



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Джелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Семинар «Испытания композитных сцинтилляторов на основе литиевого стекла»

Е. С. Кузьмин, И. Ю. Зимин, Н. А. Кучинский
Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова

Г. Д. Бокучава, А. А. Круглов
Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка



- Разработаны и изготовлены образцы композитных сцинтилляторов, состоящих из фрагментов литиевого стекла NE 912, размещенных в нейтральной матрице. Образцы имели различные компаунды и концентрации стекла.
- Проведены испытания образцов в составе сцинтилляционного детектора на пучке тепловых нейтронов и с источником γ -квантов ^{60}Co .
- Определена эффективность регистрации тепловых нейтронов и γ — чувствительность в сравнении с гомогенным стеклянным сцинтиллятором.
- Полученные результаты подтверждают возможность снижения на два порядка чувствительности детектора к γ — квантам за счет незначительного (50%) снижения эффективности регистрации нейтронов.

Литиевые стекла



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Достоинства:

- Высокая эффективность регистрации нейтронов, вызванная высоким содержанием ${}^6\text{Li}$ (~9%);
- Хорошая прозрачность по сравнению с ${}^6\text{LiF/ZnS(Ag)}$;
- Малое время высвечивания (50-60 нс);

Недостаток:

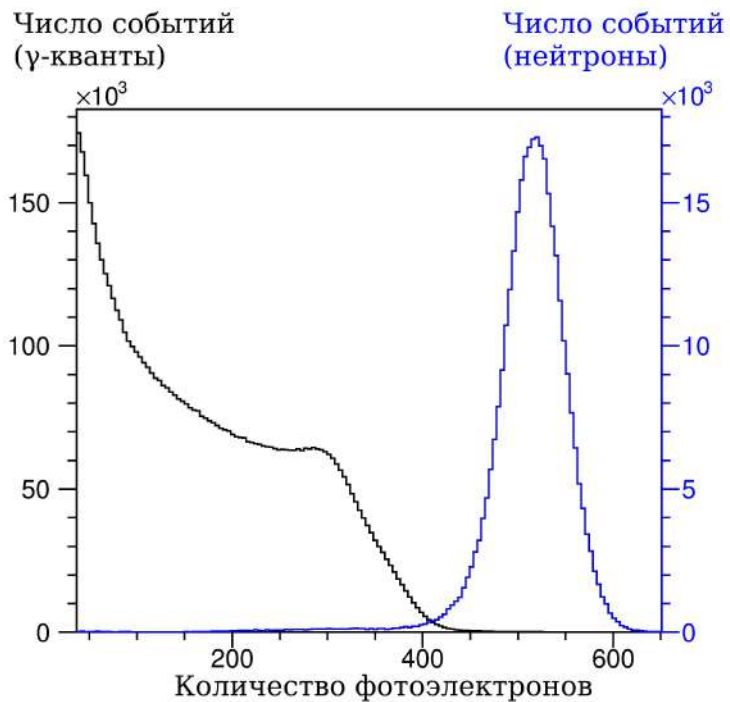
- Достаточно высокий уровень чувствительности к γ -квантам (10-4).

В данной работе использовалось литиевое стекло NE912 [1].

- Плотность $2,4 \text{ г/см}^3$
- Коэффициент преломления 1,55
- Максимум длины излучения 397 нм
- Световой выход для электрона 3257 фотонов/МэВ [2]
- Сечение захвата тепловых нейтронов ${}^6\text{Li}$ 945 барн
- Квенчинг-фактор 0,32 [3]

Химический состав литиевого стекла NE912

	SiO_2	Ce_2O_3	Li_2O
Доля, %	74,7	4,6	20,7



Спектры сигналов от ^{60}Co и тепловых нейтронов в монолитном литиевом стекле

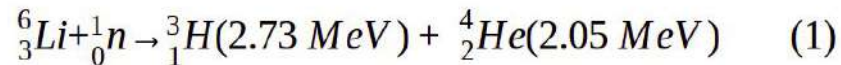
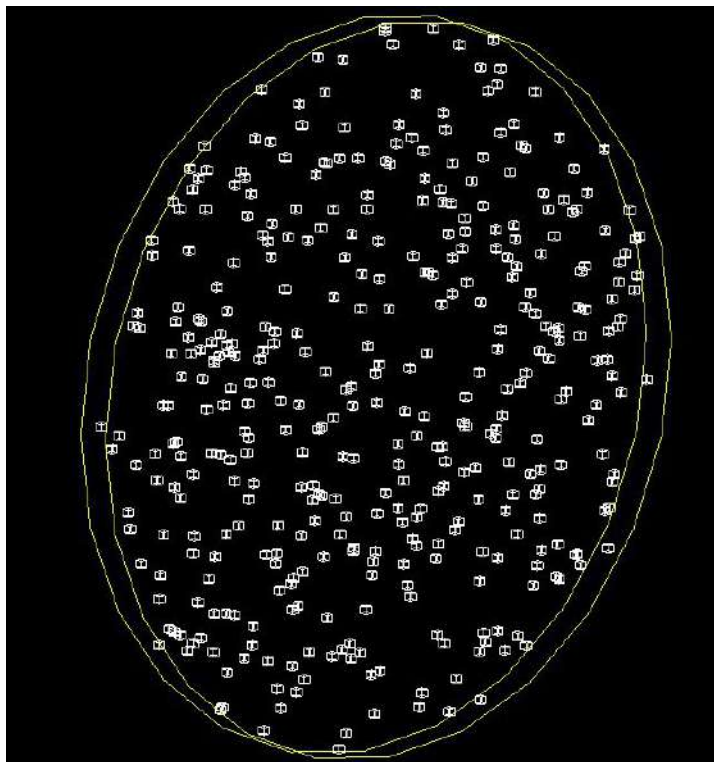
Композитные сцинтилляторы



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований



Структура композитного сцинтиллятора



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



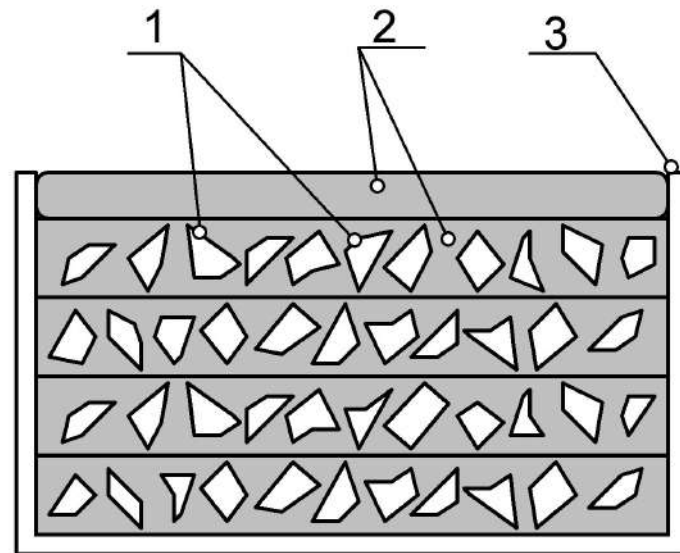
Объединенный
институт ядерных
исследований

Сцинтиллятор имел форму диска Ø40 и толщиной 2 мм.
Виды компаундов представлены в таблице. Из каждого из них
были изготовлены композитные сцинтилляторы с
концентрациями 25, 30 и 35%.

В итоге было получено 9 композитов + монолитное стекло.

Каждый из них был изготовлен в пластиковой кювете путем
послойной заливки.

Вещество	Атомный состав	Плотность (г/см ³)
Силиконовый компаунд	C_2H_6SiO	1,02
Акриловая смола	$C_5H_8O_2$	1,16
Эпоксидная смола	$C_{39}H_{52}O_7$	1,2



1 — фрагменты стеклянного сцинтиллятора;
2 — полимер; 3 — корпус кюветы

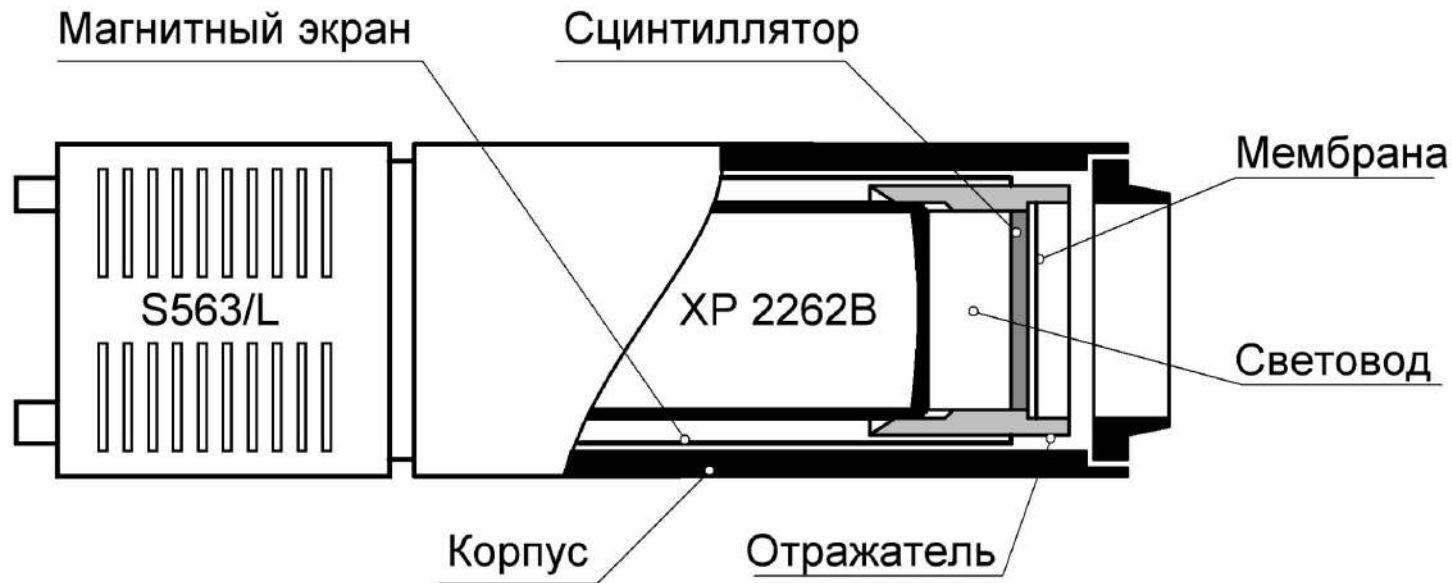
Схема детектора



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований



Материал отражателя — фторопласт, световод изготовлен из оргстекла. Корпус детектора стальной. Материал магнитного экрана — мю-металл. Мембрана — алюминий.

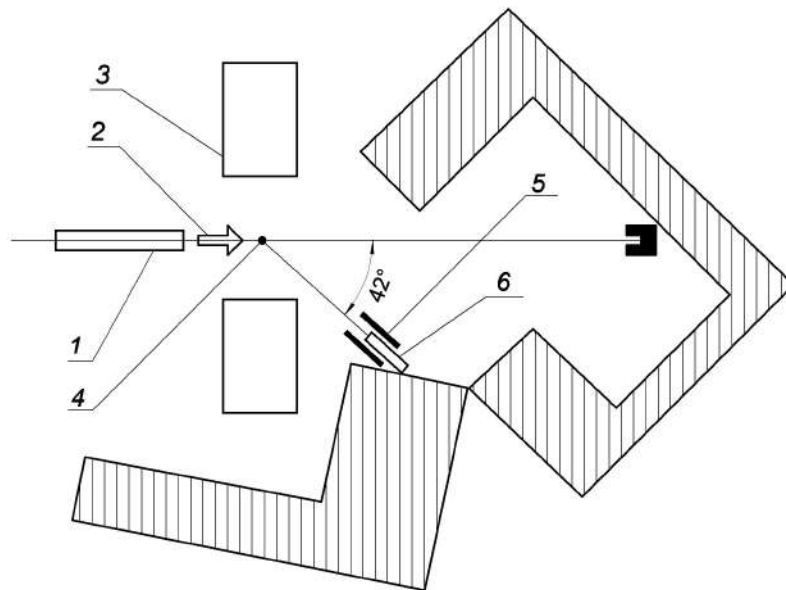
Измерения с нейтронами на пучке дифрактометра FSS (ИБР-2)



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований



1 – нейтроновод; 2 – пучок тепловых нейтронов; 3 – вспомогательное оборудование; 4 – рассеиватель из реакторного графита; 5 – защита детектора; 6 – детектор и монитор.

Измерения с гамма-квантами с источником ^{60}Co



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова

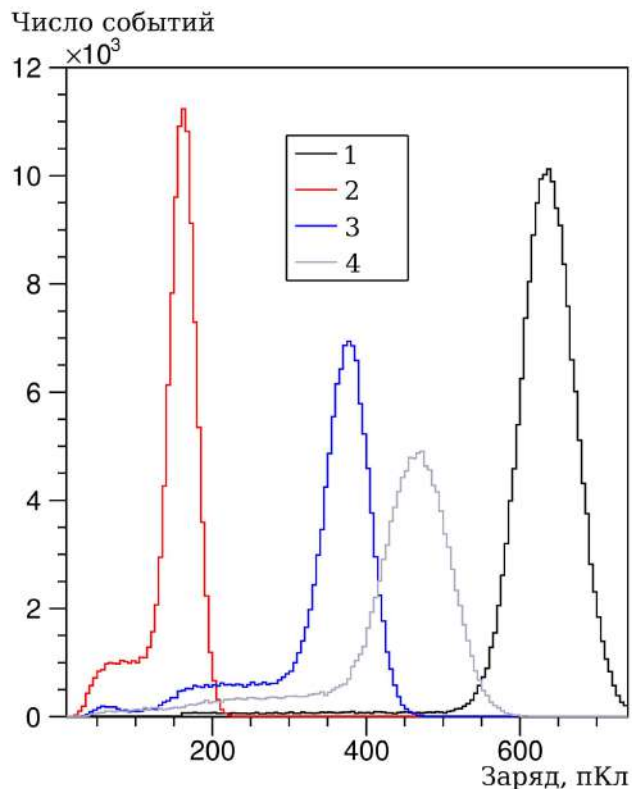


Объединенный
институт ядерных
исследований



На данном этапе измерений радиоактивный источник ^{60}Co (36,1 кБк) располагался на расстоянии 16 мм от сцинтиллятора. Настройки измерительного оборудования были аналогичными, как и при измерениях на нейтронном пучке.

Также были произведены измерения фона (без источника).



Спектры сигналов, зарегистрированных на пучке тепловых нейтронов от образцов гетерогенных сцинтилляторов с концентрацией фрагментов стекла 30%

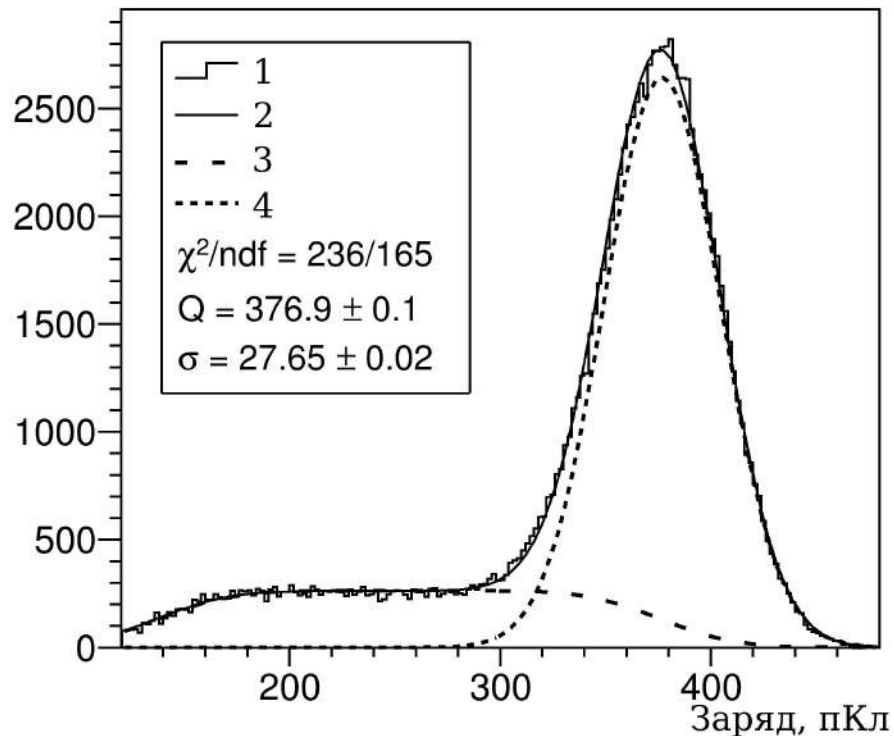
Вид компаунда: 1 - монолитное стекло; 2 - акриловая смола; 3 - эпоксидная смола; 4 - силиконовый компаунд.

Отбор событий осуществлялся:

- По базовой линии. Исключались события, когда регистрируемый импульс накладывался на послесвечение предыдущего.
- По положению пика импульса сигнала. Отбирались события, при которых импульс не был сильно смещен относительно триггера.
- По форме импульса. Проводилось различение импульсов сигналов сцинтиллятора от шумов ФЭУ.



Число событий

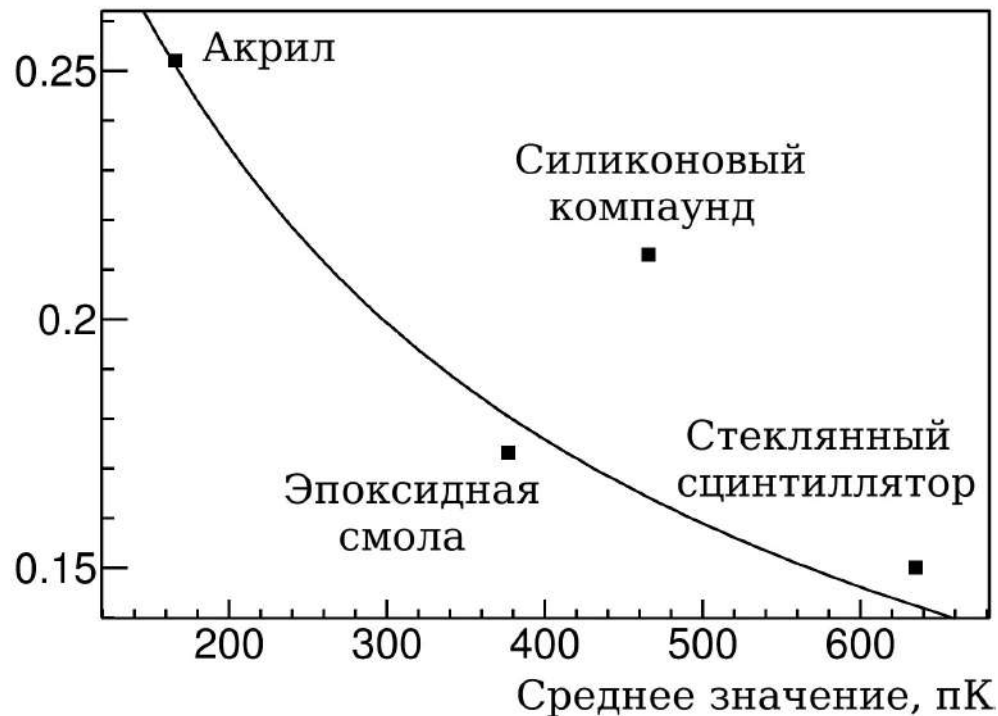


Спектр сигналов, зарегистрированных на пучке тепловых нейтронов от образца гетерогенного сцинтиллятора с концентрацией фрагментов стекла 30% .
Нейтральное связующее – эпоксидная смола

- 1 – данные измерений;
- 2 – результат аппроксимации;
- 3 – распределение зарядов от событий с полным энергосвободением в стеклянном сцинтилляторе;
- 4 – распределение зарядов от событий с неполным энергосвободением в стеклянном сцинтилляторе.



Разрешение



Черные точки – соответствуют значениям разрешения нейтронного пика и его среднего значения. Данные приведены для композитных сцинтилляторов с концентрациями 30 %. Линия аппроксимация по формуле [4]:

$$R = \frac{(\alpha + \beta Q)^{1/2}}{Q},$$

где α и β – коэффициенты, а Q – среднее значение нейтронного пика.

Эффективность регистрации нейтронов



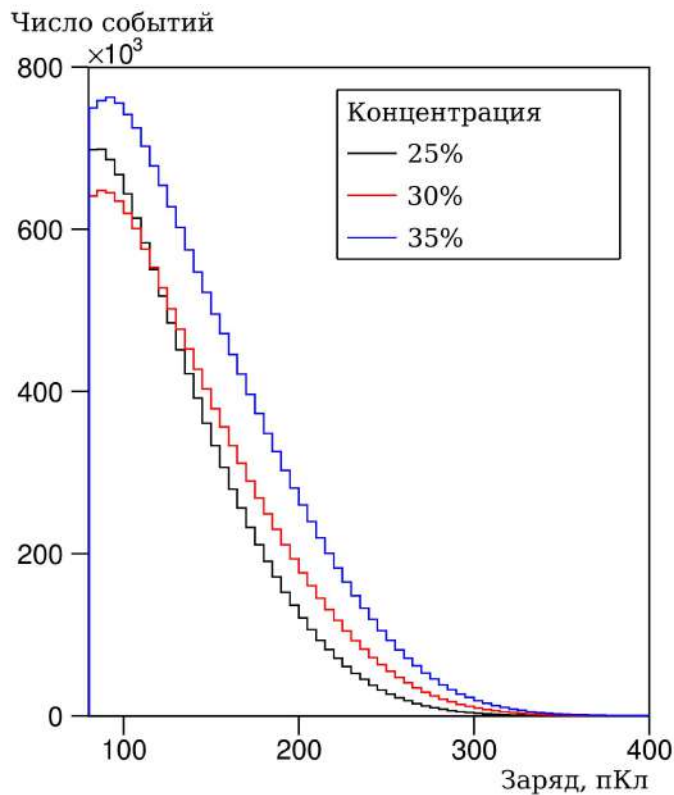
Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Эффективность регистрации нейтронов по отношению к эффективности стеклянного сцинтиллятора

	Модель	Эпоксидная смола	Силиконовый компаунд	Акриловая смола
25%	0,516	$0,520 \pm 0,005$	$0,534 \pm 0,006$	$0,463 \pm 0,005$
30%	0,570	$0,572 \pm 0,006$	$0,565 \pm 0,006$	$0,564 \pm 0,006$
35%	0,615	$0,606 \pm 0,006$	$0,616 \pm 0,006$	$0,628 \pm 0,006$



Спектры событий, зарегистрированных от источника γ -квантов ^{60}Co для образцов гетерогенных сцинтилляторов с различной концентрацией фрагментов стекла. Нейтральное связующее — эпоксидная смола.



Гамма-чувствительность по сравнению со стеклянным сцинтиллятором

Для монолитного стекла гамма-чувствительность $(1,42 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$.

	Эпоксидная смола	Силиконовый компаунд	Акриловая смола
25%	$(9,25 \pm 0,13) \cdot 10^{-6}$	$(1,35 \pm 0,11) \cdot 10^{-6}$	$(0,53 \pm 0,05) \cdot 10^{-6}$
30%	$(13,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$	$(2,65 \pm 0,08) \cdot 10^{-6}$	$(6,04 \pm 0,08) \cdot 10^{-6}$
35%	$(22,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$	$(4,90 \pm 0,13) \cdot 10^{-6}$	$(13,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$

Заключение



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

- Исследованы образцы композитных сцинтилляторов, состоящих из фрагментов литиевого стекла NE 912, размещенных в нейтральной матрице.
- Описана технология приготовления образцов и методика измерений эффективности к нейтронам и γ — чувствительности.
- Испытаны образцы в составе сцинтилляционного детектора на пучке тепловых нейтронов и с источником γ - квантов ^{60}Co .
- Показано, что возможно снизить на два порядка чувствительности детектора к γ — квантам за счет незначительного (50%) снижения эффективности регистрации нейтронов.

Список литературы



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

- 1) Spowart A. R. Neutron scintillating glasses: part II // Nucl. Instrum. and Methods.. 1977. №140. C. 19-28.
- 2) Dalton A.W. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 254 (1987) 361–366.
- 3) Kuzmin E. S., Bokuchava G. D., Zimin I. Yu., Kruglov A. A., Kuchinskiy N. A., and Malyshev V. L. Instrum. and Experimental Techniques, 2021, Vol. 64, No. 2, P. 195. DOI: 10.1134/S0020441221010279.
- 4) 11. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-07338-5. 1999.

Список литературы



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Спасибо за внимание!

Образцы гетерогенных сцинтилляторов



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Изготовлено 9 образцов на основе литиевого стекла и с компаундами (акрил, силикон, эпоксидная смола)



Гомогенный
сцинтиллятор



Гетерогенный
сцинтиллятор.
Содержание
сцинтиллятора 35%.
Компаунд Силикон



Гетерогенный
сцинтиллятор.
Содержание
сцинтиллятора 35%.
Компаунд эпоксидная
смола



Гетерогенный
сцинтиллятор.
Содержание
сцинтиллятора 25%.
Компаунд силикон

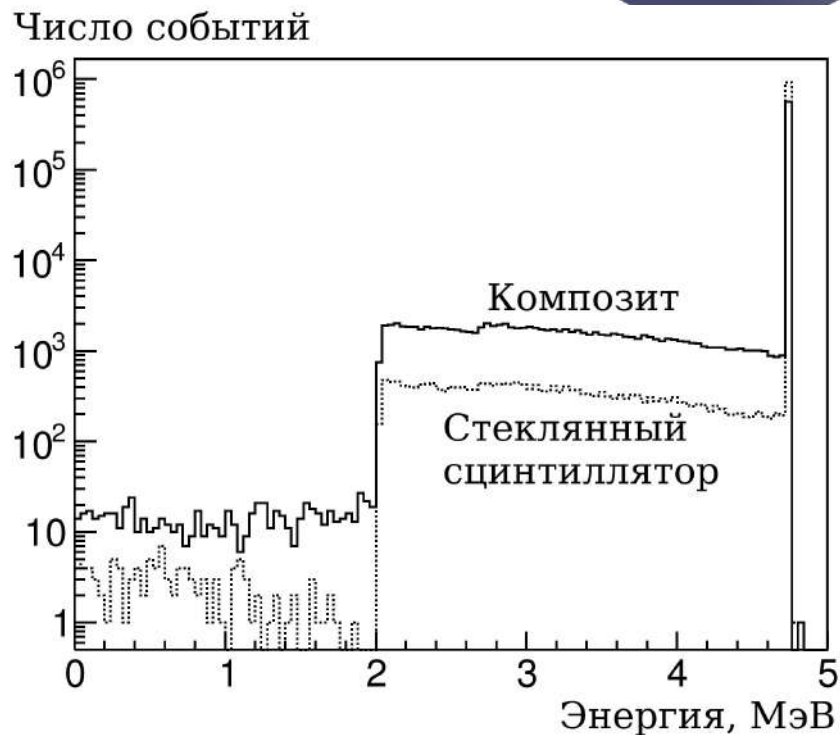
Функция передачи энергию сцинтиллятору



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований



Результаты аппроксимации



Лаборатория
ядерных проблем
им. В. П. Дзелепова



Объединенный
институт ядерных
исследований

Образец	Среднее значение	Стандартное отклонение	Разрешение %
Стеклянный сцинтиллятор	635	40,4	0,15
Силиконовый компаунд	446	42,0	0,21
Эпоксидная смола	377	28,2	0,18
Акриловая смола	162	17,1	0,25