

# Валидационные расчеты задач переноса нейтрального излучения с использованием кода ODETTA-F

**Игорь Андреевич Игнатъев**

аспирант 3-го года обучения, инженер лаб. №74 Физики реактора

Научный руководитель: **Валерий Павлович Березнев**

к.т.н., научный сотрудник лаб. №74 Физики реактора

Всероссийская научно-техническая конференция

«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики»

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск

28-31 мая 2024 года

# Актуальность



- ФП №3 «Разработка технологий управляемого термоядерного синтеза и инновационных плазменных технологий в рамках федерального проекта» в части разработки расчетных кодов для обеспечения безопасности установок УТС и их элементов и систем
- Отсутствие аттестованных кодов для расчета переноса нейтронного и фотонного излучений в установках УТС
- Преимущество CAD-моделирования для создания сложных и детализированных моделей

# Цель и задачи

## Матрица V&V

- Обзор существующих данных по проведенным экспериментам и численному моделированию
- Подготовка матрицы верификации и валидации расчетного кода ODETTA-F

## Модели

- Подготовка расчетных моделей

## Расчеты

- Проведение тестовых расчетов и сравнение с результатами эксперимента / расчета

## Код

- Доработка расчетного кода ODETTA-F

## Аттестация

- Аттестация кода ODETTA-F для расчета переноса нейтронного и фотонного излучений в защитных композициях термоядерных установок и гибридных систем

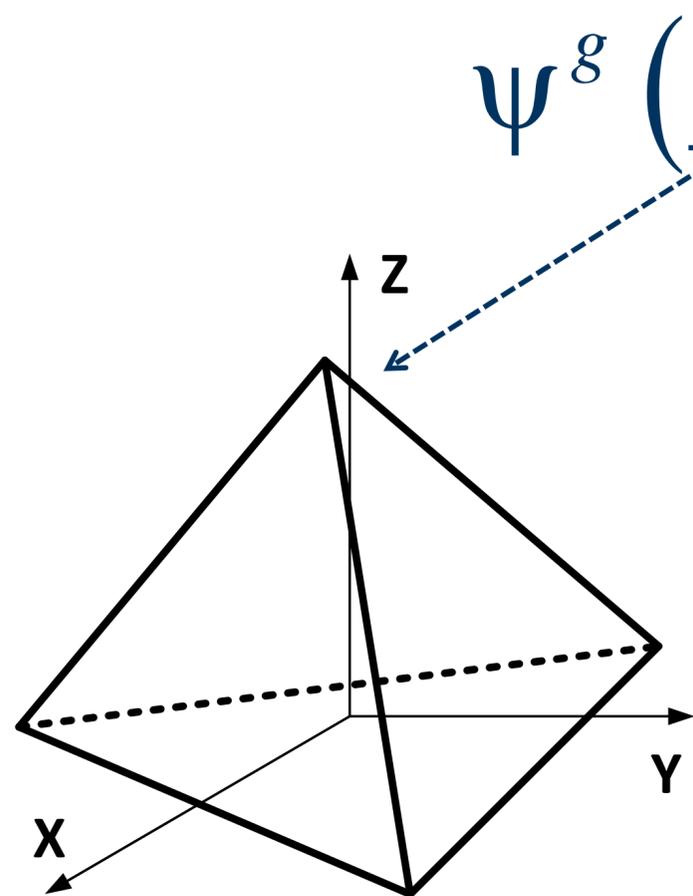
Доработка / уточнение  
расчетных моделей

**Цель работы:** валидация расчетного кода ODETTA-F на экспериментах из базы данных SINBAD

# Расчетный код ODETTA-F

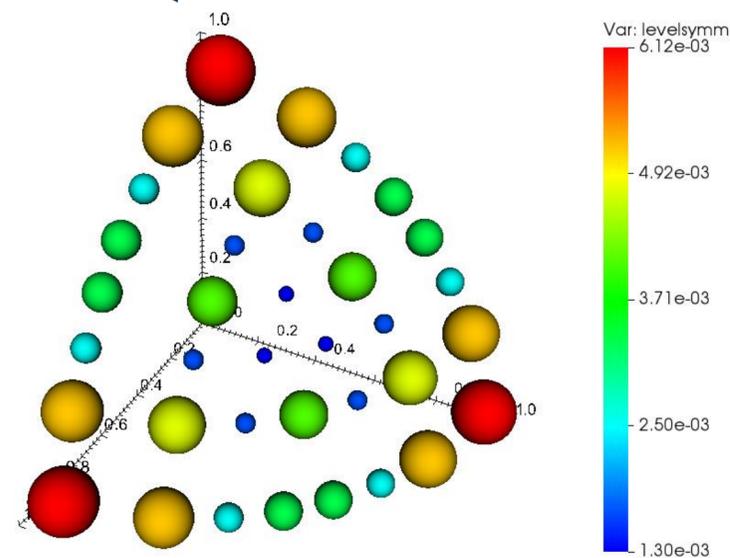


Базовая версия – код **ODETTA** (<http://ibrae.ac.ru/code/odetta/>), разработанный в проекте «Коды Нового Поколения» проектного направления «Прорыв» и аттестованный в Ростехнадзоре применительно к РУ БР

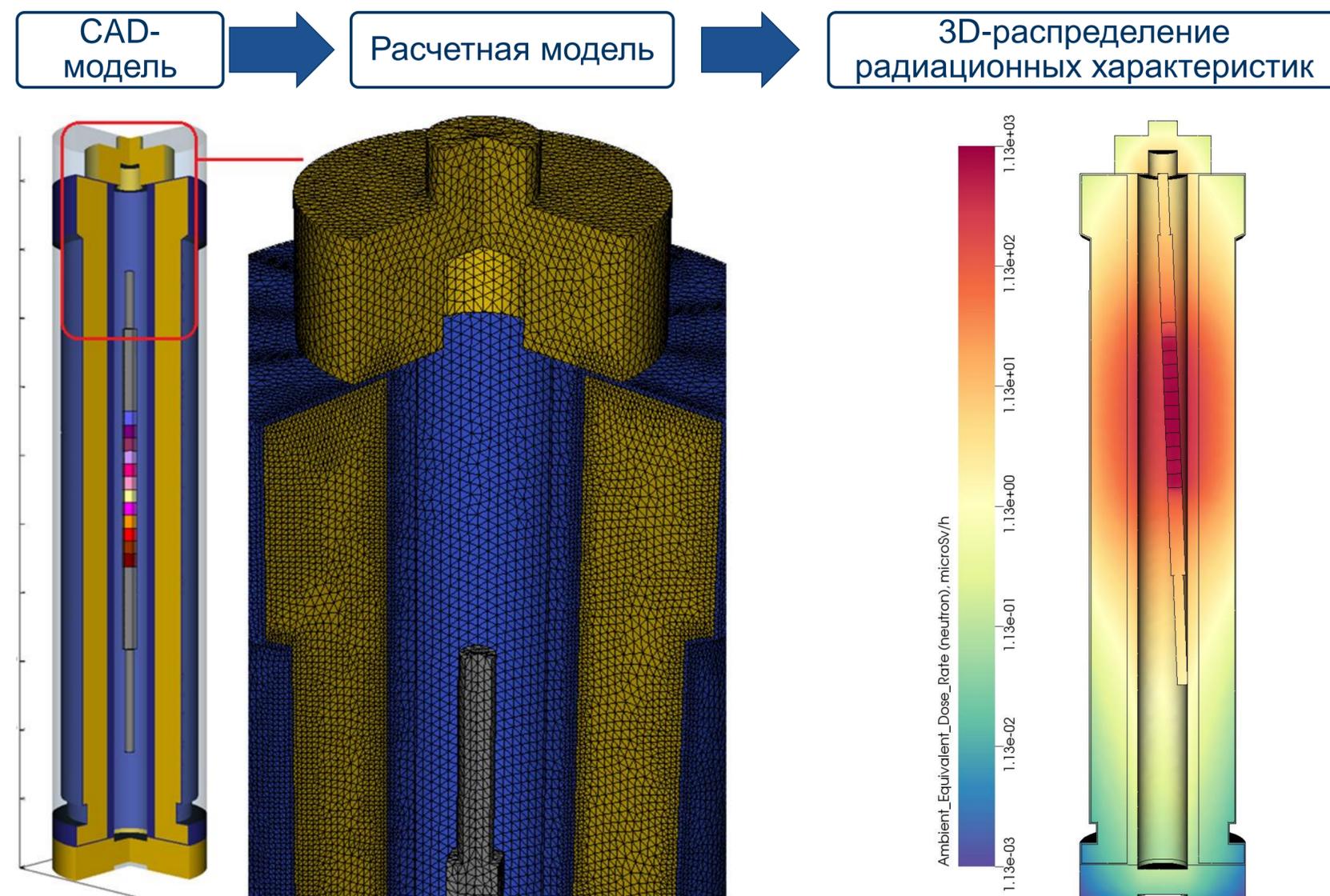


линейный разрывный метод конечных элементов

$$\psi^g(\mathbf{r}, \Omega)$$



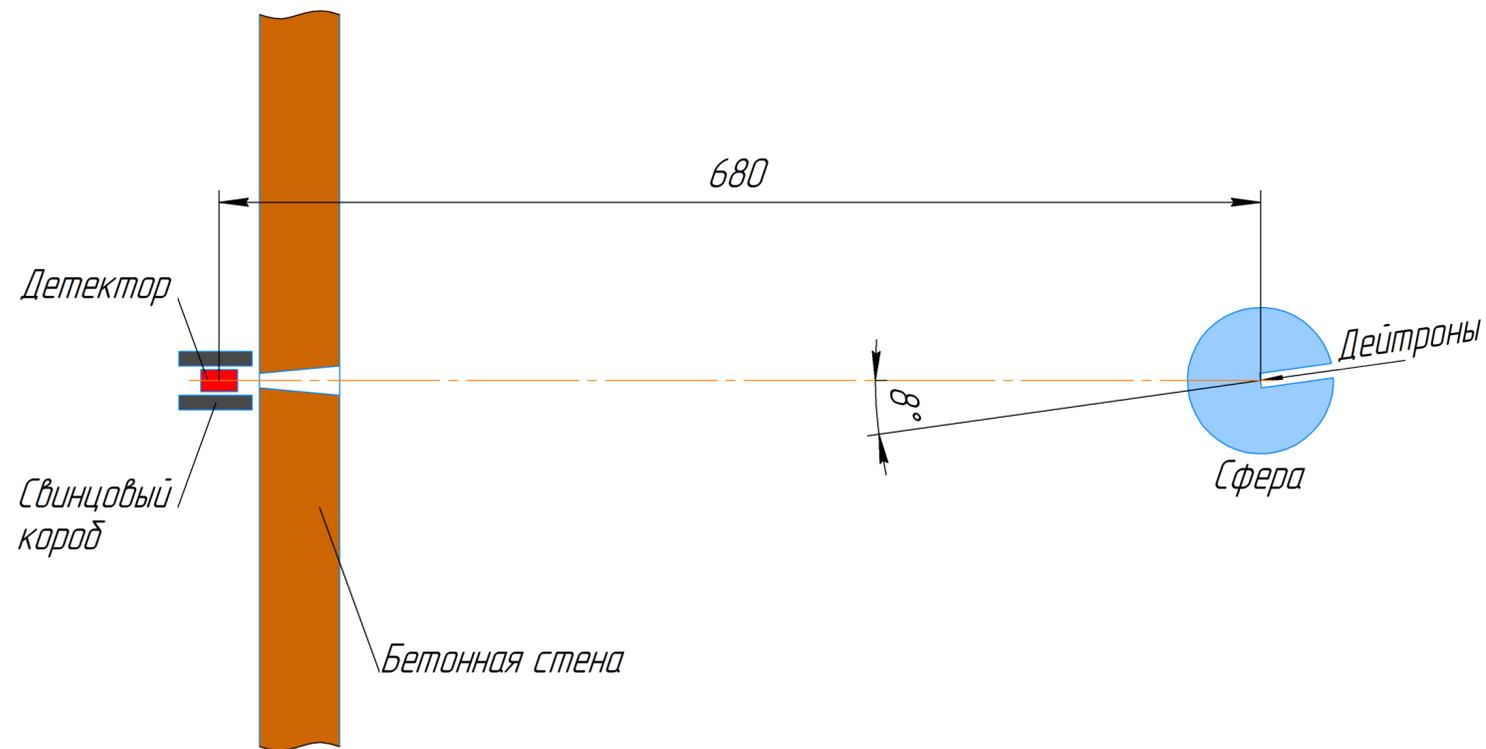
метод дискретных ординат с анизотропным рассеянием



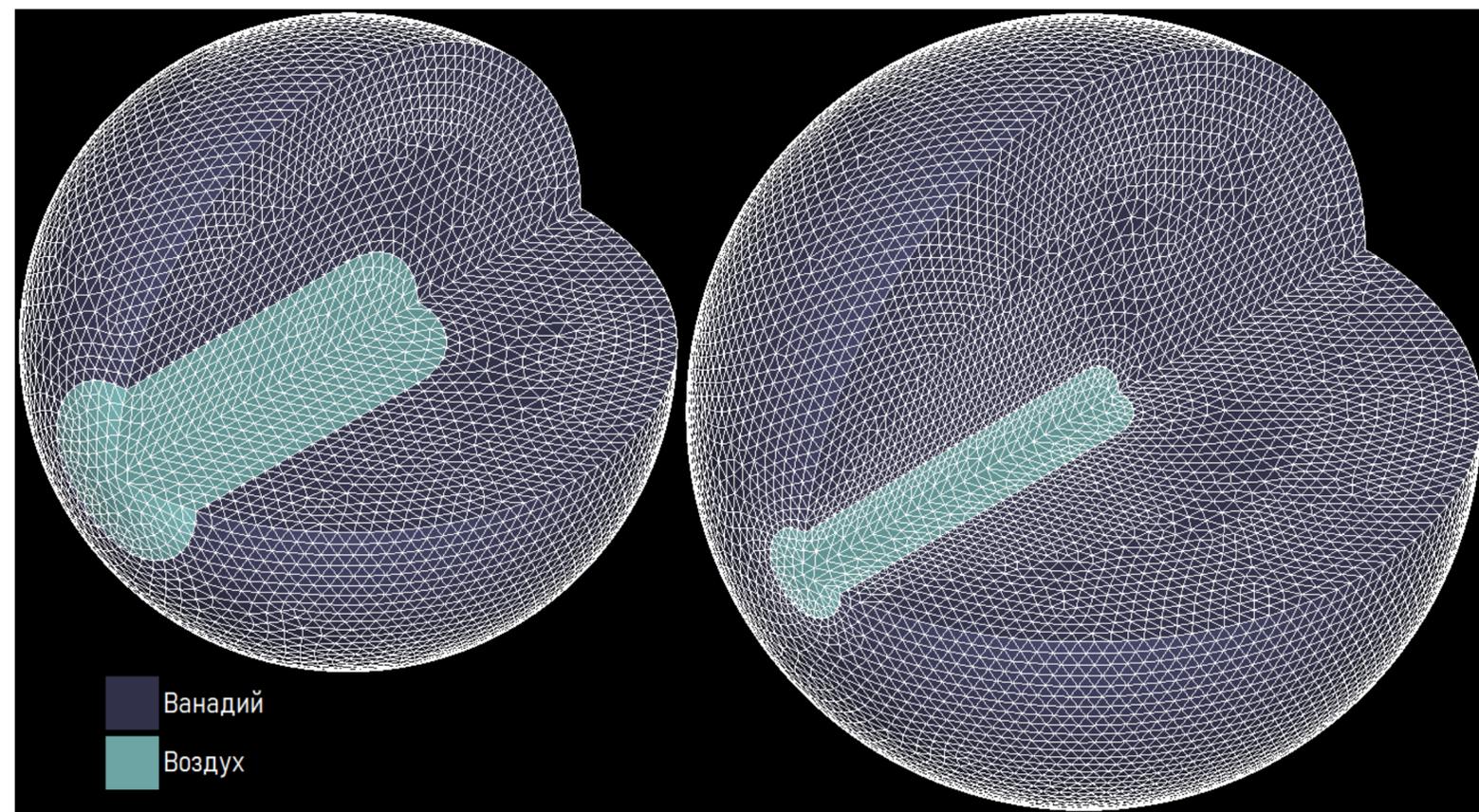
# Эксперименты ФЭИ с металлическими сферами



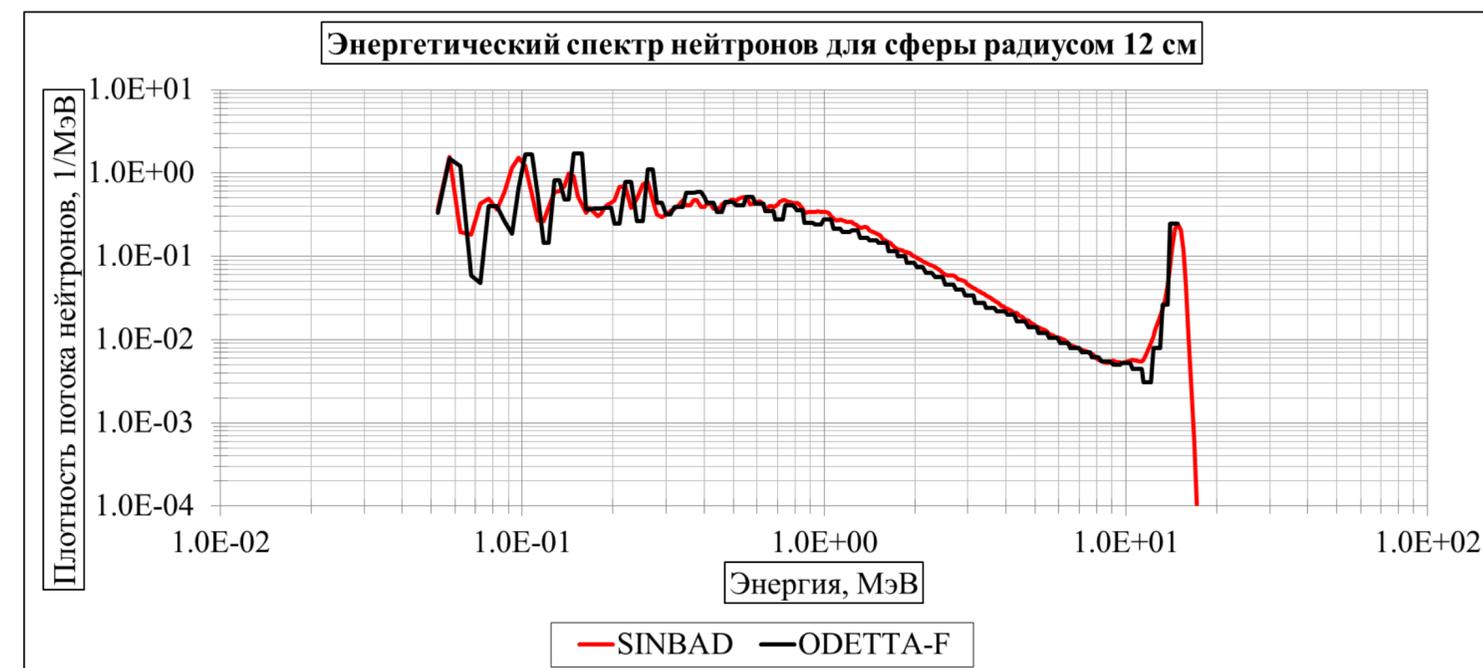
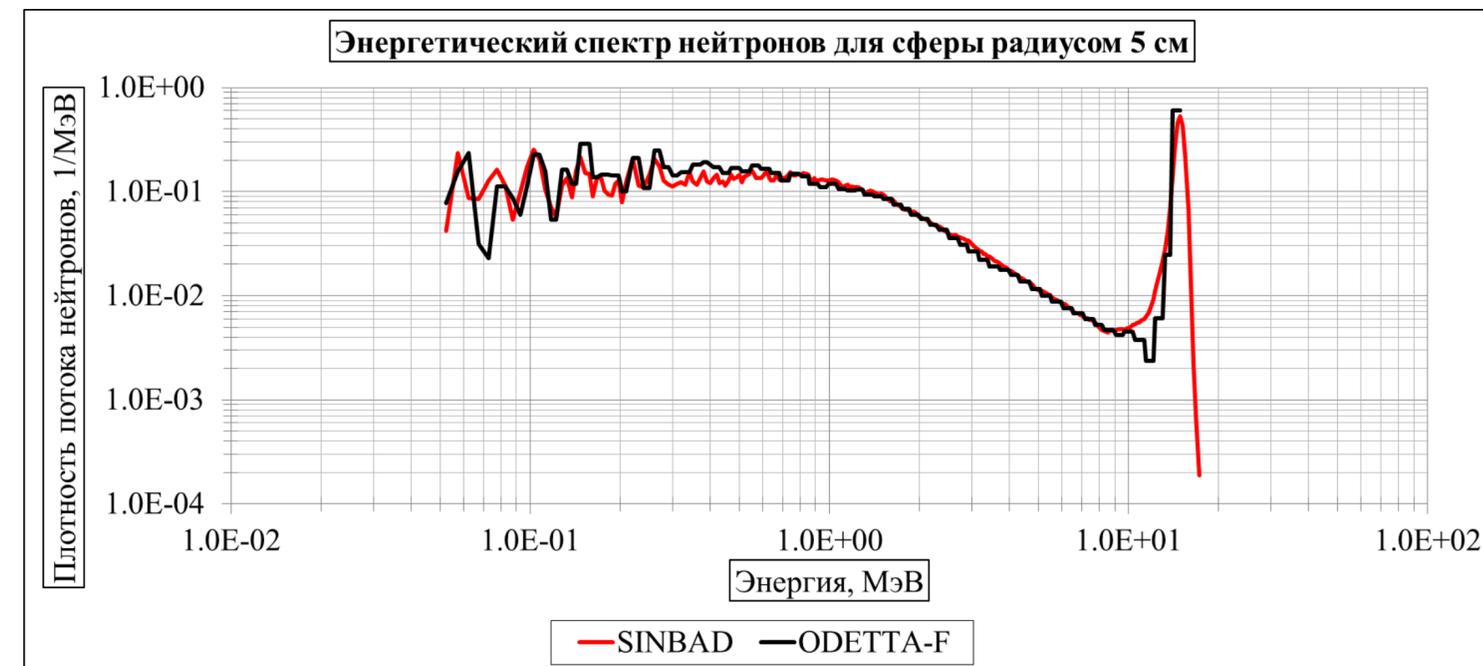
- Сферы из ванадия / железа / висмута
- Источник в центре сферы: нейтроны **D-T-реакции (14,1 МэВ)** / нейтроны деления  **$^{252}\text{Cf}$**
- Определение энергетического спектра нейтронов на расстоянии **680 см** под углом  **$8^\circ$**  к оси отверстия / **558,5 см** под углом  **$45^\circ$**  к оси отверстия



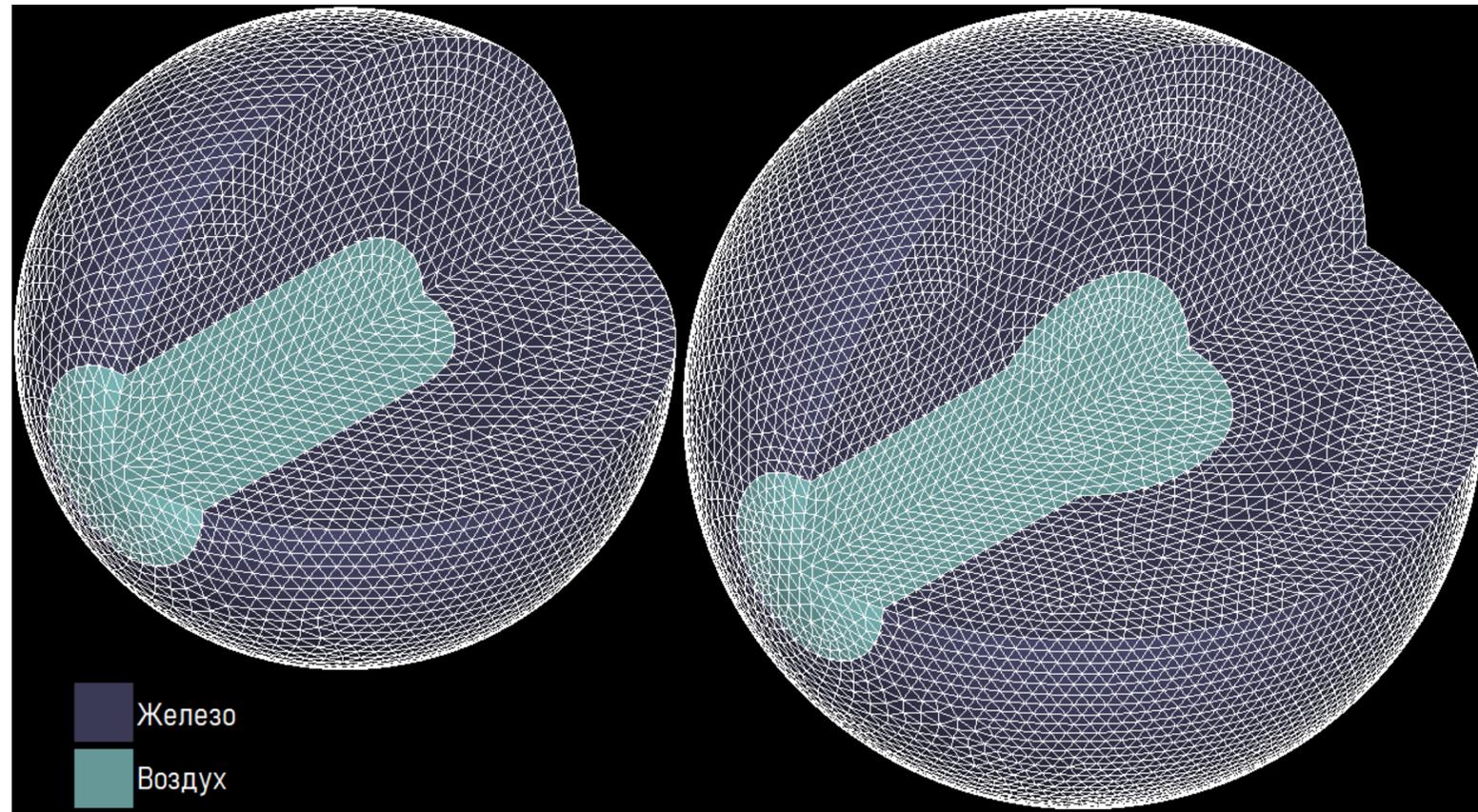
# Ванадиевые сферы (NEA-1517/76)



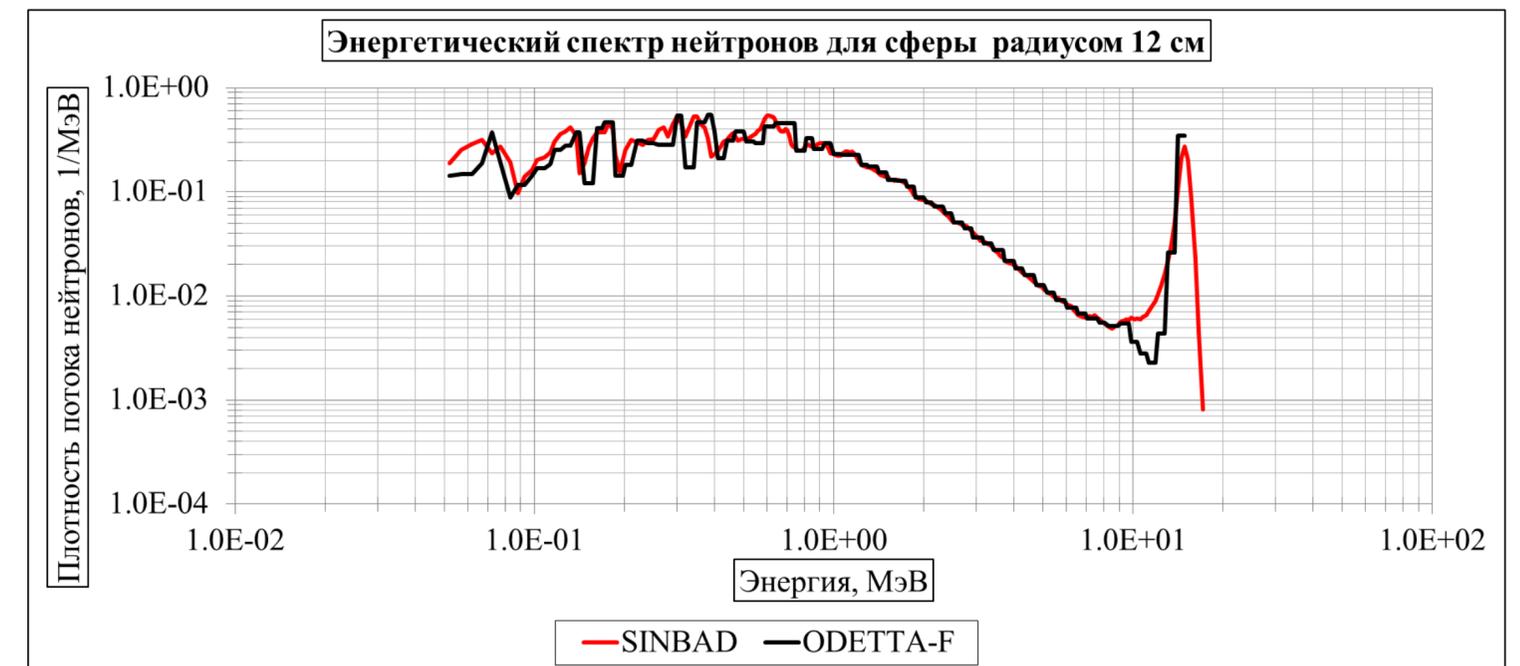
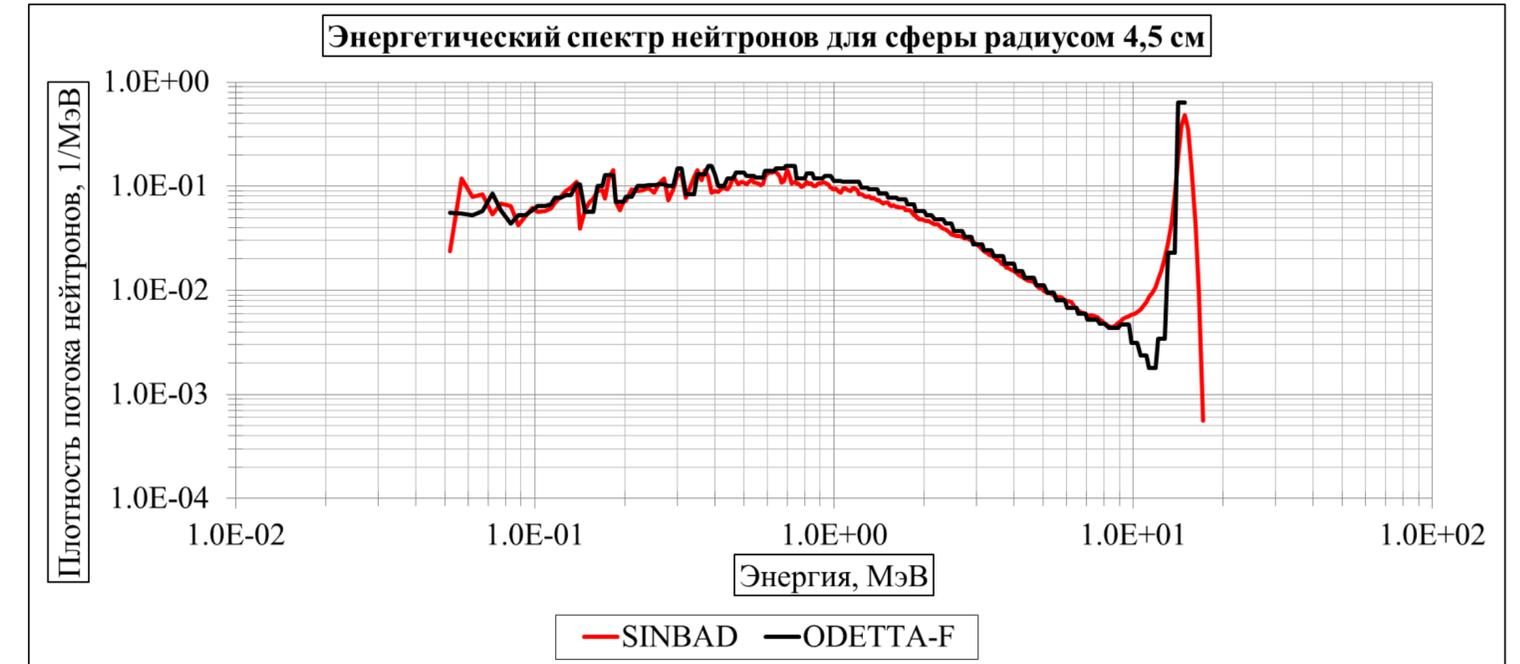
- $R_1 = 5$  см, расчетная сетка содержит ~102 тыс. узлов и ~580 тыс. ячеек
- $R_2 = 12$  см, расчетная сетка содержит ~94 тыс. узлов и ~532 тыс. ячеек
- Источник:  $T(D, n)^4\text{He}$ ,  $E_n = 14,1$  МэВ



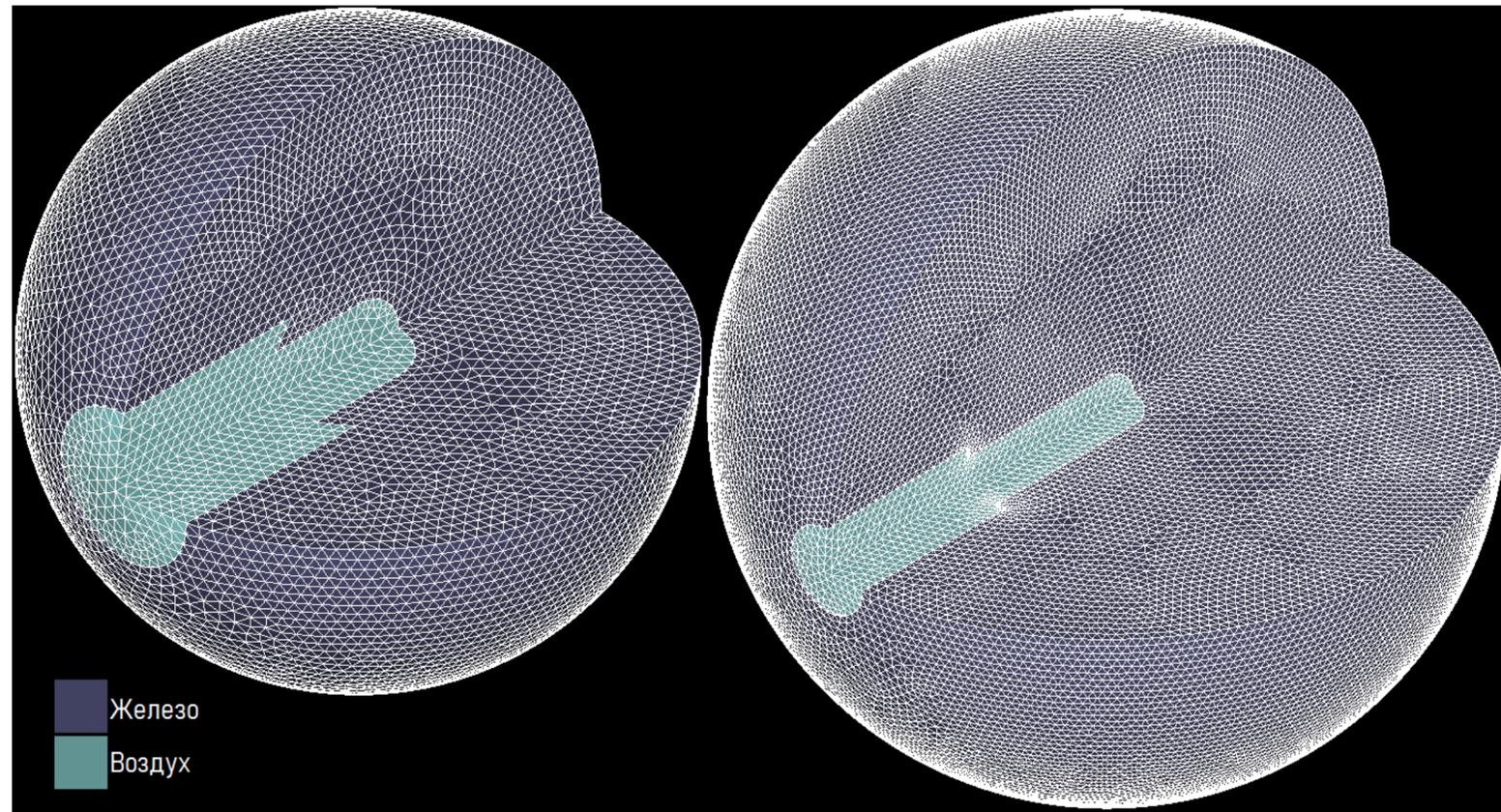
# Железные сферы (NEA-1517/75) (1/3)



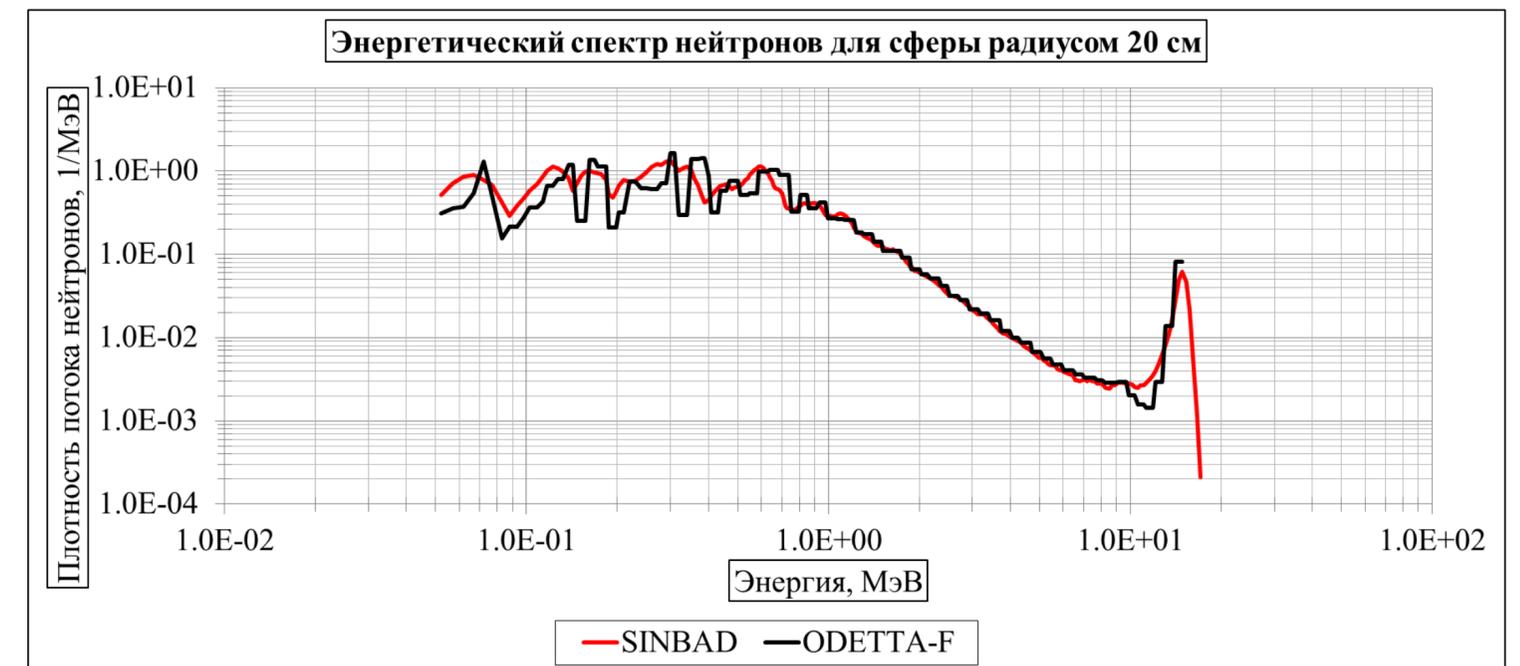
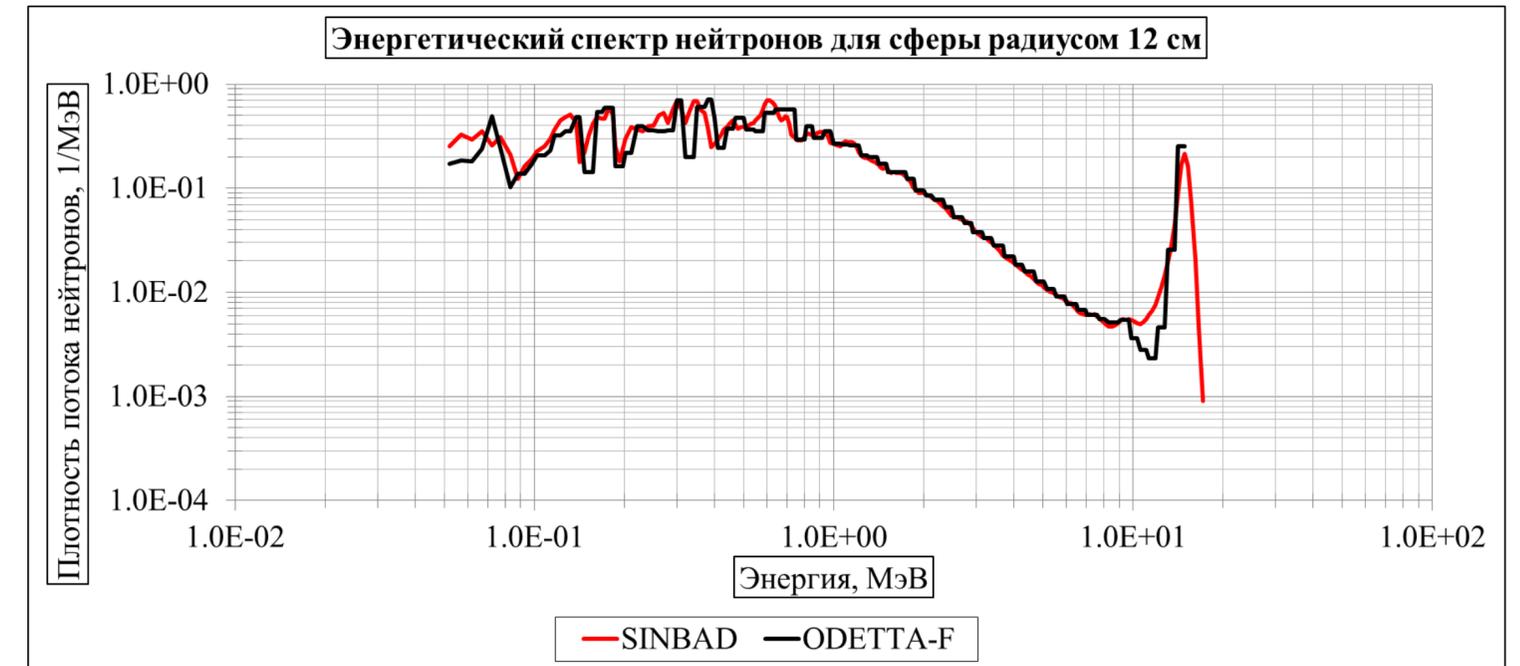
- $R_1 = 4,5$  см, расчетная сетка содержит ~18 тыс. узлов и ~91 тыс. ячеек
- $R_2 = 12$  см, расчетная сетка содержит ~90 тыс. узлов и ~507 тыс. ячеек
- Источник:  $T(D, n)^4\text{He}$ ,  $E_n = 14,1$  МэВ



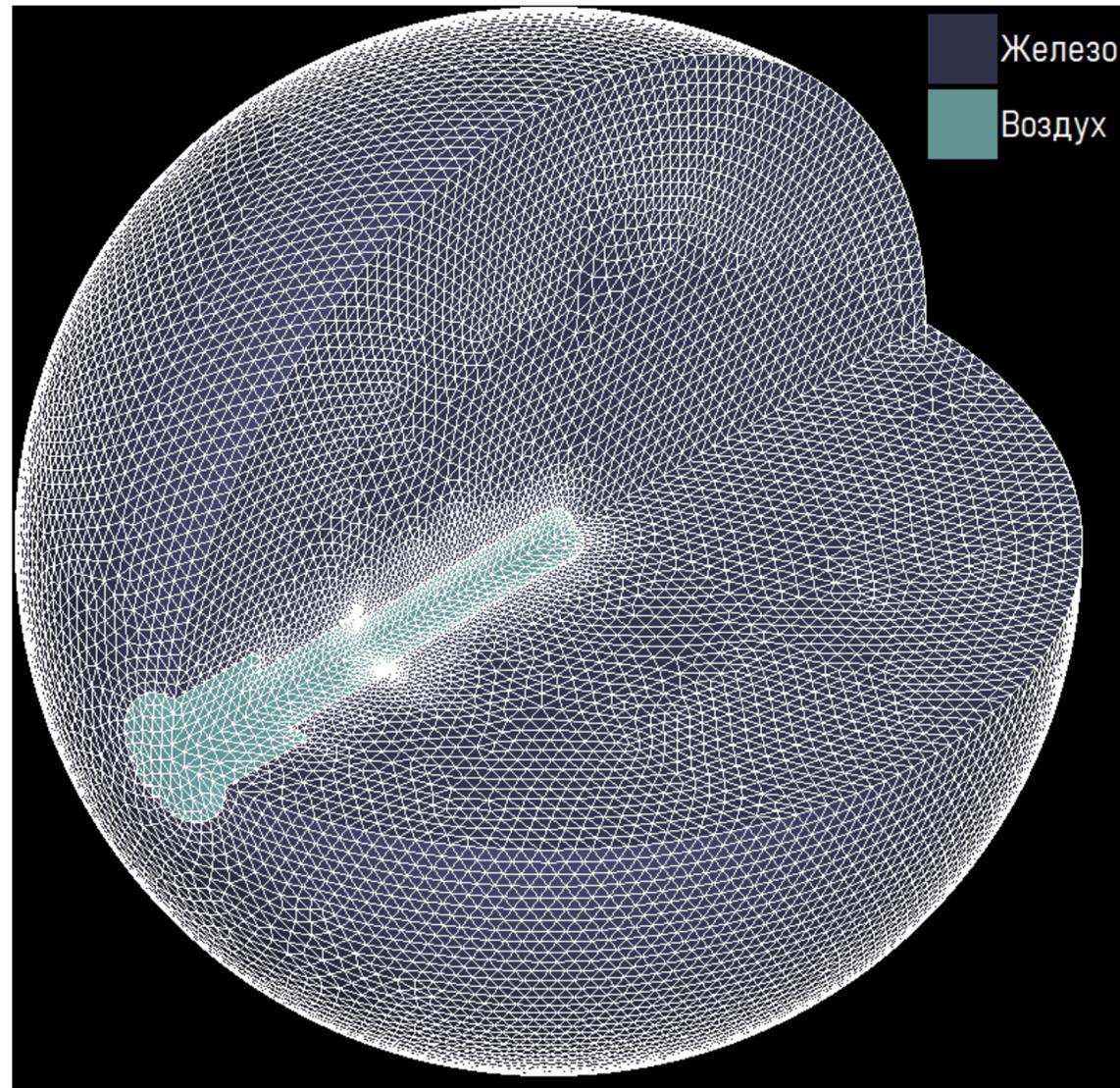
# Железные сферы (NEA-1517/75) (2/3)



- $R_3 = 12$  см, расчетная сетка содержит ~92 тыс. узлов и ~521 тыс. ячеек
- $R_4 = 20$  см, расчетная сетка содержит ~237 тыс. узлов и ~1,3 млн ячеек
- Источник: T (D, n)  $^4\text{He}$ ,  $E_n = 14,1$  МэВ

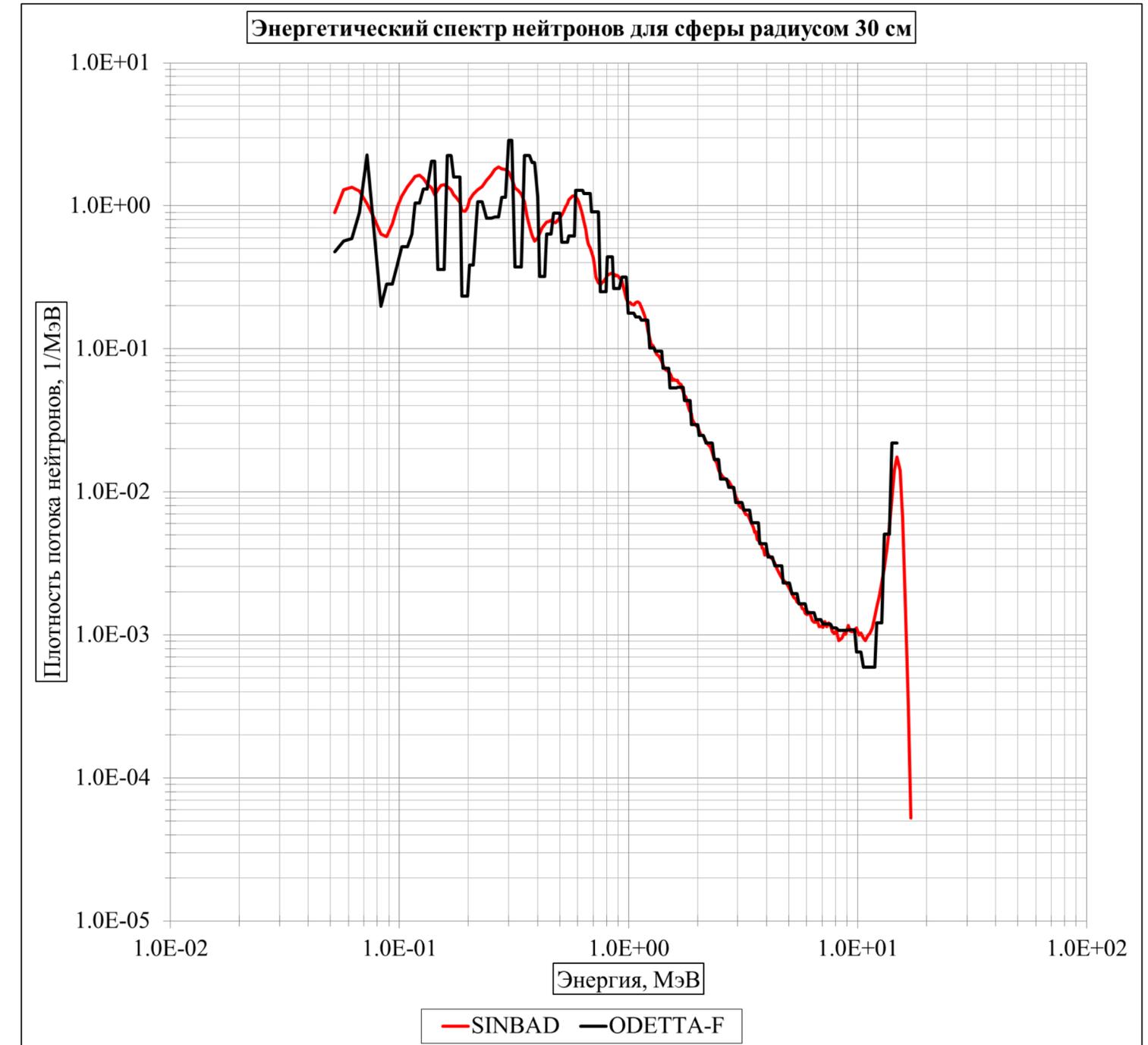


# Железные сферы (NEA-1517/75) (3/3)

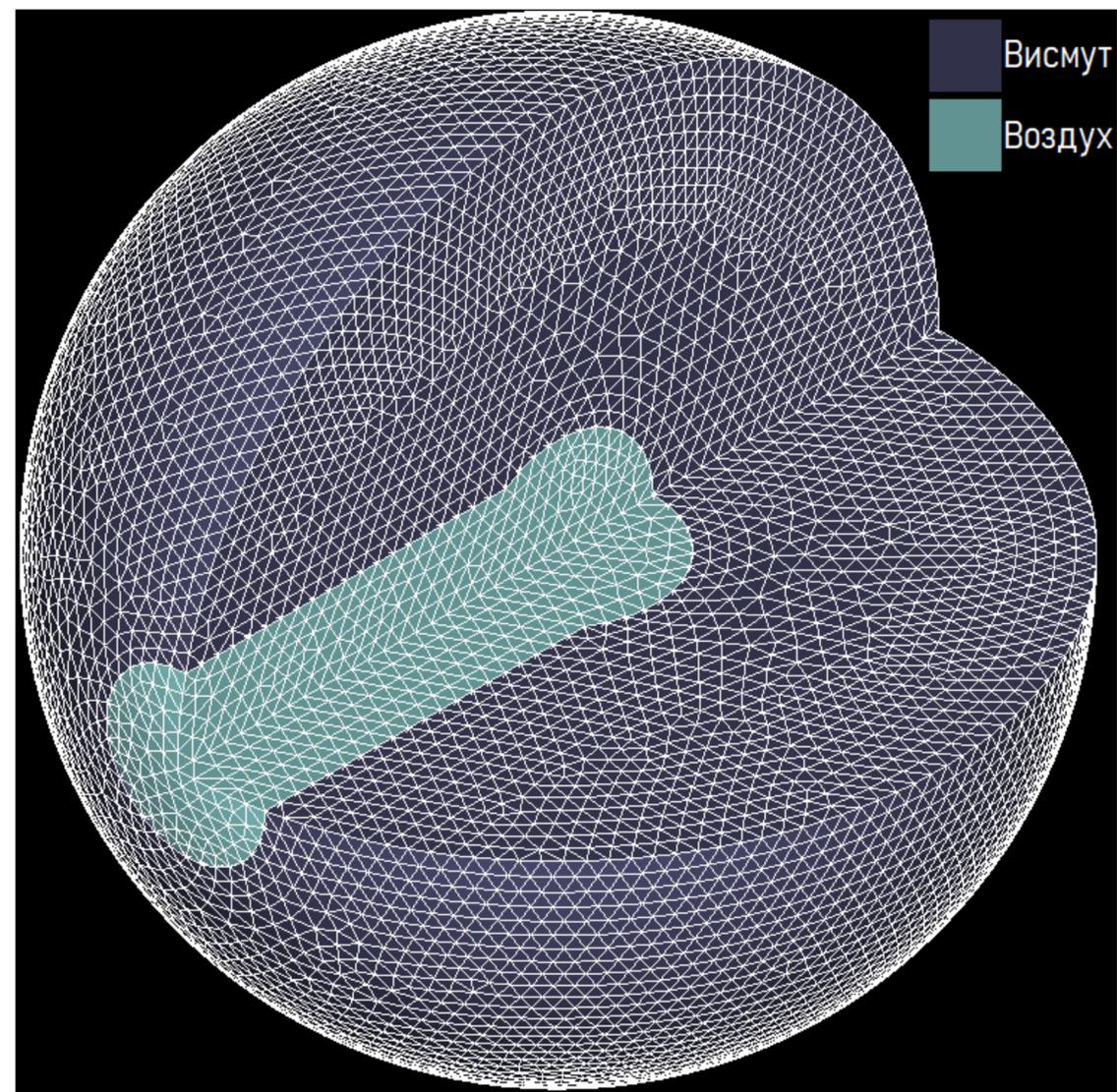


- $R_5 = 30$  см, расчетная сетка содержит ~161 тыс. узлов и ~898 тыс. ячеек

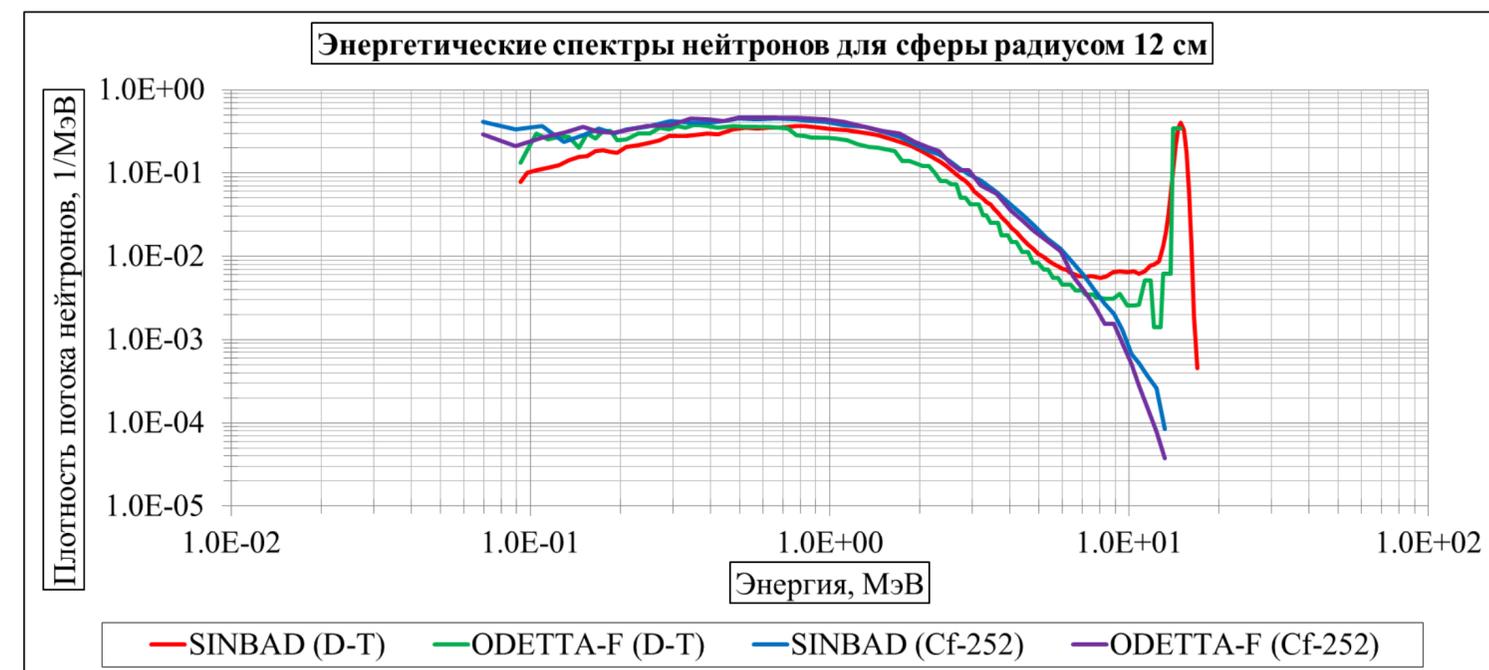
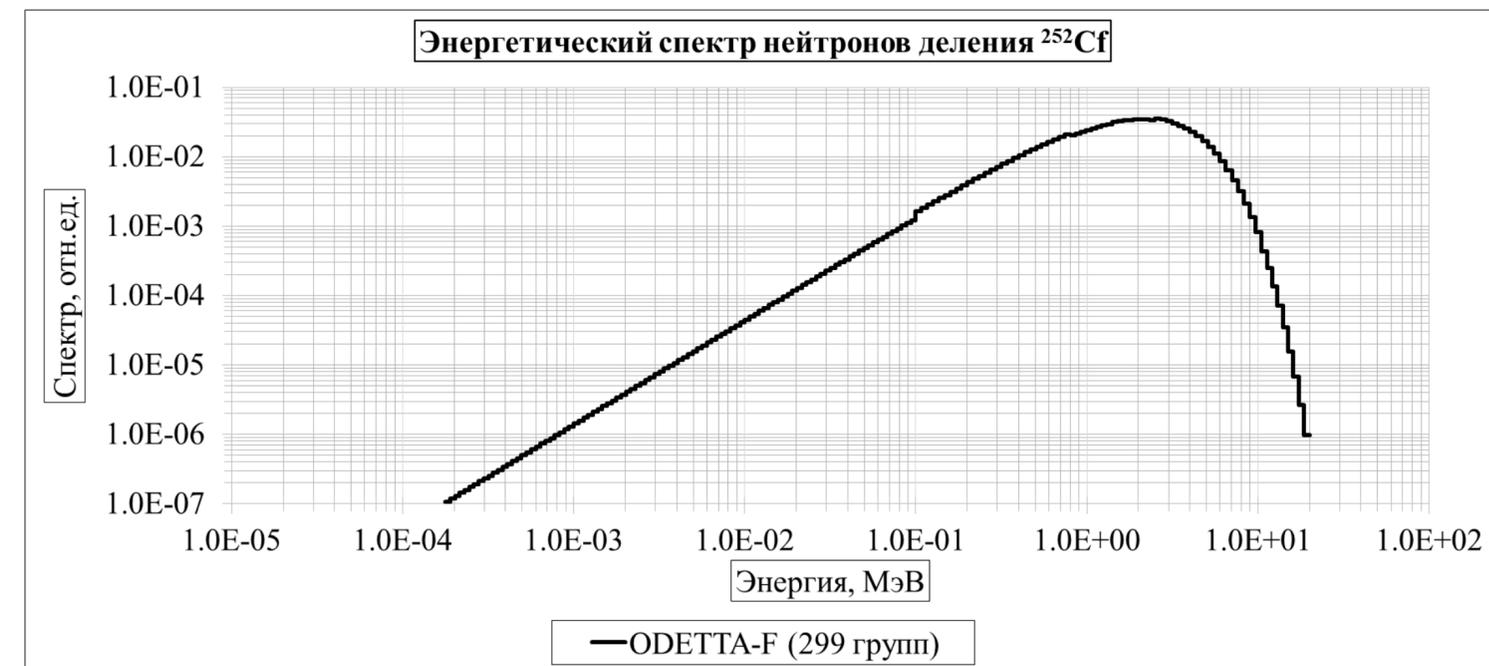
- Источник:  $T(D, n)^4\text{He}$ ,  $E_n = 14,1$  МэВ



# Висмутовая сфера (NEA-1517/87)



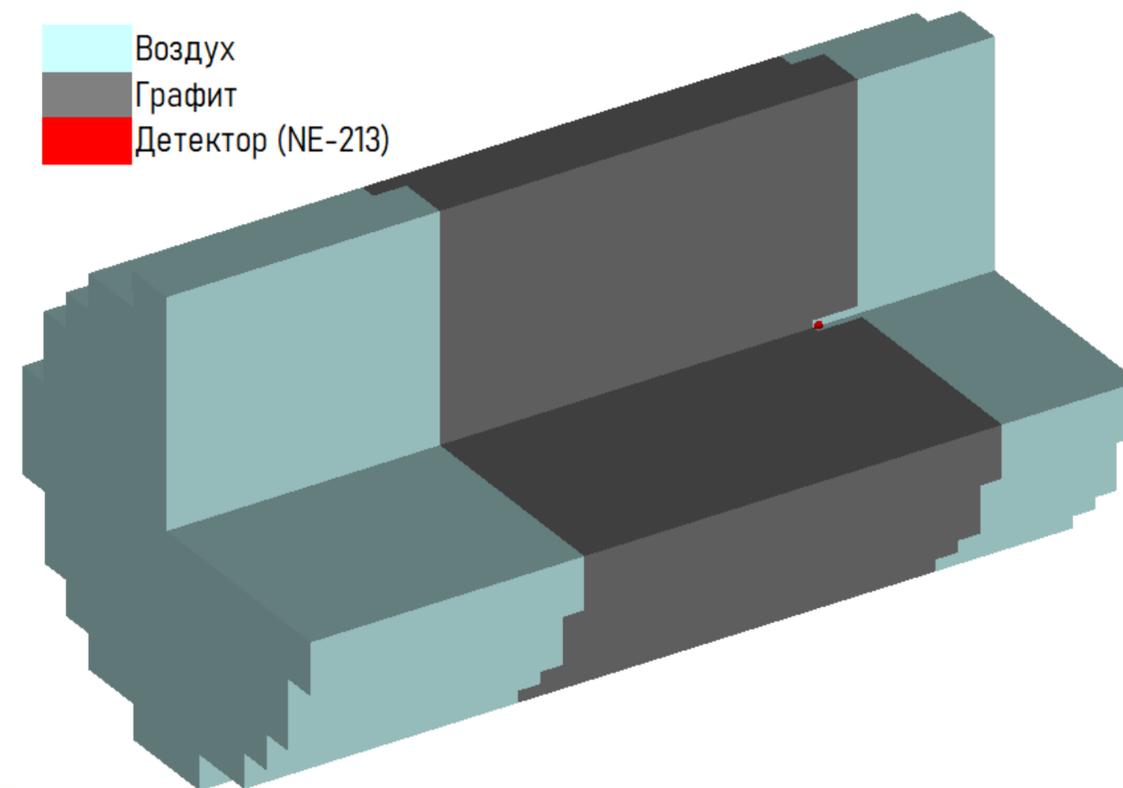
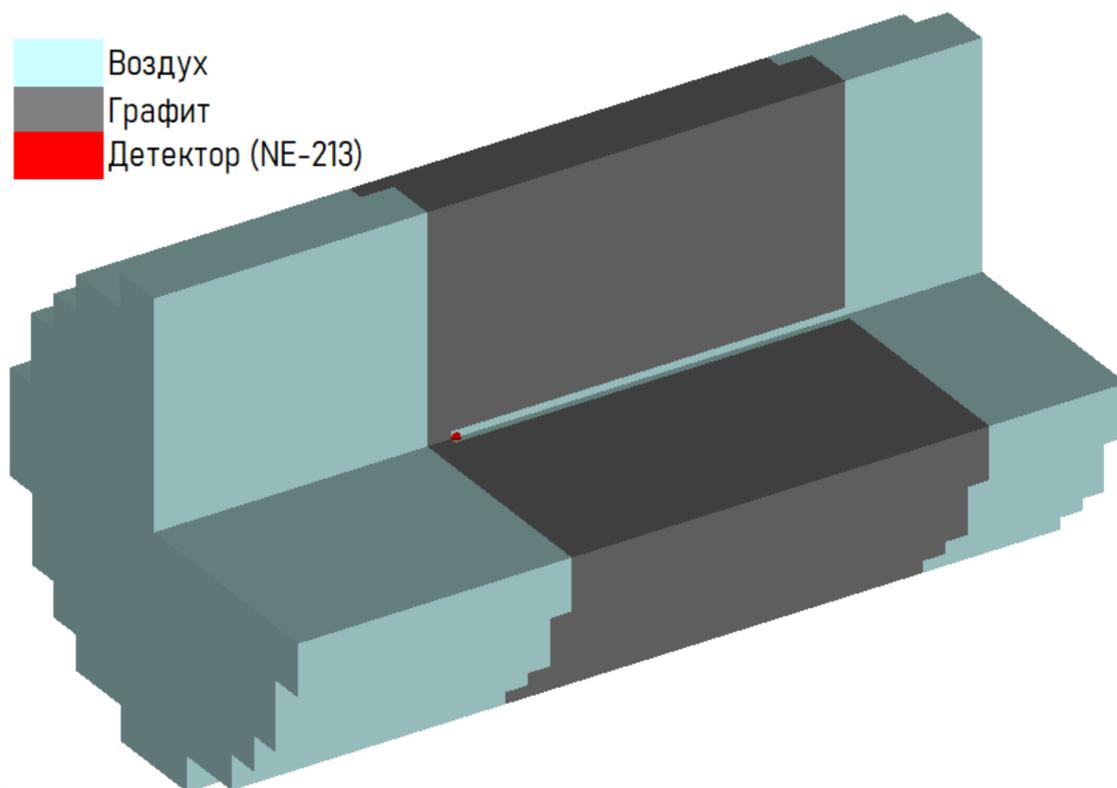
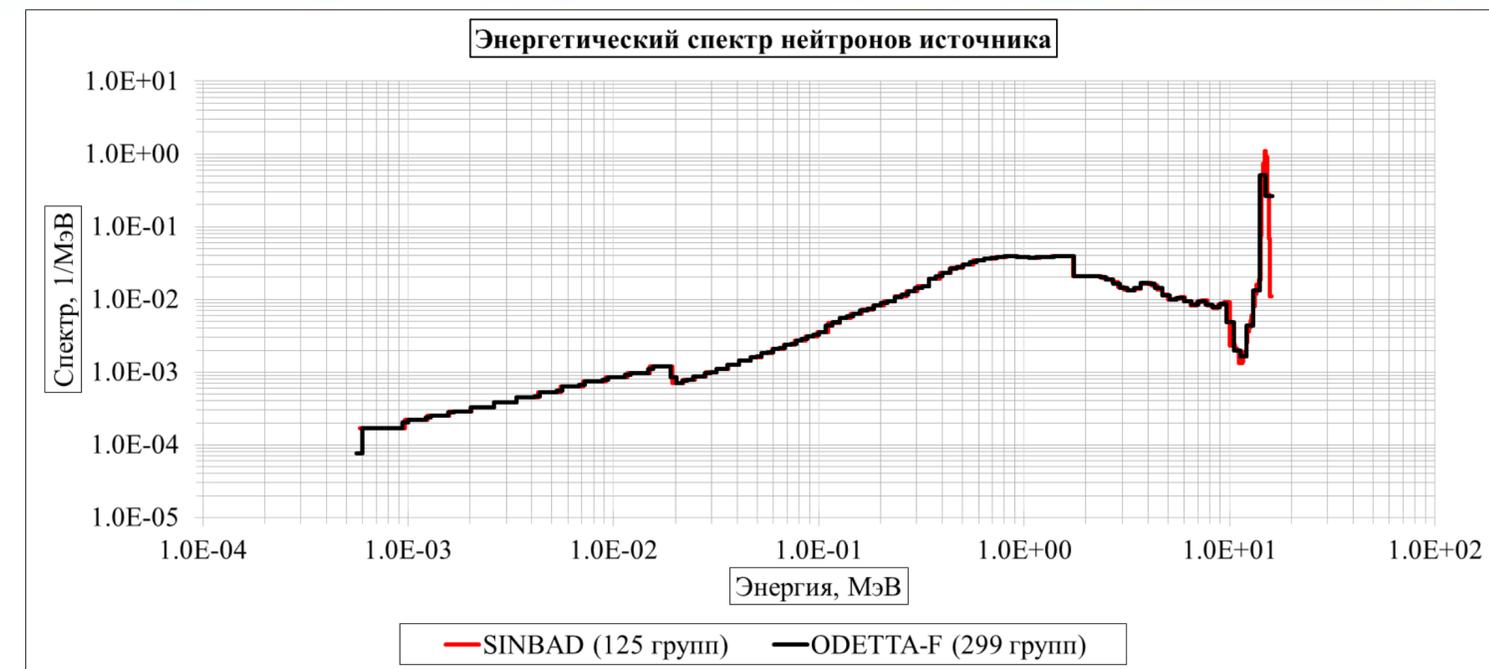
- **R = 12 см**, расчетная сетка содержит ~95 тыс. узлов и ~536 тыс. ячеек
- Источник: T (D, n)  $^4\text{He}$ ,  $E_n = 14,1$  МэВ /  $^{252}\text{Cf}$  (f, n)



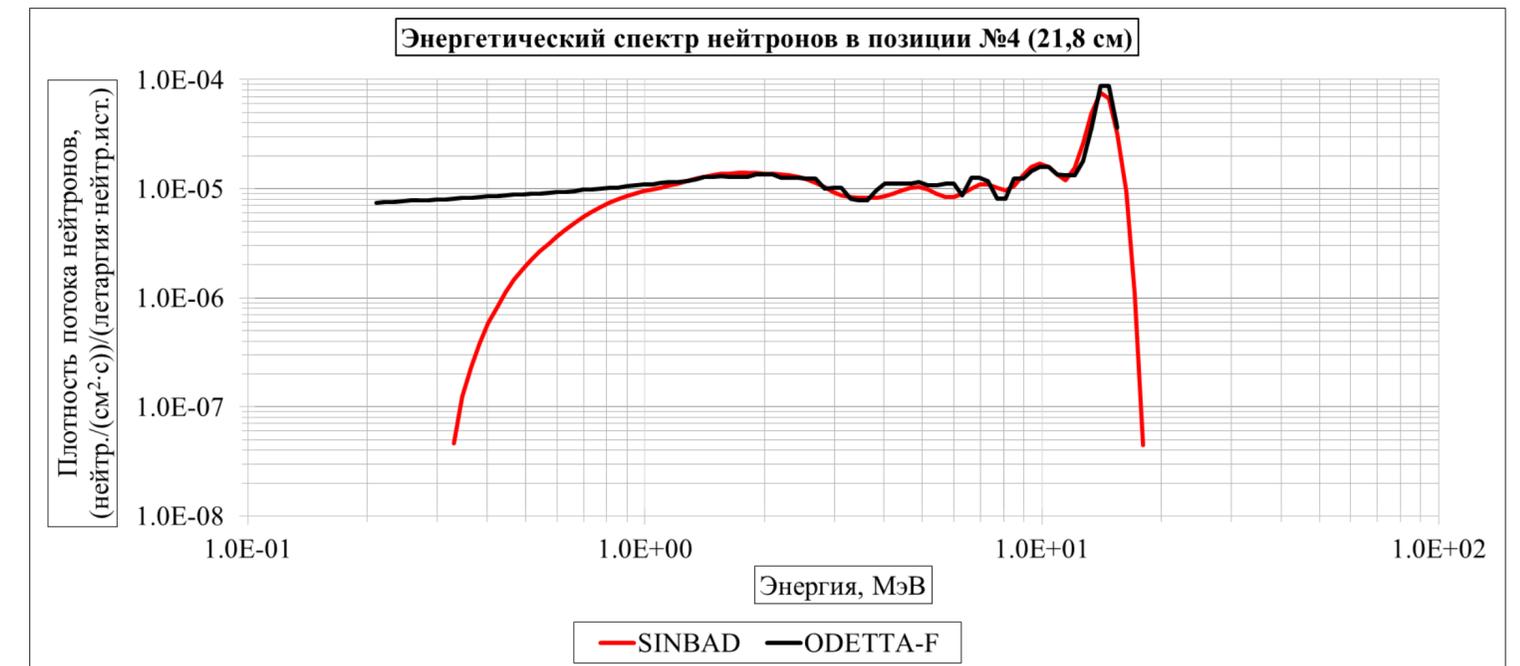
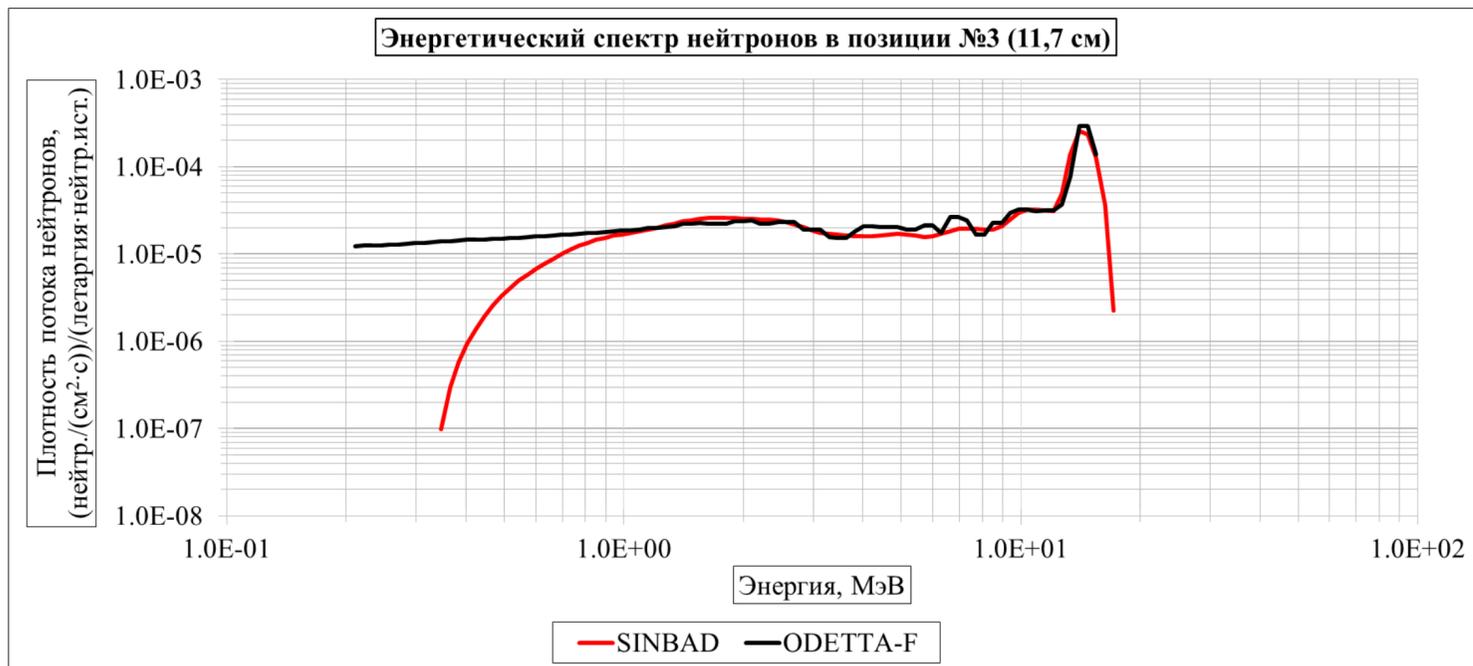
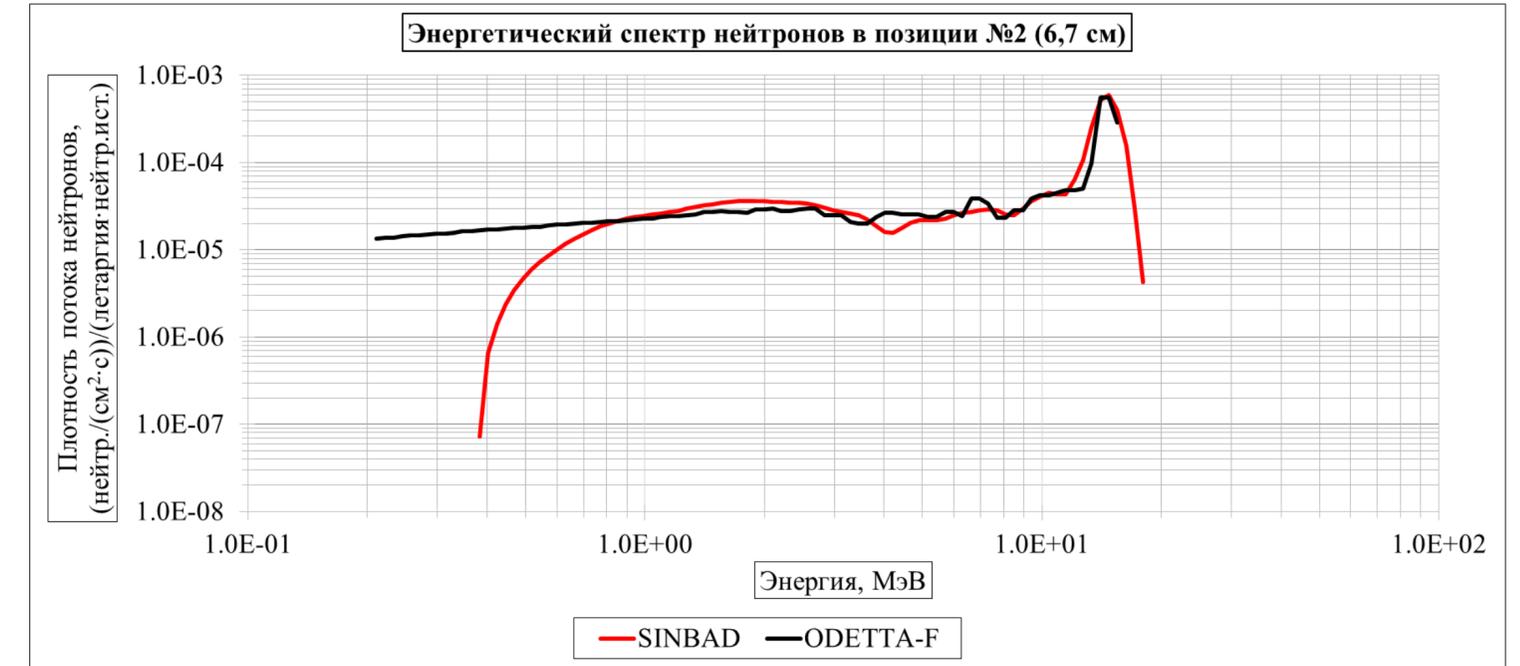
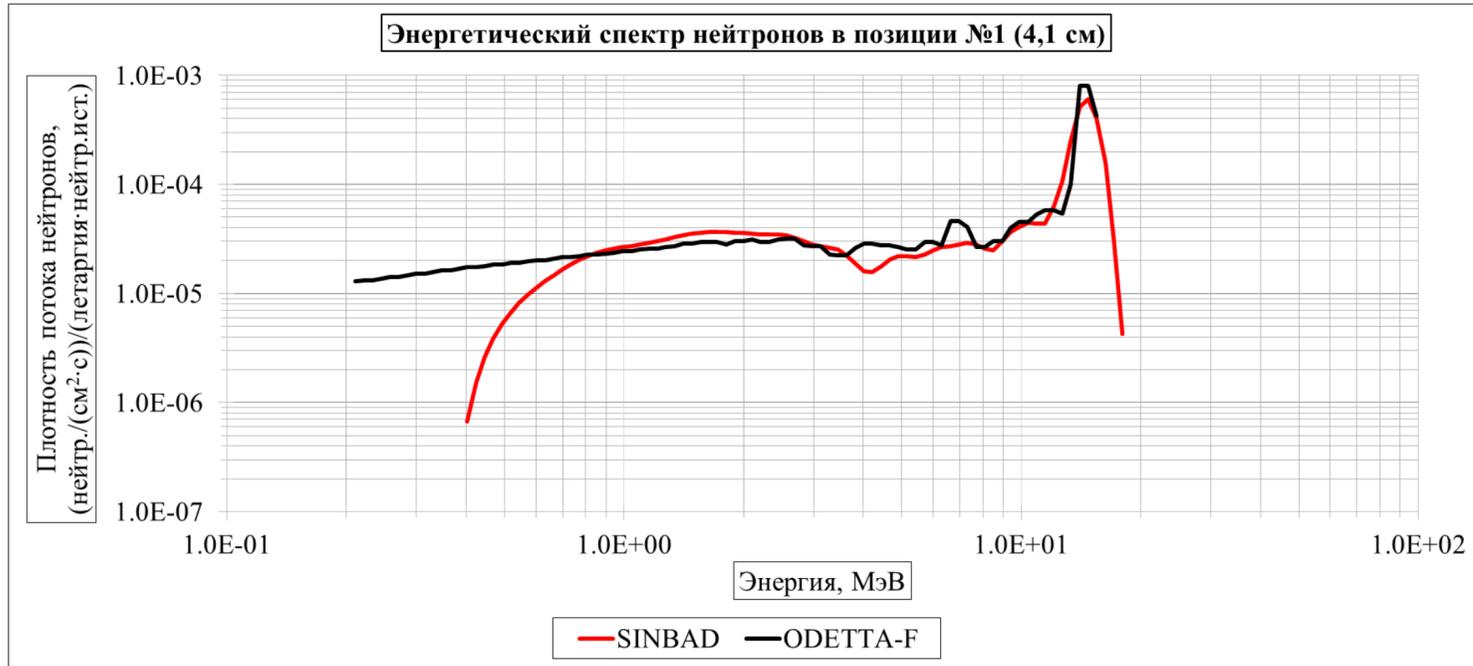
# FNS-эксперимент с графитовой сборкой (NEA-1553/72) (1/4)



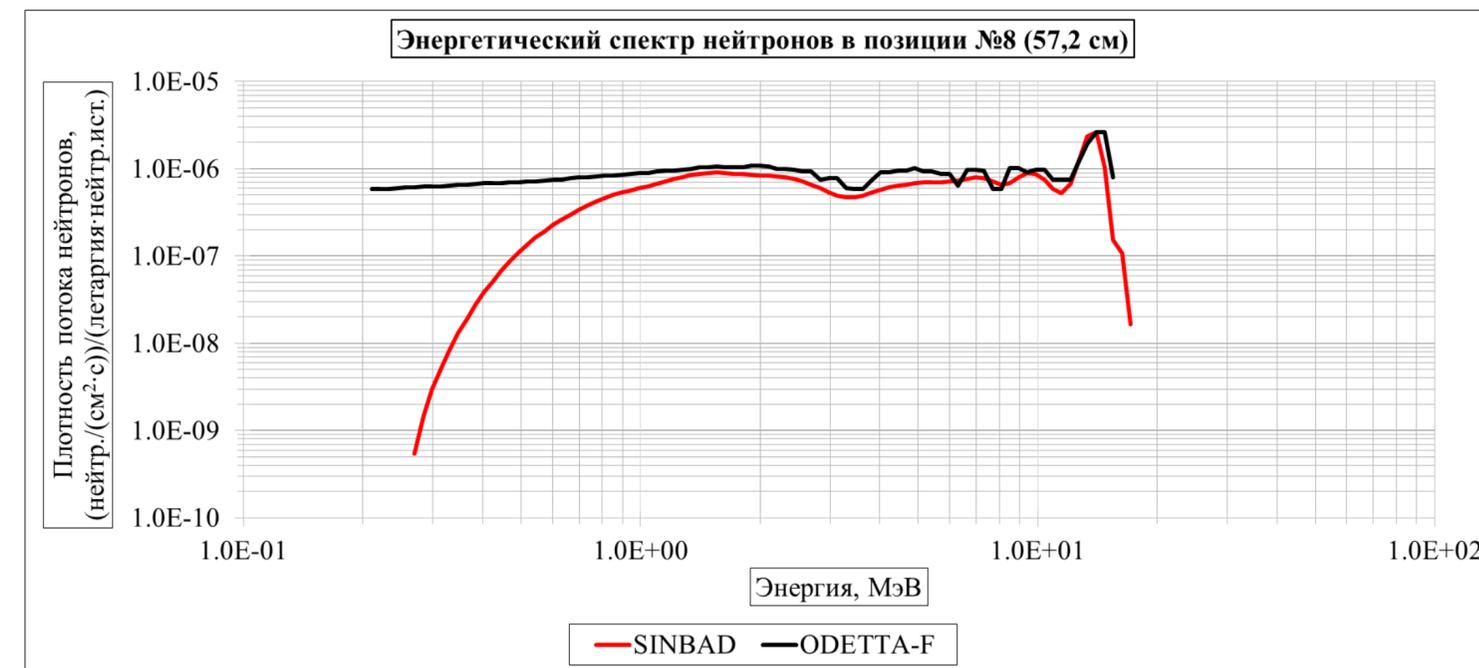
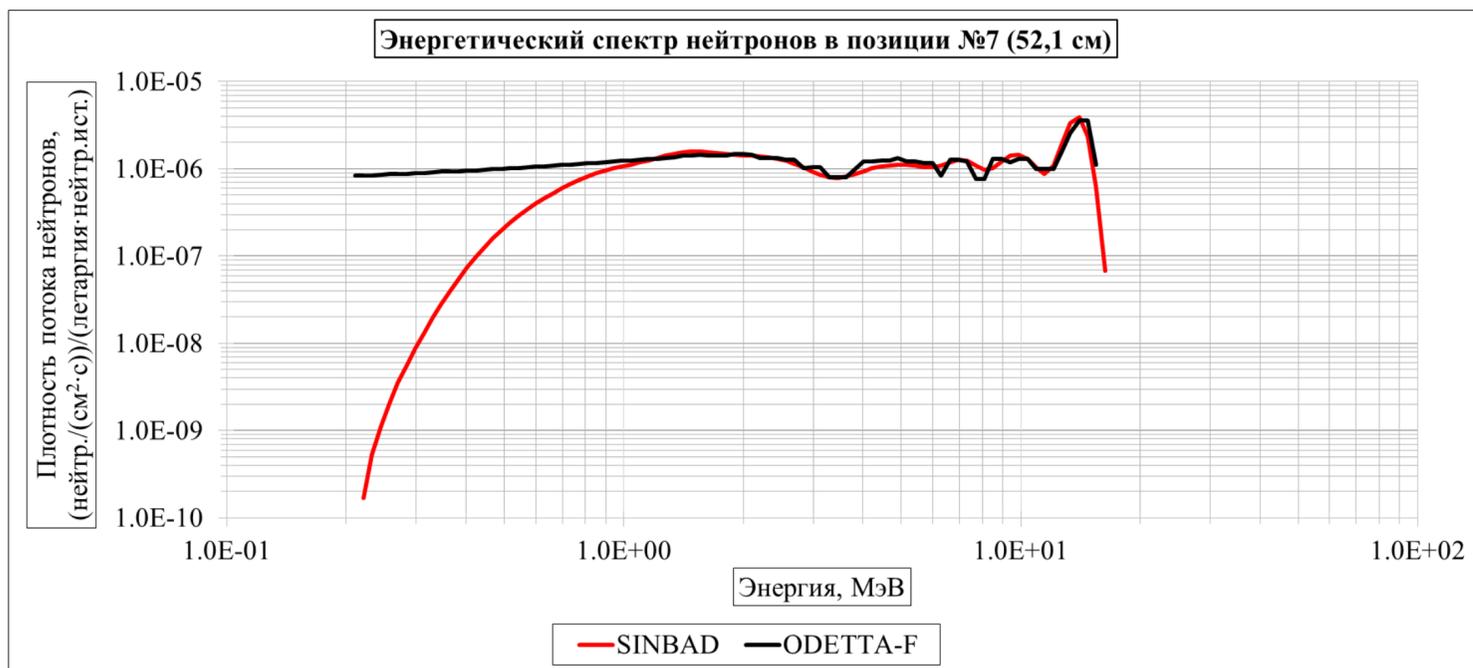
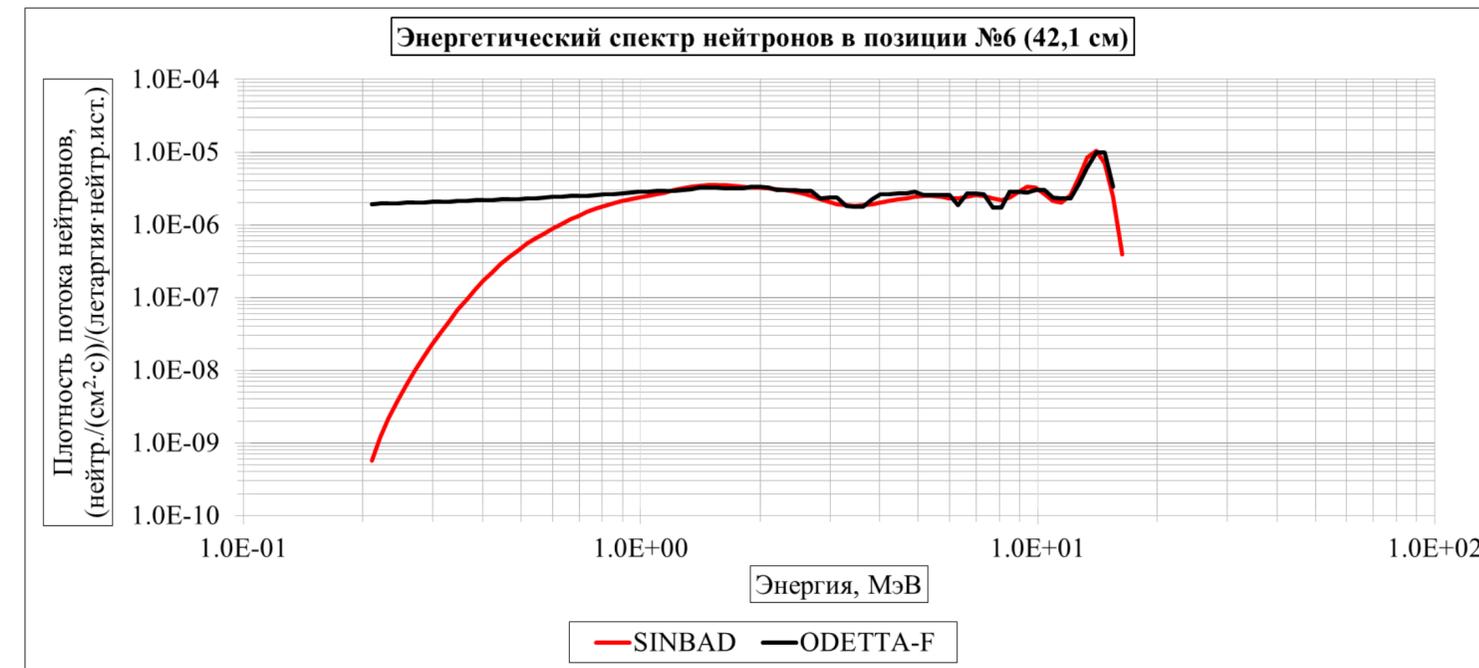
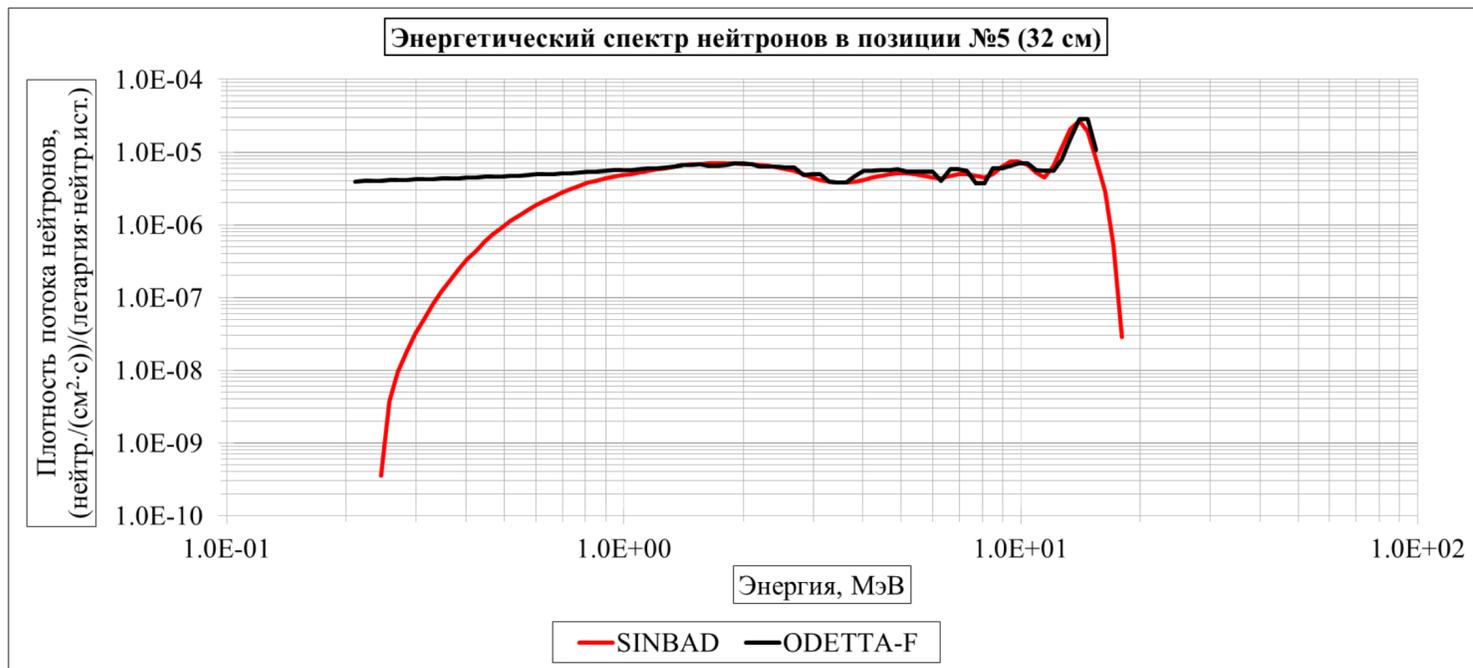
- Цилиндрическая сборка ( $R_{\text{ЭКВ}} = 31,4 \text{ см}$ ,  $H = 61 \text{ см}$ ) из графитовых блоков
- Источник: нейтроны **D-T**-реакции, на расстоянии **20 см** от сборки
- Определение энергетических спектров нейтронов и скоростей реакций по глубине сборки



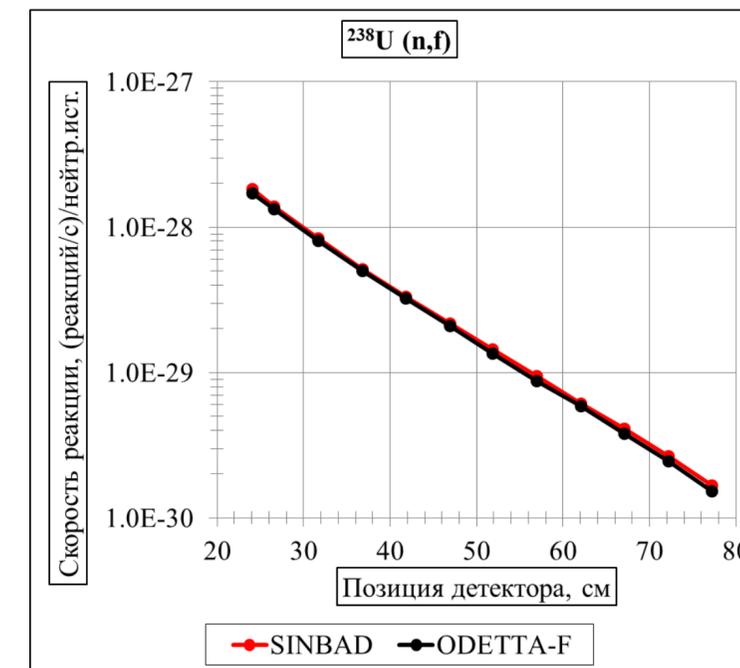
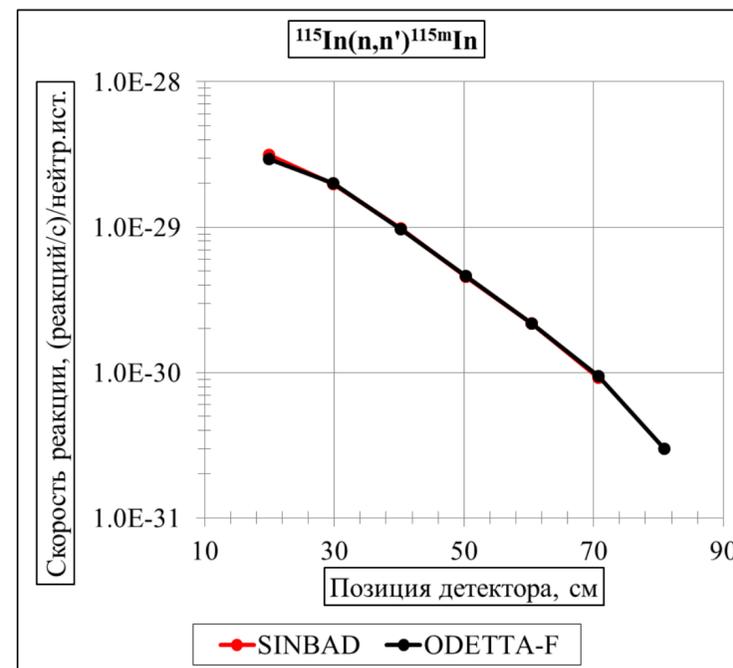
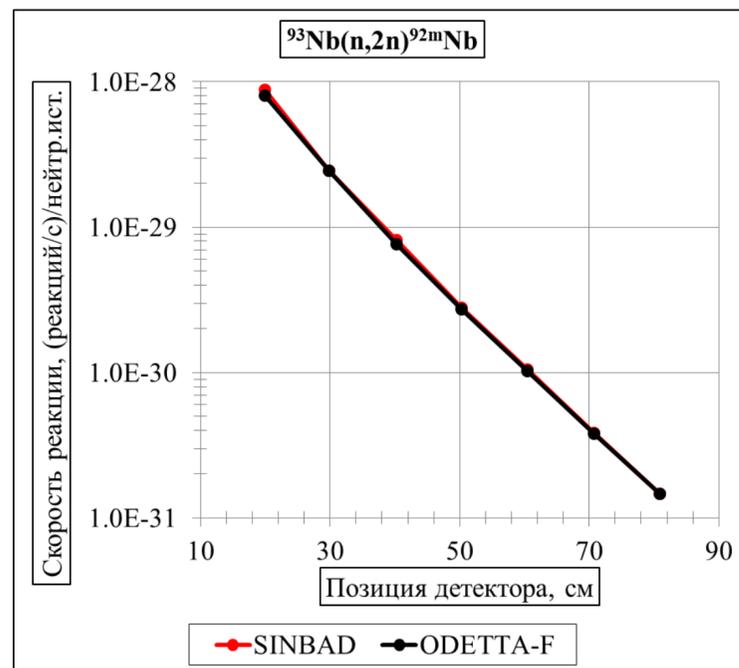
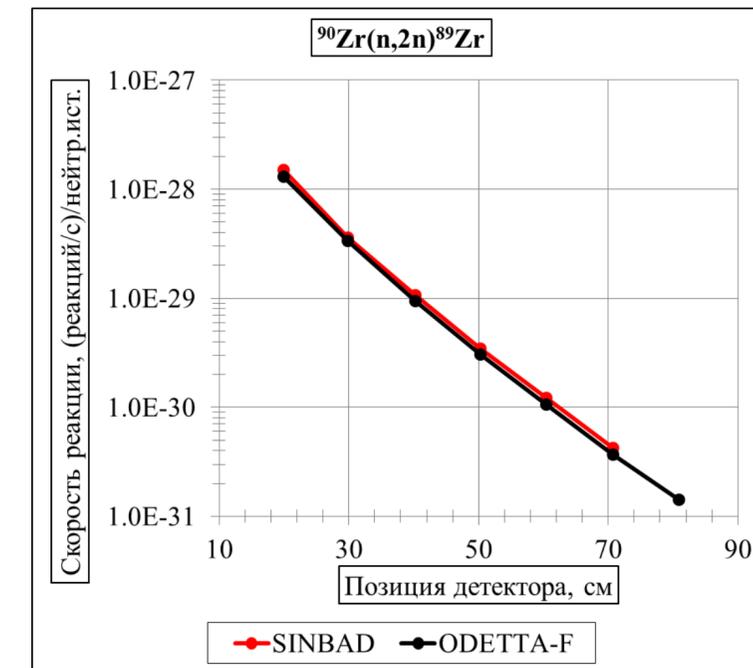
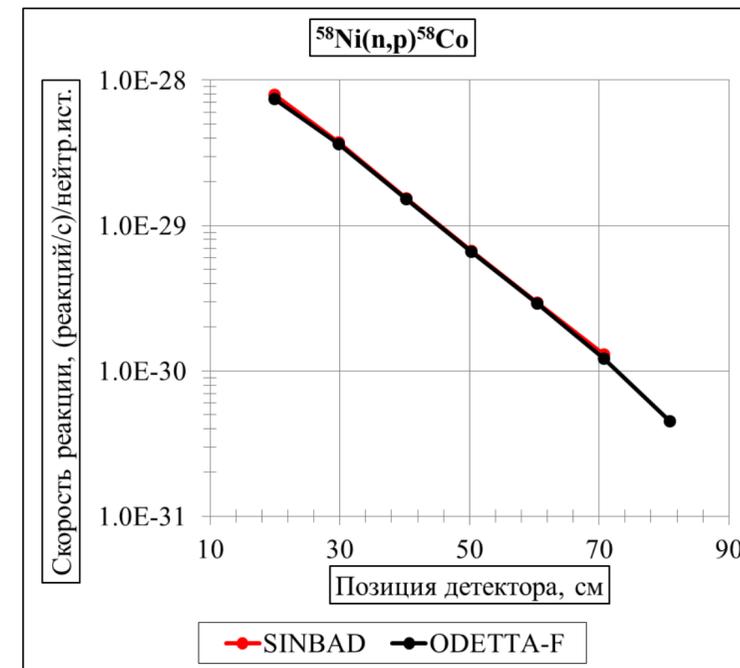
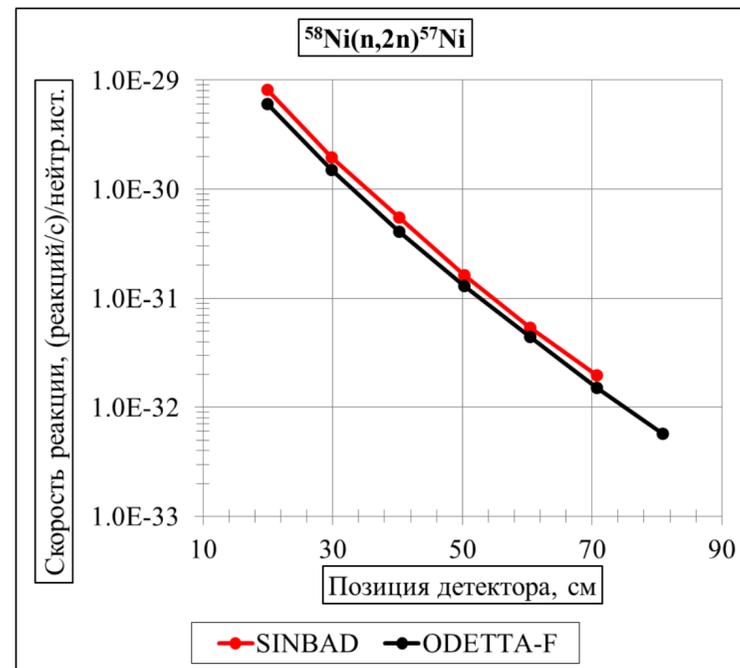
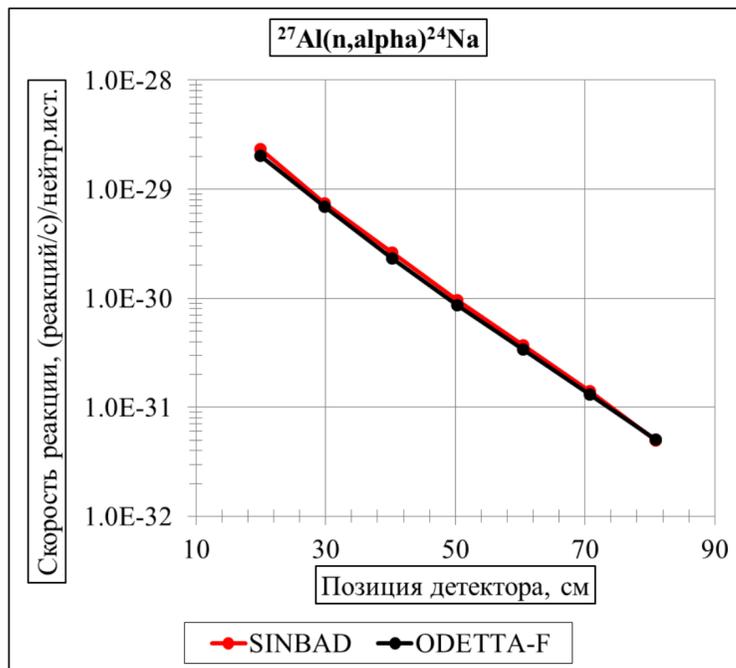
# FNS-эксперимент с графитовой сборкой (NEA-1553/72) (2/4)



# FNS-эксперимент с графитовой сборкой (NEA-1553/72) (3/4)



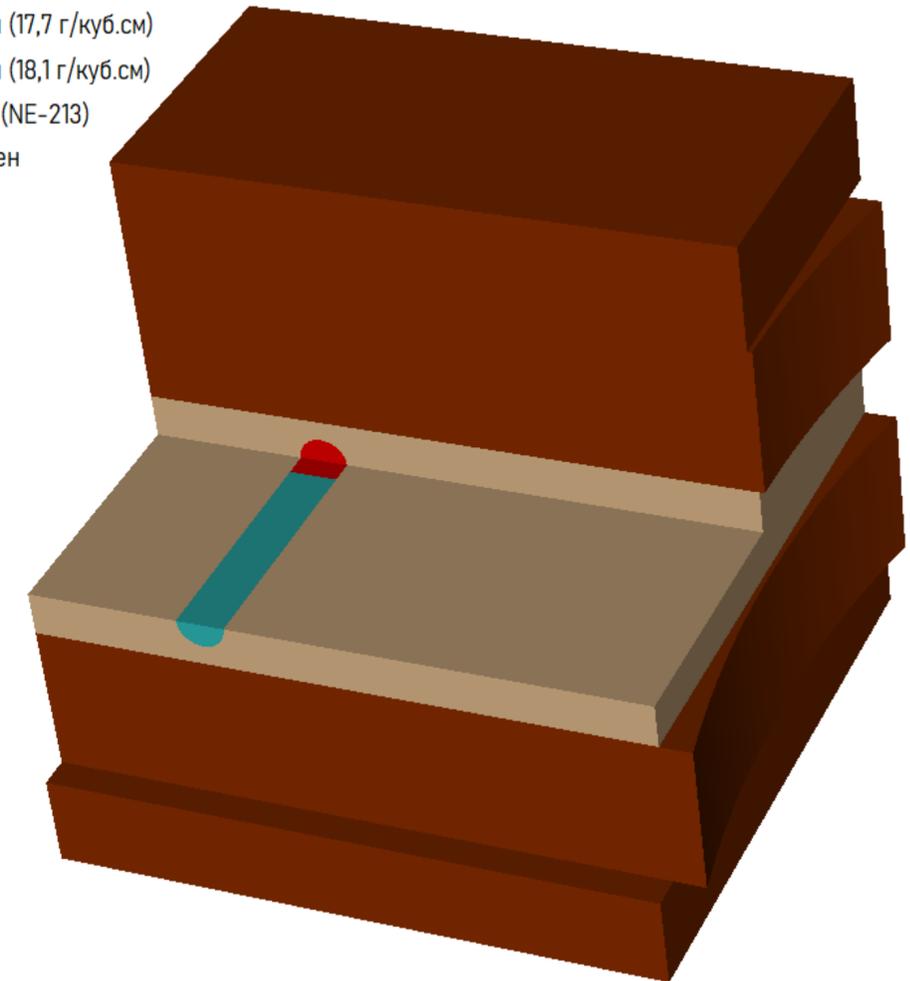
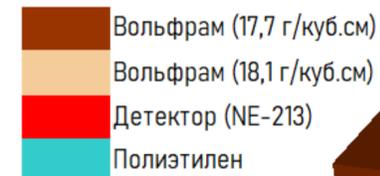
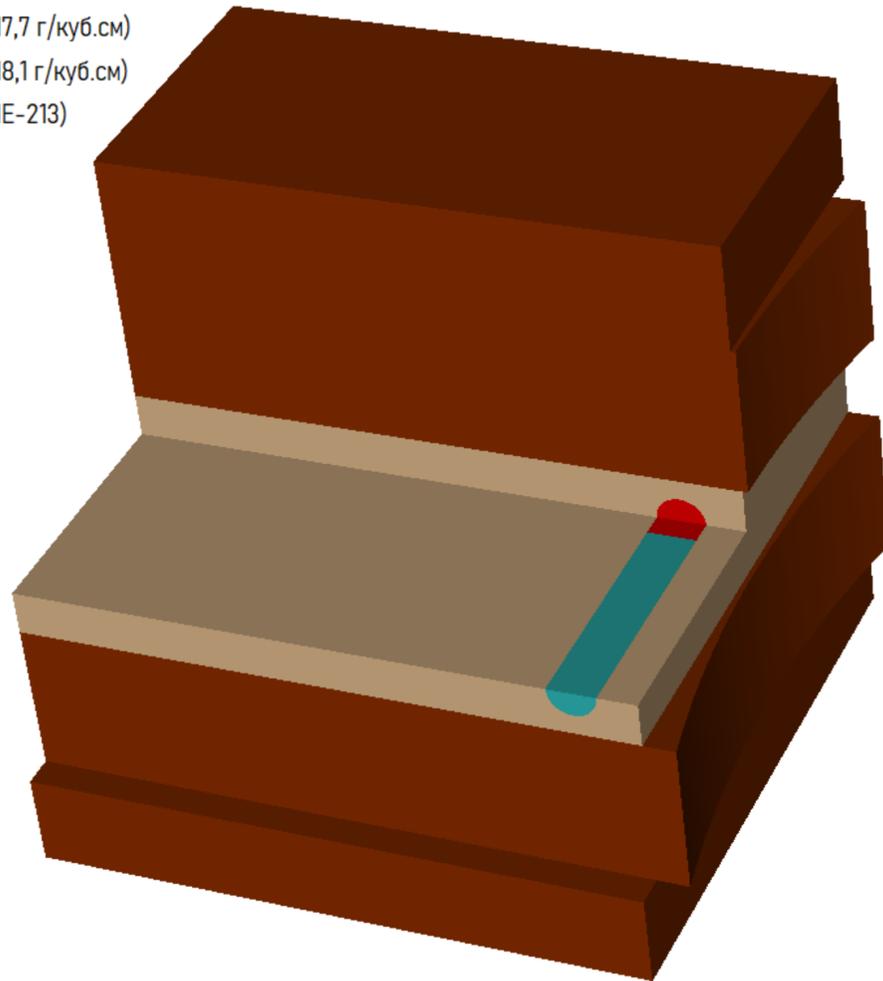
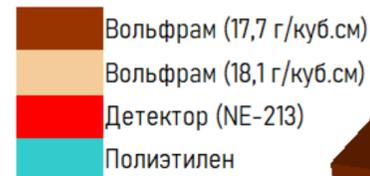
# FNS-эксперимент с графитовой сборкой (NEA-1553/72) (4/4)



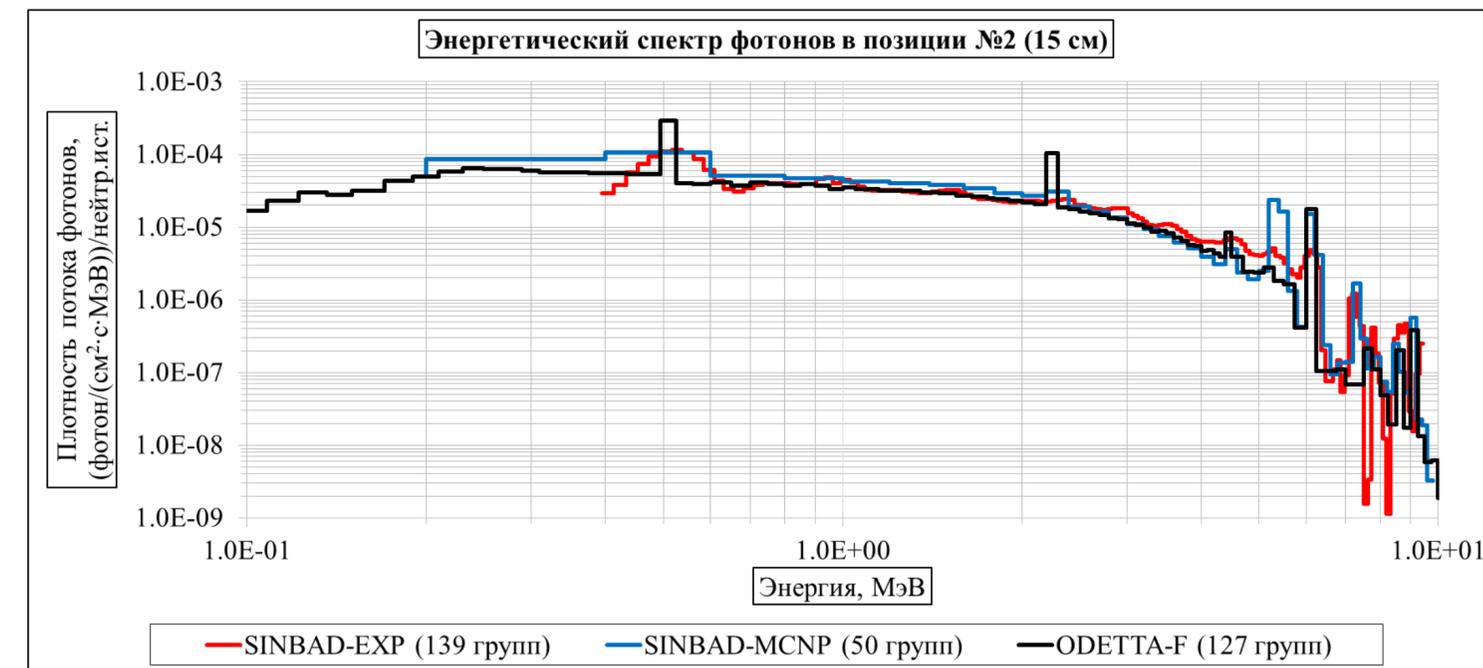
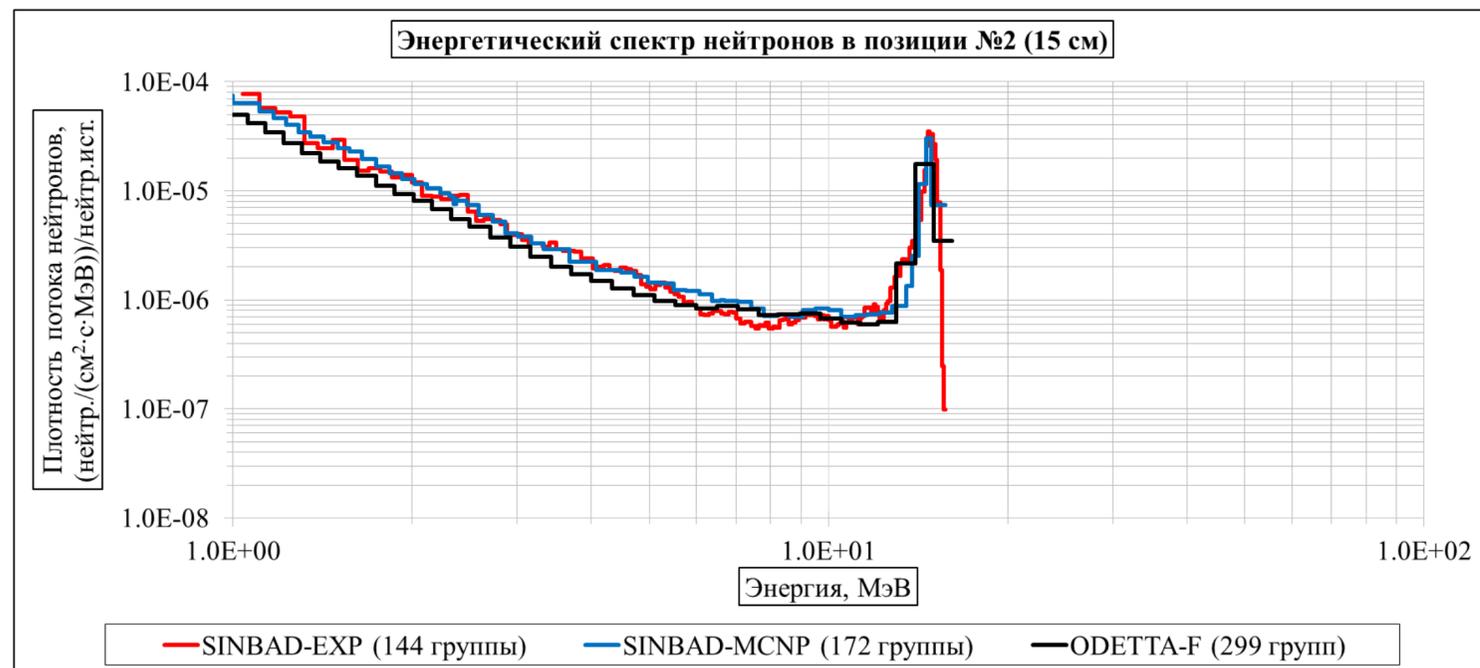
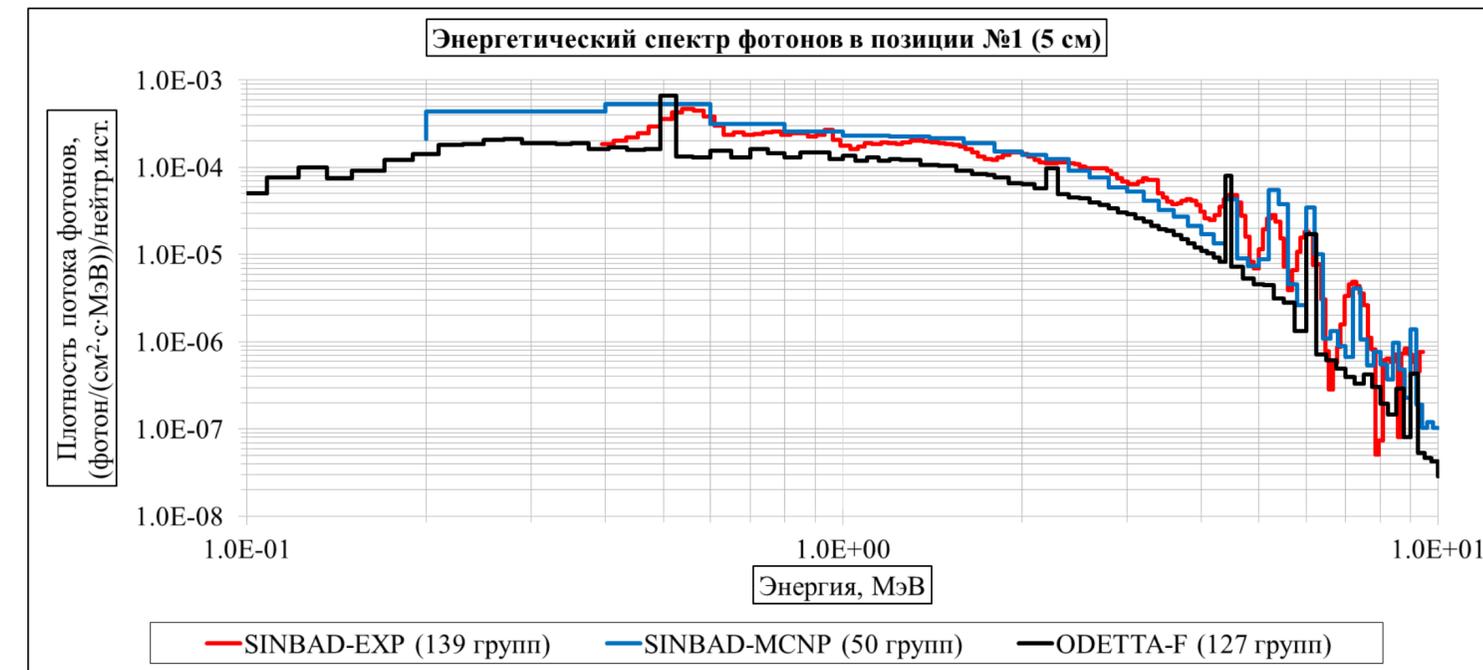
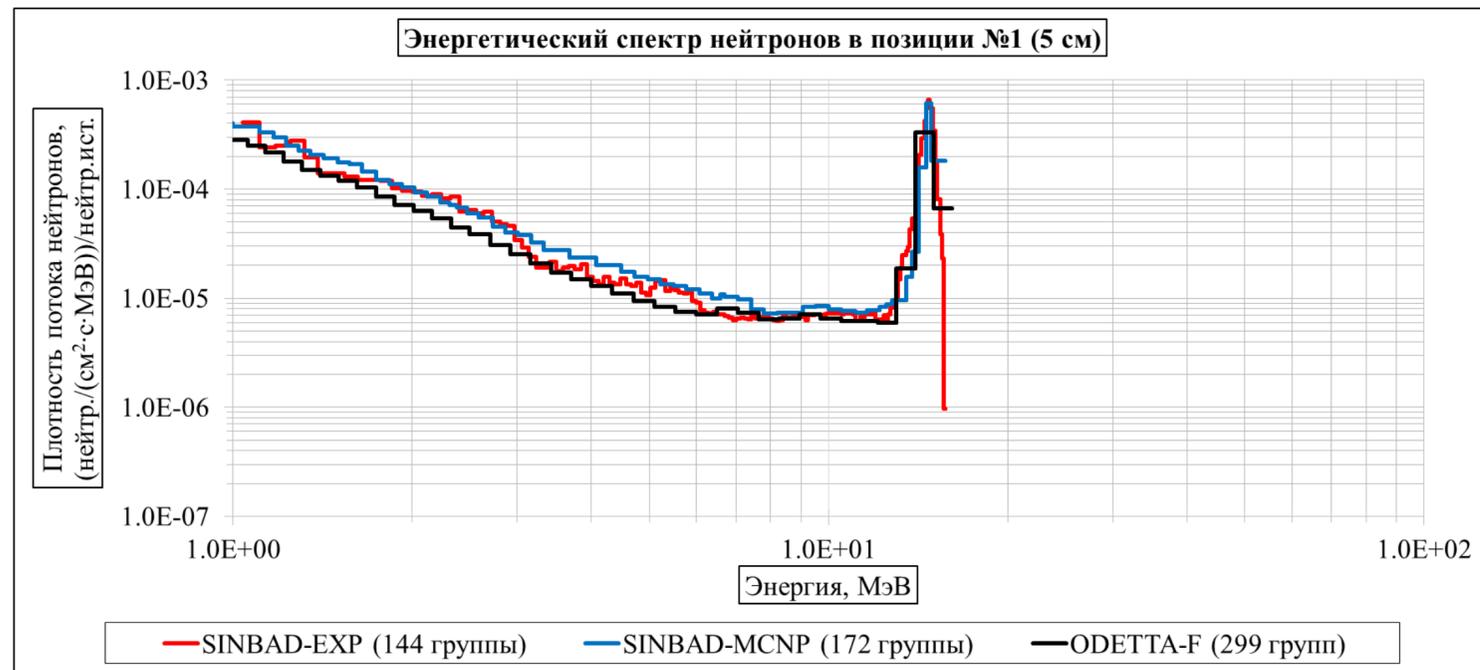
# FNG-эксперименты с вольфрамовой сборкой (NEA-1553/47, NEA-1553/59) (1/5)



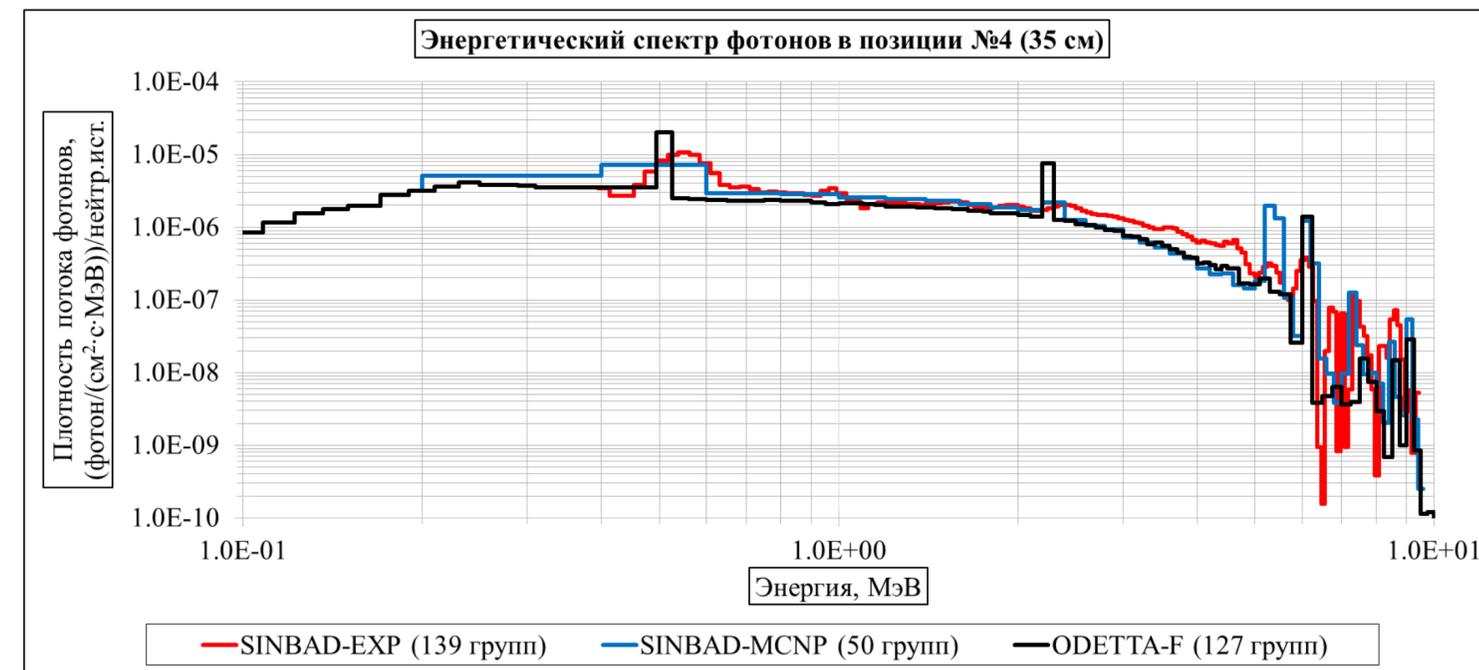
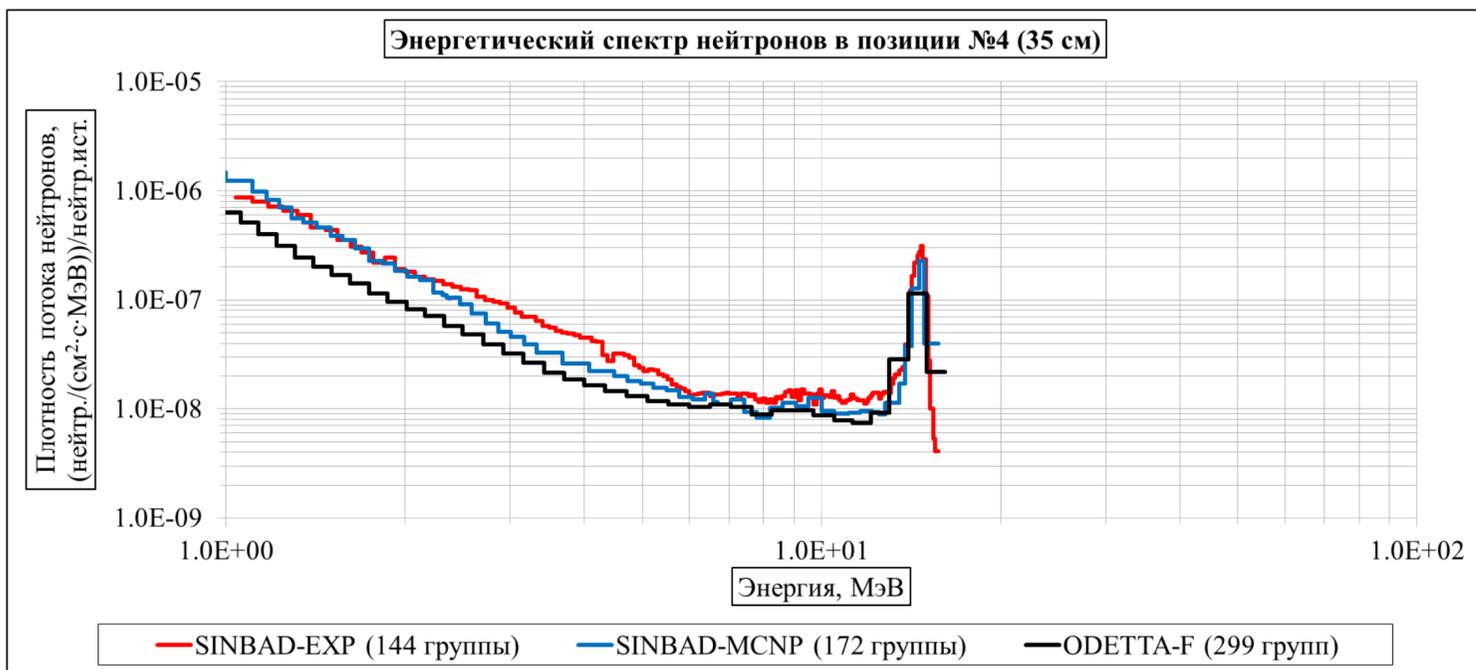
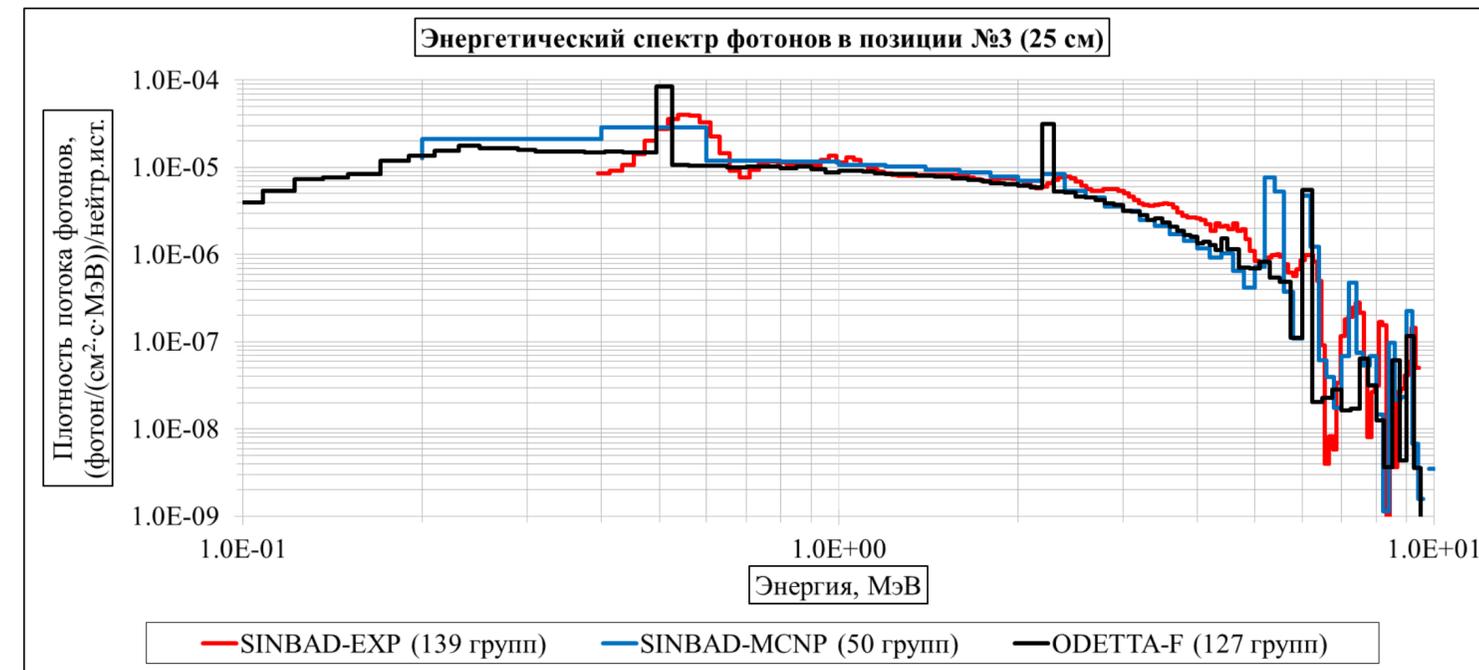
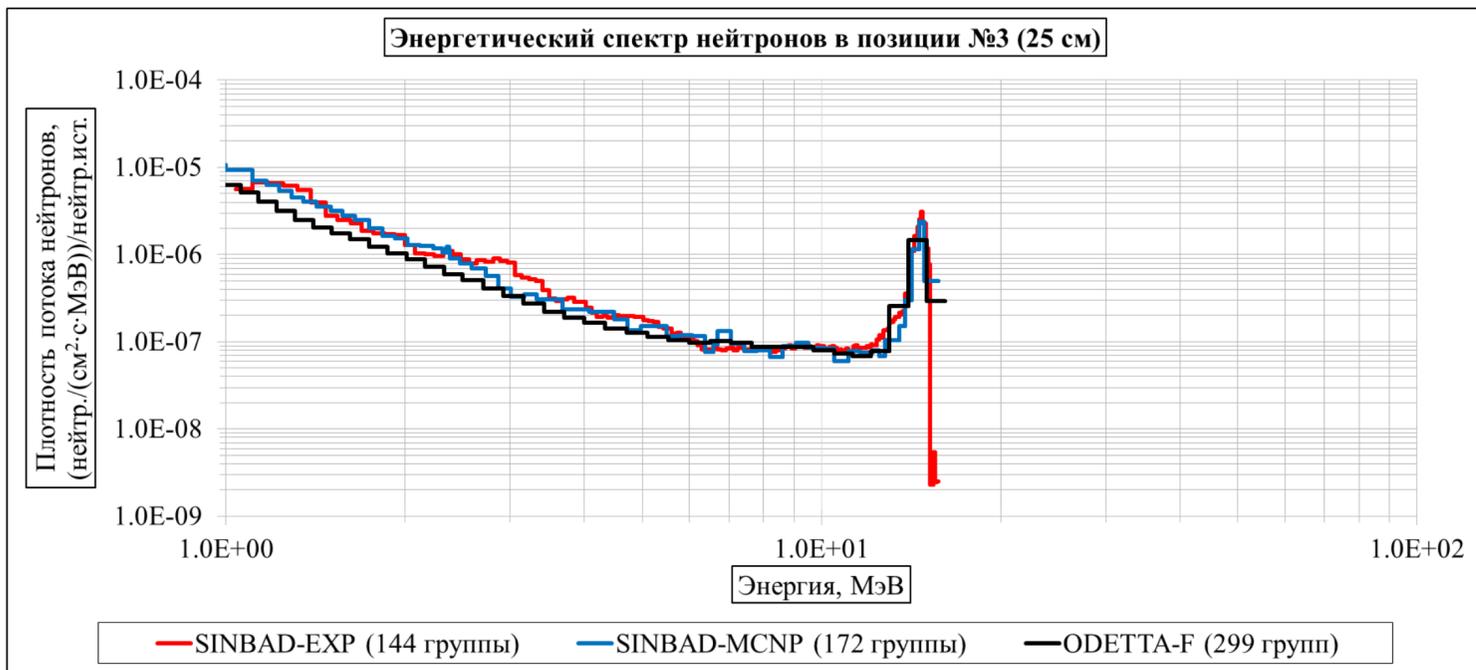
- Сборка ( $47 \times 47 \times 49 \text{ см}^3$ ) из вольфрама разных составов и плотностей
- Источник: нейтроны **D-T**-реакции (**14,1 МэВ**), на расстоянии **5,3 см** от сборки
- Определение энергетических спектров нейтронов и фотонов и скоростей реакций по глубине сборки



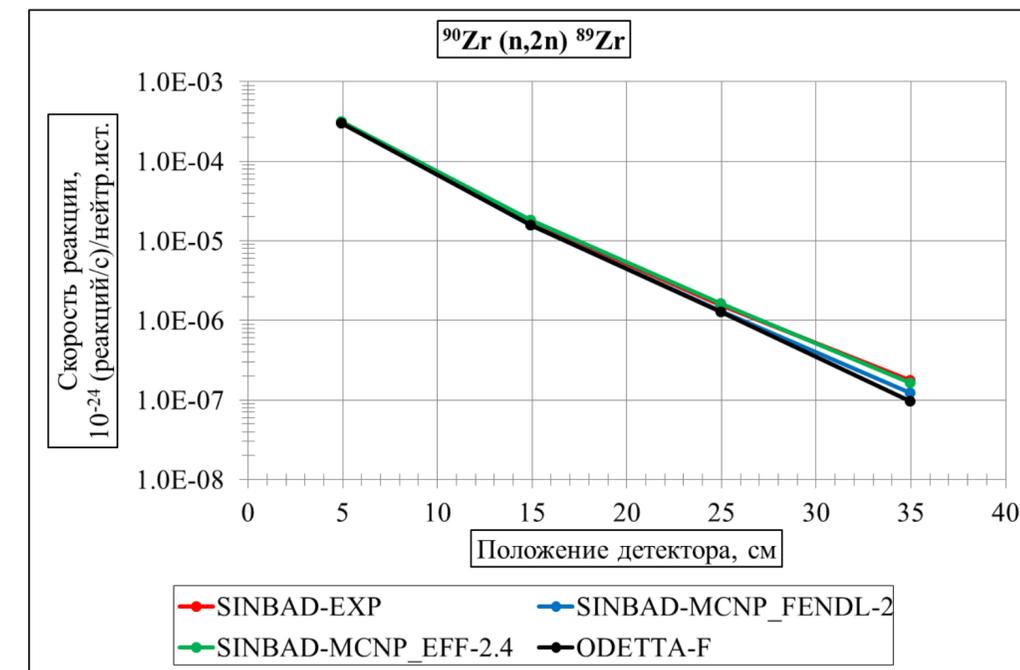
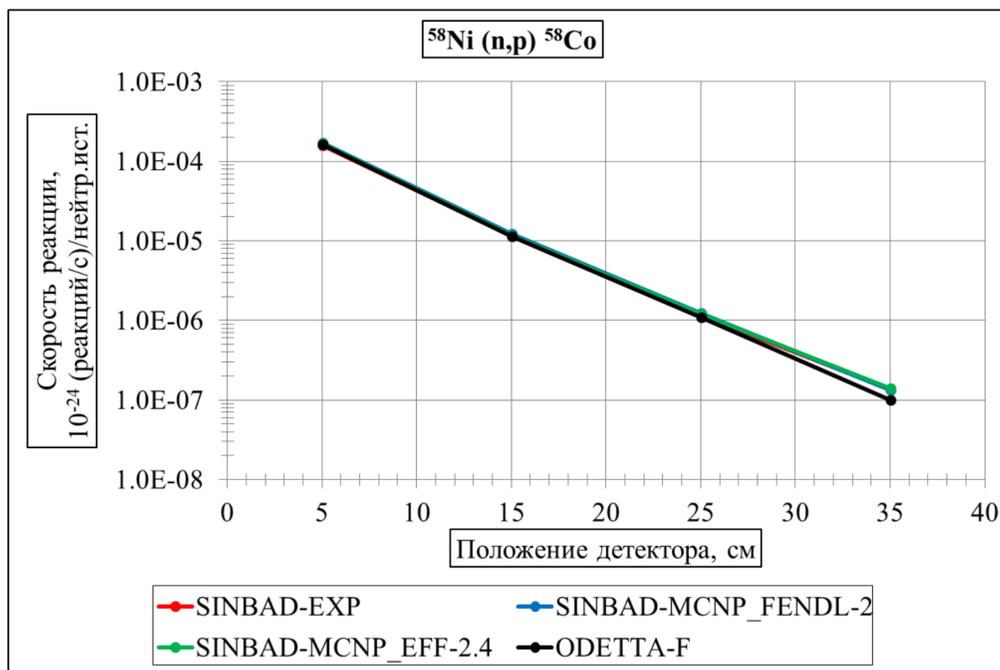
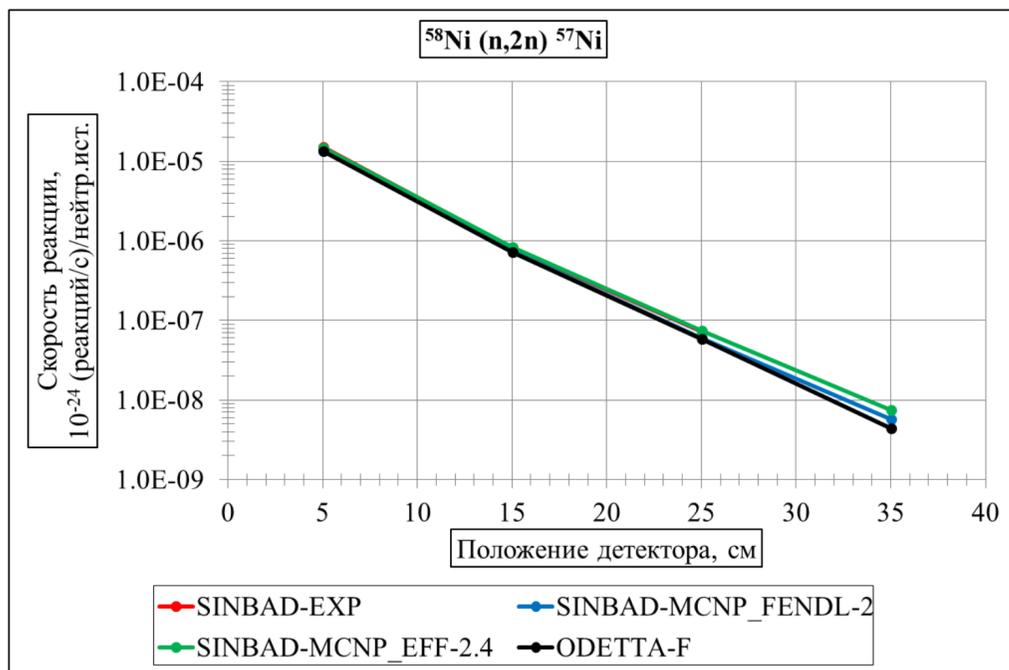
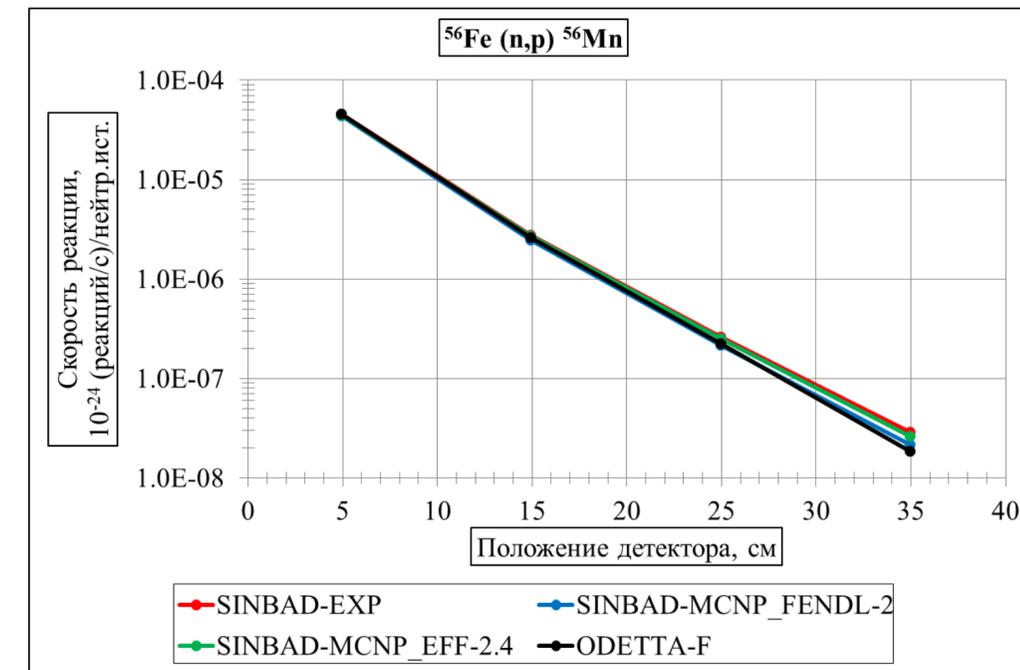
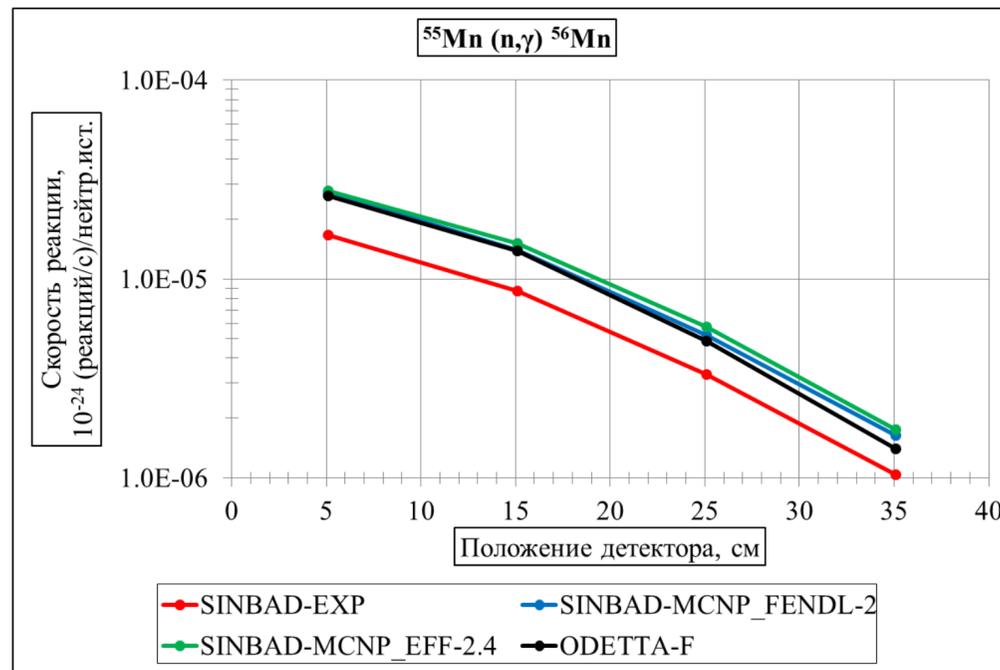
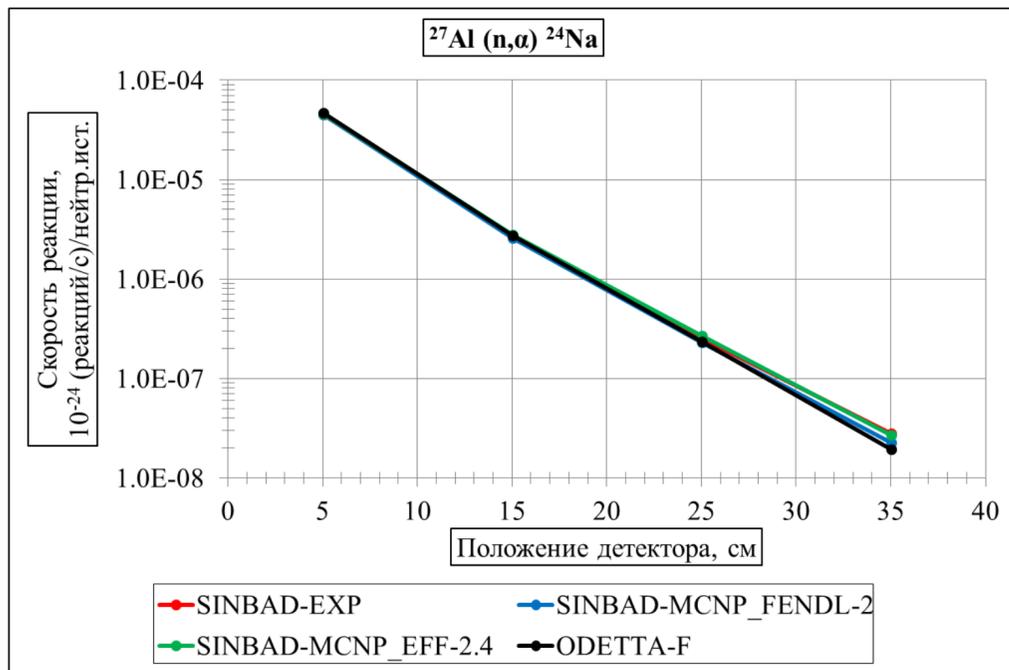
# FNG-эксперименты с вольфрамовой сборкой (NEA-1553/47, NEA-1553/59) (2/5)



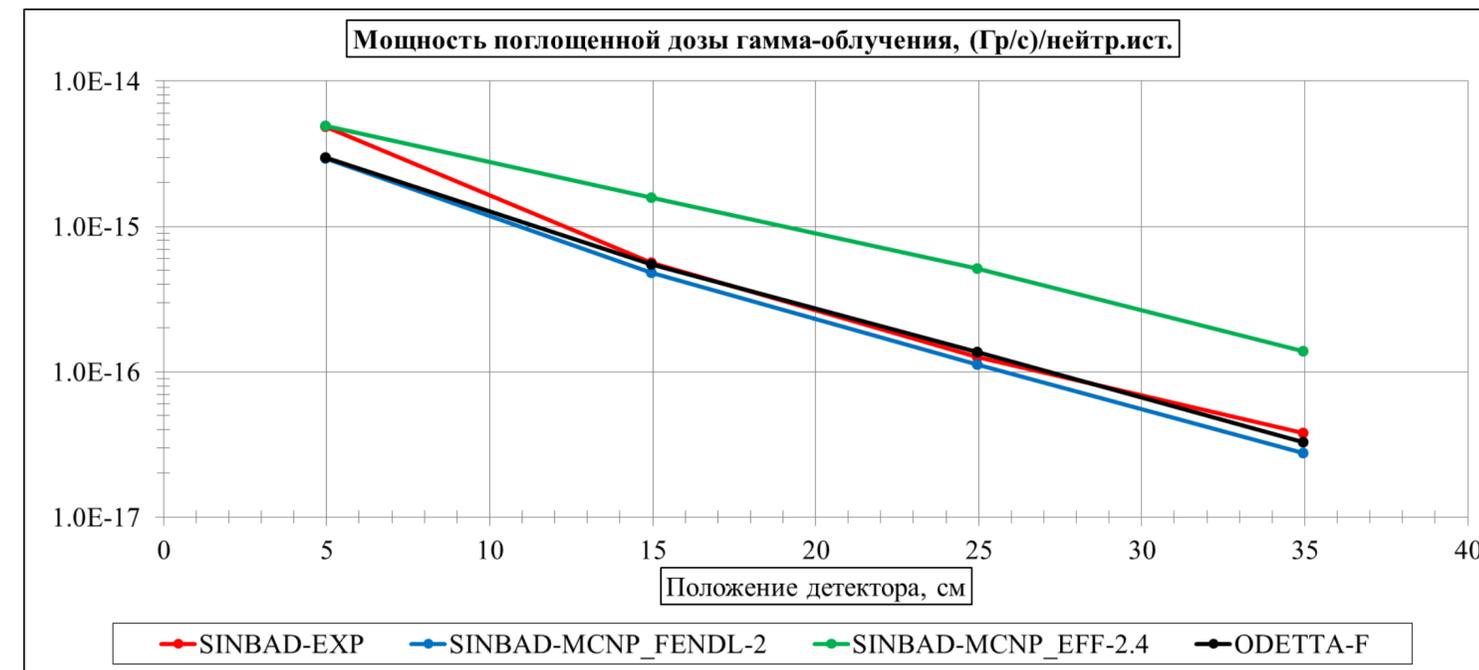
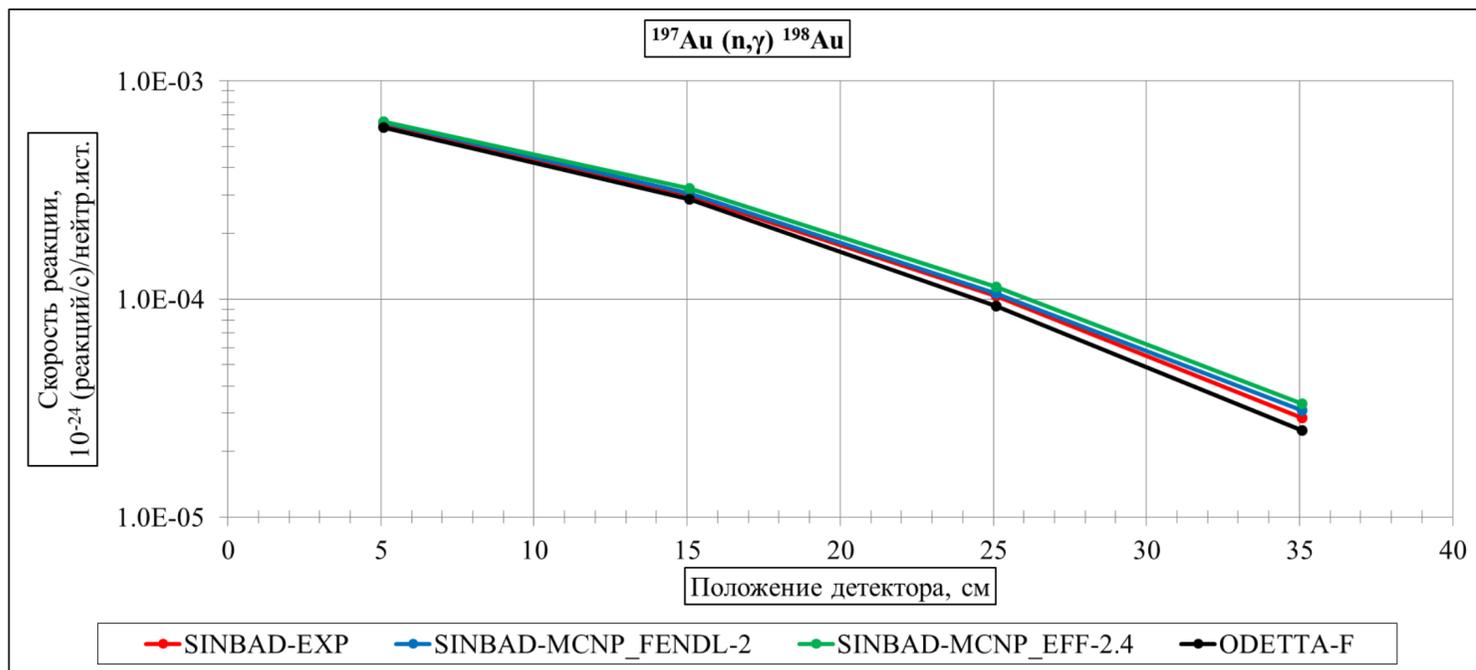
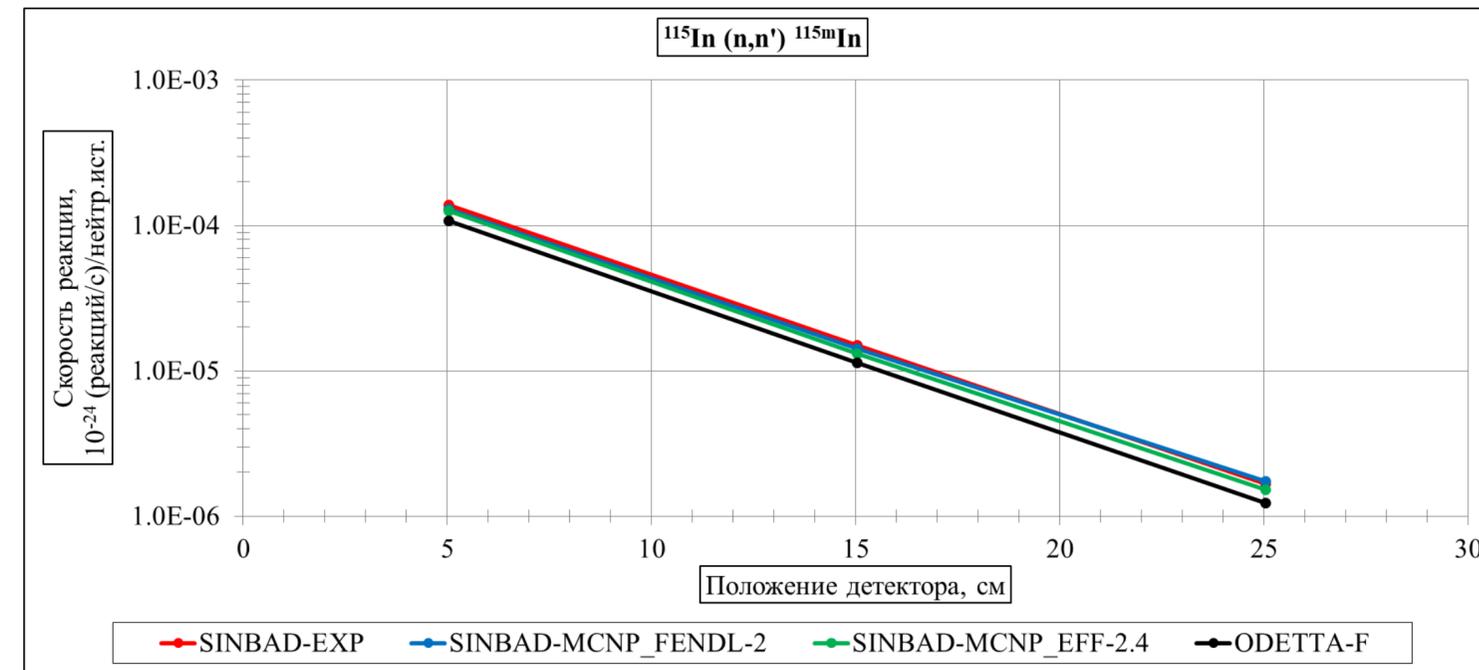
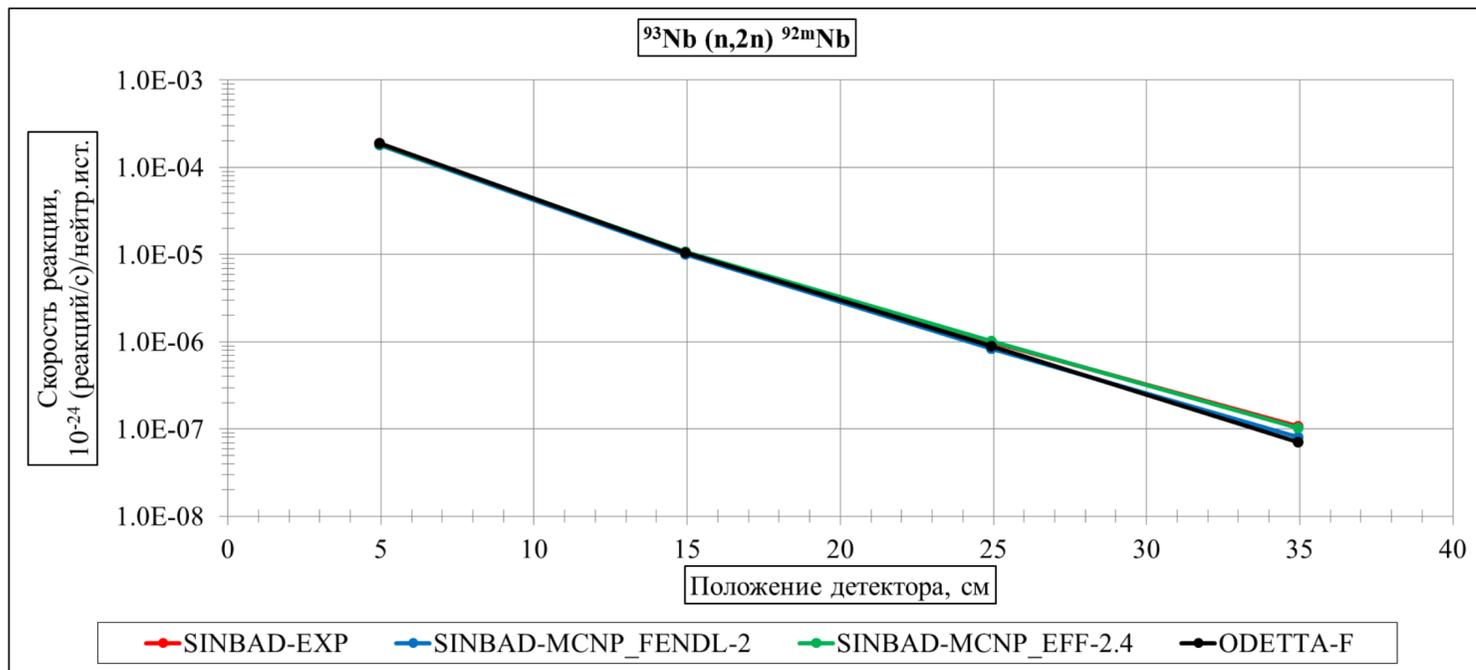
# FNG-эксперименты с вольфрамовой сборкой (NEA-1553/47, NEA-1553/59) (3/5)



# FNG-эксперименты с вольфрамовой сборкой (NEA-1553/47, NEA-1553/59) (4/5)



# FNG-эксперименты с вольфрамовой сборкой (NEA-1553/47, NEA-1553/59) (5/5)



# Заключение



- Средствами CAD-моделирования созданы расчетные модели экспериментов из базы данных SINBAD (Fusion Neutronics Shielding)
- Проведены валидационные расчеты и проанализированы их результаты
- Рассчитанные энергетические спектры нейтронного и фотонного излучений в достаточной степени близки к результатам экспериментов
- Относительные отклонения значений скоростей реакций не превышают 20 %



ИБРАЭ

# Спасибо за внимание!

**Игорь Андреевич Игнатьев**

аспирант 3-го года обучения, инженер лаб, №74 Физики реактора

Моб, тел, :+7 (910) 867-22-30

E-mail: [ignatev@ibrae.ac.ru](mailto:ignatev@ibrae.ac.ru)