

Моделирование взаимодействия нейтронов с полупроводниковыми плёнками InAs: анализ реакций и влияния на свойства материалов

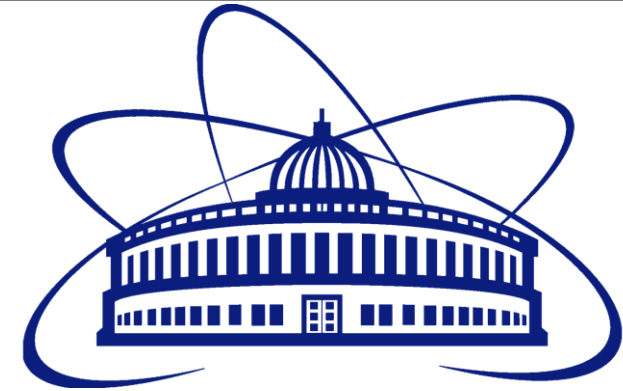
Ямурзин В.Р., инженер СНИКЗ ЛНФ

Научный руководитель: начальник сектора, к.ф.-м. н., М.В.Булавин

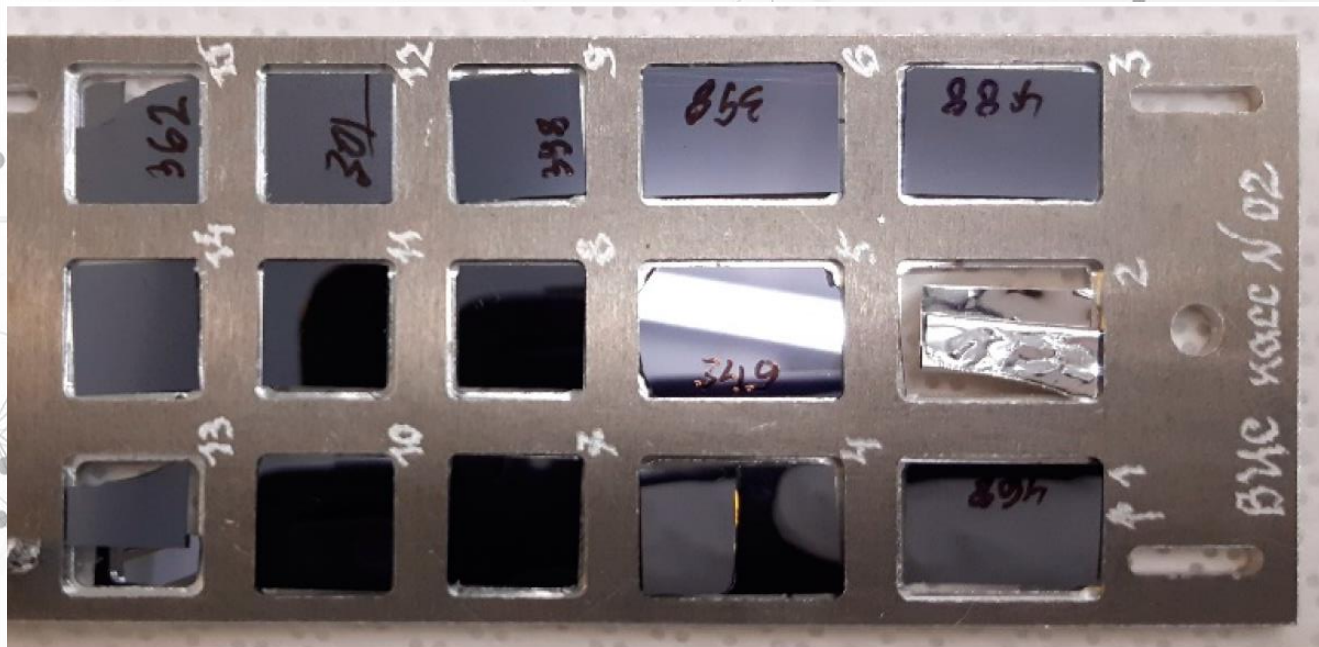
Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),

Университет «Дубна»

E-mail: yamurzin.v@nf.jinr.ru



Введение



Фотография кассеты-держателя с несколькими гетероструктурами.

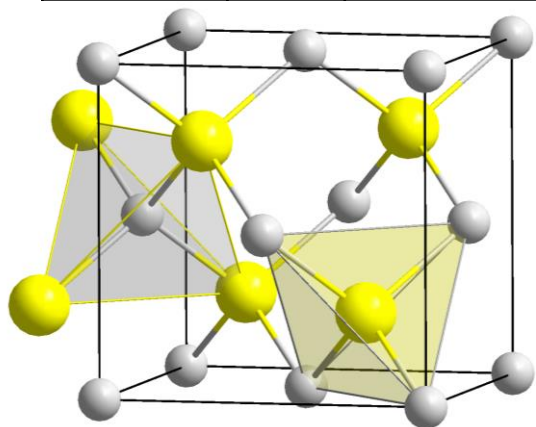


Размещение аппаратуры на опорной балке канала №3 реактора ИБР-2

Основные параметры материала до облучения

Таблица изотопов и изобилия элементов в материале мишени

Элемент	N	Соотношение масс в материале, %	Изобилие, %	Изобилие в материале, %
In	113	60	5	49.46
	115		95	
As	75	40	100	50.54

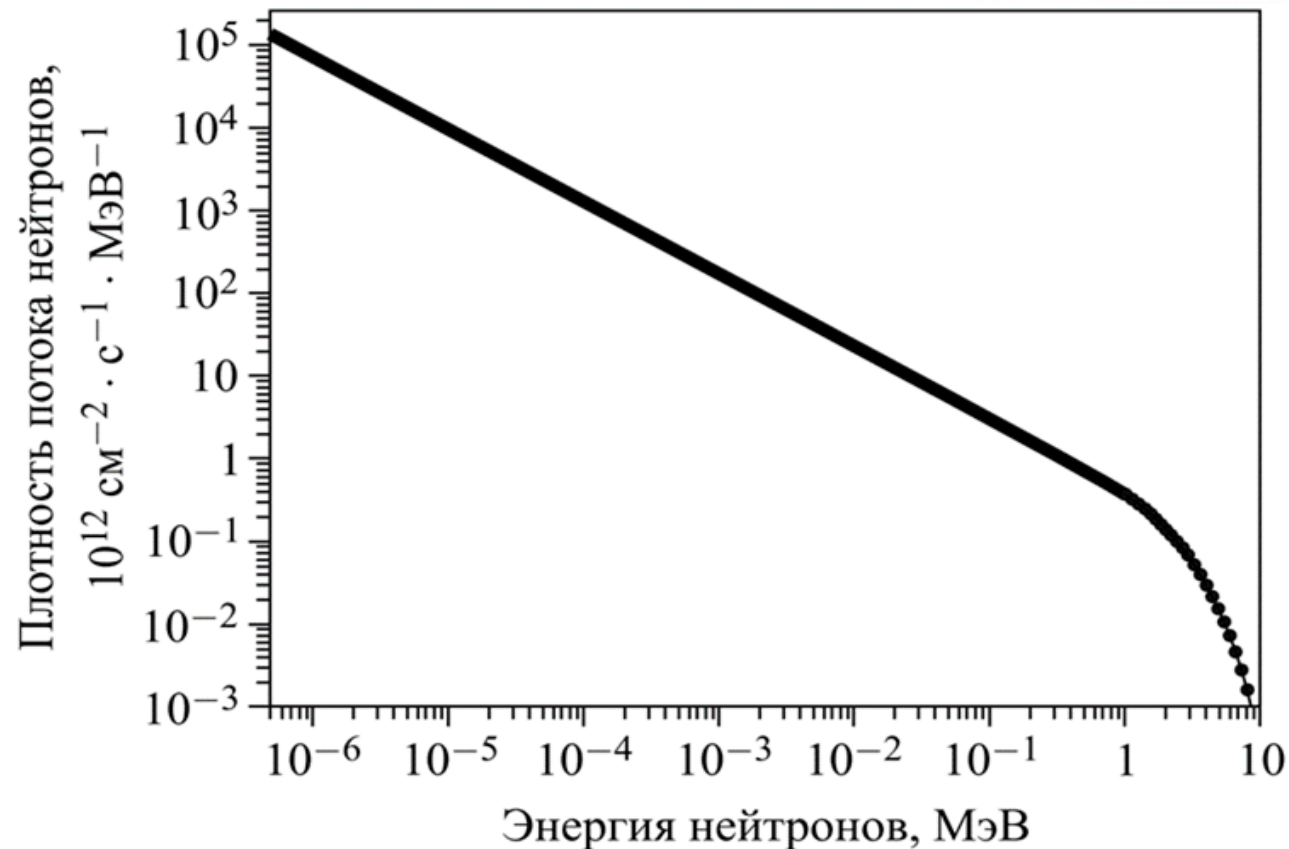


Элементарная
ячейка InAs

В качестве мишеней мы использовали модели материала InAs толщиной 1 см со следующими параметрами:

Плотность 5.670 g/cm³,
радиационная длина: 1.741 см,
ядерная длина взаимодействия:
28.273 см, I_{mean} (средняя энергия
ионизации): 424.674 eV,
Температура: 293.15 К, давление
1.00 atm

Параметры симуляции



Дифференциальная энергетическая плотность потока нейтронов в канале №3 реактора ИБР-2 на расстоянии 0,3м от водяного замедлителя

В качестве энергетического спектра был использован экспериментальный энергетический спектр нейтронов реактора ИБР-2 канала №3 на расстоянии 30 мм от водяного замедлителя.

Основные реакции, которые важны для нашего анализа, являются:

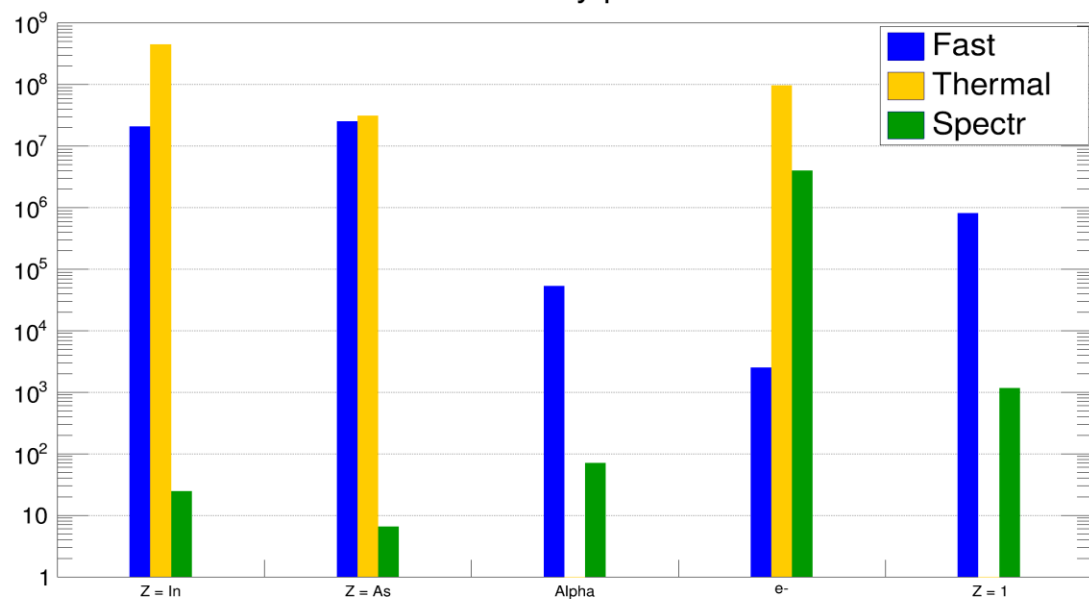
Elastic (упругое рассеяние)

Inelastic (неупругое рассеяние)

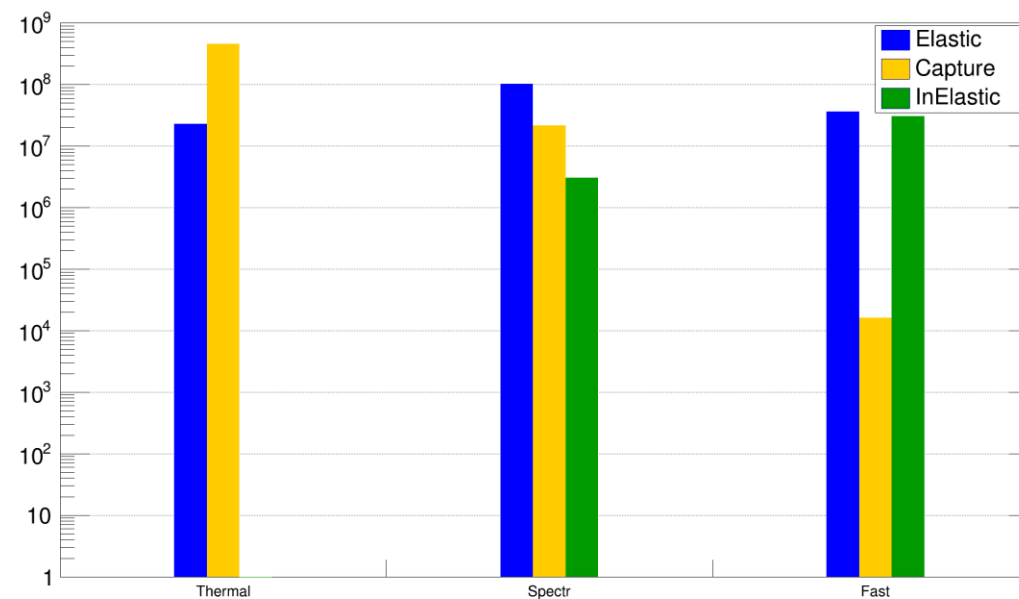
nCapture (захват нейтронов)

Результаты Geant4

Secondary particles



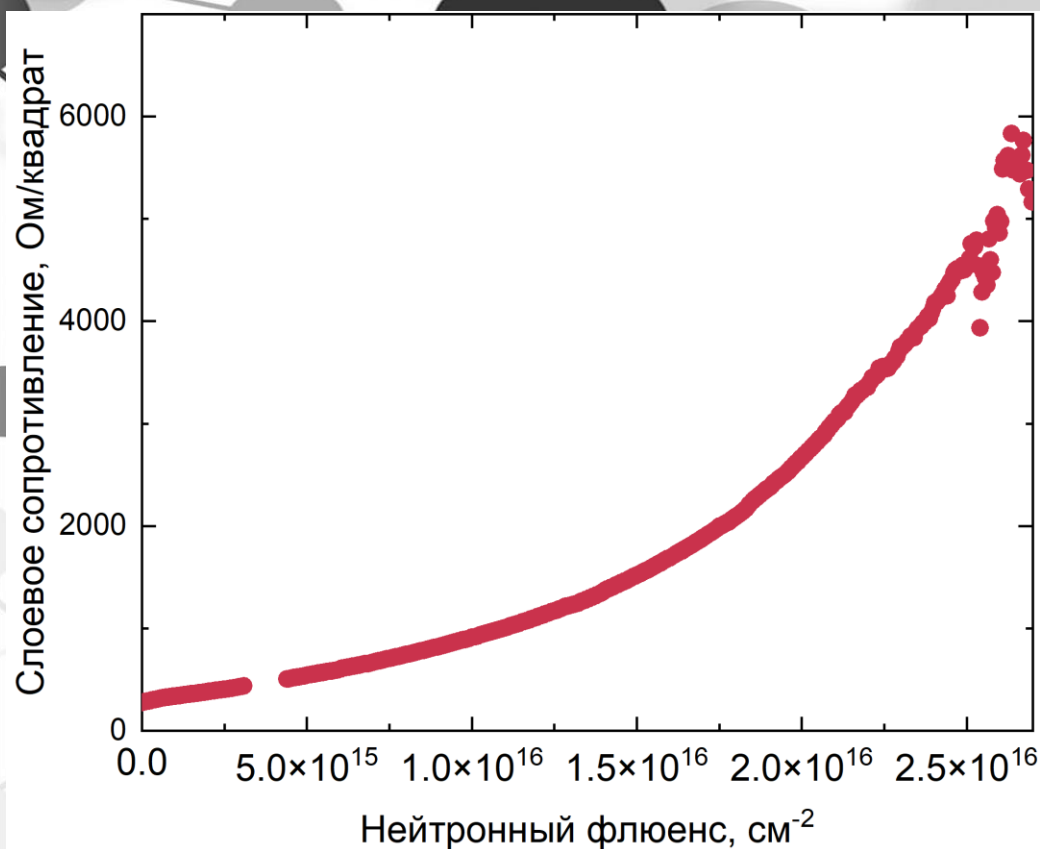
Reactions



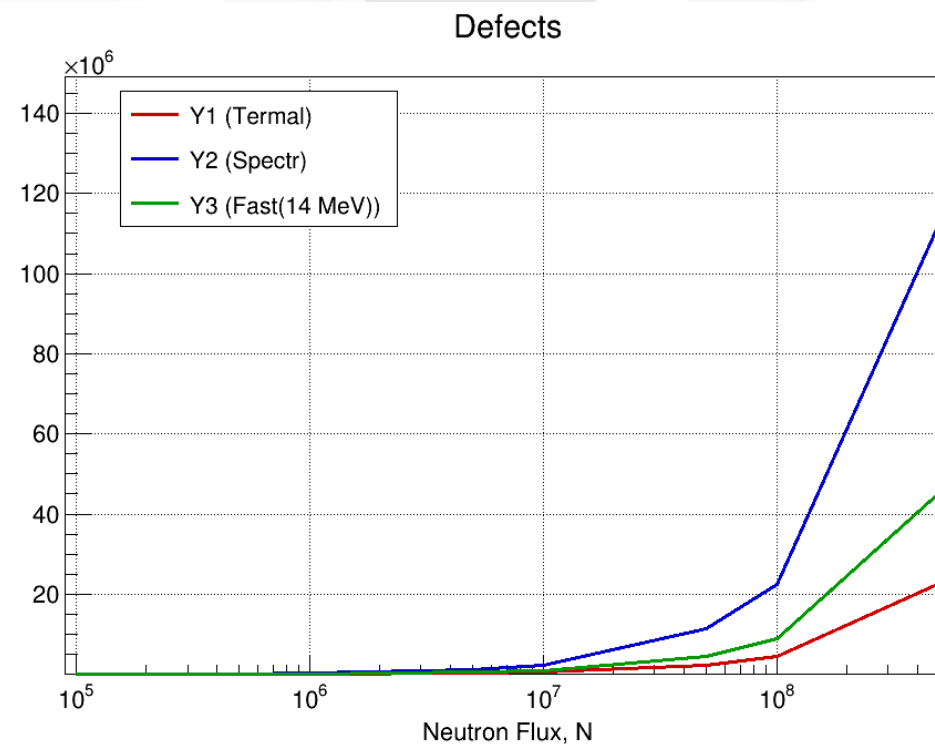
Рассчитанное количество образовавшихся вторичных частиц после взаимодействия нейтронов различных энергий с ядрами кристаллической решётки материала

Рассчитанная доля упругих, неупругих событий и реакций захвата для различных энергий нейтронного излучения

Результаты Geant4

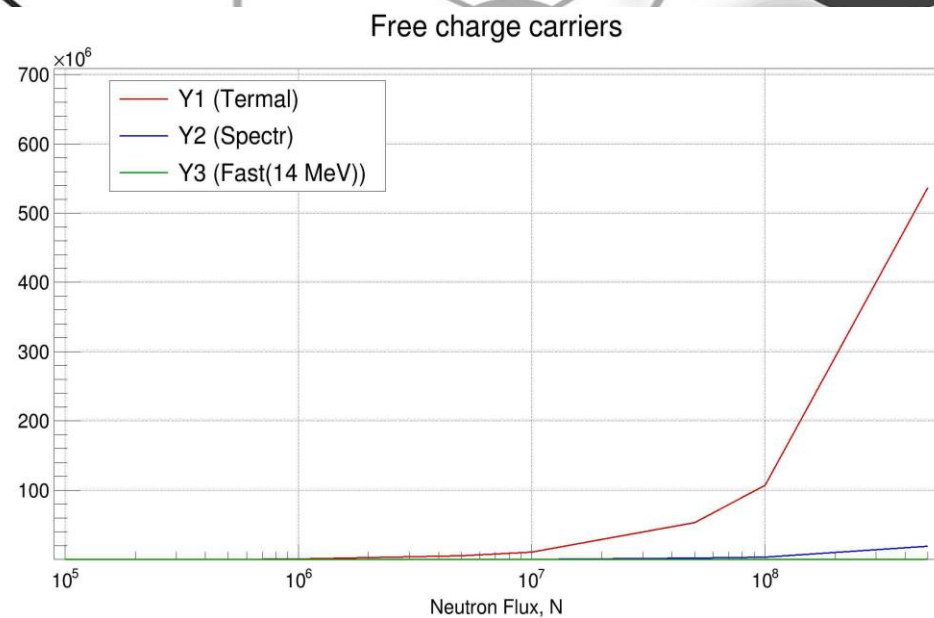


Зависимость слоевого сопротивления полупроводника относительно нейтронного флюенса

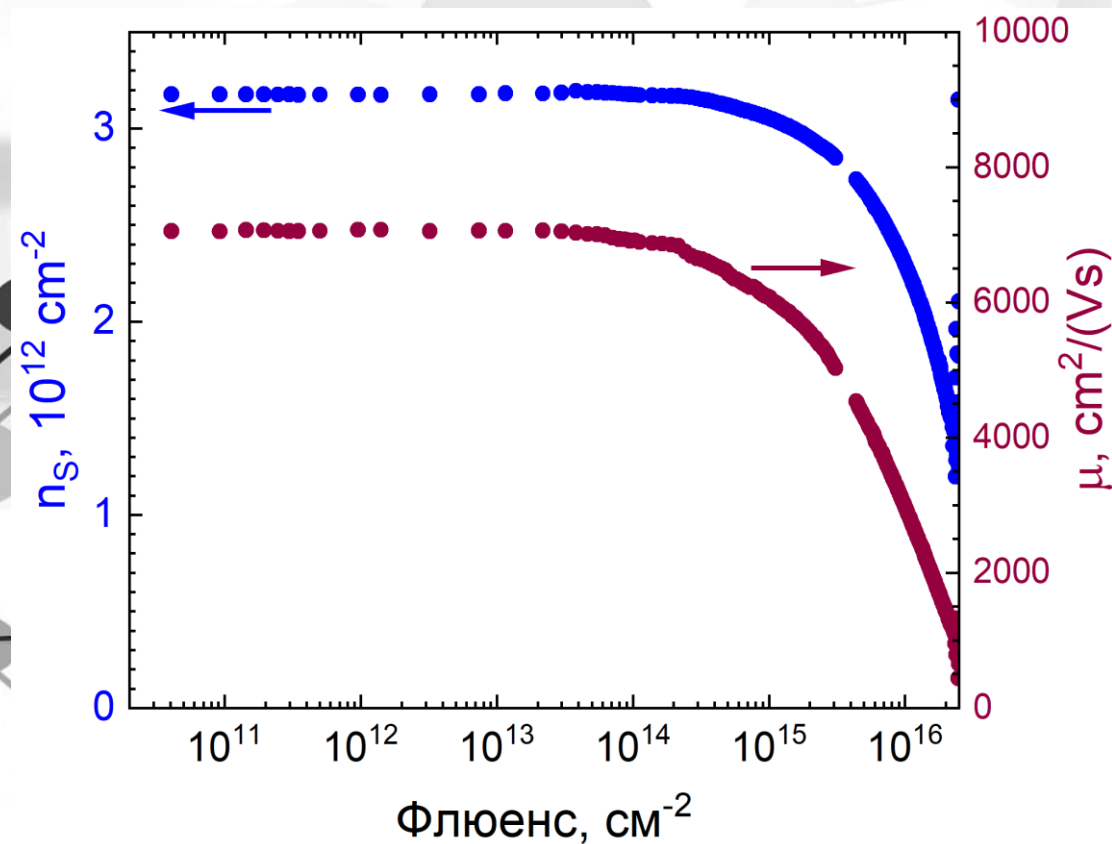


Зависимость образовавшихся дефектов относительно нейтронного потока

Результаты Geant4



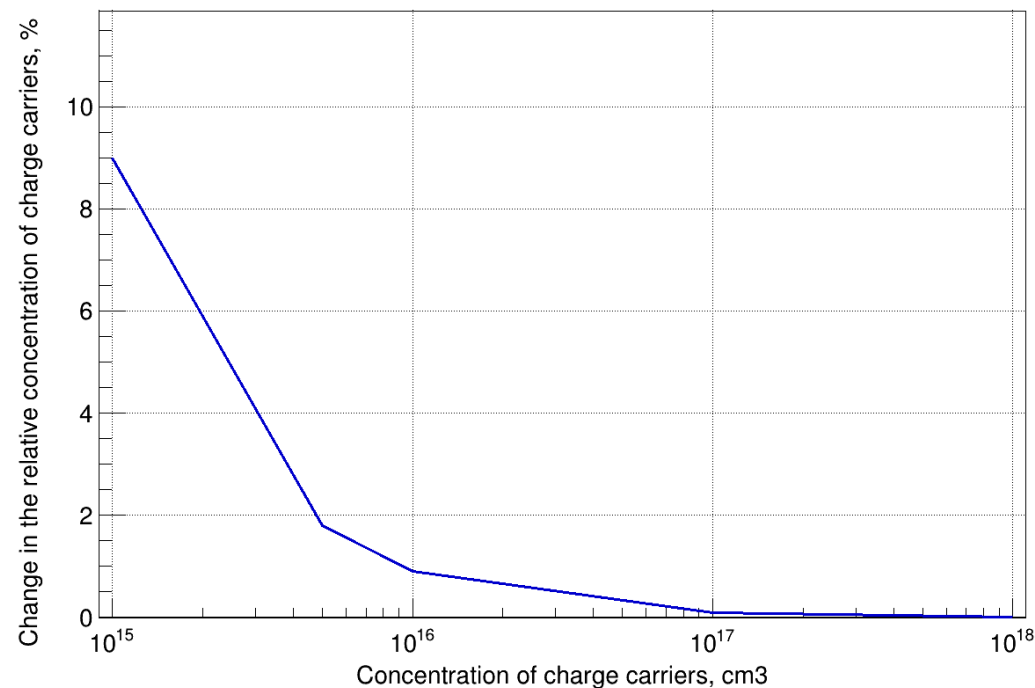
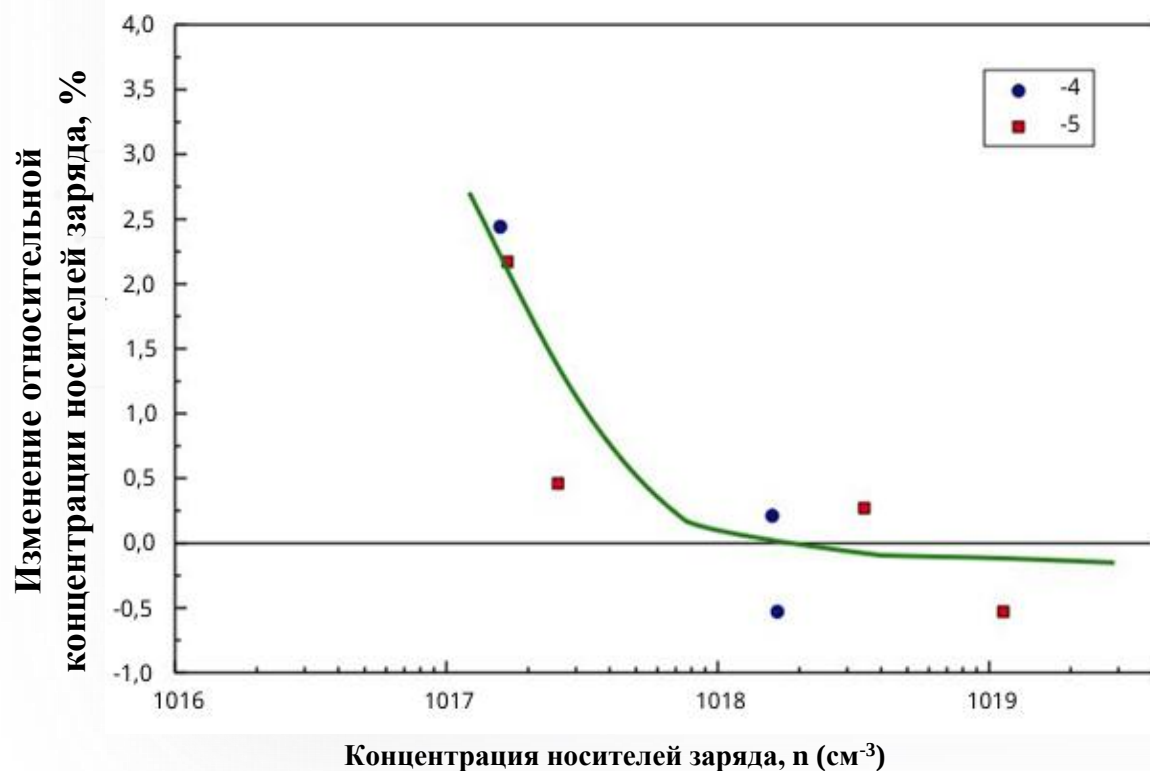
Зависимость образовавшихся свободных носителей заряда относительно нейтронного потока



Зависимость подвижности и проводимости относительно нейтронного флюенса

Результаты Geant4

Сравнение относительной концентрации носителей заряда в полупроводниковой структуре после облучения нейтронами в реальном эксперименте и моделировании в зависимости от исходной концентрации носителей заряда. В реальном эксперименте использовался поток нейтронов с канала №3 реактора ИБР-2 флюенсом нейтронов около 10^{15} см^2 .



Результаты Geant4

Элемент	E_{mean} , средняя энергия, keV (После подложки)	E_{mean} , средняя энергия, keV (Без подложки)
As ⁷⁵	2.7732	79.24
As ⁷⁶	251.49 eV	-
Se ⁷⁶	55.577 eV	-
In ¹¹³	7.2847	31.475
In ¹¹⁵	13.468 eV	61.376
In ¹¹⁶	120.05 eV	-
Sn ¹¹⁶	31.924 eV	-
Al ²⁷	17.657	-
O ¹⁶	20.321	-

Ключевыми параметрами для изучения являлись кинетическая энергия этих частиц после столкновения с нейтронами внутри полупроводникового материала, а также изменения этих параметров при переходе через сапфировую подложку

Таблица 1. Список сгенерированных частиц

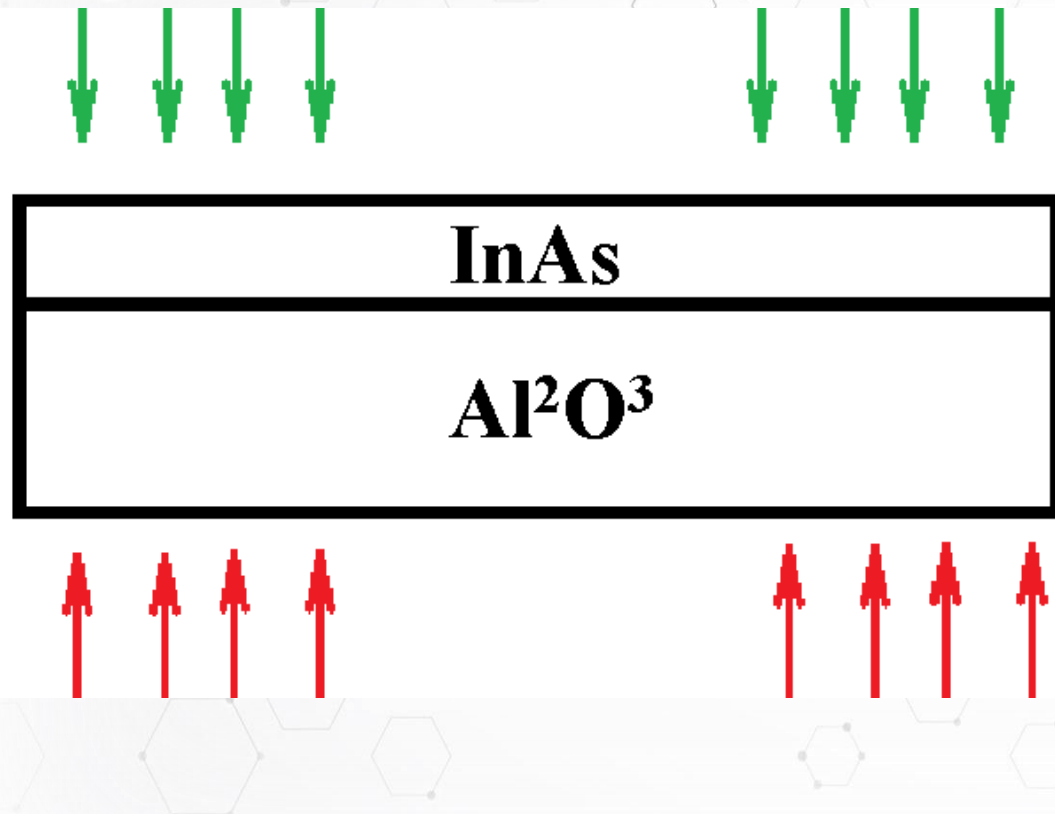
Результаты SRIM

Таблица 2. Длины пробега и образовавшиеся вакансии заряженных частиц

Элемент	Всего образовавшихся Вакансий на ион		Средний пробег частиц, $I_{\text{mean}}, \text{\AA}$	
	После подложки)	(Без подложки)	(После подложки)	(Без подложки)
As⁷⁵	35.6	907	45	441
As⁷⁶	3.1	-	13	-
Se⁷⁶	0.5	-	7	-
In¹¹³	93.3	385.8	65	159
In¹¹⁵	-	734.1	6	255
In¹¹⁶	1.4	-	11	-
Sn¹¹⁶	0.1	-	7	-
Al²⁷	155.4	-	423	-
O¹⁶	188	-	265	-

В рамках нашего исследования, помимо основных параметров, таких как длины пробега, мы также уделяем значительное внимание анализу траекторий заряженных частиц. Эти траектории зачастую оказываются нелинейными из-за сложных взаимодействий частиц с атомами материала.

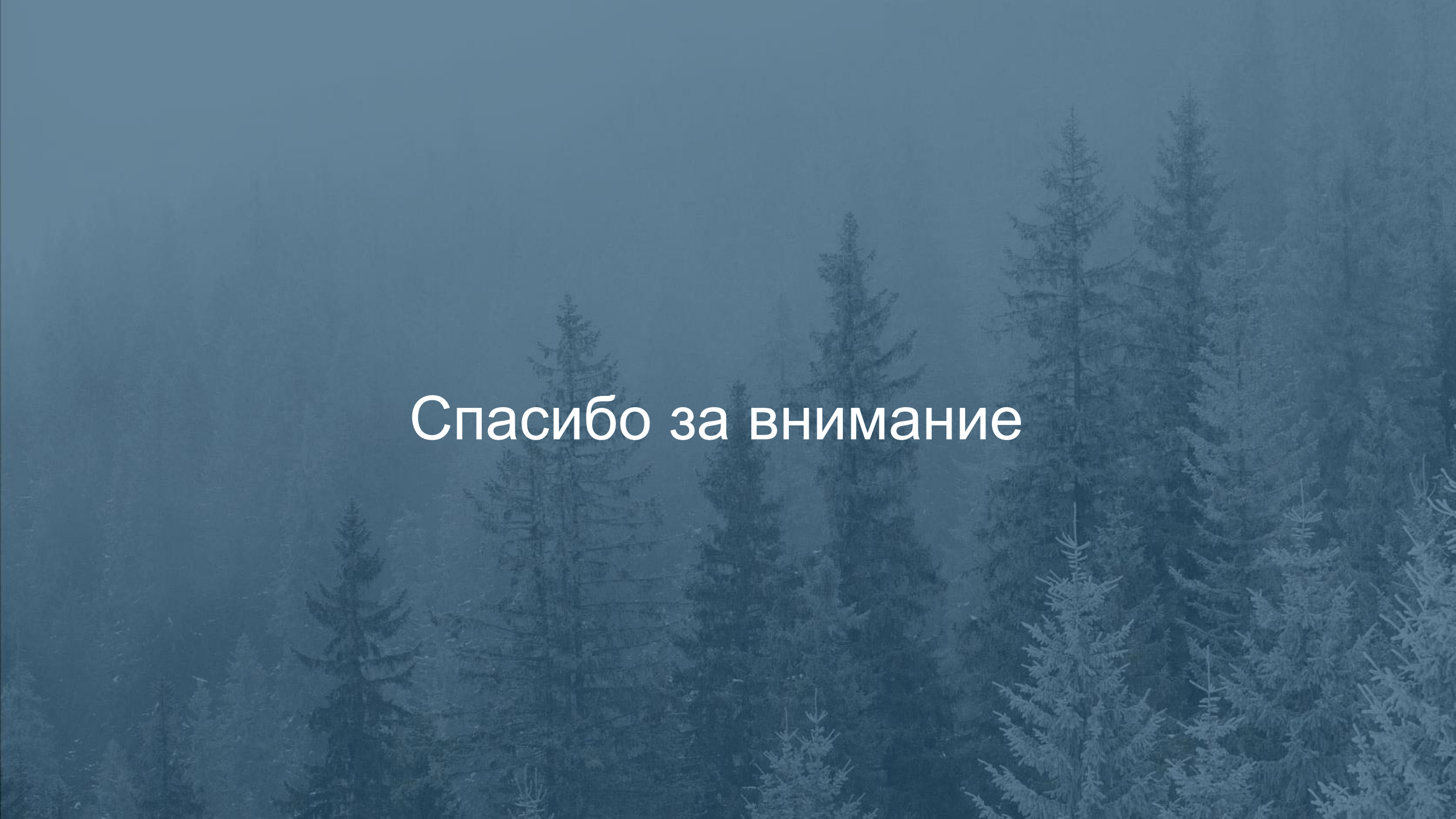
Вывод



Полученные результаты позволяют заключить, что размещение полупроводникового материала перед подложкой в структуре устройства является предпочтительным с точки зрения минимизации негативного воздействия на его кристаллическую структуру и электро-физические характеристики. Такой подход может способствовать увеличению долговечности и радиационной стойкости полупроводникового устройства, что подтверждается наблюдаемыми вероятностями и эффектами, выявленными в ходе моделирования.

Заключение

В целом, результаты анализа позволяют лучше понять влияние нейтронного излучения на материал и его потенциальные последствия для устройств на его основе. В дальнейшем планируется добавление магнитного поля и высоких температур в моделировании, сравнение влияния высокоэнергичного нейтронного потока на сложные полупроводниковые гетероструктуры PHEMT, InP HEMT, MHEMT.



Спасибо за внимание