


Трековая система эксперимента R³V (GSI, Дармштадт)

А.Г. Крившич

Семинар ОФВЭ ПИЯФ

20 октября, 2015,



Technical Report for the Design, Construction and Commissioning of the Tracking Detectors for R3B (TDR)

был рассмотрен и принят
экспертным комитетом FAIR
в августе 2015года.

R3B эксперимент и трековая система

R3B эксперимент в FAIR должен обеспечить измерение полной кинематики реакций с релятивистскими радиоактивными пучками с высокой эффективностью и отличным разрешением .

Трековая система должна позволить в максимальной степени использовать возможности работы с редкими изотопами начиная от гелия и до урана с энергией около 1 AGeV , которые могут быть достигнуты в FAIR.

Базовые требования к трековой системе

1. Зарядовое разрешение для тяжелых фрагментов - $\Delta Z/Z - 0.5\% (\sigma)$;
2. Массовое и импульсное разрешение - $\Delta A/A$ и $\Delta P/P - \leq 10^{-3}(\sigma)$;
3. Высокоинтенсивная мода работы - up to 1 MHz;
4. Многотрековое разрешение.
5. Эффективность детектирования для системы в целом - $\geq 85\%$.

Три основных моды работы экспериментальной установки R3B

Мода №1. High-resolution mode: «трекинг»
тяжелых ионов ($Z > 50$, $A > 100$)

Мода №2. High-acceptance and multi-hit mode:
«трекинг» много-частичных (фрагментов) распадов,
включая измерение выхода испарительных
протонов (~ 700 МэВ).

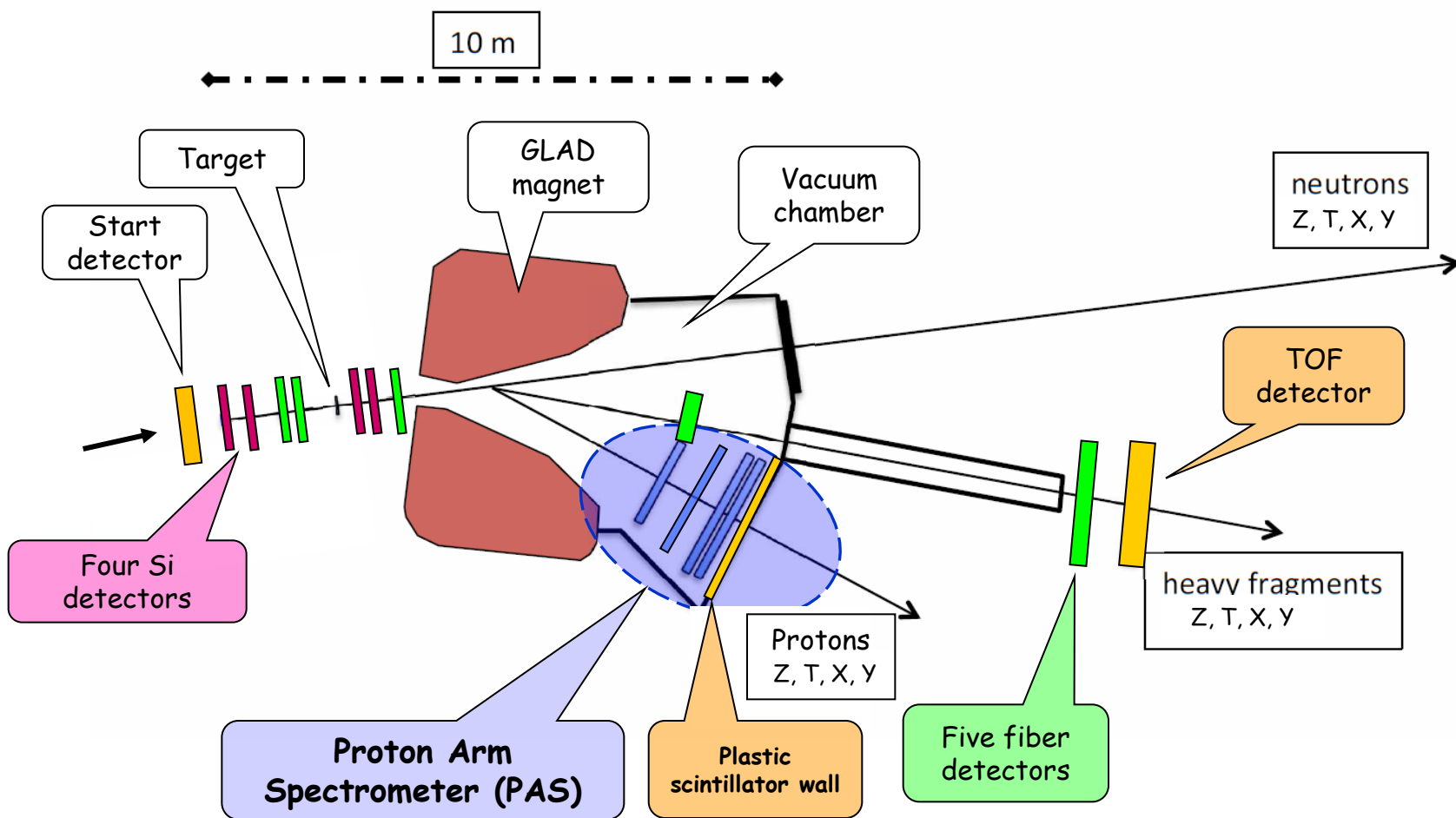
Мода №3. High-rate experiments (≤ 1 MHz): менее
экзотические пучки (используются только
сцинтилляционные детекторы)

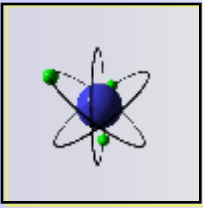


R^3V трековая система.

Блок-схема экспериментальной установки.

10 m





Start detector (LOS)

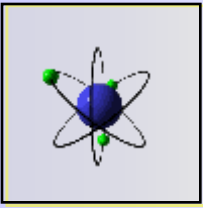
Status

Главная задача. Временное разрешение. Оно должно быть существенно лучше любого другого детектора, применяемого в R3B.

Характеристики LOS-детектора

Сцинтилляционный детектор (LOS):

- маленький ($5 \times 5 \text{ см}^2$);
- тонкий $200 \div 500 \mu\text{м}$ (для ядер средних масс);
- высокое временное разрешение - $\sigma \leq 10 \text{ ps}$.

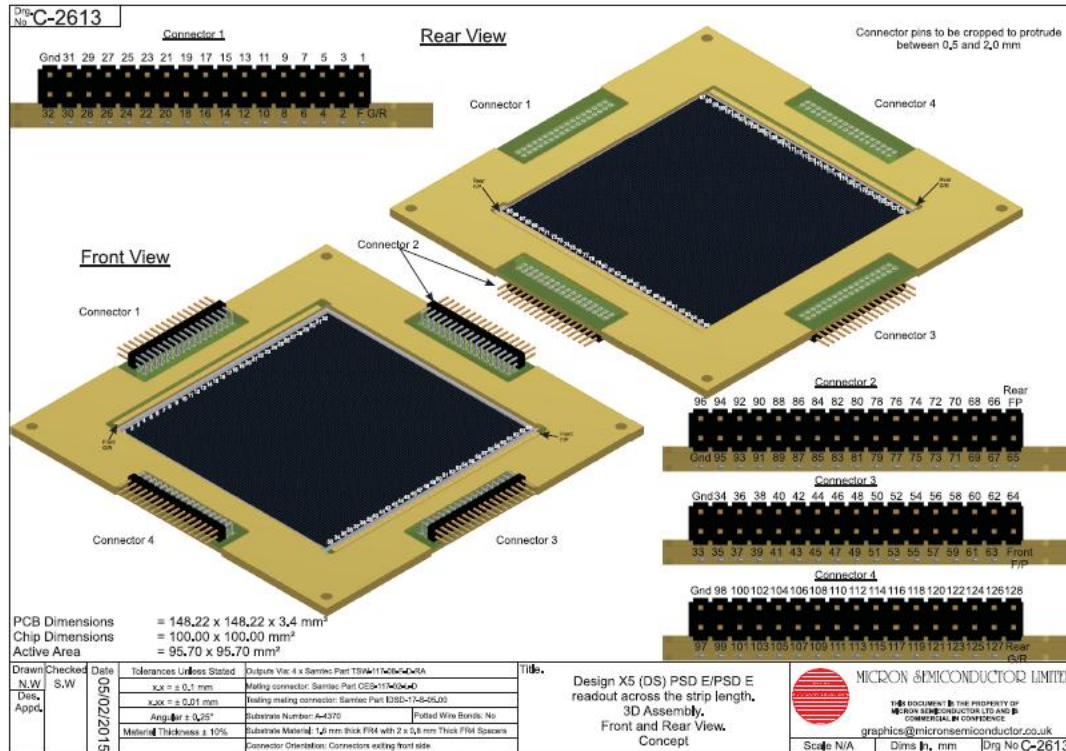


Si detectors

Status

Главные задачи.

1. Обеспечить адекватную идентификацию заряда с минимальным количеством материала;
2. Получить точную трековую (угловую) информацию для ионов до мишени и продуктов деления после мишени.



Предварительная концепция кремниевого 2D позиционно-чувствительного детектора 10x10cm²).

Характеристики Si-детекторов

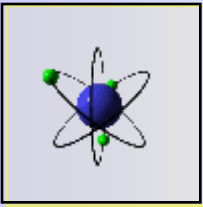
Типы детекторов: позиционно чувствительный кремниевый детектор, работающий на принципе резистивного деления заряда, а также микро-стриповый детектор.

Первый детектор до мишени имеет толщину $300\mu\text{m}$, что позволяет хорошо идентифицировать и разрешать соседние заряды.

Второй детектор располагается ближе к мишени и имеет толщину $100\mu\text{m}$, что минимизирует вклад вещества в угловой straggling.

Третий и четвертый детекторы располагаются после мишени. Это микро-стриповые детекторы. Они имеют наибольшие размеры ($10\times 10\text{ см}^2$), чтобы закрыть угловой захват ($\pm 80\text{mrad}$) магнита GLAD. Пространственное разрешение - $700\mu\text{m}$ (pitch). Толщина - $100-200\mu\text{m}$, что является компромиссом между минимальным угловым straggling и достаточными энергетическими потерями.

Технические параметры и размещение всех Si-детекторов выбирается таким образом, чтобы полученное угловое разрешение было бы существенно лучше of the material straggling ($\sim 0,3\text{mrad}$).

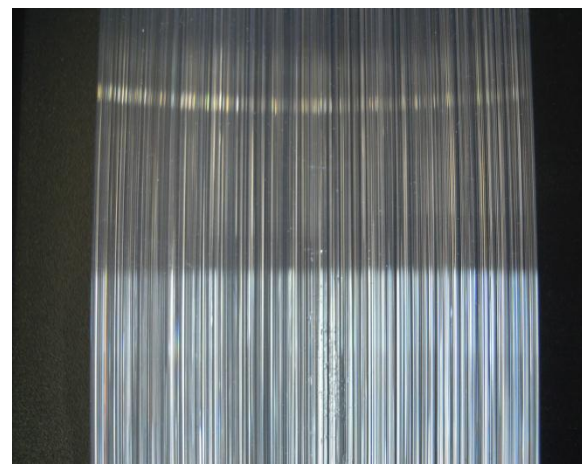
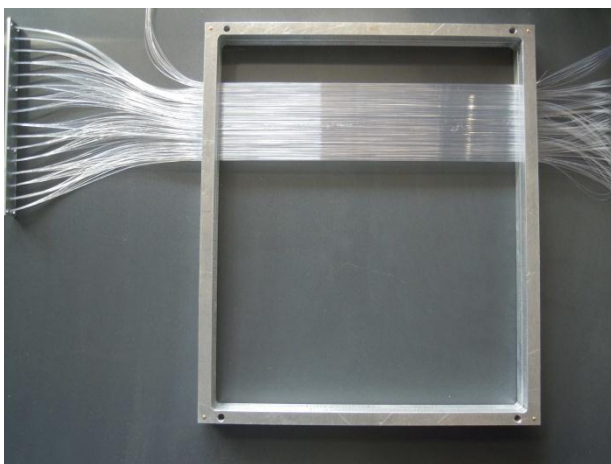


Fiber detectors

Status

Главные задачи.

1. Получить точную трековую (угловую) информацию для ядер пучка до мишени и после мишени.
2. Точное определение угла поворота продуктов деления после магнита.



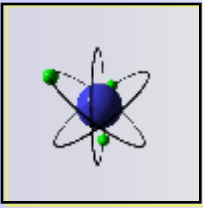
Слева - прототип детектора: рама с оптическими волокнами + их подключение к Multi-Pixel-Photon Counters (MPPCs) и далее к Multi-Anode Photomultiplier Tubes (MAPTs).

Справа – структура оптических волокон в увеличенном масштабе.

The FEBEX digitise system создается на базе a flash-ADC и работает с максимальной загрузкой - до 50 MHz.

Технические параметры

1. Пластик имеет пик световой эмиссии с длиной волны 450 nm (голубая) и длину затухания (>4.0 m).
2. Сечение всех оптических волокон - квадрат $200 \times 200 \mu\text{m}^2$.
3. Ожидаемая эффективность детектора **90%**.
4. **FD1** (X,Y), **FD2** (X,Y) и **FD3** (X,Y) размещаются вокруг мишени и имеют активную площадь $10.24 \times 10.24 \text{ cm}^2$. Предполагается, что эти детекторы заменят Si-детекторы при работе на пучках предельной интенсивности.
5. **FD4** (X) размещен после GLAD магнита в вакууме. Размеры - 40.96 cm.
6. **FD5** (X,Y) - большой оптоволоконный детектор:
 - активная зона **$120 \times 80 \text{ cm}^2$** ;
 - состоит из четырех слоев оптоволоконна;
 - пространственное разрешение **$\sigma_x = 58.3 \mu\text{m}$** and **$\sigma_y = 462 \mu\text{m}$** ;
 - размещается непосредственно перед TOF-wall.
7. The angular straggling, вносимый материалом детектора, является доминирующим фактором при проведении угловых измерений после магнита.

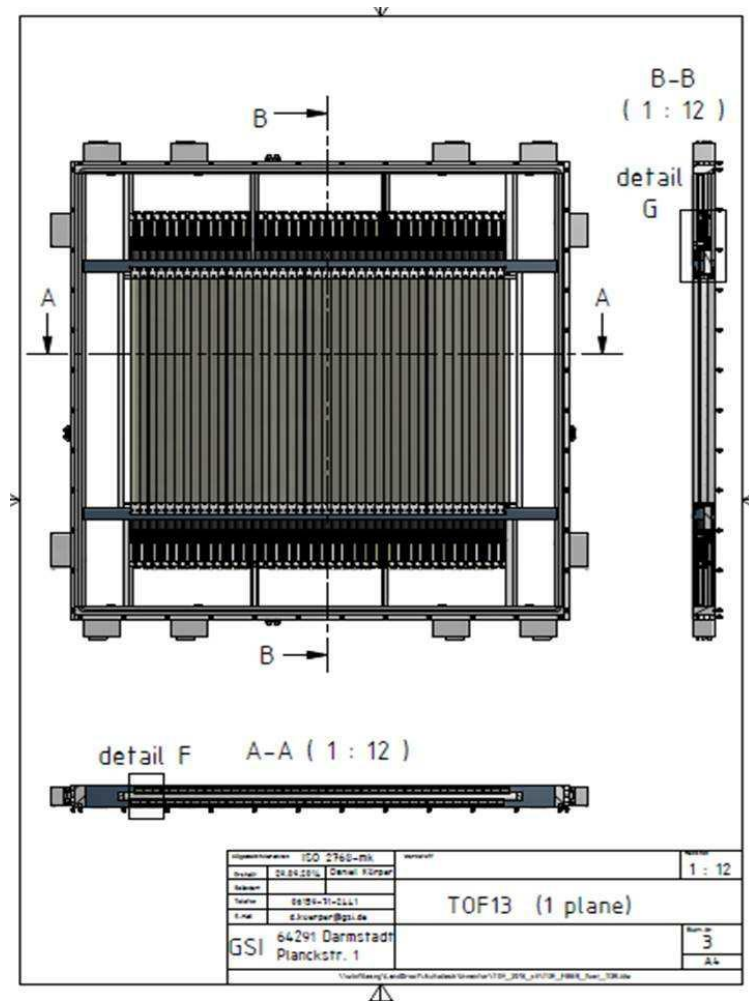


Time-of-flight plastic scintillation wall (TOF)

Status

Главные задачи.

1. Проведение время-пролетных измерений между "Start detector" и TOF, а также точное измерение зарядов тяжелых фрагментов.



Общий вид прототипа детектора

Технические параметры

1. Детектор размещается максимально далеко от мишени - **20 метров**.
Активная зона детектора **120×80см²** (ширина и высота).

2. Размеры сцинтилляторов:

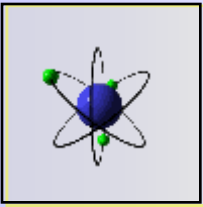
- 800×27×5 mm³ для легких пучков;
- 800×27×3 mm³ для тяжелых ионов.

3. TOF детектор должен работать с экстремально высокими временным (**20ps**) и энергетически (**≤1%**) разрешениями в пучках высокой интенсивности - **до 1 MHz**.

4. TOF информация разделяется на два канала: **временной и энергетический**, которые обеспечивают:

- «временная» информация поступает в TDC. Эти сигналы совместно с аналогичными сигналами других детекторов используется для **выработки триггера высшего уровня** в системе регистрации данных. Используется только - X.

- основной вклад в энергетические потери и, как следствие, в **зарядовое разрешение ядер**, вносят количество детектированных фотоэлектронов и **energy-loss straggling**. Используются (X и Y).

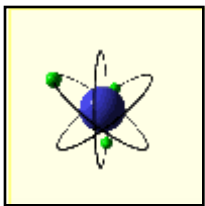


Proton Arm Spectrometer (PAS)

Status

Главные задачи.

1. Измерение траекторий испарительных протонов.



Proton Arm Spectrometer - структура

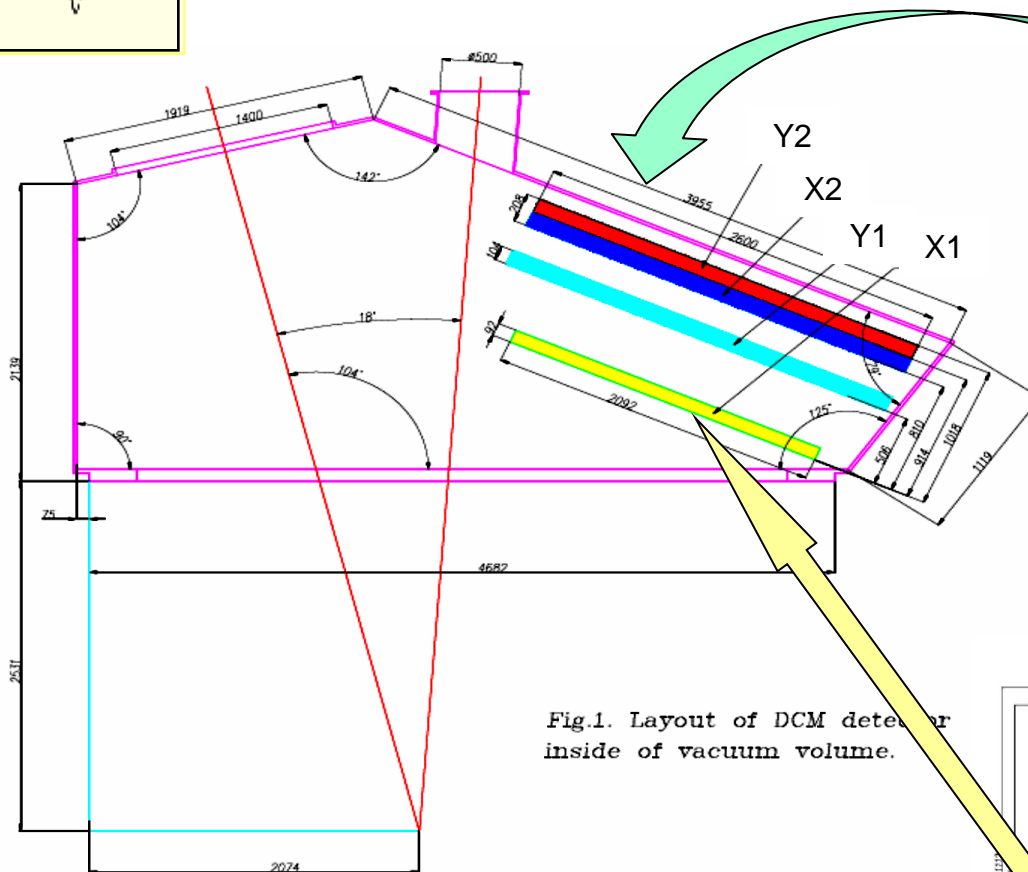
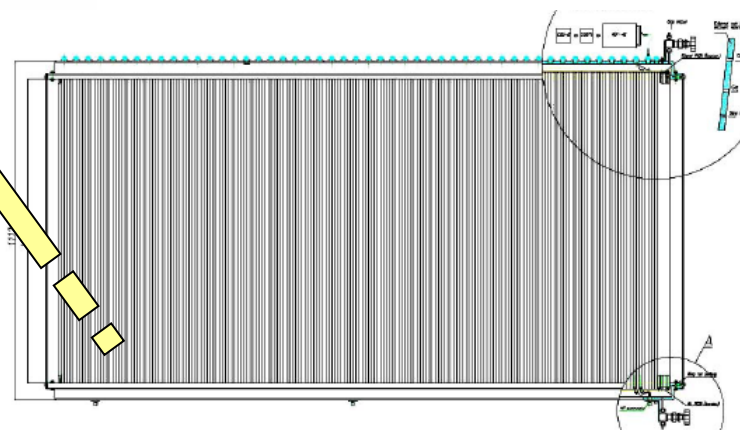


Fig.1. Layout of DCM detector inside of vacuum volume.



Общий вид STW (X1 - coordinate)

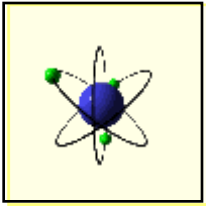
Размещение плоскостей PAS: X1 (yellow), Y1 (light blue), X2 (blue) and Y2 (red) внутри вакуумного объема позади GLAD магнита.

Параметры Straw Tube Wall (STW)

STW station	Outside dimensions [mm]	Length of straw [mm]	Straw tube material	Straw diameter, mm	Number of straws (max)
X1	2092×1112×92	1000	Kapton (wall thickness - 60mkm)	10	610
Y1	2611×1092×104	2700	Aluminum (wall thickness - 300mkm)	10	310
X2	2592×1112×104	1000	Aluminum (wall thickness - 300mkm)	10	760
Y2	2611×1092×104	2700	Aluminum (wall thickness - 300mkm)	10	310
				Totally	1990

Kapton tubes. Первая плоскость для измерения X1 координаты и которая имеет минимальное количество вещества (minimal stragglng).

Aluminum tubes. Несмотря на то, что the angular stragglng, вносимый этими трубками значительно больше, по сравнению с the thin Kapton tubes, их вклад в измеряемую угловую дисперсию пренебрежимо мал из-за того, что они размещаются в конце трека.



Proton Arm Spectrometer

	PAS parameters	Value
1	Geometrical acceptance	more than ± 80 mrad (gap of the dipole magnet)
2	Detector active area	up to 1000×2700 mm
3	Granularity (tube diameter)	10 mm
4	Space resolution	$\leq 200 \mu\text{m}$
5	Angle resolution	≤ 0.2 mrad
6	Efficiency	$\geq 95\%$
7	Total count rate for single tube	$\geq 1 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$.
8	Radiation drift length	less of 0.2%
9	Operation area	vacuum



**В ОФВЭ должна быть создана и
реализована на практике**

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

создания детекторов частиц,

которая базируется

**на straw-drift tubes с малым
количеством вещества и большой
длиной**

Описание Straw Tube

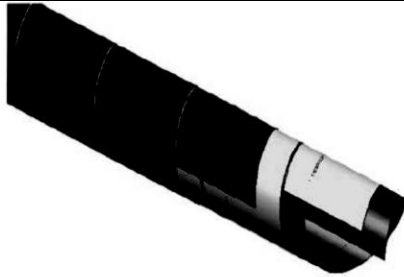


Figure 5.11.: Schematic drawing of a straw tube wound with two Kapton ribbons and an intermediate aluminized layer.

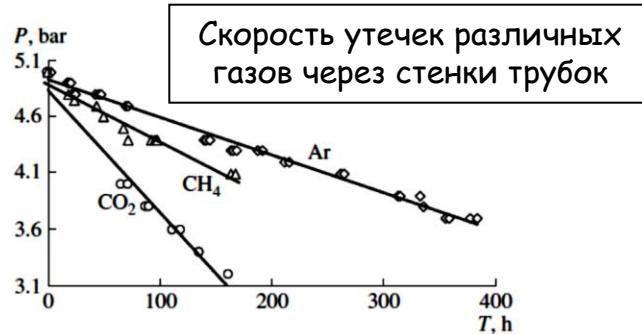


Figure 5.12.: Time dependence of the pressure of the straw-tube-filling gaseous mixture.

Принципиальный момент

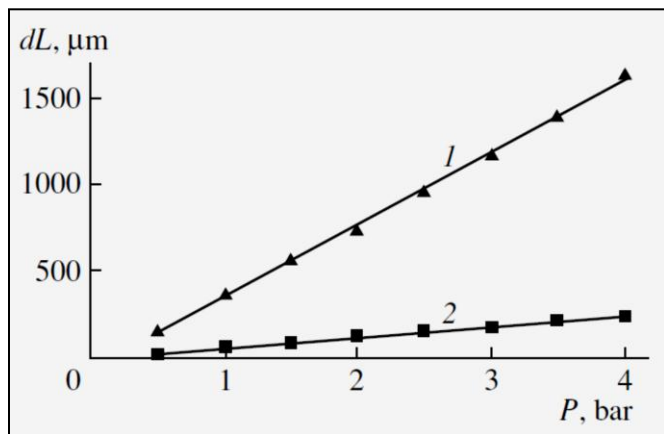
Для первой станции (X1) мы планируем использовать straw-tube technology (каптон), когда straw работают под давлением до 2 Атм (абсолютное).

Подобная технология была развита в Юлихе (группа Peter Wintz) для нескольких экспериментов (COSY, PANDA).

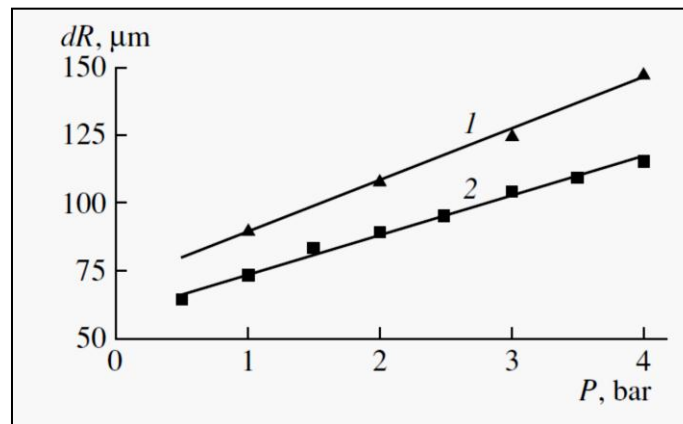
Опыт работы с подобной технологией имеет Дубна

Кто именно будет производить для нас трубки (LAMINA или Dubna) пока открыт.

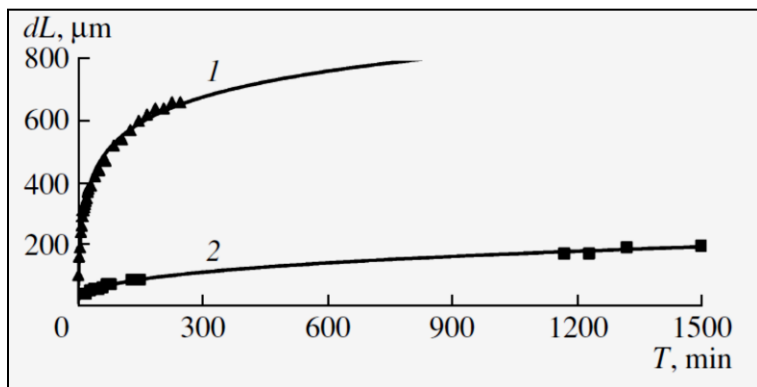
Straw tube - механические свойства



Удлинение трубки длиной 1,55метра как функция от избыточного давления: (1) без реинфосирования трубки углеволокном и (2) с реинфосированием.



Радиус трубки как функция избыточного давления (1) без реинфосирования трубки углеволокном и (2) с реинфосированием.



Временная нестабильность длины трубки в зависимости от величины избыточного давления (1) 4Атм и (2) 1Атм.

Существенные изменения в наружных размерах каптоновых straw-tubes (наружный диаметр, длина) в зависимости от величины избыточного давления должны приниматься во внимание.

Радиационная длина. Вещество детектора.

Element	Particle type	dE/dX_0 [MeV/mm]	X_0 [mm]	X/X_0
Straw tube material	Proton	0.315	8.19×10^2	1.46×10^{-4}
	α - particles	2.560	101	1.19×10^{-3}
	Li ions	8.594	30.1	3.99×10^{-3}
	B ions	33.284	7.76	1.55×10^{-2}
Anode wire	Proton	2.565	101	1.79×10^{-4}
Gas mixture Ar-CO ₂ -CF ₄ (at 1 Bar)	Proton	4.613×10^{-3}	5.6×10^4	2.48×10^{-4}

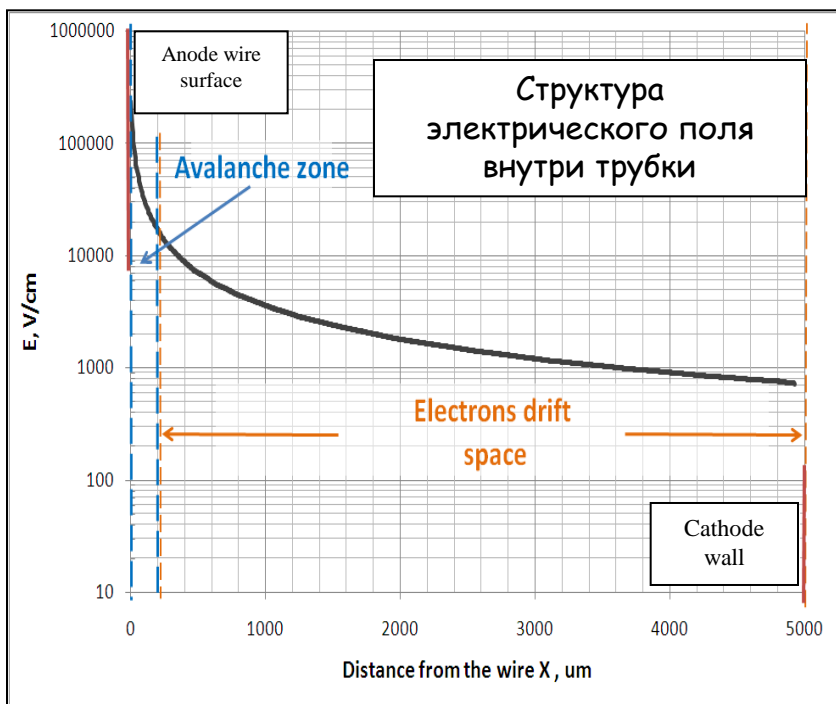
<i>Total X/X₀ of one straw [%]</i>	<i>Proton</i>	0.057 [%]
<i>Total X/X₀ of STW(X1) [%]</i>		0.172 [%]

Средняя величина радиационной длины для различных материалов, из которых состоит как одна straw, так и STW в случае протонов, альфа-частиц, Li и B ионов с энергией 700 МэВ.

Материал STW вносит не более, чем 0.2% от полной радиационной длины.

Расчеты были выполнены с помощью SRIM@2011 программы.

Влияние остаточного магнитного поля на работу PAS



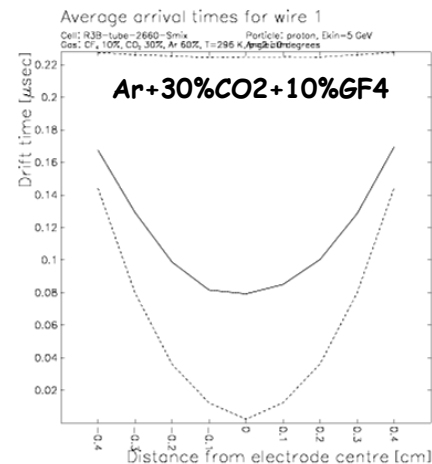
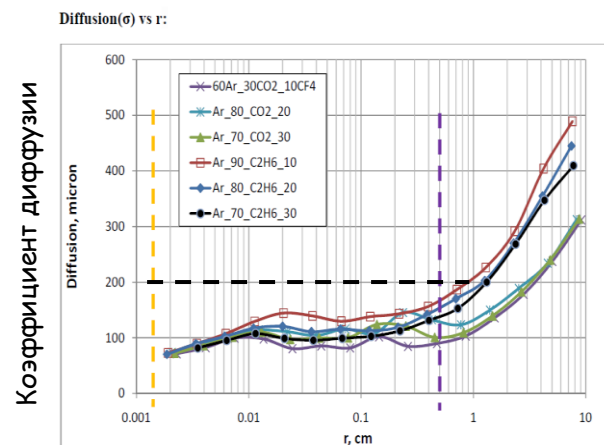
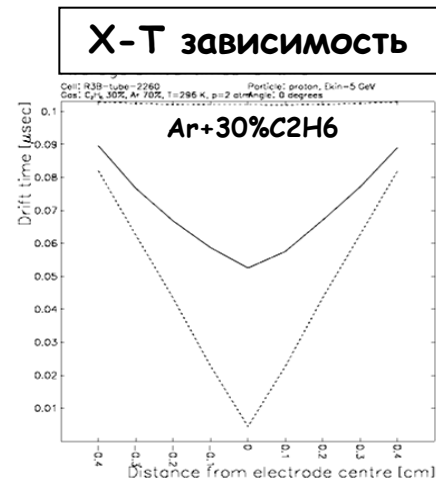
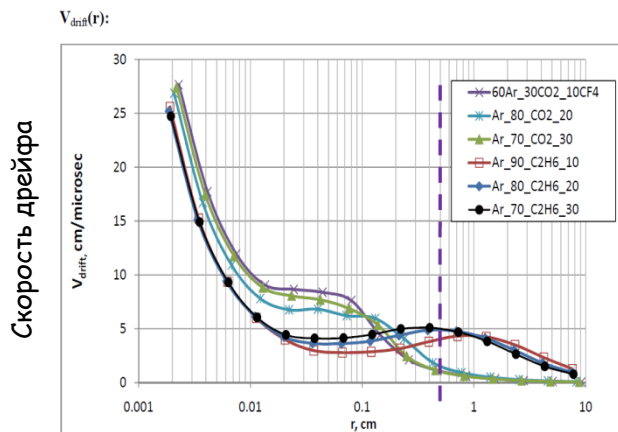
Длина дрейфа электрона от трека частицы к анодной проволоке в скрещенных электрическом и магнитных полях увеличивается по-сравнению со случаем отсутствия магнитного поля. Это приводит к тому, что X-T зависимость изменяется, вызывая ошибку в определении абсолютной координаты частицы.

Средний угол между вектором скорости электрона и вектором электрического поля не практически не превышает 0.35° . В результате, ошибка в определении координаты частицы не превышает нескольких микрон.

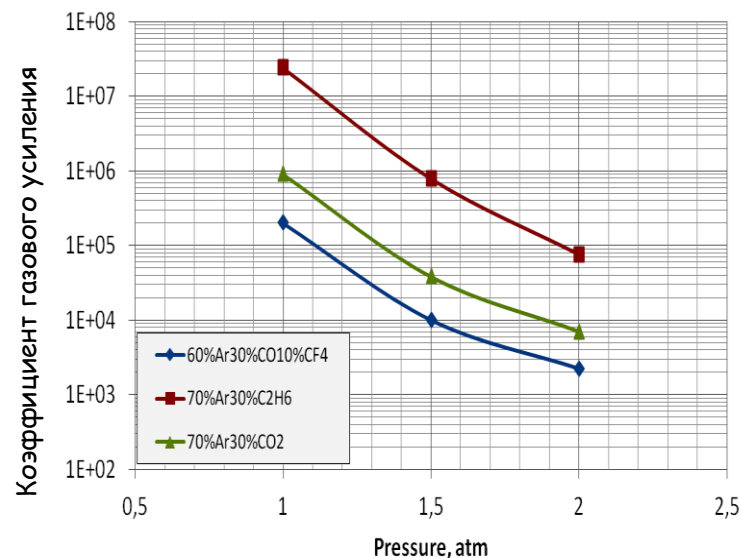
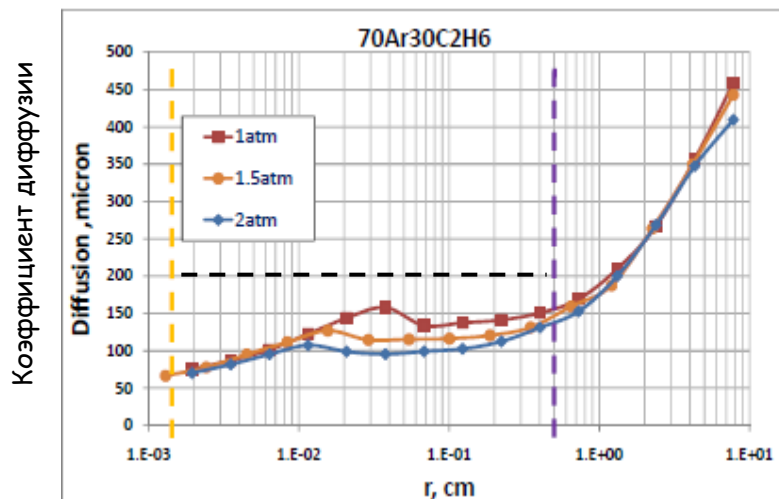
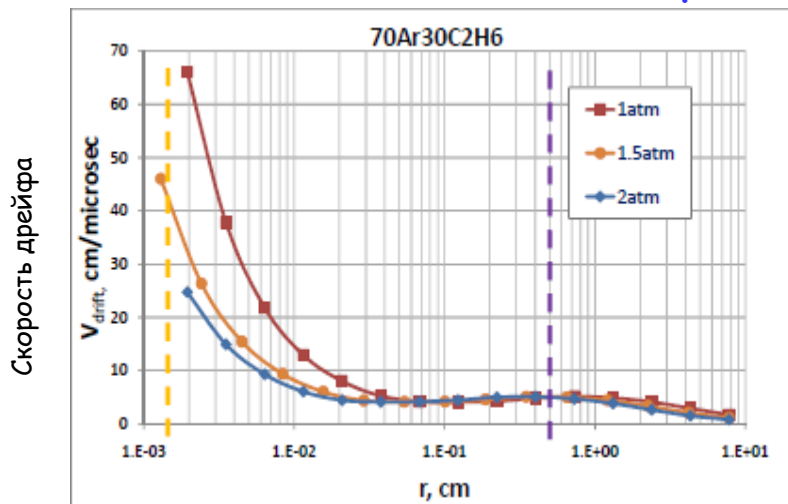
Вывод: влиянием магнитного поля на рабочие параметры straw можно пренебречь.

Garfield simulation: величины дрейфовой скорости, коэффициенты диффузии, X-T зависимость

для различных газовых смесей.

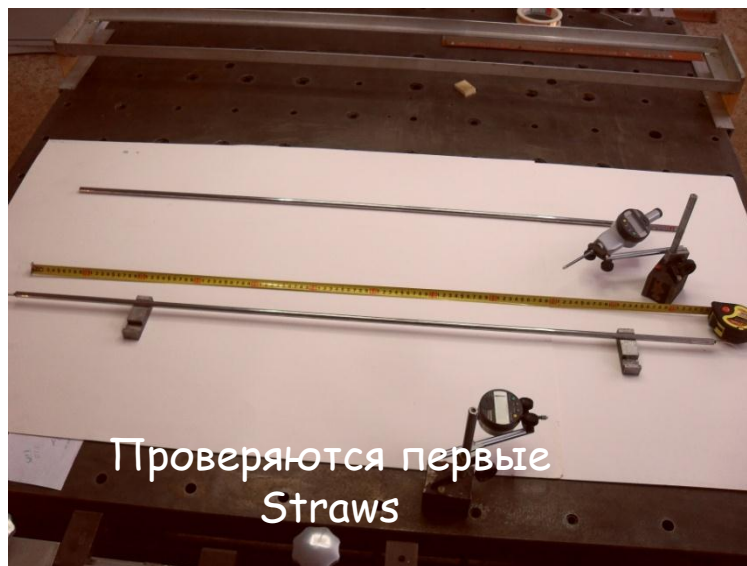


Garfield simulation: Влияние давления на величины дрейфовой скорости, коэффициенты диффузии и КГУ для различных газовых смесей.



Наиболее перспективная
газовая смесь
Ar+30%C2H6.

«Проба пера» - тонкостенные straws



Проверяются первые
Straws

Первые поставки тонкостенных straws



Первая партия готовых straws (L=275см)

Первая партия алюминиевых ультра-тонких трубок

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1. Количество | - 11 шт. |
| 2. Длина | - 275см |
| 3. Внутренний диаметр | - 9,5-9,7мм |
| 4. Наружный диаметр | - 10,1-10,2мм. |
| 5. Толщина стенки | - 0,2÷0,25мм |
| 6. Прямолинейность | - лучше 0,15мм. |
| 7. Брак по давлению (3Атм) | - 2шт. |

Вывод: все внутри спецификации (ОК)

Вторая партия алюминиевых ультра-тонких трубок

- | | |
|---------------------------|----------|
| 1. Количество | - 50 шт. |
| 2. Начат входной контроль | |

Есть достаточно хорошая надежда, что технология производства ультра-тонкостенных трубок отлажена.

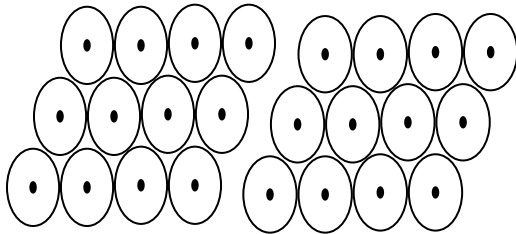
Окончательное заключение будет дано после проведения входного контроля второй партии трубок.

Планы на 2016год

(предложения)

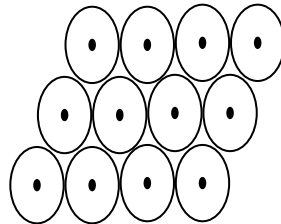
Прототип №1

1. Длина straw – **1100мм.**
2. Материал катода – алюминий (стенка - 0,25мм)
3. Число каналов $48 \times 2 = 96$.



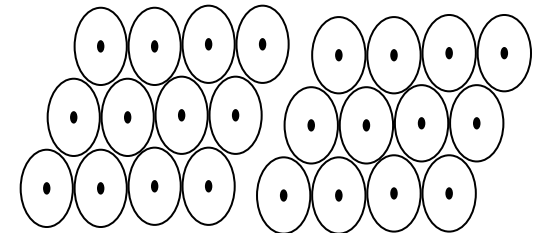
Прототип №2

1. Длина straw – **2700мм.**
2. Материал катода – алюминий (стенка - 0,25мм)
3. Число каналов 48.



Прототип №3

1. Длина straw – 1100мм.
2. Материал катода – **каптон (майлар)**
3. Число каналов $48 \times 2 = 96$.



Subsystems

- Readout (OPЭ OФBЭ)
- High voltage
- Low voltage
- Gas system
- Cabling

Заключение


Я хотел бы поблагодарить всех своих коллег, которые приняли самое активное участие в сложной подготовительной работе, которая позволила сейчас сказать - **мы сможем успешно реализовать данный проект:**

В.А.Андреев, Г.Д.Алхазов, Г.Е.Гаврилов, В.Л.Головцов, Е.А.Иванов, Д.С.Ильин, Д.А.Майсузенко, Ю.К.Огурцов, И.Н.Парченко, Л.Н.Уваров, Л.Ш.Рабинский, Н.Н.Филимонова, А.А.Фетисов, Г.Д.Шабанов, Н.Ю.Швецова.



**Спасибо за
внимание**





The thickness of the detectors is chosen as the **optimal solution** between:

- position resolution,
- energy loss measurement,
- energy straggling and angular straggling,
- detector rise time, which defines the rate performance.

These detectors must introduce a **minimum background** reaction rate and should withstand radiation damage.

