

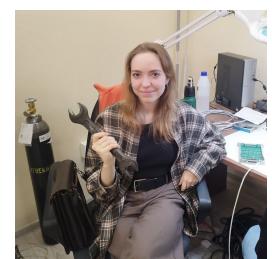
Отдел Детекторов Излучений ОФВЭ ПИЯФ

Зимняя Сессия УС ОФВЭ ПИЯФ

25.12.2025

Олег Маев

Состав ОДИ



Основные направления

На данный момент все проекты связанные с международным сотрудничеством, что и было основным направлением деятельности отдела в последние десятилетия, свёрнуты.

На сегодняшний момент:

Создание установок для работ на СЦ-1000 в Гатчине и для других российских научных центров, в том числе и находящихся в стадии строительства.

Отдельное направление – детекторы нейтронов для ПИК

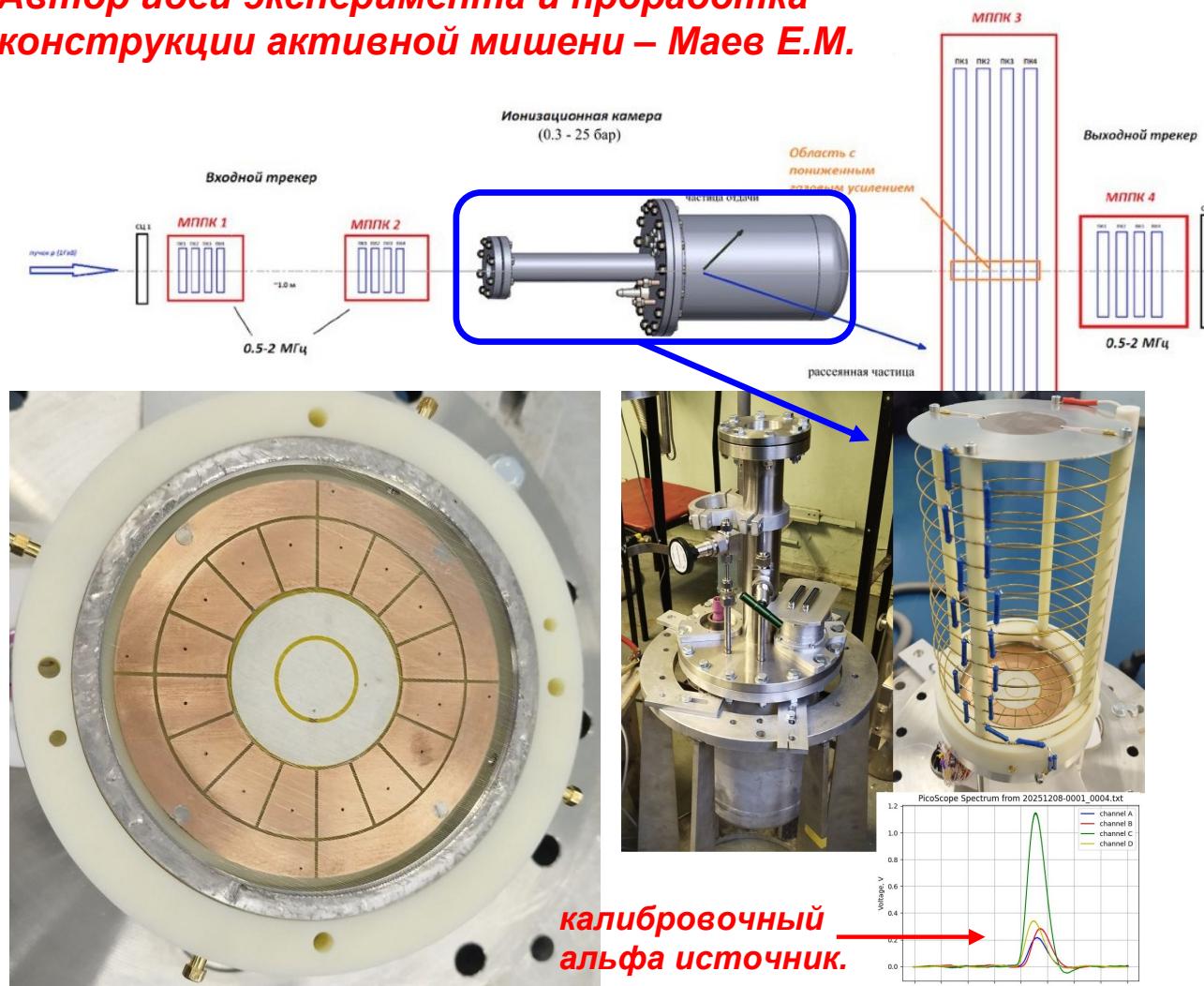
Ключевые направления – трековые детекторы (пропорциональные и дрейфовые камеры) и активные мишени (ионизационные камеры)

- Проекты «КОМПТОН», «ПРОТОН», «СПАСЧАРМ», активные мишени, проекты на ПИК и др.

Проекты на СЦ-1000

Изучение упругого и неупругого рассеяния протонов на лёгких ядрах с помощью активной мишени (типа ИКАР). **Доклад Дзюбы А.А.**

Автор идеи эксперимента и проработка конструкции активной мишени – Маев Е.М.



Активная мишень полностью создана в ПИЯФ

Конструкторы:
Ганжа Г.А, Леонова Е.Н., Федорова О.П.

Новый корпус: сделан в ЦЭО
Анод:

**Кудин Л.Г., Чернышова Е.А,
Хрисанова Л.И., Шабанов Г.Д.**

Сетка:

Филимонова Н.Н., Парченко И.Н.

Механические работы и сборка:

Граник А.Г., Гуменюк В.А.

Распайка и монтажная часть:

Борисова О.В.

Электроника:

Иванов В.В., Грузинский Н.В.

FADC – разработка Неустроева П.В.

для проекта «ПРОТОН»

Химики: Ганжа В.А., Сорока М.А.

Проверка на вакуум: Коченда Л.М.

Проекты на СЦ-1000

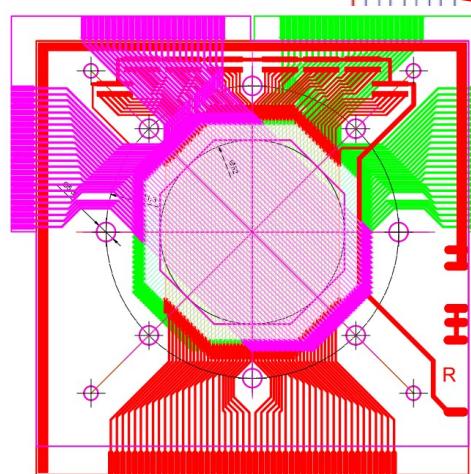
Изучение упругого и неупругого рассеяния протонов на лёгких ядрах с помощью активной мишени (типа ИКАР).

Трекер: **Бочин Б.В., Филимонова Н.Н.,
Парченко И.Н.**



**Станции трекера
входного и выходного
пучка на базе
пропорциональных камер:**

**Задача - добиться
пространственного
разрешения лучше чем 50мкм,
при загрузке на канал ~1МГц**
**Станция представляет
собой 4 последовательные
многопроволочные камеры
XY, со съёмом сигналов как с
катодов так и с анодов. Шаг
между проволочками 1мм, в
последовательных камерах
смещение на полшага и
поворот в плоскости XY.**



**В данный момент
изготавливается
прототип камеры (в
стадии намотки проволок)**

**Расчёты в Гарфильде:
здесь и везде по ПК ведут
Гаврилов Г.Е. и Карпухина П.И.**



Для первого выхода на пучок
(весной) мы планируем
воспользоваться камерами 50x50,
200x200 и 400x400, оснащёнными
электроникой CROS-3,
изготовленными для установок
МАП, НЕС и др. в прошлом
Миклухо О.В.

Параллельно
ведётся активная
работа с ОРЭ по
**разработке
считывающей
электроники.**
**В первую очередь
создание
предусилителей-
дискриминаторов
как для катодного,
так и для анодного
сигнала.**

**Тестовый стенд:
Фетисов А.А.,
Чубыкин А.Д.**

Проекты на СЦ-1000

Исследование нарушения изотопической инвариантности в процессах перезарядки π-мезонов и образования η-мезонов.

доклад Новинского Д.В.

**Андреев В.А., Филимонова Н.Н.,
Парченко И.Н., Фетисов А.А.**

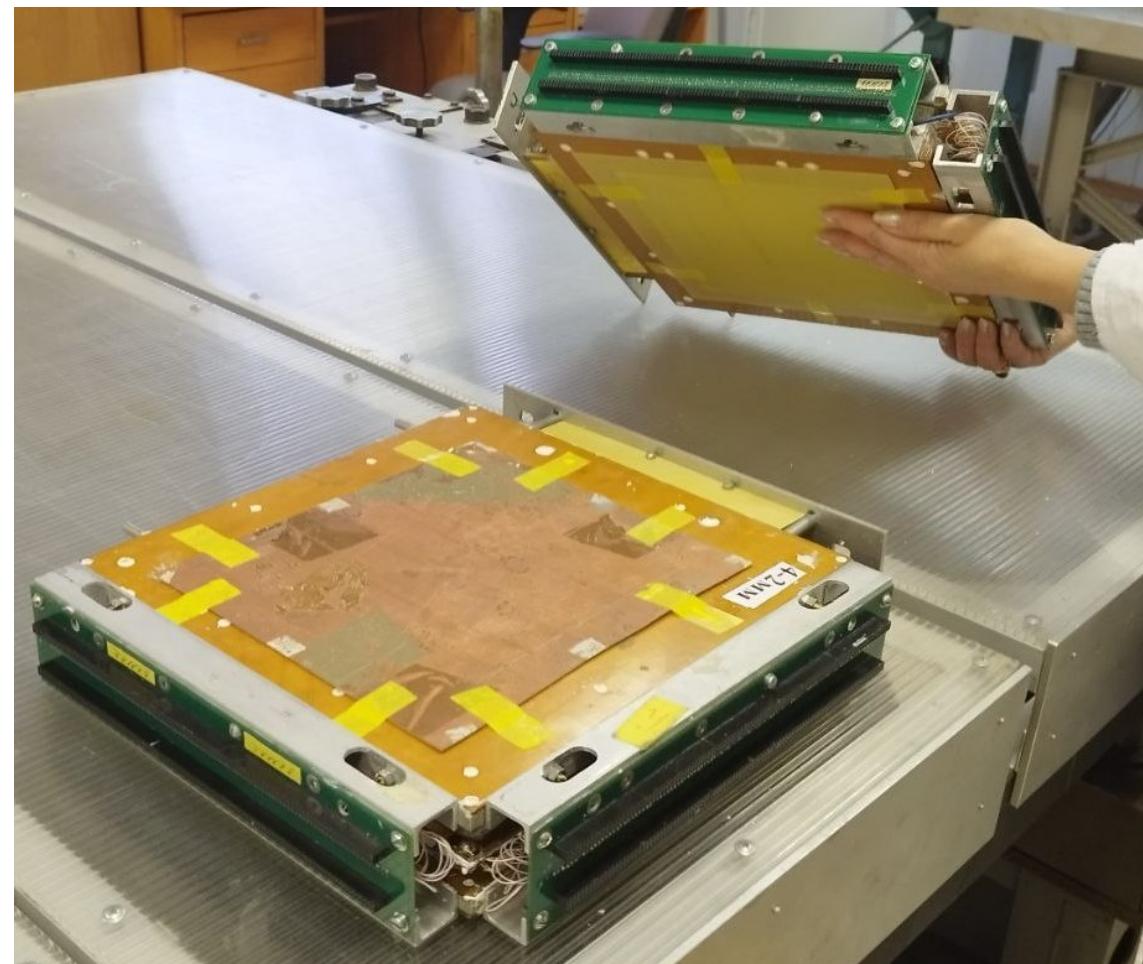
3 камеры XY, размером 200x200
вышли из строя на пи-канале:
- шаг между проволочками:

*две камеры – 1мм
одна камера – 2мм*

- зазор анод-катод – 3мм
- продуваются магической
смесью – аргон/изобутан/фреон
 $\text{Ar}(74.5\%)/\text{C}_4\text{H}_{10}(25\%)/\text{CF}_3\text{Br}(0.5\%)$

*На данный момент, камеры
перебраны, повреждённые
анодные плоскости
заменили/отремонтировали.
Камеры находятся в стадии
проверки.*

*Такие же камеры используются в
детекторе СПАСЧАРМ (Протвино)*



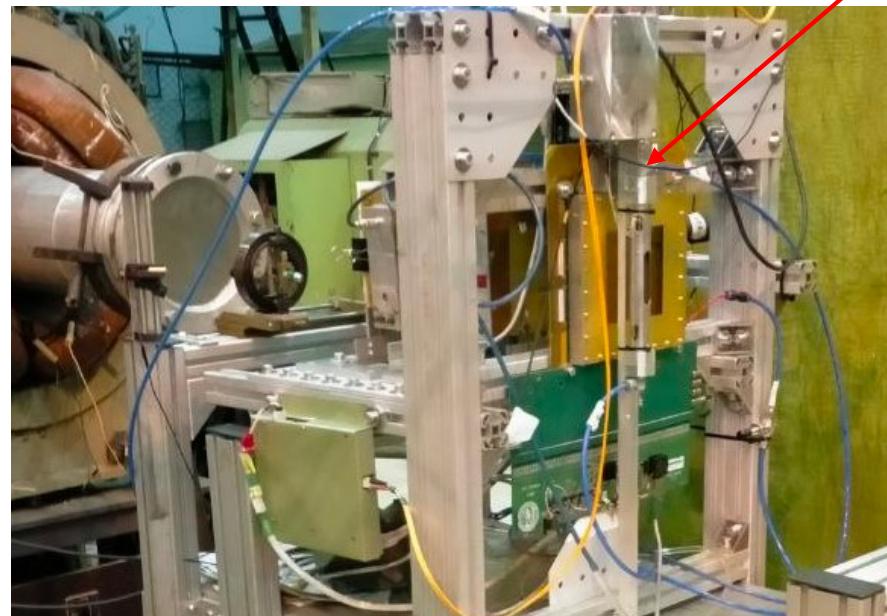
Проекты на СЦ-1000

Тест дрейфовой трубы на протонах для трекера SPD-детектора

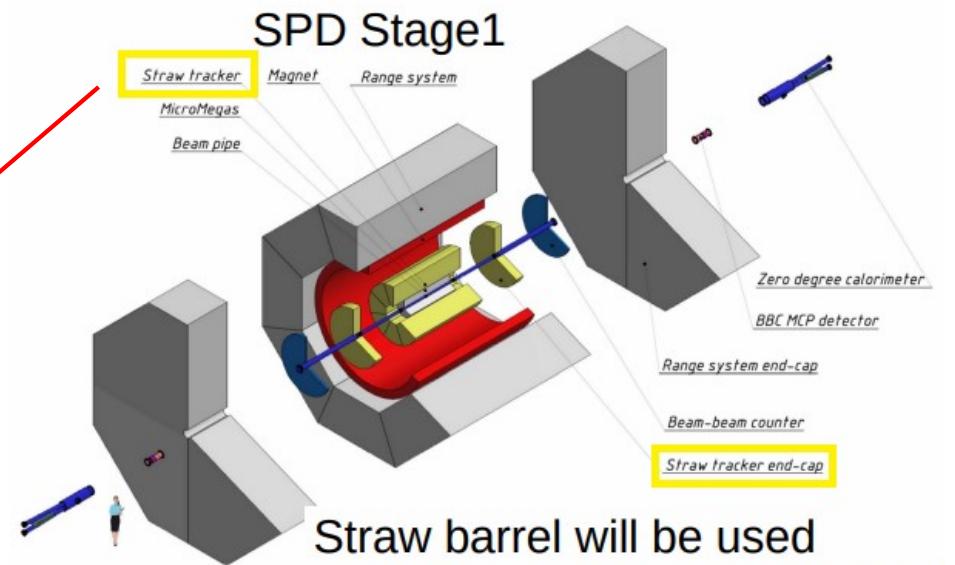
(коллайдер NICA, Дубна)

Доклады Кима В.Т. и Соснова Д.И.

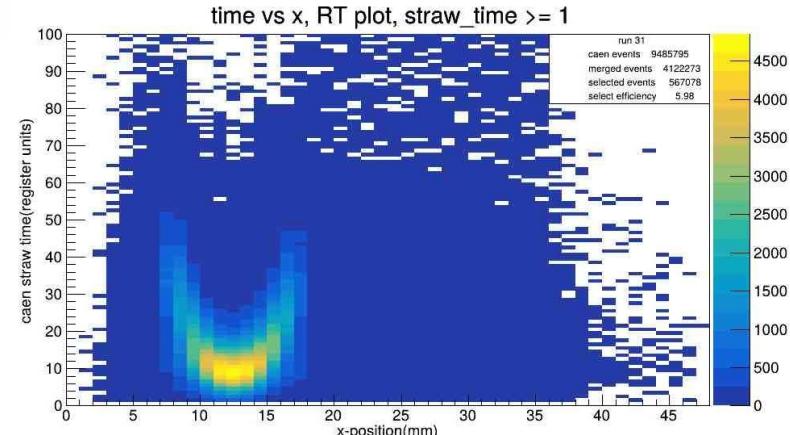
Коллектив ОДИ принимал активное участие в подготовке и проведении первого тестового сеанса на пучке СЦ-1000 (Р3) в октябре, необходимого для экспериментальной проверки (измерение dE/dx при разных энергиях) дрейфовых трубок для трекера SPD детектора на NICA



Spin Physics Detector



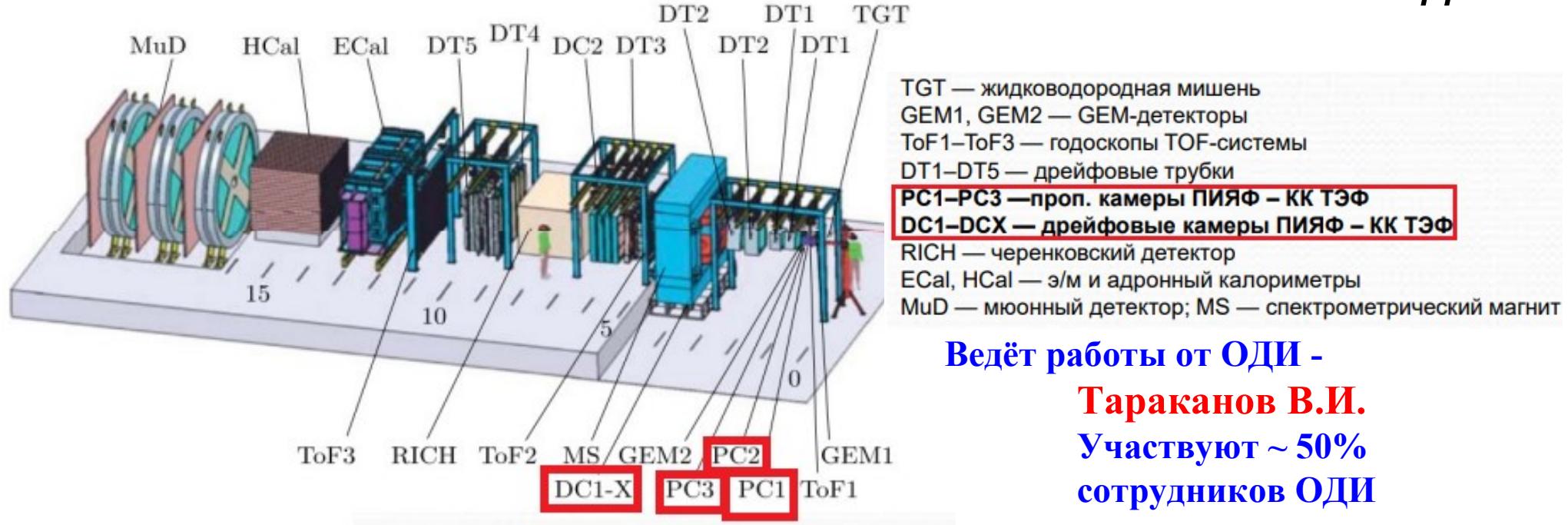
Straw barrel will be used as PID by dE/dx measurement



Сотрудничество с Протвино

СПАСЧАРМ – (СПиновые АСимметрии в образовании ЧАРМония) – исследование спиновой структуры нуклона и спиновой зависимости сильного взаимодействия антивещества и вещества с материей при энергиях до 45 ГэВ

доклад Новинского Д.В.



4 ДК (2400x1400мм) были разработаны и созданы в 2014г. для эксперимента ЭПЕКУР (ПИЯФ-ИТЭФ) и хранились в ПИЯФ до аварии на ускорителе в 2021. Затем было принято использовать их в СПАСЧАРМ (ИФВЭ).

К сожалению, при проверке выяснилось, что в камерах сильно провисли проволоки. Потребовалась полная переборка камер с полной заменой проволок. Разумеется, с учётом данного опыта, были внесены поправки в конструкцию ДК и технологический процесс. Фактически это новые камеры.

Сотрудничество с Протвино

Создание дрейфовых камер 1400x2400мм (4шт. - 3шт. X и одна Y) для эксперимента СПАСЧАРМ

Фрагмент структуры ДК:

1и12 – окна из майлара,

2 и 11 – охранные

проводочки 100мкм БрБ2,

5 и 8 – анодные проволочки

30мкм W(Au),

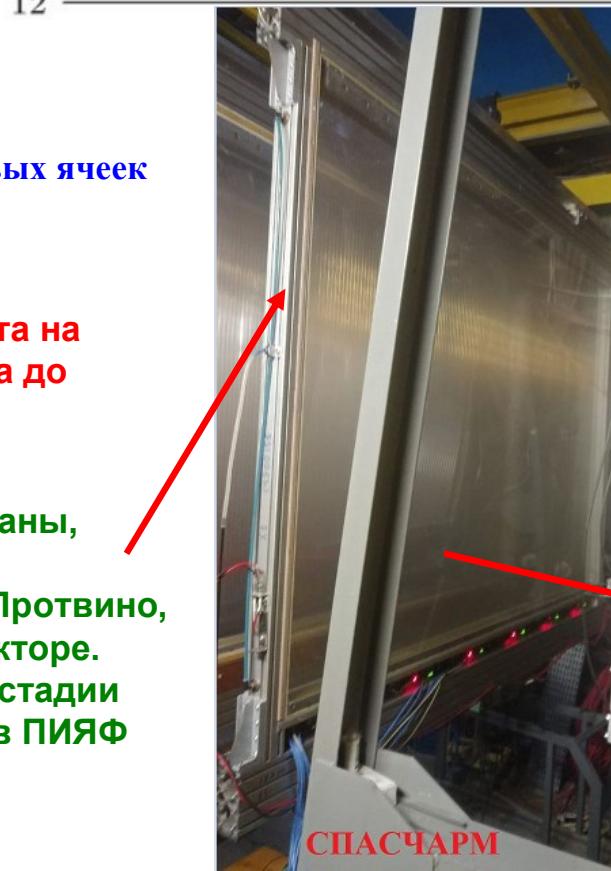
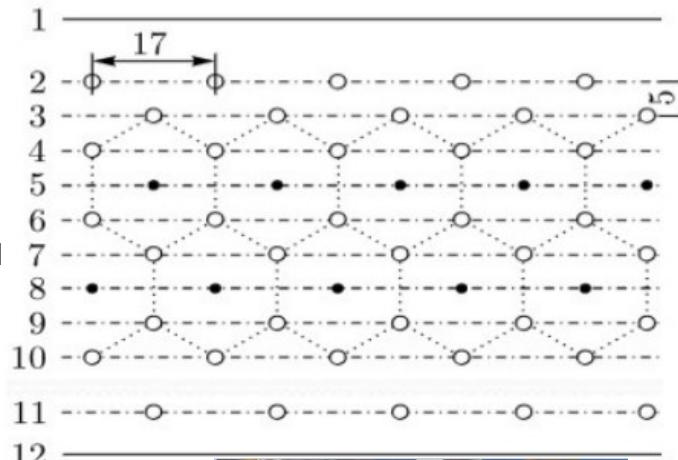
3-4, 6-7, 9-10 – катодные

проводочки из БрБ2

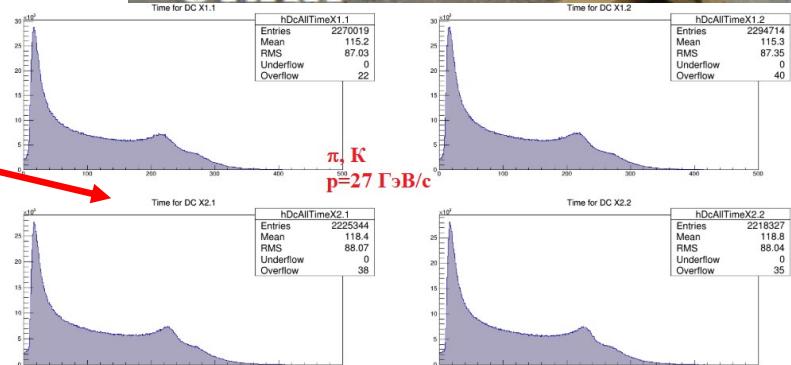
(полевые) 100мкм

Временное разрешение на

канал ~2нс (533 МГц)



СПАСЧАРМ



Бим-киллер по оси пучка:

гальваническое наращивание золота на

30мкм проволочках в области пучка до

$\varnothing 100\text{мкм}$ (М.А.Сорока , В.А.Ганжа)

Две камеры (X) полностью собраны, проверены в ПИЯФ на токи и эффективность, доставлены в Протвино, установлены и работают в детекторе. Одна (X) собрана и находится в стадии тренировки от темновых токов в ПИЯФ

Сотрудничество с Протвино

Создание камер 200x200мм (8шт.) для экспериментов СПАСЧАРМ и ВЕС/ОКА совместно с ЛАФ
ведёт работы Федин О.Л.

Анодные проволоки:

Шаг – 1 мм, Ø 15 мкм

Материал – золоченый W/Re

Натяжение – 30 гр

Катодные проволоки:

Шаг – 0,5 мм, Ø 50 мкм

Материал – нержавеющая сталь

Натяжение – 60 гр.

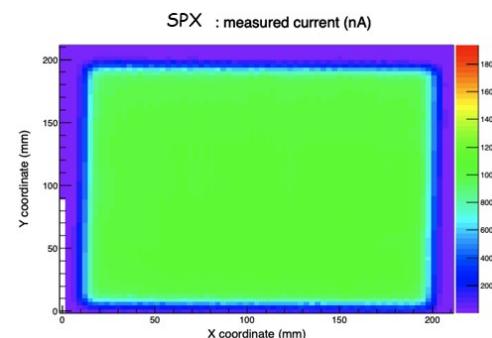
Зазор анод – катод - 2 мм

Объем камеры - ~240 см³

Герметичность камеры по CO₂:

< 0,03% объема/мин

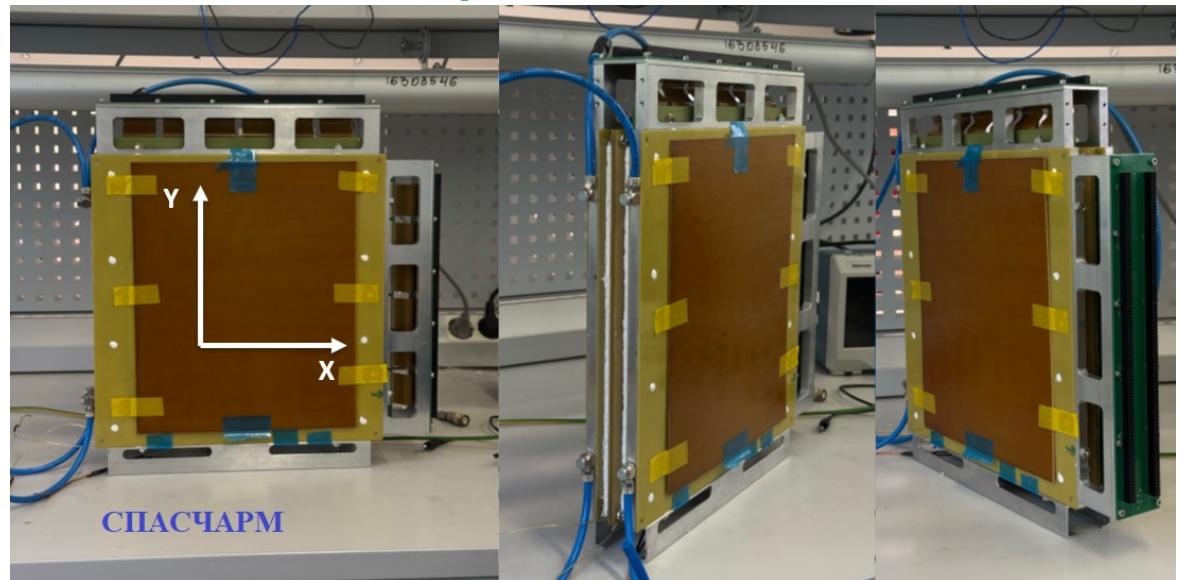
Смесь: Ar + CH₄(4%)



Созданы два прототипа:

Проверены в ПИЯФ на рентгеновском
источнике.

В данный момент тестируются в Протвино

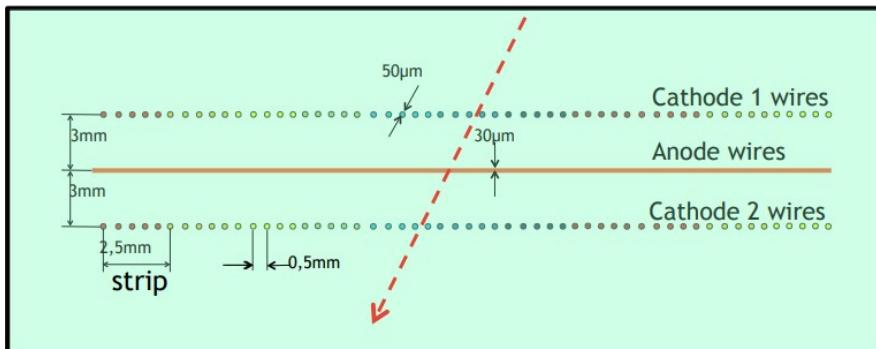


Проект «Протон»

Планировался в Германии (Mainz), рассматривается возможным в России:
Дубна (коллаборация ФЛАП), Саров (ИНОК)

доклад Кравченко П.В.

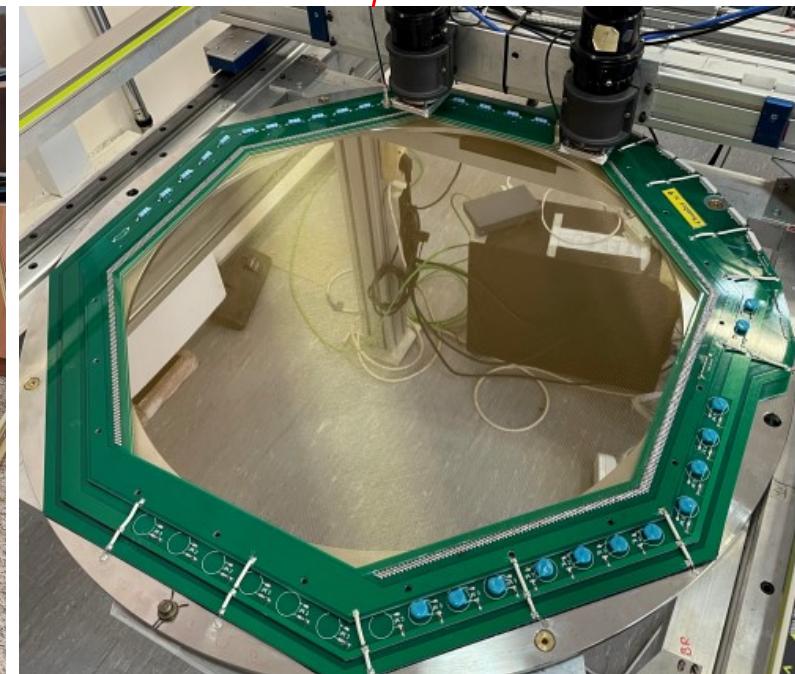
Прецизионные измерения сечения упругого $e\mu$ -рассеяния с регистрацией протона отдачи в активной водородной мишени с высоким разрешением в области малой передачи импульса: $Q^2 \sim 0.001 - 0.04 \text{ GeV}^2$



В ОДИ изготавливаются ещё 5
камер трекера – **Бочин Б.В.**

На данный момент все рамки
получены, производятся
механические работы с ними
(Граник А.Г. И Гуменюк В.А.) и
подготовка к намотке проволок
(Гец С.А.)

Так же, на рентгеновском
источнике, силами **ЛАФ**,
проводится тренировка
сделанных ранее камер.



Олег Маев

Активная мишень (TPC):
водородная время-проекционная камера
высокого давления (20 бар)
• Главное преимущество:
независимо от энергии e^- – определение величины
квадрата переданного импульса Q^2
• Измеряемые параметры:
энергия и угол вылета протона отдачи

Трековая система (FT):
8 МПК с катодным съемом информации
• Назначение: восстановление трека
рассеянного электрона
• Измеряемые параметры:
угол рассеянного электрона

Детекторы нейтронов

Программа ОДИ для экспериментов на ПИК:

Кривич А.Г., Ильин Д.С.

Статус: на паузе с конца весны

Андреев В.А.

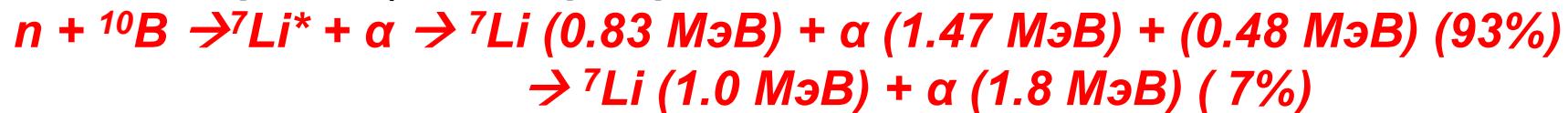
1. Детекторы с газовым конвертером ${}^3\text{He}$



- УХН детекторы для измерения времени жизни нейтрона (А.П. Серебров, РК ПИК)
- УХН детекторы установки поиска ЭДМ нейтрона (А.П. Серебров, РК ПИК)

Изотоп	Агрегатное состояние	Сечение реакции, барн(1.8Å)	Длина своб. пробега n (λn)	Продукты реакции и их энергии (кэВ)		Приблизительный пробег частиц
${}^3\text{He}$	газ	5330	70 мм.атм.	p: 573	T:191	3.8 мм.атм. C_3H_8
${}^{10}\text{B}$	тв.	3840	20 мкм	α: 1472	${}^7\text{Li}$: 830	3 мкм

2. Детекторы с B_4C -конвертером



В 2023-24гг изготовлены прототипы детекторов с тонкоплёночными конвертерами из ОИЯИ:

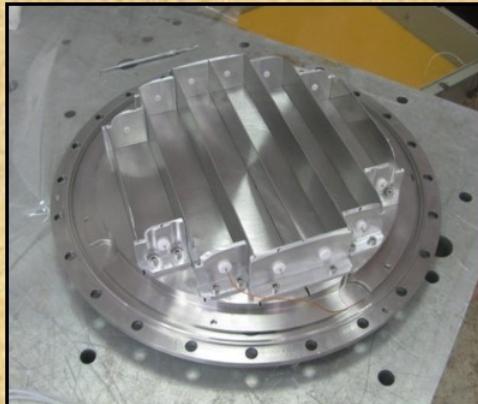
В 2025г изготовлены и испытаны 2 монитора с разной толщиной напыления конвертера.

- Мониторные счетчики для спектрометра SEM (ПИК) (К.Ю. Терентьев, РК ПИК)

Детекторы УХН на ПИК



Общий вид детектора



Детектирующий элемент

Специфика УХН

- УХН $v \leq 8$ м/с, расч. эфф. $\epsilon \approx 90\%$
- Немагнитные материалы!
- Напыление Ni-58 на катодах
- Окно - Al-фольга 100мкм
- Перепад давления на окне "нейтроновод - детектор" 1 Атм

$n + {}^3He \rightarrow p + T + 0.74$ MeV

УХН: $v < 8$ м/с
 $\sigma(He-3) \sim 1/v \sim 1.5$ Мбарн

Парциальное давление He-3

$P(He-3) \sim 10-15$ мбар
Eff ~ 90-95%

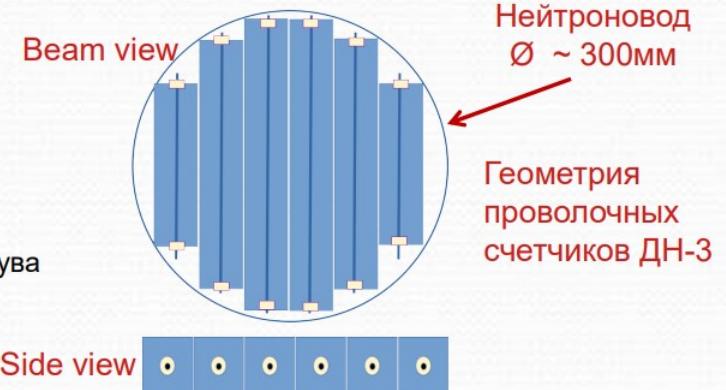
Газовая смесь:

He-3 + Ar + (2% CO₂), н.у., без продува

Три типоразмера детекторов

1. ДН-1 (1 + 1 запасной)
2 ячейки: 35 * 70 * 48 мм (ш*дл*в)
Число сч. каналов: 2
2. ДН-2 (1 + 1 запасной)
2 ячейки: 35 * 150 * 48 мм (ш*дл*в)
Число сч. каналов: 2

3. ДН-3 (1 + 1 запасной)
Ø290 мм, 6 ячеек, 48*48 мм ш*в
Число сч. каналов: 2 (1-3-5 яч & 2-4-6 яч)



УХН Не-3 детектор с окном Ø290мм

Установка для измерения ЭДМ нейтрона

Кривиц А.Г., Ильин Д.С.



Вакуумные тесты камеры

1атм ~ 660 кг

вакуум

Андреев В.А.

Филимонова Н.Н. и Парченко И.Н.

Изготовление 2-х камер полностью завершено.
Весной 2025 были завершены все возможные проверки с ними без электроники.

Подготовлены для
тестирования с электроникой
- Изготавливается в ОРЭ

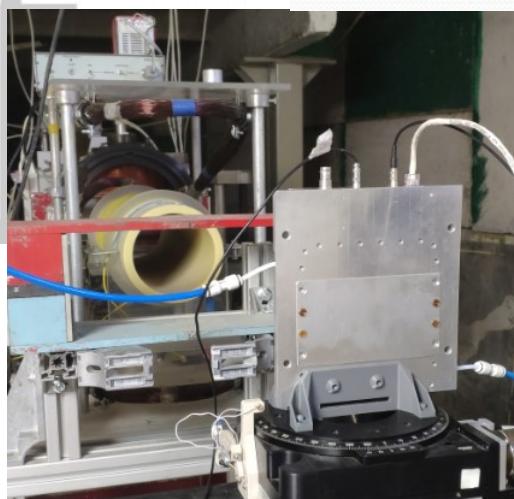
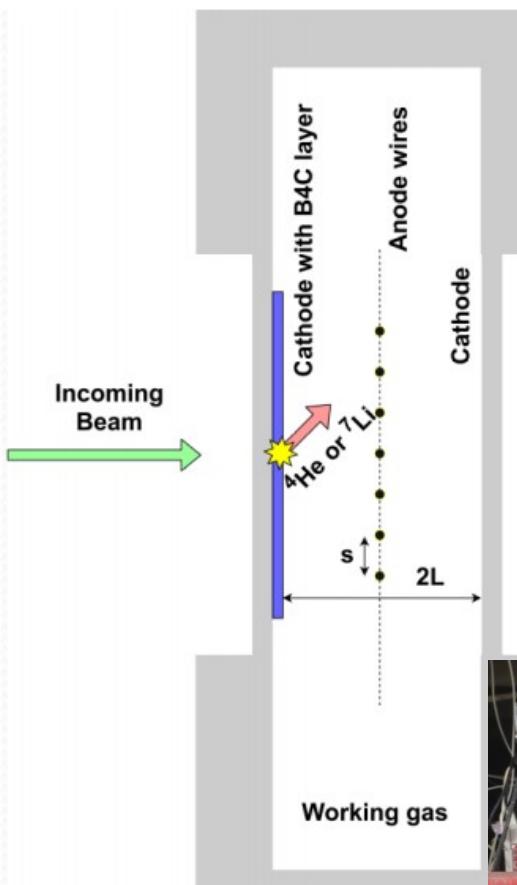
Монитор пучка тепловых нейтронов для SEM на ПИК



Ильин Д.С. Терентьев К.Ю.
От ОДИ - Бочин Б.В.

В мониторах требуется:

- Трансмиссия пучка >95%
- Эфф. ~ 1E-3 ÷ 1E-6



Монитор для спин-эхо SEM (РК ПИК)

100 мкм Al-фольга с B4C (оба окна ~650 мкм Al)

- 2024 г монитор протестирован в ПИЯФ на источниках Cf-252 и Ru-Be:

- Конвертер B4C для тестов 1500нм (95% B-10)
- Отлажена электроника, получены характерные амплитудные спектры

Публикации:

- 1) D.S.Ilyin et al., NIM A, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2025.170738>
- 2) Терентьев К.Ю., доклад на Школе ФКС-2025

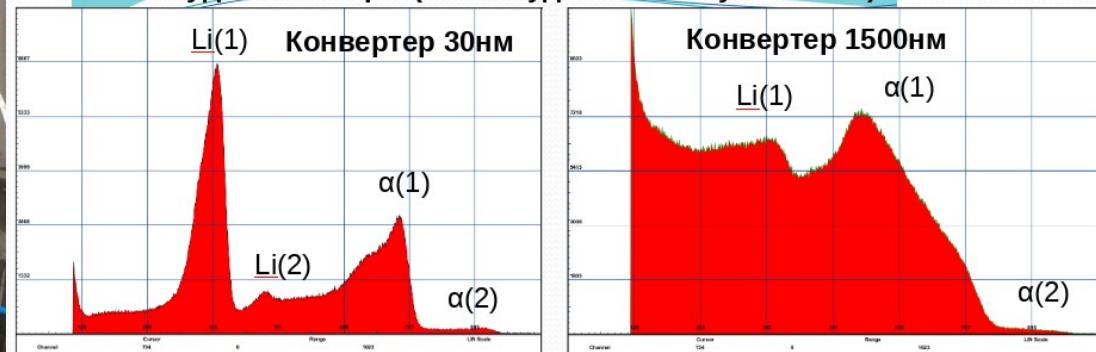
- 2025 г - 2 монитора протестированы в ОИЯИ на пучке рефлектометра Рефлекс
- Конвертер B4C 30нм (95% B-10)
- Конвертер B4C 1500нм (95% B-10)
- Софт для DAQ адаптирован под TOF, получены характерные амплитудные и TOF спектры

Публикации:

- 1) Семинар ОИКС, К.А. Пшеничный

РНФ 24-79-10063, В.В.Тарнавич

Амплитудные спектры (амплитудный канал усилителя)



За счет снижения потерь энергии в конвертере амплитудное разрешение с тонким конвертером существенно выше, что позволяет «аккуратно» установить порог дискриминатора для подавления реакторного гамма-фона.

Сотрудничество с ОРЭ

доклад Головцова В.Л.

*Создание системы считывания аналогичной CROS-3 (Уваров Л.Н.),
применение FADC (Неустроев П.В.), созданных для проекта “ПРОТОН” в
экспериментах с активными мишенями (Грузинский Н.И.) и создания новых
многоканальных модулей высокого напряжения (Волков С.С.).*

Спецификация CROS-3M

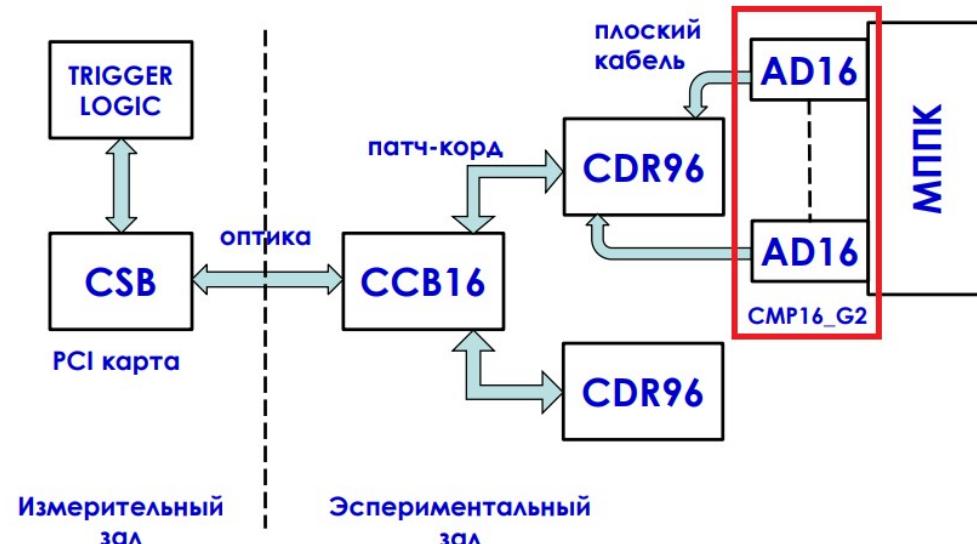
- ИС CMP16_G2 усиливает, формирует и дискриминирует сигнал с ПК с
 - ✓ временем пика – 30 нс
 - ✓ минимальным порогом – 7 фКл
 - ✓ разрешением по парным импульсам – 80 нс
 - ✓ потребляемой мощностью – около 35 мВт/канал
- управление общим порогом CMP16_G2 – 8-бит ЦАП
- период (шаг) дискретизации сигналов с МППК в CDR96 – 10 нс
- период (шаг) дискретизации сигнала триггера в CSB – 10 нс
- задержка сигналов с ПК в CDR96 с шагом 10 нс – 8-бит (~2,5 мкс)
- увеличение шага дискретизации в CDR96 до 20 нс, 30 нс или 40 нс
- ширина окна считывания в CDR96 от 1 до 63 шагов

Алгоритмы работы (по триggerу)

- снятие пороговых характеристик в CDR96
- варианты регистрации импульса в окне:
 - ✓ по фронту импульса с кодированием события
 - ✓ по фронту импульса без кодирования события
 - ✓ по ширине импульса без кодирования события

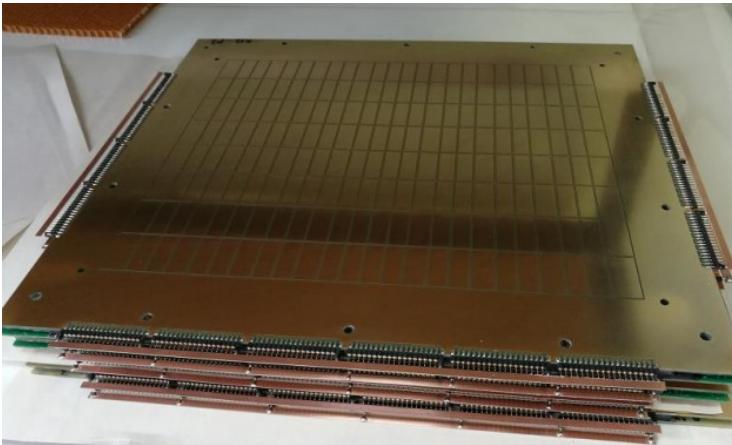
Структура CROS-3M

Уваров Л.Н.

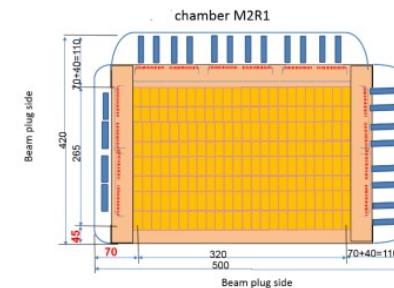


**Электроники на пропорциональные камеры на данный момент нет!
Без этого, камеры, которые мы делаем абсолютно бессмысленны.
Задача – разработать и произвести чипы типа CMP16_G2, но с
переменной полярностью и систему считывания а ля CROS-3.**

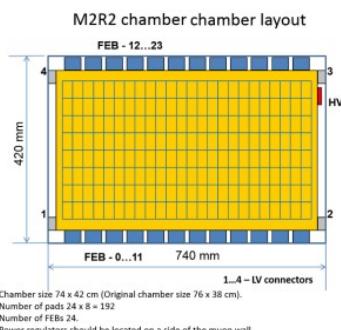
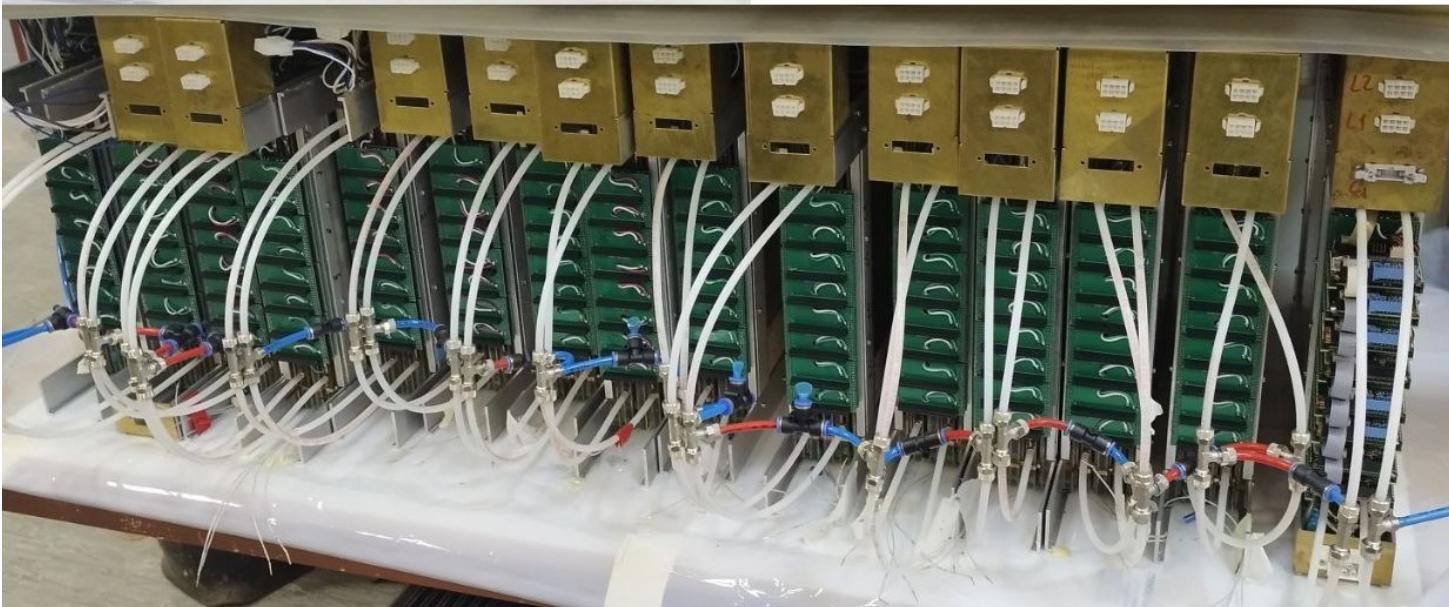
В запасе



15 камер для мюонного детектора LHCb



Бочин Б.В.,
Бондарь Н.Ф.,
Маев О.Е.



Материалы для производства ещё
двух регионов Мюонной системы
LHCb

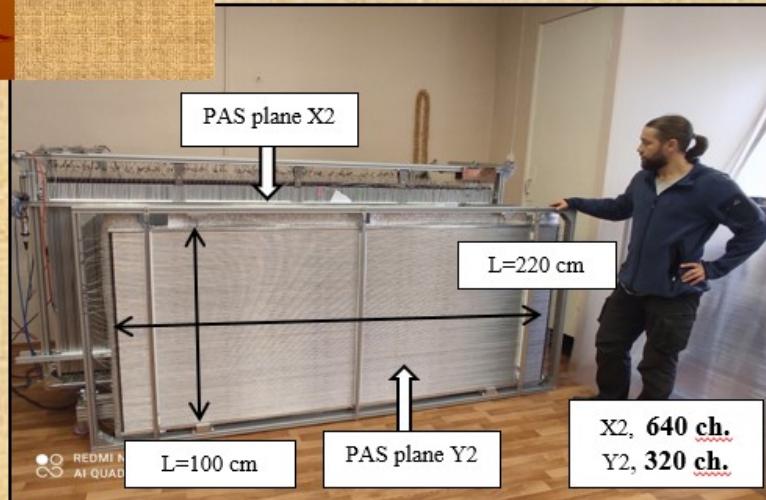
В запасе



Proton Arm
Spectrometer

R3B эксперимент
Дармштадт, ГСГ

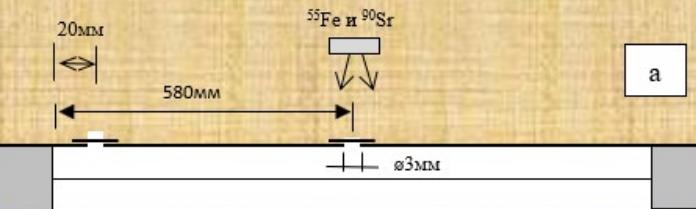
PAS спектрометр - протоны



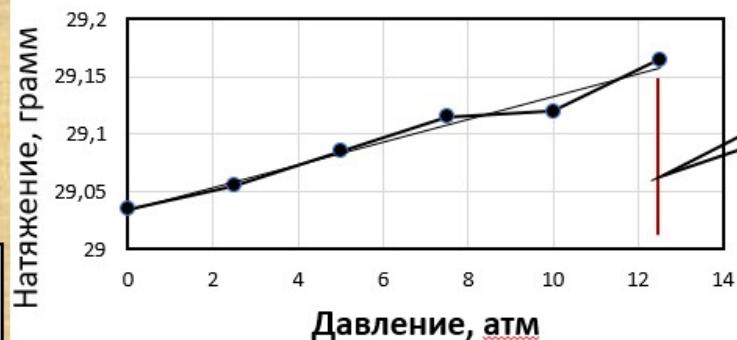
Майсуценко Д. А.

Кривич А.Г.

Дрейфовые трубы - нейтроны



Влияние давления на напряжения анода



12,5 Атм

ОФВЭ имеет **принципиально новую технологию**, которая

позволяет:

- работать в вакууме;
- детектор многоканальный (2000) и основан на дрейфовых трубках;
- трубы спектрометра имеют ультра-тонкие стенки ($X/X_0 \sim 0.05\%$ на трубку);
- пространственное разрешение – $\leq 0,2\text{мм}$;
- точность размещения трубок в пространстве $\pm 30\text{мкм}$

**В наличии 3 плоскости:
2 Y и одна X,
Материал трубок - алюминий**

Заключение

1. Отдел Детекторов Излучений в 2025 г продолжал создавать детекторы по проектам на СЦ-1000, на ПИК, СПАСЧАРМ (Протвино), “Протон” и др.
2. Очень надеемся что выйдем на наш пучок с активной мишенью весной и получим первые физические результаты к концу 2026 года.
3. Проблемы как и у всего ОФВЭ – люди (“молодёжь” любого возраста), зарплата, “каменный век” с закупками чего угодно и тд. Перспективы очевидно туманны.
4. В любом случае будем продолжать делать что можем и будь что будет.





С НАСТУПАЮЩИМ
2026 ГОДОМ!

