



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015117456/28, 07.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.05.2015

(45) Опубликовано: 27.09.2015 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

142281, Московская обл., г. Протвино, пл. Науки,
1, ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ИНСТИТУТ
ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

(72) Автор(ы):

Бритвич Геннадий Иванович (RU),
Костин Михаил Юрьевич (RU),
Пелешко Владимир Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ОТ
ИМЕНИ КОТОРОЙ ВЫСТУПАЕТ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ "РОСАТОМ"
(RU),
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ (RU)

(54) БЫСТРЫЙ ДЕТЕКТОР ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Формула полезной модели

Быстрый детектор тепловых нейтронов, содержащий сцинтилляционный детектор тепловых нейтронов, помещенный в центр шарового полиэтиленового замедлителя, и соединенный оптическим контактом через прозрачный световод из оргстекла с ФЭУ, отличающийся тем, что сцинтилляционный детектор содержит стеклянный сцинтиллятор с добавкой изотопа ${}^6\text{Li}$ с малым временем высвечивания и фронтальную электронику, которая состоит из усилителя сигналов, высоковольтного источника питания ФЭУ, формирователя выходных импульсов и выходных каскадов, работающую в счетной моде с формировкой токового сигнала одновибратором с временной константой <100 нс и обеспечивающую питание детектора нейтронов высоким напряжением, а также усиление и формирование сигнала с ФЭУ.

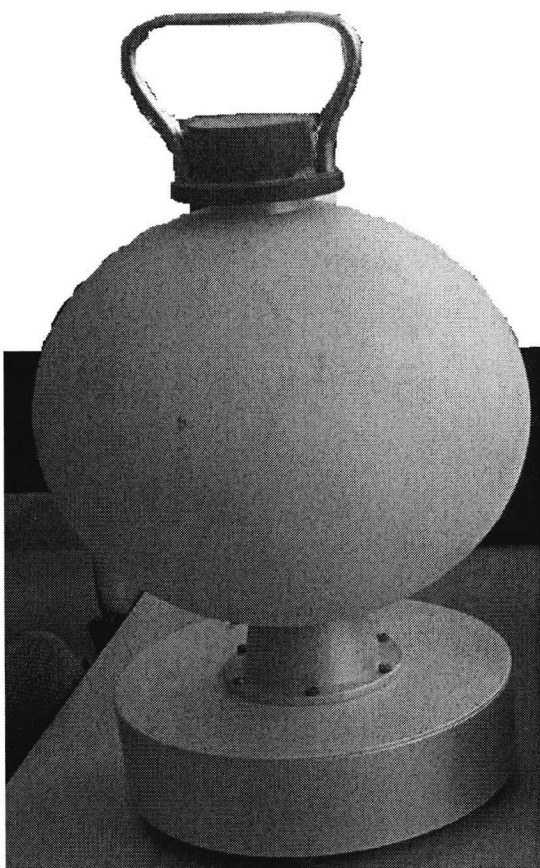
Настоящая полезная модель относится к области регистрации нейтронного излучения с помощью сцинтилляционных детекторов и может быть использована для регистрации нейтронного излучения, в т.ч. импульсного, на ядерно-физических установках (ЯФУ), в физических экспериментах и системах радиационного контроля на ускорителях.

Описана конструкция детектора тепловых нейтронов, используемая как дозиметр автоматизированной системы радиационного контроля импульсных источников нейтронов.

Техническим результатом полезной модели является повышение эффективности регистрации импульсного нейтронного излучения за биологической защитой ЯФУ, что позволяет без просчетов регистрировать импульсное нейтронное излучение в пределах

контрольных уровней (~1.2 мбэр/час) для рабочих мест на экспериментальных установках ИФВЭ.

Технический результат достигается тем, что сцинтилляционный детектор содержит стеклянный сцинтиллятор с добавкой ^6Li , чувствительного к тепловым нейтронам и соединенного оптическим контактом через прозрачный световод из оргстекла с ФЭУ. Сам сцинтилляционный детектор помещается в центр шарового полиэтиленового замедлителя диаметром 254 мм. Выходной сигнал с фотоумножителя поступает на фронтальную электронику нейтронного детектора, которая состоит из усилителя сигналов, высоковольтного источника питания ФЭУ, формирователя выходных импульсов и выходных каскадов. Электроника работает в счетной моде с формировкой токового сигнала одновибратором с временной константой ~100 нс и обеспечивает питание нейтронного детектора высоким напряжением, усиление и формирование сигнала с ФЭУ.



RU 155172 U1

RU 155172 U1

Настоящая полезная модель относится к области регистрации нейтронного излучения с помощью сцинтилляционных детекторов и может быть использована для регистрации нейтронного излучения, в т.ч. импульсного, на ядерно-физических установках (ЯФУ), в физических экспериментах и системах радиационного контроля на ускорителях.

5 Для использования детекторов нейтронов в системах радиационного контроля ЯФУ необходимо соответствие дозовой зависимости чувствительности этих детекторов с энергетической зависимостью удельного амбиентного эквивалента дозы $h^*(10)$ [ICRP Publication 74. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. Ann. ICRP 26. Oxford, Pergamon Press, 1996; Пелешко В.Н., Савицкая Е.Н., Санников А.В. Оптимизация конструкции дозиметра нейтронов с расширенным диапазоном энергий для высокоэнергетических ускорителей. Препринт ИФВЭ 2014-4. - Протвино, 2014]. Этому соответствуют детекторы тепловых нейтронов, помещенные в центр шаровых полиэтиленовых замедлителей нейтронов диаметром ~254 мм.

15 В качестве детекторов тепловых нейтронов в центре шаровых полиэтиленовых замедлителей (как дозиметров нейтронов) обычно используются газоразрядные счетчики с наполнением ^3He или BF_3 . Разрешающее время таких счетчиков находится в микросекундном диапазоне, поэтому они могут занижать дозу также из-за просчетов в условиях импульсных полей излучения и больших мощностей дозы за защитой ускорителей [Пелешко В.Н., Савицкая Е.Н., Санников А.В. Оптимизация конструкции дозиметра нейтронов с расширенным диапазоном энергий для высокоэнергетических ускорителей. Препринт ИФВЭ 2014-4. - Протвино, 2014].

20 Для измерения плотности потока тепловых нейтронов сцинтилляционным методом необходимы сцинтилляционные материалы, основными свойствами которых являются: повышенное сечение взаимодействия с тепловыми нейтронами; оптимальная длина волны излучения сцинтилляционной вспышки, согласующаяся со спектральной чувствительностью фотоприемника; высокий световыход сцинтилляций; небольшое время высвечивания.

25 В радиационных исследованиях и в дозиметрическом контроле для регистрации тепловых нейтронов широкое распространение получили различные сцинтилляционные среды, содержащие изотопы ^6Li и ^{10}B . В частности на практике длительное время успешно используются ^6Li л-стекло (время высвечивания ~75 нс), LiF/ZnS(Ag) - смесь (время высвечивания ~200 нс), органический ^{10}B -содержащий сцинтиллятор (время высвечивания ~3 нс). Эти материалы коммерчески доступны [<http://www.detectors.saint-gobain.com/> или G.I. Britvich et al., A neutron detector on the basis of a boron-containing plastic scintillator. Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. A 550 (2005) 343-358.]; находясь в твердом агрегатном состоянии, обладают хорошими механическими свойствами и позволяют организацию простой системы светосбора на фотоумножители.

30 Известна сцинтилляционная композиция из трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов [Патент Российской Федерации №2143711], один из которых, выполненный на основе ^6Li -силикатного стекла, чувствителен к тепловым нейтронам. Однако эффективность регистрации тепловых нейтронов таким сцинтиллятором, определяемая соответствующей композицией, невысокая.

35 Известен сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов, содержащий датчик, включающий сцинтиллятор на основе органического водородсодержащего пластика, чувствительного к быстрым нейтронам и стеклянный сцинтиллятор на основе ^6Li -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, соединенного с

фотоэлектронным умножителем и блоком электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтилляторы выполнены в виде пластин с параллельными соприкасающимися гранями, оснащенные свинцовым коллиматором и размещенные в дополнительном полиэтиленовом накопителе тепловых нейтронов. [Патент Российской Федерации №2259573, 2005 г.]

Но рассмотренные детекторы нейтронов не подходят для размещения в центре полиэтиленовых замедлителей с условием соблюдения требуемой функции дозовой чувствительности.

Техническим результатом полезной модели является повышение эффективности регистрации импульсного нейтронного излучения за счет снижения мертвого времени детектора (менее 100 нс) за биологической защитой ЯФУ и уменьшение числа просчетов нейтронов в импульсном поле излучения.

Для разработки полезной модели быстрого детектора нейтронов было выбрано в качестве детектора тепловых нейтронов литиевое (${}^6\text{Li}$) стекло на основе анализа литературных данных и проведенных измерений как оптимальный вариант благодаря небольшому времени высвечивания (75 нс), высокой эффективности регистрации тепловых нейтронов и хорошей дискриминации γ -квантов. Использование в полезной модели полистирольного сцинтиллятора с добавкой ${}^{10}\text{B}$ приводит к более худшей дискриминации γ -квантов.

Технический результат достигается тем, что сцинтилляционный детектор содержит стеклянный сцинтиллятор с добавкой изотопа ${}^6\text{Li}$, чувствительного к тепловым нейтронам и соединенного оптическим контактом через прозрачный световод из оргстекла с ФЭУ. Сам сцинтилляционный детектор помещается в центр шарового полиэтиленового замедлителя диаметром 254 мм. Выходной сигнал с фотоумножителя поступает на фронтальную электронику нейтронного детектора, которая состоит из усилителя сигналов, высоковольтного источника питания ФЭУ, формирователя выходных импульсов и выходных каскадов. Электроника работает в счетной моде с формировкой токового сигнала одновибратором с временной константой -100 нс и обеспечивает питание нейтронного детектора высоким напряжением, усиление и формирование сигнала с ФЭУ.

Внешний вид полезной модели приведен на фиг. 1. На фиг. 2 показана разработанная фронтальная электроника. На фиг. 3 и фиг. 4 показаны рабочие характеристики нейтронного детектора, полученные с помощью разработанной фронтальной электроники при использовании радионуклидных источников.

Из фиг. 3 видно, что сигнал с детектора по времени занимает ≤ 200 нс, что позволяет без просчетов регистрировать импульсное нейтронное излучение в пределах контрольных уровней (1.2 мбэр/час), установленных на рабочих местах на экспериментальных установках ИФВЭ [Положение об организации работ по обеспечению радиационной безопасности в ГНЦ ИФВЭ (Регламент РК и РБ - 2009) от 25 мая 2010 г.]. При импульсном характере работы ускорителя (400 циклов/час) доза 1.2 мбэр/час соответствует $3 \cdot 10^{-6}$ бэр/цикл. Из анализа спектров нейтронов за биологической защитой ускорителя ИФВЭ [Е.А. Белогорлов, Г.И. Бритвич, Г.И. Крупный и др. Методические вопросы применения многошарового спектрометра Боннера в радиационных исследованиях на ускорителе ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 85-3. - Серпухов, 1985], выбираем самую консервативную оценку коэффициента конверсии поток-доза $k \sim 1.4 \cdot 10^{-8}$ бэр·см²/нейтрон. (соответствует средней энергии $E_{\text{ср}} \sim 5$ МэВ

спектра нейтронов), что дает оценку потока нейтронов $F=214$ нейтрон/см², соответствующего контрольному уровню. Специально для нашего детектора нейтронов сделана оценка его чувствительности η (импульс/нейтрон·см⁻²) в зависимости от энергии нейтрона, откуда для $E_{cp} \sim 5$ МэВ величина $\eta=1.12$ импульс/нейтрон·см⁻², что соответствует $N=214 \times 1.12=240$ импульс/цикл. [В.Н. Пелешко, Е.Н. Савицкая, А.В. Санников. Оптимизация конструкции дозиметра нейтронов с расширенным диапазоном энергий для высокоэнергетических ускорителей. Препринт ИФВЭ 2014-4. - Протвино, 2014]

На фиг. 5. показана зависимость плотности потока тепловых нейтронов (с энергией ниже границы поглощения кадмием 0.2 эВ) в центре шарового полиэтиленового замедлителя диаметром 254 мм от времени замедления. Время нарастания $\tau_1=2.2$ мекс, время жизни $\tau=157$ мекс. Число импульсов за время 300 мекс под кривой - 350 (~90% полного числа событий), максимальное число импульсов в интервале 1 мекс составляет 2.5 через 10 мекс после импульса нейтронного источника.

На начальном участке флюенс тепловых нейтронов достигает постоянного значения ~ через 10 мекс с $\tau_1=2.2$ мекс [К. Бекурц, К. Виртц. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1968.]; τ - параметр уменьшения числа тепловых нейтронов в центре шара за счет утечки и поглощения. Измерены значения τ для полиэтиленовых шаров радиусами $R=0.75$ см, 3.0 см, 6.0 см и 8.5 см на импульсном источнике нейтронов с энергией 14 МэВ. Из анализа этих данных $\tau=3.97+16.8 \cdot R-0.375 \cdot R^2$ где R [см], откуда для $R=12.7$ см значение $\tau=157$ мекс. [Т. Kosako, T. Nakamura and S. Iwai. Estimation of response functions of moderating type neutron detectors by the time-of-flight method combined with a lead pile. Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. A235 (1985) 103-122] Нормируя площадь под кривой на величину 400 импульсов, получаем максимальную оценку скорости счет ~2.5 импульса в интервале 1 мекс, которые надежно регистрируются детектором, см. фиг. 4.

На фиг. 1 представлена фотография детектора с полиэтиленовым шаровым замедлителем, в конусной части которого размещен ФЭУ со световодом, сам сцинтиллятор на основе литиевого стекла размещается в центре шарового замедлителя, а в нижнем цилиндрическом корпусе размещена фронтальная электроника.

На фиг. 6 показано время высвечивания сцинтиллятора при возбуждении альфа частицами источника плутоний-238 (α) и бета частицами источника стронций 90-иттрий 90-(β). Обработка временных распределений для альфа и бета излучений дают ~ одинаковые значения:

- быстрая компонента высвечивания $\tau=21$ нс (40%);
- медленная компонента высвечивания $\tau=71$ нс (60%).

Амплитудные спектры сцинтиллятора на основе литиевого стекла в оптическом контакте с фотоумножителем (фиг. 6).

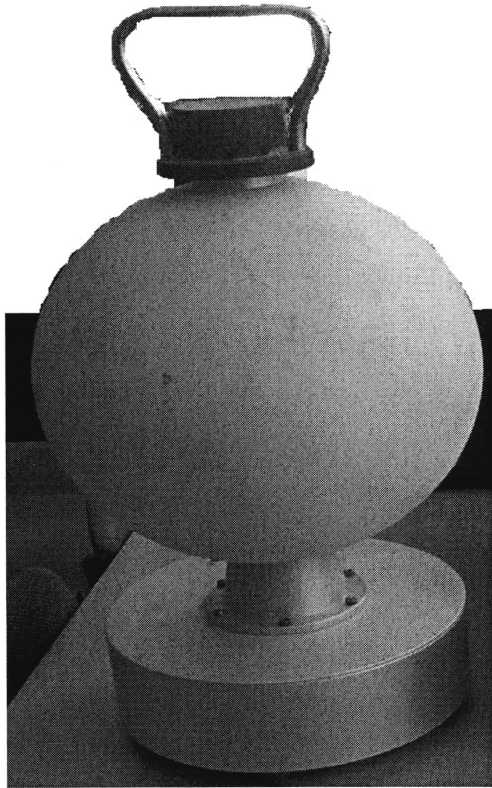
На фиг. 7 показаны спектры энерговыделений в сцинтилляторе (в электронном эквиваленте): 1 - на поверхности шара из полиэтилена $\varnothing 170$ мм с источником нейтронов Pu-Be в центре шара; 2 - экран из кадмия, помещенный между шаром и сцинтиллятором.

На фиг. 8 показаны спектры энерговыделений в сцинтилляторе (в электронном эквиваленте): 1 - на поверхности шара из полиэтилена $\varnothing 170$ мм с источником нейтронов Pu-Be в центре шара; 2 - гамма источник ^{60}Co , помещенный перед сцинтиллятором; 3 - бета источник $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, помещенный перед сцинтиллятором.

PP

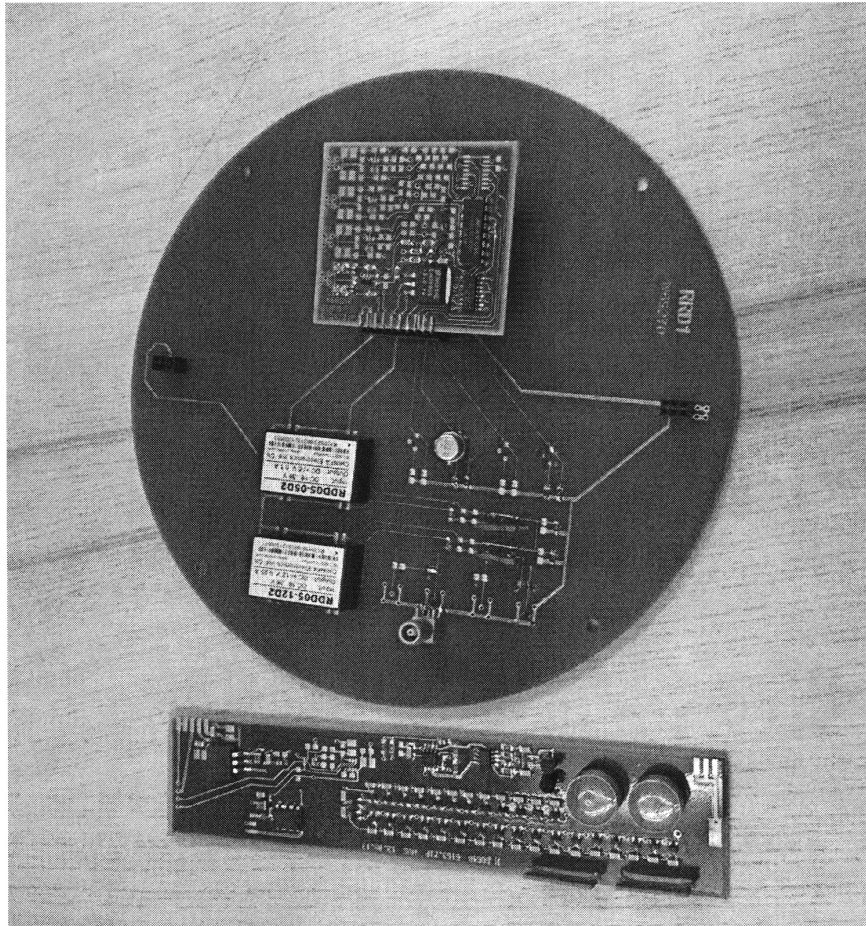


Быстрый детектор тепловых нейтронов

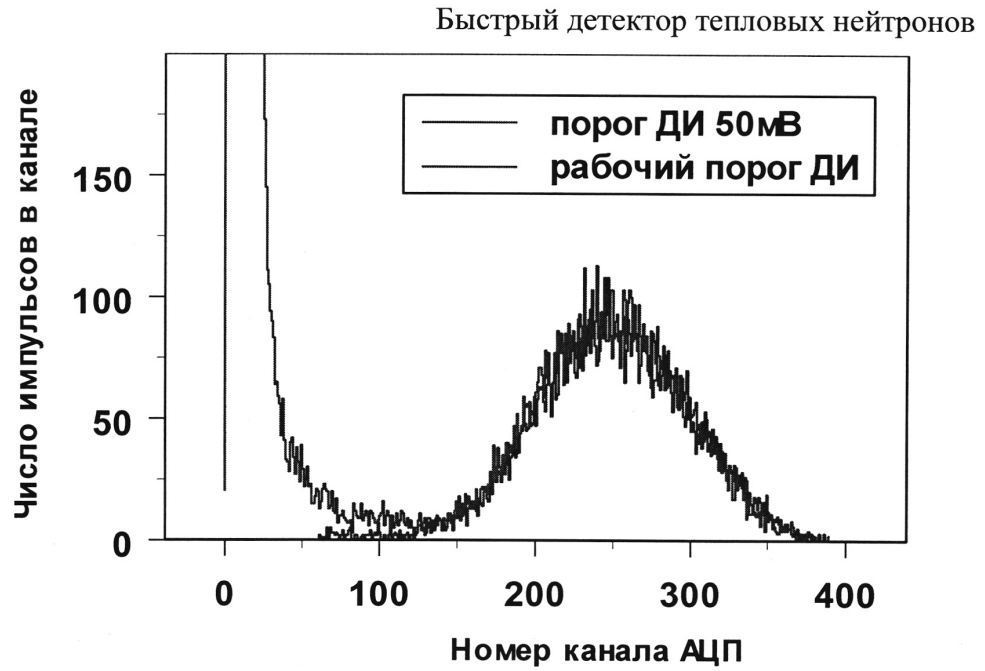


Фиг.1. Внешний вид детектора тепловых нейтронов.

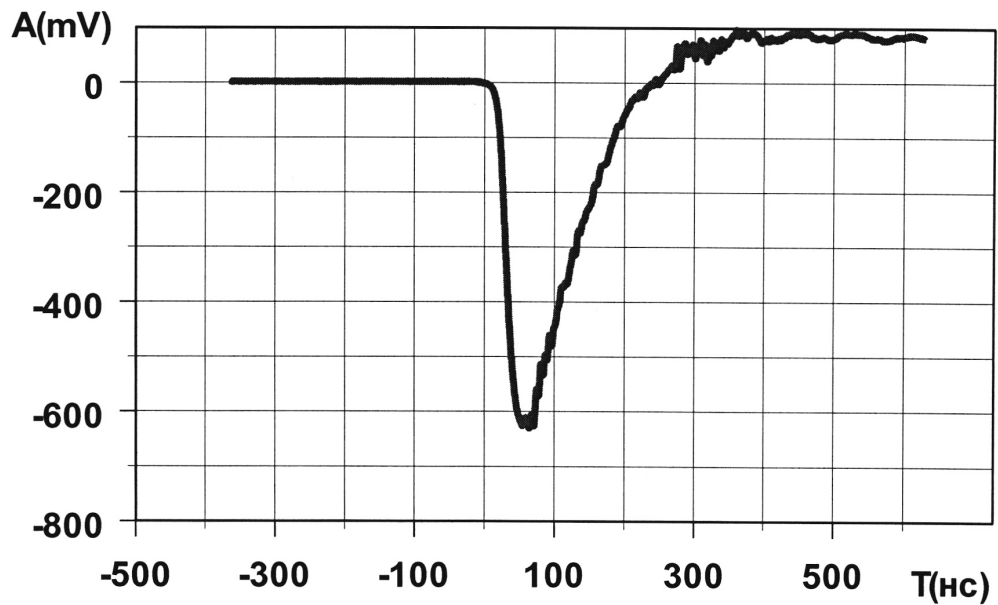
Быстрый детектор тепловых нейтронов



Фиг.2. Фото фронтальной электроники нейтронного детектора

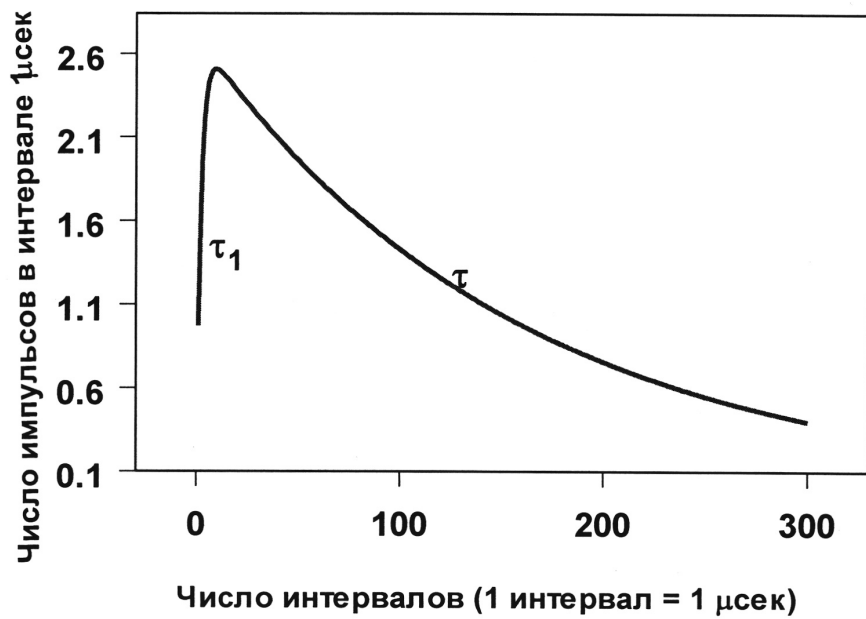


Фиг.3. Амплитудный спектр с анода рабочего детектора нейтронов:
 - в режиме самозапуска с порогом дискриминатора ДИ ~ 50 мВ;
 - в рабочем режиме работы полезной модели .

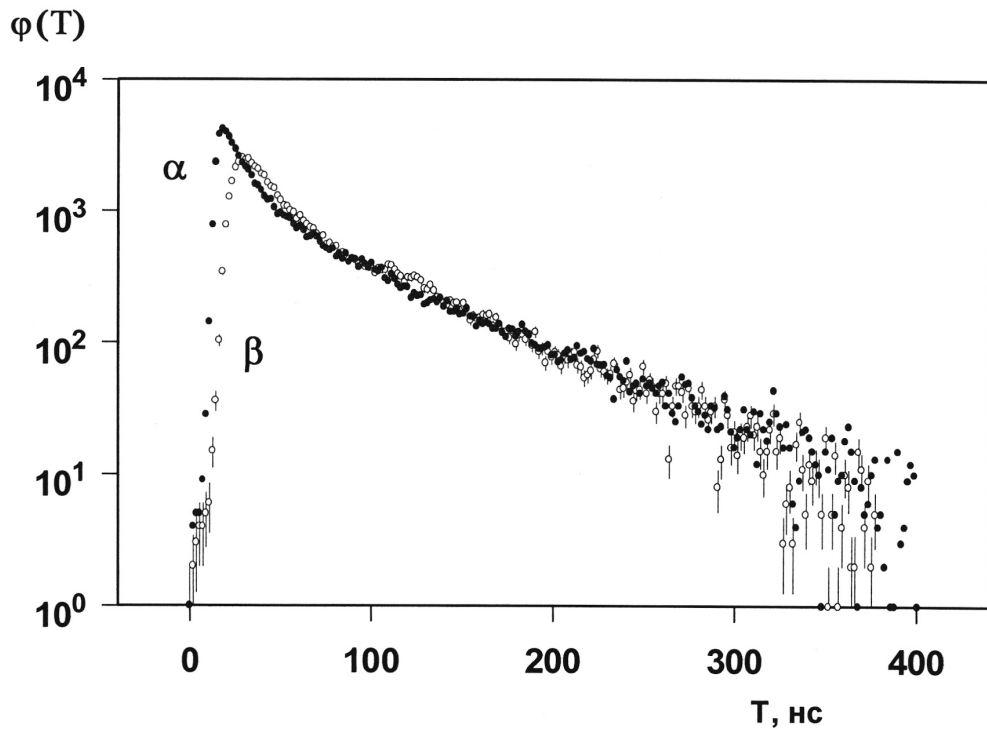


Фиг.4. Осциллограмма сигнала с анода ФЭУ.

Быстрый детектор тепловых нейтронов

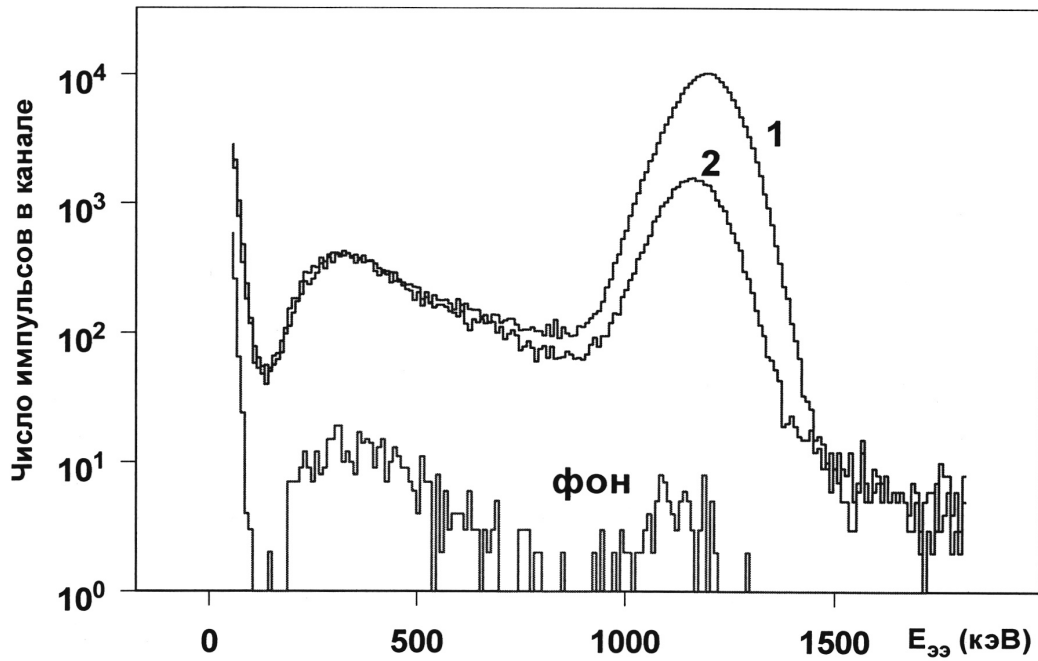


Фиг.5. Зависимость плотности потока тепловых нейтронов (с энергией ниже границы поглощения кадмием 0.2 эВ) в центре шарового полиэтиленового замедлителя диаметром 254 мм от времени замедления.

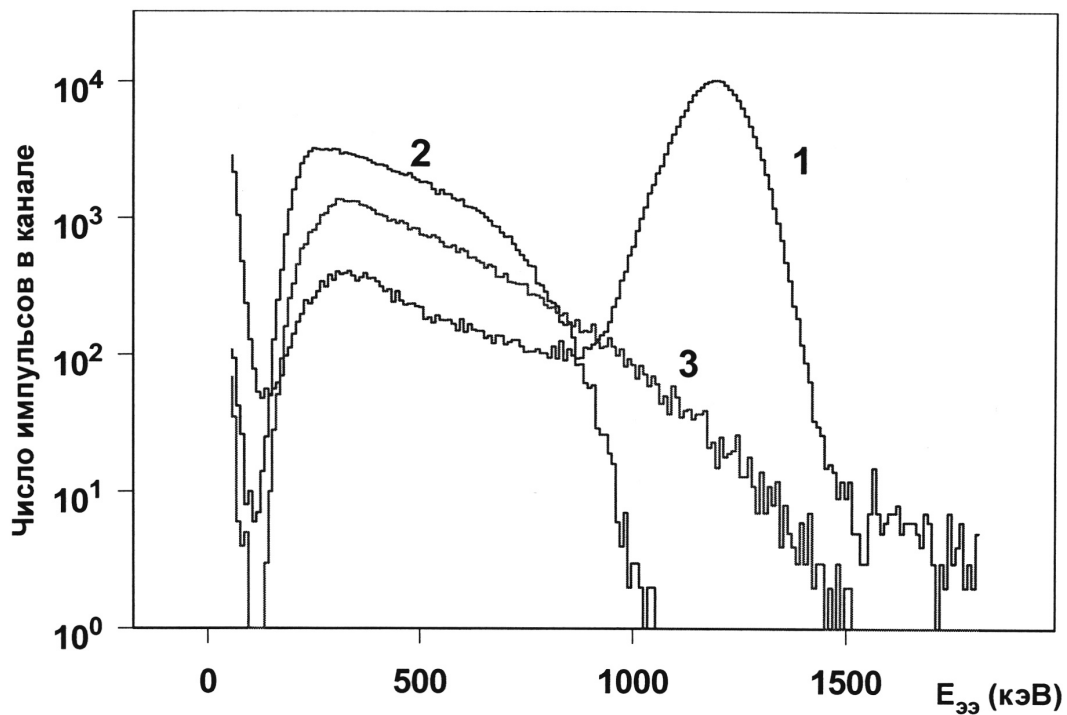


Фиг.6. Время высвечивания сцинтиллятора на основе литиевого стекла ${}^6\text{Li}$

Быстрый детектор тепловых нейтронов



Фиг.7. Спектры энерговывделений в сцинтиляторе (в электронном эквиваленте): 1- на поверхности шара из полиэтилена $\varnothing 170$ мм с источником нейтронов Pu-Be в центре шара; 2- экран из кадмия, помещенный между шаром и сцинтилятором.



Фиг.8. Спектры энерговывделений в сцинтиляторе