

## 1. Тонкие сцинтилляторы

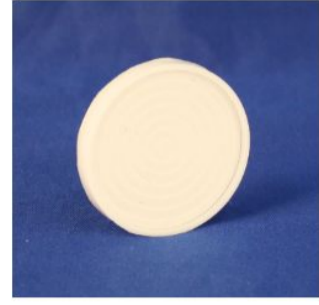
### 1.1. Детекторы тепловых нейтронов



Пропорциональные счетчики на основе  $^3\text{He}$



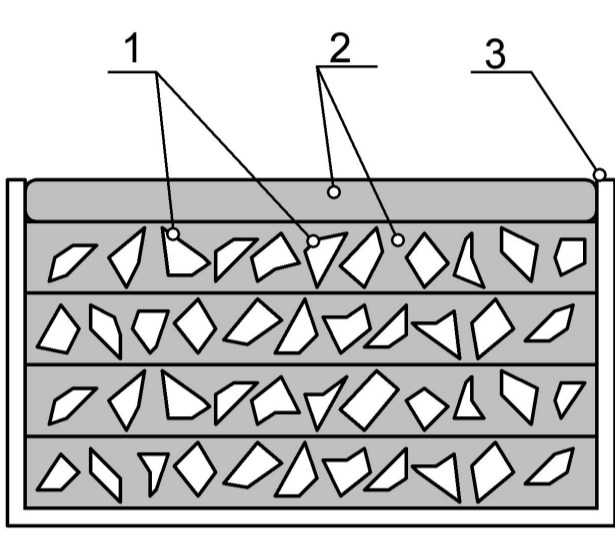
Литиевое стекло NE 912



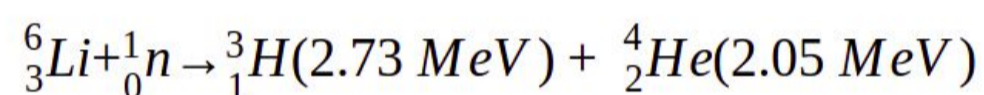
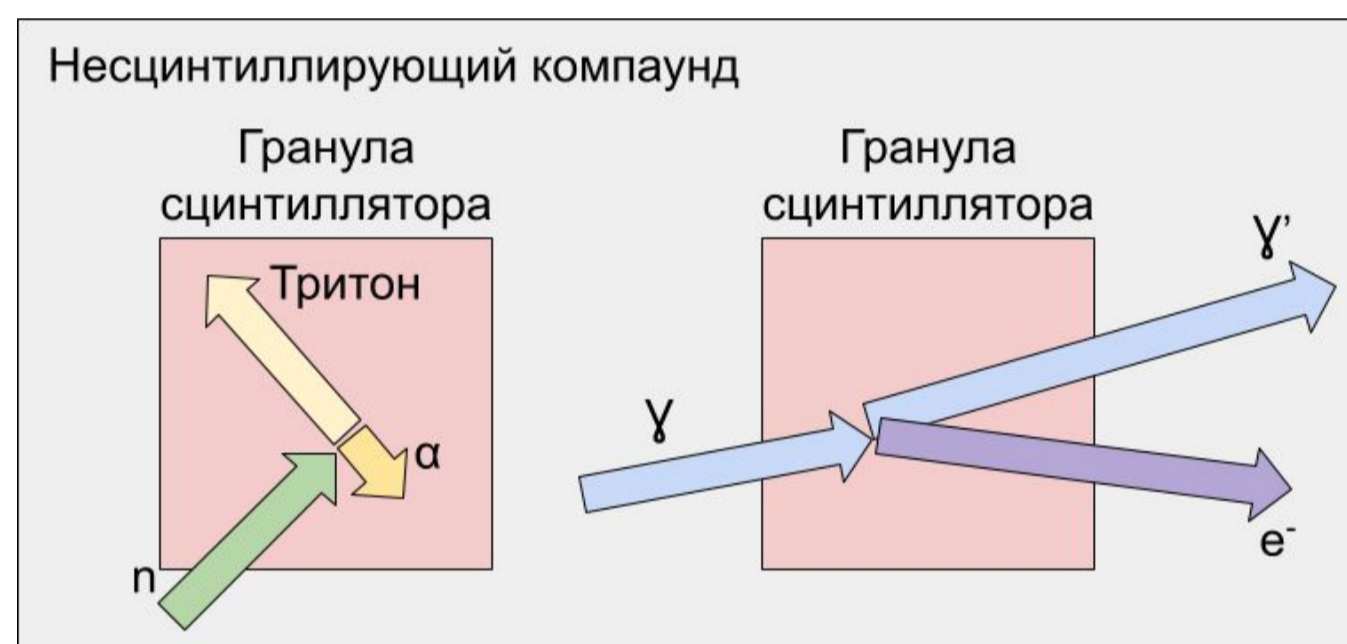
EJ-420 ( $^6\text{LiF/ZnS(Ag)}$ )

	Гамма - чувствительность	Эффективность регистрации нейтронов при толщине	Быстрая компонента	Загрузочная способность	Послесвечение
Литиевое стекло NE 912 [1]	$10^{-4}$	91%, 2 мм	15 нс	$2 \cdot 10^6$	500 нс
Гетерогенный сцинтиллятор	$10^{-6}$	55%, 2 мм	15 нс	$2 \cdot 10^6$	500 нс
EJ-420 ( $^6\text{LiF/ZnS(Ag)}$ )	$10^{-7}$	55%, 6,5 мм	200 нс	$10^5$	до 10 мкс
EJ-426 ( $^6\text{LiF/ZnS(Ag)}$ )	$10^{-7}$	31%, 0,5 мм	200 нс	$10^5$	до 10 мкс

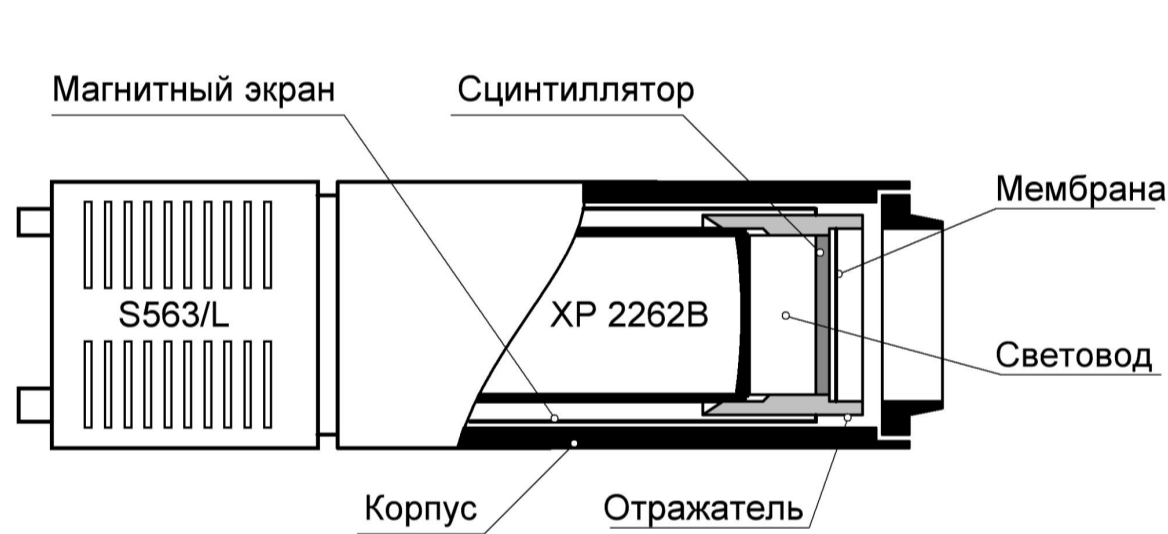
### 1.2. Композитный сцинтиллятор



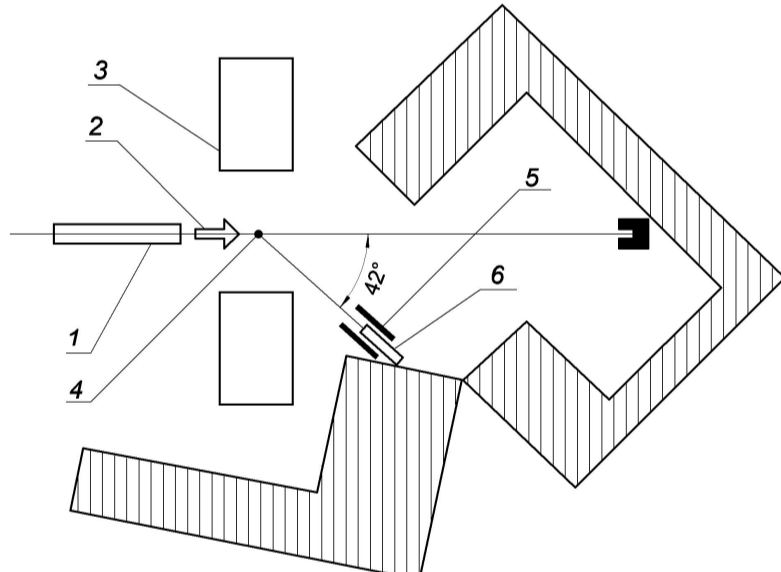
1 — фрагменты стеклянного сцинтиллятора;  
2 — полимер; 3 — корпус кюветы



### 1.3. Измерения и результаты



В результате были созданы образцы композитных сцинтилляторов толщиной 2 мм, с уровнем нейтрон/гамма-дискриминации на 2 порядка лучше, чем у гомогенного литиевого стекла, за счет незначительного (50%) снижения эффективности регистрации нейтронов [2-4].

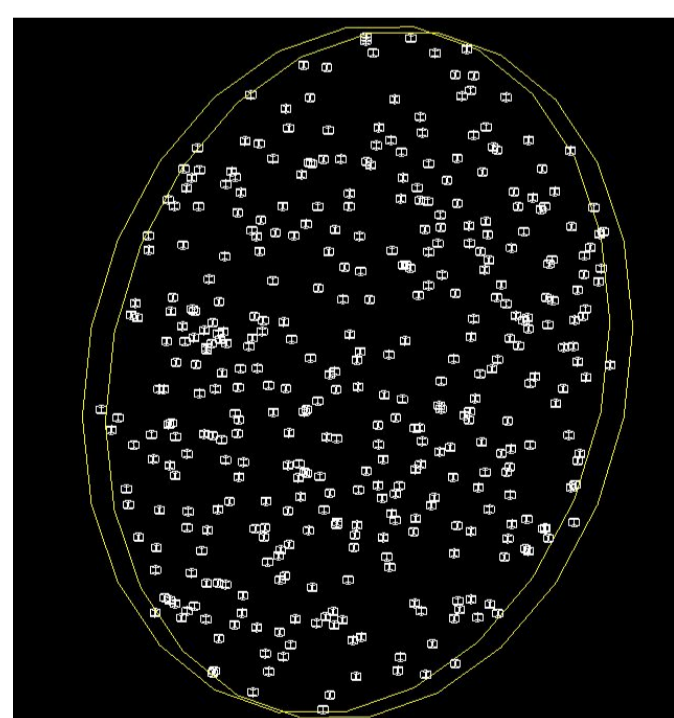


1 — нейтронвод; 2 — пучок тепловых нейтронов; 3 — вспомогательное оборудование; 4 — рассеиватель из реакторного графита; 5 — защита детектора; 6 — детектор.

## 2. Толстые сцинтилляторы

### 2.1. Монте-Карло модель (Geant4)

- Монте-Карло модели гетерогенных сцинтилляторов имели форму диска с диаметром 40 мм. Толщина варьировалась от 2 до 20 мм (Geant4 [5-7]).
- Модель представляла собой пассивную поддерживающую матрицу из эпоксидной смолы с размещенными в ней случайным образом гранулами стеклянного сцинтиллятора.
- Фрагменты имели форму кубиков из литиевого стекла NE 912. Расчеты проводились для кубиков с размерами граней от 200 до 1000 мкм с шагом 100 мкм. Были рассмотрены различные концентрации литиевого стекла от 10 до 38% по отношению к общему объему гетерогенного сцинтиллятора.
- В качестве оптического компаунда была выбрана эпоксидная смола ( $\text{C}_{39}\text{H}_{52}\text{O}_7$ ) с плотностью  $1,2 \text{ г/см}^3$ .
- Прохождение сцинтилляционных фотонов через композит и реакция фотоприемника в работе не рассматривались, регистрировалась только величина переданной энергии в зернах стеклянного сцинтиллятора.



### 2.2. Влияние формы и размера гранул

Параметр  $\eta$  является отношением числа событий, происходящих с полной передачей энергии стеклянному сцинтиллятору к числу всех событий захвата нейтронов. В таблице приведены значения параметра  $\eta$  для размеров гранул. Для кубических гранул указан размер ребра куба, для сферических — диаметр сферы.

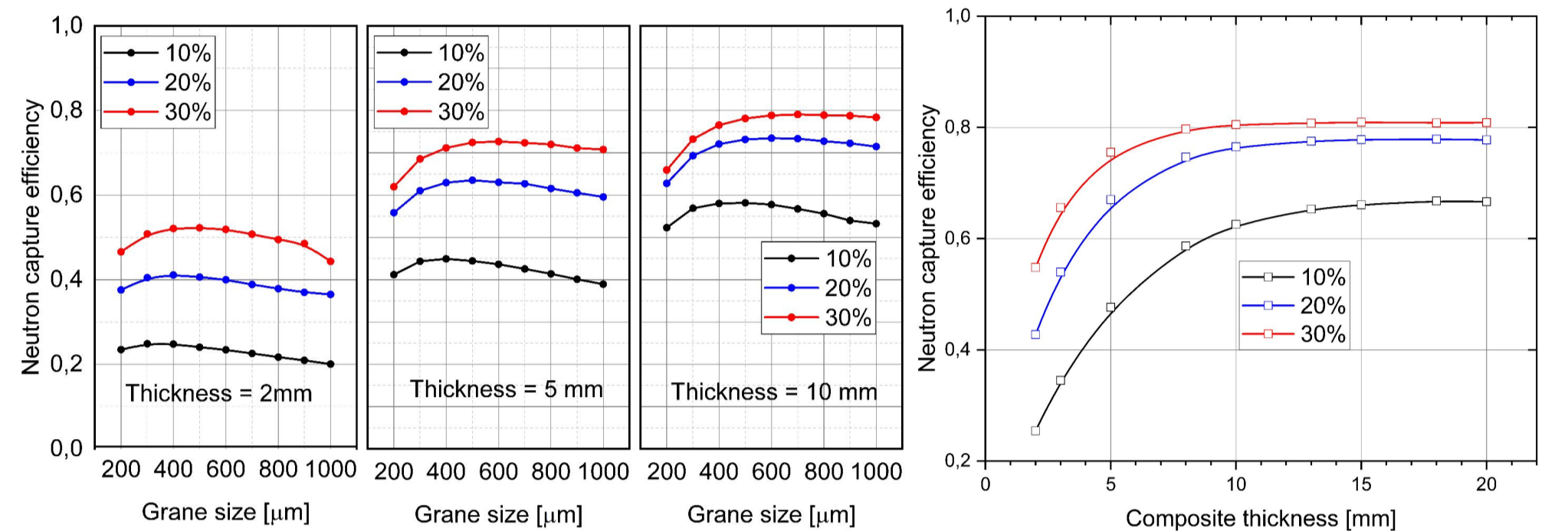
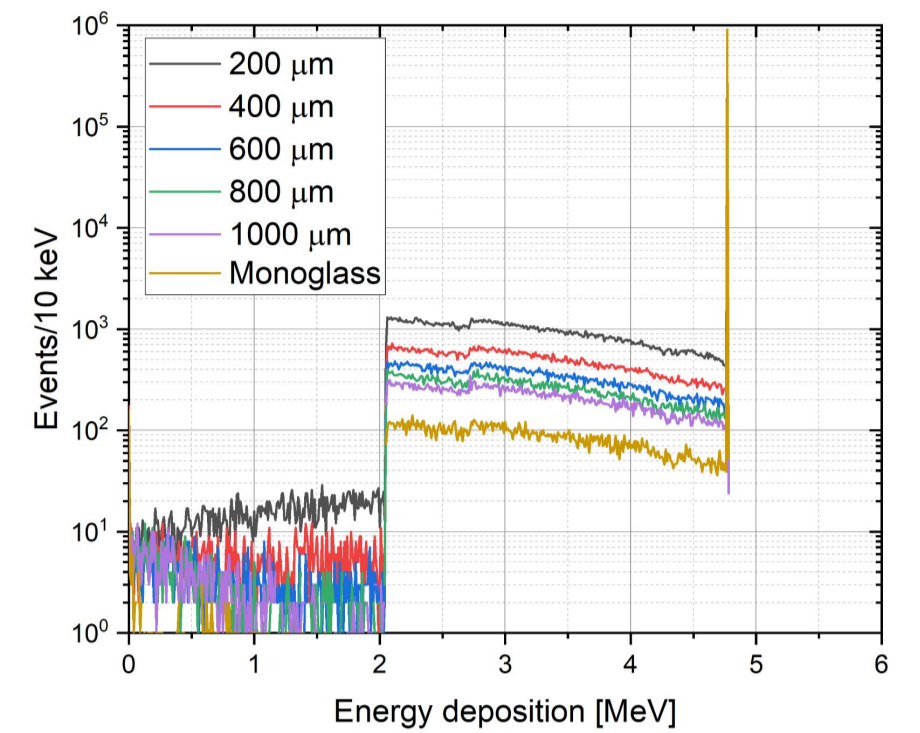
	300 мкм	400 мкм	500 мкм	600 мкм	700 мкм	800 мкм
Куб	0,805	0,843	0,871	0,889	0,903	0,912
Сфера	0,785	0,834	0,863	0,882	0,895	0,906

Расчет параметра  $\eta$  по экспериментальным спектрам дает значение  $\eta=0,80$  для осколков с размерами от 350 до 500 мкм, образованных при перемалывании стеклянного сцинтиллятора.

## 2.3. Эффективность конверсии нейтронов

Эффективность конверсии нейтронов определяется как отношение числа захваченных нейтронов с полной передачей энергии сцинтиллятору к общему числу нейтронов, прошедших через композит.

Спектры суммарного энерговыделения от тепловых нейтронов в гранулах сцинтиллятора для различных их размеров (Рисунок справа).



Зависимость эффективности захвата нейтронов от размера зерен для толщин сцинтиллятора 2, 5 и 10 мм. Рассмотрены концентрации зерен стеклянного сцинтиллятора 10, 20 и 30%.

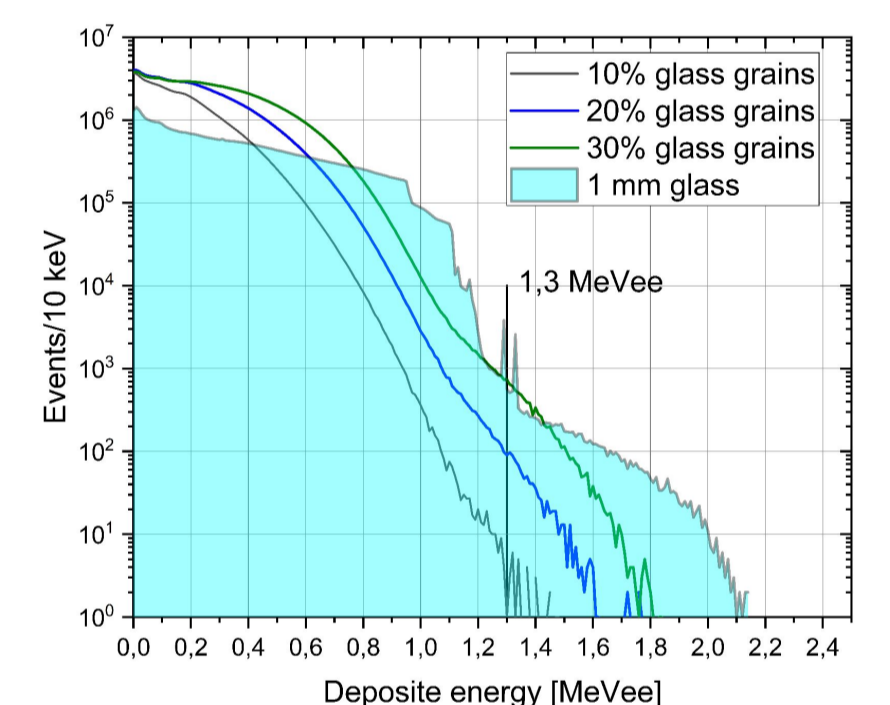
Зависимость эффективности конверсии нейтронов от толщины композита. Размер зерен 500 мкм, концентрации от 10 до 30%.

- Показано, что при толщине сцинтиллятора 20 мм эффективность конверсии нейтронов выходит на плато для всех рассматриваемых концентраций.
- Максимальная достижимая эффективность конверсии нейтронов 82%.

## 2.4. Гамма-чувствительность

В этой работе  $\gamma$ -чувствительность определяется как отношение числа  $\gamma$ -квантов, выделившихся в детекторе энергии, превышающую установленный порог регистрации к общему числу  $\gamma$ -квантов, пересекших чувствительный объем детектора.

Спектр суммарного энерговыделения от  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$  в частицах сцинтиллятора. Размер стеклянных зерен 500 мкм, концентрация от 10 до 30% толщина композита 10 мм.

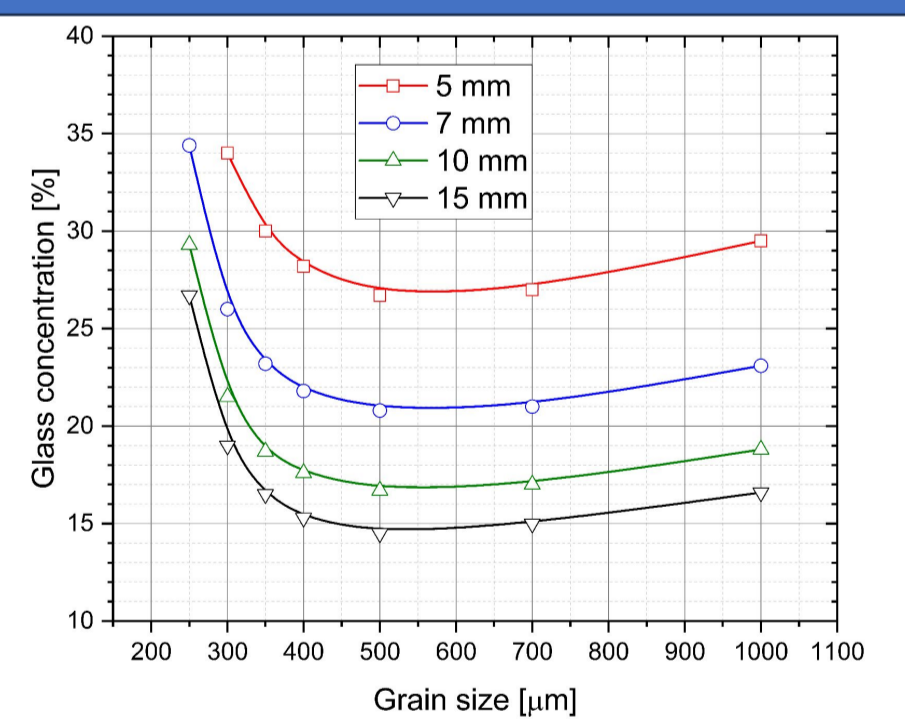


## 2.5. Концентрация литиевого стекла

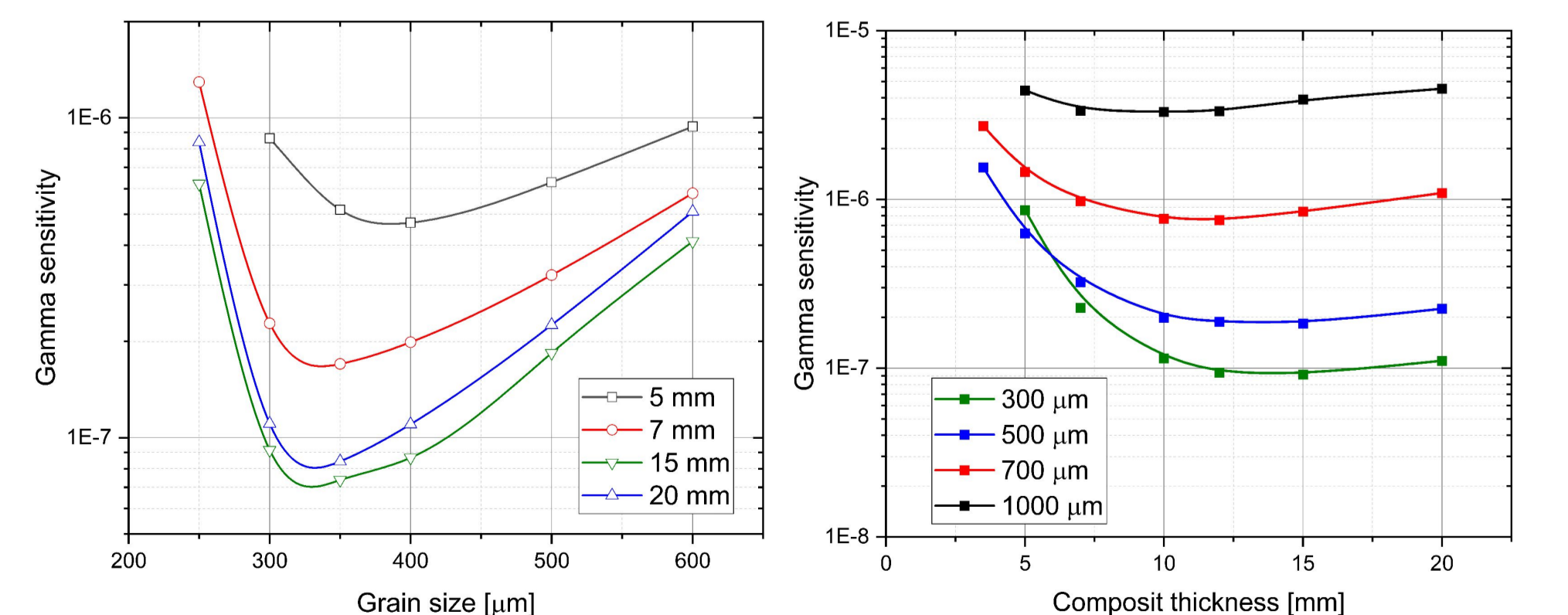
Было произведено моделирование для толщин сцинтиллятора  $d$  от 3,5 до 20 мм, и размеров гранул  $r$  от 250 до 1000 мкм и для различных концентраций литиевого стекла.

На следующем этапе для каждой комбинации  $d$  и  $r$  из полученных результатов были выбраны концентрации, при которых эффективность конверсии нейтронов  $\epsilon = 0,7$ .

Графики зависимости концентрации литиевого стекла от размеров гранул при сохранении постоянной эффективности конверсии нейтронов 0,7 для разных толщин сцинтиллятора (Рисунок справа)



## 2.6. Предельная гамма-чувствительность



Графики зависимости гамма-чувствительности от размера гранул и толщины сцинтиллятора

В результате лучшая достижимая чувствительность к  $\gamma$ -квантам  $7 \times 10^{-8}$  при эффективности конверсии нейтронов 0,7. Она обеспечивается при размерах гранул от 350 до 400 мкм и толщине  $\sim 15$  мм.

[1] A. R. Spowart 1976, Nucl. Instr. Meth. 135, pp. 441—453

[2] Е. С. Кузьмин и др. 2021, Приборы и методы эксперимента, том. 64, № 2, стр. 195—201

[3] Е. С. Кузьмин и др. 2021, Приборы и методы эксперимента, том. 64, № 5, стр. 657—662

[4] Е. С. Кузьмин и др. 2022, Приборы и методы эксперимента, том. 65, № 4, стр. 583—588

[5] S. Agostinelli et al. 2003, Nucl. Instr. Meth., Vol. A506, pp. 250-303.

[6] J. Allison et al. 2006, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 53., pp. 270-278.

[7] J. Allison et al. 2016, Nucl. Instr. Meth., Vol. A835, pp. 186-225.