



# ОТДЕЛ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

ОФВЭ ПИЯФ

А.Г.Крившич

24 декабря 2014 года





# Straw-tube detectors

R3B эксперимент

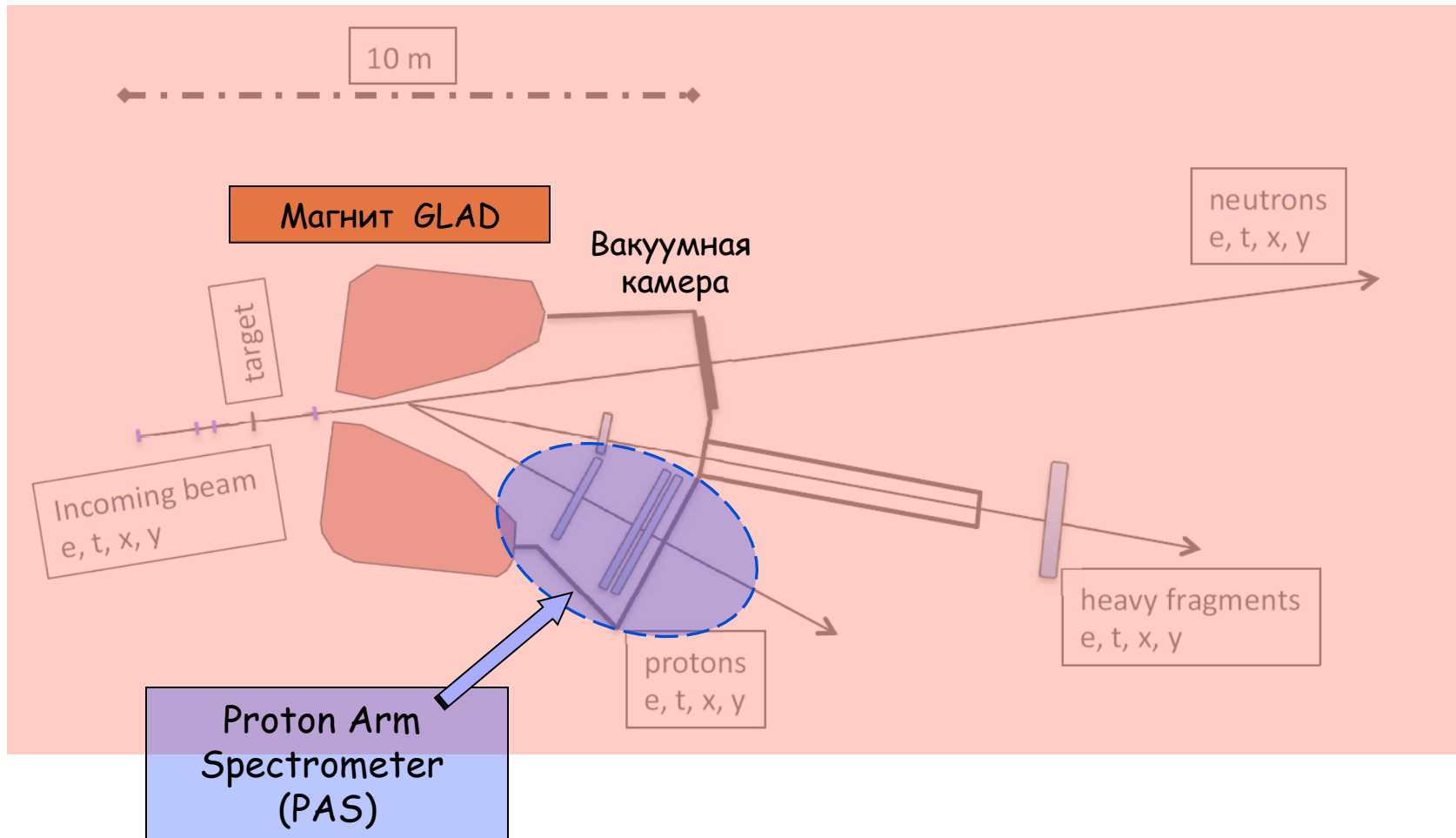
Дармштадт, **GSI**



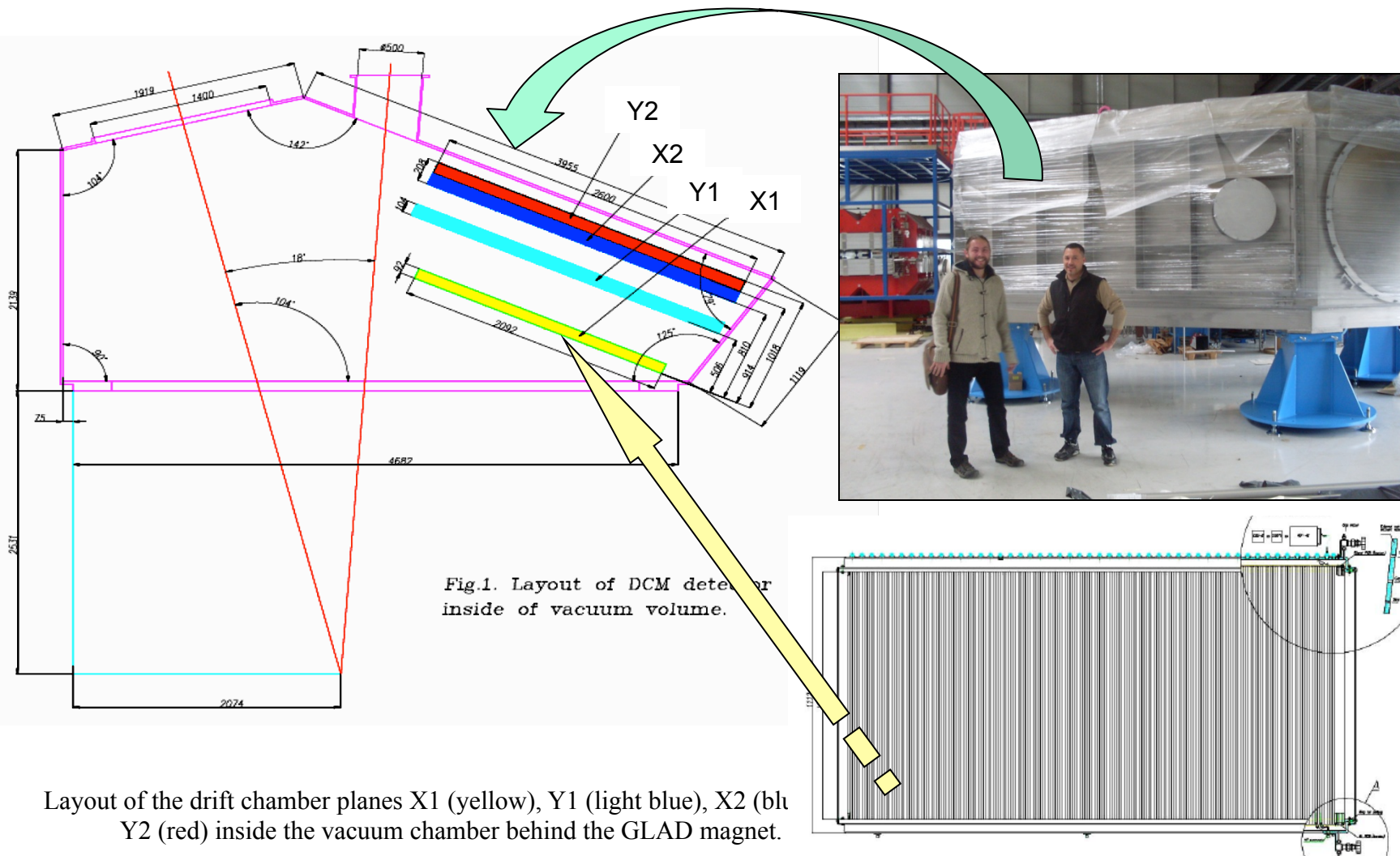
Предложенная ПИЯФ концепция детектора,  
одобрена колаборацией R3B и вошла

в **Technical Design Report**

# Трековая система эксперимента R3B



# Компоновка Proton Arm Spectrometer (PAS)



Общий вид первой STW (X1 - координата)

# Основные характеристики четырех Straw Tube Wall (STW)

STW station	Внешние размеры [mm]	Апертура [mm <sup>2</sup> ]	Straw tube материал	Straw диаметр, mm	Количество straw (max)	Число предусилителей	Число HV вводов
X1	2092 $\times$ 1112 $\times$ 92	2000 $\times$ 1000	Kapton (wall thickness -60mkm)	10	610	39	3 $\times$ 2=6
Y1	2611 $\times$ 1092 $\times$ 104	2500 $\times$ 1000	Aluminum (wall thickness -300mkm)	10	310	20	3 $\times$ 2=6
X2	2592 $\times$ 1112 $\times$ 104	2500 $\times$ 1000	Aluminum (wall thickness -300mkm)	10	760	48	3 $\times$ 3=9
Y2	2611 $\times$ 1092 $\times$ 104	2500 $\times$ 1000	Aluminum (wall thickness -300mkm)	10	310	20	3 $\times$ 2=6
				<b>Totally</b>	<b>1990</b>	<b>127</b>	<b>27</b>

**Kapton tubes.** First plane measures the X1 coordinate introducing **minimal straggling**.

**Aluminum tubes.** Although the angular straggling introduced by these tubes is significantly higher compared to the thin Kapton tubes **their contribution in the dispersive angular measurement is negligible** since they are placed at the end of the track.



# Описание Straw Tube

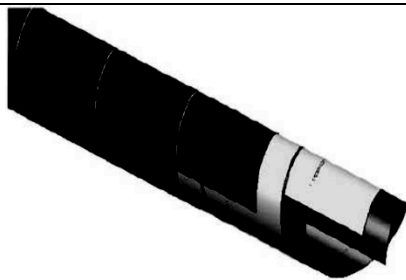


Figure 5.11.: Schematic drawing of a straw tube wound with two Kapton ribbons and an intermediate aluminized layer.

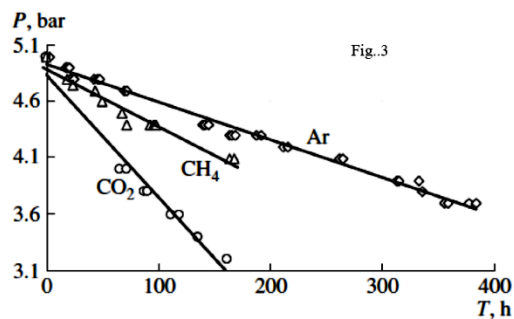
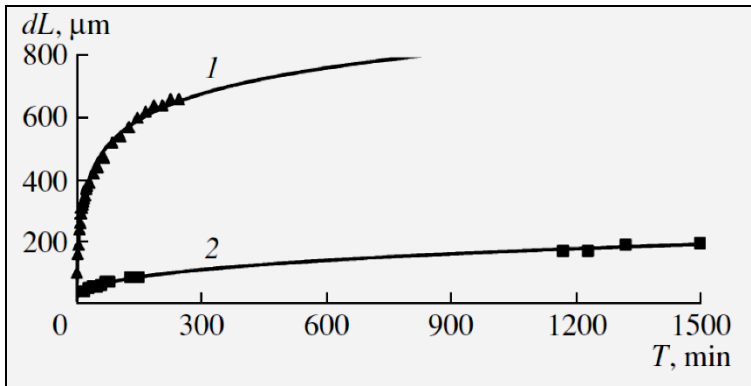


Figure 5.12.: Time dependence of the pressure of the straw-tube-filling gaseous mixture.

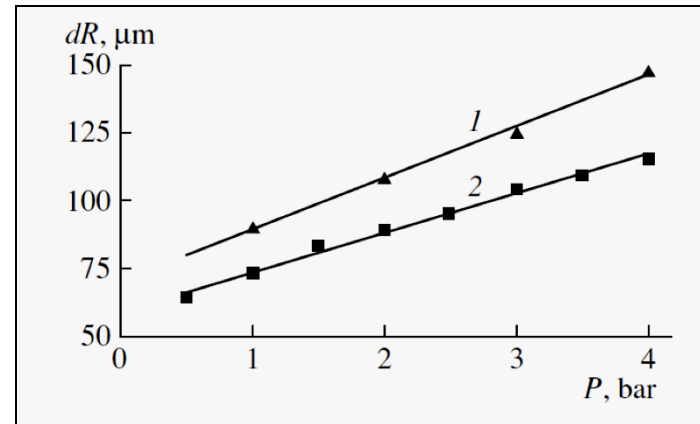
The first STW (X1 plane) uses the high-pressure thin-wall straw tubes designed at JINR (Joint Institute for Nuclear Research, Dubna)

[High-Pressure Thin-Wall Drift Tubes, V.I. Davkov, K.I. Davkov, V.V. Malkovskiy and V.D. Poshekhonov, Nuclear experimental technique, 2008, Vol.51, No.6, hh.787-791.]

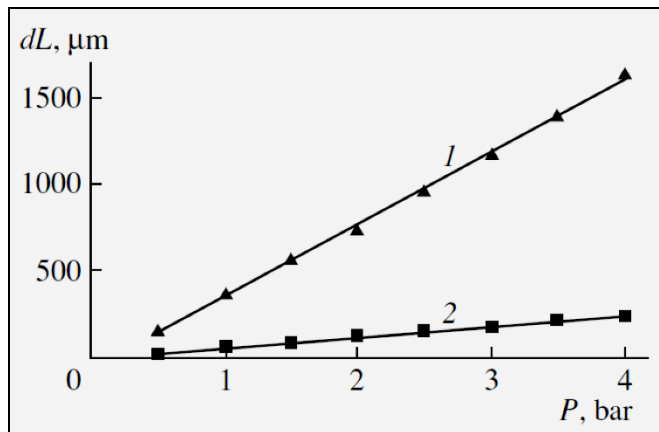
# Механические параметры Straw tubes



Time instability of the length of the straw tube at fixed pressures of (1) 4Bar and (2) 1Bar.



Radius of straw tubes as a function of differential pressure of the tube-filling gaseous mixture: (1) ordinary straw tube and (2) straw tube strengthened with carbon filaments



Elongation of a 1.55-m-long straw tube as a function of the differential pressure of the gaseous mixture: (1) without and (2) with strengthened walls of the straw tube.

# Радиационные длины. Материал детекторов.

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

<i>Total X/X<sub>0</sub> of one straw [%]</i>	Proton	0.057 [%]
<i>Total X/X<sub>0</sub> of STW(X1) [%]</i>		<b>0.172 [%]</b>

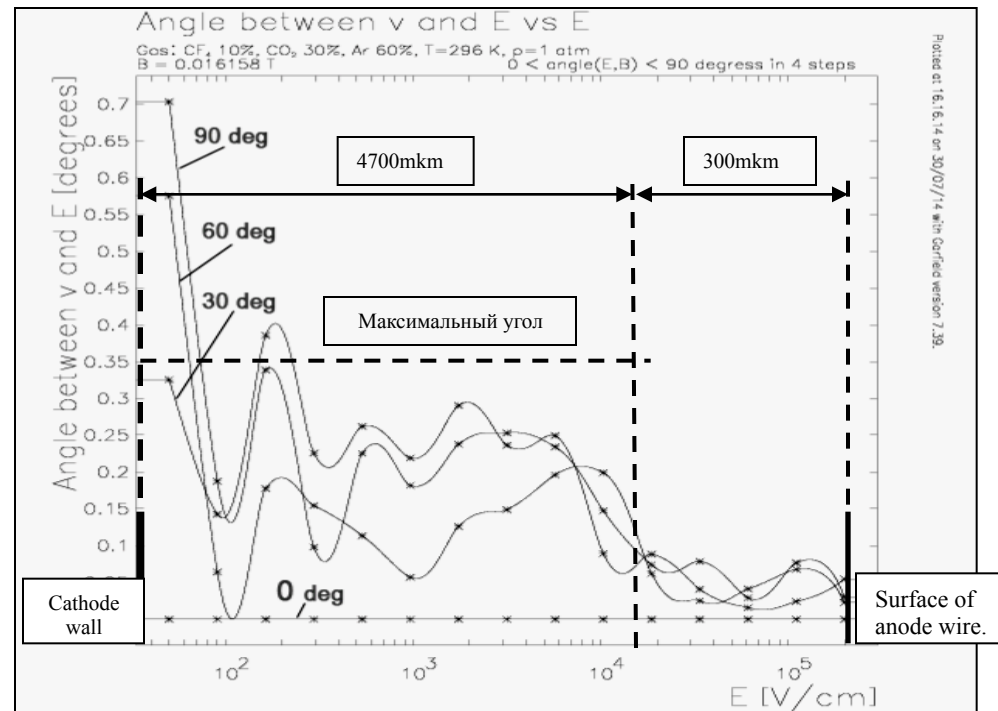
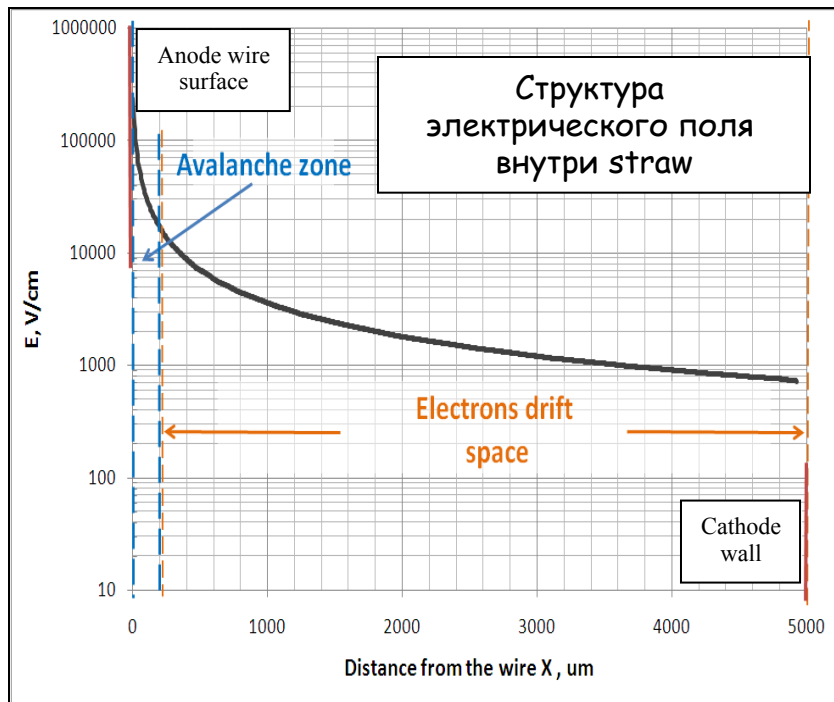
Mean thickness in radiation lengths of the different straw tube components for the protons,  $\alpha$ - particles, Li and B ions with the energy of 700 MeV for one straw tube and for STW.

**Вклад материала первой STW не превышает 0,2% от полной радиационной длины.**

**It was evaluated by using SRIM@2011 program.**



# Влияние магнитного поля на работу протонного спектрометра.



The path lengths of the electrons moving from its particle track to anode wire in crossed electric and magnetic fields is increased in compared with the case of the lack of a magnetic field. This causes changes in space/time (X-T) base relation and, consequently, can cause errors in determining of the particle coordinates in the detector.

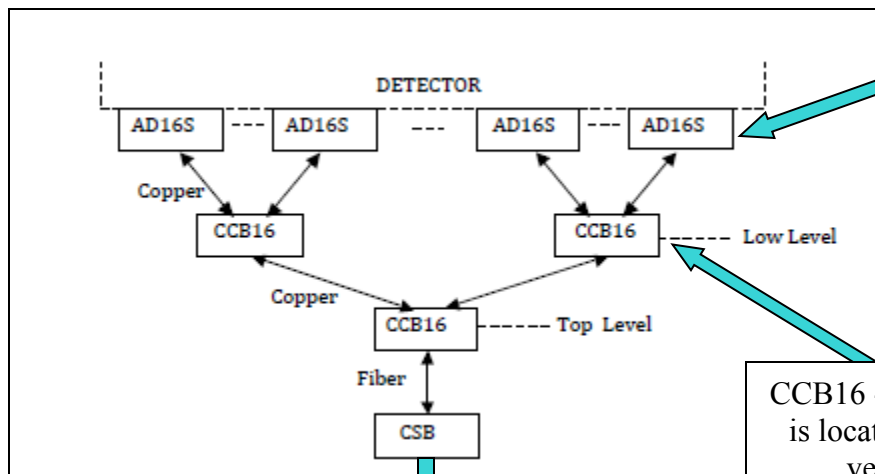
Average angle between the velocity vector and the vector of the electric drift field is about  $0.35^\circ$ . This corresponds to an error in the determination of particle coordinates – **не превышает нескольких микрон.**

**Влиянием магнитного поля на рабочие характеристики straw можно полностью пренебречь.**

# Subsystems

- Readout
- High voltage
- Low voltage
- Gas system
- Cabling

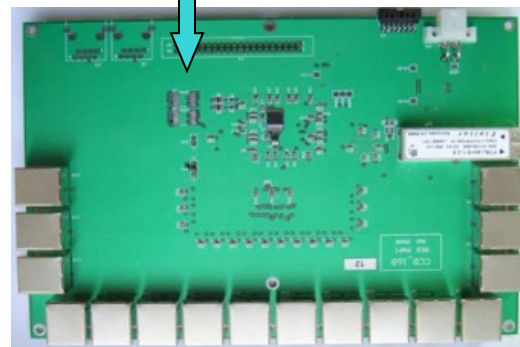
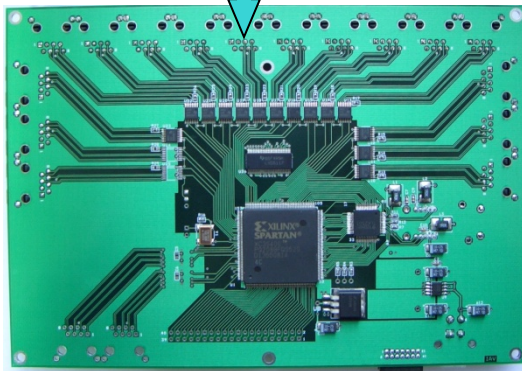
# Придетекторная и регистрирующая электроника



AD16-S - 16-channel Amplifier/  
Discriminator (Digitizer).  
It is located on the detector.  
AD16: 100(W)\*160(L)\*T(12)

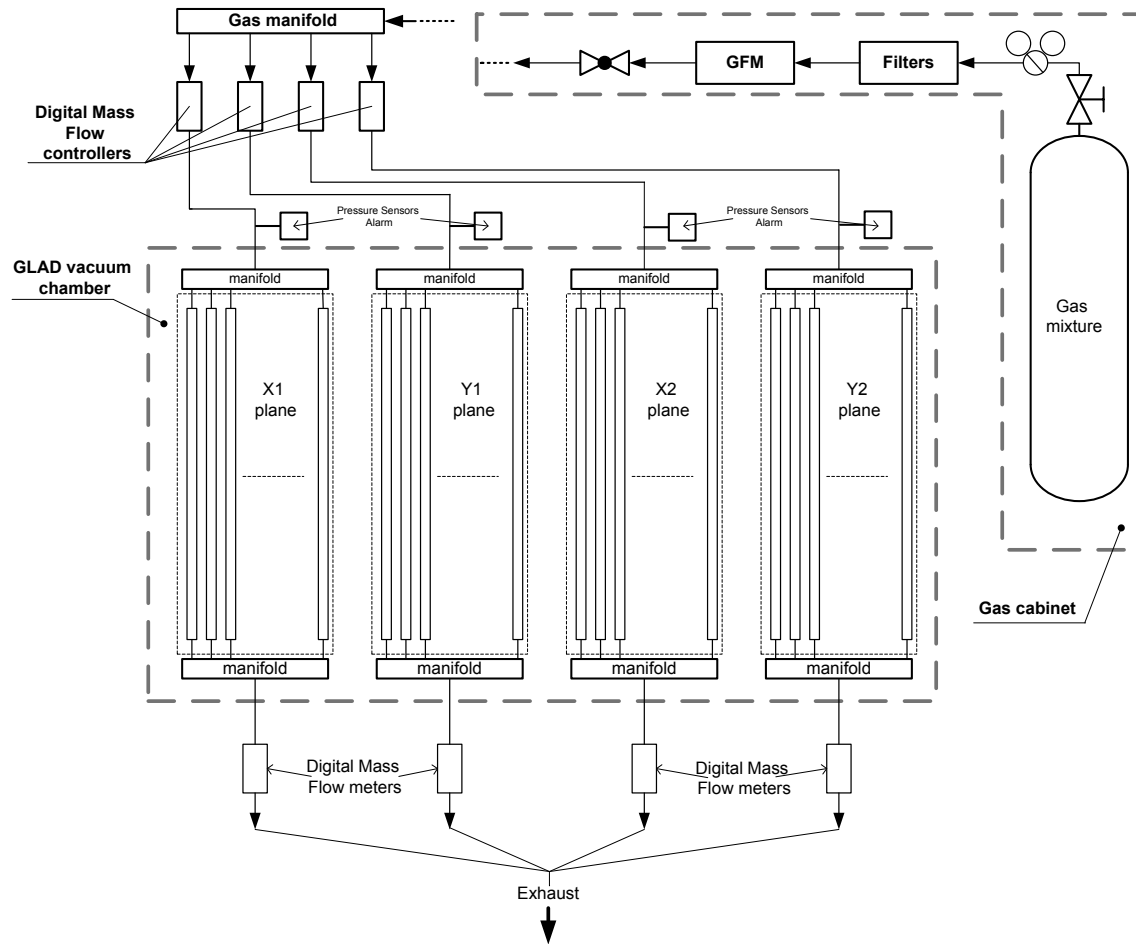
CCB16 - 16-channel Concentrator. It  
is located either on the detector or  
very close to the detector.  
CCB16: 140(W)\*180(L)\*T(12)

- Pulse discrimination with a peaking time of **30 ns**.
- Minimum threshold of **7 fC**;
- Double pulse resolution of **80 ns**,
- Power dissipation of about **35 mW/channel**;
- Operational threshold  $\leq 15$  fC



Coordinate-readout-system (CROS-3) electronics family  
developed at PNPI,

# Система газообеспечения PAS



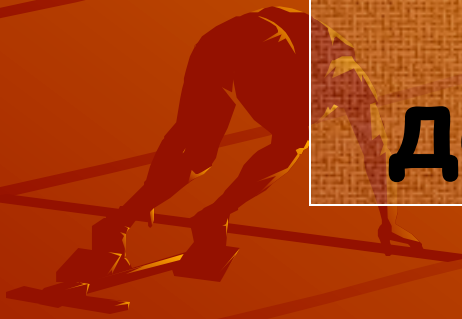
The PAS gas supply system is equipped by the slow control system that performs remote control of the gas flow parameters, with the possibility to switch to manual/local operation.

# Основные параметры “Proton Arm Spectrometer”

	PAS parameters	Value
1	Угловой захват PAS	$\pm 80$ mrad (gap of the dipole magnet)
2	Апертура детекторов	1000×2500 мм
3	Гранулярность (диаметр straw)	10 mm
4	Пространственное разрешение	$\leq 200$ $\mu\text{m}$
5	Угловое разрешение	$\leq 0.2$ mrad
6	Избыточное давление газовой смеси	1 Bar (работа в вакууме)
7	Эффективность	$\geq 95\%$
8	Количество каналов (straw)	1990
9	Максимальная загрузка на straw	$\leq 1 \times 10^5$ s <sup>-1</sup> .



**Исследование  
процессов старения  
газоразрядных  
детекторов частиц**



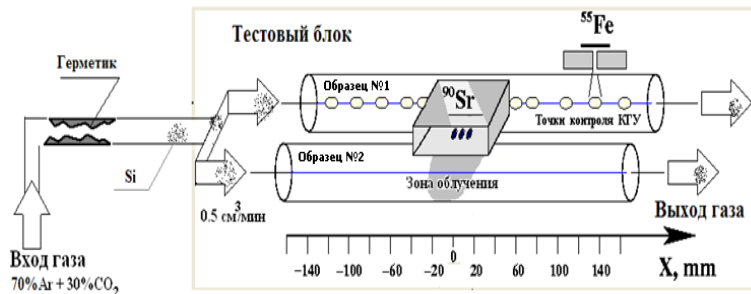




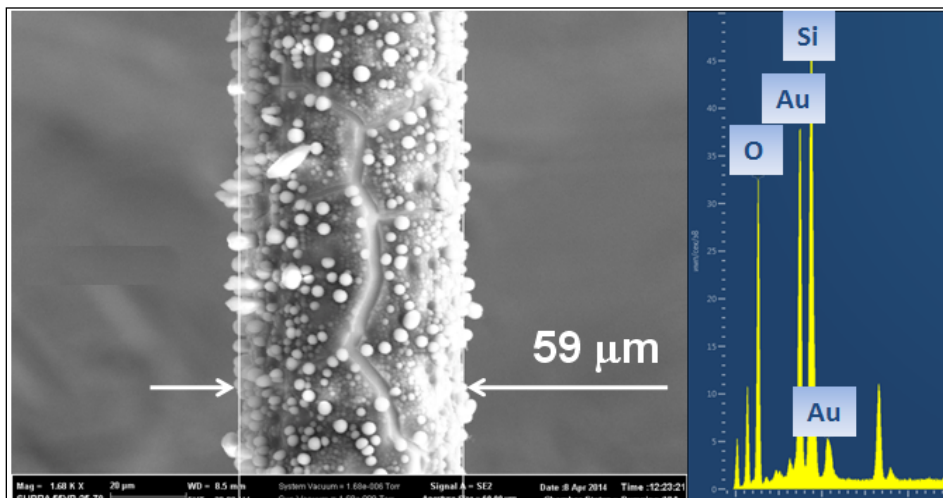
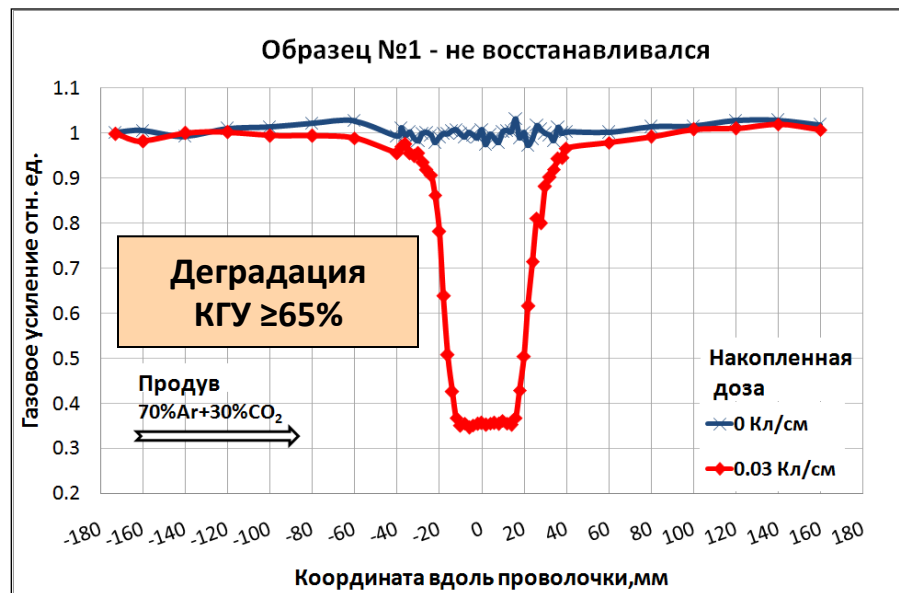
# **Новый метод восстановления**

## **состаренных анодных проволочек в детекторах**

# Старение с кремнием



Экспериментальная установка.  
Продув смеси через трубку с герметиком => быстрое старение.

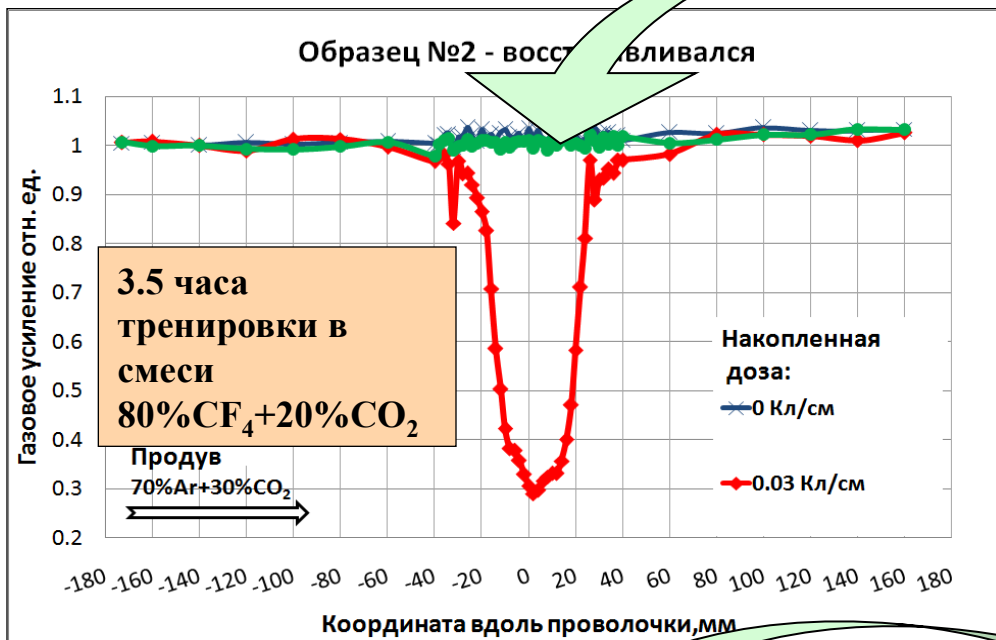


Образец №1, центр зоны облучения (0мм)

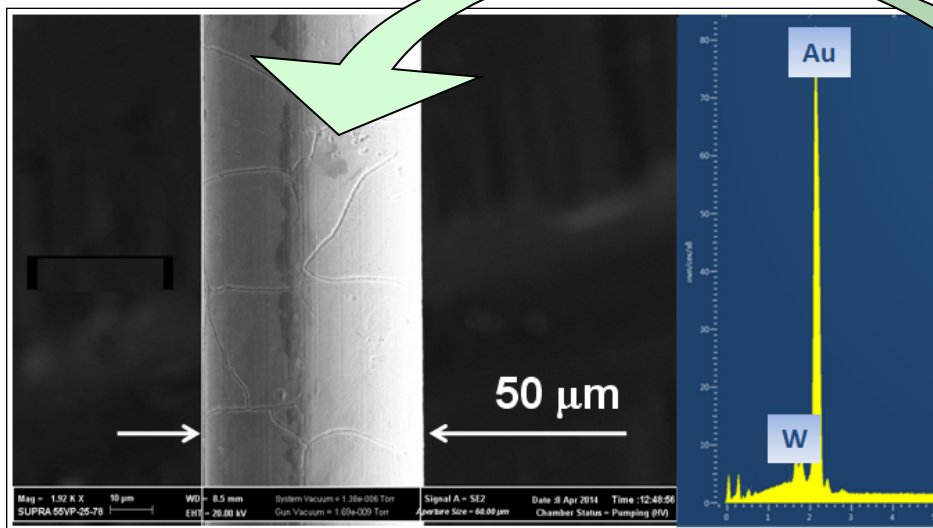
Гигантское количество кремния  
( $\approx 4\text{ мкм Si}_2\text{O}$ ) покрывают состаренную  
проволочку в зоне облучения.

Очень маленькая доза – **0,03 Кл/см**

# Восстановление величины КГУ



Полное восстановление амплитуды сигнала (КГУ)



SEM анализ показал полную очистку поверхности проволоочки от  $Si_2O$

Образец №2, центр зоны обучения (0мм)

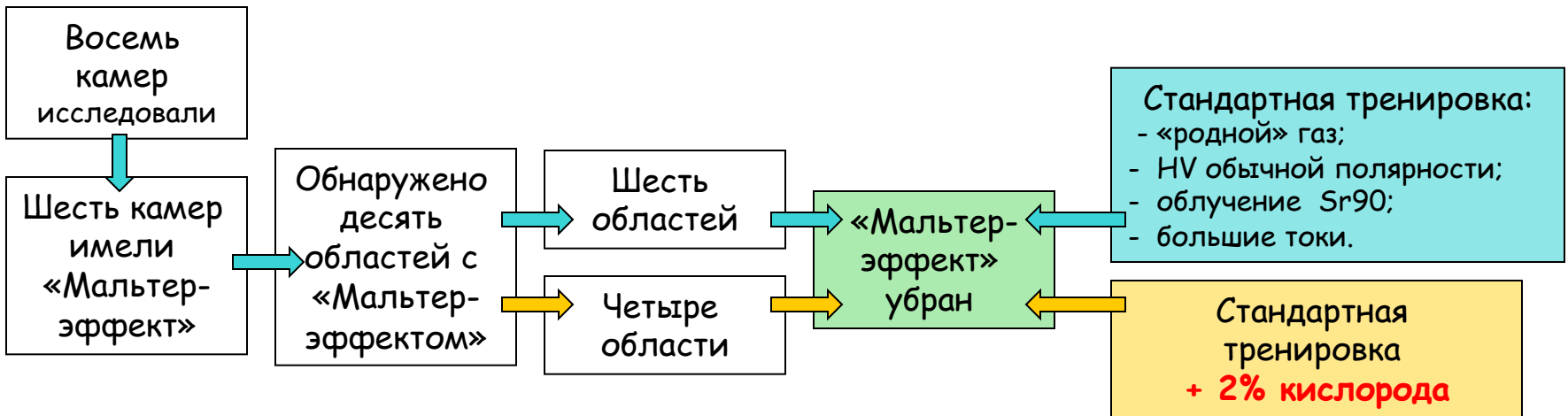
## **Выводы**

- 1. Предложен, разработан и успешно испытан метод восстановления состаренных анодных проволочек на основе тренировки в коронном разряде в газовой смеси 80%CF<sub>4</sub> + 20%CO<sub>2</sub>.**
- 2. Метод позволяет удалять с поверхности анодных проволочек полимерные осадки из окислов кремния, образовавшихся в результате процесса старения.**
- 3. Предложенная методика имеет принципиальные преимущества:**
  - восстанавливает работоспособность детектора без его разборки;**
  - является актуальной для всех случаев старения, где произошло увеличение диаметра анодной проволоки за счет образования полимерных осадков.**

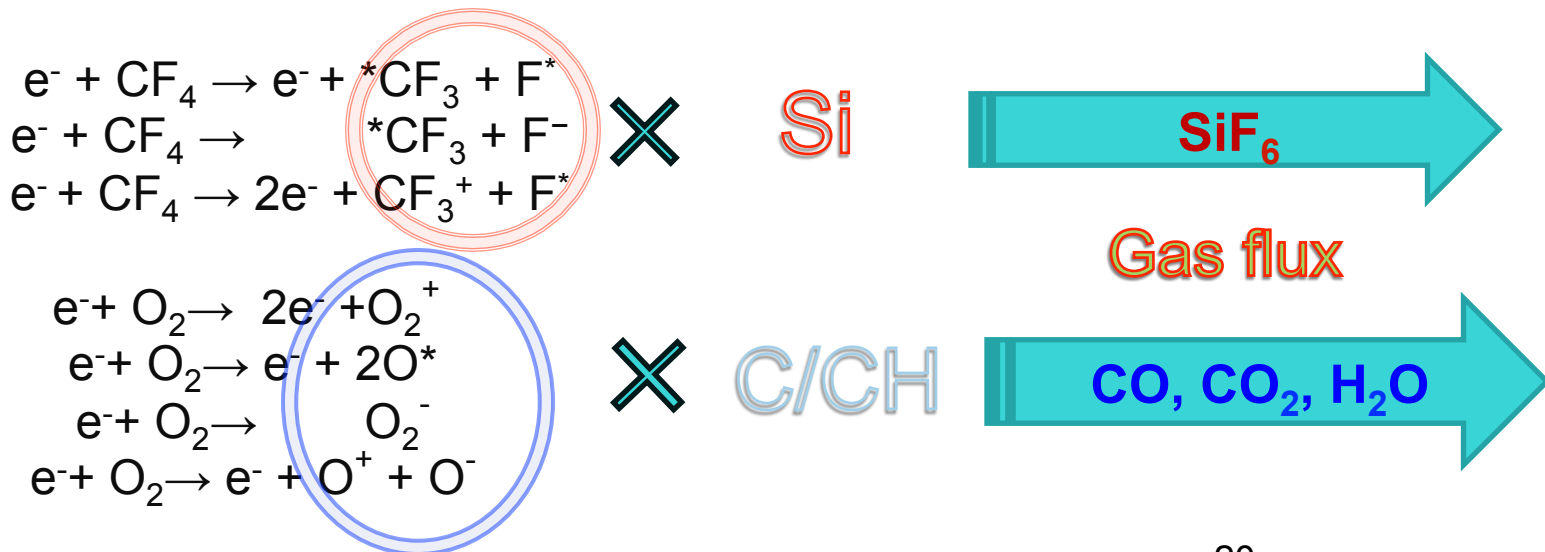
# Восстановление

состаренных областей  
катодов в детекторах  
LHCb (CERN)

## Режимы восстановления катодных областей

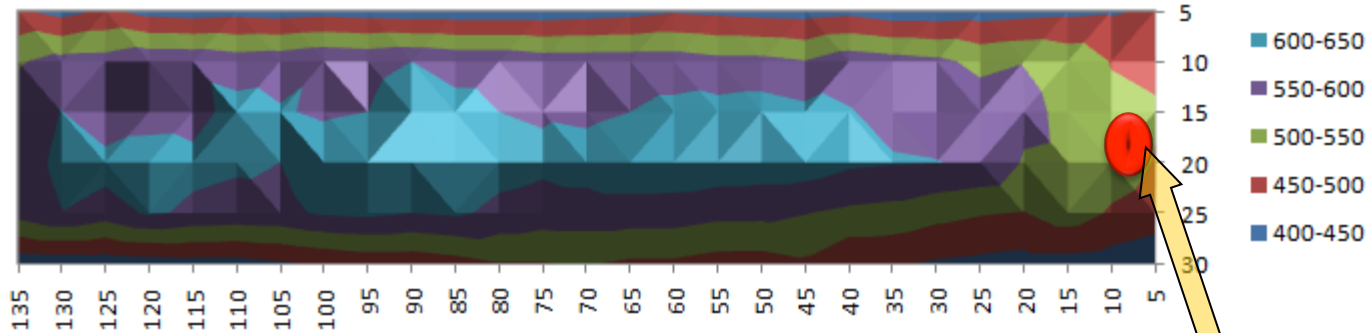


## Возможная «химия» очистки катодов

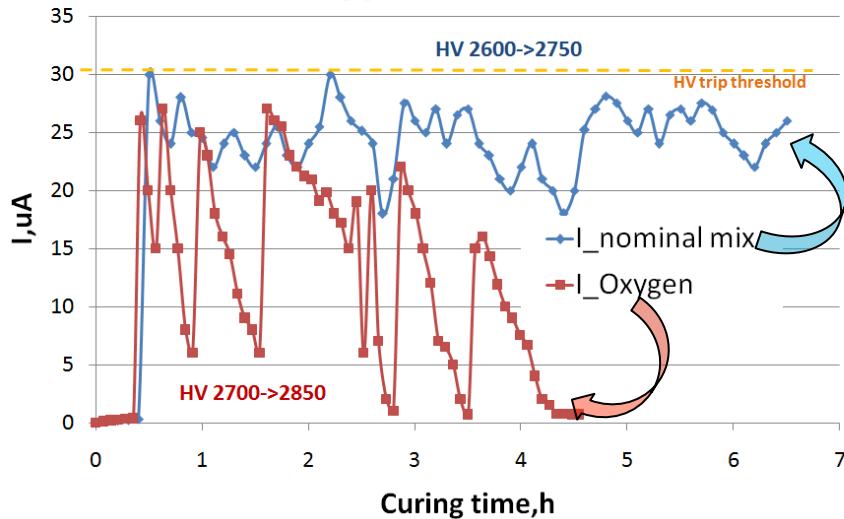




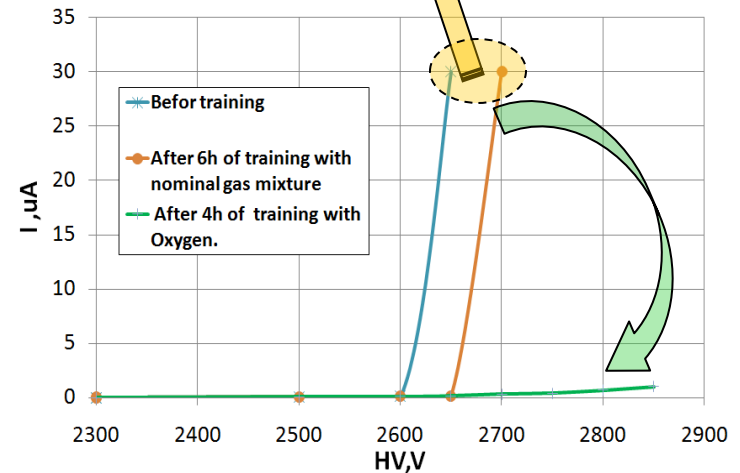
## M5R4#22C, GapB



Curing process of CMB M5R4#22C



M5R4 #22C



Устойчивый Мальтер-эффект был обнаружен в камере (GAP B).

- Тренировка в стандартной газовой смеси в течении 6 часов **эффекта не дала.**
- Тренировка в с добавлением в стандартную газовую смесь **2% кислорода убрала Мальтер-эффект в течении 4-х часов.**



# **Отбор конструкционных материалов**

**для их использования  
в детекторах частиц**



# Масс-спектрометр для отбора конструкционных материалов детекторов частиц.

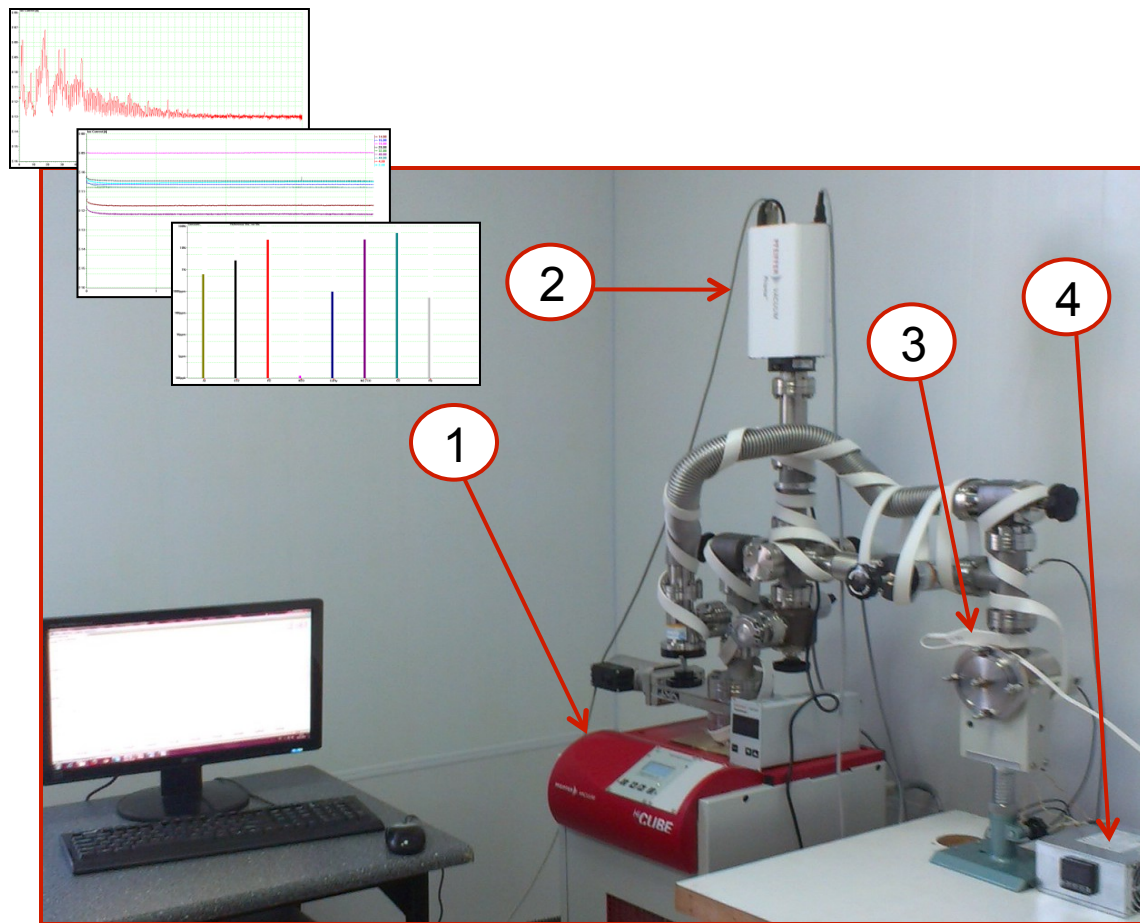
Выбор материалов конструкции является важным этапом в работе по созданию нейтронных детекторов, т. к. они имеют замкнутый объем.



Отбор материалов, гарантирующий **низкий уровень газовыделения.**

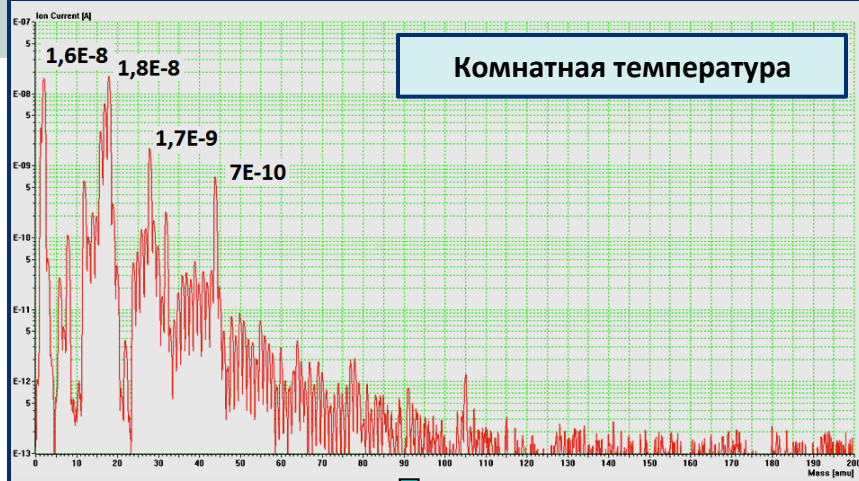
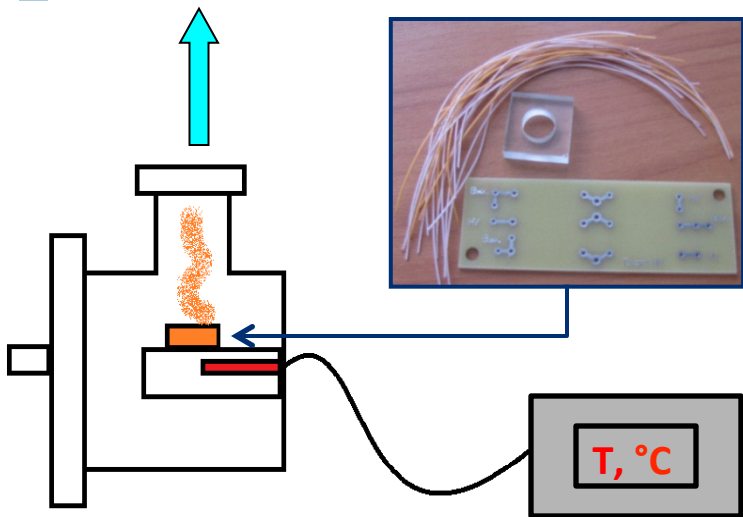


**!** Увеличение радиационной стойкости детектора





# Mass-spectrometer

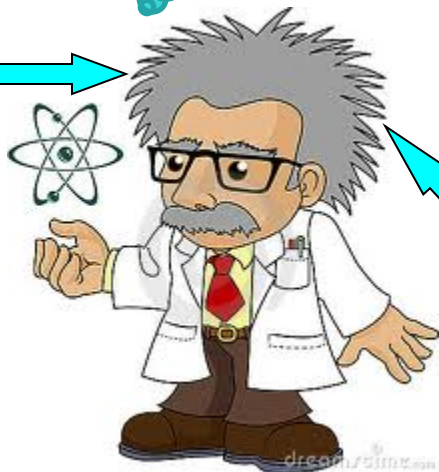


Ионный ток некоторых масс растет при нагревании!

$m/e = 2, 18, 28, 29, 32, 44, \dots$

H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, Si...

Библиотека масс-спектров (NIST, WILEY, НИОХ СО РАН)

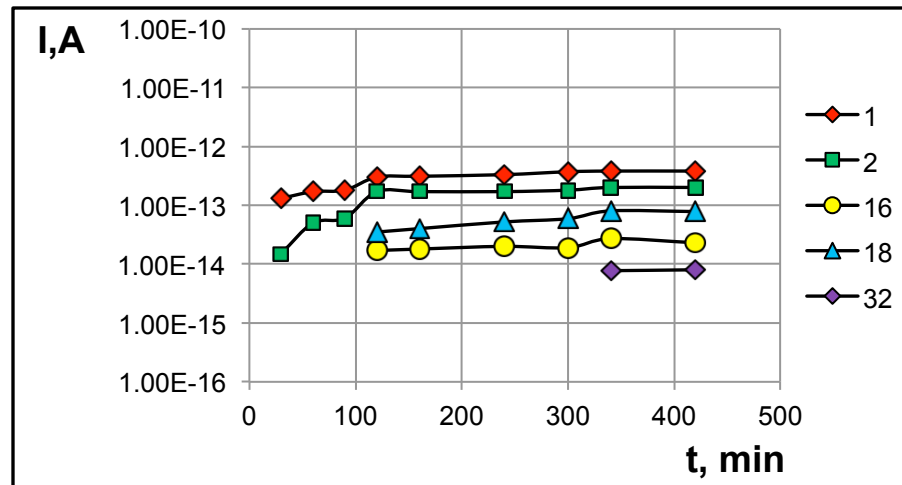
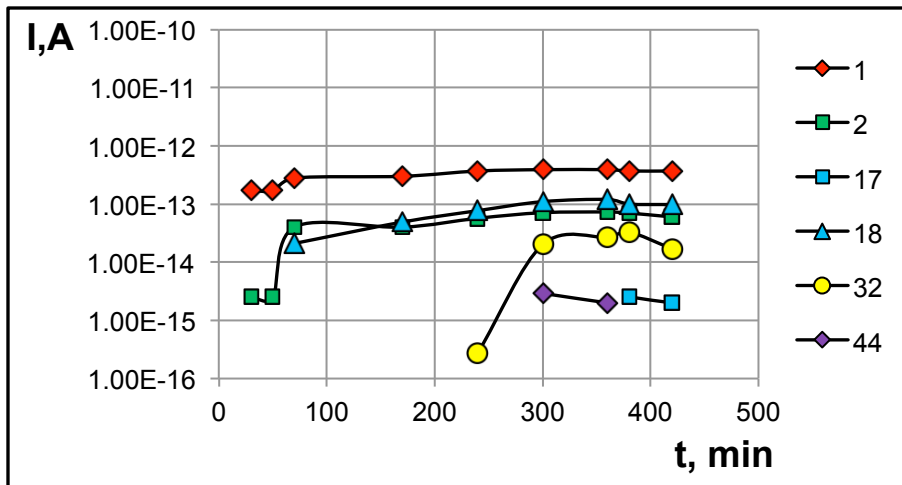


# Масс-спектрометрическое исследование элементов электроники

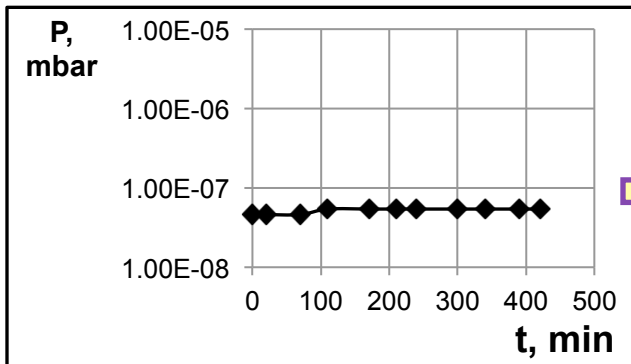
T=100°C

Конденсаторы

T=120°C



$m/e = 1,2 - H_2$   
 $m/e = 17, 18 - H_2O$   
 $m/e = 32 - O_2$   
 $m/e = 44 - CO_2$



Давление  
< $(10^{-7} \text{ } \square \text{ } 10^{-8})$  mBar,  
при  $T = 100^\circ \text{ } \square \text{ } 120^\circ C$ ,  
как в чистой  
системе  
(без образца).

$m/e = 1,2 - H_2$   
 $m/e = 16, 18 - H_2O$   
 $m/e = 16, 32 - O_2$

Из детального анализа спектров масс при различных температурах (от комнатной до  $120^\circ C$ ) было выяснено, что конденсаторы «НЕ ГАЗЯТ» при нагреве. На спектрах присутствуют массы элементов соответствующих атмосфере ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ).

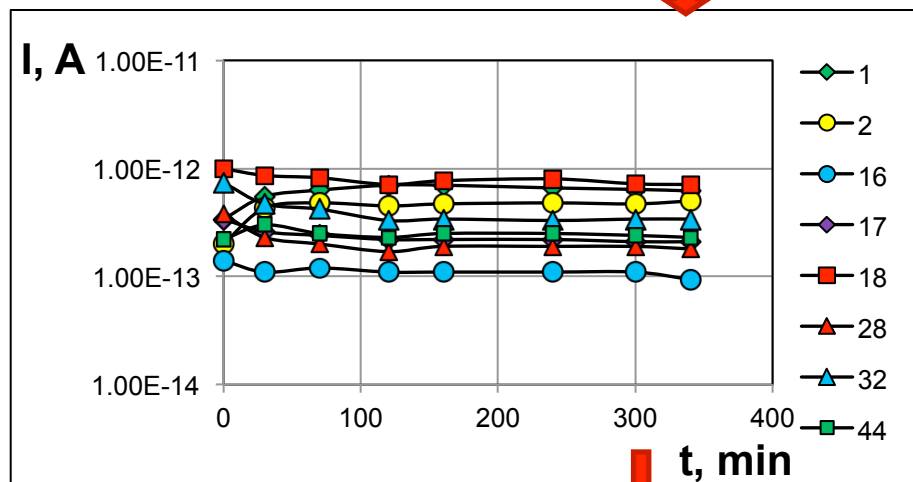
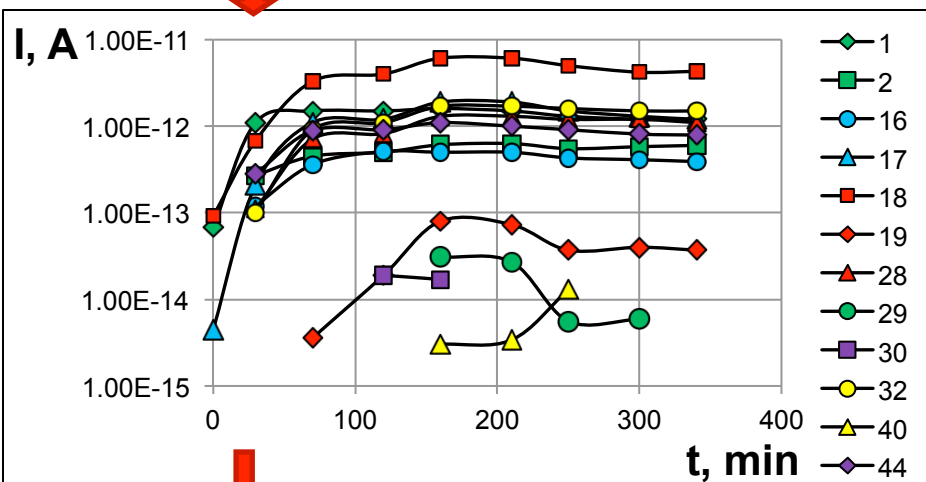
Вывод. В случае тренировки детектора при  $100 \div 120^\circ C$  газовыделения из конденсаторов не произойдет.

# Масс-спектрометрическое исследование элементов электроники

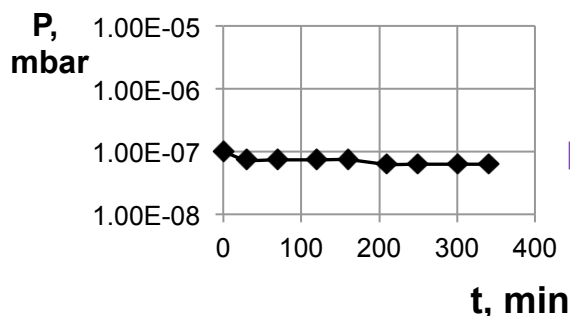
T=100°C

Катушки индуктивности

T=120°C



$m/e = 1,2 - H_2$   
 $m/e = 16, 17, 18 - H_2O$   
 $m/e = 19 - F_2$   
 $m/e = 16, 32 - O_2$   
 $m/e = 28, 29, 44 - CO_2$   
 $m/e = 40 - Ar$



Давление  
( $10^{-7}$   $\square$   $10^{-8}$ ) mBar,  
при  $T =$   
 $100^\circ \square 120^\circ C$ ,  
как в чистой  
системе  
(без образца).

$m/e = 1,2 - H_2$   
 $m/e = 16, 17, 18 - H_2O$   
 $m/e = 16, 32 - O_2$   
 $m/e = 28, 44 - CO_2$

Из детального анализа спектров масс при различных температурах (от комнатной до  $120^\circ C$ ) было выяснено, что катушки индуктивности «не газят» при нагреве. На спектрах присутствуют массы элементов соответствующих атмосфере ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ).

Вывод. В случае тренировки детектора при  $100 \div 120^\circ C$  газы выделения из конденсаторов не произойдет.



Результаты исследования материалов для изготовления электродов детекторов при температуре от **комнатной** до **120°C**

Кварцевое стекло	Стеклопластик	Фторопласт фольгированный	Трубки (нержавеющая сталь)
<p><math>P \approx 10^{-8}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) Вода (H<sub>2</sub>O)</p>	<p><math>P \approx 10^{-8}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar); Вода (H<sub>2</sub>O); <b>CxHy</b></p>	<p><math>P \approx 10^{-8}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar); Вода (H<sub>2</sub>O); <b>F<sub>2</sub>; CxHy</b></p>	<p><math>P \approx 10^{-8}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>); Вода (H<sub>2</sub>O); <b>F<sub>2</sub>; CxHy</b></p>
<p>Ионный ток примесей менее <math>10^{-15}</math> А</p> <p>Примесей нет. <b>Абсолютно чистый материал</b></p>	<p>Ионный ток примесей более <math>10^{-11}</math> А</p> <p>Много примесей. С ростом температуры их количество нарастает. <b>Использовать не рекомендуется</b></p>	<p>Ионный ток примесей более <math>10^{-11}</math> А</p> <p>Много примесей. С ростом температуры их количество нарастает. <b>Использовать не рекомендуется</b></p>	<p>Ионный ток примесей менее <math>10^{-13}</math> А</p> <p>Примесей мало. <b>Малогазющий материал</b></p>

Исследования уплотнительных материалов для изготовления детекторов при температуре от **комнатной** до **100°C**

<b>Витон</b> (уплотнительное кольцо)	<b>Torr Seal</b> (вакуумный клей)
<p>Р <math>\square</math> <math>10^{-7}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>); Вода (H<sub>2</sub>O); <b>F<sub>2</sub></b>;</p>	<p>Р <math>\square</math> <math>10^{-7}</math> mBar</p> <p>Обнаружены: Воздух (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>); Вода (H<sub>2</sub>O); <b>CxHy; C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>OH</b></p>
<p>Ионный ток примесей менее <math>10^{-13}</math>А</p> <p>Примесей очень мало. <b>Чистый материал</b></p>	<p>Ионный ток примесей менее <math>10^{-13}</math>А</p> <p>Примесей мало. <b>Малогазящий материал</b></p>



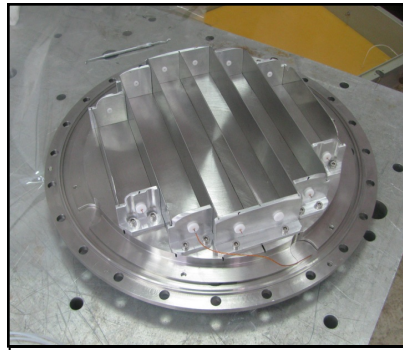
# Детекторы нейтронов



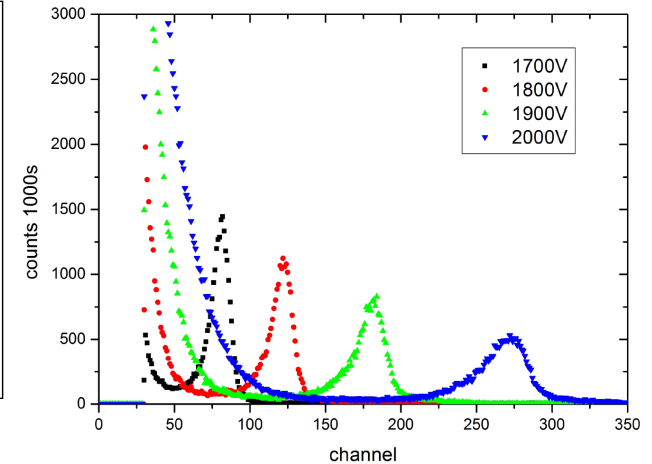
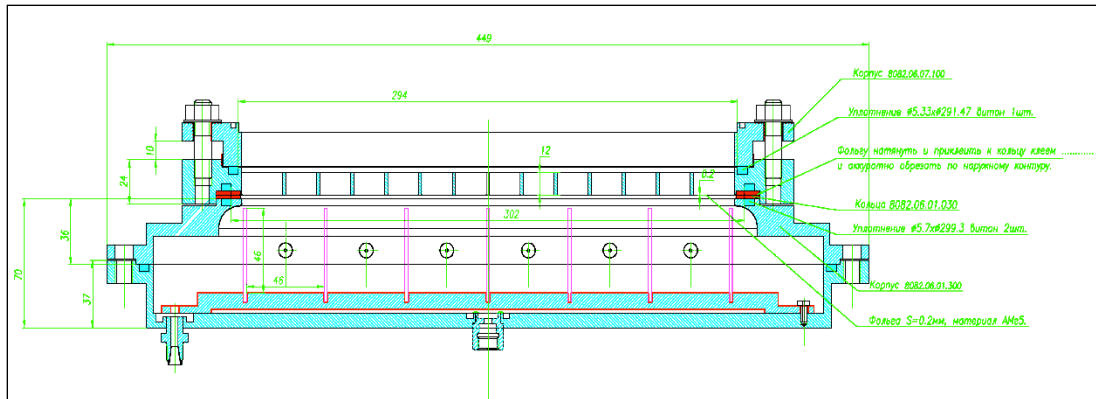
# Детектор ультра-холодных нейтронов (для А.П.Сереброва)



Общий вид детектора



Детектирующий элемент



Детектор успешно отработал в Гренобле

# Детекторы для экспериментальных установок реактора ПИК

1. Была разработана «Концепция создания детекторов для экспериментальных установок реактора ПИК» на базе анализа Мировых тенденций в области создания нейтронных детекторов.

1.1. Мировое нейтронное сообщество по-прежнему рассматривает газоразрядные **He-3** детекторы, как базовое направление развития на последующие как минимум 10 лет.

1.2. Это связано с выдающимся сочетанием характеристик детекторов, использующих He-3 в качестве конверторов нейтронов, что и определило историческую ориентированность нейтронных центров на применение подобных детекторов в экспериментальных установках.

1.3. Уникально сочетание высокой эффективности регистрации нейтронов и низкой чувствительности к гамма-фону.

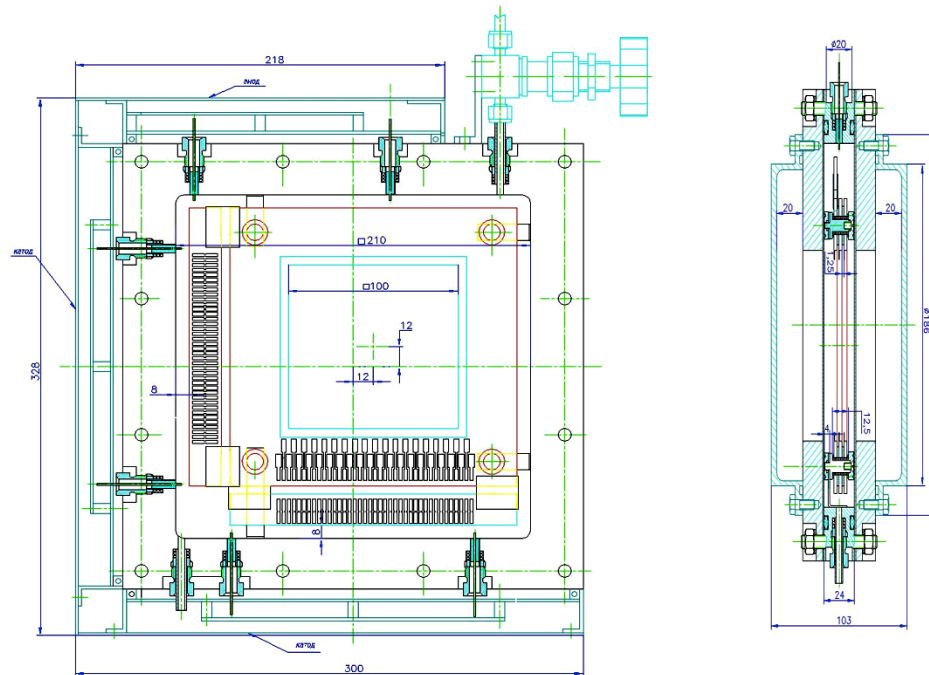
1.4. Переход на другие, развиваемые сегодня в Европе детекторные технологии, имеющие в своей основе **конверторы  $^7\text{Li}$  и  $^{10}\text{B}$** , в значительной степени носит **вынужденный характер**, и имеет своей целью удешевить приборы, отказавшись от применения He-3 в детекторах большого объема.

1.5. Предварительная классификация детекторов нейтронов, которые будут использованы на экспериментальных установках реактора ПИК, показала что **доля газоразрядных детекторов составит там около 75%**.

# Детекторы тепловых нейтронов

Разработка и создание 2D-мониторов нейтронных пучков для высоко-поточных реакторов:

1. Готова конструкторская документация.
2. Мы готовы начать практическую реализацию проекта.







## Публикации

1. Опубликовано статей - 2.
2. Принято к публикации - 2.
3. Доклад на конференции -1:

64 международная конференция «ЯДРО-2014» (Фундаментальные проблемы ядерной физики, атомной энергетики и ядерных технологий), г. Минск, «Скорость старения и газовое усиление в газоразрядных детекторах» [Н.Швецова](#), В.Вахтель, Г.Гаврилов, А.Крившич, Д.Майсузенко, А.Фетисов (доклад)







# Состав ОТД

Научных сотрудников	- 6
Ведущих инженеров	- 3
Старших инженеров	- 1
Рабочих	- 5
Итого:	- 15 человек



# Финансирование в 2014 году

280тыс.руб.



С НОВЫМ 2015 ГОДОМ

