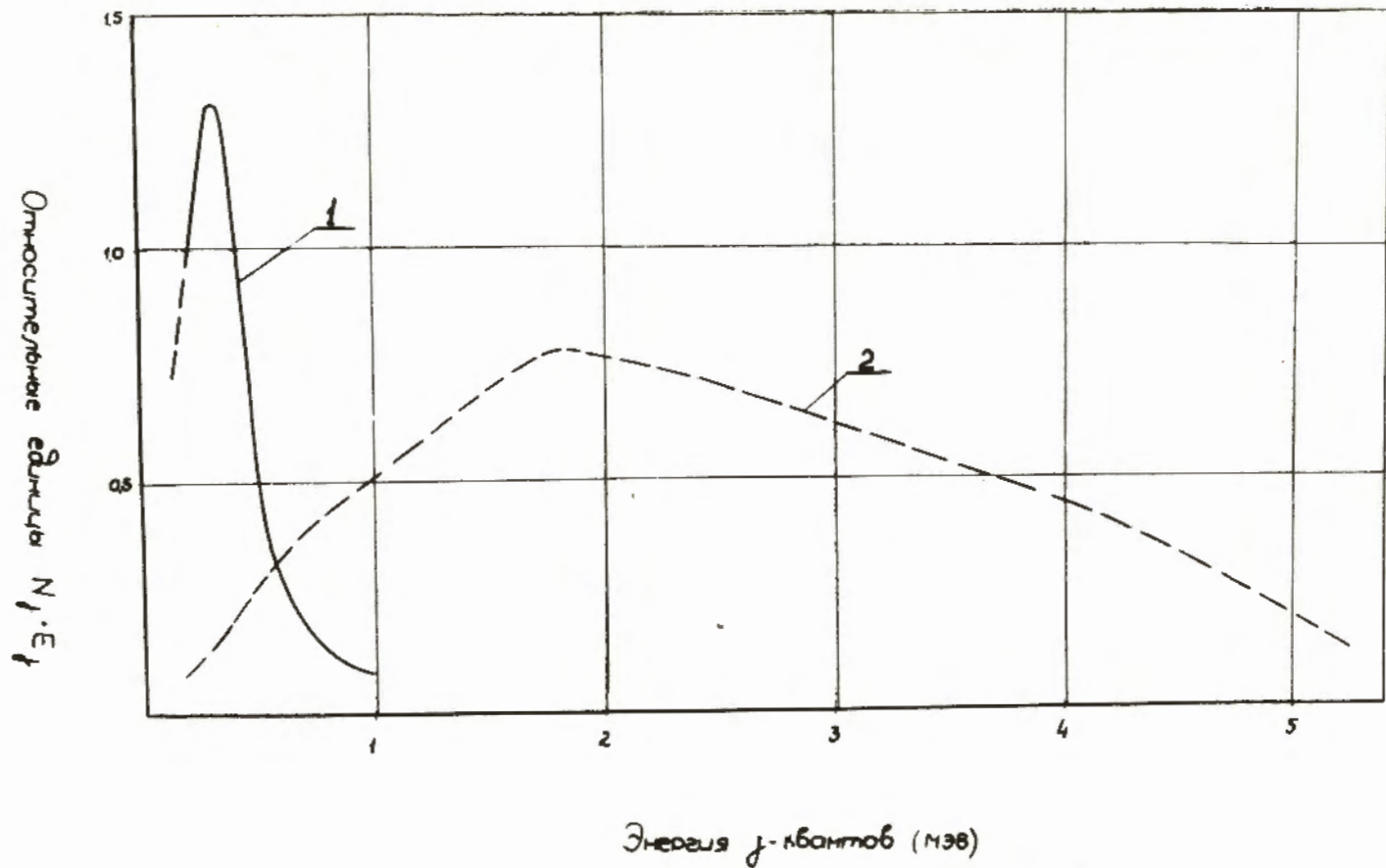


Рис. 5. Спектры γ -квантов в координатах $N_{\gamma} E_{\gamma} = f(E_{\gamma})$ при облучении Ta - мишени ионами O_{16} с энергией 75 МэВ (1 кривая, уменьшено в 5 раз) и тепловыми нейтронами (2 кривая).