

Оптимизация структуры гетерогенного сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов

Аспирант: Зимин И. Ю.

Руководители: Гуров Ю. Б.

Консультант: Кузмин Е. С.

Аннотация

В данной работе оптимизировалась структура гетерогенного сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов с низкой чувствительностью к γ -квантам с помощью Монте-Карло модели.

Литиевые стекла

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}).

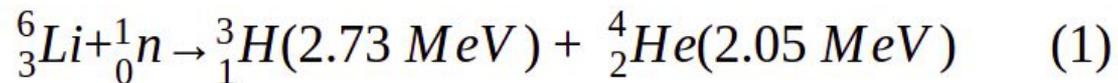
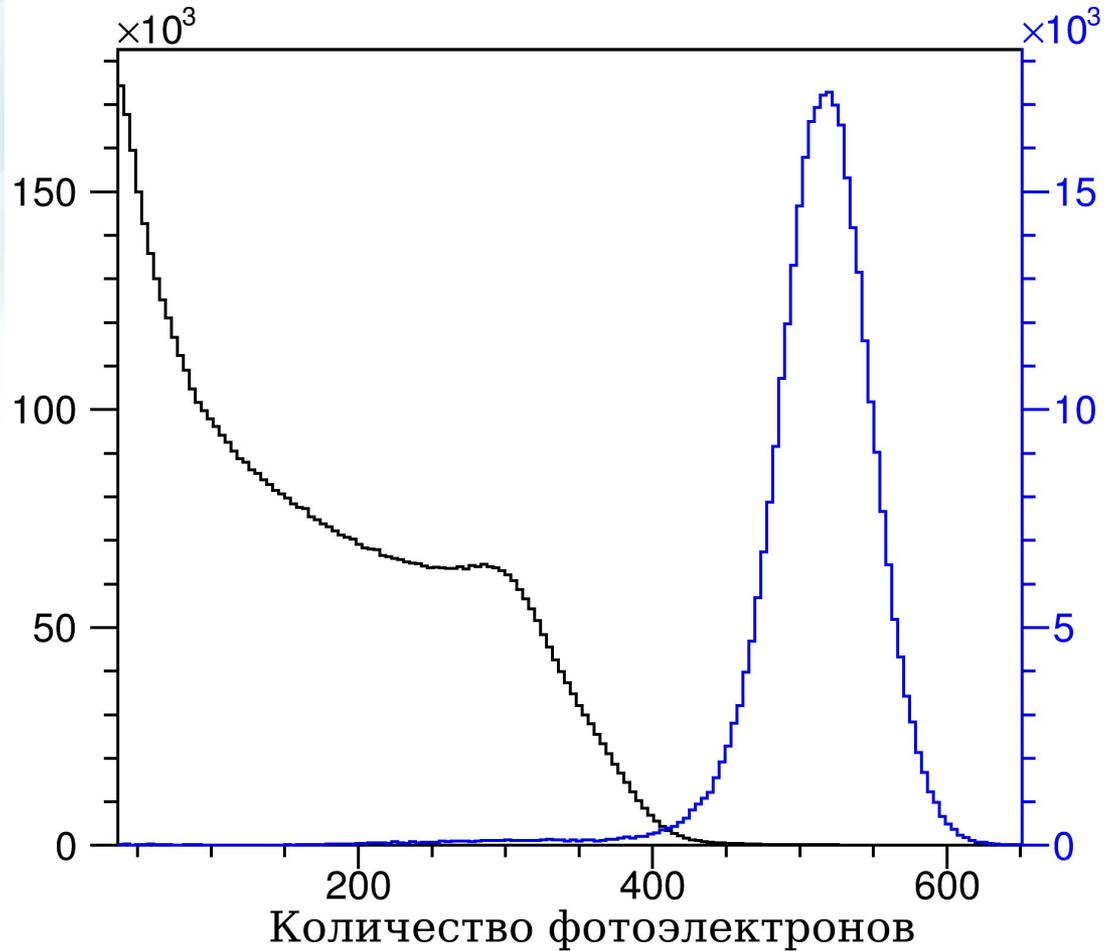
В данной работе использовалось литиевое стекло NE912 [1].

- Плотность 2,4 г/см³
- Коэффициент преломления 1,55
- Максимум длины излучения 397 нм
- Световыход 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

Число событий
(γ -кванты)

Число событий
(нейтроны)



Структура композитного сцинтиллятора

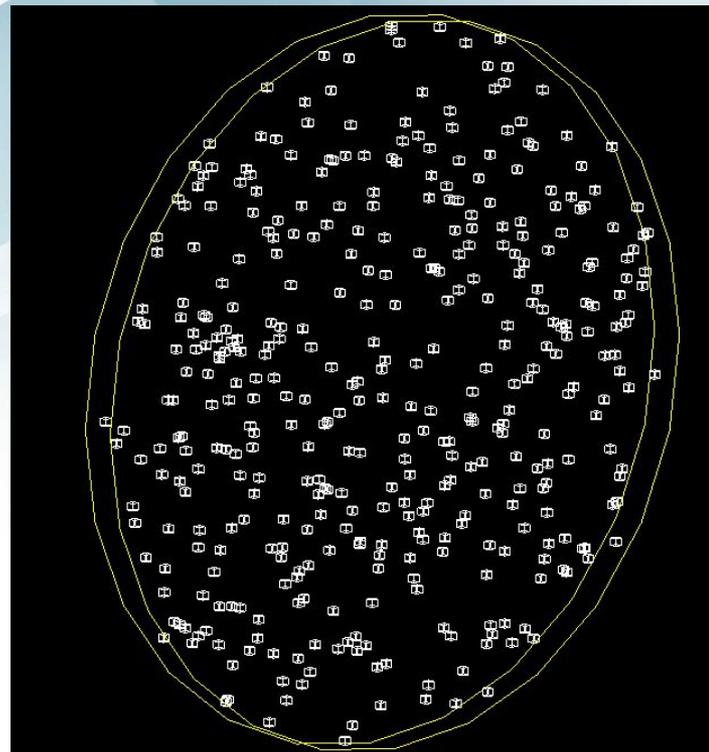
- В данной работе используется модель только в энергетическом приближении.
- При моделировании определяется минимальное значение эффективности к нейтронам (оценка снизу).

Диск: \varnothing 40 мм, толщина 2 мм.

Были рассмотрены модели:

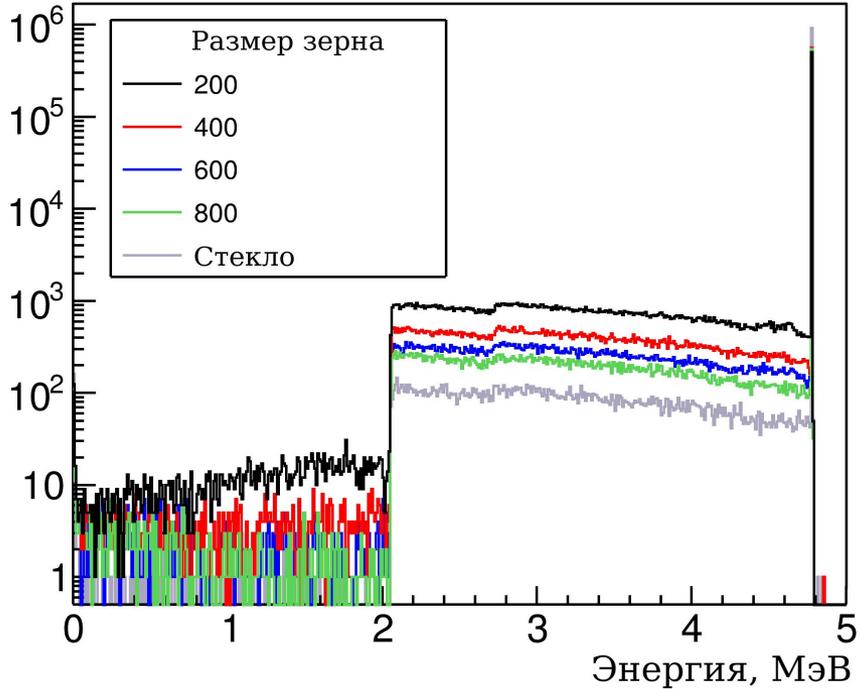
Концентрация от 20 до 35 % с шагом 5 %.

Размер зерен от 200 до 800 мкм с шагом 100 мкм

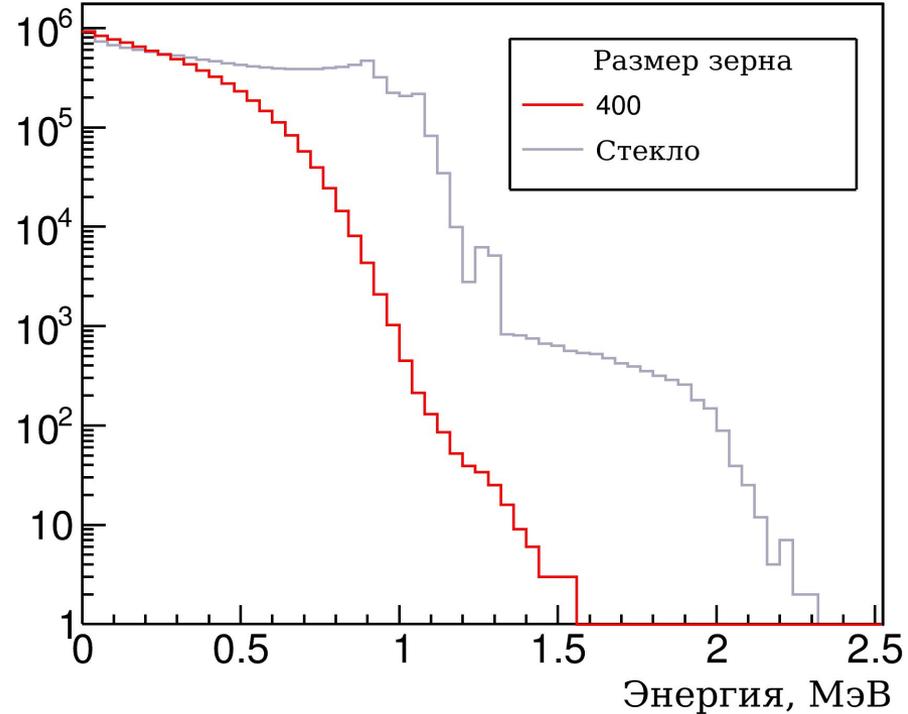


Вещество	Атомный состав	Плотность (г/см ³)
Силиконовый компаунд	C_2H_6SiO	1,02
Акрил	$C_5H_8O_2$	1,16
Эпоксидная смола	$C_{39}H_{52}O_7$	1,2
Литиевое стекло (NE912)	$SiO_2(74,7\%)+LiO_2(20,7\%)+Ce_2O_3(4,6\%)$	2,4

Число событий



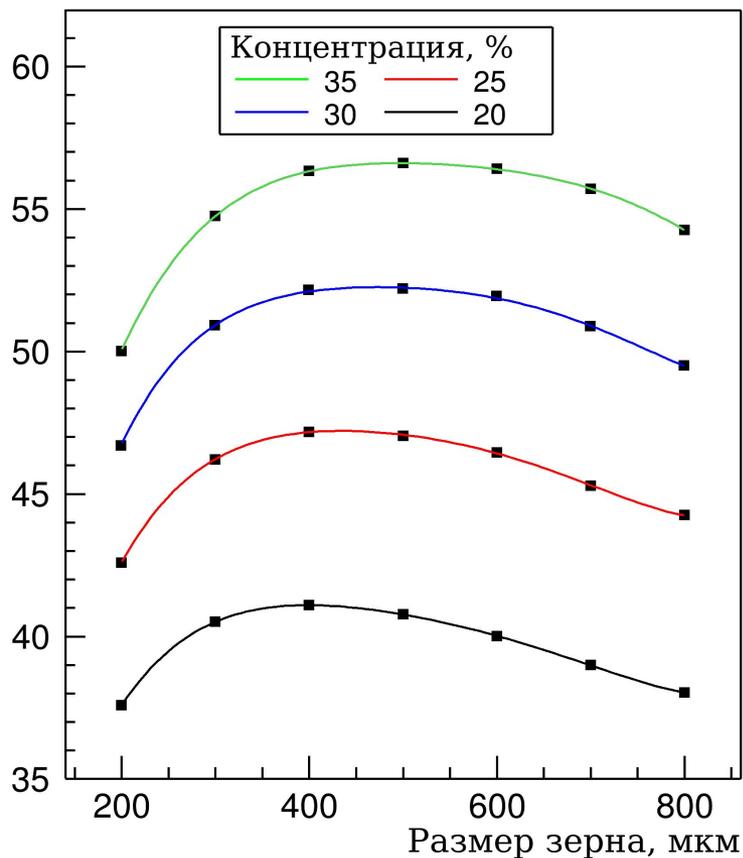
Число событий



Сравнение спектров
энерговыведения нейтронов в
стеклянном сцинтилляторе и
композите с зернами размером 200,
400, 600 и 800 мкм и концентрацией
35%.

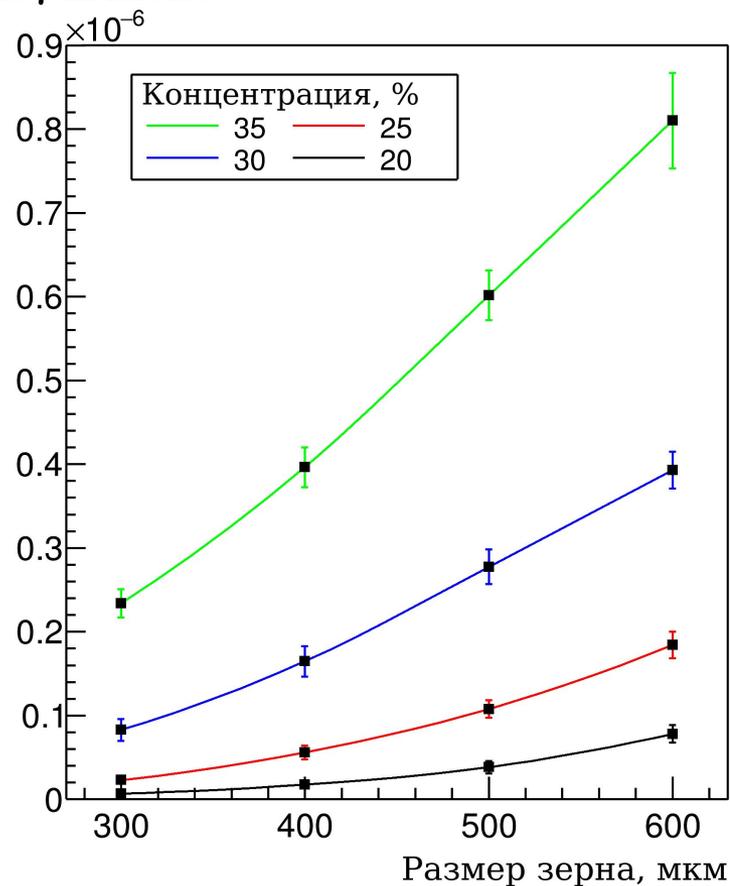
Сравнение спектров
энерговыведения γ -квантов от
источника ^{60}Co в стеклянном
сцинтилляторе и композите с
зернами размером 400 мкм и
концентрацией 35%.

Эффективность регистрации нейтронов, %



Зависимости эффективности регистрации нейтронов композитного сцинтиллятора от размера зерен при различных концентрациях стеклянного сцинтиллятора.

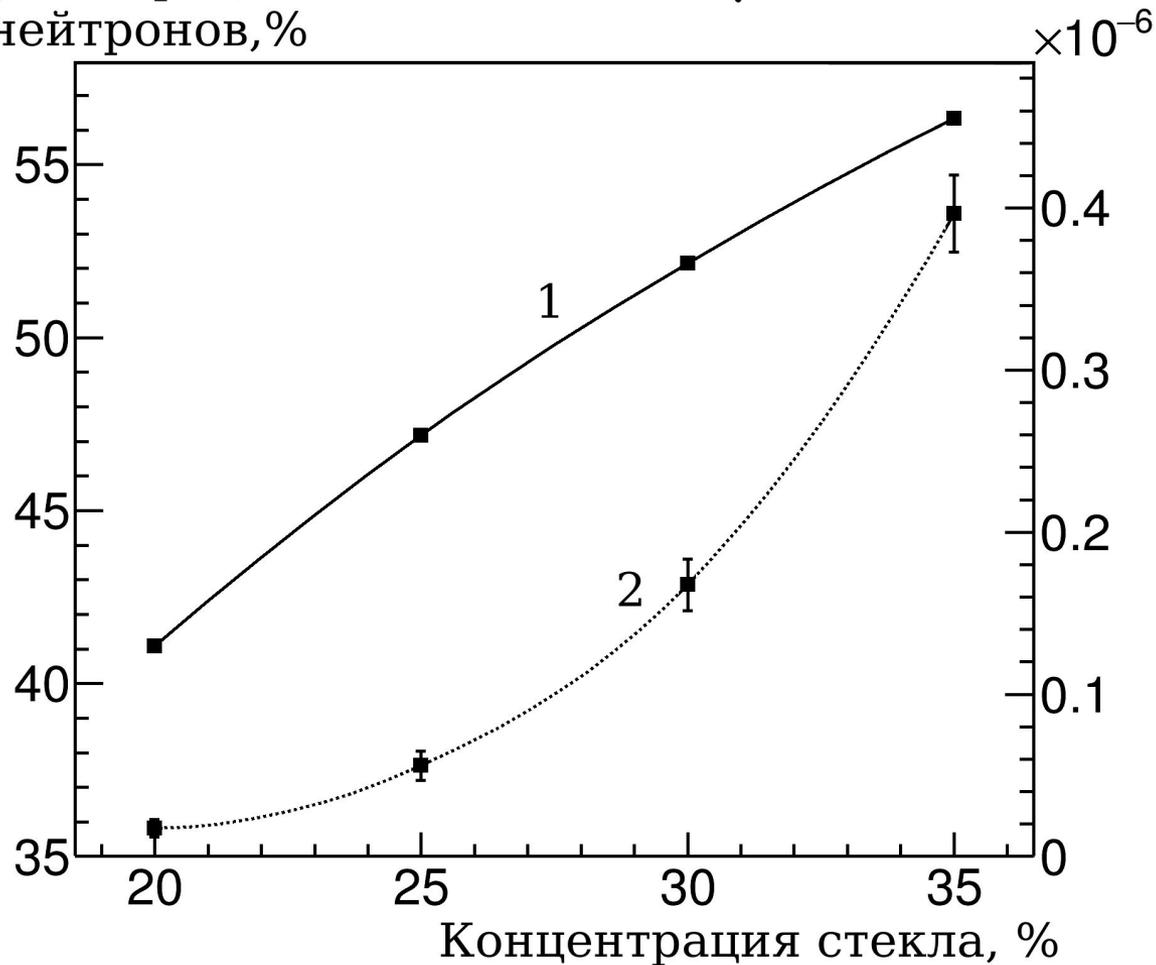
Чувствительность к γ -квантам



Зависимости чувствительности к γ -квантам композитного сцинтиллятора от размера зерен при различных концентрациях стеклянного сцинтиллятора.

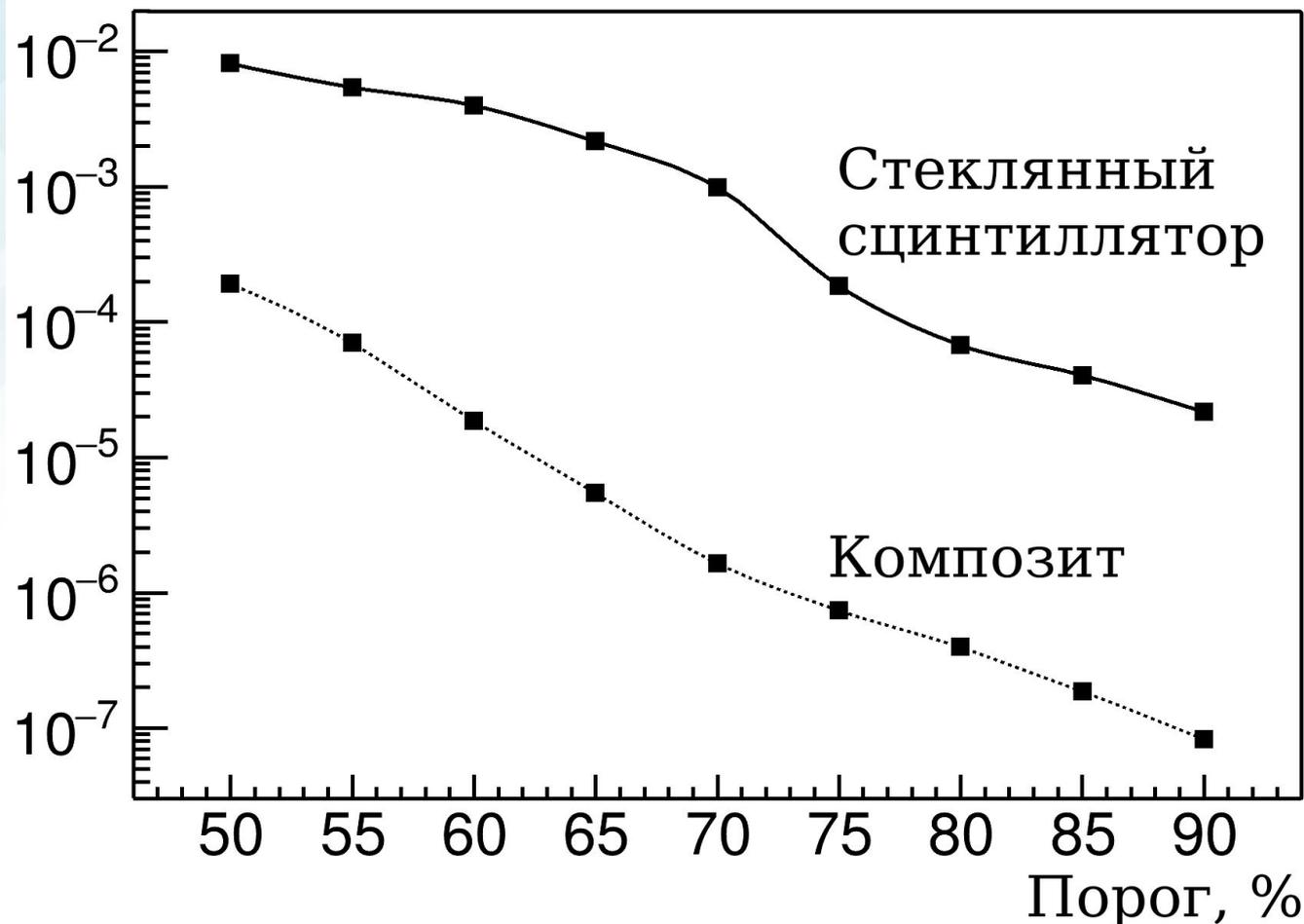
Эффективность
регистрации
нейтронов, %

Чувствительность
к γ -квантам



Эффективность регистрации тепловых нейтронов и γ -чувствительность композитного сцинтиллятора с зернами размером 400 мкм. 1 - эффективность регистрации тепловых нейтронов, 2 - чувствительность к γ -квантам.

Чувствительность к γ -квантам



Зависимости γ -чувствительности от уровня порога регистрации для стеклянного сцинтиллятора и композита с размером зерен 400 мкм и их концентрации 35%.

Сравнение оптических материалов

Материал	Эффективность к нейтронам	Гамма – чувствительность
Силиконовый компаунд	56,1%	$6 \cdot 10^{-7}$
Акрил	56,3%	$4 \cdot 10^{-7}$
Эпоксидная смола	56,4%	$4 \cdot 10^{-7}$
Стекланный сцинтиллятор	91,5%	$7 \cdot 10^{-5}$

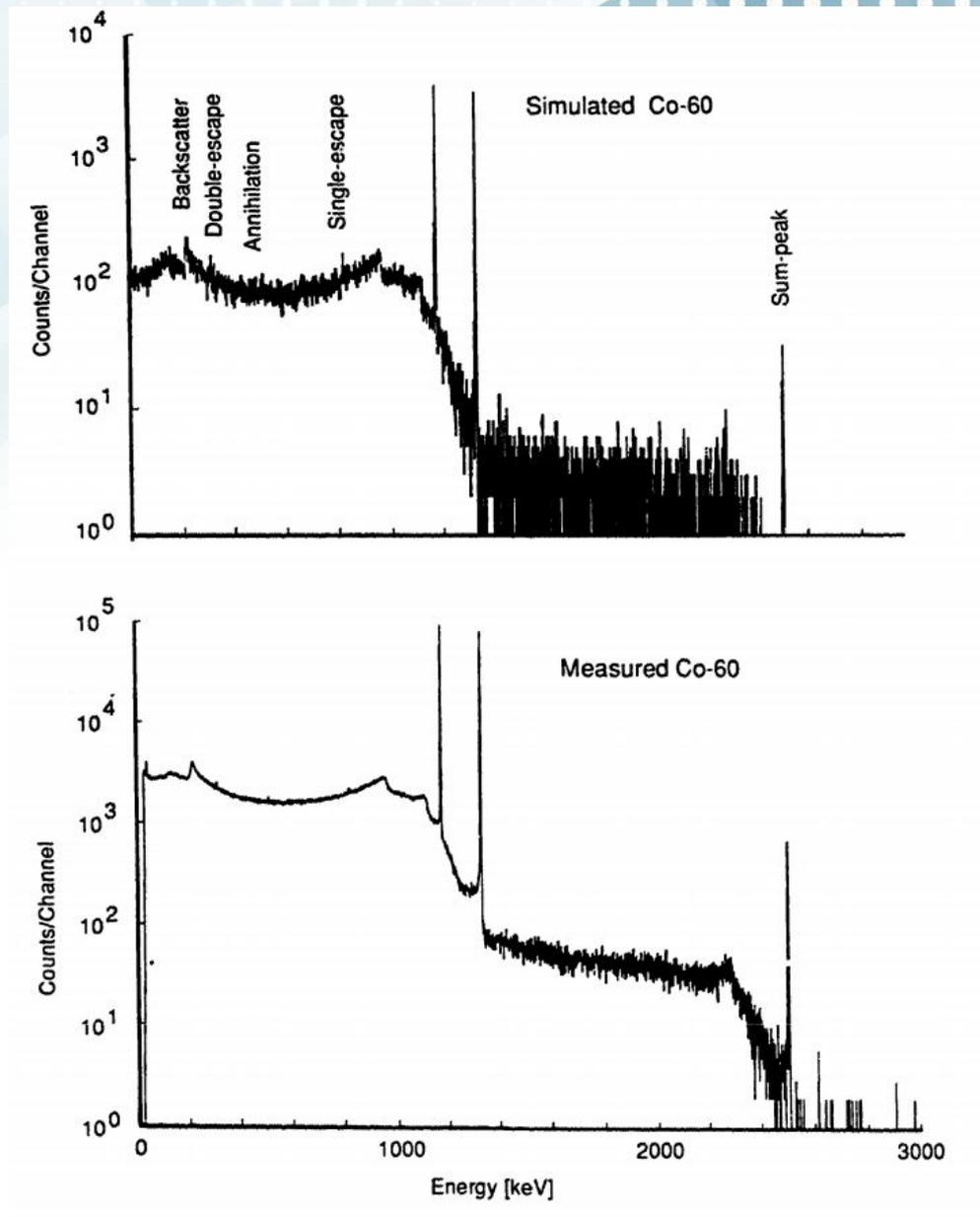
Заключение

- Проведено моделирование и оптимизация композитного сцинтиллятора нейтронов, предназначенного для регистрации тепловых нейтронов и обеспечивающего низкую чувствительность к γ – квантам.
- Оптимальная конфигурация сцинтиллятора достигается при объемной концентрации стекла на уровне 35% и в области размера зерен $d = 400$ мкм.
- Слабая зависимость эффективности регистрации нейтронов от размера в этой области позволяет использовать для изготовления порошка стеклянного сцинтиллятора простейший метод помола.
- Установлено, что в энергетическом приближении как эффективность регистрации нейтронов, так и γ – чувствительность композита практически не зависят от того, какое из рассмотренных веществ было использовано в качестве материала матрицы.
- По сравнению со стеклянным сцинтиллятором таких же размеров, эффективность регистрации нейтронов композитом падает от 92% до 56%, а чувствительность к γ – квантам может быть снижена на два порядка, до $4 \cdot 10^{-7}$.
- По результатам этой работы будут построены опытные образцы различных конфигураций для экспериментальной проверки.

Спасибо за внимание!

Список литературы

- 1) Spowart A. R. Neutron scintillating glasses: part II // Nucl. Instrum. and Methods.. 1977. №140. С. 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) M. Décombaz et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 312 (1992) 152-159.



Смоделированный и экспериментальный спектр источника ^{60}Co [4]

