



# ОТДЕЛ ТРЕКОВЫХ

# ЕТЕКТОРОВ

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 R<sup>3</sup>B 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 R<sup>3</sup>B”, 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 R<sup>3</sup>B

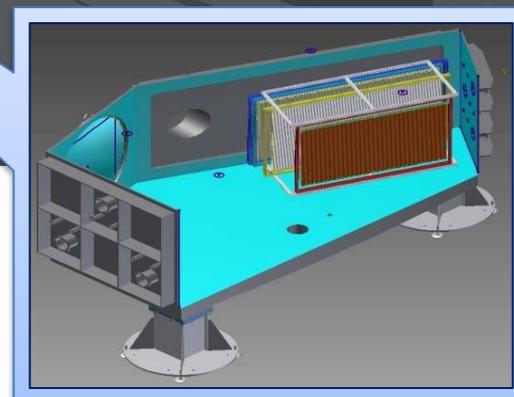
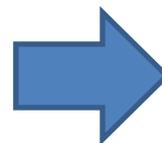
**30.10.18 г.** В дополнение к TDR и контракту подписан **Final Design Report**, устанавливающий окончательные технические решения по PAS.



# Эксперимент R<sup>3</sup>B (Reactions with Radioactive Relativistic Beams)



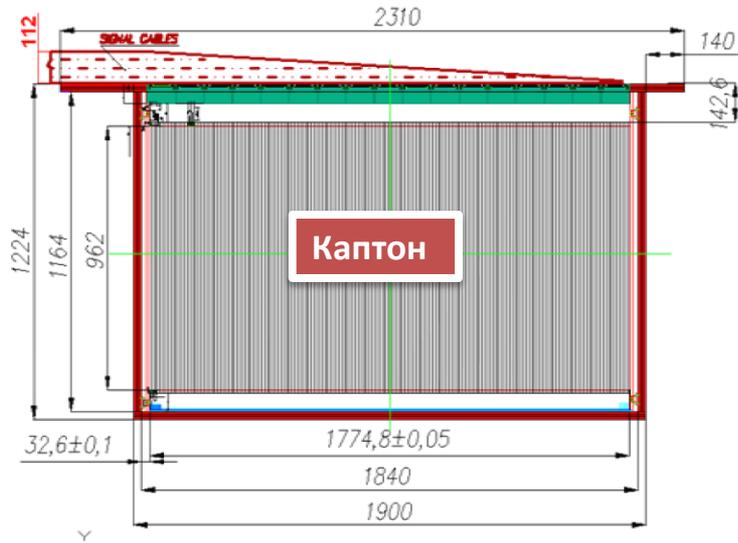
4 детекторных плоскости протонного спектрометра **PAS** располагаются внутри вакуумной камеры.



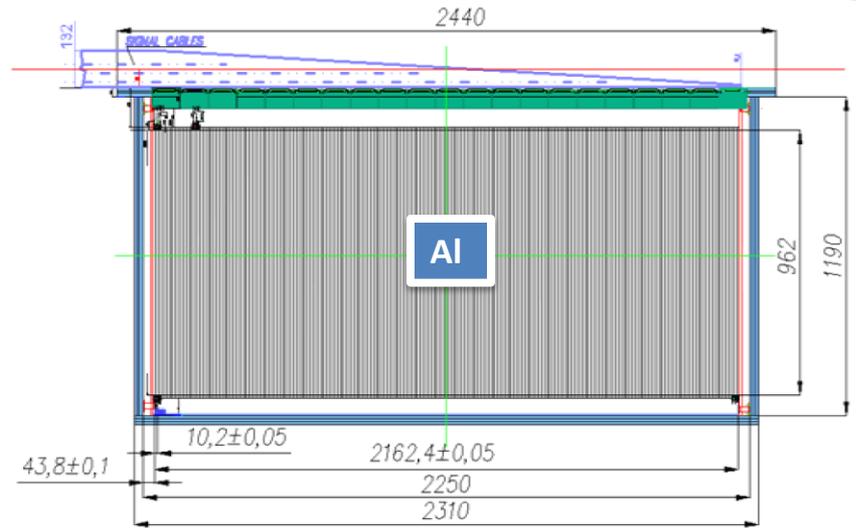


# Детекторные плоскости установки PAS

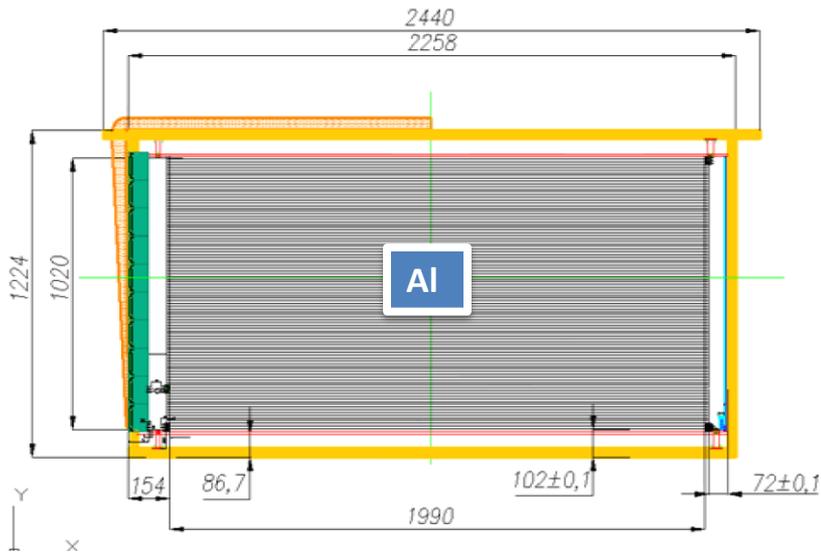
X1 529+4



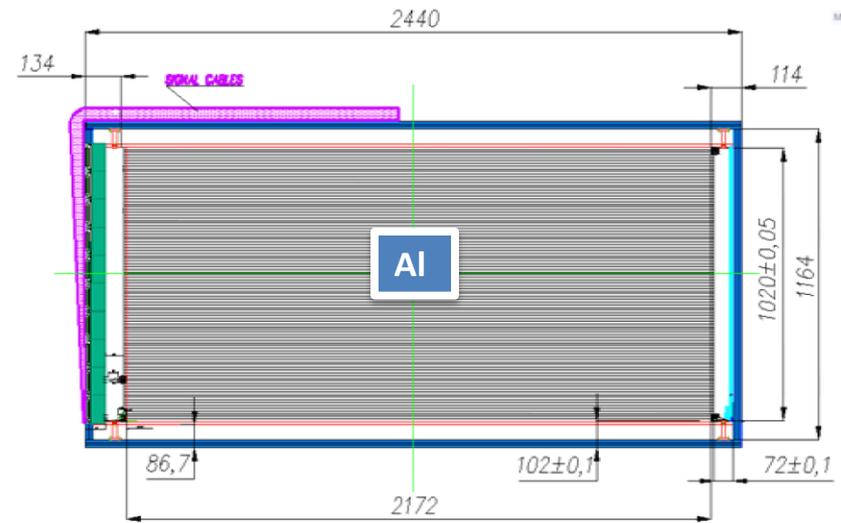
X2 - AI 640+4



Y1-AI 304+4



Y2-AL 304+4

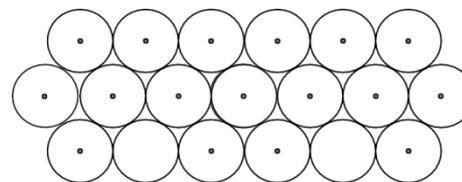
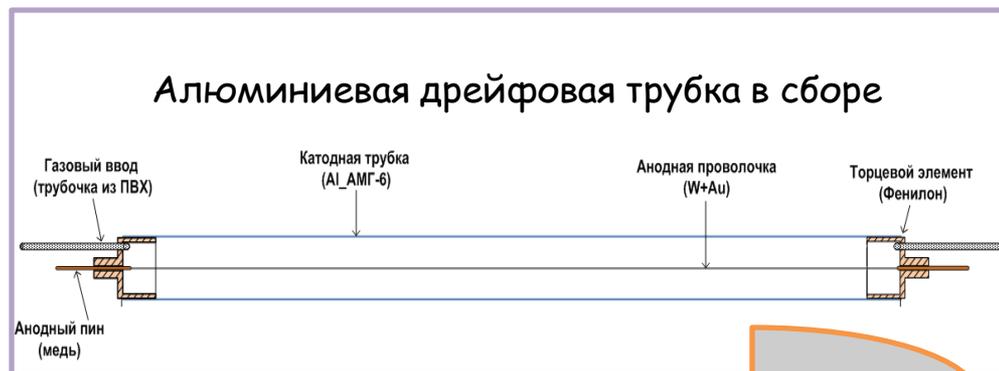


- Ситуация на начало R&D – **трубки из алюминия с необходимыми параметрами отсутствуют на рынке..**
- 2015 г. - найдена фирма “МЕДСПЕЦТРУБ” (Санкт-Петербург) в которой, за два года, при участии специалистов ОТД, удалось разработать необходимую технологию!
- На **пробных** партиях трубок было изготовлено **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

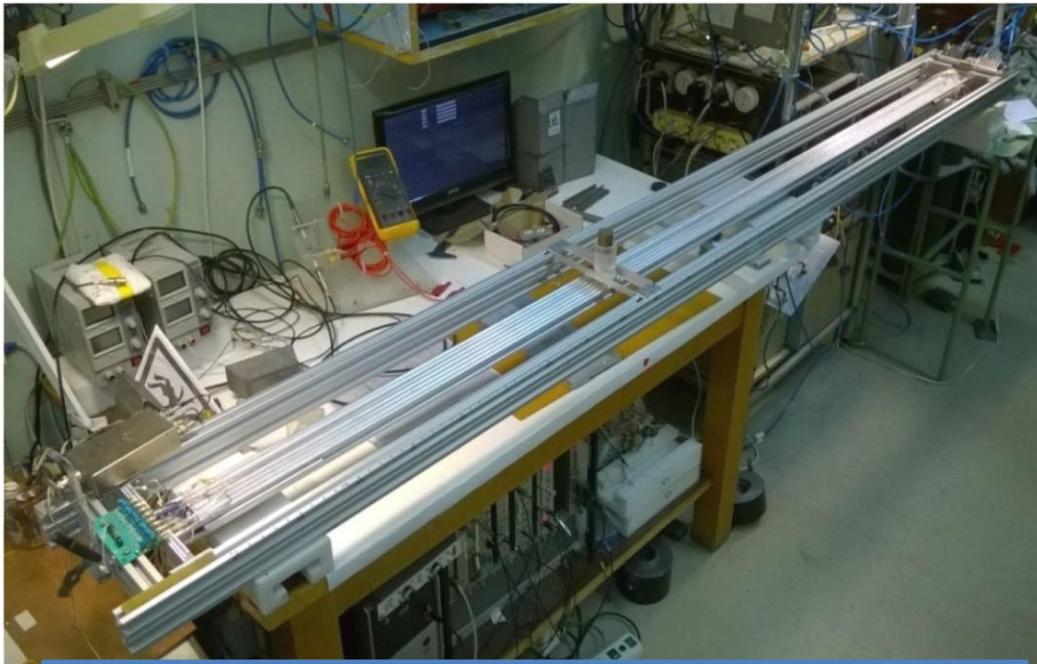
### Входной контроль каждой трубки:

- ✓ 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	<b>16</b>
Диаметр анода	30 мкм; <b>35 мкм</b>
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	<b>&lt; 1 нА</b>
Испытания	$^{90}\text{Sr}$ , $^{55}\text{Fe}$
Однородность КГУ вдоль ДТ	> 90% с поддержкой <b>&gt; 90% без поддержки анода!</b>

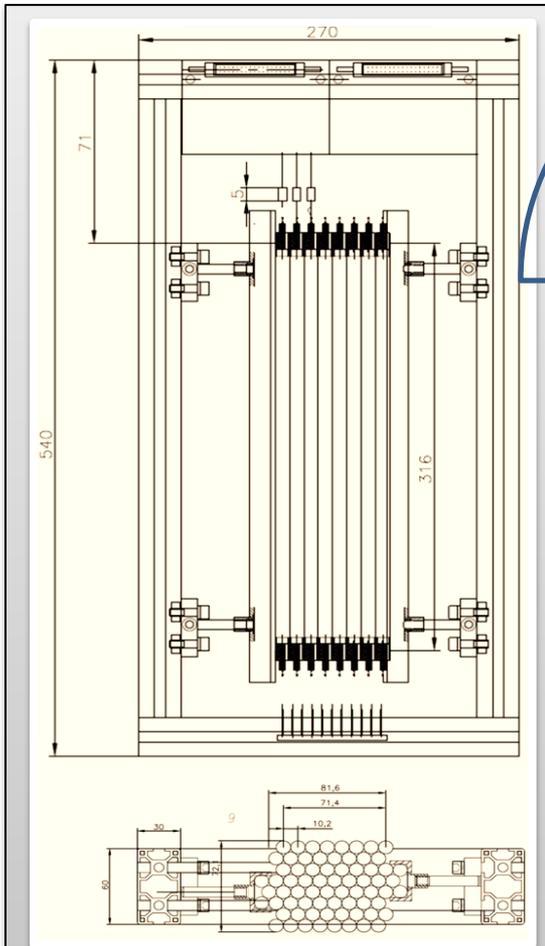
**ПОЗИТИВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ!**

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

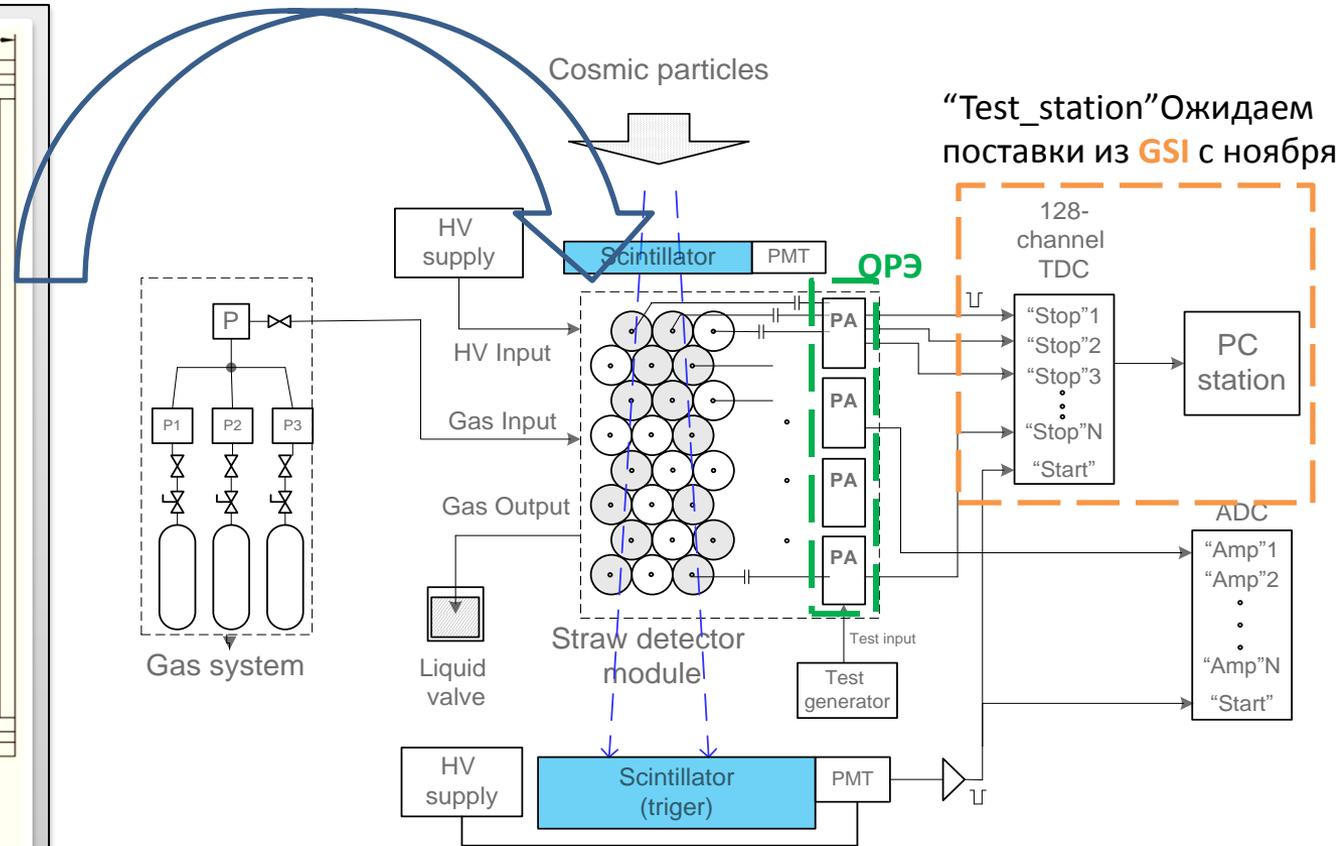
В ОТД появилась рабочая технология создания детекторов частиц на базе тонкостенных дрейфовых трубок из алюминия, содержащих экстремально малое количество вещества ( $X/X_0 \sim 0,05\%$  на трубку), имеющих большую длину (до 2.5 м) и работающих под давлением в вакууме\*.



# Прототип №3 и “космический стенд”.



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



“Test\_station” Ожидаем поставки из GSI с ноября

## Задачи:

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



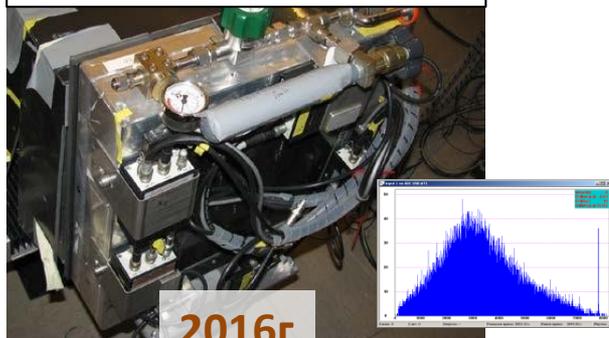
# Подготовка линии сборки PAS на базе корпуса 66.

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.



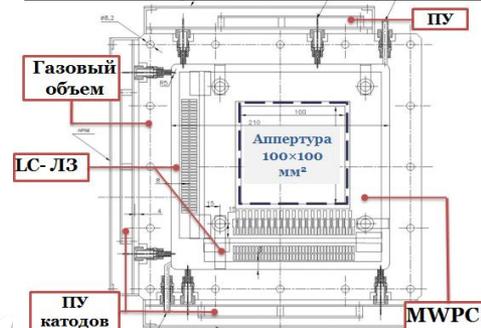


## Реанимация детекторов из GKSS



2016г

## Разработка 2D-монитора нейтронных пучков



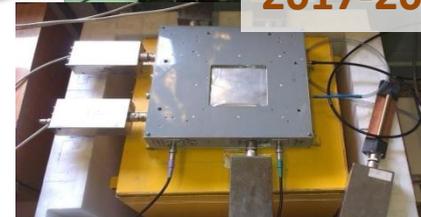
2016-2017гг

## Исследования прототипа линейного <sup>3</sup>He ДН.



2017-2018гг

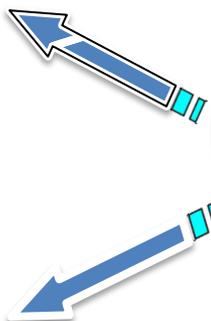
## Исследования прототипа ДН с конвертором В<sub>4</sub>С.



## Закупка 160л <sup>3</sup>He (МАЯК)

2018г

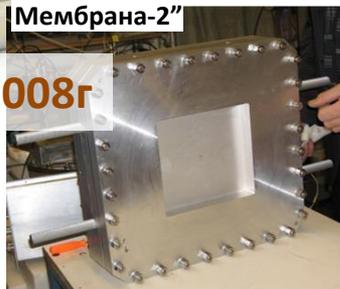
# "Нейтронная активность" ОТД



"Вектор"

Мембрана-2"

2008г



Разработка ПЧД  
600×600мм<sup>2</sup> для  
Спектрометра  
малоуглового  
рассеяния на  
реактор ИР-8 в  
"Курчатовском  
институте"

2018г



Изготовление макета  
монокамерного ПЧД.



## 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 600×600мм<sup>2</sup> разрешением не менее 5×5 мм<sup>2</sup> (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 &gt;600×600 мм<sup>2</sup> с разрешением не менее 5×5 мм<sup>2</sup> (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 &gt;10×600 мм<sup>2</sup> с разрешением не менее 10×10 мм<sup>2</sup> (3.3)</p> <p>5. Изготовление экспериментального образца ПЧД, на основе линейных газоразрядных ПЧД, с апертурой &gt;10×1000 мм<sup>2</sup> с разрешением не менее 10×10 мм<sup>2</sup> (3.5)</p> <p style="text-align: center;">+</p> <ul style="list-style-type: none"><li>•Разработка ЭКД на монокамерный ПЧД с апертурой &gt;400×400 мм<sup>2</sup> с разрешением не менее 2×2 мм<sup>2</sup>. (3.16)</li><li>•Разработка ЭКД на ПЧД, на основе линейных газоразрядных ПЧД, с апертурой &gt;1000×1000 мм<sup>2</sup> с разрешением не менее 10×10 мм<sup>2</sup> (3.17)</li></ul> <p style="text-align: center;"><b>перспектива 7 и 8?</b></p>



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

0

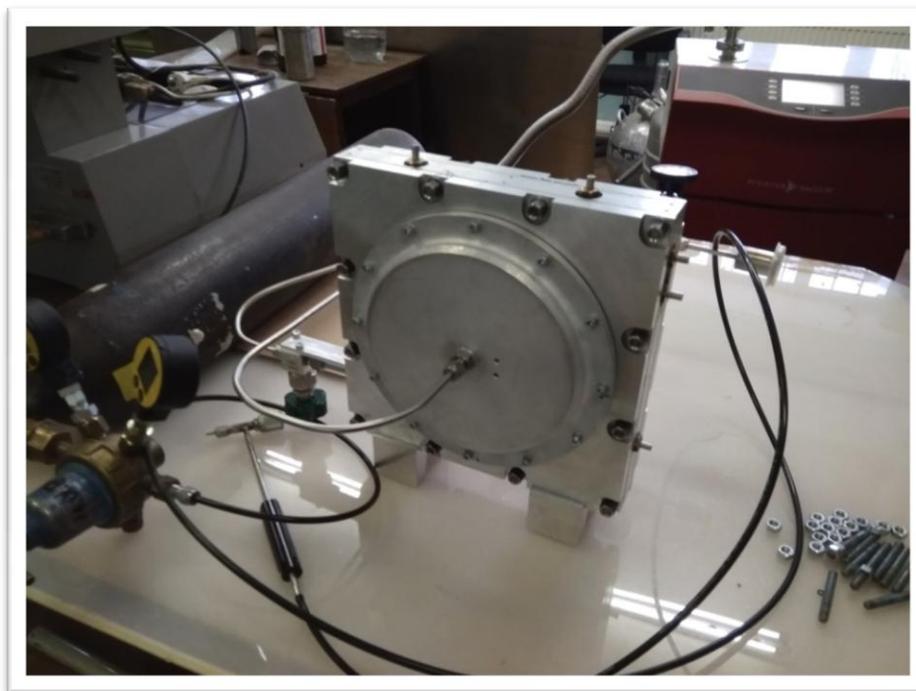
## Назначение:

- 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:

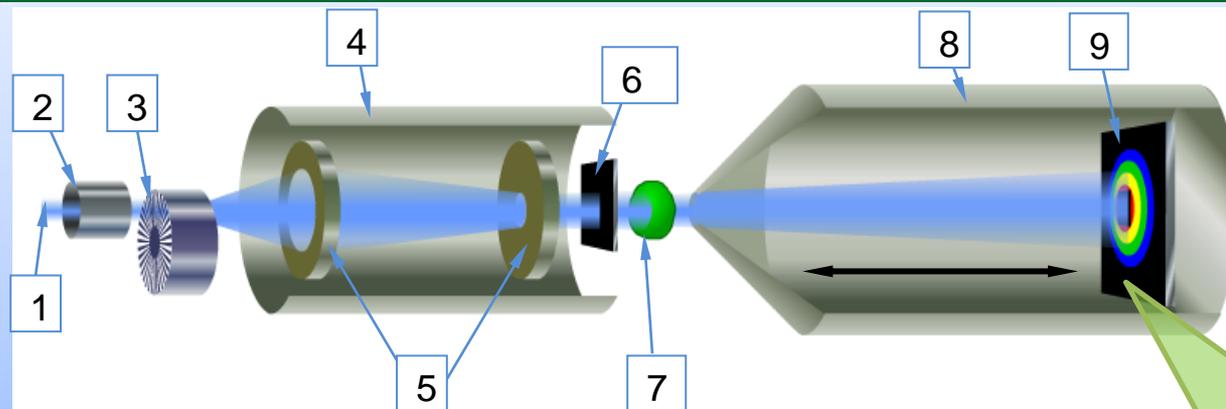
Эффективность регистрации ( $5 \div 10$ )Å	$\geq 0,01 \%$
Быстродействие	$\geq 1 \times 10^4$ н/сек
Пространственное разрешение по каждой координате	Не хуже 3мм
Размер эффективной области регистрации	Не менее $60 \times 60 \text{ мм}^2$
Коэффициент чувствительности к гамма-фону	$\leq 1 \times 10^{-7}$

## Тестирование монитора профилометра в ОТД :



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

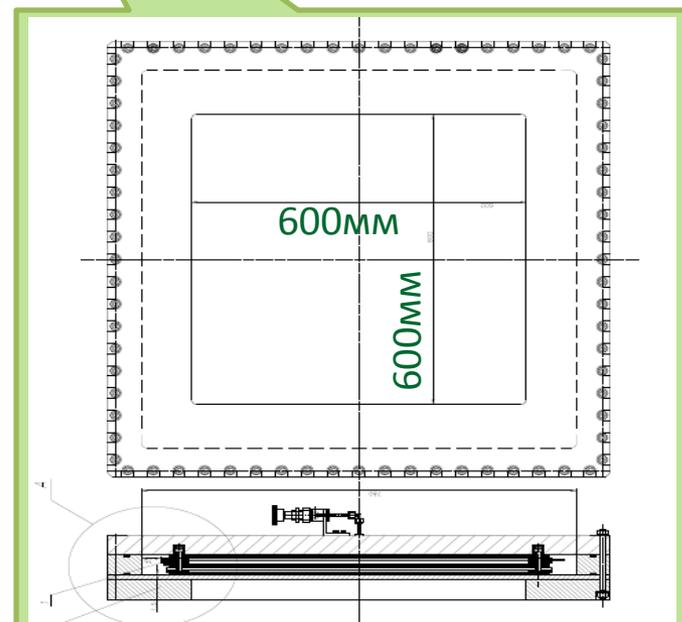
## Принципиальная схема спектрометра малоуглового рассеяния



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 <sup>2</sup>
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 <sup>-7</sup>





# 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 600х600мм<sup>2</sup>.

## РЕШЕНИЕ:

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



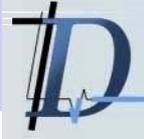
Расчетная нагрузка на клеевой слой в ПЧД 600х600мм<sup>2</sup> - **2 кг/см.** Произведено несколько тестовых склеек. Все образцы выдержали нагрузку в **4 кг/см!**

## 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**”!



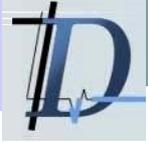
## Планы на 2019 г.

### 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 )*



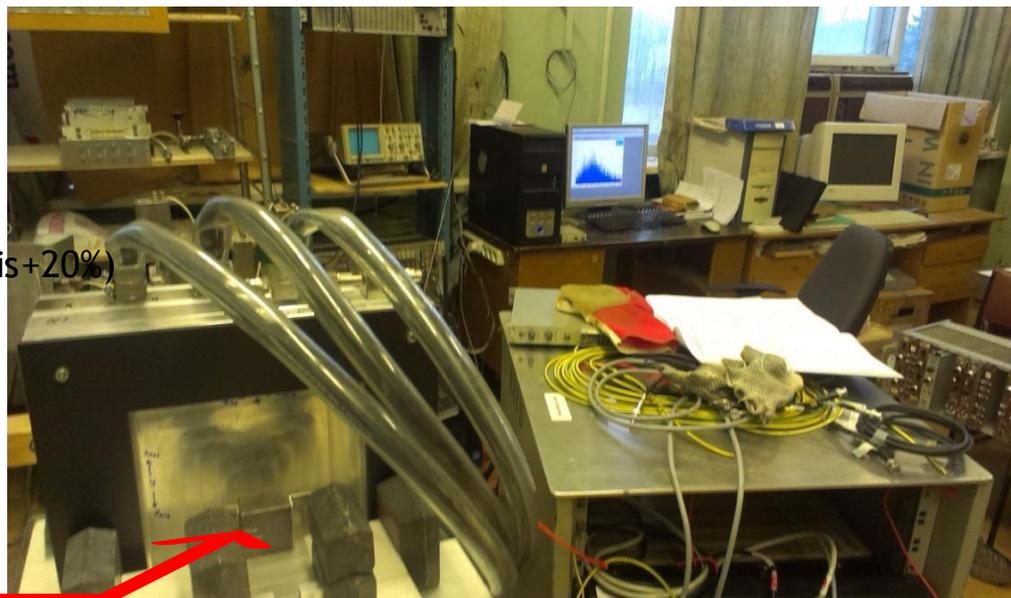
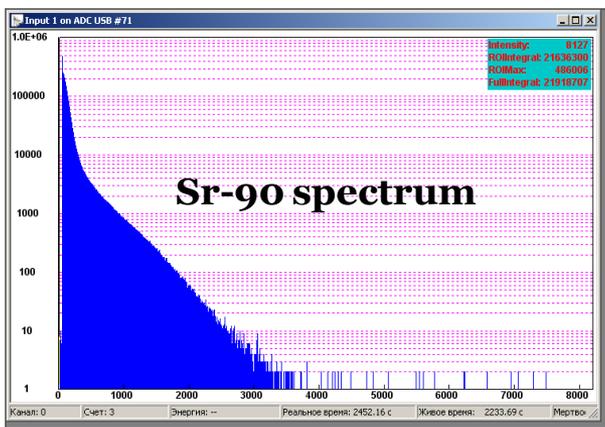
**С НОВЫМ ГОДОМ!**  
**\*2019\***



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

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

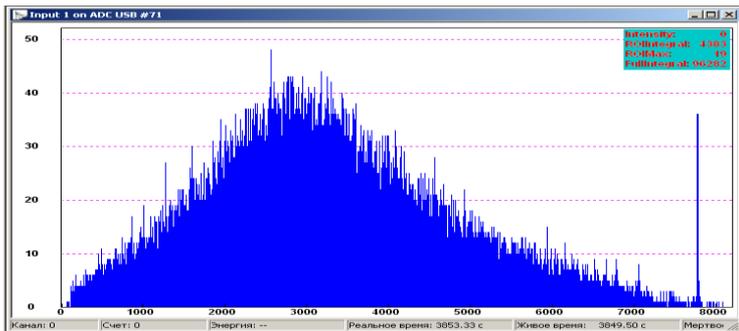
- Gas: 60%Ar+30%CO<sub>2</sub>+10%CF<sub>4</sub>, 1 Atm
- Sr-90
- HVa=2.05 kV, HVds=0V (for HVds=-300V counting is +20%)



90Sr

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

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

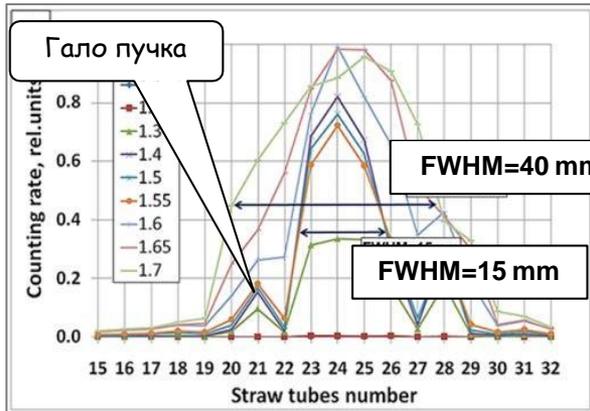


УВЫ с 2016г НИКАКОГО “ощутимого” интереса к детекторам из HZG нейтронное сообщество ПИЯФ не проявляло! => никаких работ не проводилось =(

# Этапы работ по контракту ФАИР-ПИЯФ (создание PAS)

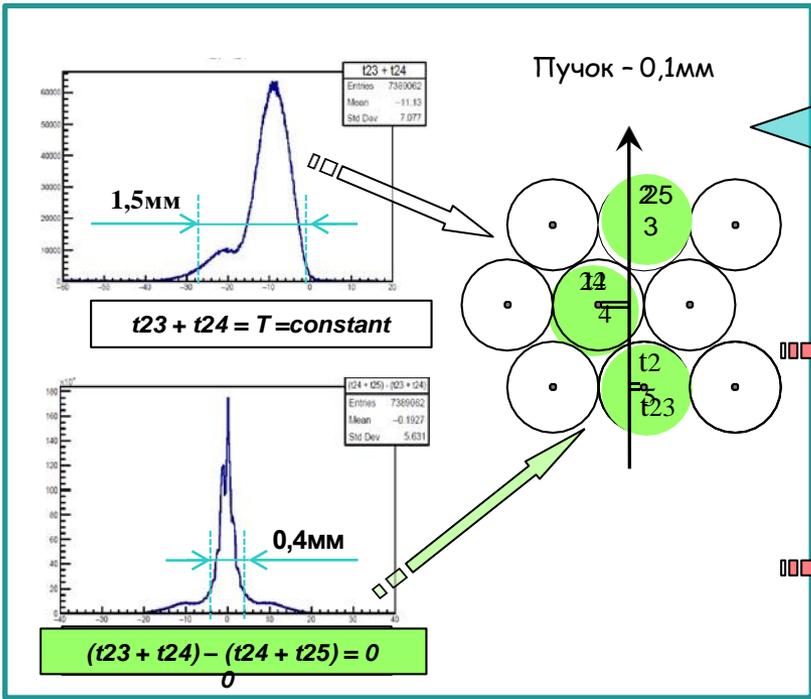
Этап	Описание работ	Критерии оценки	Дата
1	Заключение договора о сотрудничестве	Заключение договора о сотрудничестве	01.04.2018
2	Проектирование спектрометра PAS. Концептуальный и технический дизайн системы спектрометра PAS и ПЭ	Окончательная экспертная оценка спектрометра PAS	30.06.2018
3	Концептуальный 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	<b>Строительство STW-X2</b>	<b>STW-X2 готов</b>	<b>30.09.2019</b>
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	<b>Строительство STW-Y2</b>	<b>STW-Y2 готов</b>	<b>30.04.2020</b>
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	<b>Строительство STW-Y1</b>	<b>STW-Y1 готов</b>	<b>30.11.2020</b>
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	<b>Строительство STW-X1</b>	<b>STW-X1 готов</b>	<b>30.11.2021</b>
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	<b>Тестирование спектрометра PAS целиком в НИЦ «КИ» –ПИЯФ [M9]</b>	<b>Приёмсдаточные испытания на площадке ПИЯФ</b>	<b>01.03.2023</b>
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	<b>Тестирование спектрометра PAS целиком в вакуумной камере GLAD</b>	<b>Приёмсдаточные испытания FAIR</b>	<b>31.12.2023</b>
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

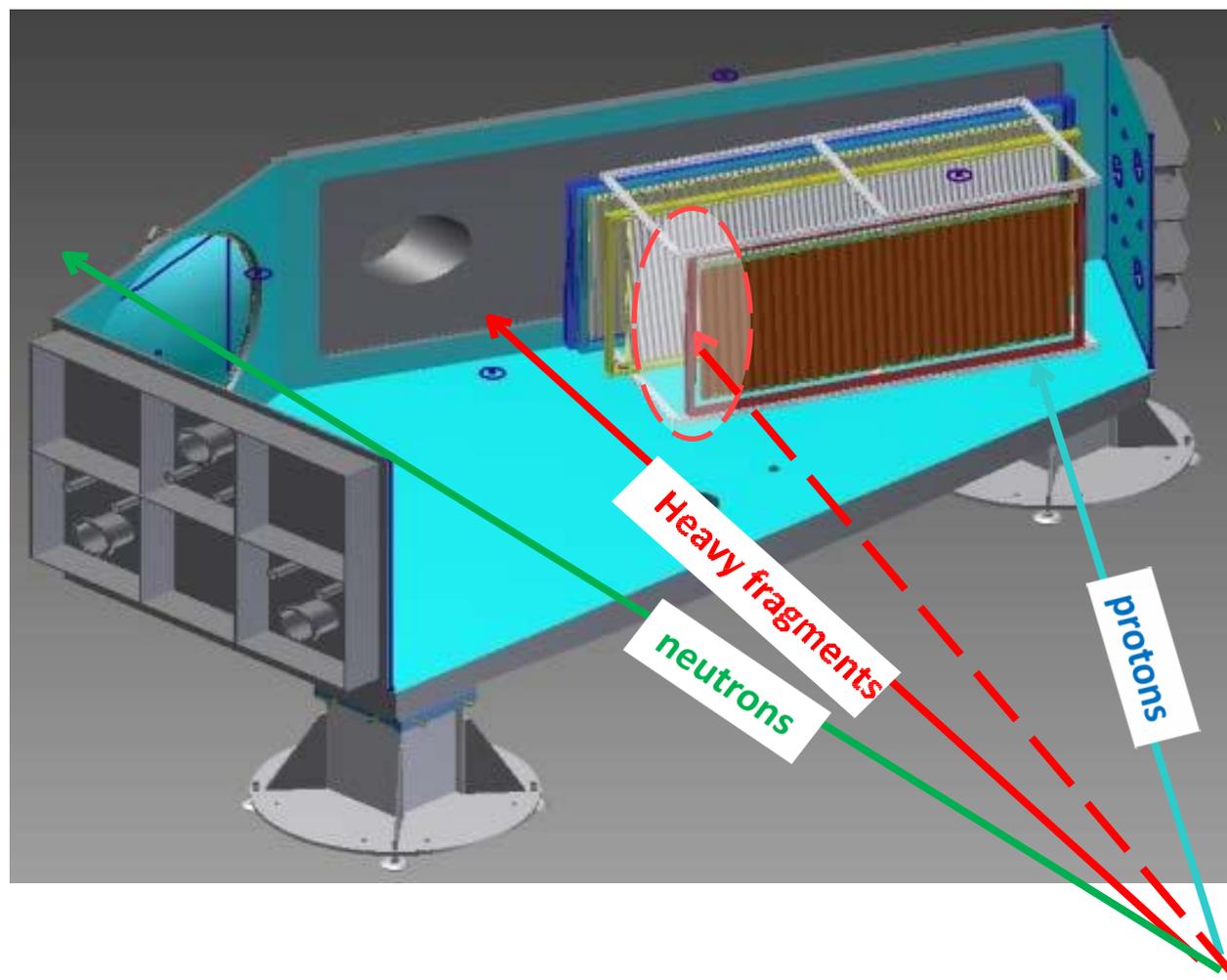


**Необходимы специальные АЛГОРИТМЫ отбора !!!**

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  **$2.5 \times 10^{-6}$  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)

