

С.В.О.Г.в
М-217

28 204

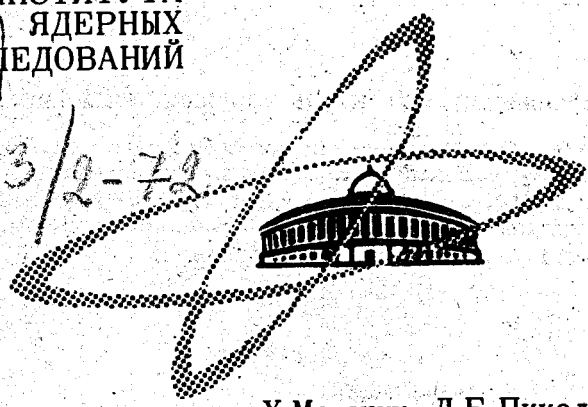
30/4-72

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

13 - 6609

Дубна

3723/2-72



Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, К.Г.Родионов,
И.М.Саламатин, Э.И.Шарапов

ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ И ГАММА-ЛУЧЕЙ
ДЛЯ РАБОТ
В ОБЛАСТИ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1972

13 - 6609

Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, К.Г.Родионов,
И.М.Саламатин, Э.И.Шарапов

ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ И ГАММА-ЛУЧЕЙ
ДЛЯ РАБОТ
В ОБЛАСТИ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Жидкостные сцинтилляционные детекторы нейтронов и гамма-лучей широко используются в нейтронной спектроскопии. Они имеют высокую эффективность регистрации и позволяют использовать большую площадь пучка нейтронов. Многие исследования по методу времени пролета на импульсном реакторе ИБР выполнены с нейтронным детектором, содержащим метилборат, и с 500-литровым детектором радиационного захвата нейтронов /1/.

В последние годы в ЛНФ ОИЯИ развиваются работы с поляризованными нейтронами. Принятый метод поляризации пропусканием нейтронов через поляризованную протонную мишень приводит примерно к 10-кратному ослаблению нейтронного пучка, что увеличивает роль фона γ -лучей реактора. В этой связи потребовался высокоэффективный (в широкой области энергий) детектор нейтронов с минимальной чувствительностью к гамма-квантам. Этим требованиям отвечает детектор, описанный в работе /2/, в котором применены пластмассовые сцинтилляторы и (p, γ) - конвертор из урана-235.

В настоящей работе описан 210-литровый жидкостный сцинтилляционный детектор, в котором нейтроны регистрируются по каскадным гамма-лучам, испускаемым при захвате нейтронов в специальном конверторе внутри детектора. При замене конвертора исследуемым образцом детектор можно использовать для регистрации радиационного захвата нейтронов.

Конструкция и электроника

Детектор, общий вид которого показан на рис. 1, состоит из шести секций, образующих вместе цилиндр со сквозным каналом вдоль оси пучка нейтронов. Диаметр канала 300 мм, внешний диаметр детектора 730 мм, длина 600 мм. Каждая секция объемом 35 л представляет собой цельносварной бачок из нержавеющей стали. Изнутри на стенки нанесен отражатель из окиси титана. На торцах сделаны окна под фотоумножители ФЭУ, кольцевые пазы для прокладок и отверстия с резьбой под болты. ФЭУ находятся в непосредственном контакте со сцинтиллятором. С помощью эпоксидной смолы ФЭУ вклеены во фланцы, прижимаемые к корпусу через прокладки из резины марки ИРП-1287. Секции снабжены сильфонами и кранами. Жидкий сцинтиллятор представляет собой толуол со сцинтиллирующими добавками: РРО 4 г/л и РОРОР 0,5 г/л. В сцинтиллятор добавлен метилборат $B(OCH_3)_3$ (около 50% объема толуола) для уменьшения времени жизни нейтронов в сцинтилляторе и снижения чувствительности к рассеянным нейтронам в режиме (n, γ)-детектора.

В детекторе применены фотоумножители ФЭУ-49. Аноды двух ФЭУ каждой секции подсоединены к нагрузке 1 ком, на которой выделяются импульсы амплитудой $\sim 0,3$ вольт/Мэв и длительностью 0,25 мсек. При таких условиях эмиттерный повторитель на ФЭУ является хорошим ограничителем фоновых импульсов большой амплитуды. Далее (см. рис. 2) импульсы усиливаются в усилителях $У$, проходят через интегральные дискриминаторы ИД и стандартизируются по амплитуде и длительности формирователями $Ф$. Большинство элементов схемы являются стандартными блоками детекторной электроники ЛНФ /3/.

Для выделения радиационного захвата нейтрона применена схема m -кратных совпадений. В схеме использован метод амплитудного

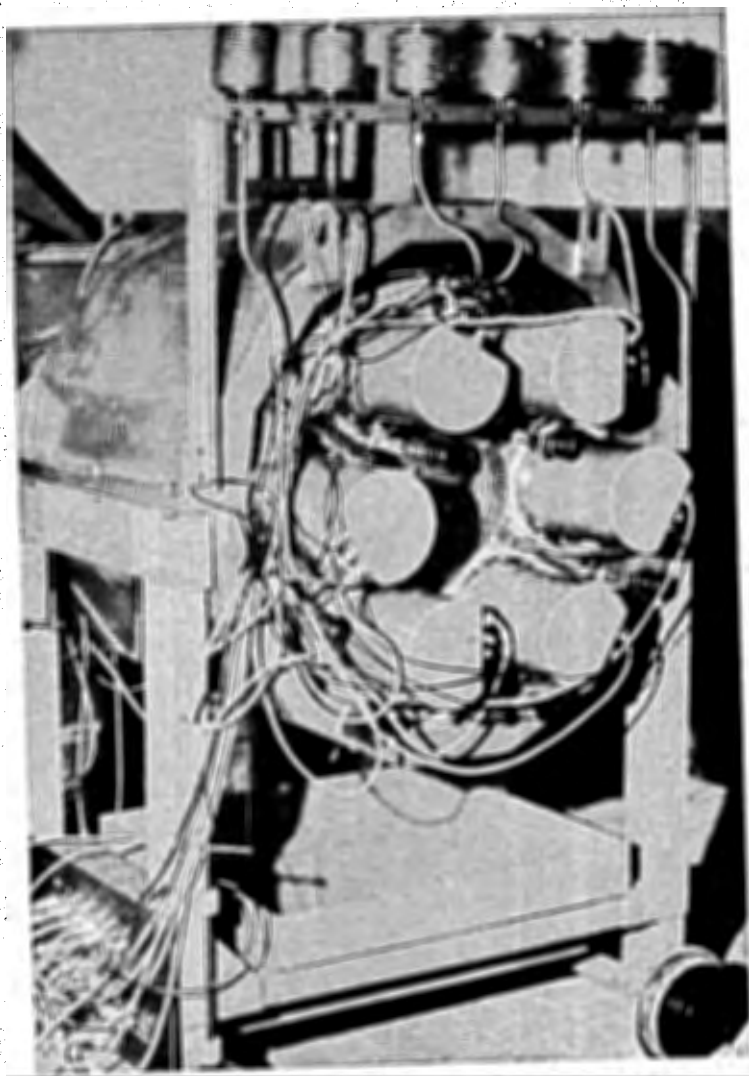


Рис. 1

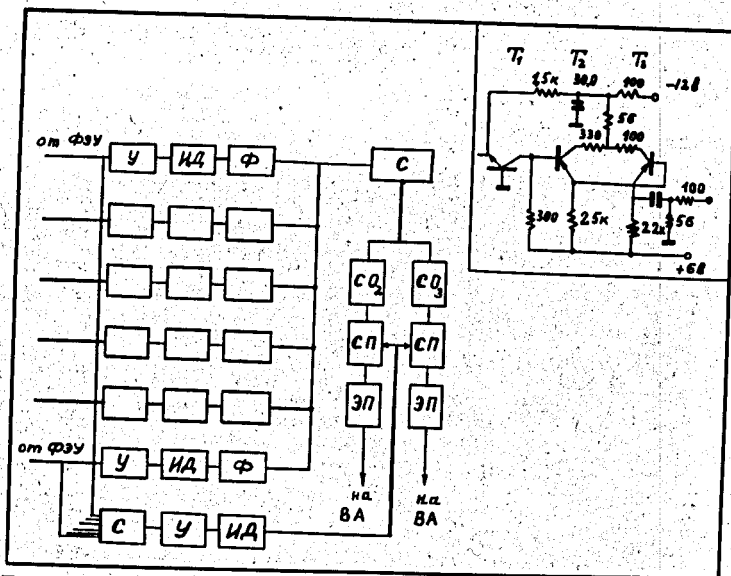


Рис. 2. Блок-схема электроники детектора. В правом верхнем углу - принципиальная схема линейного сумматора С.

отбора суммарных импульсов, поступивших в пределах разрешающего времени с различных секций детектора. Схема состоит из линейного сумматора С и схемы отбора СО. Токковый сумматор на 6 входов позволяет суммировать короткие импульсы при относительно большой частоте по каждому из входов без существенного взаимного влияния входов. Схема отбора имеет устанавливаемый порог регистрации и два независимых канала, условно названные "двойные совпадения СО-2" ($m \geq 2$) и "тройные совпадения СО-3" ($m \geq 3$). Установка в этих каналах минимального порога позволяет регистрировать импульсы из отдельных секций ("режим одиночного счета").

Далее импульс поступает на схему пропускания СП, которая отсекает импульсы космического излучения, превышающие заданный (10 Мэв) порог интегрального дискриминатора в дополнительном канале (цепочка С + У + ИД). С выхода СП импульс через выходной каскад ЭП и километровый кабель поступает на многоканальный временной анализатор.

Режим (n , γ) - детектора

Характеристики детектора в этом режиме были получены как с помощью источника гамма-лучей, так и на пучке нейтронов. На многоканальном анализаторе был измерен амплитудный спектр, показанный на рис. 3. Эффективность регистрации одиночных гамма-квантов с энергией 1,25 Мэв при пороге 0,6 Мэв определена равной $45 \pm 5\%$. Соответствующая эффективность регистрации акта распада кобальта ^{60}Co (два γ -кванта) в режиме двойных совпадений $\epsilon_{\gamma} = 14 \pm 2\%$.

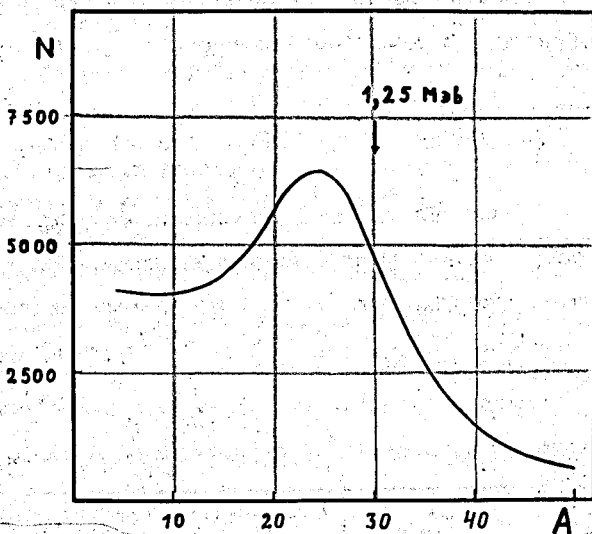


Рис. 3. Амплитудный спектр импульсов от одной секции детектора, радиоактивный источник - ^{60}Co , фон вычтен.

Эффективность регистрации (n , γ) -реакции на образцах, помещенных в детектор, должна быть выше, т.к. в каскаде испускается несколько гамма-квантов. Количественные оценки ϵ_{γ} для детектора с указанными выше размерами представлены на рис. 4. Расчеты выполнены в зависимости от толщины слоя сцинтиллятора для трехквантового (кривая 3γ) и пятиквантового (кривая 5γ) каскадов, энергия связи в обоих случаях составляла 7,5 Мэв, а порог регистрации - 0,5 Мэв.

Эффективности ϵ_γ в различных режимах были измерены на пучке нейтронов реактора ИБР-30 с инжектором. Детектор, в канале которого находился исследуемый образец, был расположен на расстоянии 500 м от реактора. Захват нейтронов в резонансах регистрировался по методу времени пролета.

Площадь резонанса на экспериментальном спектре ΣN_γ , параметры резонанса Γ , $g\Gamma_n$, Γ_γ , известная функция параметров и толщины образца $A(n, g\Gamma_n, \Gamma)$, эффективность ϵ_γ и полное число нейтронов на единичный интервал энергии $\Pi(E)$, прошедших через образец, связаны соотношением

$$\Sigma N_\gamma = \Pi \epsilon_\gamma \left(1 + \frac{\epsilon_\gamma n}{\epsilon_\gamma} \frac{\Gamma_n}{\Gamma_\gamma} \right) \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} A.$$

Второе слагаемое в скобках является поправкой на регистрацию рассеянных нейтронов и обычно много меньше единицы. При известном потоке это соотношение определяет ϵ_γ . Различные методы калибровки, т.е. измерения величин $(\Pi \epsilon_\gamma)$ и ϵ_γ , подробно рассмотрены в^{4/}

Результаты измерений величины ϵ_γ на ряде элементов в режиме двойных совпадений с порогом 0,6 Мэв приведены в таблице

Изотоп	⁵⁵ Mn	⁵⁶ Fe	⁷⁹ Br	¹⁰⁷ Ag	¹⁰⁹ Ag
ϵ_γ %	10	7	23	29	26
E _{св} Мэв	7,2	7,6	7,8	7,1	6,6
$\alpha, \frac{\gamma - \text{квантов}}{100 \text{ захв.}}$	30	40	2	1	-

Примечание: в режиме двойных совпадений с порогом 0,25 Мэв эффективность ϵ_γ для указанных элементов примерно в два раза больше, чем ϵ_γ при 0,6 Мэв.

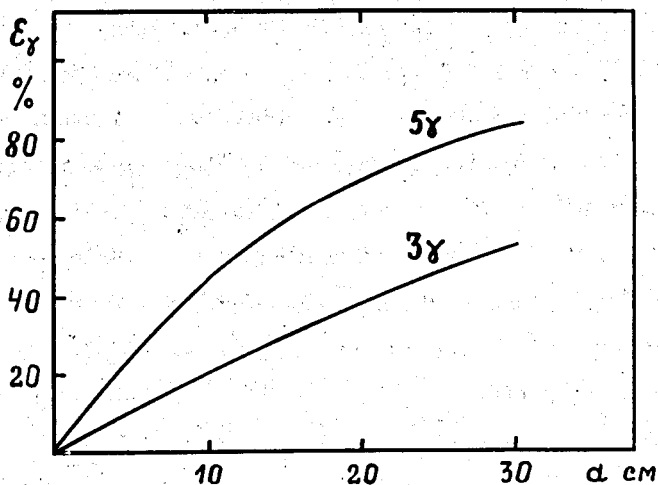


Рис. 4. Расчетная эффективность регистрации радиационного захвата ϵ_γ в зависимости от толщины сцинтиллятора d для двух значений множественности в каскаде гамма-квантов.

В таблице приведены также значения $E_{св}$ - энергии связи нейтрона в компаунд-ядре и α - среднего числа жестких переходов (на полосу 0,5 Мэв над основным состоянием) на 100 захваченных нейтронов согласно работе /5/. Значение α велико для элементов с малой множественностью каскада. Измеренные значения ϵ_γ качественно согласуются с упомянутыми выше оценками.

Существенным вопросом, возникающим при измерении радиационного захвата, является постоянство эффективности детектора для разных резонансов данного изотопа. Описанный детектор позволяет проводить контроль постоянства ϵ_γ путем сравнения измерений в режимах одиночного счета с высоким порогом (≈ 3 Мэв) и совпадений с низким порогом регистрации ($\leq 0,5$ Мэв). Изменение спектра, например, смягчение, приводит к увеличению множественности квантов в каскаде. Это увеличивает вероятность регистрации совпадений, но уменьшает счет в режиме

одиночного счета с высоким порогом. Поэтому отношение R площадей резонансов, полученных в измерениях с разными режимами, более чувствительно к изменению спектра, чем эффективность в одном режиме совпадений. Таким образом, отклонение величин R для различных резонансов от их среднего значения является верхним пределом изменения эффективности от резонанса к резонансу.

Были измерены и другие характеристики детектора. Величина эффективности регистрации нейтронов, рассеянных образцом в детектор, $\epsilon_{\gamma n}$, определена равной 0,1% для режима двойных совпадений с порогом 0,6 Мэв. Это значение получено из измерений рассеяния на графите и в сильном рассеивающем резонансе марганца с энергией 2375 эв. Таким образом, величина отношения $\epsilon_{\gamma} / \epsilon_{\gamma n}$, определяющего поправку на регистрацию рассеянных нейтронов в экспериментах по радиационному захвату, равна 300 (для элементов типа Ag).

В экспериментах, где требуется низкий собственный фон детектора и лучшее отношение $\epsilon_{\gamma} / \epsilon_{\gamma n}$, целесообразно применение режима тройных совпадений с низким порогом. Для серебра в режиме тройных совпадений с порогом 0,25 Мэв эффективность ϵ_{γ} получена равной 10%, при этом $\epsilon_{\gamma} / \epsilon_{\gamma n}$ равно 1000.

Важной характеристикой детектора является его собственный фон. В режиме одиночного счета с порогом 0,6 Мэв он равен 3000 имп/сек, в режиме двойных совпадений с порогом 0,6 Мэв - 100 имп/сек и в режиме тройных совпадений с порогом 0,25 Мэв - 5 имп/сек.

Режим нейтронного детектора

При установке внутри детектора специального конвертора его можно использовать для регистрации нейтронов. В описываемом детекторе кон-

вертор содержал водород в смеси с резонансными поглотителями. Использование замедления повышает эффективность ϵ_n , но удлиняет время жизни τ .

Расчеты величин ϵ_n и τ проводились для слоистого конвертора (плексиглас + кадмий, индий) в работе /6/. Расчетное время жизни τ составляет ~ 0,4 мксек. Преимуществом использования резонансных поглотителей является возможность регистрации совпадений с соответствующим снижением чувствительности детектора к фону одиночных гамма-квантов.

Были использованы два варианта конвертора. В гомогенном конверторе хорошо перемешанные порошки европия и тербия засыпаны в алюминиевую кассету и залиты дистиллированной водой. Кассета диаметром 240 мм содержит 1230 г Eu_2O_3 ($9,6 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер } Eu}{\text{см.кв}}$), 1300 г Tb_2O_3 ($9,4 \cdot 10^{21} \frac{\text{ядер } Tb}{\text{см.кв}}$) и один литр воды. Соотношение ядер поглотителей и водорода 1:7. Другой конвертор, типа сэндвича, был составлен из чередующихся слоев плексигласа (толщиной 1 мм), кадмия, тантала и рения. Суммарное количество поглощающих ядер составляло $5 \cdot 10^{22}$ 1/см² при соотношении ядер поглотителей и водорода 1:4.

Величина эффективности ϵ_n была измерена по методу времени пролета из сравнения отсчетов детектора и борного счетчика в пучке нейтронов реактора ИБР. Применялись оба конвертора, при этом детектор работал в режиме регистрации двойных совпадений с порогом 0,25 Мэв. Полученные результаты приведены на рис. 5. Гомогенный конвертор обладает более высокой эффективностью ϵ_n , которая уже при энергии 100 эв в два раза превышает ϵ_n слоистого конвертора. Максимальная величина ϵ_n достигает 40%. Энергетическая зависимость ϵ_n слоистого конвертора находится в качественном согласии с упомянутыми выше расчетами.

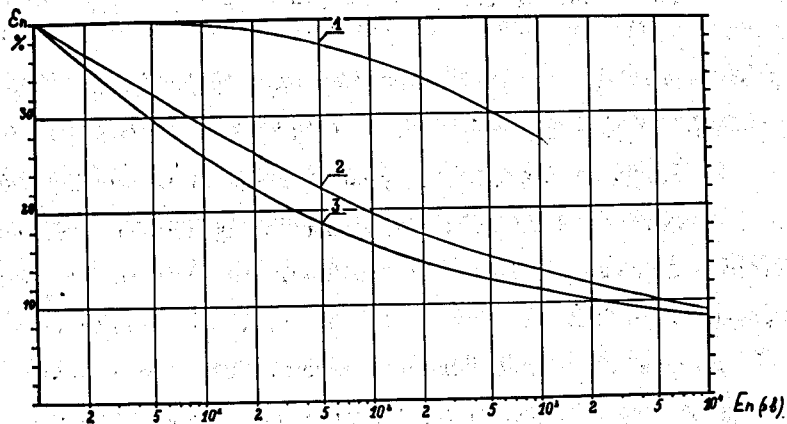


Рис. 5. Эффективность регистрации нейтронов ϵ_n в зависимости от энергии. Кривая 1 - детектор с гомогенным конвертором; кривая 2 - расчетная кривая №2 для слоистого конвертора из работы /6/; кривая 3 - детектор с конвертором типа сэндвича.

Аппаратурный спектр нейтронов по времени пролета, полученный с сэндвичем, сохраняет остатки резонансной структуры, отсутствующей в спектре от гомогенного конвертора.

Однако недостатком конвертора с окисью европия является активации европия нейтронами ($T_{1/2} = 9$ час). При использовании режима одиночного счета это приводило к заметному возрастанию постоянного фона детектора. Применение режима совпадений практически устранило этот эффект.

Чувствительность детектора к гамма-фону реактора (γ -кванты со средней энергией ~ 1 Мэв) невысока, но зависит от интенсивности фона, поскольку одиночные γ -кванты, рассеянные в детектор, регистрируются в основном за счет случайных совпадений. Чувствительность к γ -лучам была измерена на коллимированном пучке гамма-квантов от

источника ^{60}Co , помещенного в свинцовый домик снаружи детектора. Она оказалась равной 0,1% для потока $1,4 \cdot 10^7$ квантов в секунду на весь образец. Кроме того, эта чувствительность детектора была проверена на пучке нейтронов ИБР, обогащенном гамма-фоном. С этой целью в пучок на расстоянии 22 м от детектора вместе с образцом эрбия была поставлена пластинка парафина, перекрывавшая пучок нейтронов и ослаблявшая его в восемь раз, но не влиявшая на гамма-фон реактора. Детектор работал в режиме двойных совпадений с порогом 0,6 Мэв и гомогенным конвертором. Спектр нейтронов, измеренный в таких условиях на временном анализаторе, показан на рис. 6. В резонансе эрбия 5,98 эв (кривая 1) счет в минимуме соответствует фону, который состоит из трех компонент — постоянного фона детектора, фона запаздывающих нейтронов, непрерывно испускаемых реактором, и гамма-фона. Вклад каждой компоненты был определен в измерениях с железным диском вместо конвертора (кривая 2) и без него (кривая 3). В измерениях с железным диском чувствительность детектора к γ -квантам пучка сохранялась, в то же время ϵ_n резко снижалась. Поэтому разность кривых 2 и 3 дает верхнюю оценку вклада гамма-фона. Видно, что даже в условиях сильно ослабленного пучка гамма-фон не играет существенной роли.

Заключение

Анализ характеристик детектора показывает, что он является универсальным для работ в области нейтронной спектроскопии. В режиме гамма-детектора его эффективность может достигать 50%. В режиме нейтронного детектора эффективность плавно меняется от 20 до 40% для энергии нейтронов от 10 кэв и ниже при чувствительности к гамма-фону менее 0,1%. Это обеспечено благодаря применению резонансных поглотителей и регистрации совпадений каскадных гамма-квантов.

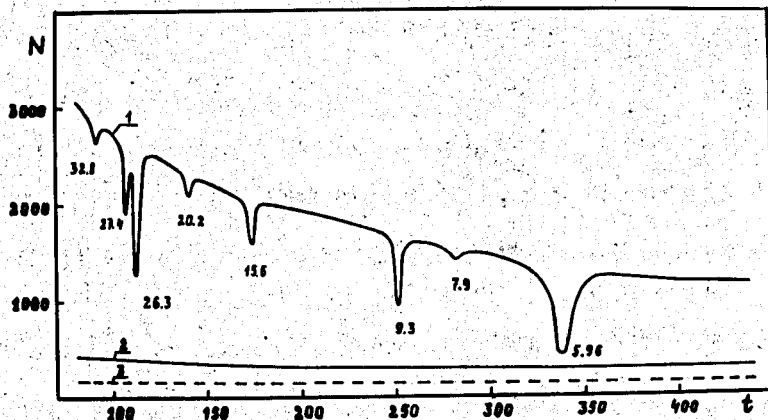


Рис. 6. Аппаратурный спектр нейтронов, полученный с помощью нейтронного детектора. По оси абсцисс - каналы временного анализатора. Цифры под резонансами - их энергии в электронвольтах. Дополнительные объяснения см. в тексте.

Преимуществом детектора является его геометрия, при которой регистрирующая часть (фотоумножители и сцинтилляторы) находится вне пучка нейтронов. Это снимает перегрузки аппаратуры в момент нейтронной вспышки.

Детектор находится в эксплуатации с весны 1970 года. Он использован при исследовании резонансов урана-238 и изотопов иридия ¹⁷¹.

Авторам приятно поблагодарить И.М. Столетову, Л.А. Филимонычеву за изготовление сцинтиллятора, Н.Т. Хотько за помощь при изготовлении и испытании детектора.

Литература

1. И. Визи, Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин и др. **Nuclear Electronics I**, IAEA, Vienna 1962, p. 27.
Л.Б. Пикельнер, М.И. Пшитула, Ким Хи Сан и др. ПТЭ, 2, 48 (1963).
2. R.L. Van Hemert, C.D. Bowman, R.J. Baglan, B.L. Berman. **Nucl. Instr. Meth.** 89, 263 (1970).
3. А.А. Омеляненко, К.Г. Родионов, Хен Еен Тынь, Препринт ОИЯИ, 2280, Дубна, 1965; М. Дражев. Препринт ОИЯИ, 13-5174, Дубна, 1970.
4. Л.Б. Пикельнер, Э.И. Шарапов. Препринт ОИЯИ Р-1547, Дубна, 1964.
5. Л.В. Грошев, А.М. Демидов, В.Н. Луценко, В.И. Пелехов. Атлас спектров γ -лучей радиационного захвата тепловых нейтронов. М., Атомиздат, 1958.
6. В.И. Кочкин, А.Б. Попов, И.И. Шелонцев. Препринт ОИЯИ, 11-4602, Дубна, 1969.
7. Х. Малэцки, Л.Б. Пикельнер, И.М. Саламатин, Э.И. Шарапов, АЭ, 32, 49 (1972); Л. Ласонь, Х. Малэцки, Л.Б. Пикельнер и др. Препринт ОИЯИ, РЗ-6545, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 июля 1972 года.