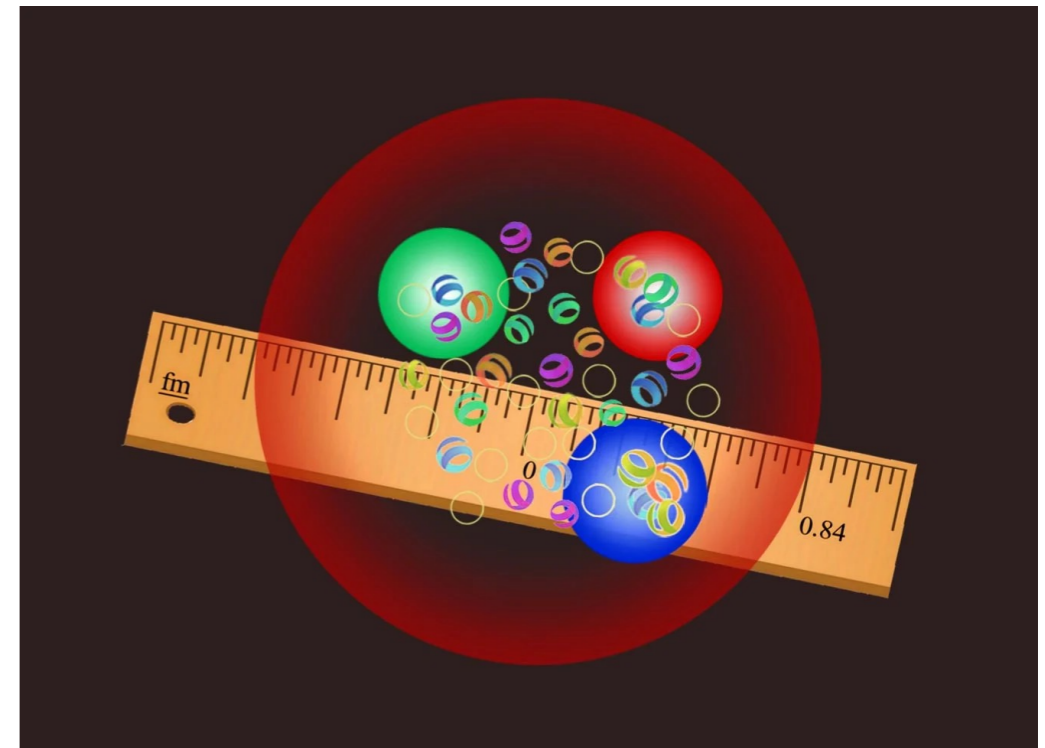




Предложения в научную программу ИКИ НЦФМ по экспериментальному исследованию фундаментальных свойств нуклонов

Полина Кравченко

- Метод активной мишени
- Научно-экспериментальные возможности ПИЯФ
- Предложения по программе экспериментов

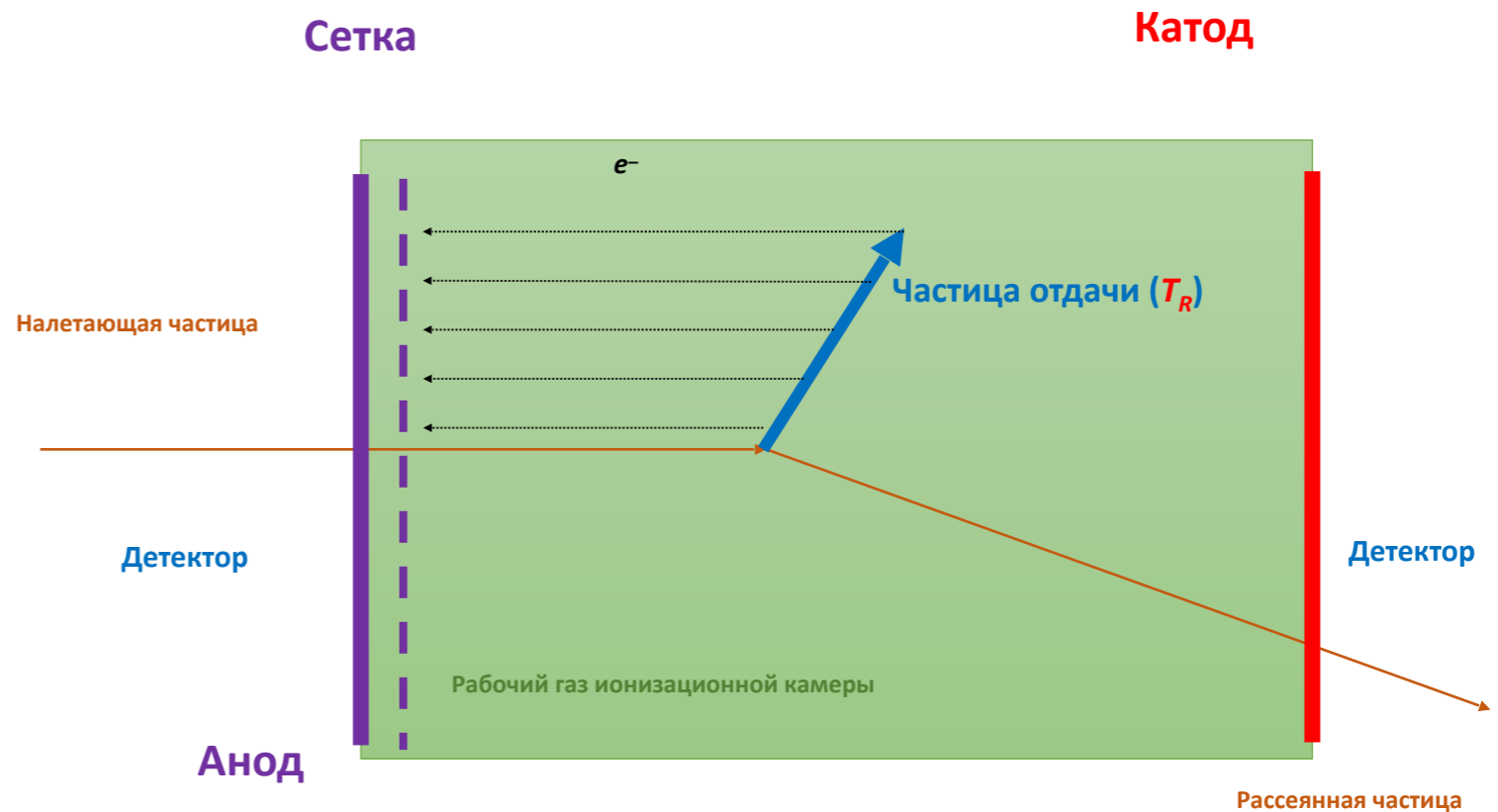


Метод активной мишени

- В методе активной мишени время-проекционная ионизационная камера (ИК) является одновременно газовой мишенью и детектором частиц отдачи.

ИК = Активная мишень = TPC (Time Projection Chamber)

- Метод позволяет измерять:
 - Энергию частицы отдачи (T_R), Квадрат импульса (q^2), переданного ей
 - Угол вылета частицы отдачи (ϑ_R)Измеряется по разнице времен прихода сигнала на сегментированную анодную плоскость



$$\text{Сигнал ИК} \sim T_R = q^2 / 2M_R$$

Преимущества метода:

- Отсутствие стеночных эффектов
- Прямое определение q^2
- Возможность работы в режиме совпадений
- 3D-картина ионизации

Алексей Алексеевич Воробьев

(1931-2021)

- Член-корр. РАН
- Директор ЛИЯФ (1986-1992)
- Руководитель ОФВЭ ПИЯФ



Вдохновитель, идеолог и руководитель работ по применению метода активной мишени для прецизионных физических измерений

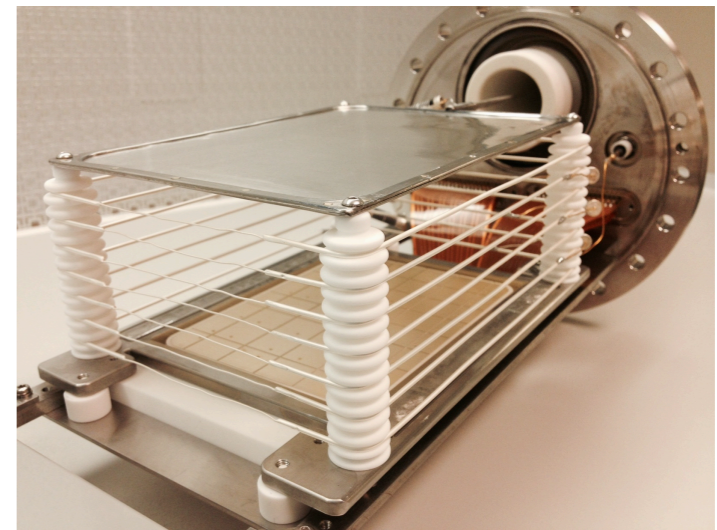
Метод активной мишени

За последние 15 лет **ОФВЭ НИЦ «КИ» - ПИЯФ** предложил ряд совместных экспериментов на основе метода активной мишени:

пучки, различные рабочие газы, широких спектр давления, различные конфигурации падовых плоскостей

- **CERN** (г. Женева, Швейцария) - малоугловое рассеяние пионов и протонов
- **GSI** (г. Дармштадт, Германия) - исследование распределения материи в короткоживущих лёгких ядрах
- **PSI** (г.Филлиген, Швейцария) - мю-катализ dd , dt , $d^3\text{He}$, мю-захват d , t , ^3He

криогенная TPC (29K) заполненная сверхчистым дейтерием с уровнем примеси **~1 ppb**



- **MESA** (г. Майнц, Германия) – измерение поляризуемости нуклона
- **R³B** (FAIR, г. Дармштадт, Германия) – изучение свойств экзотических ядер

"Парк" ионизационных камер в НИЦ КИ - ПИЯФ



ИК для проекта КОМПТОН



АСТАФ2 в вакуумной лаборатории ОФВЭ



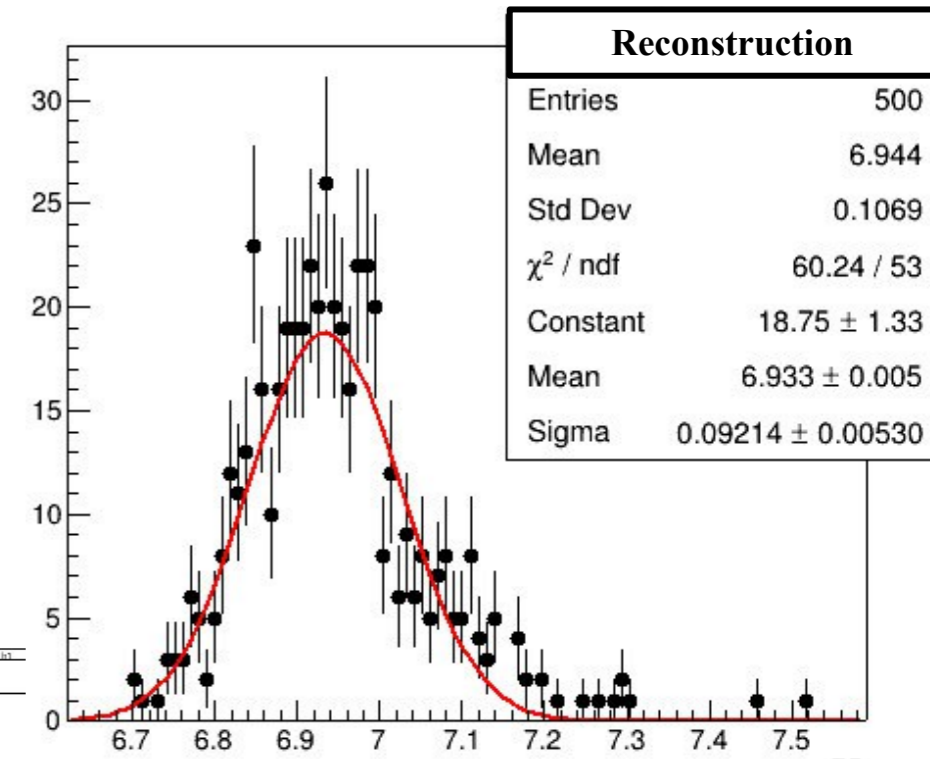
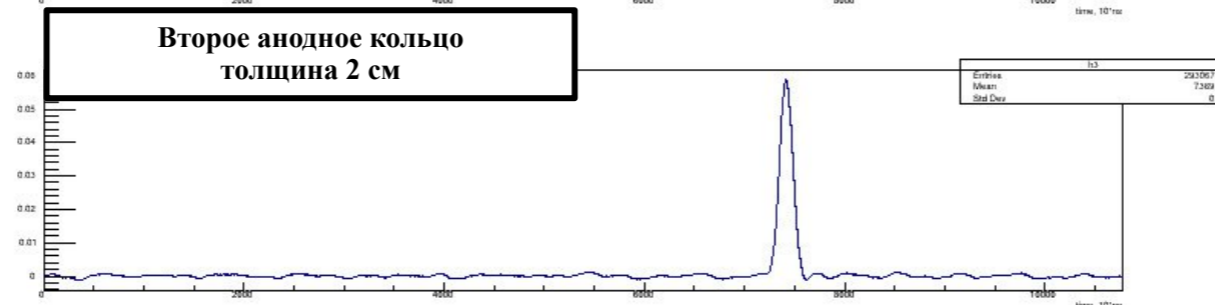
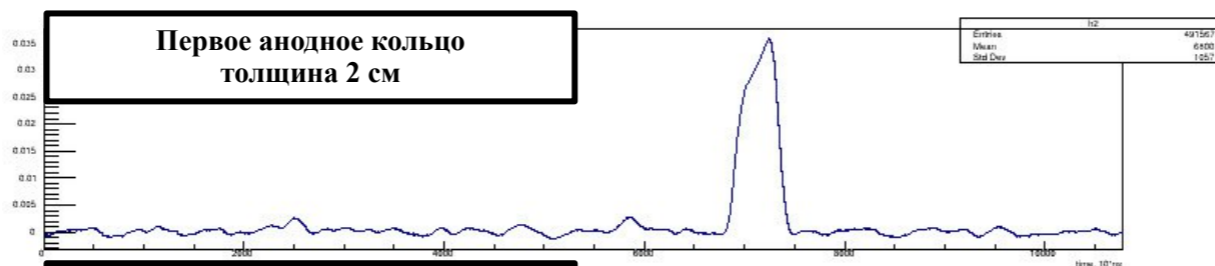
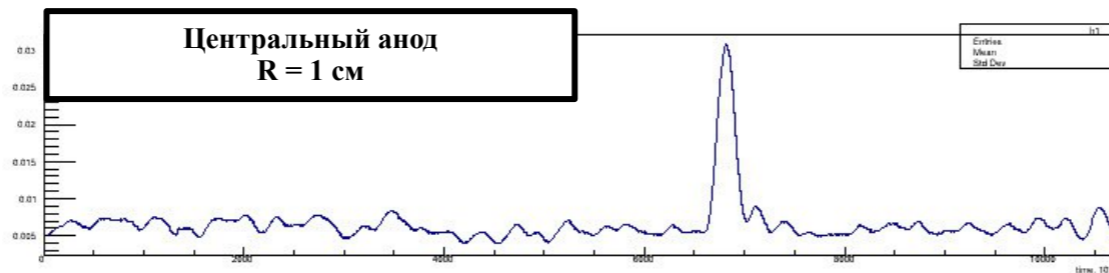
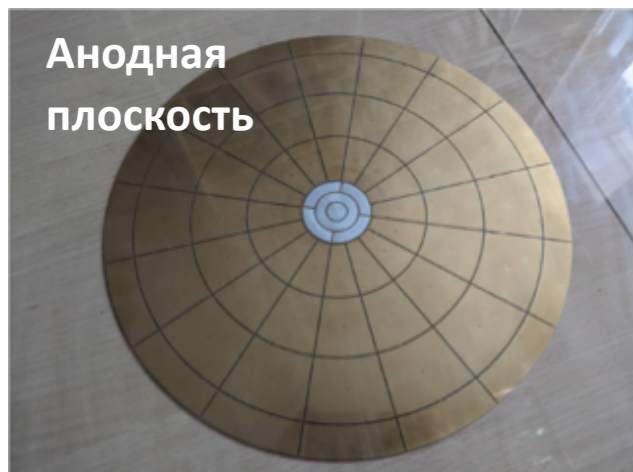
Сосуд высокого давления ИК АСТАМ

**+ большая ИК высокого давления на
стадии разработки для проекта
ПРОТОН**

Монте-Карло модель ИК

Построена компьютерная Монте-Карло модель ИК, учитывающая физические процессы формирования сигнала частицей отдачи, а также сопутствующие шумы (электронический шум, наведенный пучком электронов).

- Транспорт ионизирующего излучения (Geant4)
- Учет фона наложения от электронов пучка ($10^6 e^-/c$)
- Учет функции отклика электроники
- Моделирование шумов электроники



- Тип частицы: протон
- $T_R = 7$ МэВ
- Угол вылета частицы отдачи к оси пучка: 70 град.

Равномерный пучок $10^6 e^-$

Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

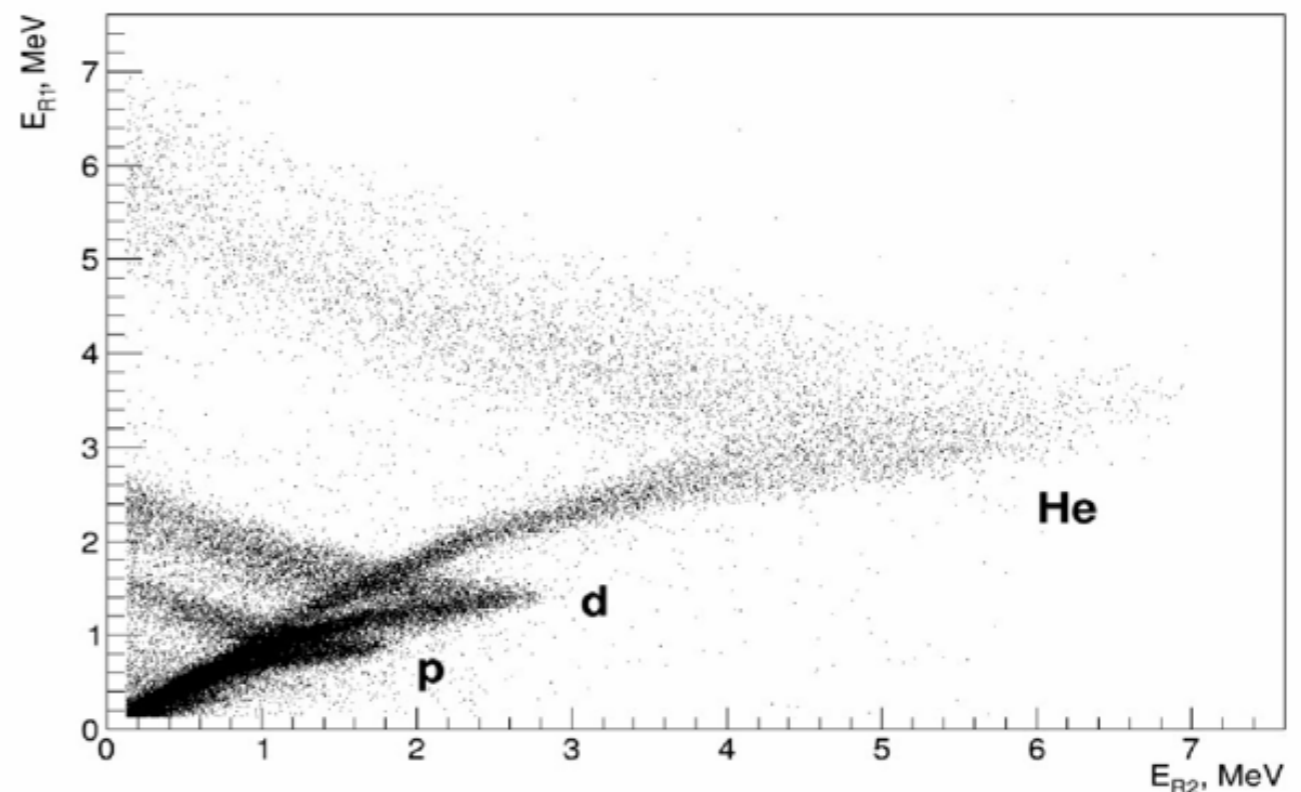
Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени
на электронном пучке

- **Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)**
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

0-day!

Измерение дифференциальных сечений выбивания протонов и кластеров (дейтронов и ядер гелия) на различных газовых мишенях (He, CH₄, N₂, Ar) при различных энергиях электронного пучка.



Требования к пучкам (возможные варианты):

равномерный пучок электронов, импульсный пучок электронов или фотонов с частотой <10 кГц (для обеспечения временной привязки акта рассеяния в ионизационной камере).

Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- **Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)**
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

1st - day!

Поляризуемость – одно из фундаментальных свойств нуклона, которое характеризует степень его деформации под действием внешнего электромагнитного поля.

- При угле рассеяния 90 градусов сечение не зависит от магнитной поляризуемости.
- Достаточно провести измерения при двух углах (90 и 135 град.)
- Использование активной мишени на совпадение со спектрометром фотонов позволяет получить дополнительные ограничения на кинематику рассеяния
- Можно использовать непрерывный спектр фотонов
- Нормировка на энергии фотонов в районе 25 МэВ, где зависимость от поляризуемости очень слабая

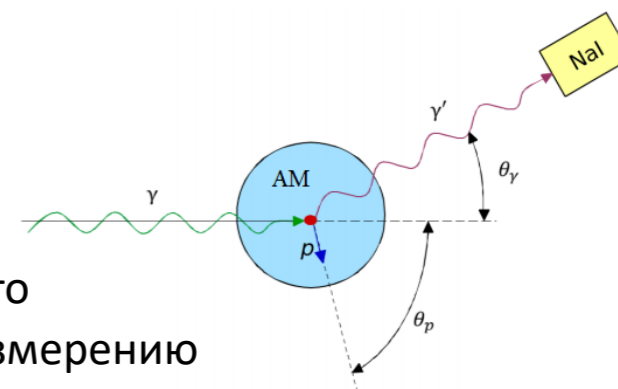


Схема планируемого эксперимента по измерению поляризуемости нуклонов

**Требования к пучкам:
равномерный пучок электронов 50 мкА
с энергией до 140 МэВ для
создания пучка фотонов тормозного излучения**

Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

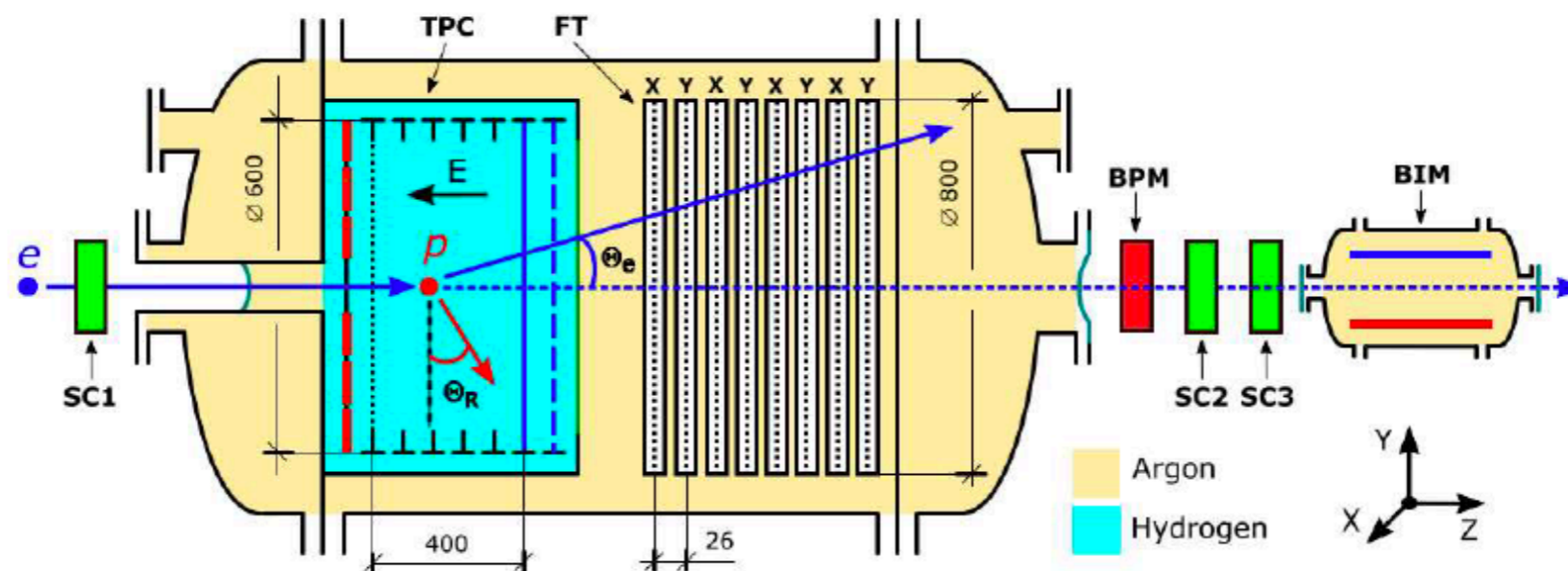
- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- **Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)**
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- **Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)**

Зарядовый радиус протона - фундаментальная характеристика, точность определения которой вызывает споры и активно обсуждается в научной среде.

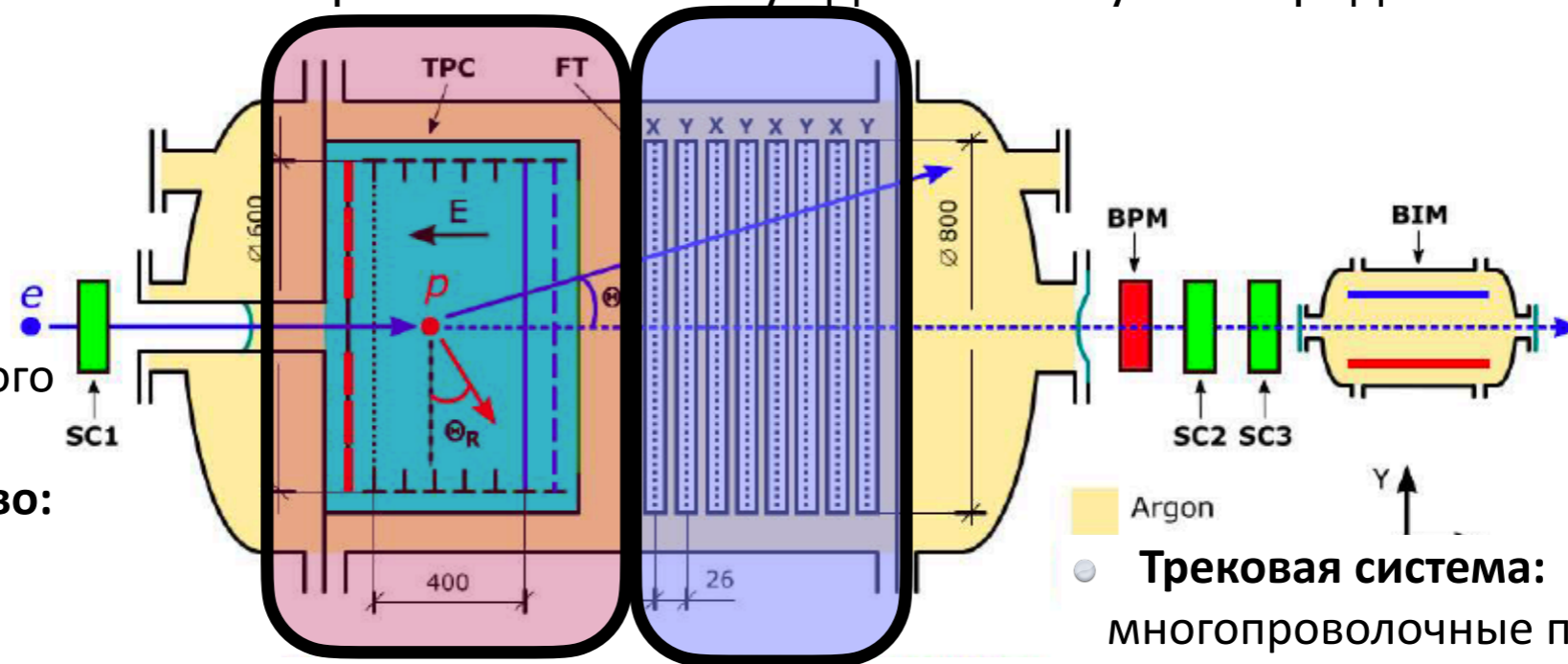


Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- **Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)**

Зарядовый радиус протона - фундаментальная характеристика, точность определения которой вызывает споры и активно обсуждается в научной среде.



- **Активная мишень:**
водородная ВПК высокого давления (20 бар)
- **Главное преимущество:**
независимое от энергии электрона определение величины квадрата переданного импульса
- **Измеряемые параметры:**
энергия и угол вылета протона отдачи

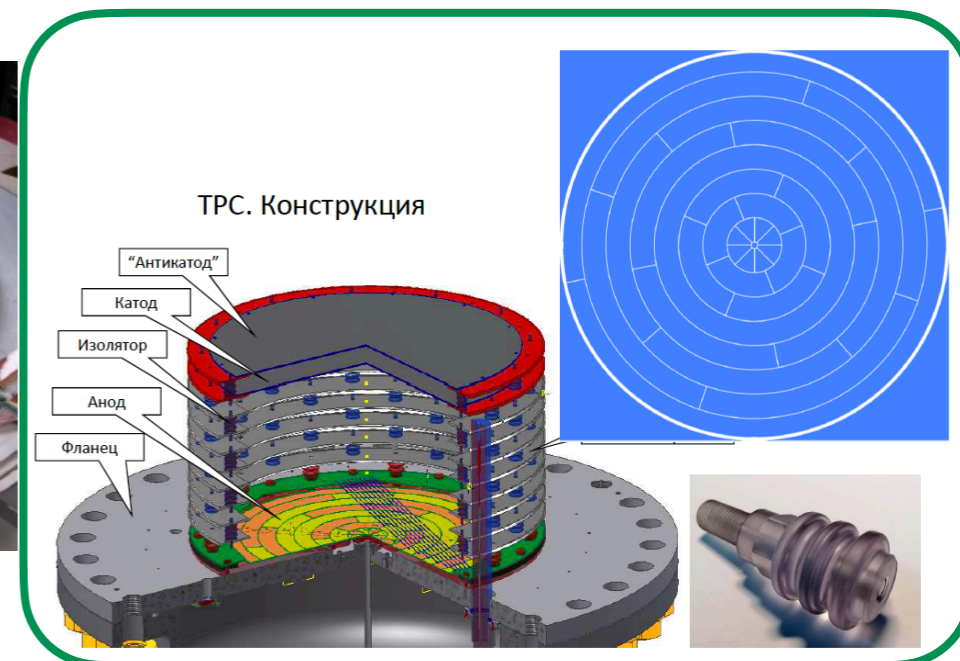
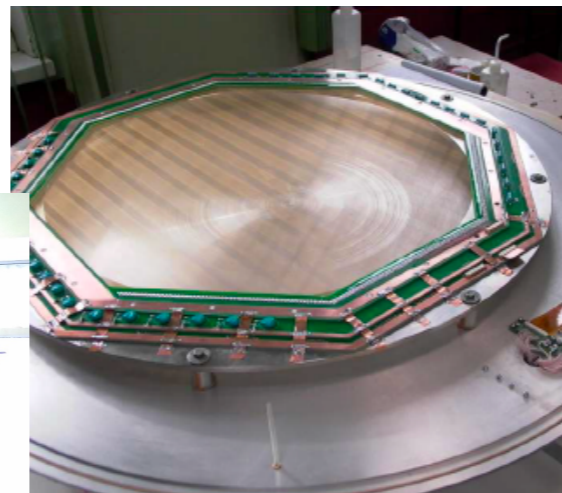
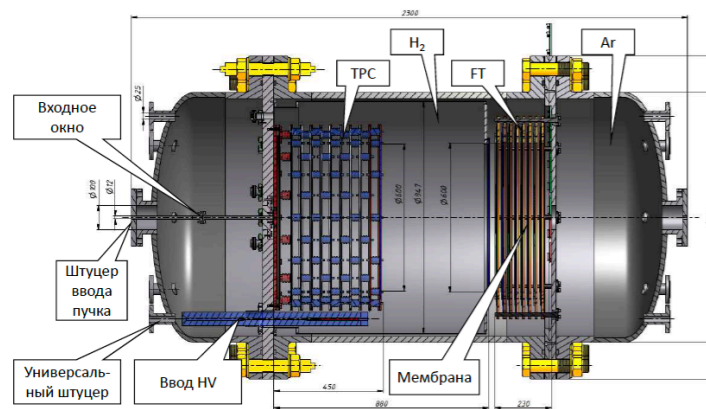
- **Трековая система:**
многопроводочные пропорциональные камеры с катодным съемом информации
- **Главное преимущество:**
восстановление трека рассеянного электрона с высокой точностью
- **Измеряемые параметры:**
угол рассеянного электрона

Предложения по программе экспериментов

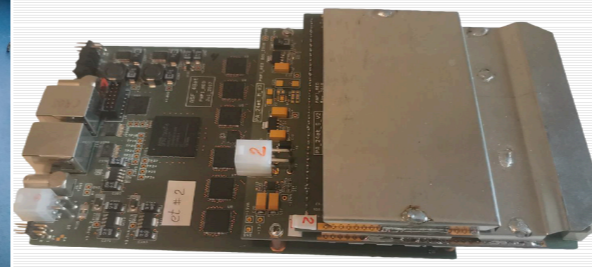
при помощи техники активной мишени
на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- **Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)**

Зарядовый радиус протона - фундаментальная характеристика, точность определения которой вызывает споры и активно обсуждается в научной среде.



параметры электронного пучка ?



Предложения по программе экспериментов

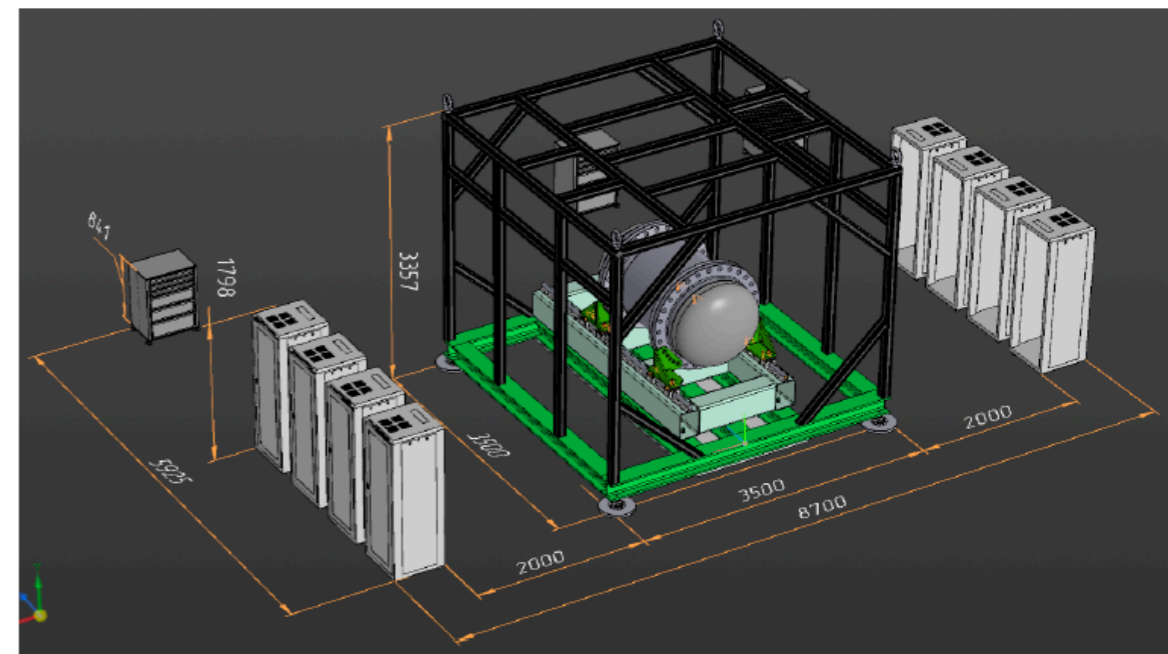
при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- **Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)**

Зарядовый радиус протона - фундаментальная характеристика, точность определения которой вызывает споры и активно обсуждается в научной среде.

Требования к пучку:

Параметры	Минимально	Максимально
Энергия электронов, ГэВ	0.5	2
Энергетический разброс	$0.4 \cdot 10^{-4}$	$5.5 \cdot 10^{-4}$
Интенсивность электрон/сек	10^6	10^{14}
Норм. эмиттанс, нм*рад	1	15
Частота сгустков, Гц	0.1	1



Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

На стадии проработки идеи находятся предложения

- **Фотомагнитное расщепление дейтрона**
- Измерение полного γp и γd сечений взаимодействия (адронная фотоника)

Цель: прямое измерение сечения фотомагнитного расщепления дейтрона.

Экспериментальный метод: измерение ослабления пучка фотонов при прохождении его через обычную и тяжелую воду.

Требования к пучкам: фотоны в диапазоне энергий 2-4 МэВ

Предложения по программе экспериментов

при помощи техники активной мишени на электронном пучке

- Измерение сечения выбивания нуклонов и кластеров из ядер (ИК АСТАМ / АСТАФ2)
- Измерение электрической и магнитной поляризуемостей нуклона (КОМПТОН)
- Исследование комптоновского рассеяния на гелии-3 (ГАММА-ГЕЛИЙ)
- Прецизионные измерения абсолютного сечения упругого ер- рассеяния с регистрацией протона отдачи. Измерение зарядового радиуса протона (ПРОТОН)

На стадии проработки идеи находятся предложения

- Фотомагнитное расщепление дейтрона
- **Измерение полного γp и γd сечений взаимодействия** (адронная фотоника)

Цель: прямое измерение полного сечения взаимодействия фотонов с протонами и дейтронами в области возбуждения адронных степеней свободы.

Экспериментальный метод: ослабление пучка фотонов высоких энергий при прохождении через жидководородную и жидко-дейтериевую мишень.

Требования к пучкам: фотоны в диапазоне энергий до 1500 МэВ

Выводы и заключение

1. НИЦ КИ ПИЯФ предложена **широкая и амбициозная программа** физических экспериментов для электронных пучков ИКИ
2. Успех программы будет определяться в том числе наличием различных электронных пучков и их параметрами
3. Хотелось бы зафиксировать **(ДА/НЕТ ??)** ситуацию с выводом электронных пучков с малого и большого накопительного колец, с бустерного синхротрона, а так же организацию by-pass

При положительном решении

- **необходима передача документов/схем**
- и переходить к началу обсуждения:

Ключевые характеристики экспериментальных помещений:

- Наличие крана и прочный пол
- Возможность организации защиты из бетонных и свинцовых блоков
- Суммарная масса элементов защиты детектора (оценка): 30 тонн
- Дополнительная пассивная радиационная защита
- Соответствующий класс радиационной опасности
- Допуск к работе с горючими газами (водород)
- Возможность размещение газовой системы (включая насосное оборудование), источников питания и электроники
- Линии компьютерных сетей для организации удаленной работы из контрольной комнаты
- Контрольная комната эксперимента