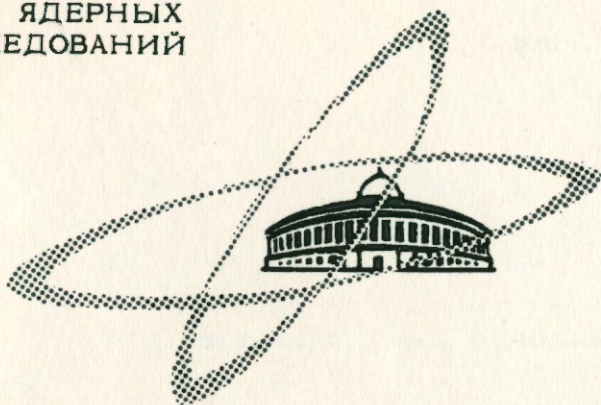


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Экз. чит. зала

2890



И. Квитек, Ю.П. Попов, К.Г. Родионов

КСЕНОНОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР
С МНОГОСЛОЙНОЙ МИШЕНЬЮ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКИХ РЕАКЦИЙ
ТИПА (n , α)

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1966

2880

И. Квитек, Ю.П. Попов, К.Г. Родионов

КСЕНОНОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР
С МНОГОСЛОЙНОЙ МИШЕНЬЮ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКИХ РЕАКЦИЙ
ТИПА (ν , α)

Направлено в ПТЭ



В в е д е н и е

Описываемый детектор сконструирован для исследования реакции (n, α) на резонансных нейтронах в области средних и тяжелых ядер.

Первые попытки исследовать реакции подобного типа были проведены на тепловых нейтронах ¹⁻³ / и показали, что эти реакции идут с крайне малыми сечениями и сопровождаются существенным γ -фоном: $\sigma(n, \alpha)/\sigma(n, \gamma) \leq 10^{-8} \div 10^{-5}$ для области редкоземельных элементов. Потоки нейтронов в резонансной области на несколько порядков меньше, чем в тепловой, поэтому исследования такого типа до сих пор не проводились. Таким образом, задача исследования реакции (n, α) предъявляет к детектору альфа-частиц следующие требования:

- 1) площадь исследуемого вещества должна быть большой;
- 2) эффективность регистрации γ -квантов - низкой ($\epsilon_\gamma \leq 10^{-7}$);
- 3) эффективность регистрации α -частиц - высокой ($\epsilon_\alpha = 1$);
- 4) собственный фон детектора - низким.

Мы остановили свой выбор на газовом сцинтилляционном детекторе с многослойной мишенью и ксеноном в качестве рабочего газа. С помощью этого детектора были проведены исследования реакции $Sm(n, \alpha)$ на импульсном реакторе Объединенного института ядерных исследований.

Конструкция детектора

Камера представляет собой полый герметичный параллелепипед с внутренними размерами $30 \times 30 \times 25$ см³, заполненный ксеноном до давления 240-300 мм рт.ст. (рис. 1). Объем камеры просматривается с 4-х сторон фотоумножителями типа ФЭУ-48 с диаметром фотокатода - 18 см.

В камеру помещалась кассета с семью параллельными алюминиевыми пластинами размером 24×24 см² и толщиной 0,5 мм. Расстояние между пластинами составляло 3 см. Пластины, покрытые с одной стороны тонким слоем образца (окись самария),

располагались так, что слои самария были направлены в стороны четных промежутков между пластинами, а нечетные промежутки были без самария. Четные промежутки просматривались одной парой противоположащих фотоумножителей, которые регистрировали эффект альфа-частиц из реакции $Sm(\alpha, a)$, а нечетные - другой парой ФЭУ, что позволяло одновременно регистрировать фон. Поверхность, с которой регистрировались α -частицы, составляла $0,35 \text{ м}^2$. (Она может быть увеличена вдвое, если нет необходимости одновременно измерять фон).

Чтобы надежно регистрировать сцинтилляции от α -частиц в любой точке узкой щели между пластинами, мы использовали усиление сцинтилляций с помощью электрического поля^{/4/}. Для этого на четные пластины подавалось высокое напряжение $\approx 2,5 \text{ кв}$.

При продолжительных измерениях, необходимых для исследования столь редких реакций, существенным является вопрос о постоянстве величины сцинтилляции в газе.

Несмотря на применение материалов с малой упругостью насыщенных паров и хорошую очистку внутренних поверхностей в детекторе, амплитуда сцинтилляций α -частиц от контрольного источника урана-235 уменьшалась вдвое за 12 часов работы детектора. Поэтому была применена принудительная очистка ксенона продуванием его через горячую кальциевую стружку с помощью безмасляного ротационного насоса^{/5/} (рис. 2). Специальная полупроводниковая схема автоматического управления поддерживала температуру в печи в пределах $450-480^\circ\text{C}$ и раз в 30 минут включала ротационный насос на 4 (8 или 15) минут. Этого оказалось достаточным для поддержания амплитуды световых вспышек в пределах 5% в течение 100 часов измерений (более длинных серий измерений пока не проводилось).

Пластины кассеты были закрыты с обеих сторон тонкой алюминиевой фольгой (8мк). Это давало возможность получить идентичные оптические условия как в фоновых промежутках, так и в промежутках, где нанесена пленка окиси самария. Кроме того, фольга защищала чувствительный объем детектора от попадания туда α -частиц от естественного распада самария - 147 ($E_\alpha = 2,18 \text{ Мэв}$), существенно повышавших собственный фон детектора.

Алюминиевая фольга методом распыления в вакууме покрывалась тонким слоем дифенилстильбена, использовавшегося в качестве светопреобразователя. Поскольку амплитуда импульса на выходе ФЭУ в нашем случае существенно зависит от места сцинтилляции в узкой щели между пластинами (падает с расстоянием от фотокатода быстрее, чем $1/r$), мы компенсировали отчасти эту неравномерность чувствительности переменной толщиной слоя дифенилстильбена. Толщина светопреобразователя была максимальной в центре пластин и составляла (как и на кварцевых окошках камеры) 70 мкг/см^2 . По мере приближения к ФЭУ толщина стильбена уменьшалась до нуля.

Мишени готовились из раствора азотнокислого самария на спирту с добавлением

папой-лака. Кисточкой на алюминиевую пластину наносился тонкий слой раствора, который затем высушивался и прокаливался в печи при температуре 500°C . При этом органические соединения выжигались, и азотнокислый самарий переходил в окись. Для получения прочных и равномерных мишеней толщиной в 8 мг/см^2 наносилось около 200 слоев.

Блок-схема использовавшейся электроники изображена на рис. 2. Два независимых тракта усиления обеспечивали одновременное измерение эффекта и фона. Фотоумножители запирались на время нейтронной вспышки быстрого импульсного реактора ИБР отрицательным импульсом 30 в длительностью 100-500 мксек.

Характеристики детектора

В первоначальном варианте детектора камера должна была работать в режиме обычных сцинтилляций (без усиления их электрическим полем). Однако оказалось, что импульсы от α -частиц, вылетающих в центре пластин, лежат в шумах умножителей. Это связано как с высоким уровнем шумов умножителей с большим фотокатодом типа ФЭУ-48, так и с существенным ослаблением световой вспышки (малый телесный угол на фотокатод, неполное отражение и преобразование ультрафиолета в видимую часть спектра). Не помогло и использование совпадений между противоположащими ФЭУ, поскольку приходилось значительно понижать порог регистрации, чтобы регистрировать импульсы с противоположного конца кассеты, а это приводило к большому фону от случайных совпадений. Кроме того, при низком пороге регистрации детектор становится чувствительным к γ -лучам за счет регистрации их непосредственно фотокатодами умножителей. Чувствительность детектора к γ -лучам за счет сцинтилляций в ксеноне оказалась незначительной. Измерения с цилиндрическим детектором объемом 10 л и давлением ксенона 5 атм показали, что эффективность регистрации γ -лучей составляет величину $< 10^{-8}$ при 100%-ной эффективности регистрации α -частиц от источника $Sm^{242,244}$.

Для преодоления указанных трудностей было решено поместить ксенон в электрическое поле. Сцинтилляции инертных газов в электрическом поле изучались в ряде работ, отмеченных в обзоре^{/6/}. Л. Кох^{/4/} обнаружила значительное увеличение светового выхода ксенона при полях 100-800 в/см. Было также замечено, что передний фронт импульса увеличивается до $\approx 2 \text{ мксек}$.

Результаты наших измерений зависимости светового выхода ксенона от напряженности электрического поля представлены на рис. 3. За единицу принят световой выход в отсутствие электрического поля. Таким образом, использование электрического поля 700 в/см позволило значительно поднять радиотехнический порог и избавиться от регистрации шумов фотоумножителей и чувствительности детектора к γ -лучам по фотокатодам.

Исследование чувствительности к γ -лучам при работе с электрическим полем показало, что величина ϵ_γ при нагрузках $\geq 10^7$ γ -квантов/сек на поверхность детектора и давления ксенона ≈ 1 атм начинает быстро расти с ростом потока γ -квантов. По-видимому, это объясняется наложением импульсов от отдельных электронов, поскольку ширина световой вспышки при работе с электрическим полем составляет в наших условиях ≈ 8 мксек при РС анодной цепи ≈ 3 мксек. В пользу такого объяснения говорит и тот факт, что отношение $\epsilon_\alpha/\epsilon_\gamma$ (при $\epsilon_\alpha = \text{const}$) увеличивается с увеличением напряженности электрического поля, поскольку при этом световая вспышка сужается во времени. Такое сужение сцинтилляции в ксеноне с ростом электрического поля отмечалось в работе /8/ и подтверждается нашими измерениями.

Для уменьшения ϵ_γ при работе с нашим детектором в больших γ -полях было снижено давление ксенона в камере до 250 мм рт.ст. Теперь при пороге, обеспечивающем регистрацию 80% альфа-частиц от контрольного источника U^{235} , расположенного в центре камеры, $\epsilon_\gamma < 10^{-8}$ для потоков γ -квантов (Sr^{137} или Na^{24}) 10^8 квантов/сек на полную поверхность детектора.

Применение электрического поля в газовом сцинтиляторе предъявляет дополнительные требования к электрической прочности детектора, что осложняется невозможностью использования внутри камеры обычных типов изоляторов из органики, пары которой газят сцинтилляции в газах. В качестве изоляторов в камере применены тефлон и фарфор.

Постоянный фон детектора в рабочих условиях составляет ≈ 20 импульсов в минуту и падает до нуля при выключенном напряжении на пластинах. Природа этого фона не выяснена и может быть связана с радиоактивными загрязнениями детектора, космическим излучением и отдельными разрядами на остриях.

Энергетическое разрешение детектора для точечного α -источника в центре камеры составляло 10-12% при давлении ксенона, обеспечивавшем использование полного пробега α -частиц $Sm^{242,244}$.

Исследования реакции $Sm(p, \alpha)$

Изучение реакции $Sm(p, \alpha)$ проводилось на импульсном реакторе ИБР с разрешением 0,8 мксек/м и в режиме работы реактора с микротроном с разрешением $\approx 0,1$ мксек/м.

Перед измерениями оба радиотехнических тракта ("эффект" и "фон") настраивались с помощью источника γ -лучей Sr^{137} мощностью ≈ 10 мКи так, чтобы $\epsilon_\gamma \leq 10^{-8}$. Обычно при этом ϵ_α составляло 0,8 с центра камеры. После этого α -источник

закрывался тефлоновым лепестком, и камера помещалась в поток нейтронов.

Измерения носили относительный характер. Параллельно измерялся счет от реакции $Sm(p, \gamma)$ сцинтилляционным детектором типа Моксона-Рей /7/ с $\epsilon_\gamma = E_B$, где E_B - энергия связи нейтрона в ядре. Это обеспечивало независимость эффективности регистрации акта захвата нейтрона при переходе от одного резонанса к другому.

На рис. 4 в качестве иллюстрации представлены кривые счета α -частиц и γ -лучей в зависимости от энергии нейтронов. Кривая для (p, α) получена в результате 100-часового измерения на реакторе, кривая (p, γ) - за 2,5 часа. Сплошная кривая реакции $Sm(p, \alpha)$ является разностью между эффектом и фоном, пунктирная кривая представляет фон. Отношение площадей резонансов на кривых (p, α) и (p, γ) пропорционально искомому отношению ширины $\Gamma_\alpha/\Gamma_\gamma$ для данных резонансов. Для нахождения абсолютного значения величины $\Gamma_\alpha/\Gamma_\gamma$ отношение площадей нормировалось на отношение сечений в тепловой области, измеренных в работах /2,3,8/. Полученные данные обсуждаются в работе /8/.

Для проверки идентичности работы трактов "эффект" и "фон" в середине измерения кассета с пластинами поворачивалась внутри камеры на 90° . Результаты таких двух серий оказались близкими и суммировались при обработке.

Было проведено также измерение, когда самариевые слои закрывались алюминиевой фольгой толщиной 50 мк (фольга вставлялась под 8-микронную фольгу с дифенилстильбеном, так что оптические свойства промежутков не изменялись). Суммарная толщина фольг была достаточной для полного поглощения α -частиц с $E_\alpha = 10$ Мэв, возникающих в реакции $Sm(p, \alpha)$. Измерение показало, что счет в районе резонансов совпадает со счетом между резонансами в пределах статистической ошибки (7%).

Кроме того, чувствительность детектора к γ -лучам постоянно контролировалась по наиболее сильным резонансам в реакции (p, γ) (см. рис. 4) Sm^{152} ($E_0 = 8$ эв) и He^{181} ($E_0 = 14$ эв), в которых реакция (p, α) может идти с вероятностью на несколько порядков меньше, чем в Sm^{147} и Sm^{149} .

З а к л ю ч е н и е

Исследования реакции (p, α) на самарии показали, что описанный здесь детектор позволяет проводить измерения α -ширины нейтронных резонансов. Детектор может быть использован и для регистрации других типов заряженных частиц, в частности, протонов, осколков деления.

При нанесении мишени на достаточно тонкие подложки камера позволяет проводить измерения с использованием совпадений или антисовпадений между продуктами реакции,

вылетающими в разные чувствительные промежутки.

Детекторы такого типа могут также использоваться для исследования α -распада в изотопах с очень большими временами жизни.

Авторы признательны Ф.Л. Шапиро за полезные обсуждения, приносят благодарность И.А. Стройкову, Я. Фогеловой, Б.Н. Соловьеву и А.В. Грачевой за помощь в создании детектора и мишеней.

Л и т е р а т у р а

1. R.D.Macfarlane, I.Almodovar. Phys. Rev., 127, 1665(1962).
2. E.Cheifetz, J.Gilat, A.I.Yavin, S.G.Cohen. Phys. Lett., 1, 289 (1962).
3. В.Н. Андреев, С.М. Сяроткин. ЯФ, 1, 252 (1965).
4. L.Koch, C.R.Coll. Intern. Elec. Nucl., IAEA, Masson, Paris (1958).
5. С.А. Балдин, В.В. Матвеев. ПТЭ, № 4, 5 (1963).
6. J.Teysseyr, D.Blanc, A.Godeou. J.de Phys. Rad., 24, 55, Jan. 1963.
7. М.С.Мохон, Е.Р.Рae. Nucl. Instr. Meth., 24, 445 (1963).
8. D.J.Hughes, R .B.Schwartz. BNL-325 Second Edition, 1958.
9. И. Квитек, Ю.П. Попов. Доклад на 18 совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Москва, январь 1966 г.;
Препринт Р-2625, Дубна 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 апреля 1966 г.

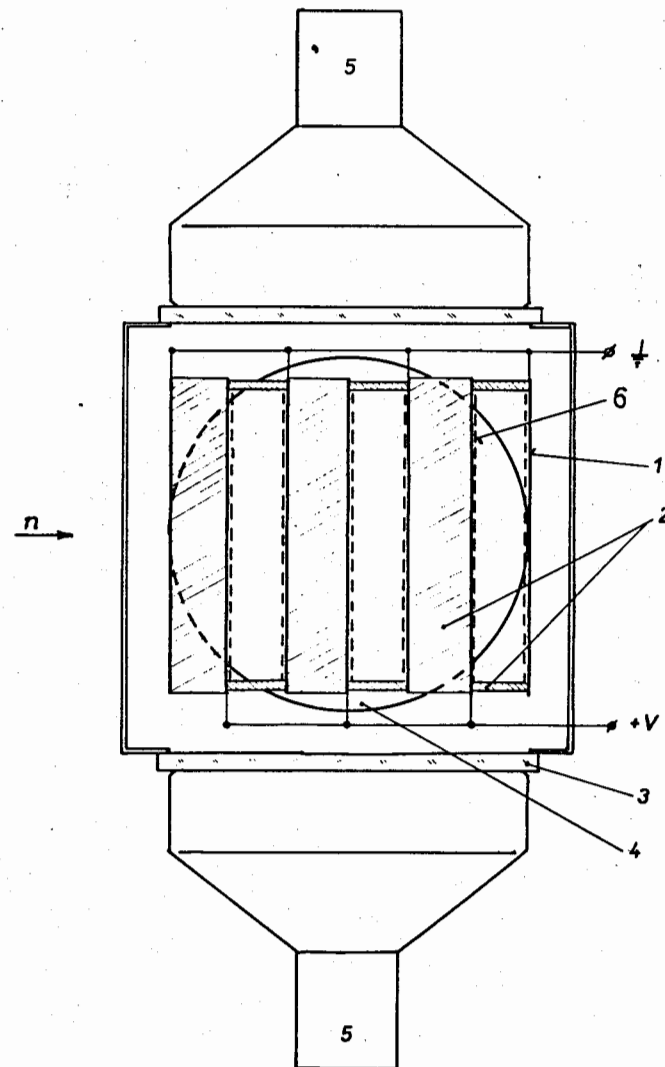


Рис. 1. Ксеноновый сцинтиляционный детектор с многослойной мишенью. 1-алюминиевые пластины; 2-тефлоновые стенки - изоляторы; 3-кварцевые окна; 4-фотоумножители, регистрирующие реакцию (n, α); 5-фотоумножители, регистрирующие фон; 6-слой самария.

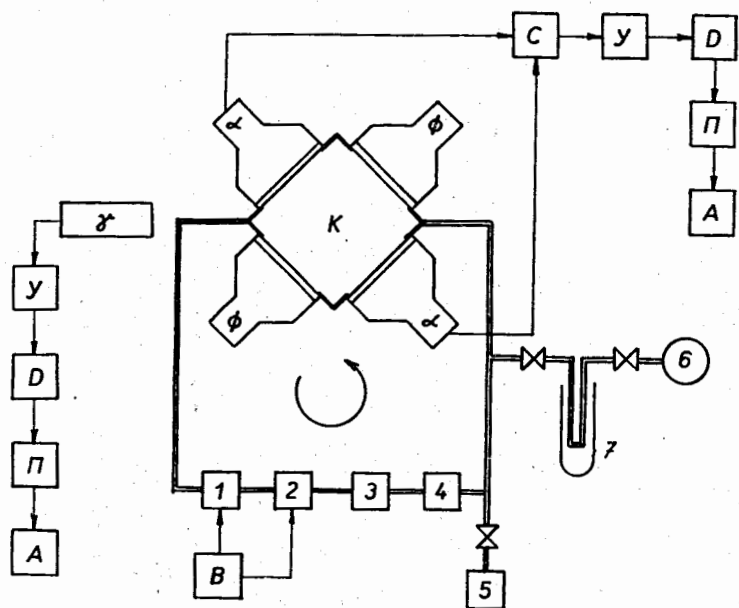


Рис. 2. Вакуумная часть и электроника детектора. 1-ротационный насос; 2-кальциевый очиститель с печью; 3-охладитель; 4-ловушка кальциевой пыли; 5-форвакуумный насос; 6-баллон с ксеноном; 7-азотная ловушка; К -газовый сцинтиллятор; α -фотоумножители, регистрирующие реакцию (α, α); ϕ -фотоумножители, регистрирующие фон; γ -детектор γ -лучей; с -сумматор; У -усилитель; D -дискриминатор; П -катодный повторитель; А -временной 1024-канальный анализатор; В -автоматика, регулирующая температуру С_а-печки и включающая ротационный насос.

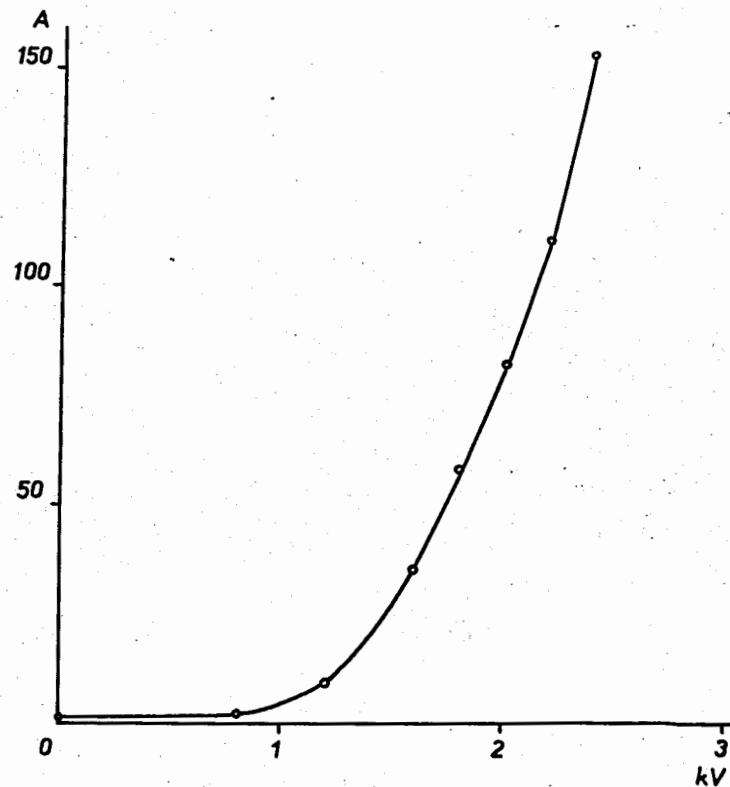


Рис. 3. Зависимость амплитуды световой вспышки в ксеноне от напряжения на пластинах. За единицу взята амплитуда вспышки без электрического поля.

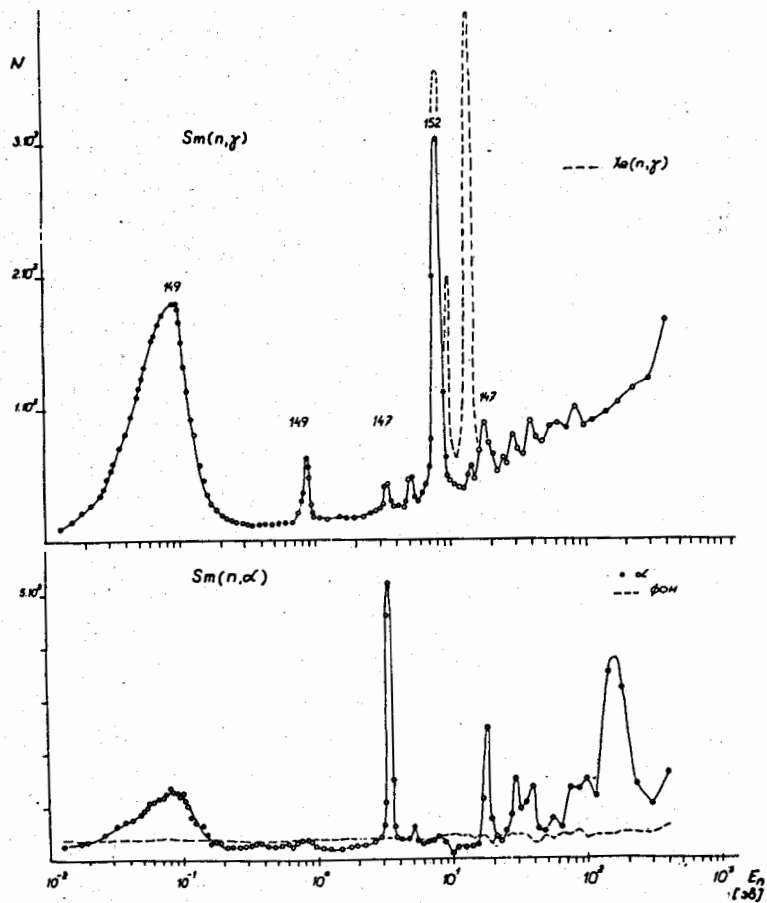


Рис. 4. Счет α -частиц (нижняя кривая) и γ -квантов (верхняя кривая) в зависимости от энергии захватываемых нейтронов.