



# ОТДЕЛ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

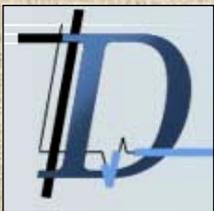
ОФВЭ ПИЯФ

А.Г.Крившич

25 декабря 2013года

## **Состав отдела**

<b>Научных сотрудников</b>	<b>- 5 чел.</b>
<b>Стажер - исследователь</b>	<b>- 0 чел.</b>
<b>Ведущих инженеров</b>	<b>- 4 чел.</b>
<b>Инженеров</b>	<b>- 1 чел.</b>
<b>Рабочих</b>	<b>- 5 чел.</b>
<b>Студентов</b>	<b>- 0 чел.</b>



# Детекторы тепловых нейтронов

1. Стратегия развития детекторов нейтронов для реактора ПИК
2. Монитор тепловых нейтронов
3. Введение в эксплуатацию детекторов из GKSS (Hamburg)



# Требуемые детекторы для реактора ПИК

## Рабочие характеристики детекторов:

- Рабочий газ  ${}^3\text{He}/\text{CF}_4$
- Размеры чувствительной области от 100 мм до 1000 мм
- Длины волн нейтронов  $\lambda \sim 1 \div 10 \text{ \AA}$
- Пространственное разрешение от 1 мм до 10 мм
- Загрузочная способность от  $1 \times 10^5$  до  $1 \times 10^7$  н/сек



Нельзя обеспечить на основе единой технологии!

## Технология 1: электроды MWPC из цельного кварцевого стекла

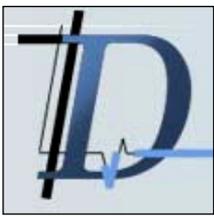
Размер окна	Необходимо шт.	Статус разработки технологии
100×100 мм и др. (мониторы)	2	Изготовление прототипа в 2014 г.
200×200 мм ÷ 300×300 мм	7	Сделано

## Технология 2: составные электроды из кварцевого стекла

Размер окна	Необходимо шт.	Статус разработки технологии
400×400 мм ÷ 500×500 мм	6	Начальный этап разработки

## Технология 3: системы из однокоординатных пропорциональных счетчиков

Размер окна	Необходимо шт.	Статус разработки технологии
1000×1000 мм	2	Изготовление прототипа в 2014 г.



# ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОР ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

## Основные характеристики

Для потоков  $I < 1 \times 10^6$  н/см<sup>2</sup>/с (ВВР-М)

- 1) Газ: 50 мбар <sup>3</sup>He + 950 мбар CF<sub>4</sub>
- 2) Эффективность: 1 % ( $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ )
- 3)  $3\text{He} + n \rightarrow p + T + 764 \text{ keV}$   $\sigma = 5300 \text{ barn}$  ( $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ )

Для потоков  $I = 1 \times (10^6 \div 10^8)$  н/см<sup>2</sup>/с (ТИК)

- 1) Газ: 50 мбар N<sub>2</sub> + 950 мбар CF<sub>4</sub>
- 2) Эффективность: 0.0002 % ( $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ )
- 3)  $14\text{N} + n \rightarrow p + 14\text{C} + 626 \text{ keV}$   $\sigma = 1.9 \text{ barn}$  ( $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$ )

- 3) Трансмиссия тепловых нейтронов
- 4) Входное окно
- 5) Пространственное разрешение (X,Y)
- 6) Ресурс работы
- 7) Съём информации

- 95-98%
- 100мм x 100 мм (и другие варианты)
- ≤3-4 мм
- ≥5 лет
- линия задержки **ВНУТРИ** газового объема

## Области применения монитора

1. Контроль распределения интенсивности пучка при юстировке нейтронных систем и оборудования на экспериментальных установках реакторов.
2. Измерение параметров пучка в реальном времени в составе новых экспериментальных установок на реакторах (дифрактометры, рефлектометры, спектрометры и др.).

# 2D Монитор тепловых нейтронов

Тест

Анод: «старт», «амплитуда»,  
питание

Газ: вход

Катоды Y: «стоп» Y1, Y2

катод

328

218

анод

□210

□100

12

12

∞

∞

катод

300

Пакет  
электродов

Линии  
задержки

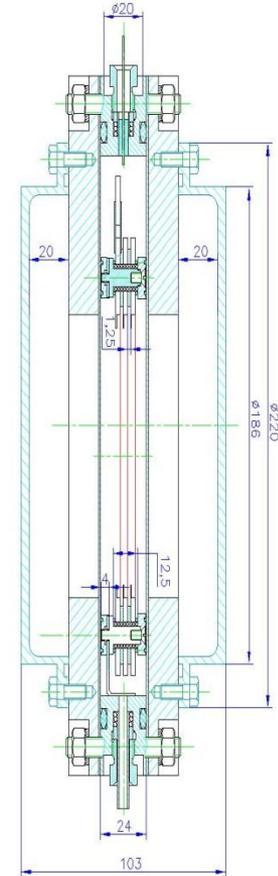
Газ: выход

А.Г.Крившич

Катоды X: «стоп» X1, X2

Ученый совет ОФВЭ, 25.12.2013г.

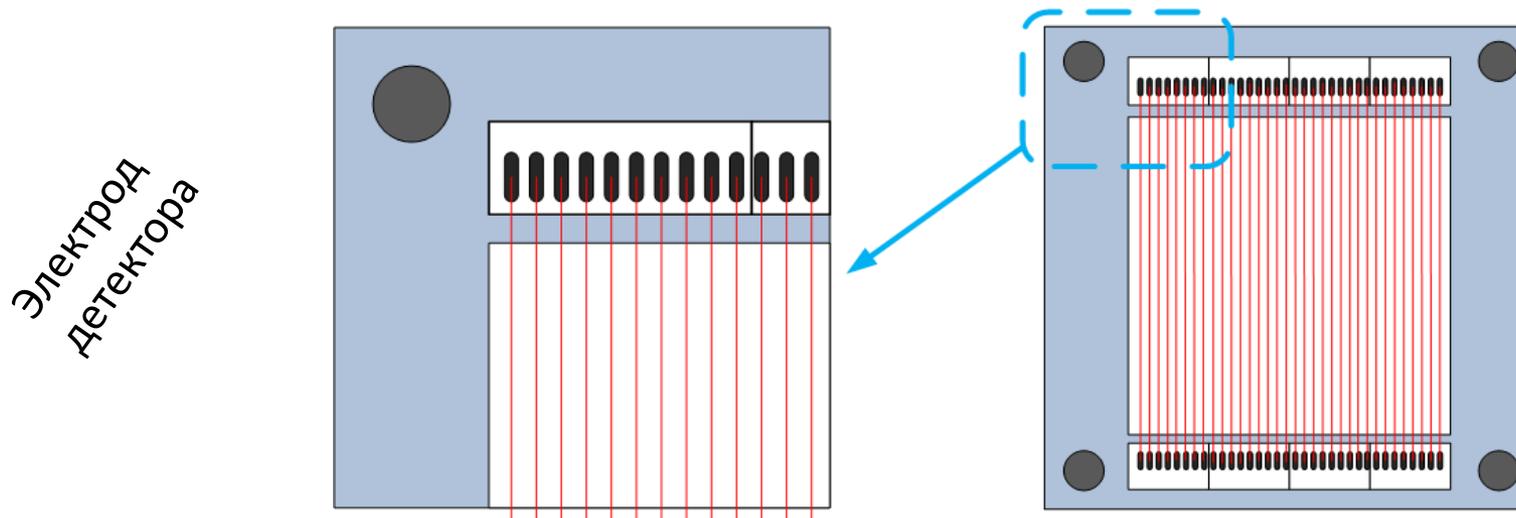
Газовый объем



## 2D-детекторы с апертурами 500x500 мм (планы 2014-2015гг)

### Технология «составных» электродов

1. Электроды MWPC изготавливаются на основе клееных стеклянных пластин
2. Для склейки используется клей для ультра-высоковакуумных приложений TorrSeal или аналог



### Технология позволит:

- **сохранить преимущества имеющейся технологии** стеклянных электродов  
низкое газовыделение, возможность обезгаживания с нагревом
- **иметь универсальность и гибкость технологии:**
  - можно перейти на любой размер от 300 мм до 1000 мм
  - произвольная геометрия стрипов и конфигурация электродов

### Необходимы:

Напылительная установка ~ 10 млн. руб.

Доп. оборудование для изготовления шаблонов, материалы ~1-2 млн. руб.

**Адаптированный участок есть на базе корпуса 66а (ПИЯФ)**

# Детекторы с площадью регистрации ~ 1000 x 1000 мм

1. Модульная конструкция из пропорциональных однокоординатных

счетчиков

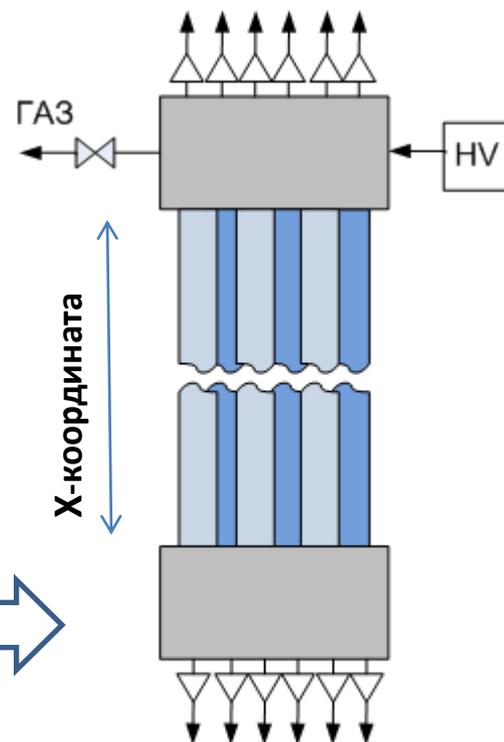
2. Координаты: X – метод деления заряда (FWHM~1% от длины анода)

Y – номер счетчика

3. Стоимость в 2 раза ниже аналога на MWPC!

4. Герметизация счетчиков в едином газ. объеме:

- Давление в каждом счетчике одинаково
- Герметизируется сборка а не каждый счетчик!
- Модульность = простота обслуживания и ремонта/замены



1. Начато проектирование прототипа из имеющейся тонкостенной трубки диаметром 6мм (стенка – 0,3мм).

2. Расчетная эффективность – 80% (5Å) при P(He-3)=7атм и P(CF4)=2атм.

3. Найдены поставщики материалов для изготовления полномасштабного детектора

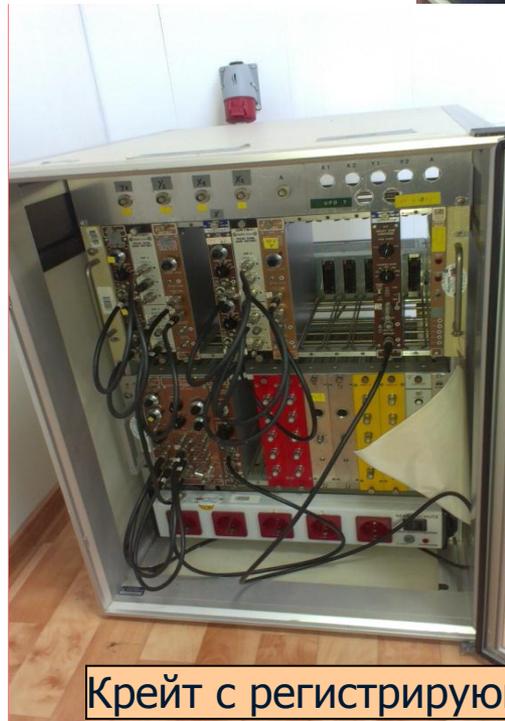
**R3B - !!!!**

**Доступна нерж. трубка Ø от 4 мм с толщиной стенки от 100 мкм**

# ВВЕДЕНИЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДЕТЕКТОРОВ НЕЙТРОНОВ, ПРИБЫВШИХ ИЗ GKSS (HAMBURG)



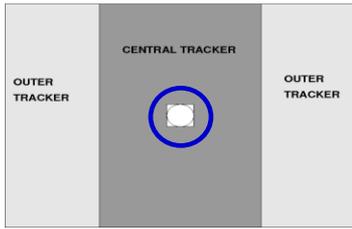
Малоугловой дифрактометр SANS2.  
Первая партия детекторов тепловых нейтронов



Крейт с регистрирующей электроникой

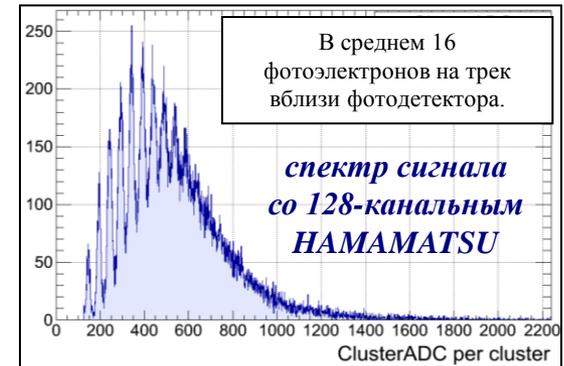
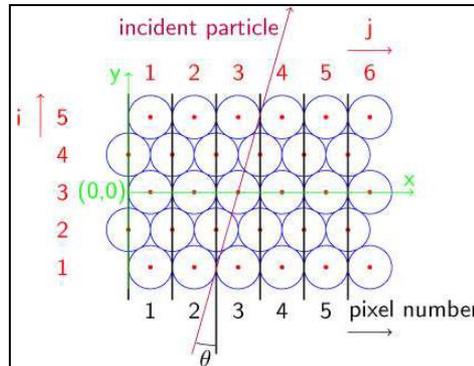
# Параметры и характеристики детекторов GKSS

- **Входное окно** 500 x 500 мм
- **Газовая смесь** 1 бар  $^3\text{He}$  + 1 бар  $^4\text{He}$  + 1 бар  $\text{CF}_4$
- **MWPC состоит из 4х электродов:**
  - **анод (20 мкм)** HV= +4.7 кВ
  - **X, Y катоды (25 мкм)** HV= 0 В
  - **дрейфовый электрод** HV= -1 кВ
- **Пространственное разрешение** ~ 8 мм
- **Максимальная интегральная скорость счета нейтронов** 10-12 кГц
- **Считывание информации** - **метод деления заряда**  
(резистивная проволока X и Y)
- **Внутренний объем** ~27.7 л
- **Эксплуатация** - при н.у. и в вакууме
  - Возможность установки на входное окно дополнительных вакууммируемых объемов для широкоугольной дифракции



# Оптоволоконная технология для детекторов заряженных частиц и нейтронов

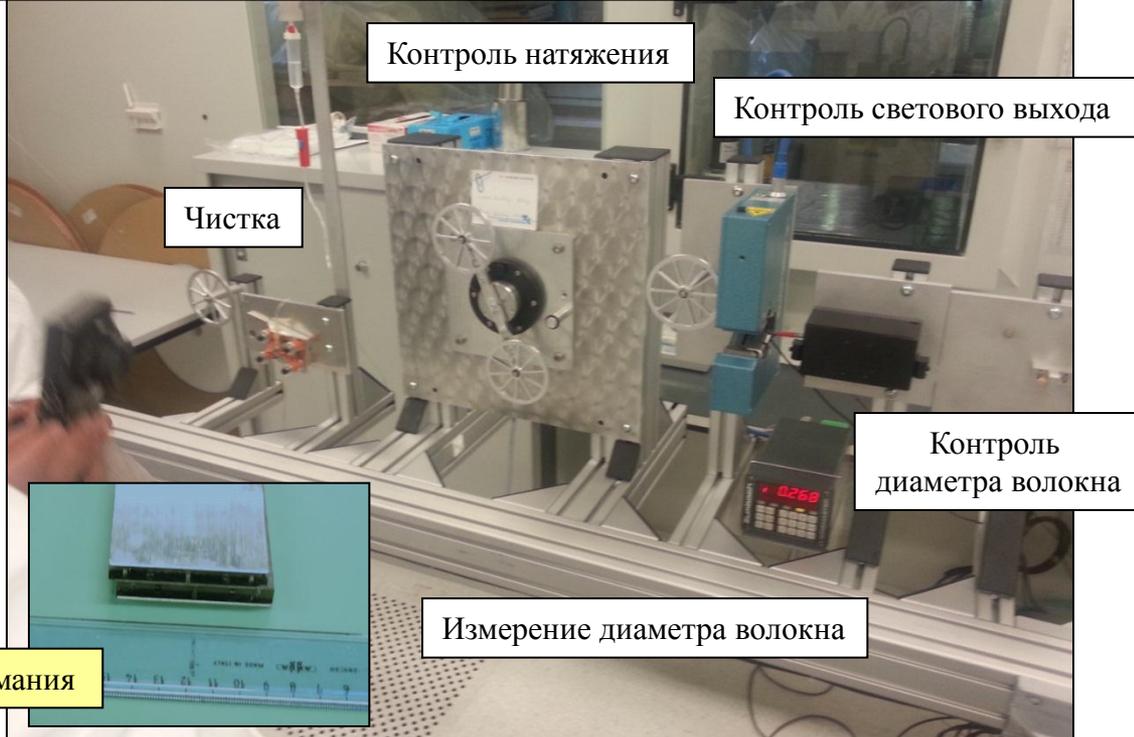
Внутренняя часть: минидрейфовые трубки заменяются на **модули из сцинтилляционных волокон** (диаметр 0.25 мм, 5 слоёв, длина 2.5 м) со считыванием 128-канальными модулями SiPM с размером канала 0.25x1.3 мм. Fiber - Kuraray cardboard.



## Модернизация трековой системы LHCb (ЦЕРН)



Aachen, Германия



Чистка

Контроль натяжения

Контроль светового выхода

Контроль диаметра волокна

Измерение диаметра волокна

## Имеющиеся в ОТД технологии, которые будут использоваться для создания оптоволоконных детекторов



### Технические характеристики

Длина активной части сетки	– до 1800мм
Ширина сетки	– до 1200мм
Шаг сетки	– от 0,5 до 10мм
Натяжение	– от 20 до 300г
Точность поддержания натяжения	– 0,5г.
Точность позиционирования	– 0,05мм
Чистка проволоочки (волокна)	



# SAMMARY

1. ОТД ОФВЭ располагает технологиями необходимыми для разработки и создания детекторов нейтронов с апертурой до  $300 \times 300 \text{mm}$ , которая гарантирует выполнение комплекса требований, предъявляемых к современным детекторам нейтронов.
2. Создание детекторов нейтронов для Нейтронных Диффрактометров с апертурой  $1000 \times 1000 \text{mm}$  (и даже более) целесообразно базировать на технологии пропорциональных счетчиков.
3. Для того, чтобы обеспечить работу детекторов нейтронов на высокоинтенсивных пучках реактора ПИК, необходимо:
  - для пучков с интенсивностью до  $1 \times 10^5$  – **все есть и работает ОК;**
  - для пучков с интенсивностью до  $1 \times 10^6$  – **ясно, что надо делать;**
  - для пучков с интенсивностью до  $1 \times 10^8$  ( $\sim 10^5 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ ) – **необходимы новые технологии (GEM и т.д.).**
4. Необходимо развивать детекторы нейтронов на оптоволоконной технологии, которая при надлежащих усилиях может оказаться перспективной в ряде приложений.
5. Необходимо всегда помнить, что детекторы нейтронов на базе **гелия-3** – это наше **конкурентное преимущество** перед Европой и это несомненно надо максимально использовать.

# Масс-спектрометр для анализа и отбора конструкционных материалов детекторов частиц.

Все материалы, которые применяются в детекторах, должны пройти через масс-спектрометр

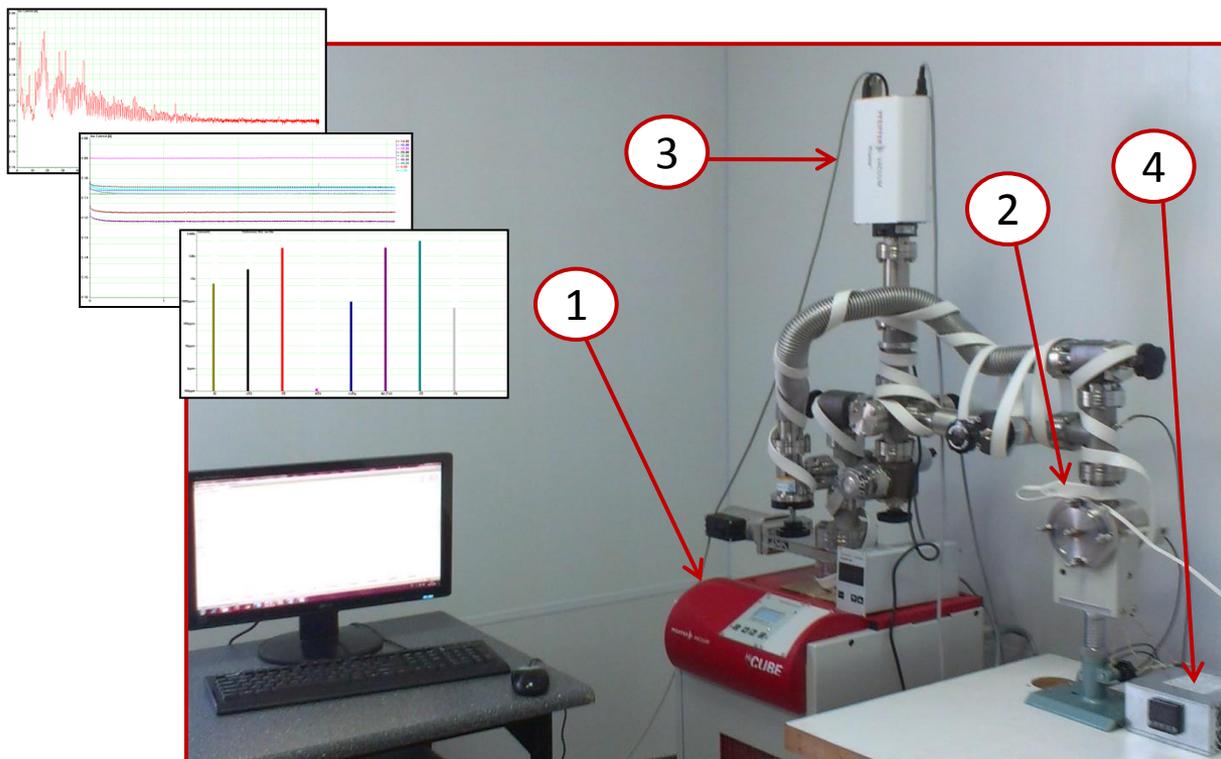


Эти материалы должны хорошо откачиваться до высокого вакуума при нагреве до 130 градусов



Материалы с низким уровнем газовыделения гарантируют:

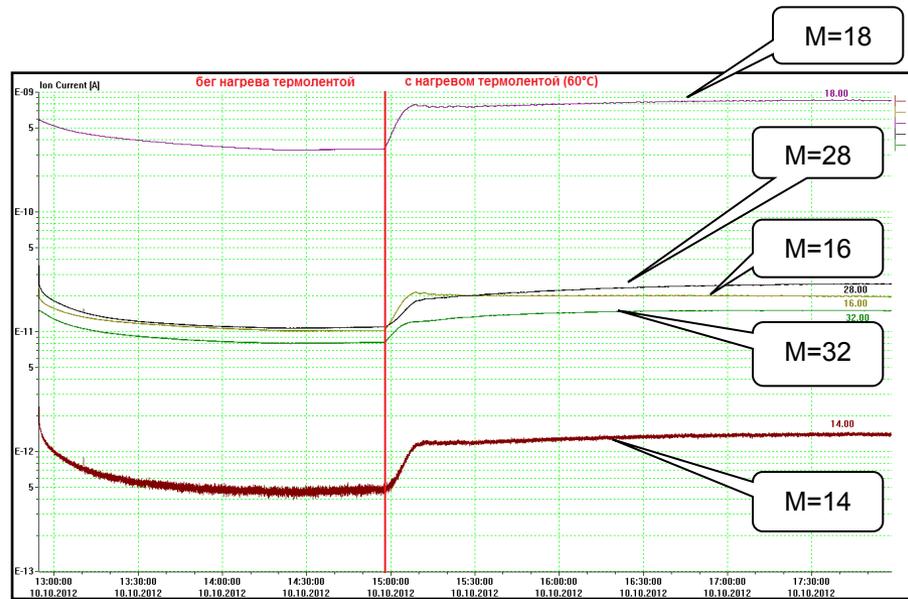
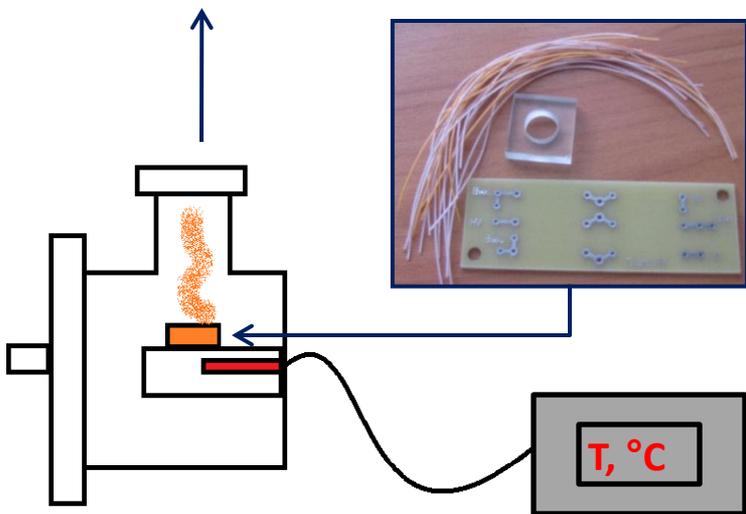
- долговременную стабильную работу детектора;
- недопущение деградации амплитудных спектров;
- увеличенную радиационную стойкость детектора



Установка состоит из насосной станции (1), системы вакуумных соединений и клапанов, вакуумной камеры для образцов исследуемых материалов (2), масс-спектрометра PRISMA 200 (3), системы нагрева образцов внутри вакуумной камеры, управляемой контроллером (4).

Управление масс-спектрометром и сохранение спектров производится через персональный компьютер с необходимым программным обеспечением.

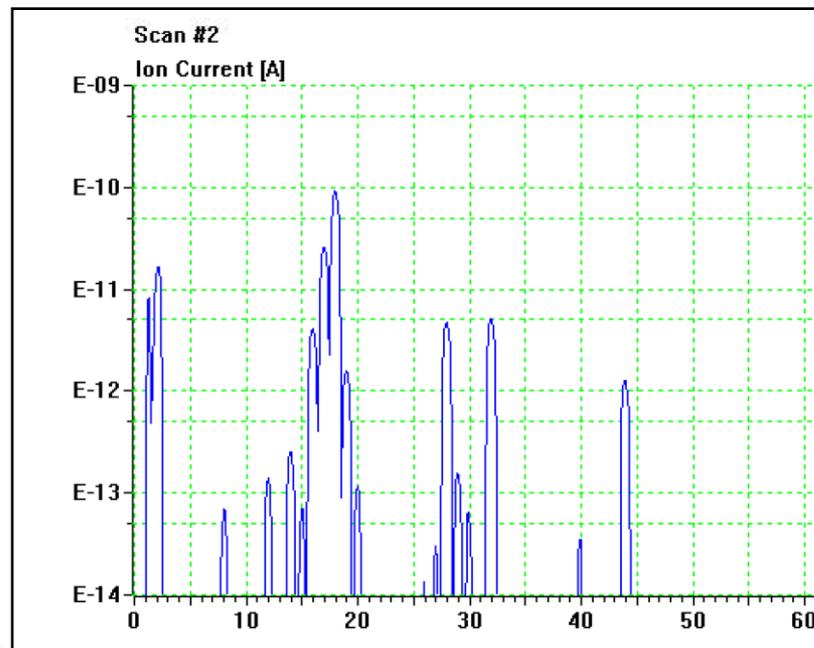
# Mass-spectrometer



t, [часы] + T°C

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

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



**Сравнительные масс-спектрометрические исследования материалов для изготовления электродных рамок нейтронных детекторов.**

Кварцевое Стекло (T= 100°C)		Кварцевое Стекло (T= 120°C)		Стеклопластик (T = 100°C)		Стеклопластик (T= 120°C)	
m/e	I, A	m/e	I, A	m/e	I, A	m/e	I, A
1	8.9E-14	1	3.6E-13	2	1.7E-11	2	3.0E-11
2	1.5E-13	2	3.9E-13	12	5.3E-13	12	1.0E-12
16	4.4E-14	16	5.1E-14	13	3.4E-14	13	2.3E-13
17	7.7E-14	17	8.5E-14	14	3.5E-13	14	6.1E-13
18	3.0E-13	18	3.3E-13	15	3.5E-13	15	1.0E-12
28	5.1E-14			16	7.0E-12	16	7.0E-12
32	1.2E-15			17	5.1E-11	17	4.3E-11
44	5.4E-15			18	2.0E-10	18	1.6E-10
				19	3.7E-12	19	3.0E-12
				20	3.8E-13	20	3.3E-13
				22	3.5E-14	22	8.2E-14
				25	2.2E-14	25	3.2E-13
				26	2.4E-13	26	1.2E-12
				27	3.1E-13	27	1.2E-12
				28	7.6E-12	28	1.2E-11
				29	5.1E-13	29	1.2E-12
				30	7.7E-13	30	1.1E-12
				32	9.5E-12	31	5.6E-14
				39	3.1E-14	32	6.9E-12
				40	7.9E-14	39	5.4E-13
				41	4.5E-14	40	2.5E-13
				42	1.7E-14	41	5.0E-13
				43	2.6E-14	42	2.0E-13
				44	5.0E-12	43	2.1E-13
				45	7.1E-14	44	7.2E-12
						45	1.6E-13
						78	2.3E-13

**2-3 порядка !!!**

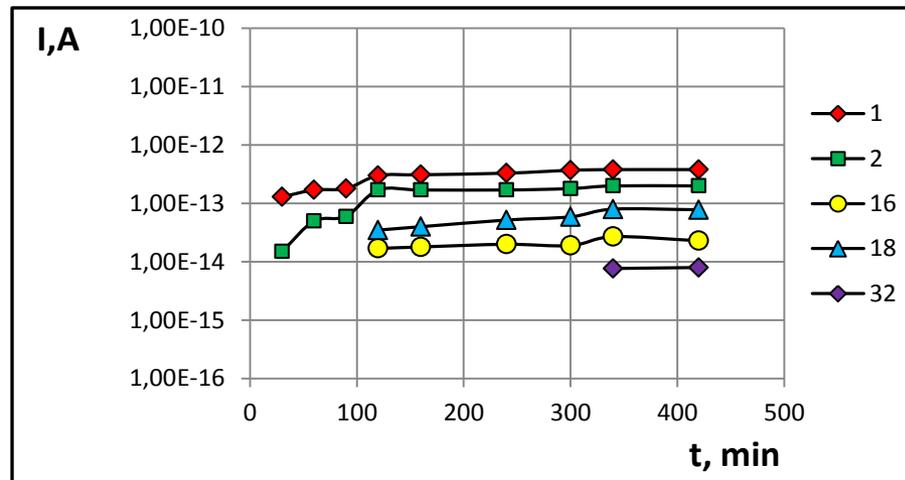
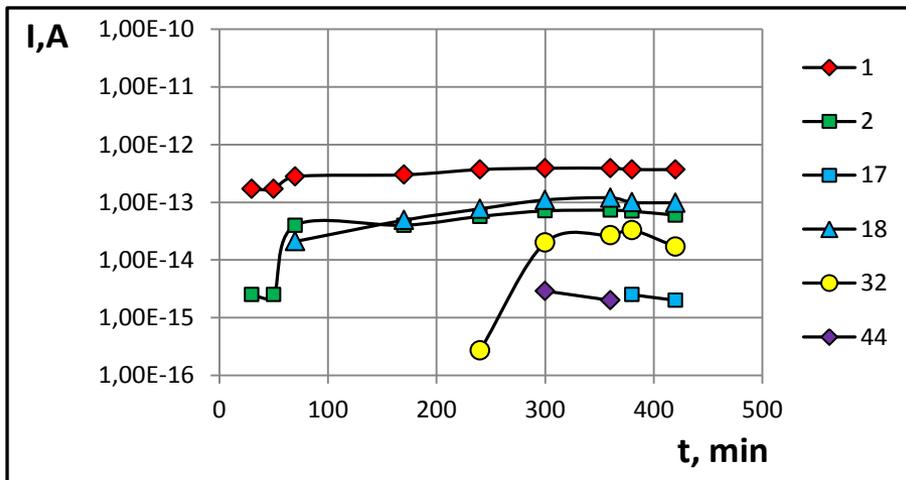
**В кварцевом стекле -  
массы элементов,  
соответствующие  
составляющим  
атмосферного воздуха**

**В стеклопластике -  
массы элементов,  
соответствующие  
разным вариациям  
соединений CxHy**

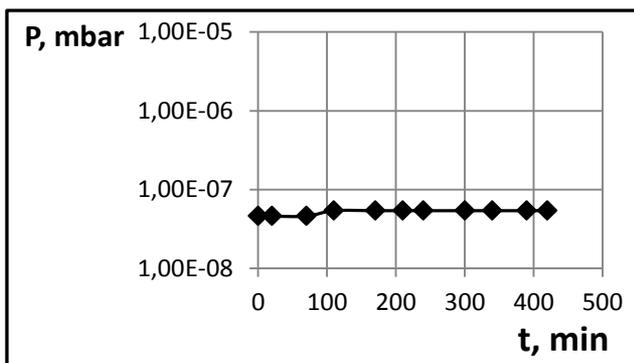
## Масс-спектрометрическое исследование конденсаторов и индуктивностей

**T=100°C**

**T=120°C**



**m/e = 1,2 - H<sub>2</sub>**  
**m/e = 17, 18 - H<sub>2</sub>O**  
**m/e = 32 - O<sub>2</sub>**  
**m/e = 44 - CO<sub>2</sub>**



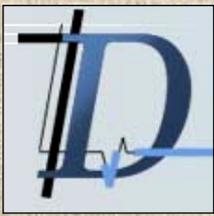
Давление при  
 T= 100°C, 120°C  
 ~ 7×10<sup>-8</sup> mbar,  
 как в системе  
 БЕЗ образца.

**m/e = 1,2 - H<sub>2</sub>**  
**m/e = 16, 18 - H<sub>2</sub>O**  
**m/e = 16, 32 - O<sub>2</sub>**

Из детального анализа спектров масс при различных температурах (от комнатной до 120°C) было выяснено, что конденсаторы и индуктивности не «газят» при нагреве до 100÷120°C. На спектрах присутствуют массы элементов, соответствующих атмосфере (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>).

**Установка для очистки CF<sub>4</sub> до уровня – менее 1ppm от примесей.**





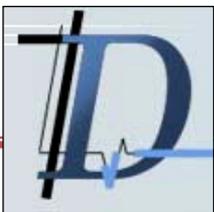
# OLYMPUS

## Luminosity Monitor

**Трековая система на  
базе пропорциональных  
камер**



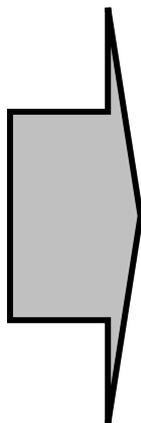
# **Исследование процессов старения газоразрядных детекторов частиц в интенсивных полях излучений**



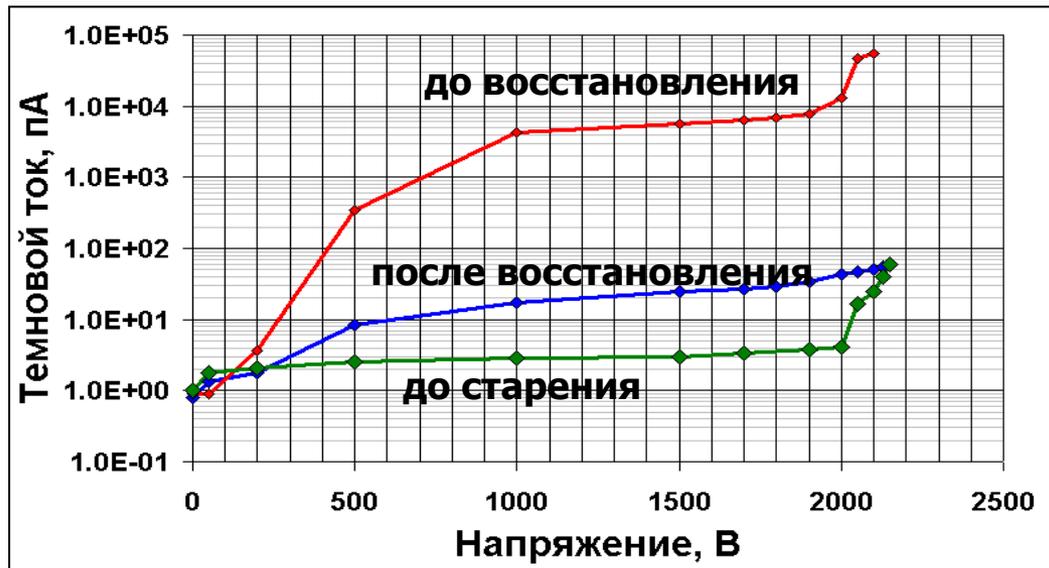
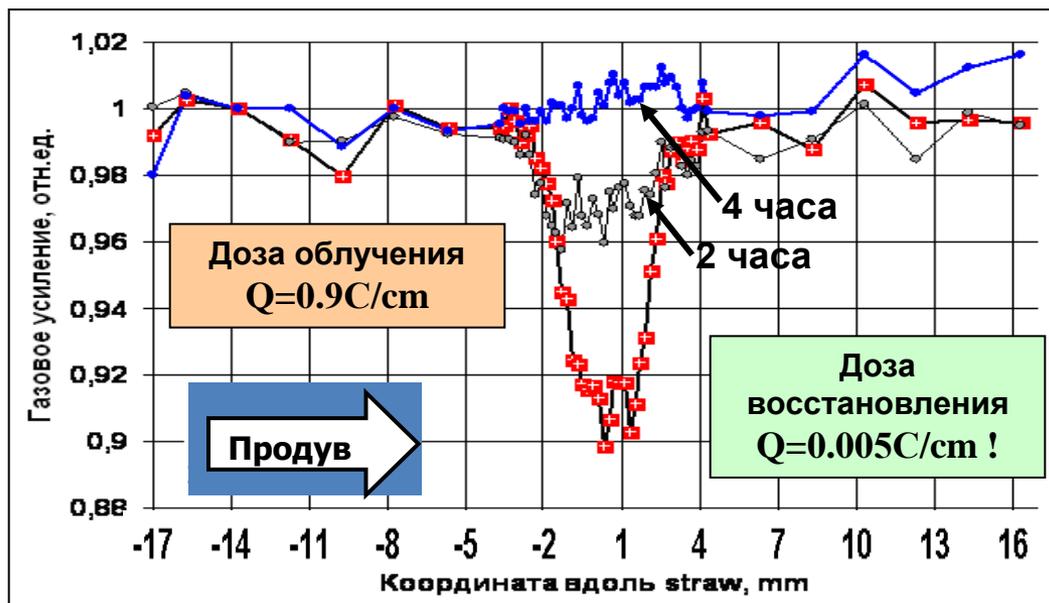
# Восстановление рабочих характеристик

**Четыре часа тренировки в коронном разряде:**

**1. Восстановление амплитуды сигнала.**



**2. Уменьшение темнового тока до исходного уровня.**



# Ток Мальтера в мюонных камерах LHCb

- ✓ С самого начала работы (RUN1), некоторое число камер демонстрировало **скачки по току** превышающие пороги В/В питания – HV-trip .
- ✓ **Ток спонтанный самоподдерживающийся** → Мальтер (загрязнение катодных плоскостей??)
- ✓ **В/В тренировка** (номинал/инвертированное) на рабочей газовой смеси в технические перерывы и зимний Shutdown **устраняет эффект**, но не всегда и достаточно длительна – **(недели!)**.

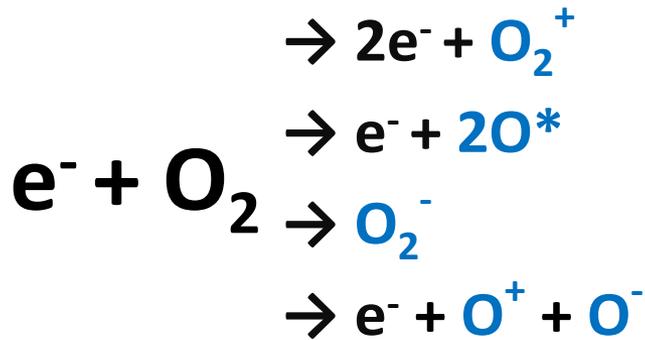
Известно: Газовая смесь Ar/CO<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub> **полностью блокирует** поступление кремния и т.д. на катод вплоть до экстремально высокого накопленного заряда на аноде - 13кулон/см длины анодной проволоочки.

Вопрос: Почему для камер LHCb этого не происходит?

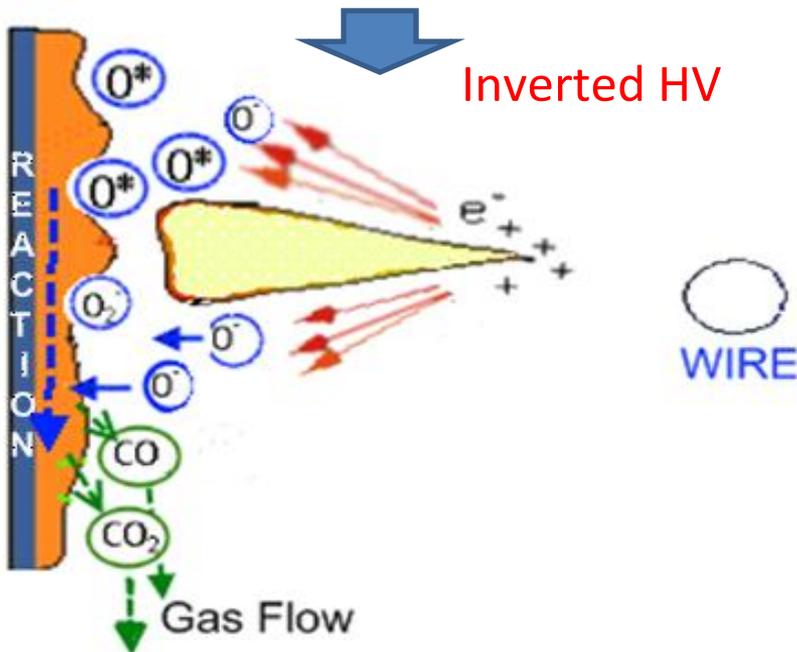
Ответ: Предполагаем, что в камерах есть какие-то **ИНЫЕ неизвестные примеси**, на которые даже такая эффективная смесь (Ar/CO<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub>) не действует. Эти примеси «принесли» те материалы и технологии, которые применялись в процессе производства (и эксплуатации) детекторов.

Решение: Применить **ИНЫЕ методы «устранения» осадков на катоде**. Отсюда родилось предложение – попытаться добавить кислород.

# Кислород – добавка для очистки поверхности электрода.



Активные формы кислорода отлично реагируют с органическими соединениями на поверхности электрода образуя стабильные летучие молекулы CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> и др. которые удаляются потоком газа.

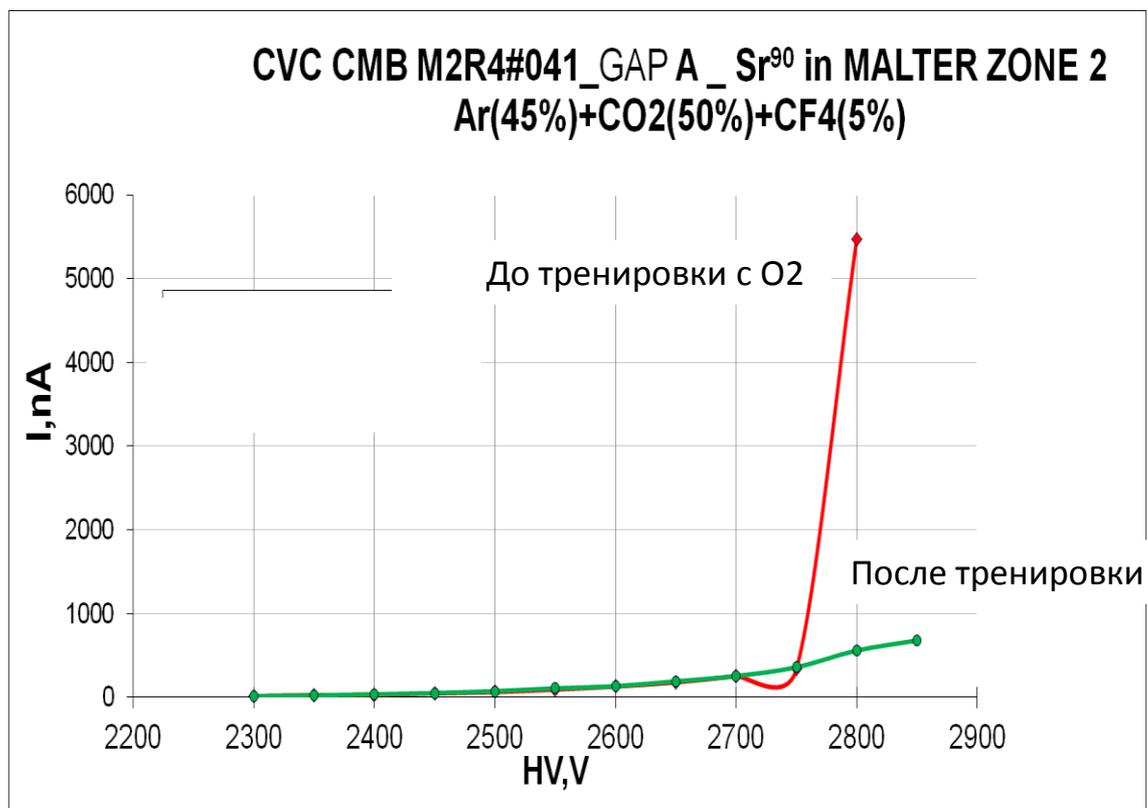


## Практические результаты удачного использования O<sub>2</sub>

- ✓The rate of removal of organic polymeric material can be often increased in an oxygen plasma (H. Boeing, Plasma Sci.&Tech., page 281)
- ✓Cleaning of mirrors of the contaminating films by a glow discharge in oxygen plasma. (R. Gillette et al., Vac. Sci. Tech., 7 (1070) 534)
- ✓Recovery from the Malter effect deposits by Oxygen (A. Boyarski – BaBar R&D study) 2001.

# Тренировка с кислородом, первые результаты.

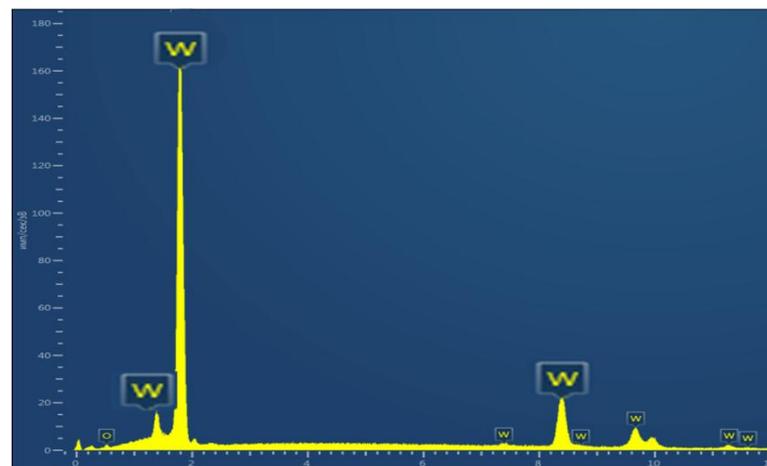
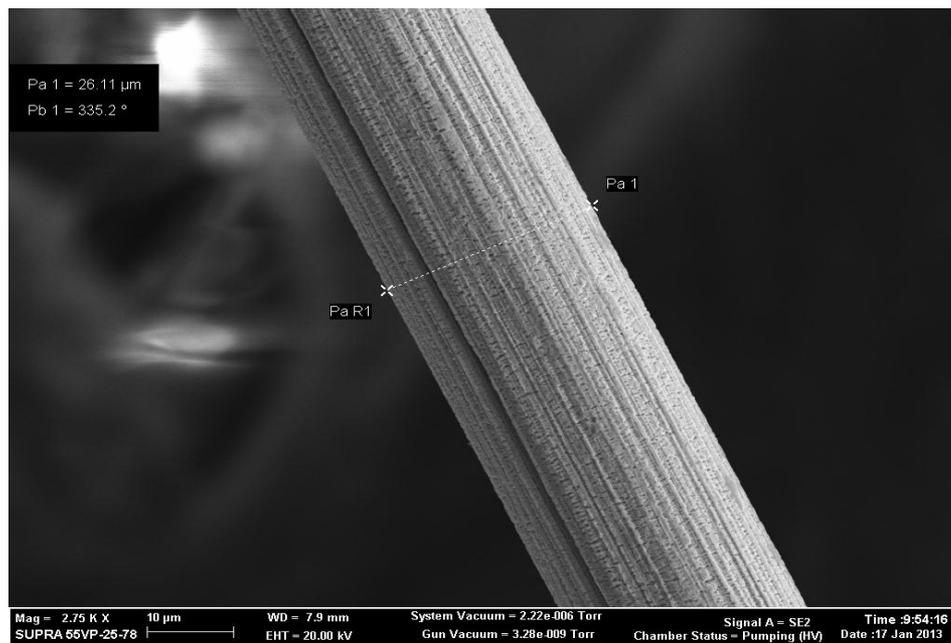
**Мальтер эффект** в MWPC (M2R4 №41) был **полностью устранен** после нескольких часов HV тренировки в газовой смеси с добавлением кислорода, при разной полярности и облучении зоны повреждения источником  $Sr^{90}$ .  
**Предположительно** – это влияние кислорода.



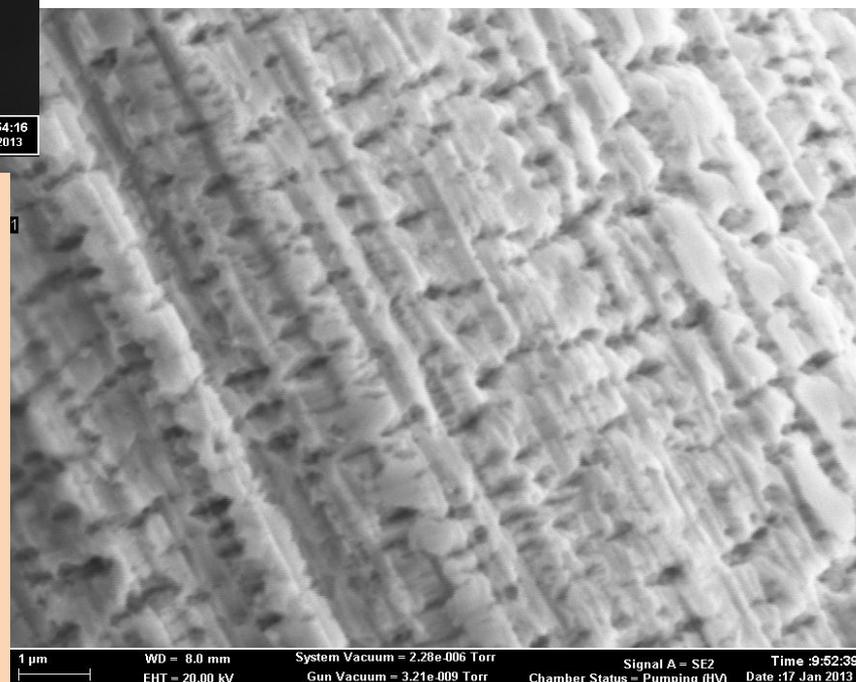
Необходимо дополнительное тестирование для:

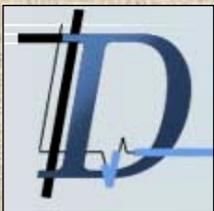
- Выработки рабочего режима;
- Оптимизации газовой смеси;
- Определение длительности восстановленной работоспособности MWPC;

# SEM анализ **новой** проволоочки из вольфрама для дрейфовых камер OLYMPUS



Размер неоднородностей (острий) порядка 0.1 мкм, т.е. напряженность на них  $E \sim 10^7$  В/см – достаточная для автоэмиссии. Это объясняет микропробои, большие темные токи и многое другое, но не объясняет неграмотный выбор проволоочки разработчиками.





# Эксперимент R3B (GSI)



## Схематический общий вид детектора NeuLAND

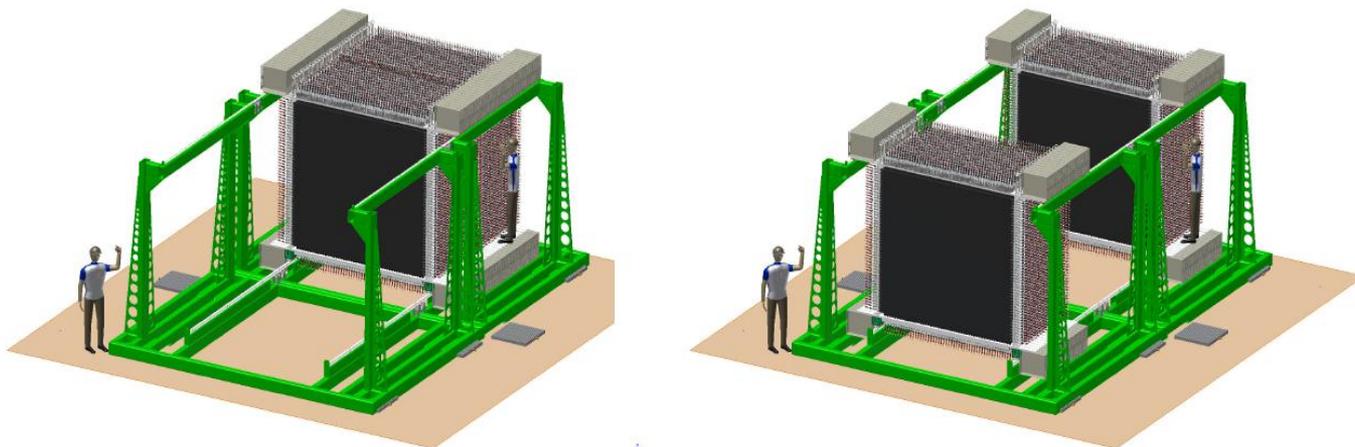
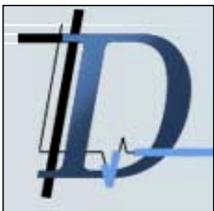


Figure 5.9.: The two NeuLAND frames, arranged for moving double planes. On the left hand side, the front-sides of both frames are put to closest distance, on the right part the half of double planes have been moved to the second frame.

### **Ответственность ПИЯФ:**

**Вклад в детектор – 16%, включающий в себя:**

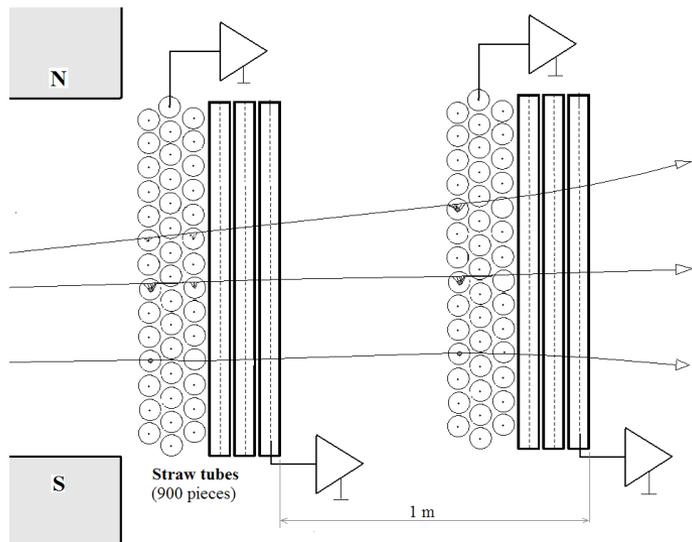
- **Высоковольтная система для ФЭУ;**
- **Сцинтилляторы;**
- **Сборка, тестирование, запуск.**



# Координатный детектор на базе пропорциональных счетчиков - трубок

## Назначение

Определение импульса частиц на выходе анализирующего магнита.



### Ответственность ПИЯФ (обсуждается):

1. Детектор – разработка и изготовление.
2. Регистрирующая электроника.
3. Высоковольтная система.

### Технические характеристики:

1. Пространственное разрешение - менее 0,2мм.
2. Эффективность – более 95% для частиц (ядер) с  $Z=1$  до  $Z=92$ .
3. Эффективность для multi-hit events - ???.
4. Детектор прозрачный  $\sim 0,2\text{г/см}^2$
5. Загрузка – до  $1 \times 10^4$  1/сек на один модуль.
6. Апертура -  $50 \times 100\text{см}$  (full-acceptance mode на выходе магнита).
7. Угловое разрешение – лучше 0,5мрад.
8. Работа в вакууме.
9. Детектор – пропорциональные счетчики (трубки) диаметром 10÷25мм.

## Публикации ОТД в 2013

1. [R. Milner](#), [D.K. Hasell](#), [M. Kohl](#), [U. Schneekloth](#), [N. Akopov](#), [R. Alarcon](#), [V.A. Andreev](#), [O. Ates](#), [A. Avetisyan](#), [D. Bayadilov](#) ...G.Gavrilov...A. Krivshich... *et al.*. «[The OLYMPUS Experiment](#)», Dec 5, 2013. 40 pp. e-Print: [arXiv:1312.1730](#) [physics.ins-det]
  2. Г. Е. Гаврилов, Д. А. Аксёнов, В. М. Вахтель, А. Г. Крившич, Д. А. Майсузенко, А. А. Фетисов, Н. Ю. Швецова, «Новый метод восстановления состаренной анодной проволоки коронным разрядом» Ядерная физика и инжиниринг, 2013, том 4, № 8, с. 689–743.
3. [PANDA](#) Collaboration (*et al.*). “[Technical Design Report for the: PANDA Straw Tube Tracker](#).” e-Print: [arXiv:1207.6581](#), Jul 2012. 189 pp Published in Eur.Phys.J. A49 (2013) 25.
4. [O.V. Miklukho](#), [A.Yu. Kisselev](#), [D.A. Aksenov](#), [G.M. Amalsky](#), [V.A. Andreev](#), [S.V. Evstiukhin](#), [A.E. Ezhilov](#), [O.Ya. Fedorov](#), [G.E. Gavrilov](#), [D.S. Ilyin](#) *et al.* “[Polarization and spin correlation parameters in proton knockout reactions from s1/2 - orbits at 1 GeV](#)”. e-Print: [arXiv:1203.4057](#) [nucl-ex] Phys.Atom.Nucl. 76 (2013) 871-880.

## Материалы конференций

1. XX Конференция по Фундаментальной Атомной Спектроскопии. Сборник докладов. V.E. Chernov, D.L. Dorofeev, Henning Khuen, ...G. Gavrilov...Yu. Naryshkin. “Towards X-ray FEL Gas Monitor Detector.”
2. 10-ая Международная конференция "Волновая электрогидродинамика проводящей жидкости. Долгоживущие плазменные образования и малоизученные формы естественных электрических разрядов в атмосфере. 04-08 июля 2013 года Ярославль, ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Г.Д. Шабанов, А.Г. Крившич, О.М. Жеребцов, Г.Е. Гаврилов. «Шаровая молния - рождение и некоторые её свойства, моделируемые в наших экспериментах».  
Материалы конференции, под ред. А.И. Григорьева (260 с), стр. 214 - 225.



**Спасибо за внимание**



