



# Ядерно-физический эксперимент: детекторы, электроника и обработка данных

**Талгат Исатаев**  
МНС, ЛЯР ОИЯИ



# План лекции

---

## 1. Детекторы

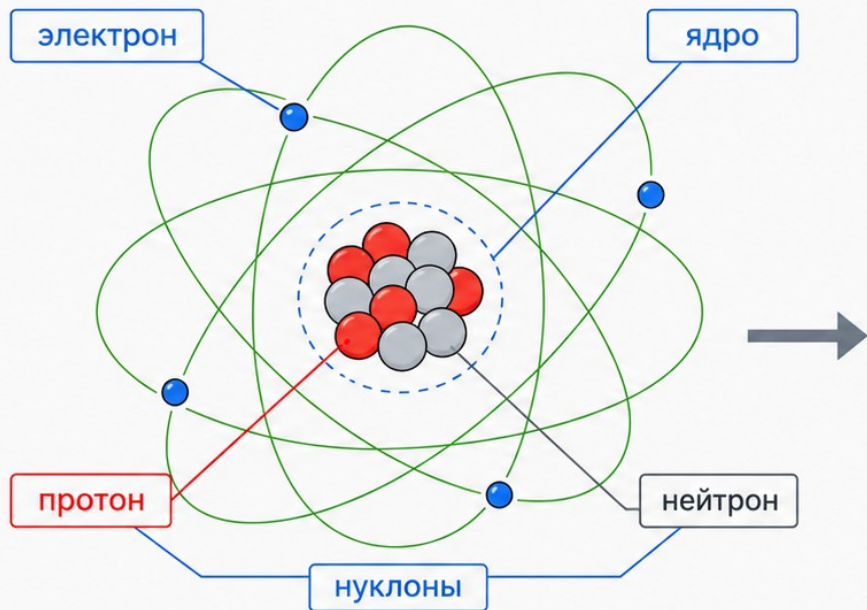
- сцинтилляционные
- полупроводниковые
- газовые

## 2. Электроника регистрации

- аналоговая электроника
- цифровая электроника

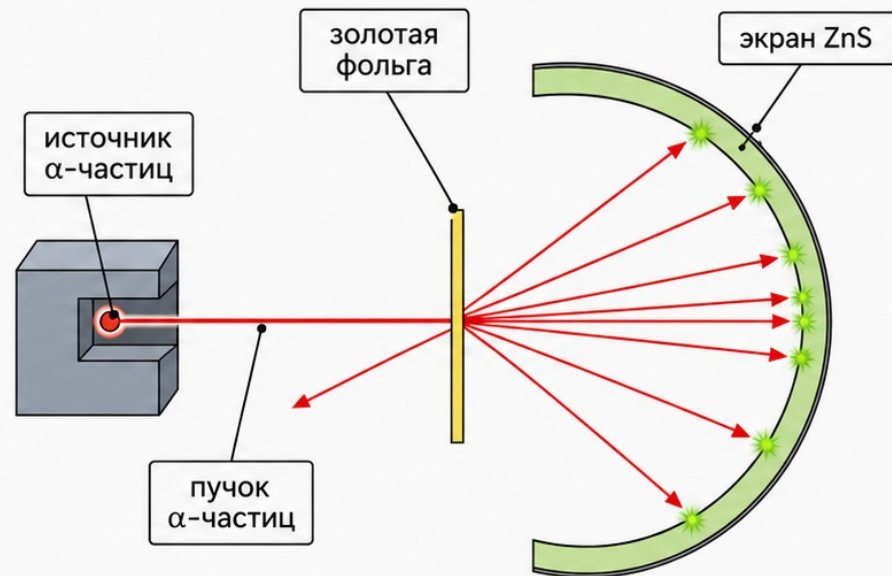
## 3. Обработка данных

# Ядерная модель атома и опыт Резерфорда



## Модель атома

- Атом состоит из ядра и электронов
- Ядро содержит протоны и нейтроны



## Опыт Резерфорда

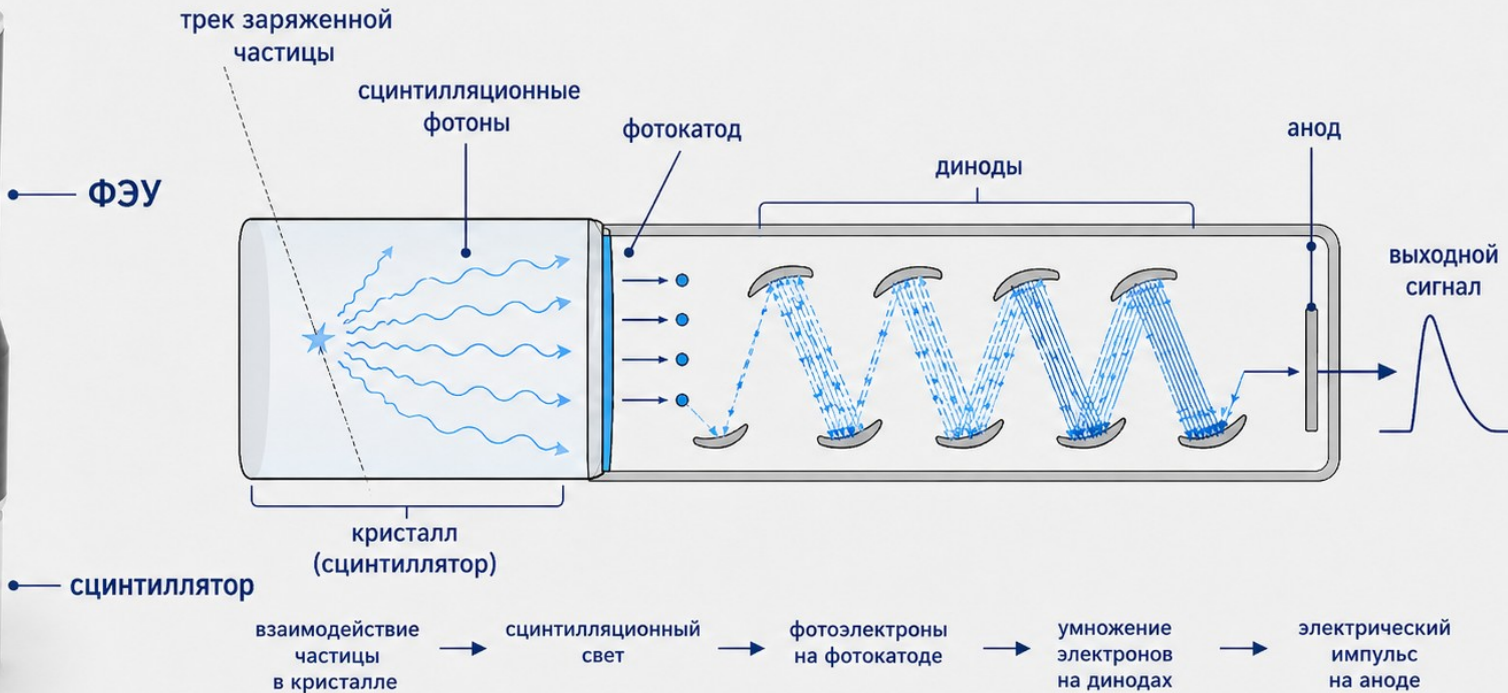
- Рассеяние α-частиц на золотой фольге



## Вывод:

Атом в основном пуст, а положительный заряд и почти вся масса сосредоточены в малом плотном ядре.

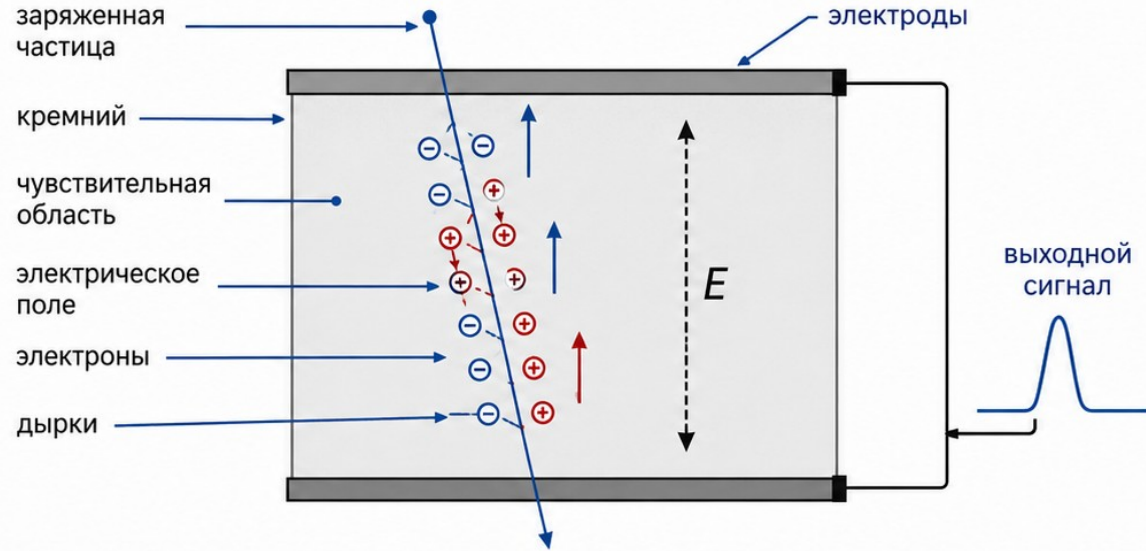
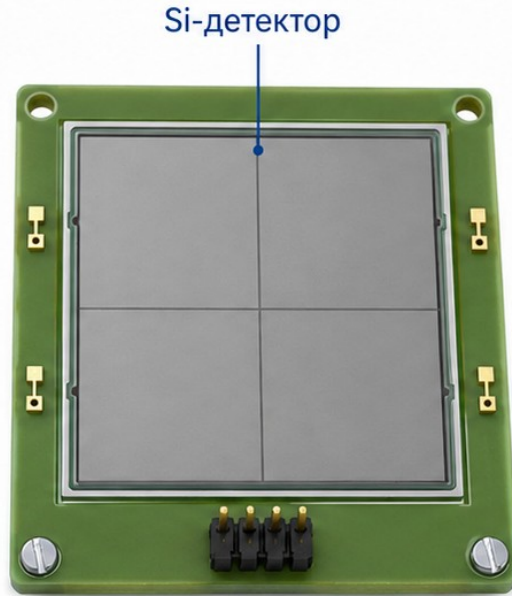
# Сцинтилляционный детектор



## Вывод:

Сцинтилляционный детектор преобразует энергию частицы в свет, а ФЭУ усиливает этот световой сигнал и формирует электрический импульс.

# Полупроводниковый детектор



взаимодействие  
частицы в кремнии

образование  
электронно-дырочных пар

сбор заряда в  
электрическом поле

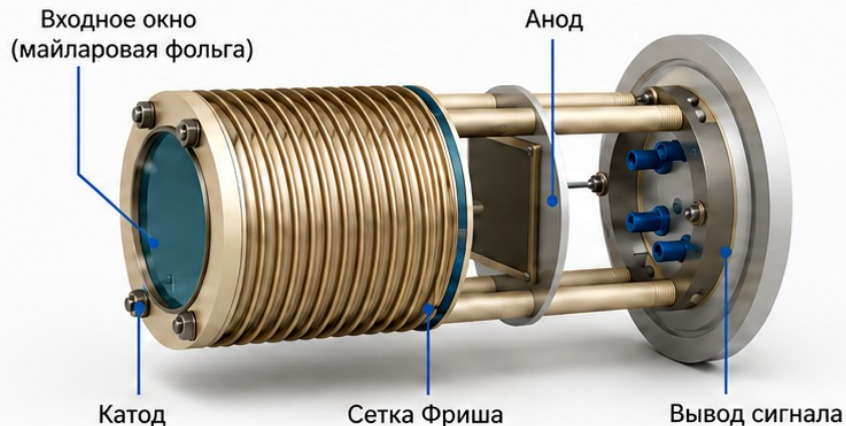
электрический  
импульс



**Вывод:** Полупроводниковый детектор регистрирует частицу по заряду, возникающему при её прохождении через кремний.

# Ионизационная камера (газовый детектор)

## Конструкция ионизационной камеры



## Принцип работы:

Заряженная частица проходит через газ в рабочем объеме камеры и ионизирует его. В результате образуются пары: электрон ( $e^-$ ) и положительный ион ( $+$ ).

Электроны движутся к аноду, ионы — к катоду.

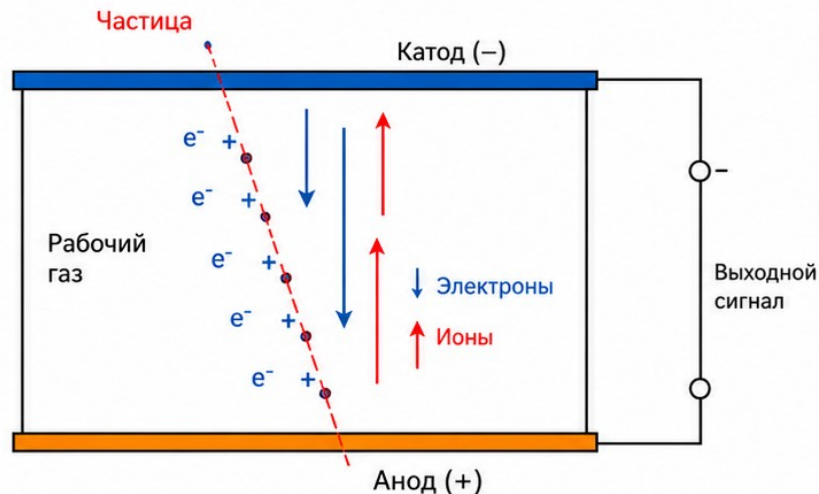
Собранный заряд формирует электрический импульс.

## Вывод:

Ионизационная камера регистрирует заряженную частицу по ионизации газа.

Электрическое поле разделяет и собирает заряды, а электроника преобразует их в измеримый электрический импульс.

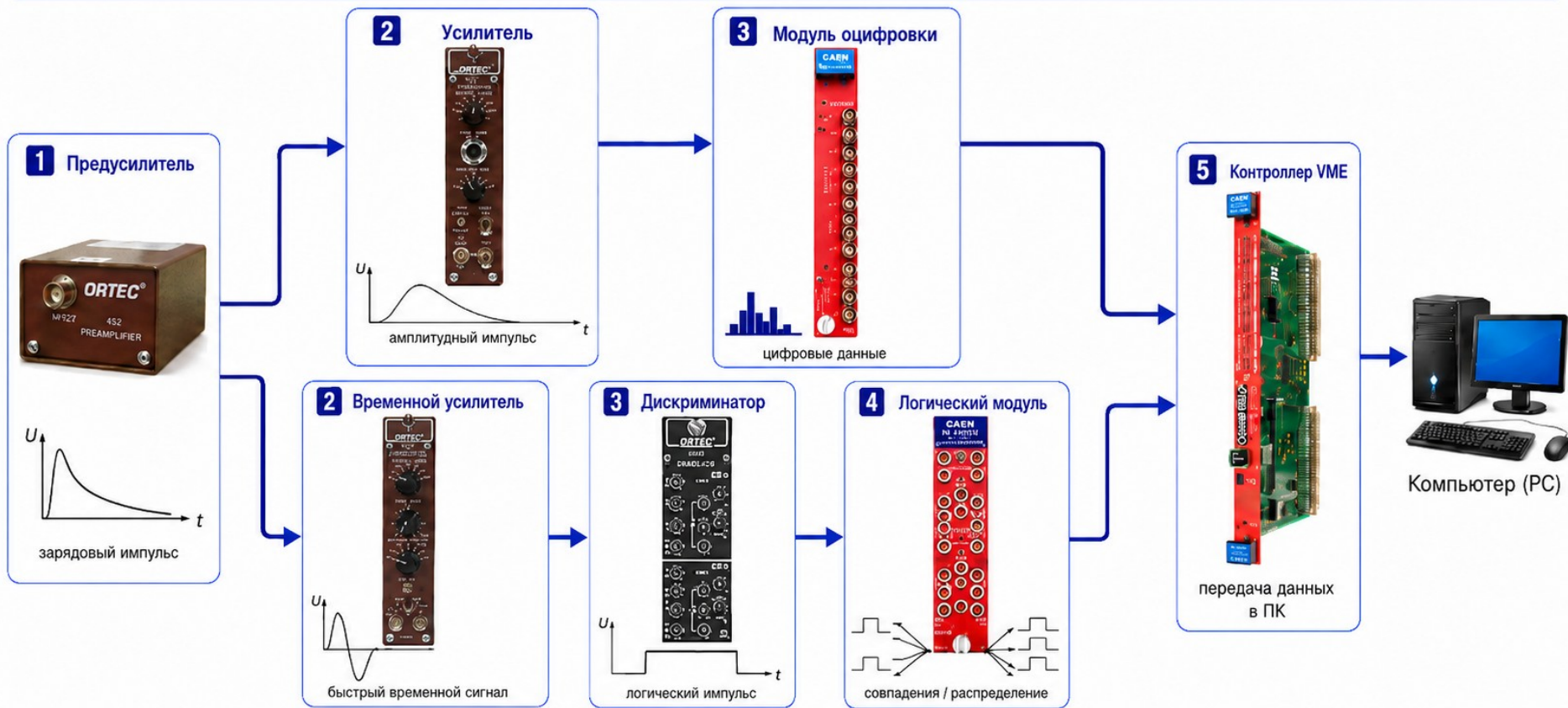
## Схема принципа работы



## Важно:

- Электроны дрейфуют к аноду, ионы — к катоду.
- Собранный заряд формирует электрический сигнал.
- Газовые детекторы могут работать в разных режимах.

# Электроника регистрации: реальные модули и сигналы

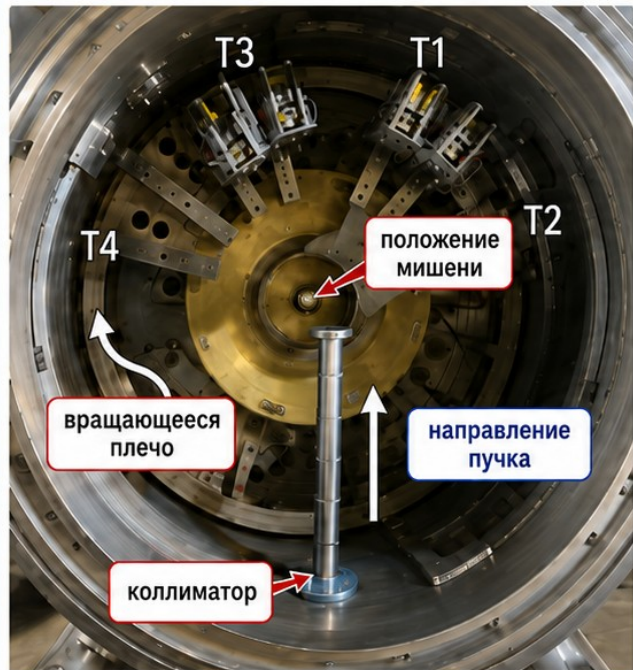


**Вывод:** Сигнал после предусилителя разделяется на энергетический и временной каналы.

Аналоговые модули усиливают и формируют импульсы, а цифровые модули оцифровывают сигнал и передают данные в компьютер.

# Экспериментальная установка для реакции $^{12}\text{C} + ^9\text{Be}$ , $E_{\text{lab}} = 120 \text{ МэВ}$

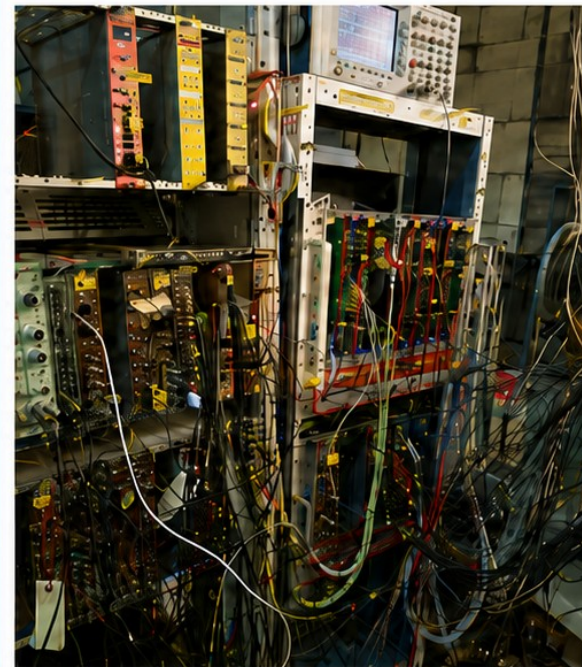
## Реакционная камера



## Кремниевые телескопы

Телескоп	Структура Si-слоёв
T1	12 мкм + 100 мкм + 3200 мкм
T2	12 мкм + 100 мкм + 3200 мкм
T3	30 мкм + 100 мкм + 3200 мкм
T4	10 мкм + 100 мкм + 3200 мкм

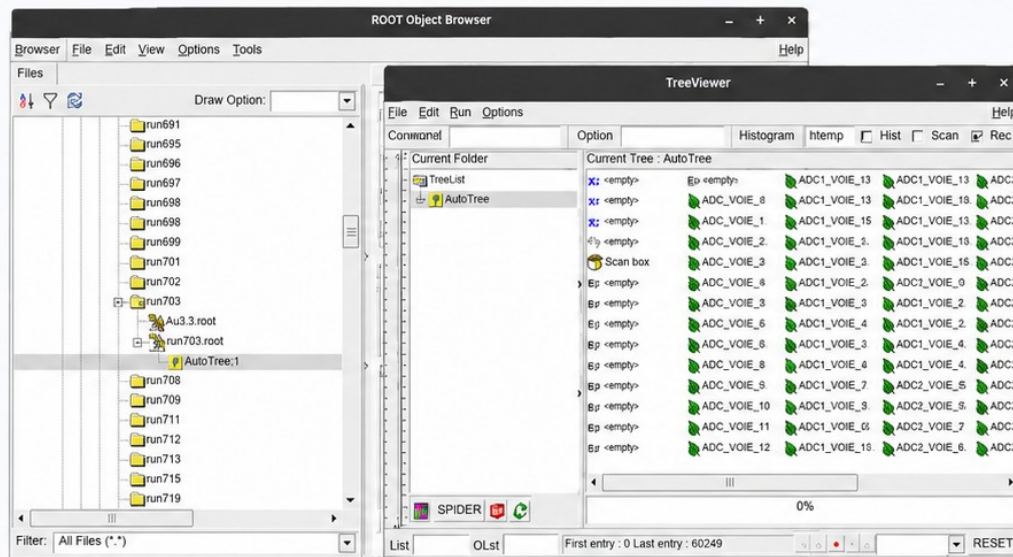
## Электроника регистрации





# Обработка данных в ROOT

## ROOT-файл и дерево событий



После эксперимента данные сохраняются в ROOT-файлах.  
Каждое событие содержит сигналы с разных каналов детекторов.

## Основные этапы



## Что делает ROOT

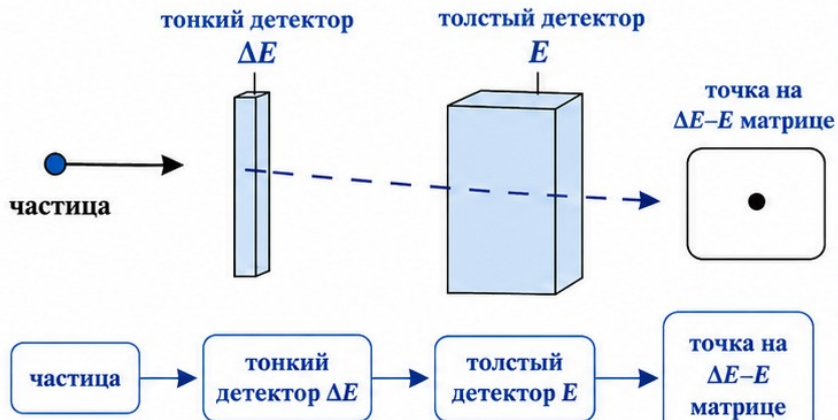
- хранение и чтение данных
- построение гистограмм
- калибровка
- отбор событий
- анализ спектров и корреляций



**Вывод:** ROOT используется для хранения, визуализации и анализа экспериментальных данных.

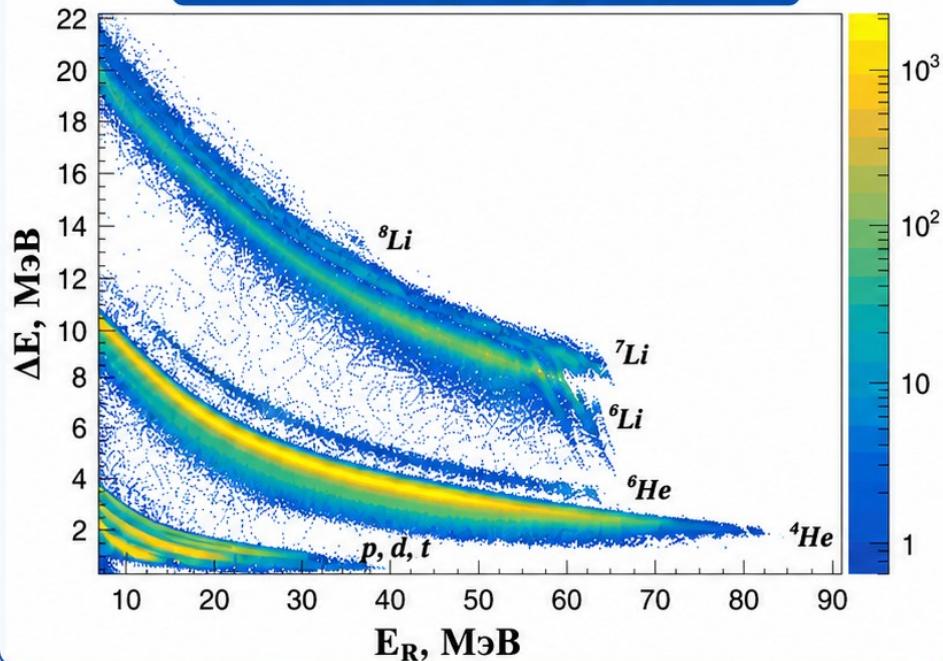
# Идентификация частиц: $\Delta E-E$ метод

## Принцип метода $\Delta E-E$



Разные частицы по-разному теряют энергию в веществе, поэтому на двумерной  $\Delta E-E$  матрице они образуют отдельные линии.

## $\Delta E-E$ матрица (пример)



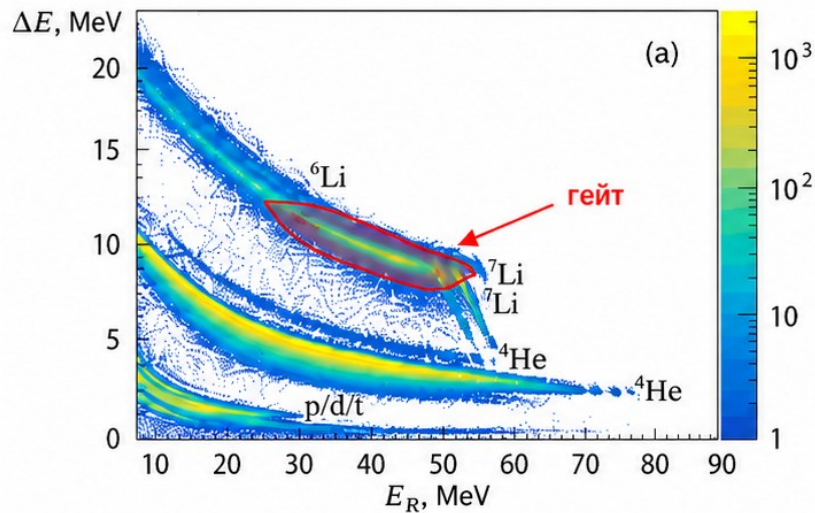
**Вывод:**



Метод  $\Delta E-E$  позволяет идентифицировать продукты реакции и выделять нужные события для дальнейшего анализа.

# Отбор событий и построение спектров

## Выбор нужных событий

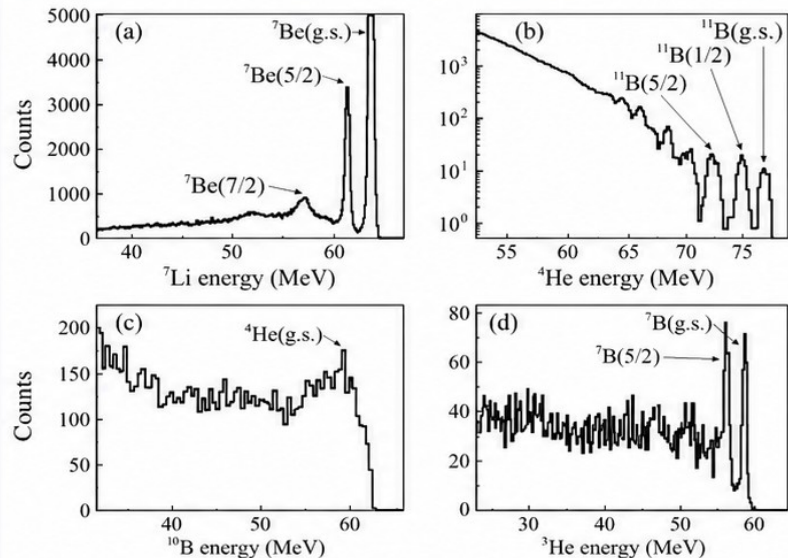


На  $\Delta E - E$  матрице выделяют область, соответствующую нужной частице.

выбранные события



## Построение спектров



После отбора строят энергетические спектры и другие распределения.

$\Delta E - E$  матрица



выбор области



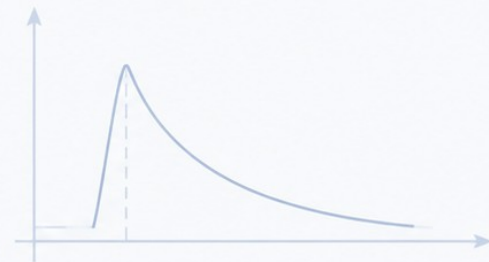
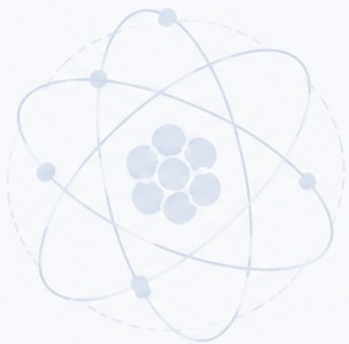
отбор событий



спектры



**Вывод:** Отбор событий позволяет отделить интересующий канал реакции от фона и других продуктов.



# Спасибо за внимание!

Вопросы?

