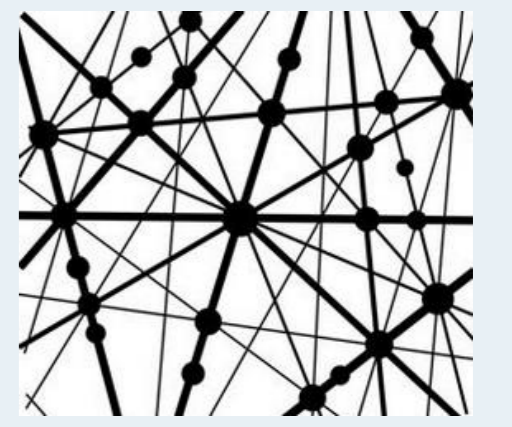


СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА (НА ПРИМЕРЕ DD-РЕАКЦИИ)



Г.Е. Седов^{1,*}, Д.Е. Карманов¹, И.А. Кудряшов¹, М.А. Негодаев², С.А. Мовчун²
¹ НИИЯФ МГУ, ² ФИАН им. Лебедева, * sge444@ya.ru

В рамках НИР с ФИАН им. Лебедева в лаборатории детекторных систем и электроники НИИЯФ МГУ был создан комплекс научной аппаратуры для регистрации заряженных частиц (продуктов ядерных реакций синтеза).

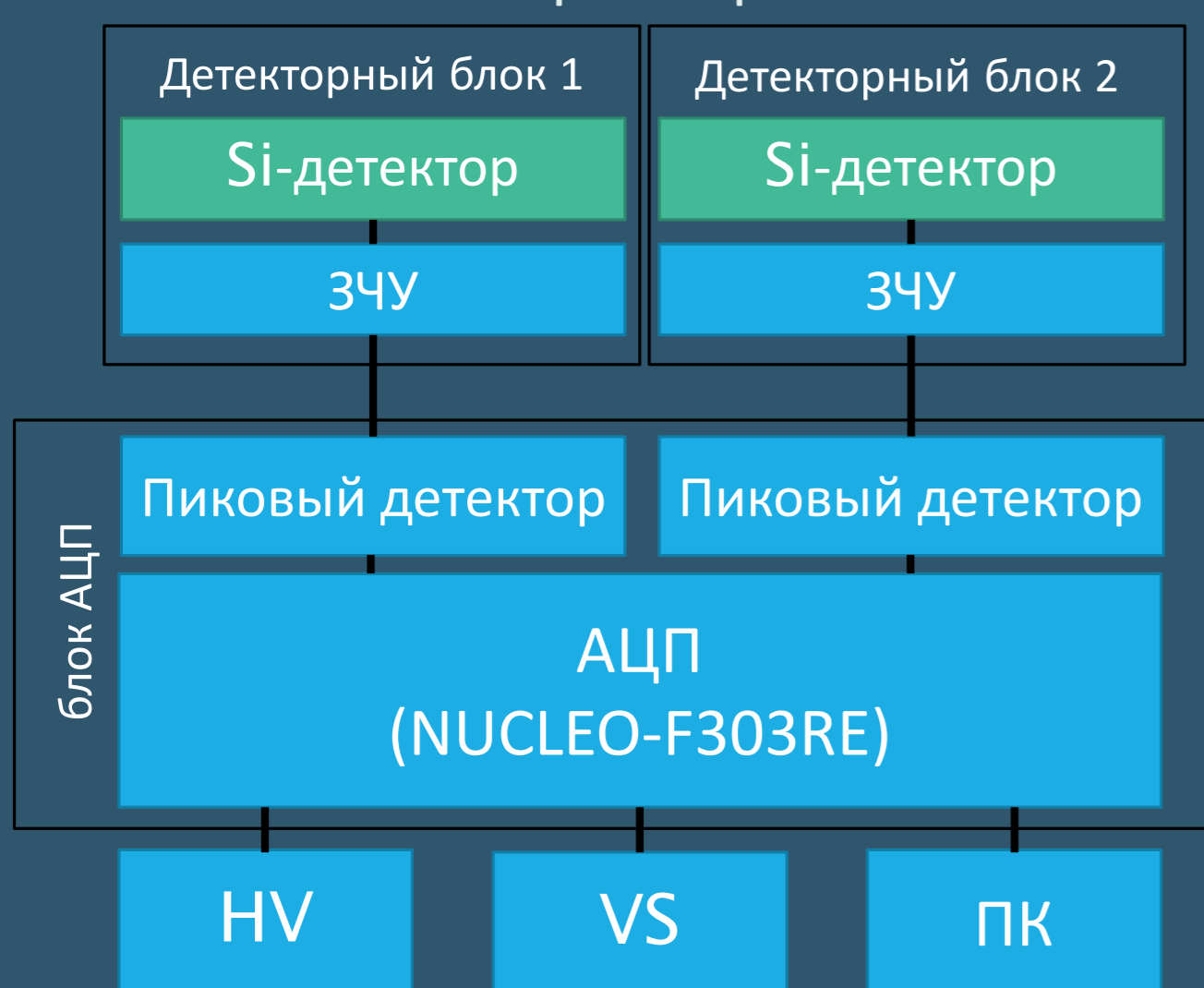
Цель работы

Создание аппаратуры для эффективной регистрации заряженных частиц в диапазоне энергий 0.5-10 МэВ в условиях работы ускорителя ГЕЛИС

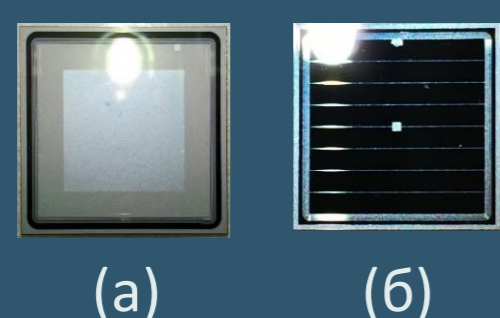
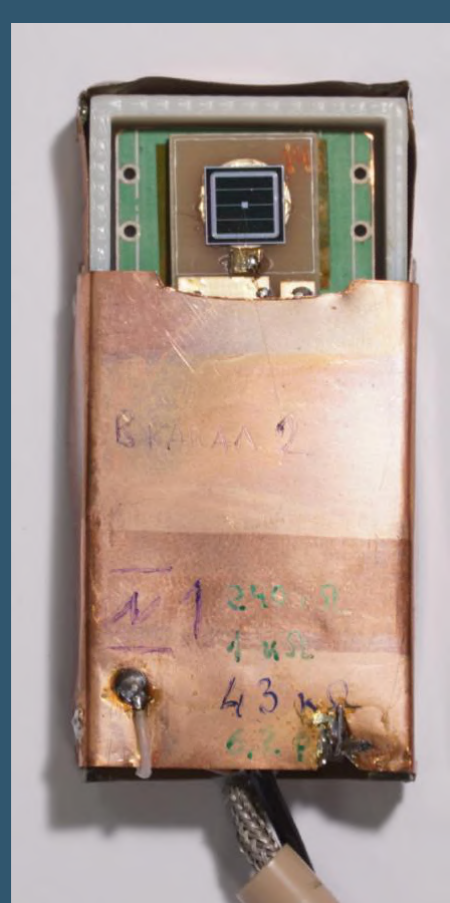
Задача

Регистрация продуктов DD-реакции.

Блок-схема спектрометра



Детекторный блок



Кремниевые сенсоры размером 1*1 см (а) со стандартной толщиной «входного окна» (около 2 мкм) (б) с тонким входным окном (1 мкм)

Схема зарядочувствительного усилителя

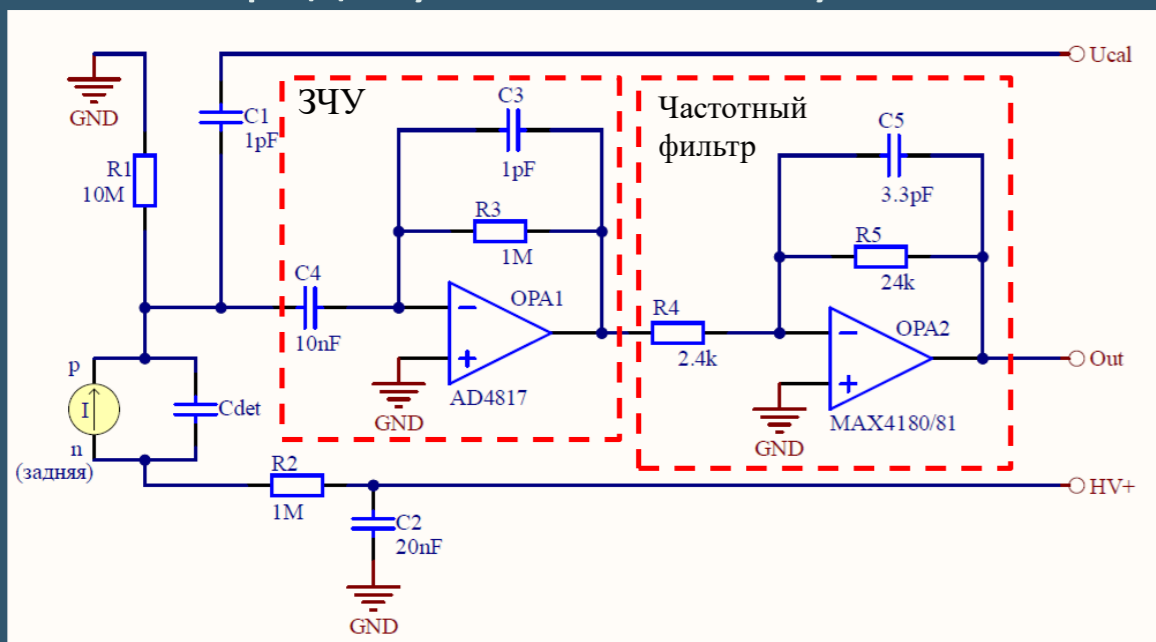
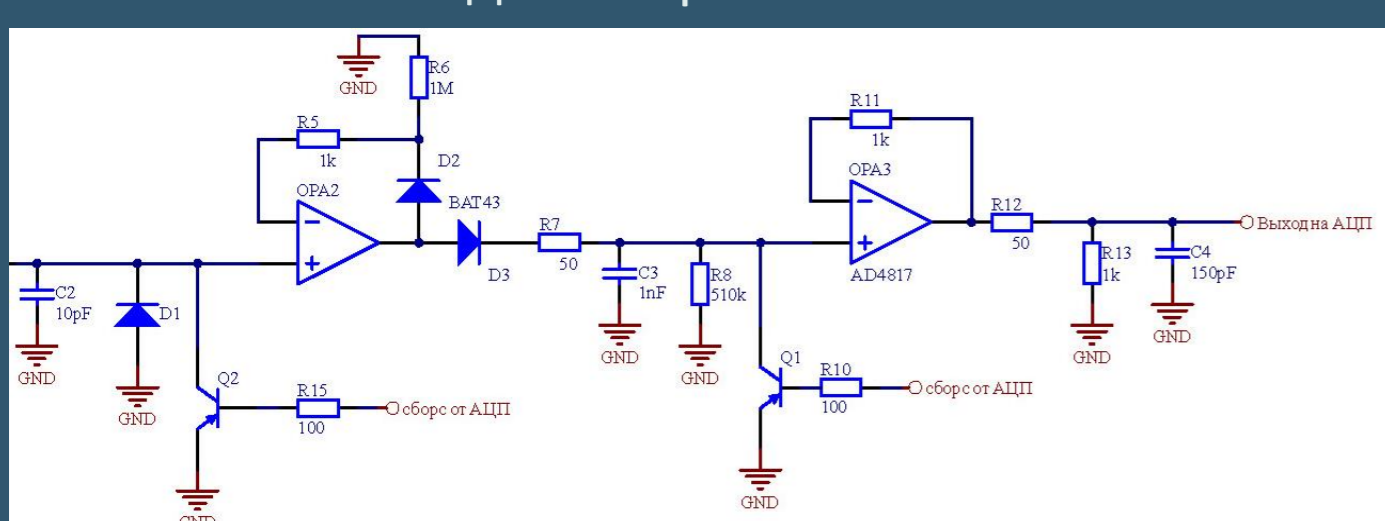
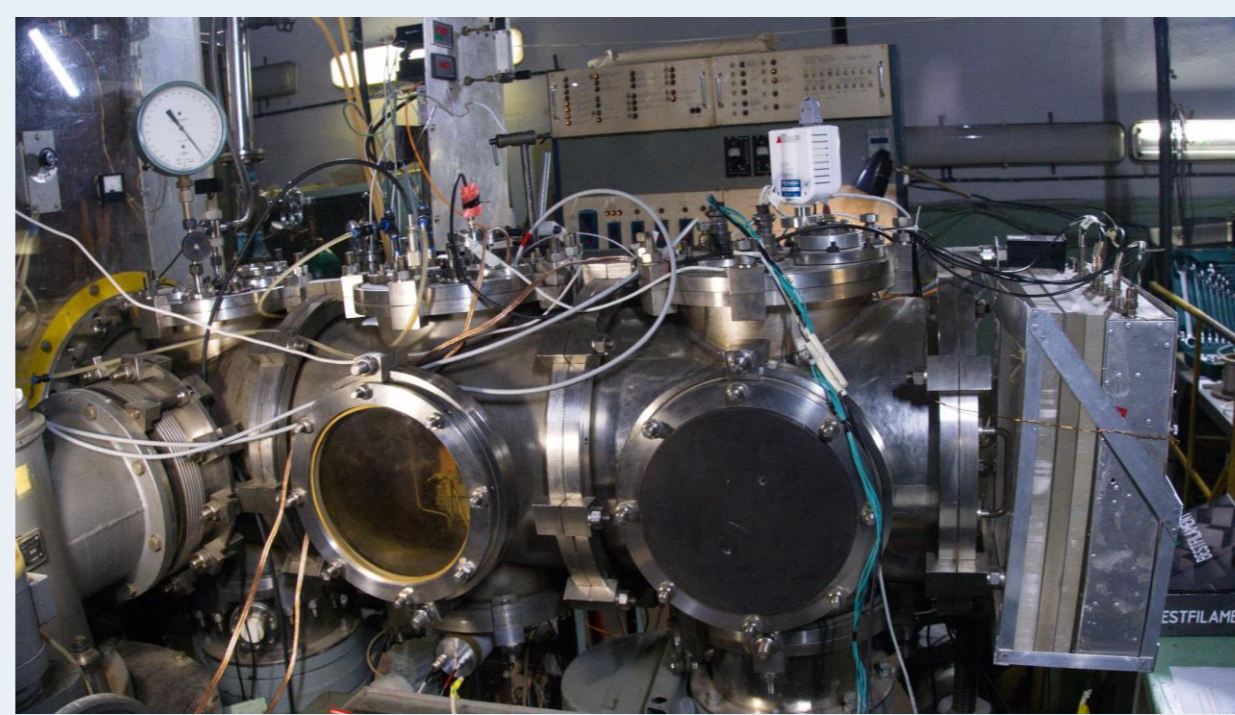


Схема пикового детектора



Ионный ускоритель ГЕЛИС (ФИАН)



Особенности эксперимента

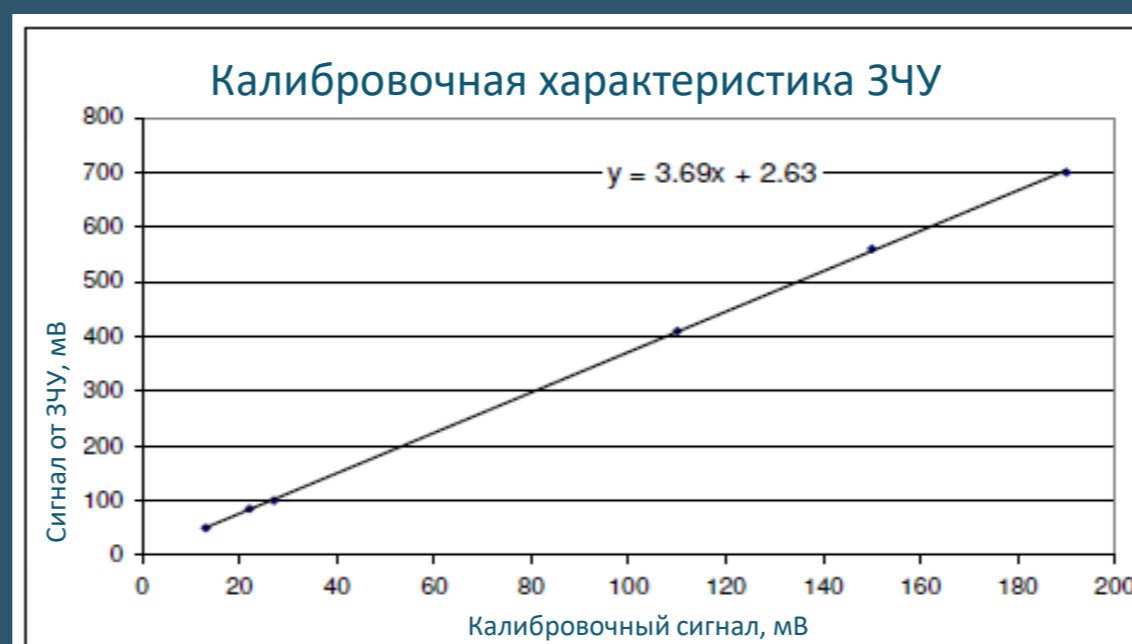
- Два детектора установлены на поворотных устройствах на ионном ускорителе ГЕЛИС
- Заряженные частицы регистрируются кремниевыми сенсорами. Показано, что детектор с тонким входным окном имеет преимущества, по сравнению с обычным.
- Зарядочувствительный усилитель (ЗЧУ) реализован на высокочастотном маломощном операционном усилителе AD4817.
- Некоторые параметры аппаратуры:
 - динамический диапазон 0.5-10 МэВ
 - внутренний уровень шума < 30 кэВ
 - мёртвое время 2 мкс
- Исследуемая мишень устанавливается на поворотном устройстве. Её температура контролируется. Исследовались мишени: титан, бор, карбид бора.
- По темпу счёта детекторов можно судить о концентрации в поверхности мишени:

$$n_{\text{ср}} = \frac{2}{\sigma d G} \frac{N_{\text{det}}}{j_{\text{beam}}}$$
- После выхода системы на стационарный режим можно оценить коэффициент диффузии:

$$D = \frac{j_{\text{beam}} \cdot d}{n(d)}, D_0 = D \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

где N_{det} - число протонов, попадающих в детектор за 1 с, σ - сечение реакции $D(d, p)T$, j_{beam} - плотность тока пучка, G - геом. фактор, d - эффективная глубина взаимодействия, Q - энергия активации

Предварительная калибровка детекторного блока показала линейность ЗЧУ

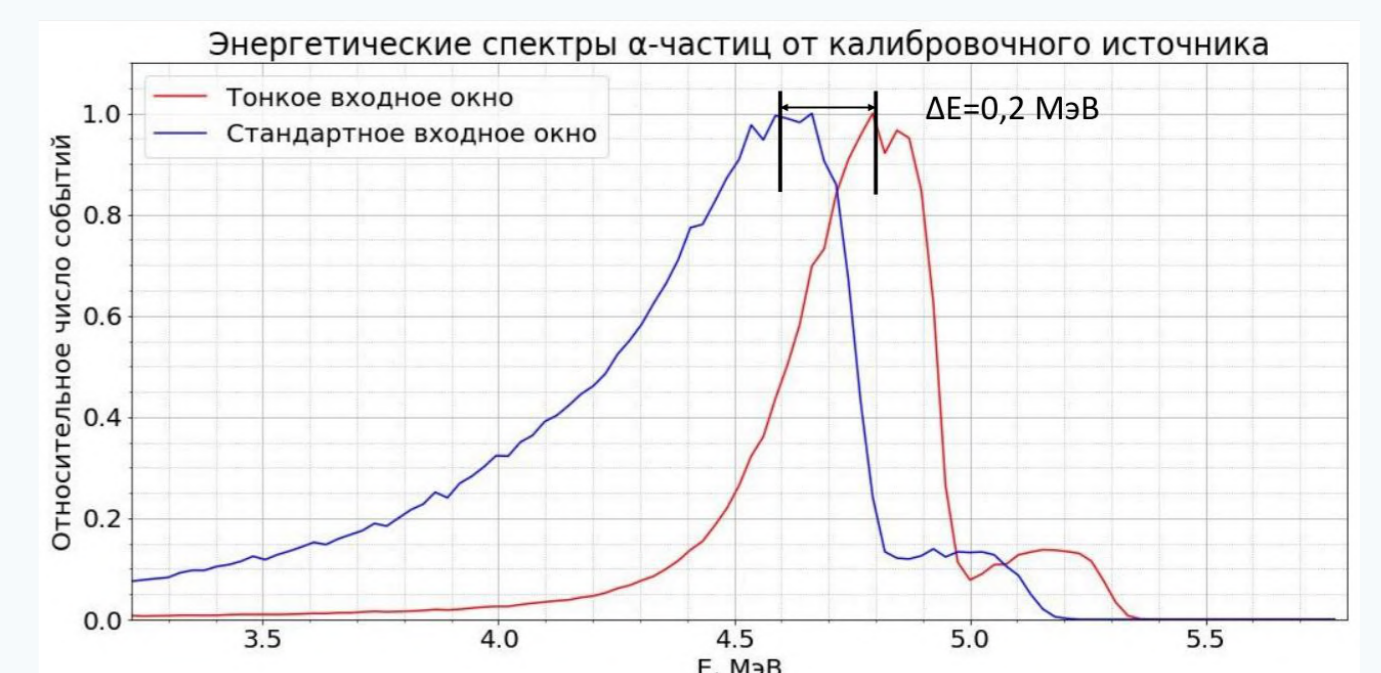


Актуальность изучения D+D реакции

- Изучение реакций нуклеосинтеза позволяет лучше понять процессы, происходящие в звездах и во Вселенной в целом.
- Развитие новых источников энергии, использующих термоядерный синтез
- Улучшение процессов генерации энергии и разработка более эффективных методов использования ядерной энергии
- По выходу реакции, можно сделать оценку концентрации дейтерия и коэффициента диффузии дейтерия в твёрдой мишени.

Результаты

Были разработаны, изготовлены и протестированы кремниевые детекторы с тонким входным окном. Эксперимент с калибровочным источником и последующие ускорительные эксперименты подтвердили расчётную потерю энергии в мёртвом слое.

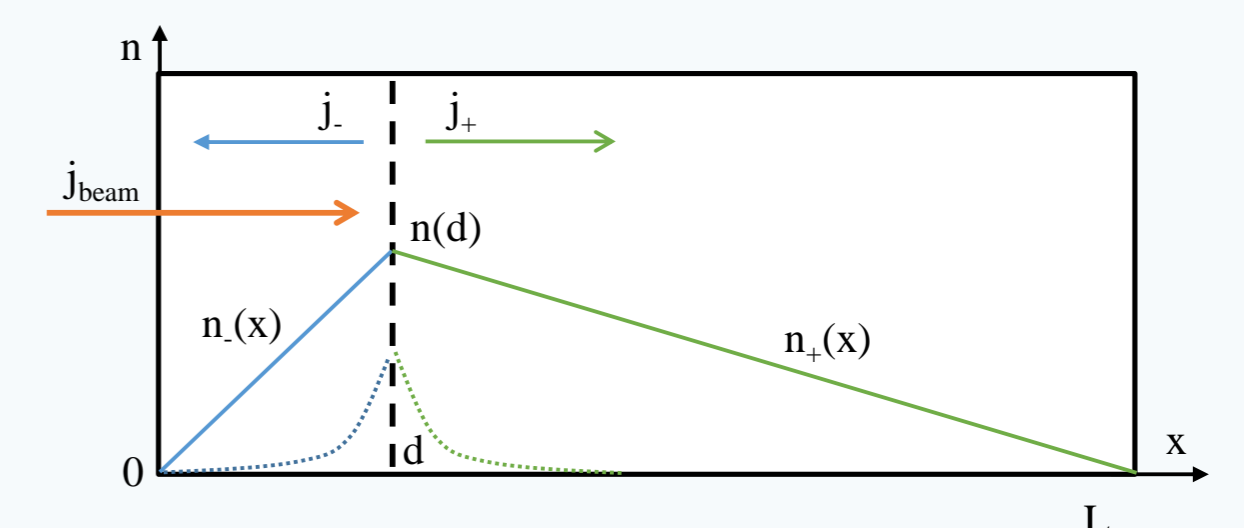


Применение детекторов с тонким входным окном позволило регистрировать пик ${}^3\text{He}$ в DD-реакции.



Спектрометр позволяет строить зависимости числа регистрируемых протонов в DD-реакции, по которым можно судить об интенсивности реакции в целом. Выход реакции растёт со временем и постепенно выходит на стационарный режим, в котором $j_- \approx j_{\text{beam}}$.

Распределение дейтерия по глубине в упрощённой модели диффузии:



Темп счёта протонов от времени в мишени карбид бора (наблюдается выход на стационарный режим)

