

**ПИЯФ в проекте СВМ**

**2010 г.**

**FAIR – Facility for Beams of Ions and Antiprotons** – принятый к осуществлению проект стоимостью ~1300 М€ в GSI, Дармштадт.

**4 октября 2010 г.** – подписана конвенция 9-ю странами ([Финляндия](#), Франция, [Германия](#), [Индия](#), Польша, [Румыния](#), [Россия](#), [Швеция](#), Словения), выделенные 6 стран - акционеры

**Ноябрь 2010** – юридически оформлена компания FAIR

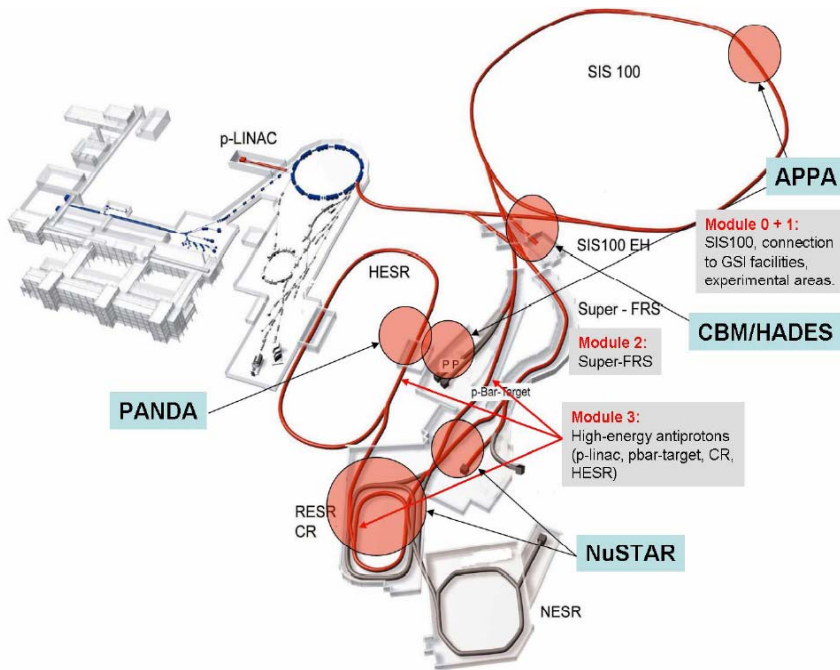


Figure 1: Modular construction and its benefit for all scientific pillars of FAIR

**Вклад России ~ 178.5 М€**

**из них на экспериментальные установки в России (Construction money) планировалось:**

**2007-2008 гг. – 71.5 М€ (40%)**

**2008-2009 гг. – 53.5 М€ (30%)**

**2010 г. – 17.6 М€ (< 10%)**

**Распределение этих денег – ?**

**R&D – ? Визиты – ?**

Год запуска 1-й очереди FAIR (SIS100) – 2017 г, эксперименты -2017-2018 гг.

**SIS300 –?**

**CBM (Compressed Baryonic Matter)** – эксперимент по ядро-ядерному взаимодействию на выведенном пучке ядер (вплоть до урана) с энергией **2-12 ГэВ/у (SIS100) и 8-40 ГэВ/у (SIS300)**.

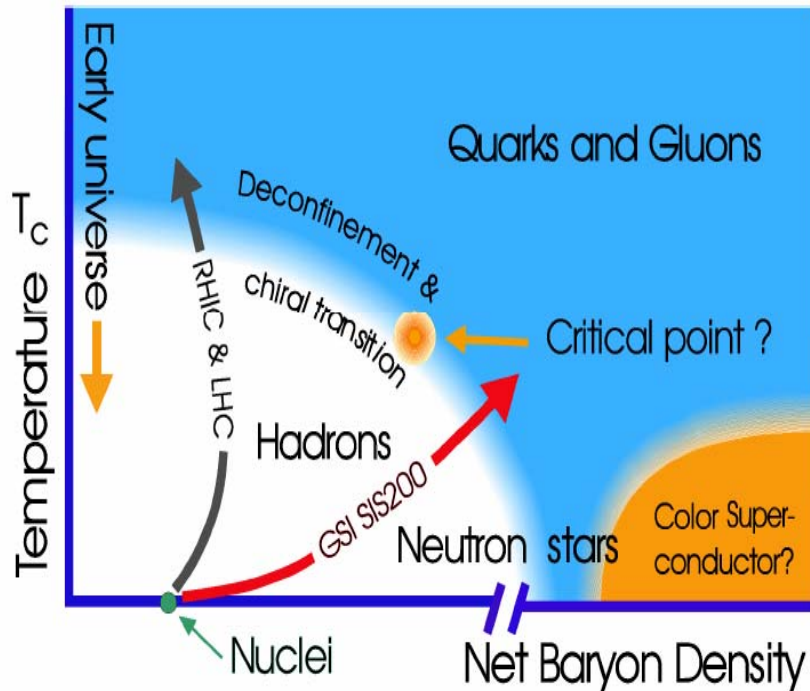
SIS18 (fixed target, GSI)	– до 2 GeV/u
AGS (fixed target, BNL)	– до 15 GeV/u
SPS (fixed target, CERN)	– до 160 GeV/u
RHIC (collider, BNL)	– до 200 GeV/u
LHC (collider, CERN)	– до 3 TeV/u

Начало эксперимента планируется на 2017 -2018 гг. с запуском **SIS100**.

**Начальная фаза эксперимента** – ныне действующая модифицированная для области энергий **2 -7 ГэВ/у** экспериментальная установка **HADES** и усеченный вариант **CBM (5-12 ГэВ/у)**.

**Важно! CBM** – один из 5 приоритетных экспериментов на **FAIR**, поддерживаемых бюджетом **GSI**.

**CBM** – изучение сверхплотной ядерной материи, создаваемой при энергии **SIS300** в центральных столкновениях тяжелых ионов (барионная плотность сравнима с плотностью в сердцевине нейтронных звезд и в  $\sim 10$  раз превосходит обычную ядерную плотность).



Фазовая диаграмма сильно взаимодействующей материи

■ При низких плотностях с повышением температуры нуклоны возбуждаются в барионные резонансы, рождаются мезоны – фаза **адронной** материи (светлая область). При более высоких температурах фазовый переход к **кварк-глюонной** материи (**деконфаймент**). Температура перехода  $T_c \sim 170$  МэВ при нулевой барионной плотности, что в  $\sim 130 \cdot 10^3$  выше температуры внутри солнца.  
RHIC, LHC

■ В сильно сжатой холодной ядерной материи, как это может существовать внутри нейтронных звезд, барионы теряют свою индивидуальность и растворяются в кварки и глюоны. Однако **критическая плотность** для такого перехода **не известна**. При очень высоких плотностях и низких температурах помимо деконфаймента ожидается **новый фазовый переход**, при котором **кварки коррелируют и формируют цветовую сверхпроводимость**.  
RHIC, SPS, AGS, FAIR

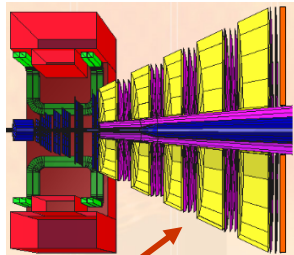
## Предсказываемые явления в сверхплотной ядерной материи

- модификация адронов – восстановление киральной симметрии
- фазовый переход к состоянию свободных кварков – деконфаймент, кварк-глюонная плазма
- возникновение возможно нового фазового перехода к состоянию с коррелированными кварками - “цветовая сверхпроводимость”
- новые экзотические состояния материи такие, как конденсаты странных частиц.

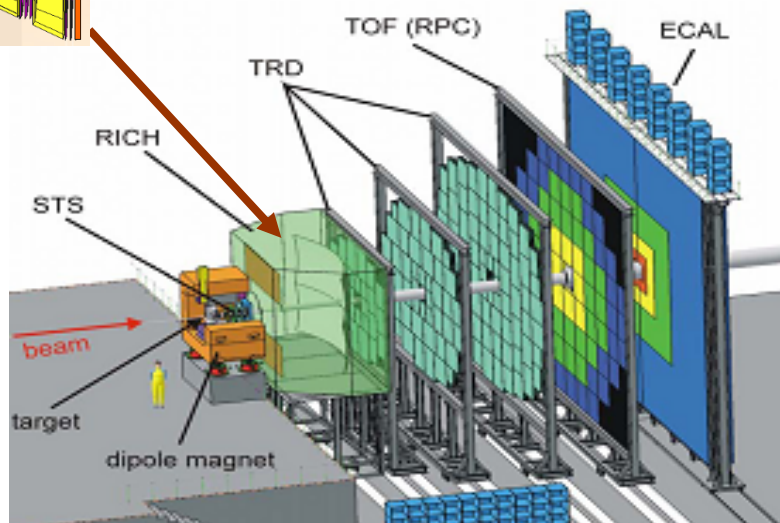
## СВМ сориентирован на измерения в доступном энергетическом диапазоне:

- короткоживущие легкие векторные мезоны, распадающиеся в лептонные пары
- странные частицы, особенно барионы, содержащие более чем один странный кварк
- мезоны, содержащие чарм
- коллективные потоки частиц
- event-by-event fluctuations

## Детектор CBM



**MUCH**



### Измерение импульсов и треков частиц –

**STS** (Silicon Tracking System) – 8 слоев двусторонних стриповых детекторов размещены в **сверхпроводящем дипольном магните** большой апертуры

На стадии исследований процессов с открытым чармом дополнительно к **STS** устанавливается микро вершинный детектор **MVD** (два слоя пиксельных детекторов, расположенных вблизи мишени)

Идентификация адронов – реконструкция треков (**STS** и **TRD**) + **TOF** (стоп - **RPC**, старт – алмазный пиксельный детектор )

Идентификация электронов – реконструкция треков (**STS** и **TRD**), реконструкция колец в **RICH**, анализ энергетических потерь в **TRD**

Электромагнитный калориметр (**ECAL**) – измерение прямых фотонов, электронов, мюонов

MUCH (Muon Chambers) – **изучение мюонных мод распада.**

Первоначальная версия **CBM** – регистрация  $e^+e^-$  пар от распада короткоживущих векторных мезонов и мезонов, содержащих очарованные кварки. При участии **ПИЯФ** предложен и принят стартовый вариант эксперимента – изучение мюонных мод распада.

## Участники ПИЯФ в СВМ (на сегодняшний день) :

### 1. В мюонной системе **MUCH**

**В. Баублис, С. Волков, В. Евсеев, В. Иванов, Б. Комков, Е. Крышень, Л. Кудин, В. Никулин, Е. Рощин, Г. Рыбаков, М. Рыжинский, В. Самсонов, О. Тарасенкова, А. Ханзадеев, Е. Чернышова**

### 2. В детекторе **RICH**

**Е. Взнуздаев, В. Добырн, Е. Кормин, В. Лебедев, Н. Мифтахов, В. Поляков, В. Самсонов, О. Тарасенкова, В. Толчин**

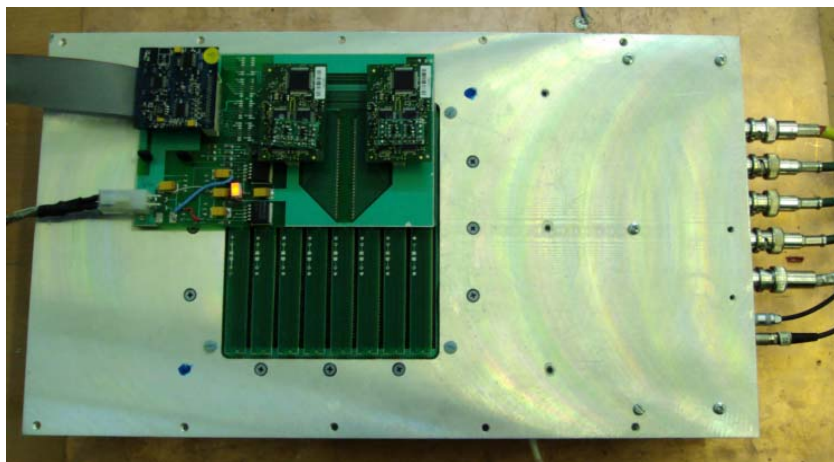
# R&D – выбор базового детектора трековой системы MUCH

**Основная задача на 2010 г.** – подготовка и пучковые испытания прототипов детекторов

Тестовый пучок T10 в ЦЕРНе – 5 ГэВ  $p$  и  $\pi$ -мезоны

Интенсивность  $\sim 10^3$  частиц/сек

Readout – электроника ALICE (128 каналов)

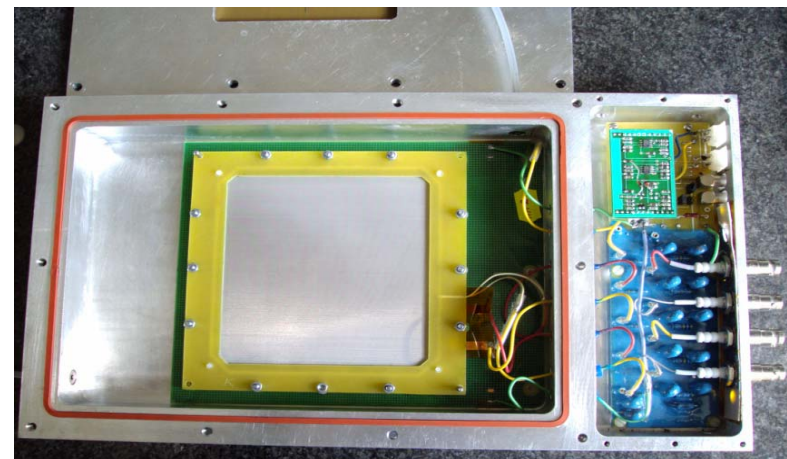
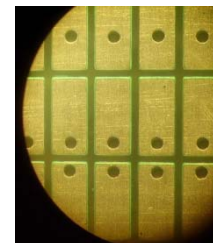


## Структура анода

➤ 2048 падов

➤ Размер пада 1.5x 3 mm<sup>2</sup>

➤ Рабочая область 102x109 mm<sup>2</sup>

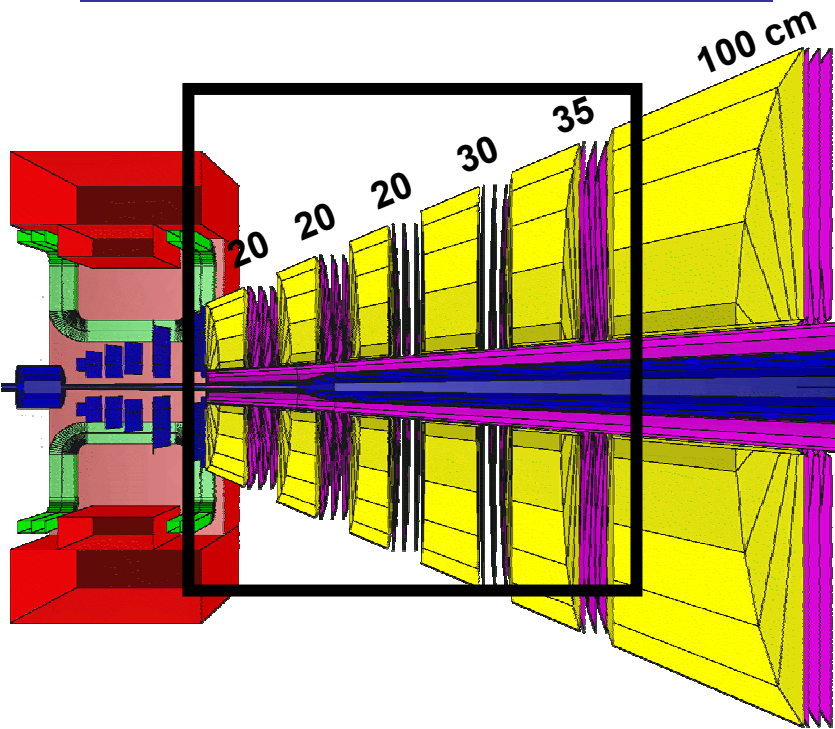


## На тестовом пучке предстояло:

1. Измерить эффективность регистрации  $tip$
2. Получить распределение ширины кластеров (количество сработавших соседних падов)
3. Сформулировать экспериментальные требования для разрабатываемой электроники



## Мюонный детектор MUCH



Часть детектора,  
предназначенная для  
легких векторных  
мезонов ( $\sim 7.5\lambda_1$ )

$10^7$  событий/с, каждое из  
событий содержит до **1000**  
треков заряженных частиц

Абсорбер – **Fe** ( $13.5 \lambda_1$ ), центральная  
вставка – скорее всего **W**

Станции **1,2,3** – три слоя **3GEM** или  
**GEM + MICROMEGAS** детекторов в каждой

Станции **4,5** – **straw**, **6** – я станция – **TRT**

Число каналов электроники  $\sim 10^6$

### Сейчас рассматривается более экономичный вариант:

- первые три станции (с числом каналов электроники  $2 \cdot 10^5$ ) и первые **3** слоя абсорбера как и планировалось
- слой абсорбера  $\sim 1.6$  м и **TRT**

**Измерения проводились для 4-х прототипов:**

1. **MG** – Micromegas+GEM
2. **TMG** – Micromegas+TGEM
3. **DTG** – TGEM+TGEM
4. **GG** – GEM+GEM

**Под углами:**

**0°, 15°, 30° и 45°**

**Две газовые смеси:**

**Ar/CO<sub>2</sub>/iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (88/8/4) и He/CF<sub>4</sub>/iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (76/22/2)**

# Double TGEM

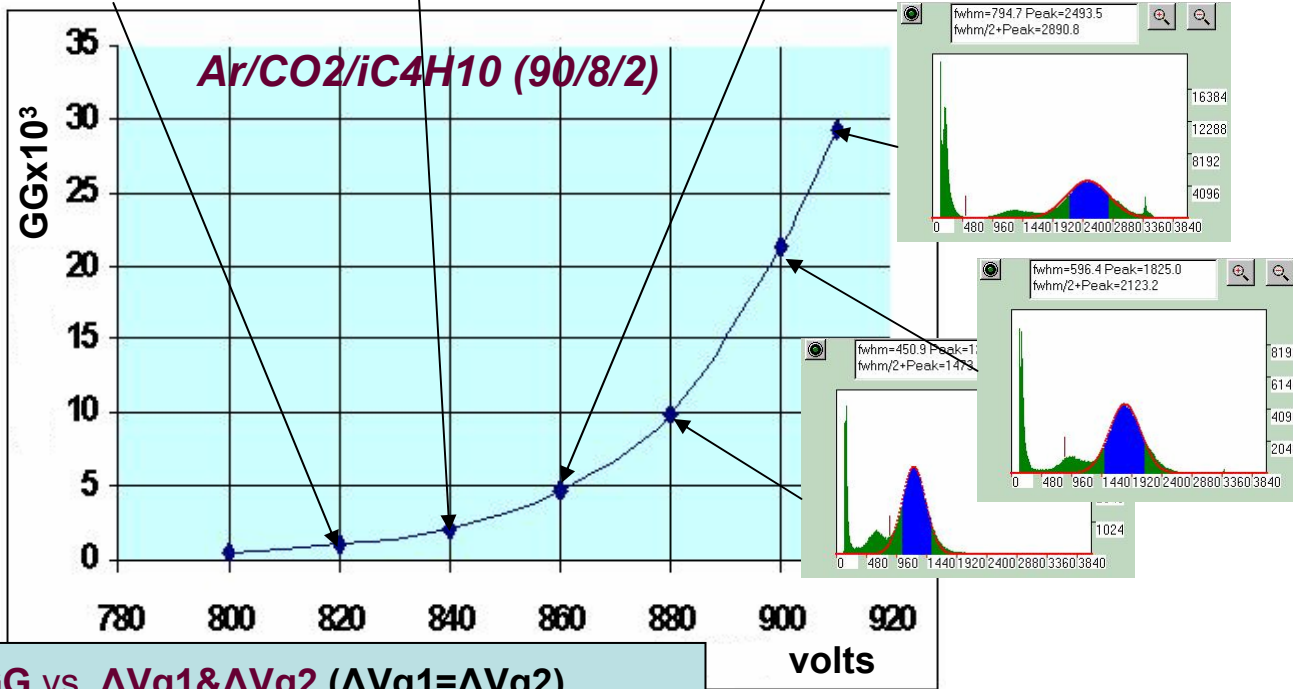
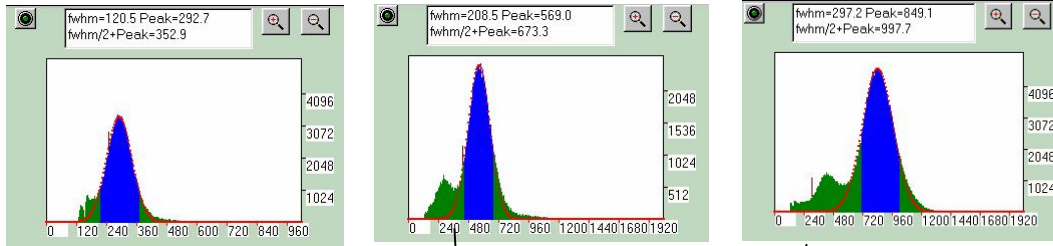
TGEM1, TGEM2 are identical:

thickness – 0.53 mm

step between holes – 1 mm

hole diam.– 0.6 mm

rim diam.- 0.74 mm

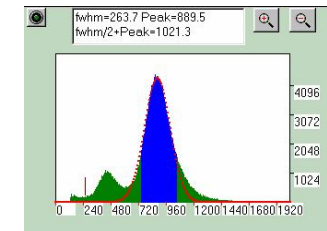


We are taking signals from the mesh

**Gaps:**  
 Anode-G1 – 1.5mm  
 G1-G2 – 1.5 mm  
 Cathode-G2 – 4 mm

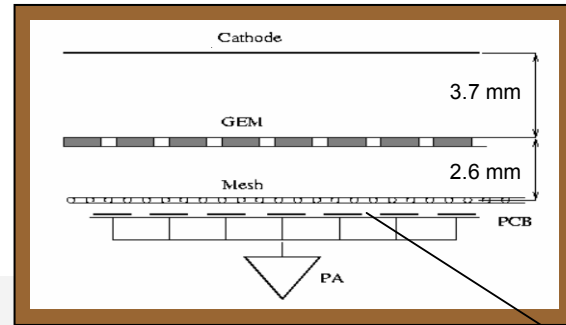
**GG vs.  $\Delta V_{g1}$  &  $\Delta V_{g2}$  ( $\Delta V_{g1} = \Delta V_{g2}$ )**  
 ( $\Delta V_{ag} = 300V$ ,  $\Delta V_{g1g2} = 300V$ ,  $\Delta V_{cg} = 800V$ )

For double TGEM we can reach Gas Gain up to  $30 \cdot 10^3$  and energy resolution fwhm ~30% without visible problems



The best energy resolution reached was 29% (fwhm)

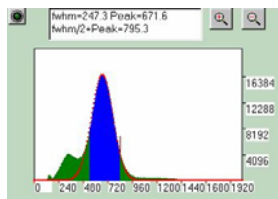
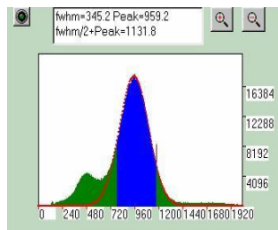
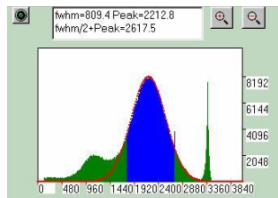
# Micromegas/GEM



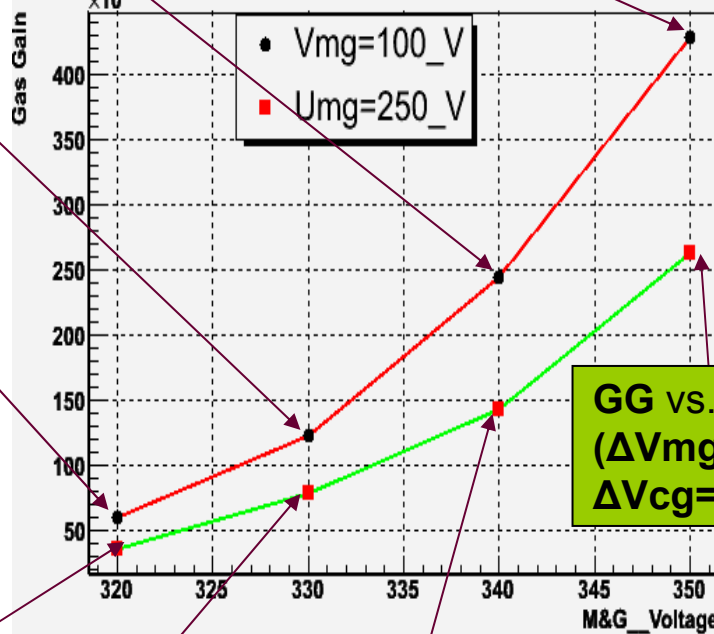
60 mcm

We are taking signals from the mesh

GEM – produced by CERN  
PCB has hidden contact holes

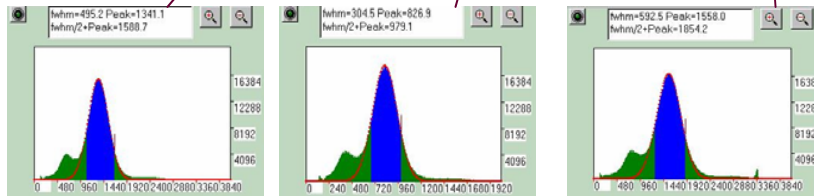


Ar/CO<sub>2</sub>/iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (90/8/2)



GG vs. V<sub>m</sub>&ΔV<sub>g</sub> (V<sub>m</sub>=ΔV<sub>g</sub>)  
(ΔV<sub>mg</sub>=100V and 250V,  
ΔV<sub>cg</sub>=350V – fixed)

Energy resolution fwhm~35%

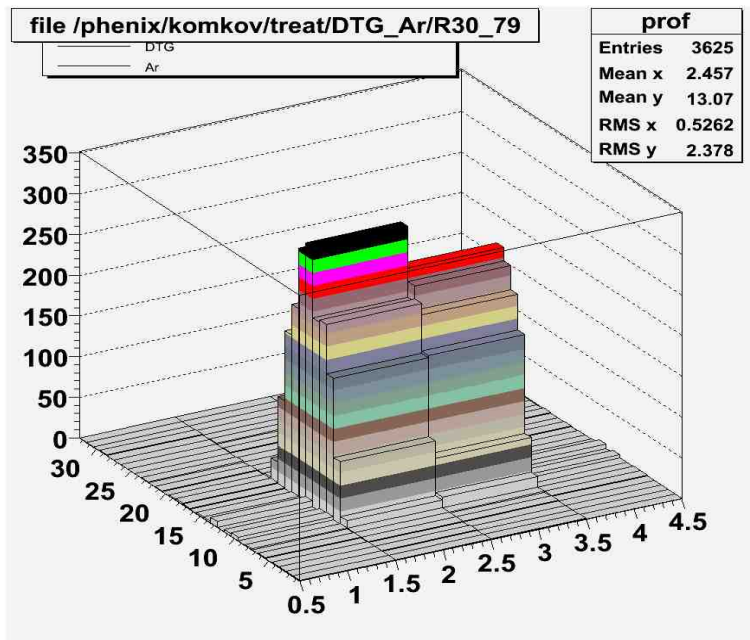


Easy to get GG ~4·10<sup>5</sup>



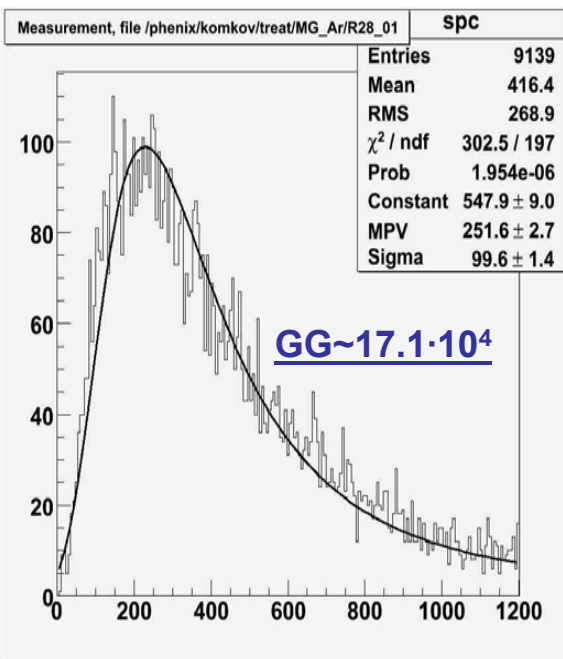
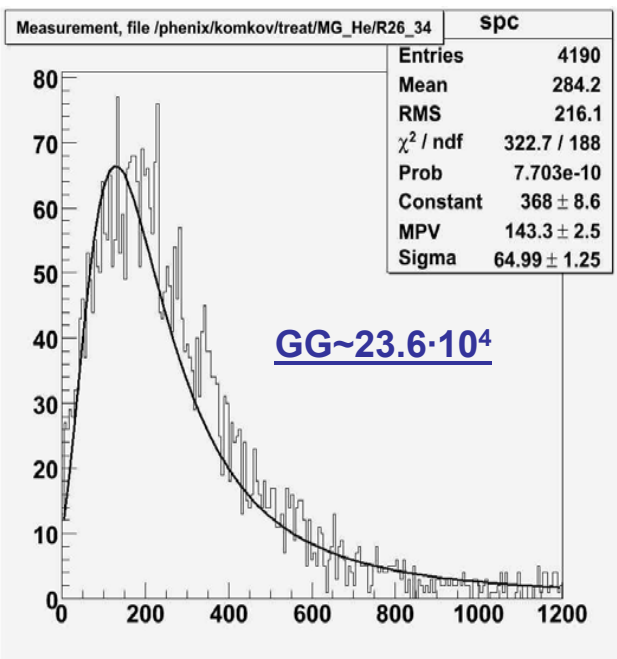
Прототип на тестовом пучке в ЦЕРНе





Вырезаемый сцинтилляторами  
профиль пучка

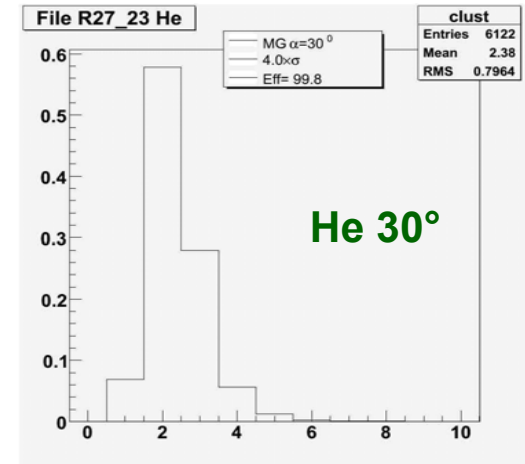
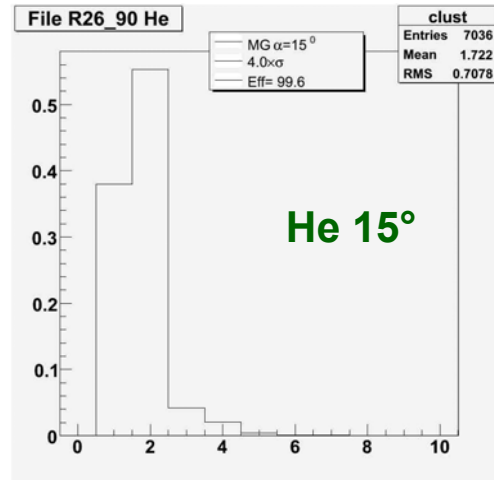
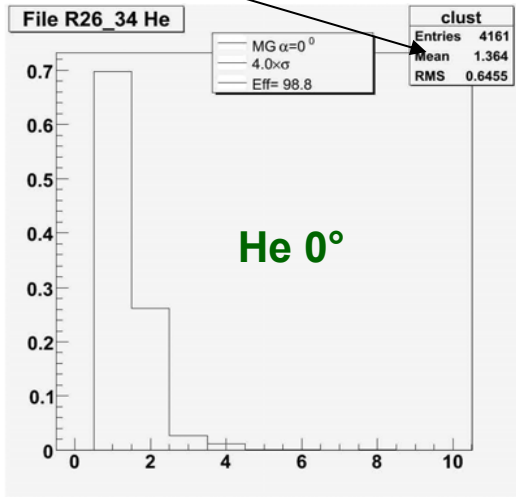
Все 4 прототипа показали  
эффективность регистрации на уровне  
98-100% при планируемом газовом  
усилении  $10^4 - 2 \cdot 10^4$  и пороге по заряду  
 $\sim 1$  fC



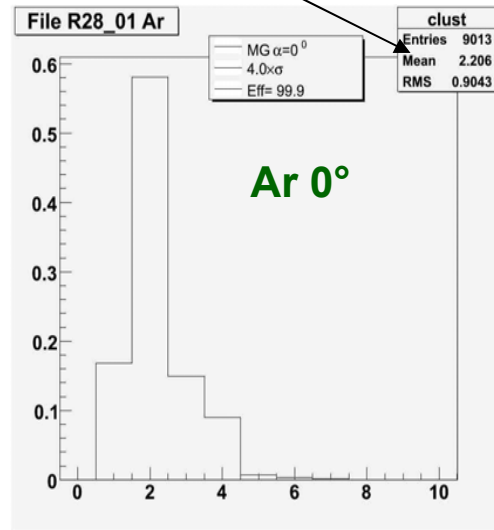
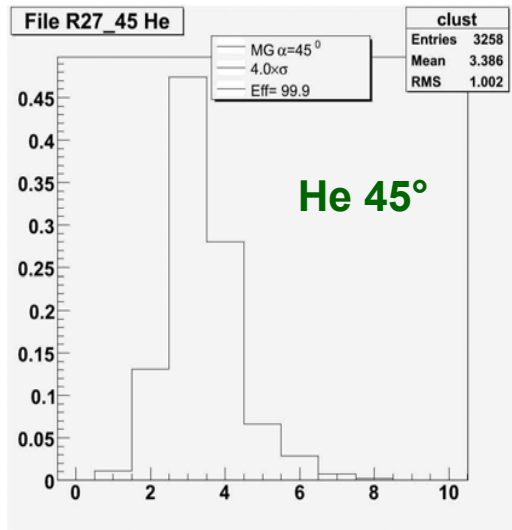
Величина коэф. газового  
усиления определена  
исходя из измеренных  
спектров  $\Delta E$ , калибровки  
считывающей электроники  
и количества первичных  
электронов (NEED)

# Прототип – Micromegas/GEM

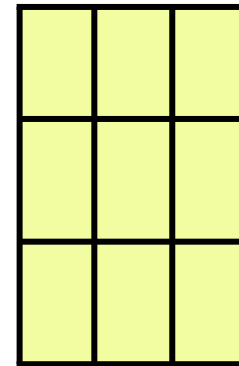
~1.4



~2.2



Распределение количества сработавших падов в области



Размер пада – 1.5x3 мм<sup>2</sup>

# $\omega$ -production in central Au+Au collisions at 25 AGeV

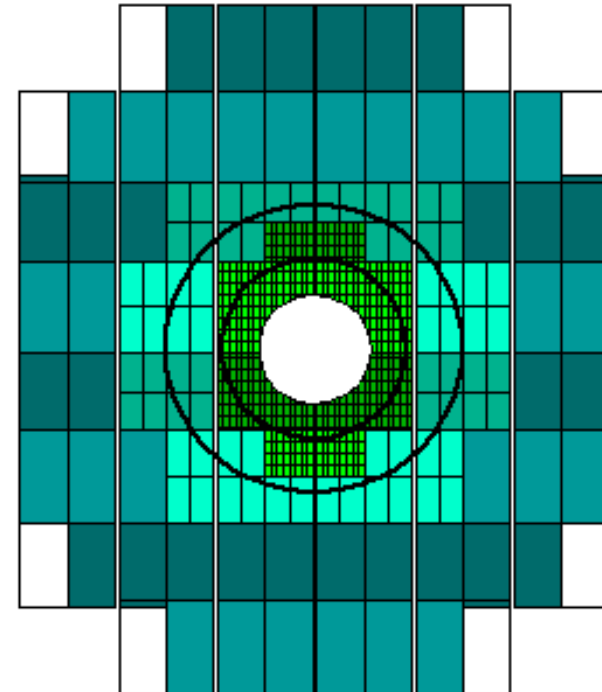
## Segmentation:

Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5
0.2x0.2, R<25 cm 0.4x0.8, R<40 cm 1.6x1.6, R>40 cm	0.2x0.4, R<40 cm 0.8x1.6, R<50 cm 1.6x3.2, R>50 cm	0.4x0.4, R<40 cm 1.6x1.6, R<55 cm 1.6x3.2, R>55 cm	0.8x1.6, R<60 cm 3.2x6.4, R>60 cm	1.6x1.6, R<80 cm 3.2x6.4, R>80 cm

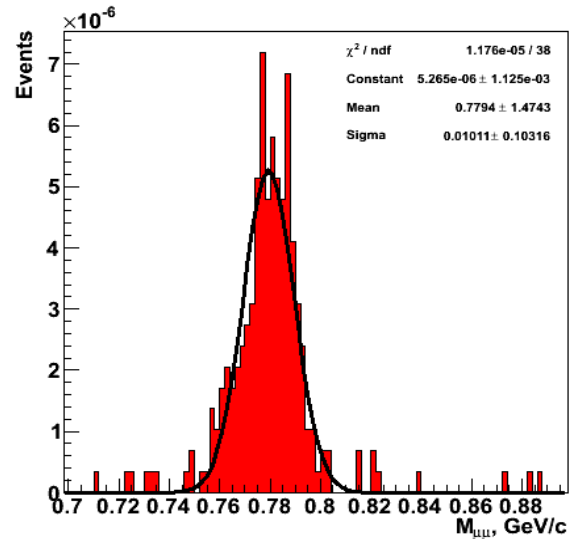
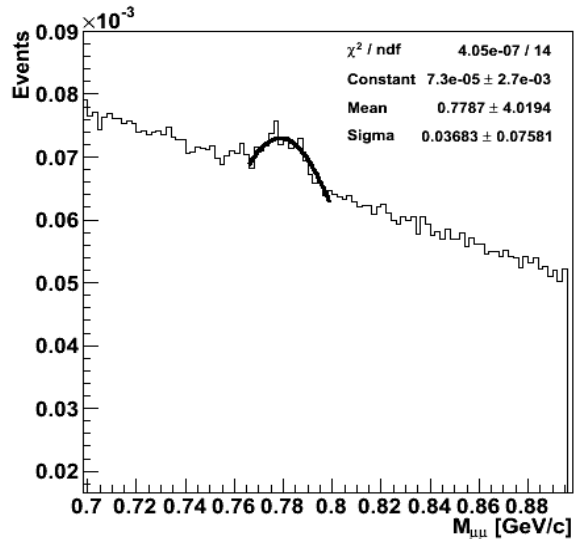
## Efficiency and S/B:

Efficiency, %	S/B	Number of channels
1.94	0.054	795 264

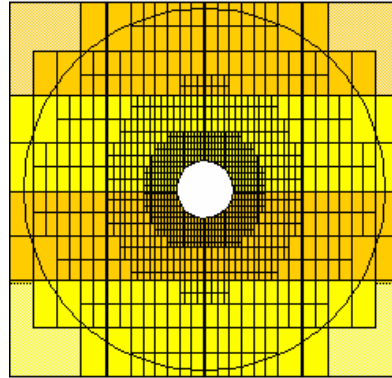
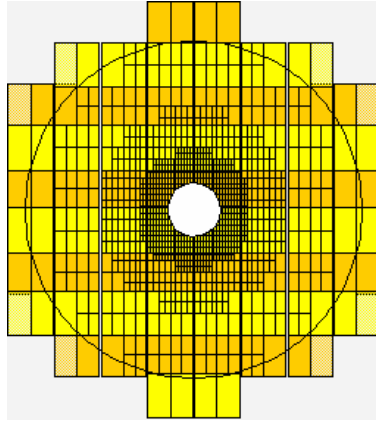
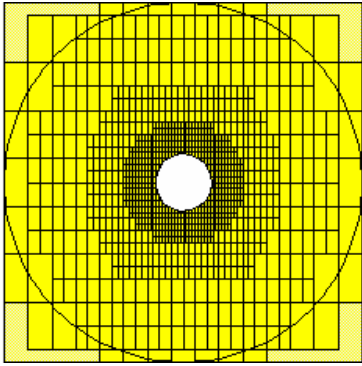
25.6x25.6 cm<sup>2</sup> modules



Station 1



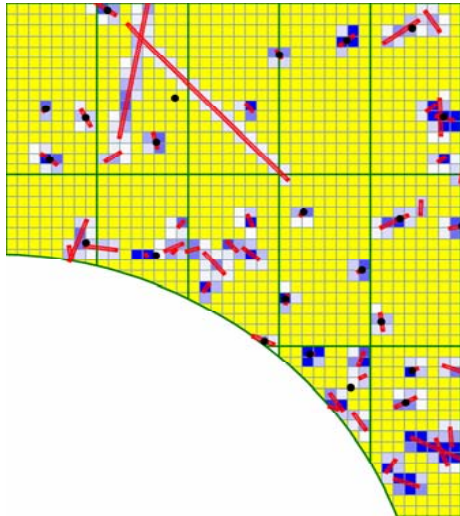




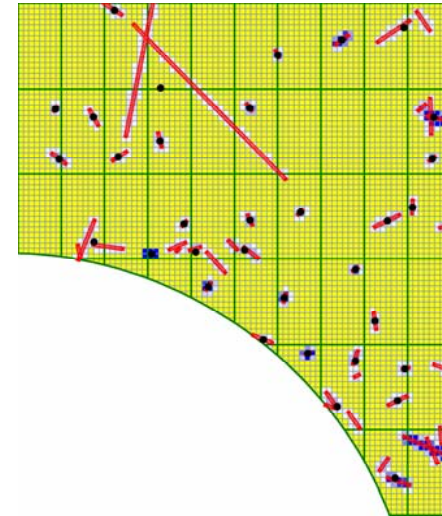
*First station in case of monolithic design (left), case of modules 25.6X25.6 cm<sup>2</sup>, and case of modules 51.2x51.2 cm<sup>2</sup> (right).*

Each variant of segmentation was tested for  $\omega \rightarrow \mu\mu$

Pad size 2x2 mm<sup>2</sup>



Pad size 4x4 mm<sup>2</sup>



# Детектор RICH

В зоне ответственности ПИЯФ:

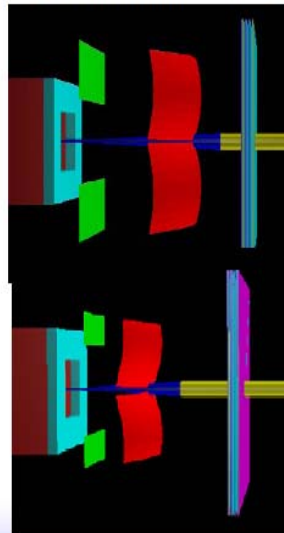
- Вся механика
- Газовая система
- Система юстировки

## RICH layout

### Reminder:

new – more compact layout developed based on CO<sub>2</sub> as gas radiator this way keeping the number of hits/ring

	Large	Compact
radiator gas	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
reflective index	1.000298	1.00045
$p_{th}$ [GeV/c]	5.6	4.65
radiator length [m]	2.5	1.5
full length [m]	2.9	1.8
mirror radius [m]	4.5	3
mirror size [m <sup>2</sup> ]	22.8	11.8
photodetector size [m <sup>2</sup> ]	9	2.4
No. of channels	200k	55k



E. Belolaptikova, S. Lebedev, GSI

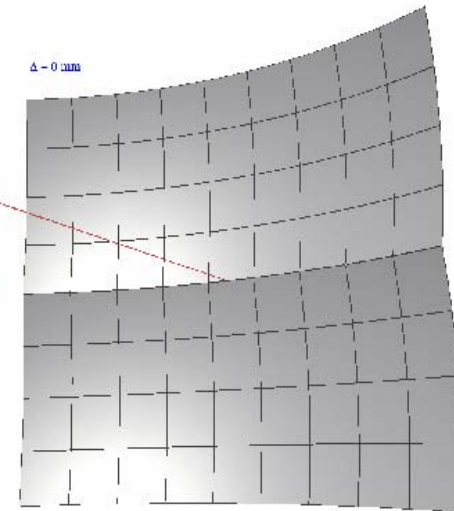
## CBM RICH, trapezoid mirrors

B  
C M

### The main idea – latitude/longitude division:

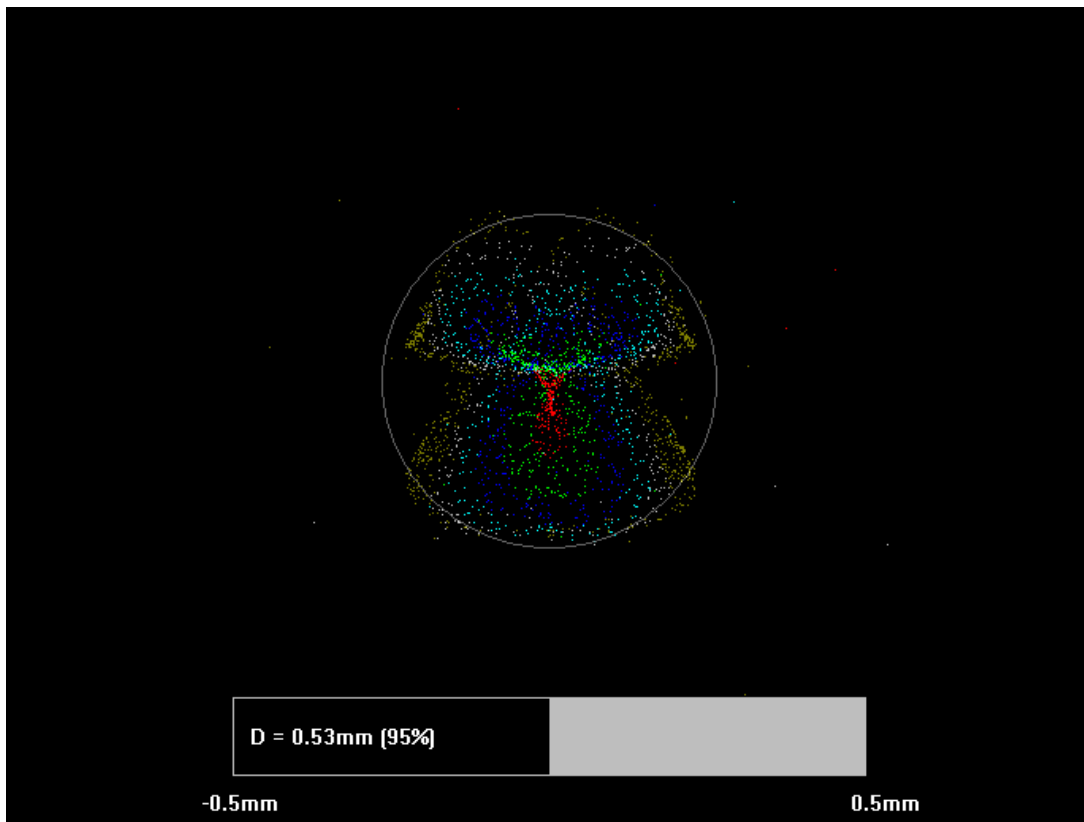
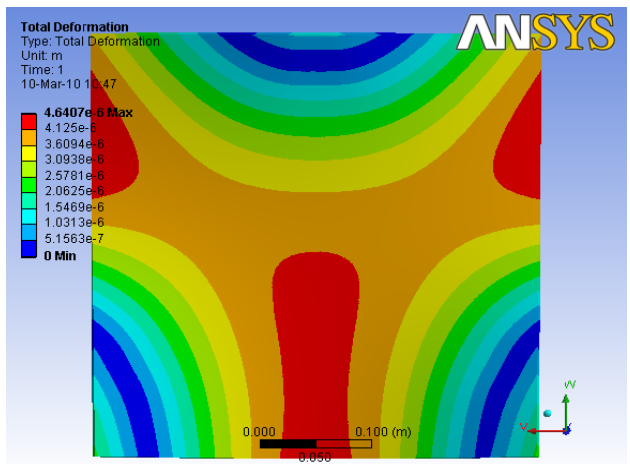
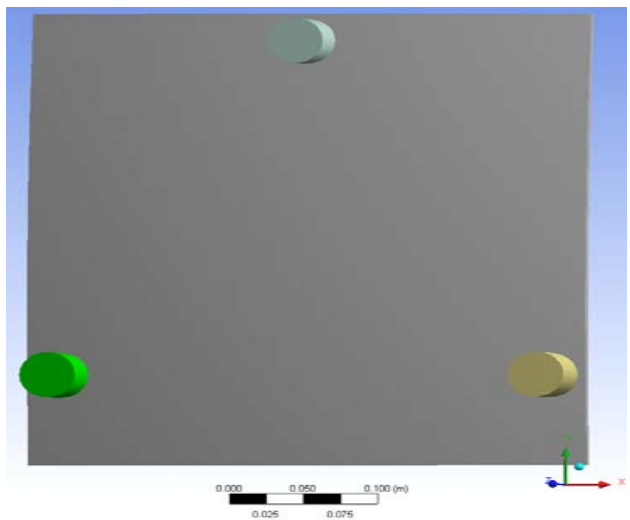
- the division of the goal spherical surface into units has the precise geometrical description;
- minimal gaps between mirror units, **the only technological gaps of 3 mm are needed;**
- the only 2 variants of the unit dimensions, the length of side is about 450 mm;
- no fitting cuts for units.

$\Delta = 0.1 \text{ mm}$



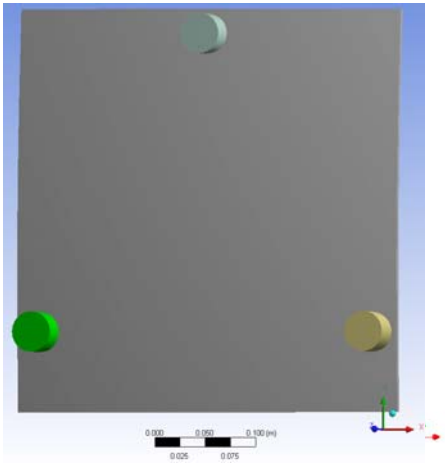
72 trapezoid units

# Выбор оптимального (минимальные искажения из-за деформации) закрепления зеркал

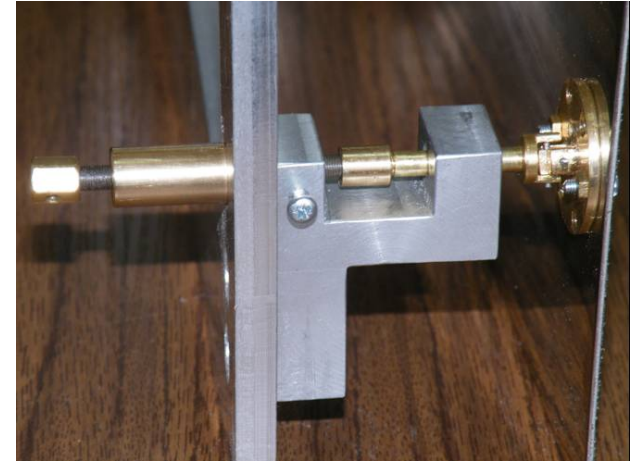
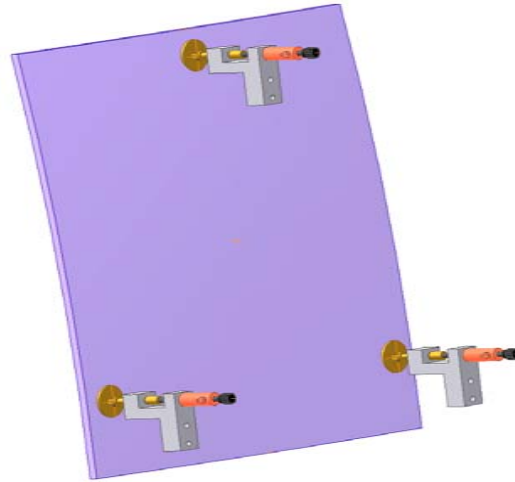


Угол наклона зеркала 20°

## Закрепление зеркала на юстируемых механизмах

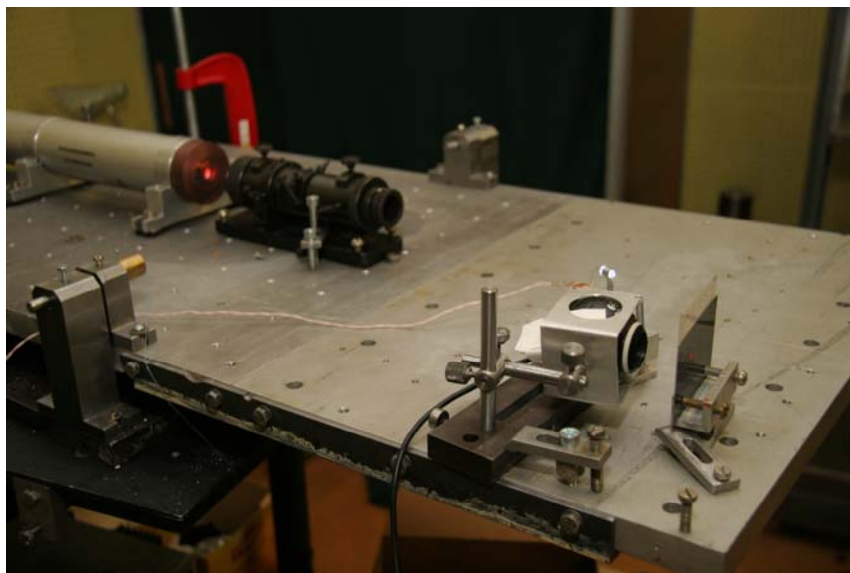


3-D компьютерная модель



Механизм закрепления и юстировки зеркал

## Стенд для экспериментальной проверки закрепления и юстировки зеркала

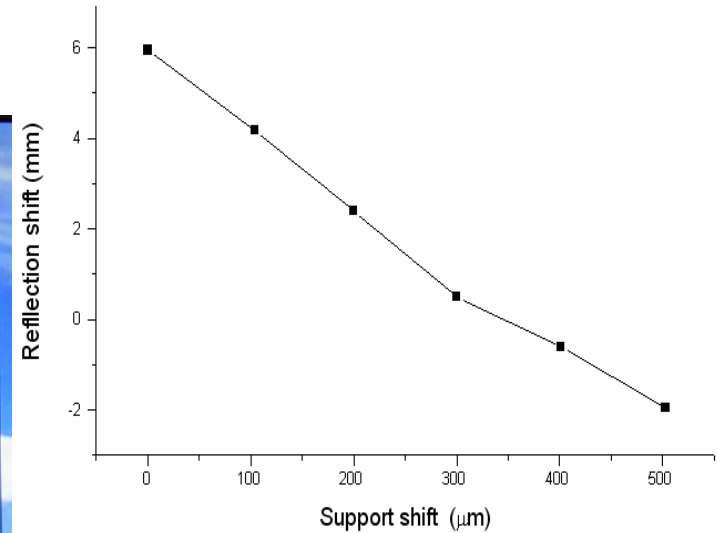
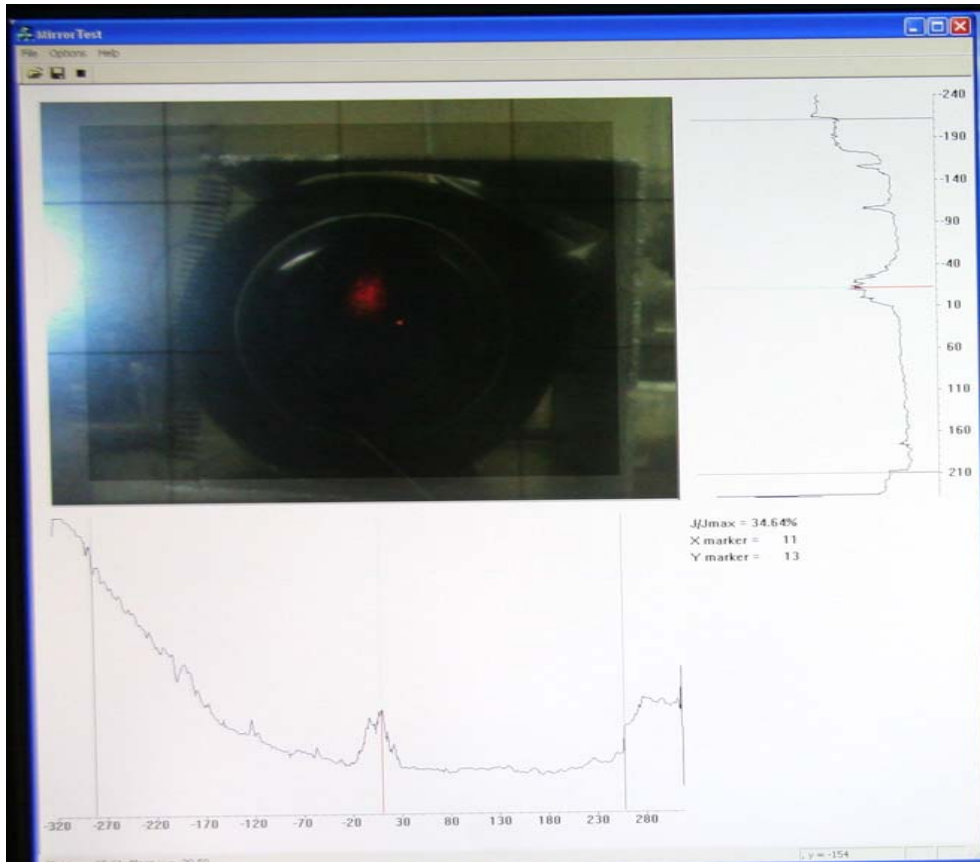


Лазер и CCD камера



Плоское зеркало с механизмом закрепления и голографическая линейка

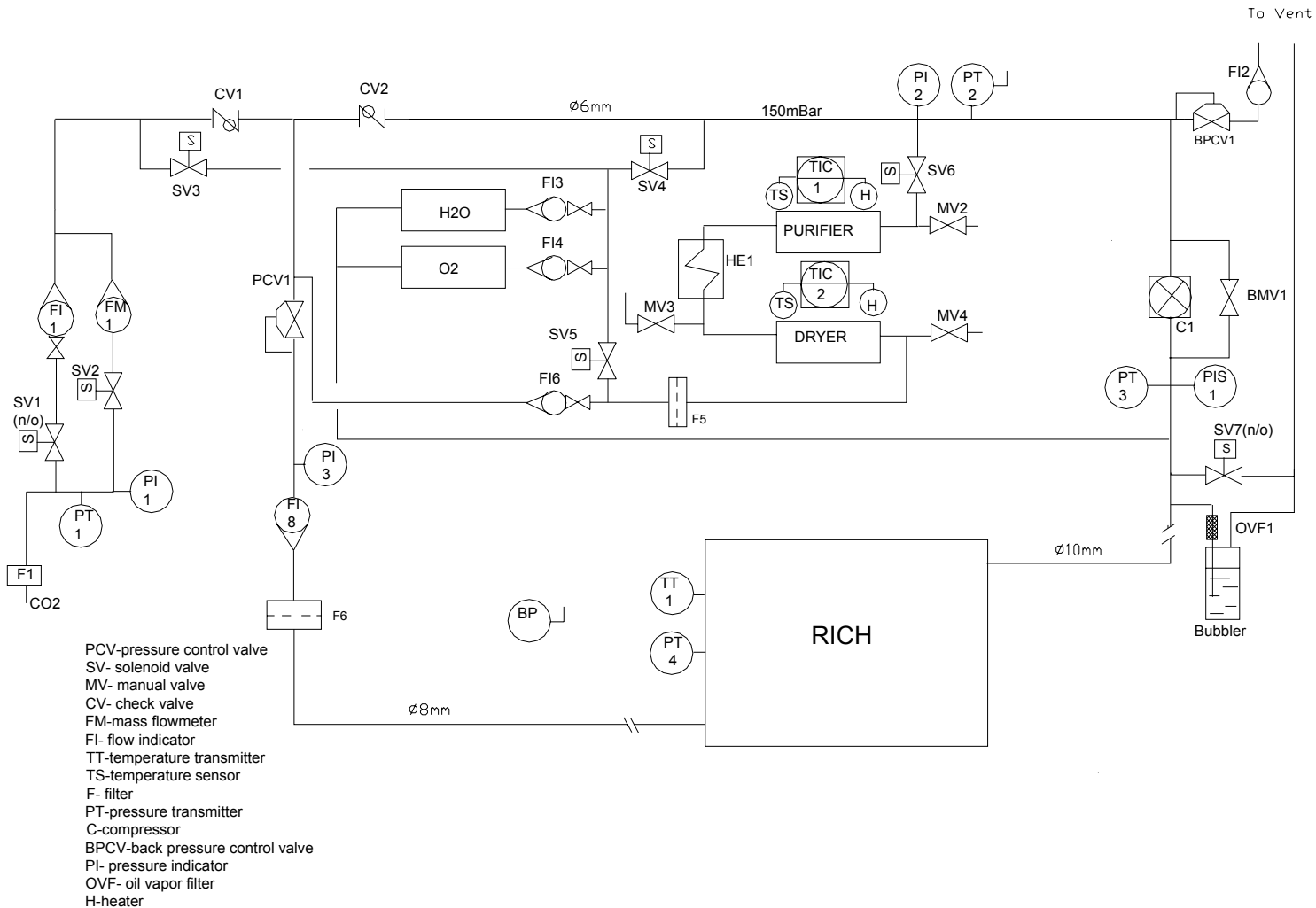
## Оптический отклик на сдвиги механизма юстировки



- Минимальный шаг сдвига – 1 μm
- Точность измерения сдвига с помощью CCD камеры – 5 μm
- Расстояние зеркало - CCD камера 3 м
- Угловое разрешение – 20 μrad
- Стабильность – не наблюдалось какого-либо сдвига в течение одного дня

# Gas Scheme (differential pressure stabilization)

L.Kochenda



## Планы на 2011 г.

- Продолжить оптимизацию мюонного детектора **MUCH**
- Сопряжение разрабатываемой в GSI электроники считывания с прототипом детектора трековой системы **MUCH**
- Испытание на пучке высокой интенсивности прототипов детекторов для мюонной системы **MUCH**
- Выбор типа базового детектора и формулирование окончательных требований на гранулярность базовых детекторов трековой системы **MUCH**
- Создание прототипа модуля механической системы детектора **RICH**