



ОТДЕЛ ТРЕКОВЫХ

АТЕТЕКТОРОВ

Рук. отдела А.Г.Крившич,

докладчик Майсузенко Д.А.

Научная сессия ОФВЭ 26 декабря 2018 года.

Содержание:

Работы 2018г. по контракту ФАИР-ПИЯФ.
“Создание протонного спектрометра PAS для эксперимента R³B на ускорительном комплексе FAIR”.

Работы 2018г. по гранту Минобрнауки.
“Создание инновационной технологии производства новейших систем регистрации нейтронного излучения для решения задач по физике конденсированного состояния”.



25.07.15 г. Экспертным комитетом FAIR одобрен “Technical Report for the Design, Construction and Commissioning of the Tracking Detectors for R³B”, с предложенной ПИЯФ концепцией Proton Arm Spectrometr’a.

01.04.18 г. Подписан контракт между FAIR и НИЦ “КИ” ПИЯФ

Срок исполнения: 01.04.18 - 31.05.2024 гг

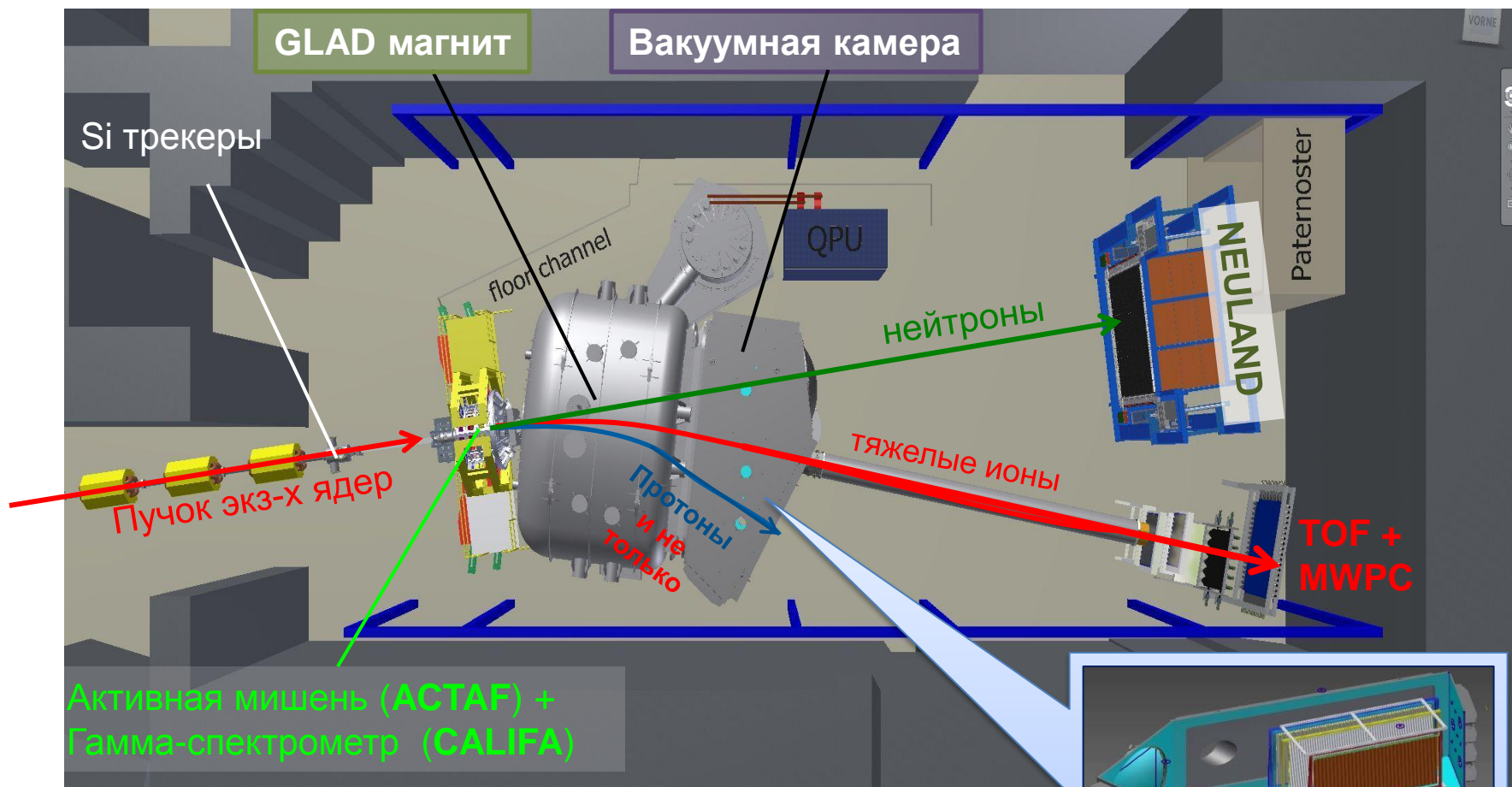
Финансирование : 720300 €.

30.06.18 г. В GSI Проведено совместное совещание (Final design review) специалистов ПИЯФ (ОРЭ, ОТД, ЛФЯЧ) и коллаборации R³B

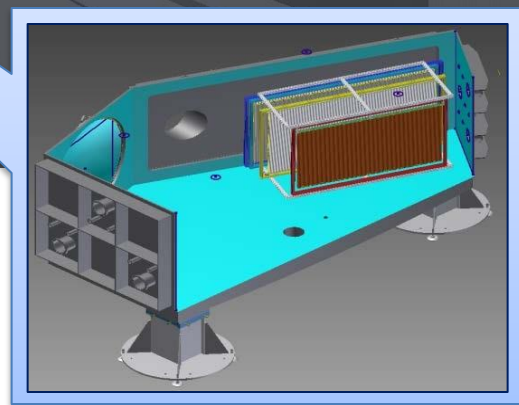
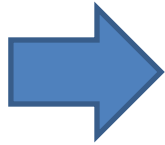
30.10.18 г. В дополнение к TDR и контракту подписан **Final Design Report**, устанавливающий окончательные технические решения по PAS.



Эксперимент R³B (Reactions with Radioactive Relativistic Beams)



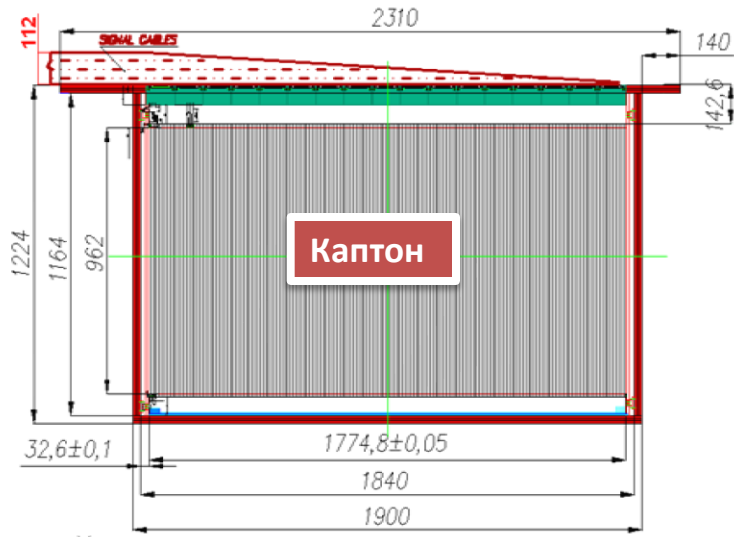
4 детекторных плоскости протонного спектрометра **PAS** располагаются внутри вакуумной камеры.



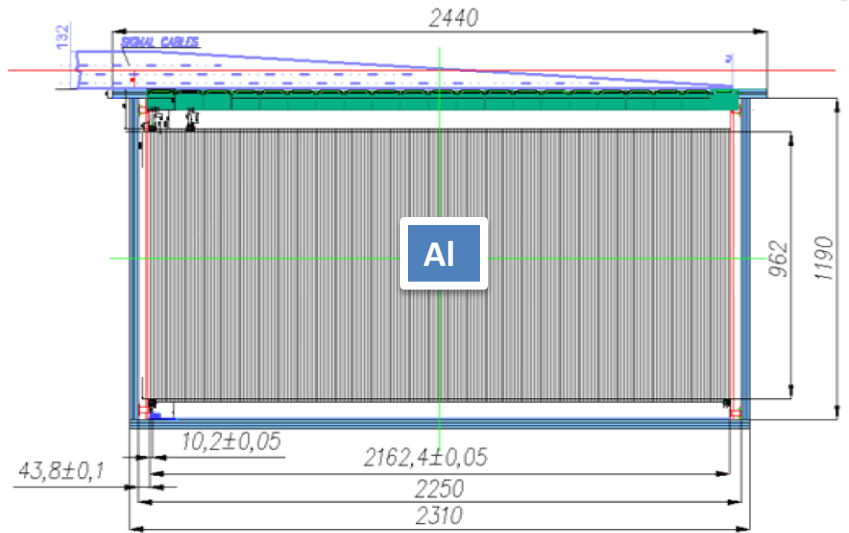


Детекторные плоскости установки PAS

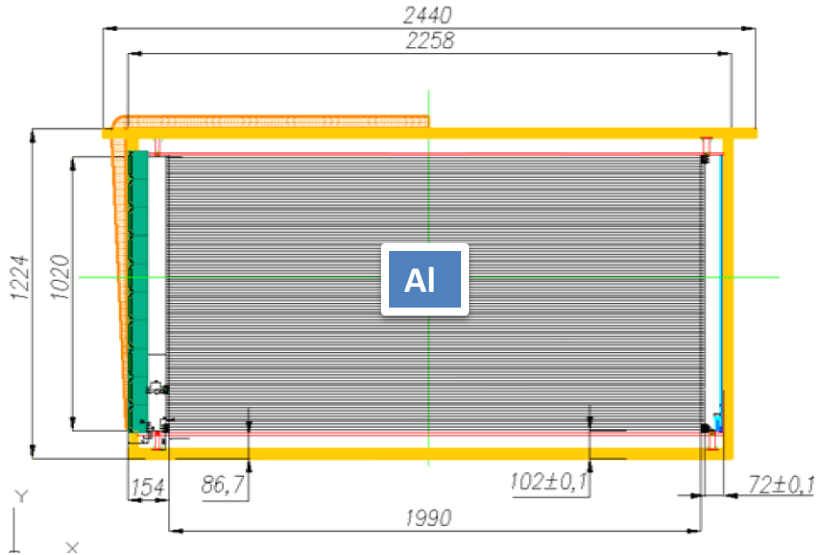
X1 529+4



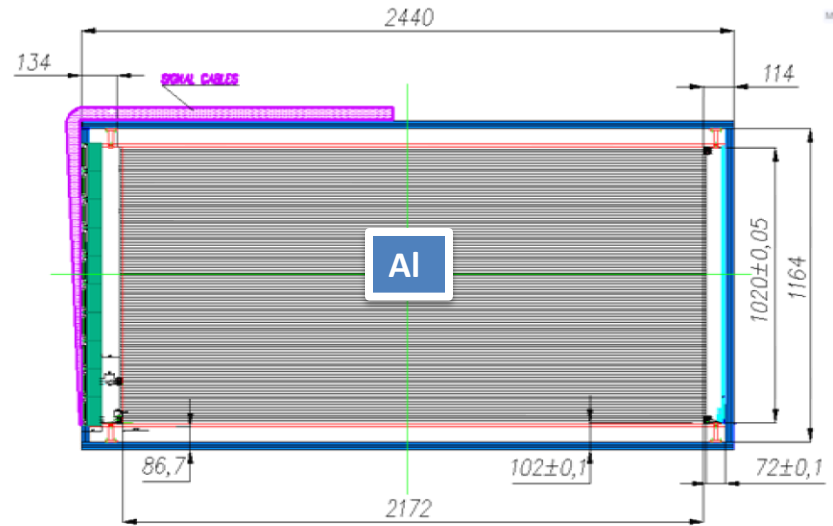
X2 - AI 640+4



Y1-AI 304+4



Y2-AL 304+4





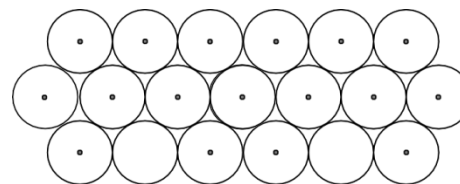
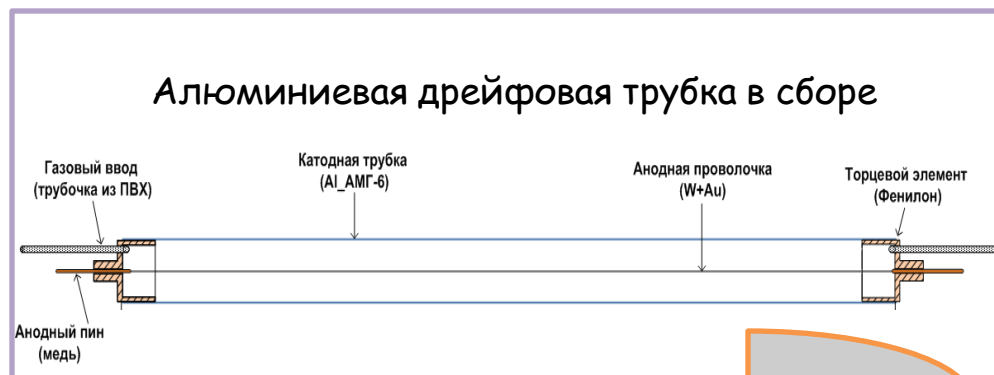
Технология создания алюминиевых дрейфовых трубок для PAS

- Ситуация на начало R&D – **трубки из алюминия с необходимыми параметрами отсутствуют на рынке..**
- 2015 г. - найдена фирма “МЕДСПЕЦТРУБ” (Санкт-Петербург) в которой, за два года, при участии специалистов ОТД, удалось разработать необходимую технологию!
- На **пробных** партиях трубок было изготовлено **2 прототипа PAS.**
- В 2018г. с “МЕДСПЕЦТРУБ” заключен Договор на производство ~3000 метров алюминиевых трубок, для плоскостей X2, Y1, Y2.

Уже получена и прошла **входной контроль в ОТД** первая рабочая партия трубок для плоскости X1

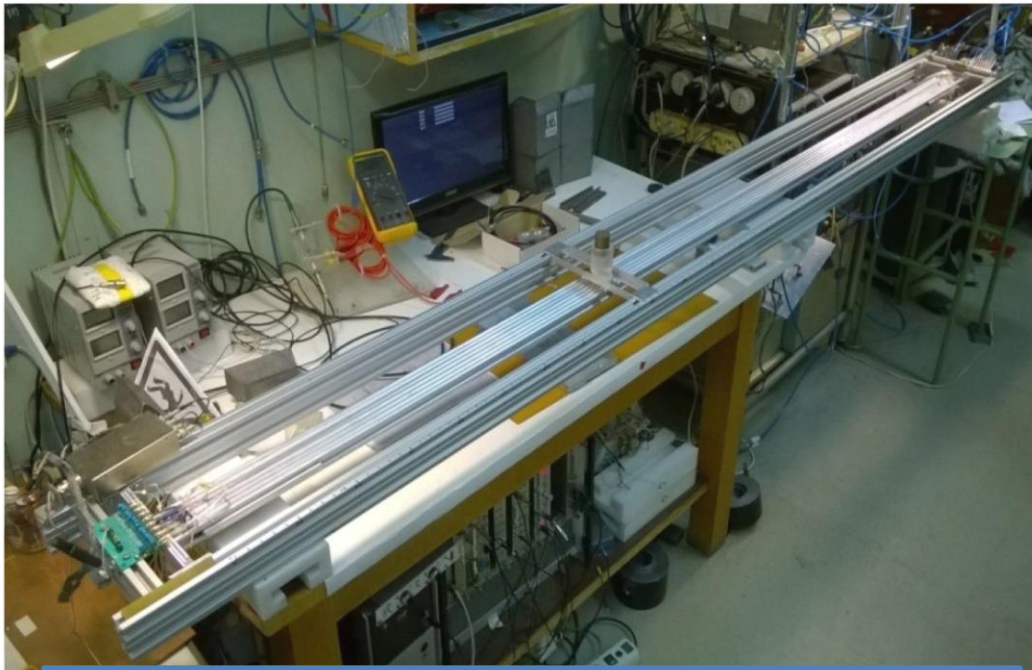
Входной контроль каждой трубки:

- ✓ Внутренний диаметр - **9.5÷9.7мм**
- ✓ Наружный диаметр – **10.1÷10.2мм.**
- ✓ Толщина стенки- **0.2÷0.25мм**
- ✓ Прямолинейность - лучше **0.15мм.**
- ✓ Проверка на герметичность ($P_{абс} = 3атм$)



Компоновка ДТ в детекторной плоскости

Завершение испытаний прототипа PAS (Y2)



Испытания прототипа детекторной станции Y2 PAS в ОТД 2018г

Характеристика	Величина
Аппертура , мм	2460 мм × 50 мм
Число каналов	16
Диаметр анода	30 мкм; 35 мкм
Поддержка анода	в 4х ДТ
$P_{абс}$ газ. см.	1 – 3 [бар]
$U_{раб}$ ($G= 5 \times 10^4$)	1.8 – 3 [кВ]
$I_{темн}$ на 1 трубку	< 1 нА
Испытания	^{90}Sr , ^{55}Fe
Однородность КГУ вдоль ДТ	> 90% с поддержкой > 90% без поддержки анода!

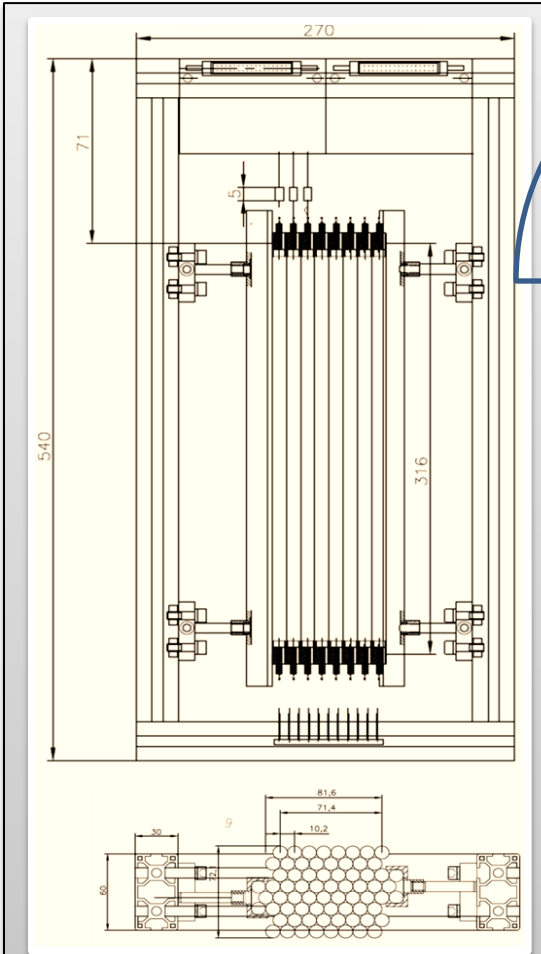
ПОЗИТИВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ!

По итогам испытаний прототипов детекторных станций X2 и Y2 можно заключить :

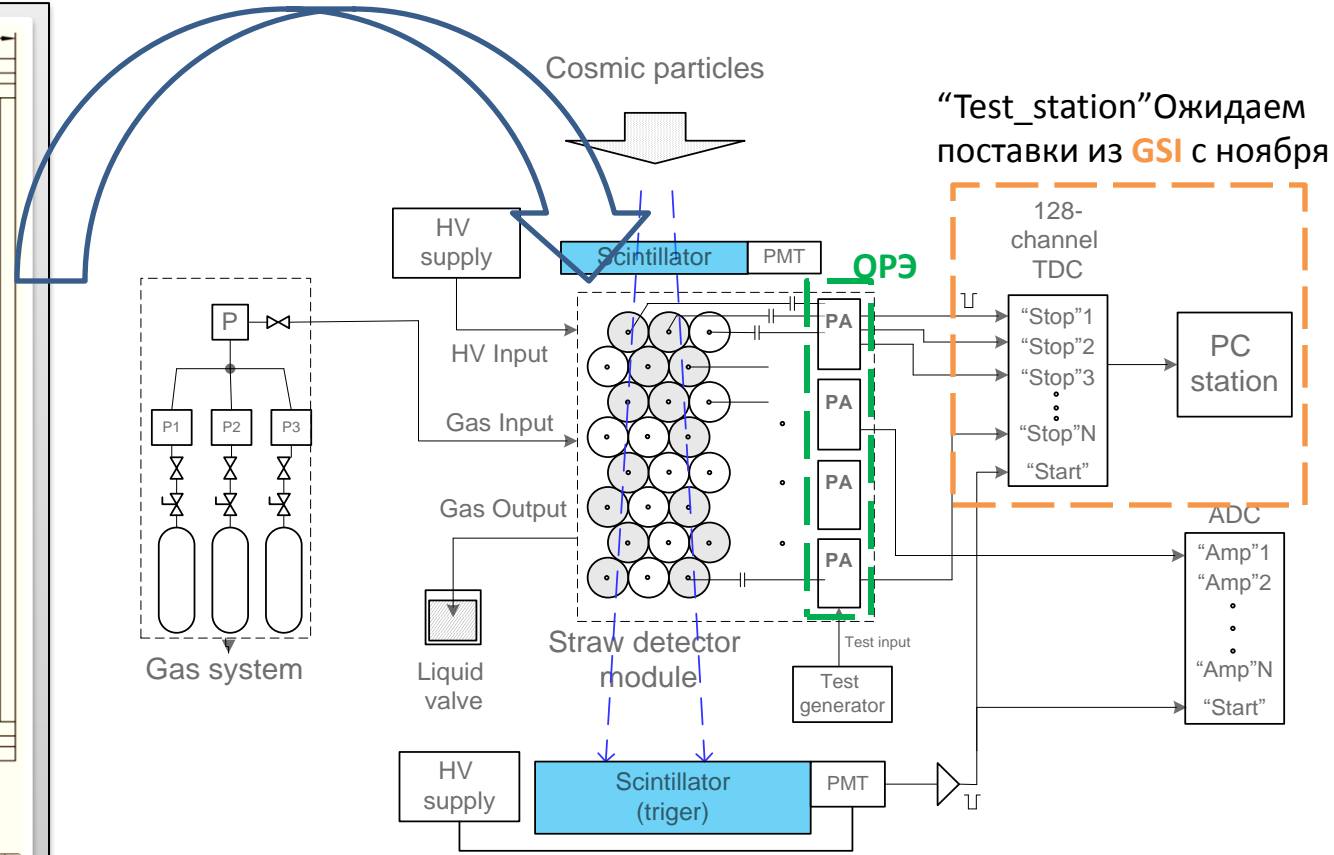
В ОТД появилась рабочая технология создания детекторов частиц на базе тонкостенных дрейфовых трубок из алюминия, содержащих экстремально малое количество вещества ($X/X_0 \sim 0,05\%$ на трубку), имеющих большую длину (до 2.5 м) и работающих под давлением в вакууме*.



Прототип №3 и “космический стенд”.



Прототип PAS:
64 канала
8 восемь слоёв
по 8 straw.



Задачи:

- Исследование пространственного разрешения ДТ PAS на космически мюонах.
- Совместное тестирование front-end электроники (ОРЭ) и read-out электроники (GSI).



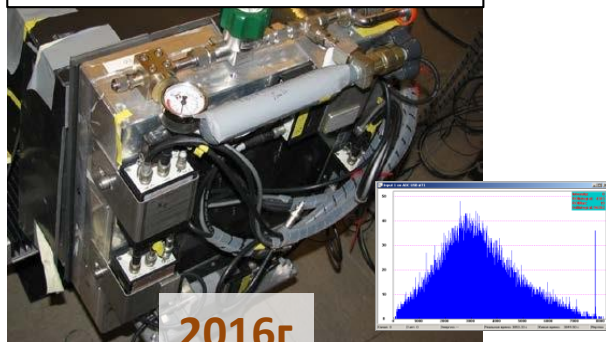
Подготовка линии сборки PAS на базе корпуса 66.

Производственные и испытательные стенды, оснастка и оборудование для создания PAS (ДП Х2, Y1, Y2)	Готовность
Стенды и оборудование для входного контроля AI трубок пр-ва МЕДСПЕЦТРУБ (геометрические парам., герметичность, промывка..)	2018г.
Оснастка для хранения AI трубок с МЕДСПЕЦТРУБ и готовых ДТ.	2018г.
Стенд для натяжения проволочек в ДТ	2018г.
Стенд для измерения натяжения анодов в ДТ	2018г.
Система газообеспечения для тестирования ДТ отдельно	2018г.
Стенд для измерения токовых и счетных х-к ДТ отдельно	2018г.
Система газообеспечения для тестирования детекторных плоскостей.	2019г.
Стенд для испытаний собранных трубок на утечки в вакууме.	2019г.
Оснастка для склеивания ДТ в плоскость.	2019г.
Стенд для исследования тепловыделения считывающей электроники.	2019г.
Тестовая станция для проверки совместной работы front-end эл-ки от ОРЭ и read-out эл-ки от GSI.	2019г.



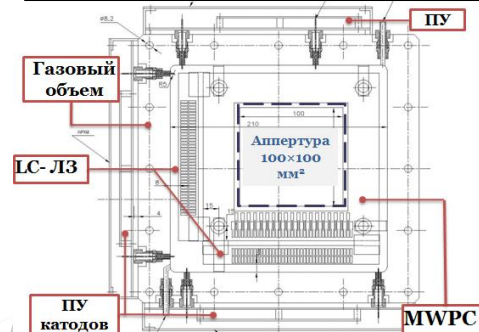


Реанимация детекторов из GKSS



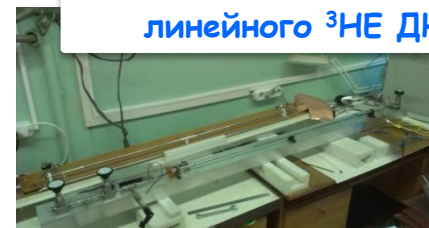
2016г

Разработка 2D-монитора нейтронных пучков



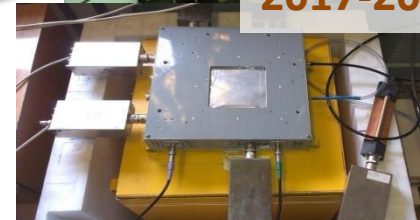
2016-2017гг

Исследования прототипа линейного ³He ДН.



2017-2018гг

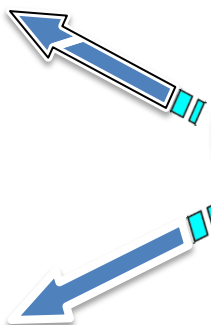
Исследования прототипа ДН с конвертором В₄С.



Закупка 160л ³He (МАЯК)

2018г

"Нейтронная активность" ОТД



Изготовление макета монокамерного ПЧД.

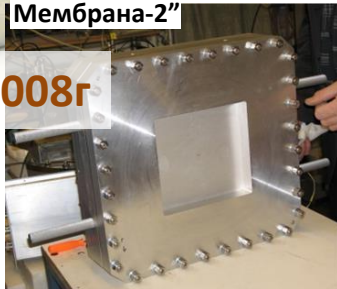


2018г

Разработка ПЧД 600x600мм² для Спектрометра малоуглового рассеяния на реактор ИР-8 в "Курчатовском институте"

2008г

Мембрана-2"



"Вектор"





ОТД – исполнитель части работ по гранту Минобрнауки.



В 2018г. ПИЯФ получил грант Минобрнауки на “Создание инновационной технологии производства новейших систем регистрации нейтронного излучения для решения задач по физике конденсированного состояния”.

(Соглашение №075-02-2018-260)

Срок реализации проекта: *31.05.2018 - 31.12.2020 гг*

Руководитель проекта: *Алтынбаев Е.В.*

Финансовое обеспечение:

- средства гранта - *93 млн. руб.*
- средства Индустриального партнера(ФИНПРОМАТОМ): *65 млн. руб.*
- собственные средства Получателя (НИЦ “КИ” ПИЯФ) : *0 руб.*



Создание газоразрядных ПЧД нейтронов в рамках гранта Минобрнауки.

Этап	Задача (пункт план-графика)
31.05.2018 : 31.12.2018	<p>1. Изготовление макета монокамерного ПЧД. (1.4)</p> <p><i>Разработка ЭКД на монокамерный ПЧД с размером активной зоны 600×600мм² разрешением не менее 5×5 мм² (для спектрометра малоуглового рассеяния для реактора ИР-8 НИЦ “КИ”) (1.8)</i></p>
01.01.2019 : 31.12.2019	<p>2. Изготовление монокамерного ПЧД с апертурой >600×600 мм² с разрешением не менее 5×5 мм² (2.2)</p> <p>3. Изготовление макета линейного газоразрядного ПЧД. (2.8)</p>
01.01.2020 : 30.09.2020	<p>4. Изготовление экспериментального образца ПЧД, на основе линейных газоразрядных ПЧД, с апертурой >10×600 мм² с разрешением не менее 10×10 мм² (3.3)</p> <p>5. Изготовление экспериментального образца ПЧД, на основе линейных газоразрядных ПЧД, с апертурой >10×1000 мм² с разрешением не менее 10×10 мм² (3.5)</p> <p style="text-align: center;">+</p> <ul style="list-style-type: none">•Разработка ЭКД на монокамерный ПЧД с апертурой >400×400 мм² с разрешением не менее 2×2 мм². (3.16)•Разработка ЭКД на ПЧД, на основе линейных газоразрядных ПЧД, с апертурой >1000×1000 мм² с разрешением не менее 10×10 мм² (3.17) <p style="text-align: center;">перспектива 7 и 8?</p>



Создание макет а монокамерного ПЧД нейтронов (монитора-профилометра нейтронного пучка)

0

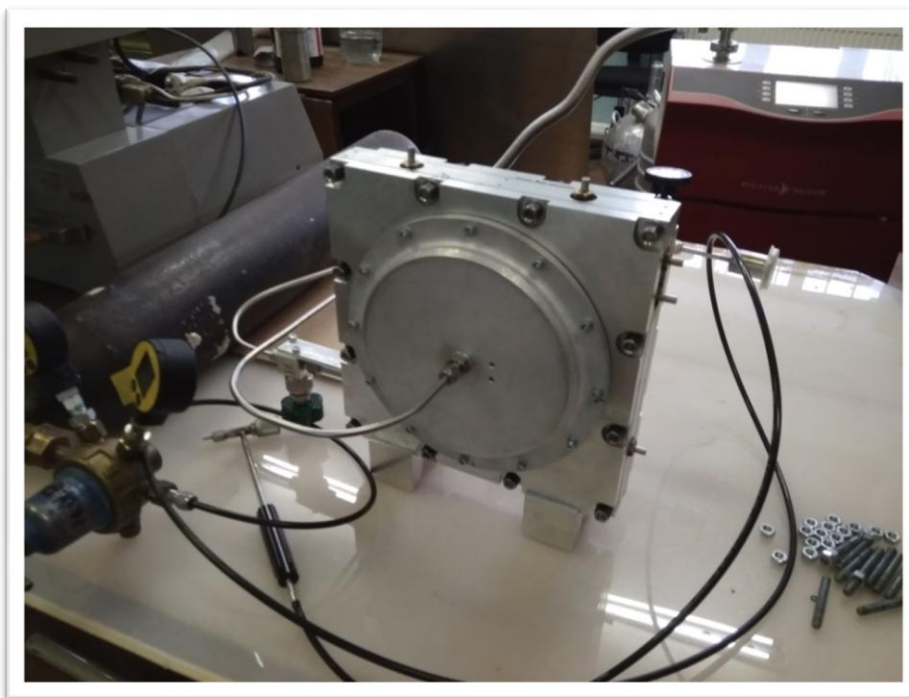
Назначение:

- 1) Получение профиля и интенсивности пучка в живом времени.
- 2) Настройка/оптимизация нейтронной системы
- 3) Отработка технологии создания монокамерного ПЧД для ИР-8

Требования ТЗ на монитор:

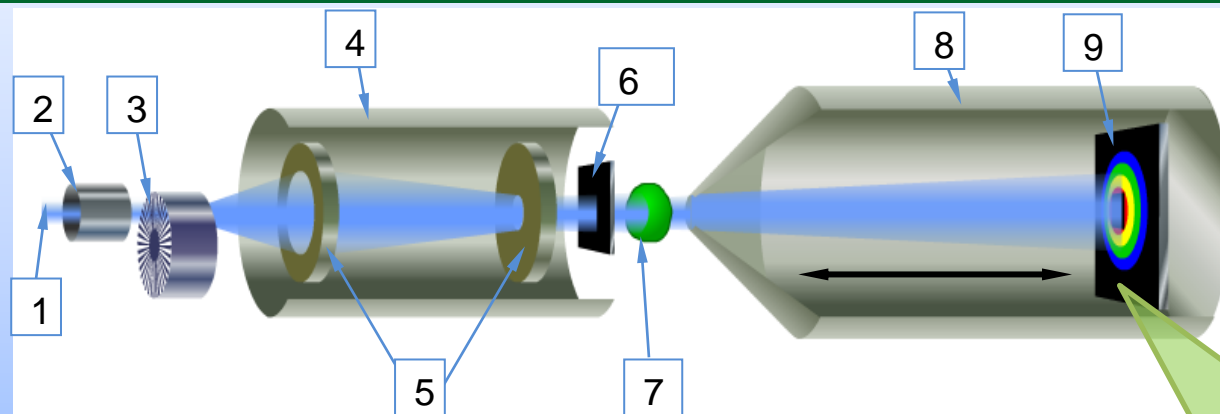
Эффективность регистрации ($5 \div 10$)Å	$\geq 0,01 \%$
Быстродействие	$\geq 1 \times 10^4$ н/сек
Пространственное разрешение по каждой координате	Не хуже 3мм
Размер эффективной области регистрации	Не менее $60 \times 60 \text{ мм}^2$
Коэффициент чувствительности к гамма-фону	$\leq 1 \times 10^{-7}$

Тестирование монитора профилометра в ОТД :



Разработка монокамерного ПЧД нейтронов для спектрометра малоуглового рассеяния для реактора ИР-8 НИЦ "КИ"

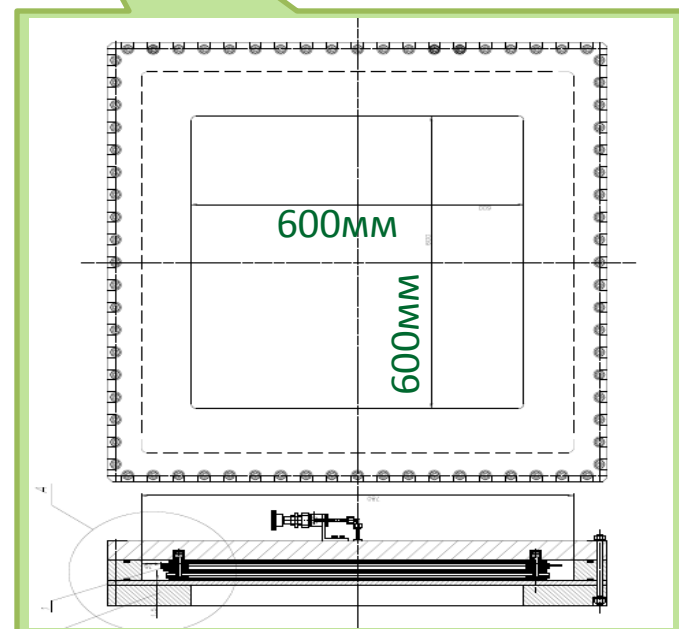
Принципиальная схема спектрометра малоуглового рассеяния



Нейтронный пучок (1);
 Нейтронный провод с заслонкой (2);
 Монохроматор (3);
 Коллимационная система (4)
 Диафрагмы (5);
 Мониторный счётчик (6);
 Узел образца (7);
 Вакуумный объем (8);
ПЧД нейтронов (9).

Техническое задание к ПЧД нейтронов .

Площадь регистрации	600*600мм ²
Предельные габариты (заданы внутренним сечением вакуумной трубы и системой перемещения)	До 900*900*200мм
Пространственное разрешение по обеим координатам	Не хуже 5мм
Эффективность в заданном диапазоне длин волн(5÷10) Å	не менее 70%
Максимальная скорость счета на детектор	300 кгц
Чувствительность к гамма-фону (по Cs-137)	не более 1×10 ⁻⁷





Особенности технологии изготовления электродов “ПЧД нейтронов 600×600.

Все электроды изготавливаются из специального стекла на которое напыляются монтажные ламели (по спецтехнологии в СПБГТИ(ТУ)).

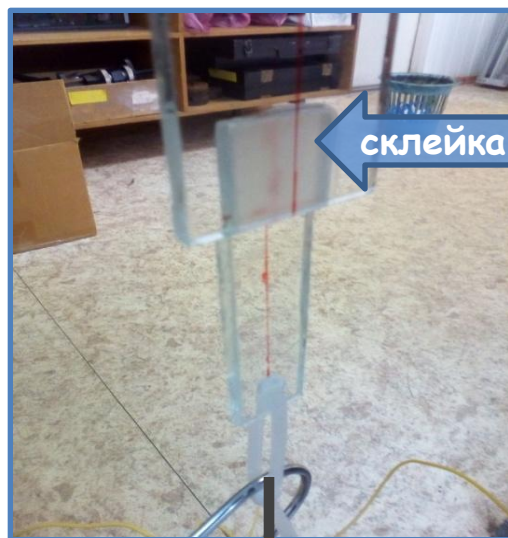


ПРОБЛЕМА:

Объем вакуумной камеры в напылительной установке СПБГТИ(ТУ) не позволяет изготовить цельные электроды для ПЧД 600х600мм².

РЕШЕНИЕ:

Напыление ламелей на подходящие по размеру отрезки, с дальнейшей их склейкой на единой раме.



Расчетная нагрузка на клеевой слой в ПЧД 600х600мм² - **2 кг/см.** Произведено несколько тестовых склеек. Все образцы выдержали нагрузку в **4 кг/см!**

Возможности технологии

- 1. Чистота рабочего объема** – возможность продолжительного вакуумирования с нагревом до 100 -120 °С
- 2. Ремонтпригодность** – многократная пайка проволочек
- 3. Надежность** – высокая степень адгезии ламелей.

В ОТД отработана технология склейки стекла вакуумным клеем “**Torr Seal**” и эпоксидной смолой “**ЭД-20**”!



Планы на 2019 г.

По контракту FAIR-ПИЯФ:

1. Завершение изготовления 8-слойного 64-канального прототипа PAS для экспериментального стенда по исследованию пространственного разрешения дрейфовых трубок PAS на космических частицах .
2. Создание детекторной станции X2 спектрометра PAS.
3. Ввод в эксплуатацию тестовой станции для проверки электроники для PAS.

По договору ПИЯФ-Министерство высшего образования и науки:

1. Создание монокамерного позиционно чувствительного детектора нейтронов с апертурой $600 \times 600 \text{ мм}^2$
2. Изготовление макета линейного газоразрядного ПЧД.



Состав ОТД на 2018 г.

Научных сотрудников - 5

Ведущих инженеров - 3

Старших инженеров - 1

Рабочих – 3

12 человек ВСЕГО

Студентов на практике - 1



ОТД благодарит за настоящее и будущее сотрудничество:

1. Руководство ОФВЭ.
2. Отдел радио электроники /ОФВЭ
(разработка front-end электроники и системы HV питания для PAS)
3. Лаборатория криогенной и сверхпроводящей техники /ОФВЭ.
(Разработка системы газообеспечения PAS, разработка испытательных стендов ..)
4. Лабораторию физики элементарных частиц /ОФВЭ.
(Интеграция системы сбора данных PAS в общую систему DAQ эксперимента R3B).
5. Отдел прикладной ядерной физики /ОТР.
(Разработка программного обеспечения к исследовательским стендам ОТД; разработка электроники для ПЧД по проекту Минобрнауки)
6. Конструкторско-технологическое бюро ЭОП/ЦЭТО.
(Разработка КД по всем проектам ОТД)
7. ОИКС /ОНИ *(грант Минобрнауки)*
8. ОГМ, ОГЭ *(подготовка кбб к сборке детекторов)*



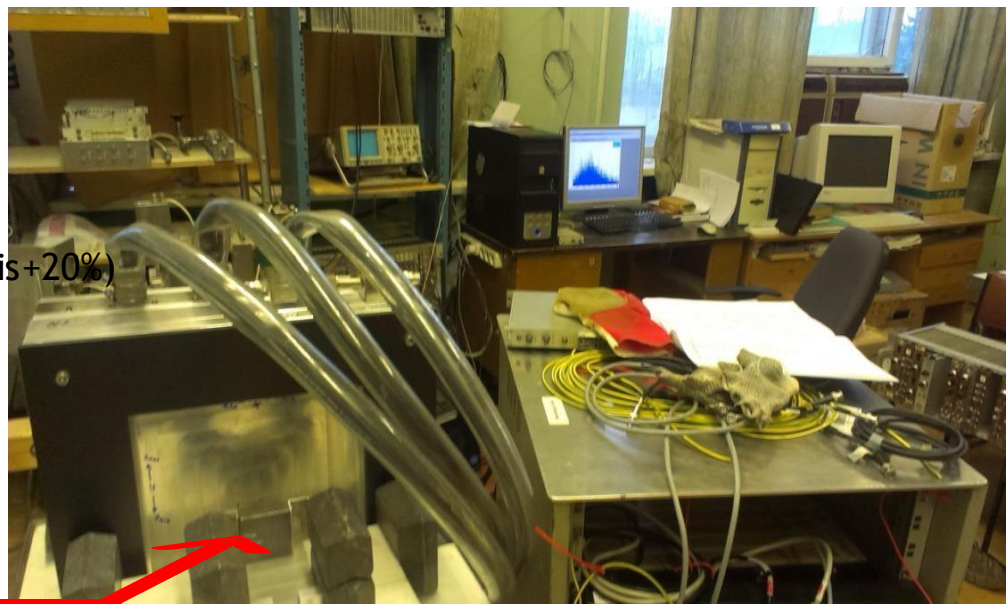
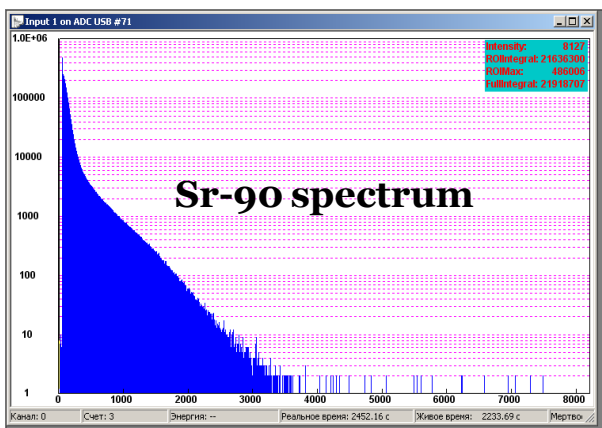
С НОВЫМ ГОДОМ!
2019



Испытание и проверка детекторов из HZG в ОТД : PNR det. 250*250 мм (2016 г.)

- 1) Герметичность: вакуум/давление
- 2) Проверка MWPC
- 3) Электроника

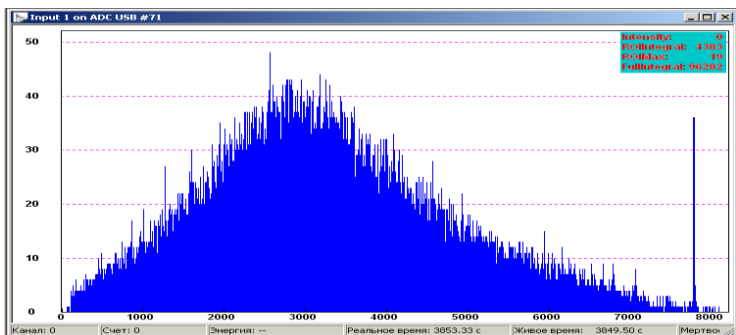
- Gas: 60%Ar+30%CO₂+10%CF₄, 1 Atm
- Sr-90
- HVa=2.05 kV, HVds=0V (for HVds=-300V counting is +20%)



90Sr

В 2018г во 2м детекторе PNR det. 250*250 мм была заменена порвавшаяся анодная проволочка .

- X-coordinate (X- Linear Gate Stretcher 442)

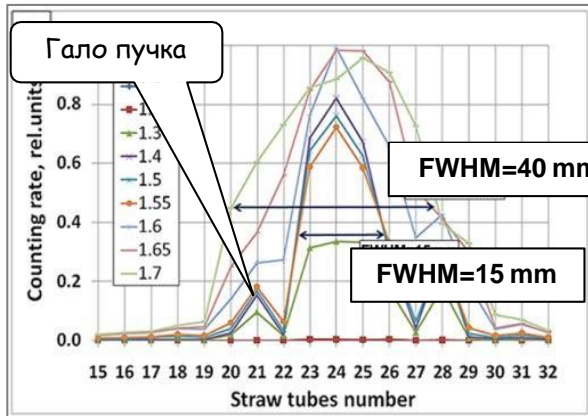


УВЫ с 2016г НИКАКОГО “ощутимого” интереса к детекторам из HZG нейтронное сообщество ПИЯФ не проявляло! => никаких работ не проводилось =(

Этапы работ по контракту ФАИР-ПИЯФ (создание PAS)

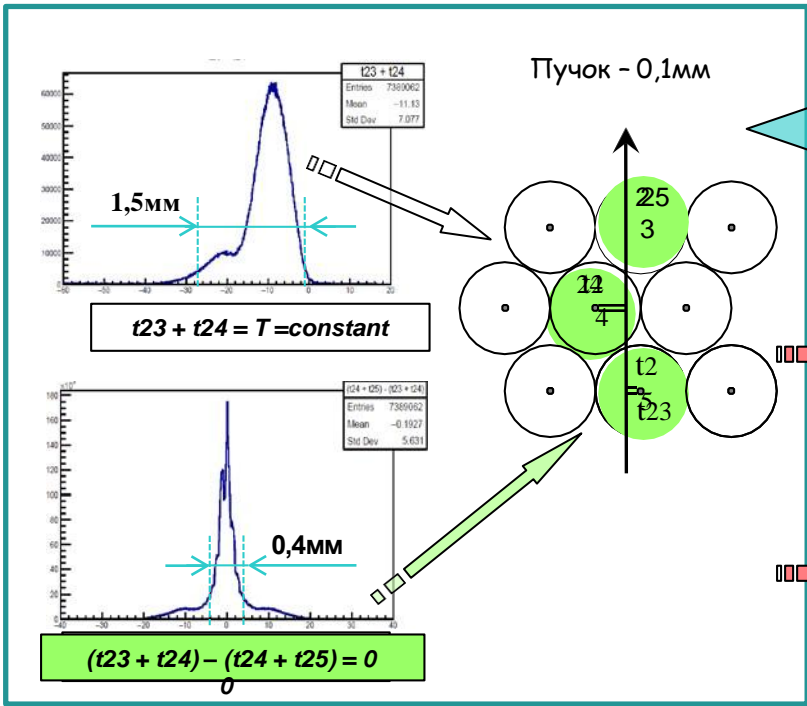
Этап	Описание работ	Критерии оценки	Дата
1	Заключение договора о сотрудничестве	Заключение договора о сотрудничестве	01.04.2018
2	Проектирование спектрометра PAS. Концептуальный и технический дизайн системы спектрометра PAS и ПЭ	Окончательная экспертная оценка спектрометра PAS	30.06.2018
3	Концептуальный и технический дизайн регистрирующей электроники (ответственность центра FAIR в сотрудничестве с GSI).	Окончательная экспертная оценка электроники	30.06.2018
4	Подготовка линии сборки для STW-X2	Отчёт о состоянии работ	31.03.2019
5	Строительство STW-X2	STW-X2 готов	30.09.2019
6	Производство 704 каналов FEE для STW-X2, включая 64 канала для измерительного стенда с соответствующей инфраструктурой DAQ (GSI)	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.09.2019
7	Производство HV и LV источников электропитания. Производство системы газового снабжения. Ввод в эксплуатацию измерительного стенда спектрометра PAS.	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.09.2019
8	Тестирование STW-X2 [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.11.2019
8bis*	Первое из серии испытание STW-X2 в GSI, с комментариями для этапа производства (по усмотрению)	Отчёт о состоянии работ	30.04.2020 - 30.04.2021
9	Подготовка линии сборки для STW-Y1 и STW-Y2	Отчёт о состоянии работ	30.11.2019
10	Строительство STW-Y2	STW-Y2 готов	30.04.2020
11	Производство 640 каналов регистрирующей электроники [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.04.2020
12	Тестирование STW-Y2 [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.11.2020
13	Строительство STW-Y1	STW-Y1 готов	30.11.2020
14	Подготовка линии сборки для STW-X1	Отчёт о состоянии работ	30.11.2020
15	Тестирование STW-Y1 [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	30.04.2021
16	Строительство STW-X1	STW-X1 готов	30.11.2021
17	Производство и тестирование 832 каналов регистрирующей электроники, в том числе 128 запасных каналов [M9]	Приёмсдаточные испытания в НИЦ «КИ» - ПИЯФ	30.11.2021
18	Тестирование STW-X1 [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	31.08.2022
19	Тестирование спектрометра PAS целиком в НИЦ «КИ» –ПИЯФ [M9]	Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ	01.03.2023
20	Отправка спектрометра PAS в GSI/FAIR	Отчет о состоянии после транспортировки; приёмсдаточные испытания на площадке GSI.	30.06.2023
21	Механическая сборка, монтаж и испытания спектрометра PAS вне вакуумной камеры GLAD в GSI/FAIR [M10]	Приёмсдаточные испытания на площадке Заказчика Ab	30.09.2023
22	Спектрометр PAS оснащен электроникой (придетекторной и регистрирующей) и протестирован	Частичные приёмсдаточные испытания на площадке FAIR Ва	30.11.2023
23	Установка спектрометра PAS в вакуумной камере GLAD	Отчёт о состоянии работ	15.12.2023
24	Тестирование спектрометра PAS целиком в вакуумной камере GLAD	Приёмсдаточные испытания FAIR	31.12.2023
25**	Тестирование спектрометра PAS с протонным пучком в GSI [M12] (по усмотрению)	Приёмсдаточные испытания на площадке FAIR	01.03.2024
26	Документация спектрометра PAS	Все документы отправлены	31.05.2024

Preliminary results of PAS prototype testing at GSI. Carbon beam.



Было показано, что углеродный пучок имеет **большое галло**, в котором присутствуют **частицы с различными ионизирующими способностями**, которые имеют свое пространственное распределение и дают различный счет в различных straws.

Невозможно осуществить правильный отбор треков частиц

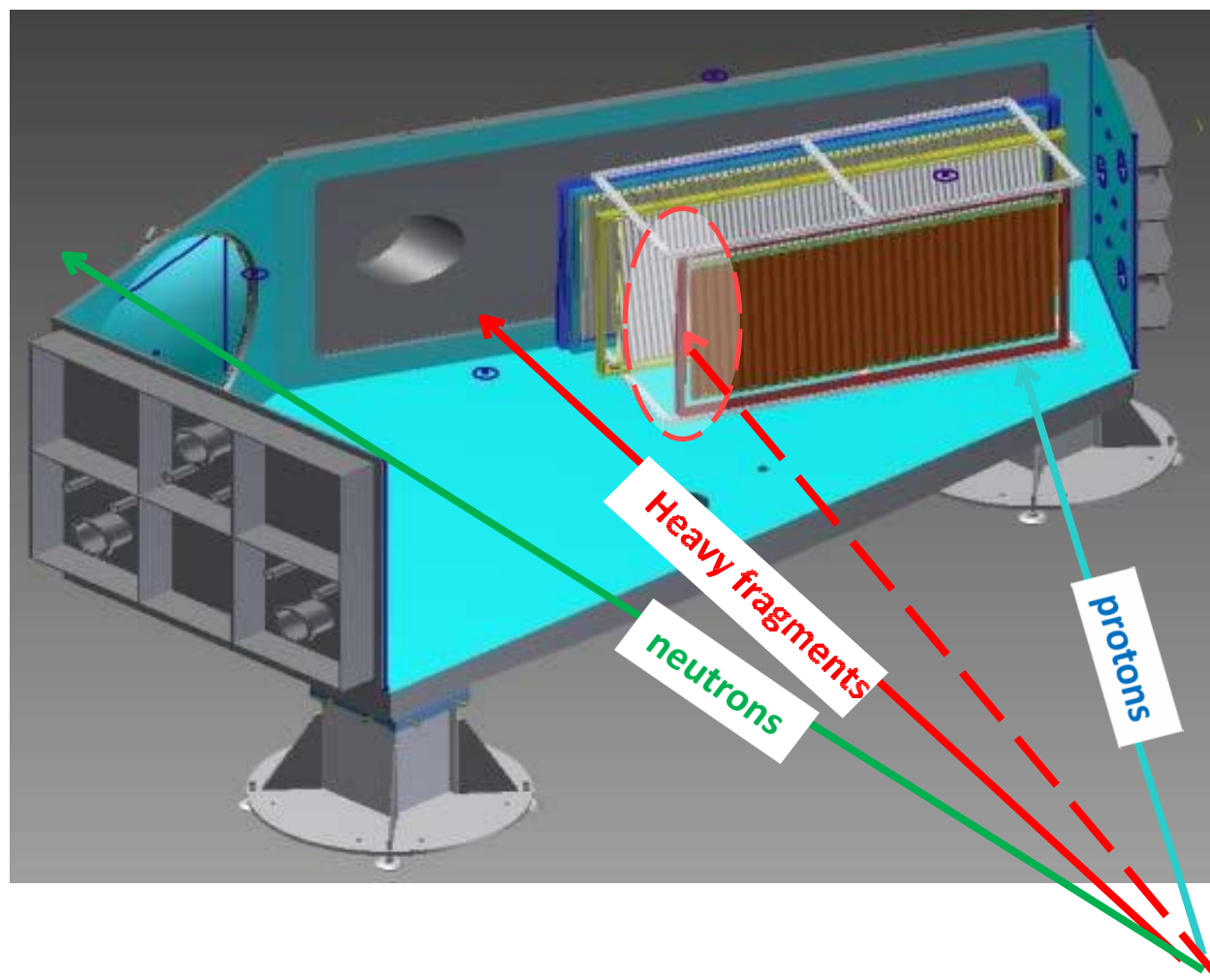


Необходимы специальные АЛГОРИТМЫ отбора !!!

Для получения правильной временной информации с PAS нужен отбор частиц по энергии и массе (TOF):

Нужны ресурсные исследования майларовых дрейфовых трубок в сложных радиационных полях (протоны и ионы, фрагменты и т.д.).

Протонный спектрометр PAS в вакуумной камере



Необходимы ресурсные испытания алюминиевых и пластиковых ДТ PAS на ионном пучке(ах) !

Работа PAS в условиях вакуума

Надежная работа PAS в условиях вакуума может быть обеспечена только в результате проведения комплекса **R&D исследований:**

- Создание новой технологии работы дрейфовых трубок в вакууме содержащих **экстремально малое количество вещества** ($X/X_0 \sim 0,05\%$ на трубку),
- Разработка методики **охлаждения front-end electronics** в вакууме.
- Минимизация газовых утечек из детектора в вакуумный объем, величина которых не должна превышать **2.5×10^{-6} l/sec на отдельную трубку**.
Необходим предварительный отбор каждой готовой трубки по величине фактических утечек.
- Нужны **ресурсные исследования майларовых дрейфовых трубок в сложных радиационных полях** (протоны и ионы, фрагменты и т.д.).

Необходимо целевое финансирование на уровне 3 млн.руб.

R3B Root: **Synchronization**

- Экспериментальные данные с различных детекторов надо научиться **анализировать совместно** (via timestamp technique)

