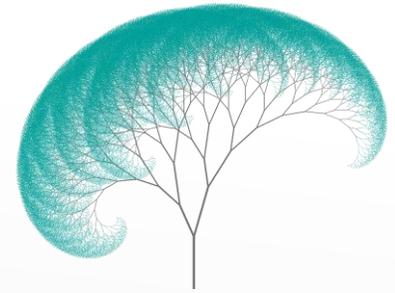


# ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ ПО ПОКАЗАНИЯМ МНОГОШАРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА БОННЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Доклад подготовлен студентами 3-го и 2-го курса университета «Дубна»:  
Белым А. А., Стариковской М. Д.

Научный Руководитель: к.б.н. Чижов К. А.

# ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ



Цель работы: разработка компьютерной программы и математических методов для обеспечения нейтронной дозиметрии персонала, работающего на энергетических установках ОИЯИ.

## Задачи:

- Подготовка обучающей выборки данных для нейронной сети
- Разработка математического метода восстановления энергетического спектра нейтронов с применением алгоритмов нейронных сетей
- Реализация разработанных алгоритмов в виде компьютерной программы

# АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

- Радиационный контроль на ускорителях не может быть произведен с помощью стандартных дозиметров и радиометров нейтронов, поскольку их рабочий диапазон ограничен максимальной энергией нейтронов около 20 МэВ.
- При этом нейтроны, с энергиями более 0,1 МэВ дают основной вклад в эффективную дозу за защитами ускорителей.
- Поэтому для высокоэнергетических установок применяется многошаровой спектрометр Боннера.



NICA

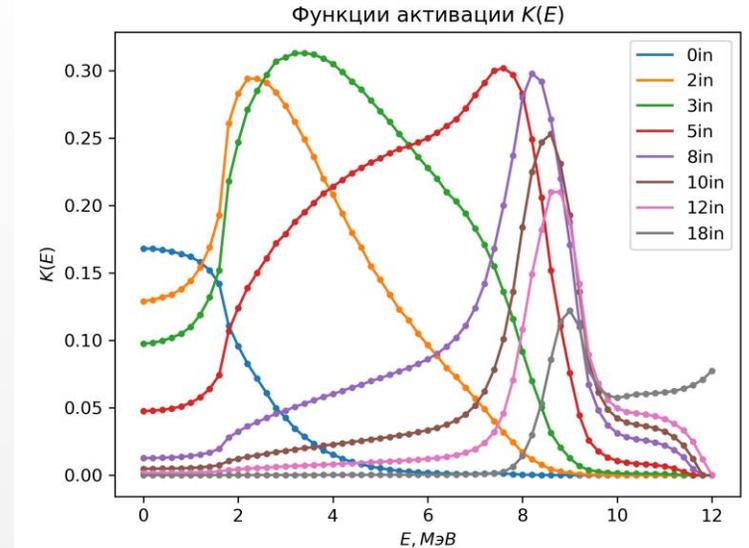
# МНОГОШАРОВОЙ СПЕКТРОМЕТР БОННЕРА

Показания спектрометра Боннера связаны со спектром нейтронов через уравнение Фредгольма 1-го рода:

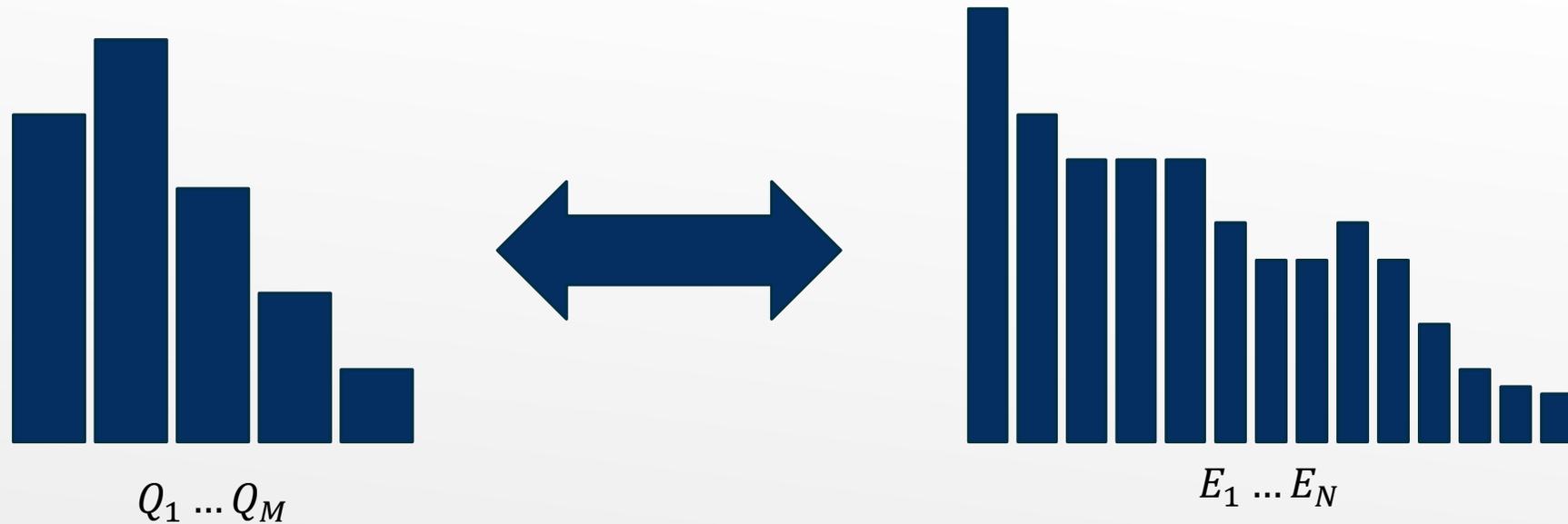
$$Q_j = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} K_j(E) \cdot \varphi(E) dE, \quad j = 1, \dots, M$$

где

- $Q_j$  – показание спектрометра Боннера для  $j$ -й сферы;
- $K_j(E)$  – ядро  $j$ -го уравнения, являющееся функцией чувствительности (отклика) детектора на нейтроны различных энергий;
- $\varphi(E)$  – полный энергетический спектр нейтронов
- $M$  – количество используемых для измерения спектра сфер.
- Пределы интегрирования  $E_{\min}$  и  $E_{\max}$  определяются областью определения спектра  $E$  и используемого для измерений набора детекторов.



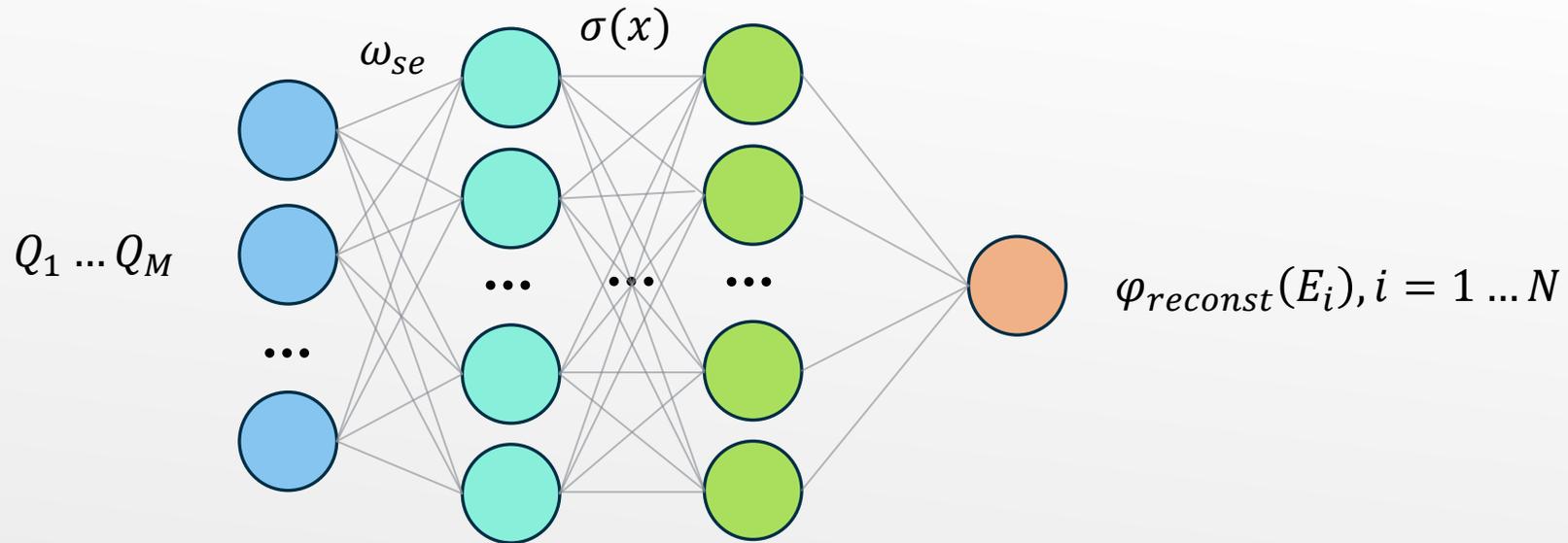
# ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРА



- ▶ Прямая задача: получить значения показания спектрометра Боннера по заданным спектрам
- ▶ Обратная задача: по заданным показаниям спектрометра Боннера получить изначальные спектры

# ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

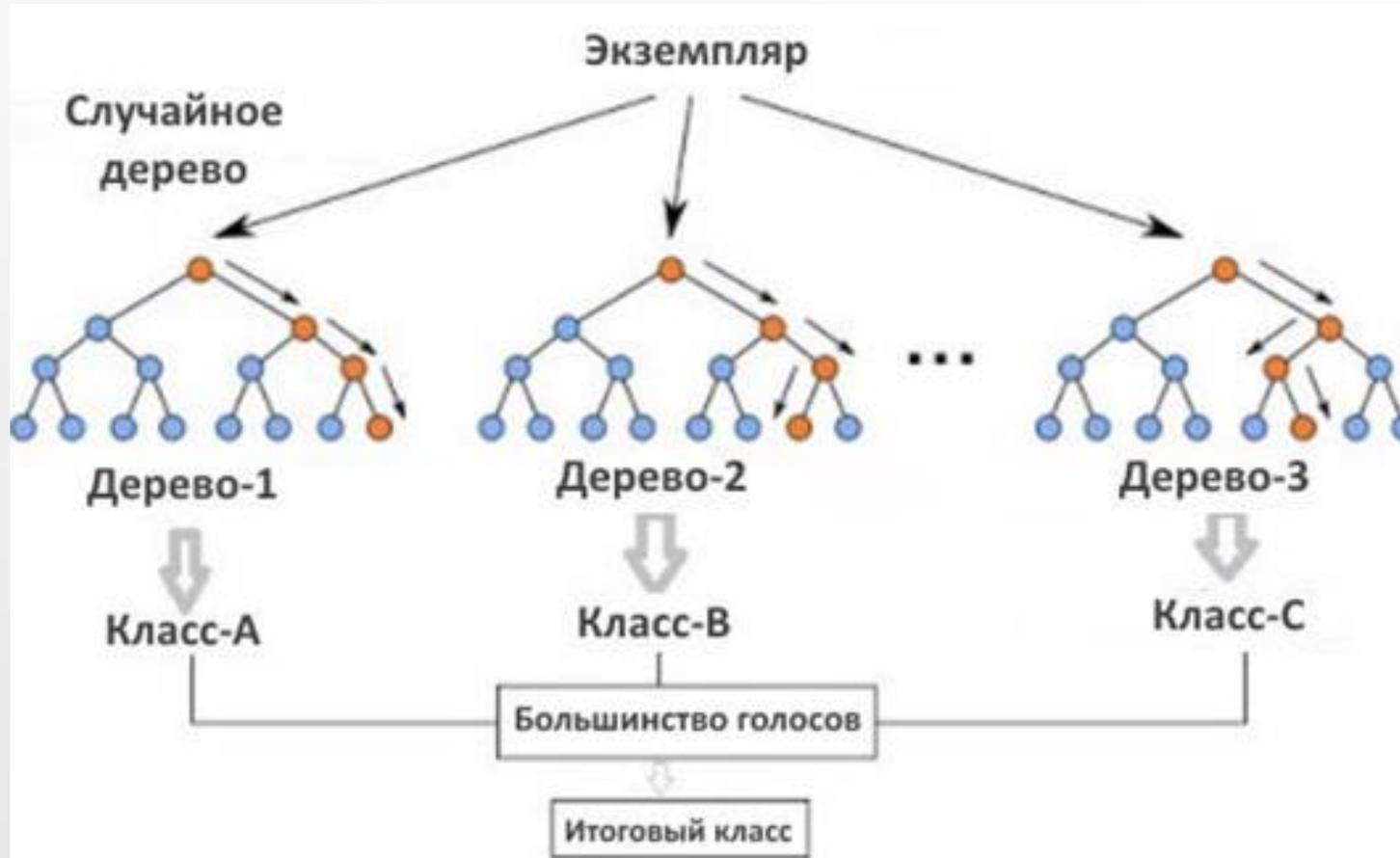
$k_s$  скрытых слоёв,  $k_{s,e}$  элементов



- Нужно восстановить количественный признак: величину спектра  $\varphi_{reconst}(E_i)$  в заданном энергетическом диапазоне  $E_i - E_{i+1}$  (задача регрессии)
- Оптимизировать вид нейронной сети – выбрать количество скрытых слоёв и элементов в них
- Минимизируем функцию потерь :  $L(\varphi_{reconst}, \varphi_{real}) = \frac{1}{N} \|\varphi_{real}(E) - \varphi_{reconst}(E)\|$

# ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА «СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС»

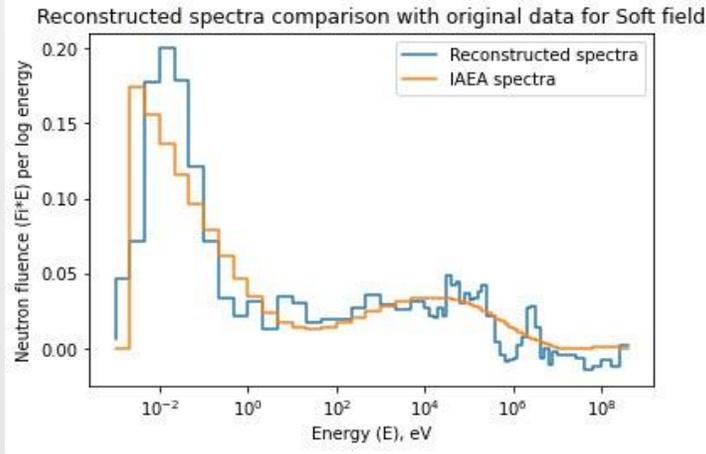
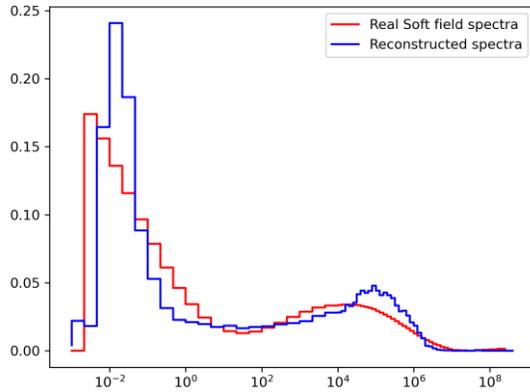
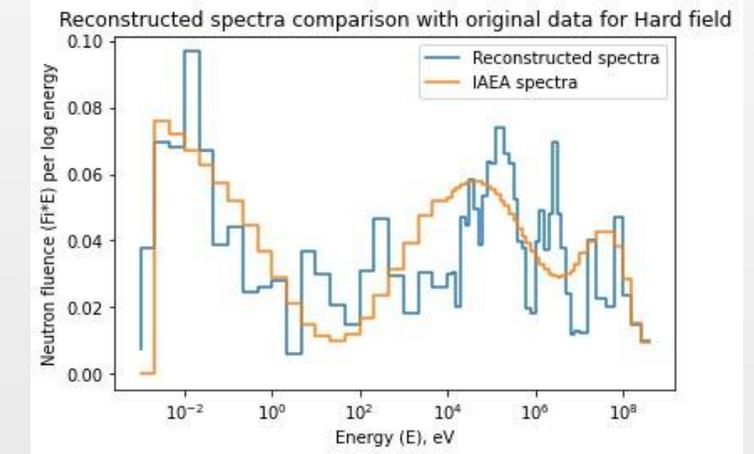
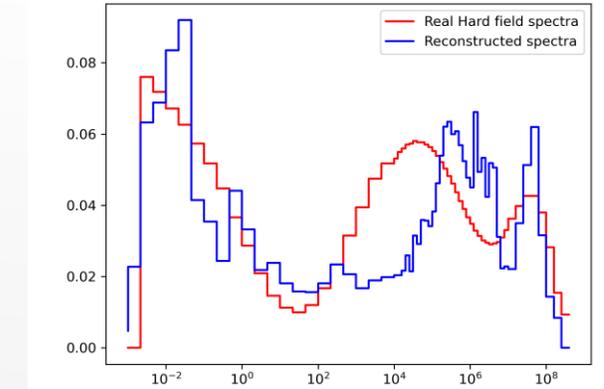
Алгоритм: Random Forest Regressor (случайный лес)



# РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ДВУХ ОПОРНЫХ ПОЛЕЙ

## Параметры

- 100 решающих деревьев
- Функция для оценки ошибки: MSE
- Глубина не ограничена



«Мягкое» опорное поле

«Жёсткое» опорное поле

- Функция для оценки ошибки: MSE
- Функция оптимизации: Adam
- 3 слоя:
  - 1) 1 слой:
    - а) Функция активации: ReLU
    - б) 20 нейронов
    - с) Инициализатор ядра: HeNormal
  - 2) 2 слой:
    - а) Функция активации: ReLU
    - б) 10 нейронов
    - с) Инициализатор ядра: HeNormal
  - 3) 3 слой:
    - а) 1 нейрон

# ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Была подготовлена обучающая выборка на основе Compendium of Neutron Spectra and Detector Response for Radiation Protection Purposes: Technical Report Series. Vienna: IAEA, 2001. No. 403 (251 спектр).
2. Изучены и применены на обучающей выборке методы интерполяции и численного интегрирования функций.
3. Для спектров обучающей выборки была решена прямая задача получения эффективных показаний спектрометра Боннера по существующим спектрам.
4. Были изучены статьи, с решением подобной задачи.

# ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ

- ▶ Выбор алгоритма построения нейронной сети и реализация его на языке Python
- ▶ Проверка эффективности работы алгоритма и выбор параметров сети
- ▶ Увеличение обучающей выборки с помощью генерации дополнительных реалистичных спектров
- ▶ Применение алгоритмов нейронных сетей к разложенным по базисным функциям (полиномам Лежандра) спектрам

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

