

Проект СВМ, 2009 г.

А. Ханзадеев

FAIR – Facility for Beams of Ions and Antiprotons – принятый к осуществлению проект стоимостью ~1200 М€ в GSI, Дармштадт. О начале строительства объявлено 07.11.2007 г. Однако реалии несколько отличаются.

16 октября 2009 г. – Evaluation Committee – одобрена **модульная концепция**

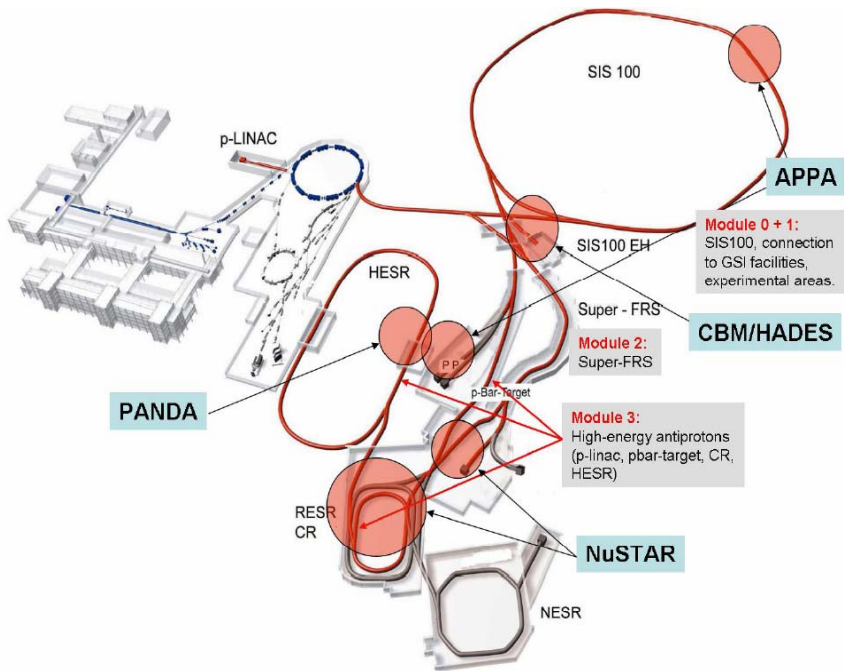


Figure 1: Modular construction and its benefit for all scientific pillars of FAIR

FAIR will be constructed in 6 modules and an additional phase B (see Table 1):

Module 0	Module 1	Module 2	Module 3	Module 4	Module 5	
SIS100	expt areas CBM/HADES and APPA	Super-FRS fixed target area NuSTAR	pbar facility, incl. CR for PANDA, options for NuSTAR	LEB for NuSTAR, NESR for NuSTAR and APPA, FLAIR for APPA	RESR nominal intensity for PANDA & parallel operation with NuSTAR and APPA	Phase B SIS300
<p>Module 0 + 1: SIS100, connection to GSI facilities, experimental areas.</p> <p>Module 2: Super-FRS</p> <p>Module 3: High-energy antiprotons (p-linac, pbar-target, CR, HESR)</p>						

Table 1: The 6 modules and phase B of the construction of FAIR

Finally, the architects have worked out detailed cost estimates for civil construction, technical building infrastructure and related costs and they have been handed in to the German approving authorities. The authorities will go through the more than 120 folders and a decision in form of a "Z-Bau approval" is expected within the year 2010.

I would like to thank all partners and colleagues for the efficient work done in the year 2009 and send you my Seasons Greetings and best wishes for the New Year 2010.

Boris Sharkov
Boris Sharkov
Leader FAIR Joint Core Team

Т.е. реальные **FAIR** Construction деньги до сих пор не поступают ни в Германии ни в России. Скорее всего вторая половина 2010 г. или 2011 г.

CBM (Compressed Baryonic Matter) – эксперимент по ядро-ядерному взаимодействию на выведенном пучке ядер (вплоть до урана) с энергией **2-7 ГэВ/у** (SIS100) и **8-40 ГэВ/у** (SIS300).

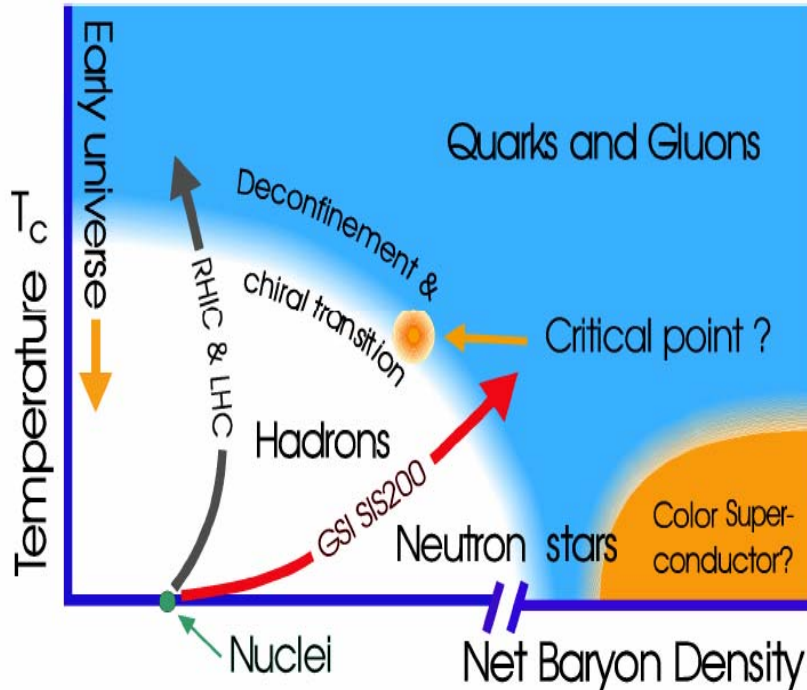
SIS18 (fixed target, GSI)	– до 2 GeV/u
AGS (fixed target, BNL)	– до 15 GeV/u
SPS (fixed target, CERN)	– до 160 GeV/u
RHIC (collider, BNL)	– до 200 GeV/u
LHC (collider, CERN)	– до 3 TeV/u

Начало эксперимента планируется на 2016 г. 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 ~ 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

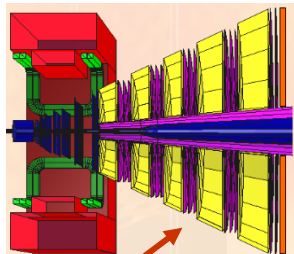
Предсказываемые явления в сверхплотной ядерной материи

- 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.

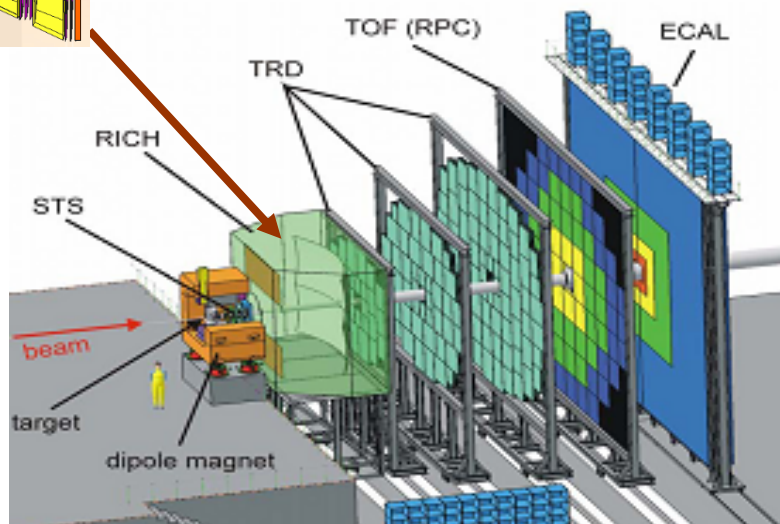
СВМ сориентирован на измерения в доступном энергетическом диапазоне:

- 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 флуктуации

Детектор CBM



MUCH



Интенсивность событий до **10 МГц**

В каждом событии до **1000** заряженных частиц

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) :

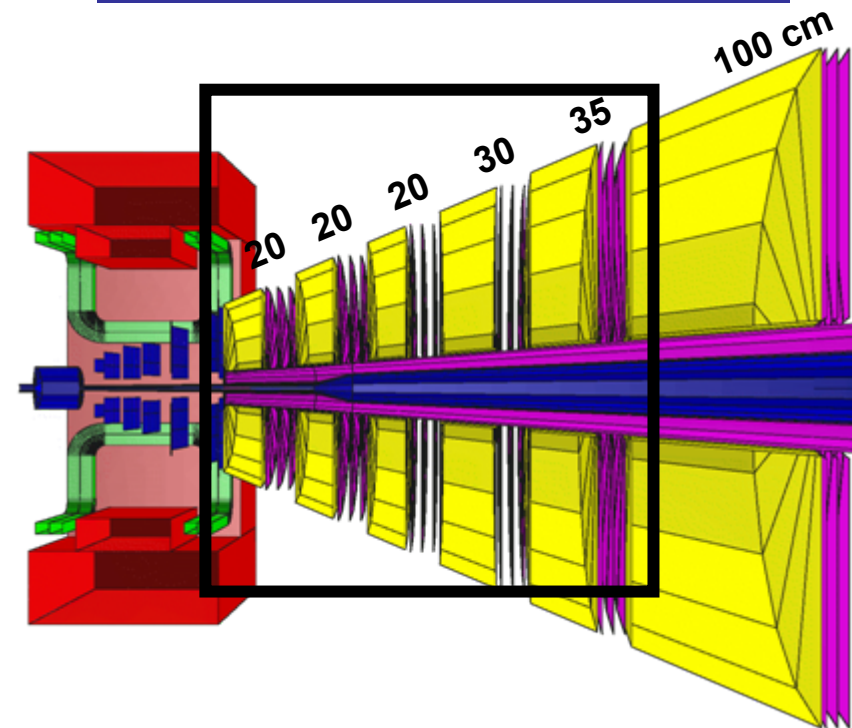
1. В мюонной системе **MUCH**

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

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 **GEM** или
GEM + MICROMEGAS детекторов в
каждой

Имеют падовую структуру (при
проектной **occupancy 5%** мин. размер
пада **2X3 мм²**, макс. – **50x50 мм²**)

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

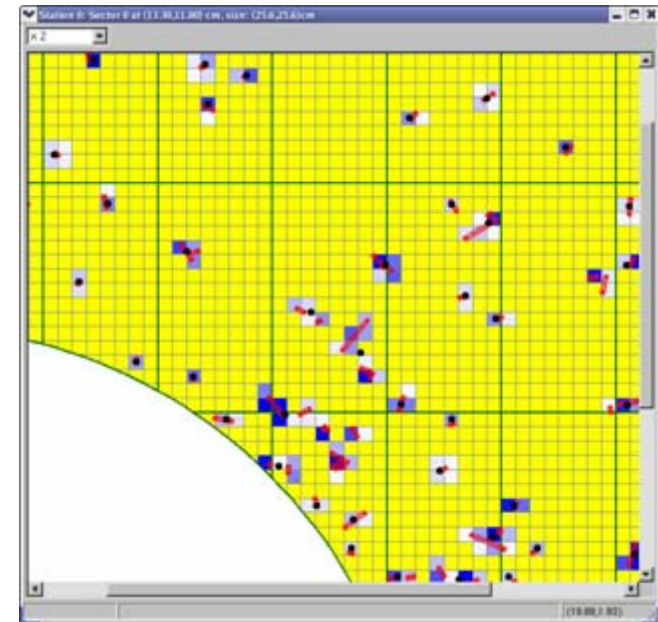
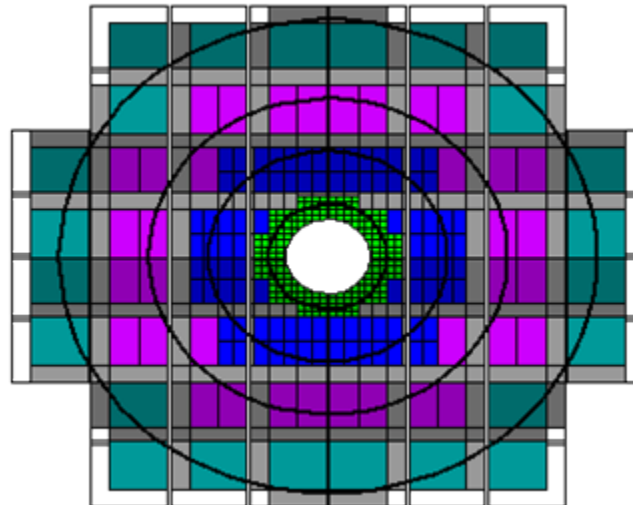
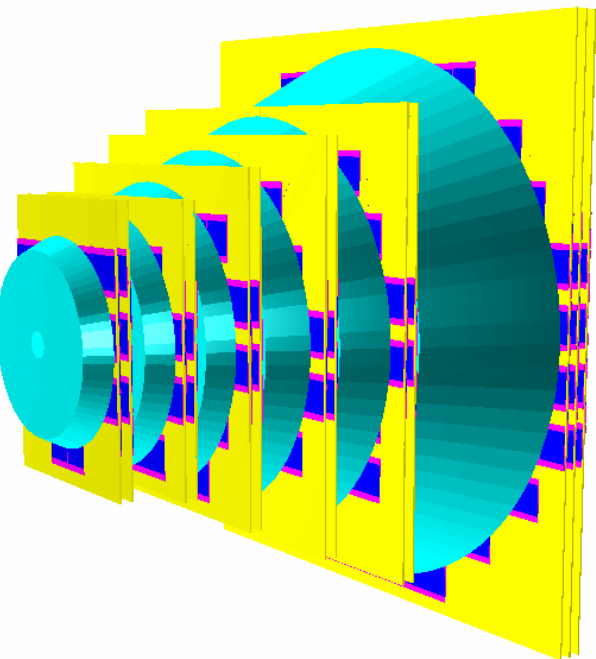
Число каналов электроники $\sim 5 \cdot 10^5$

Предполагаемый вклад ПИЯФ в мюонную систему

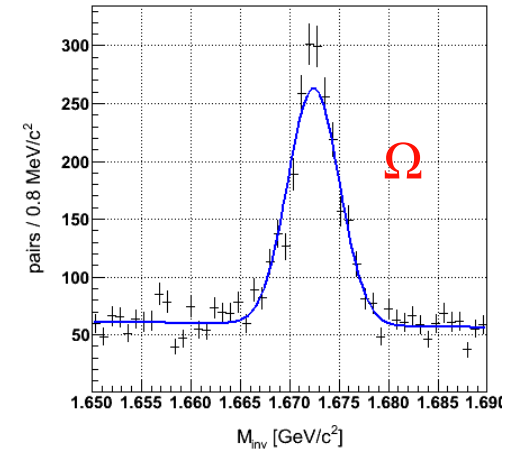
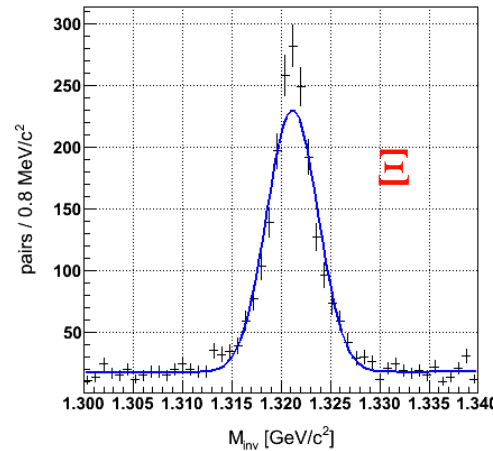
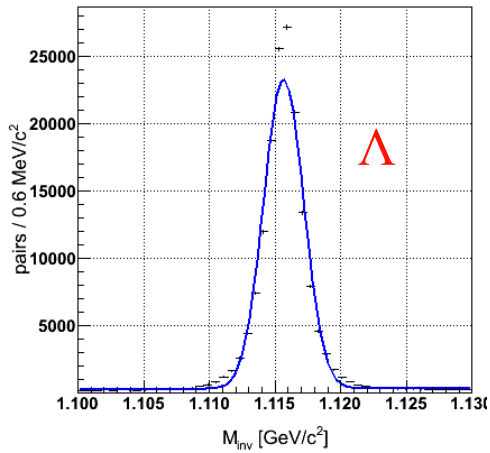
Items	Total cost k€	Indian contr. k€	Russian contr. k€	GSI contr. k€
absorbers incl. support	800	–	800 (100%)	?
straw tube detectors (100 m ²)	400	–	400 (100%)	–
fast micro–pattern detectors (40 m ²)	1000	500 (50%)	500 (50%)	–
Services:	1000			
HV system (5000 channels)		–	600 (100%)	?
LV system (100 channels)		–	300 (100%)	?
Cooling		100	–	–
gas supply system incl. controls	600	–	290 (48%)	310 (52%)
detector mechanics, mainframe	800	–	800 (100%)	–
FEE+read–out contr. (5X10 ⁵ channels)	2500	2500 (100%)	–	–
prototyping and tests	400	200 (50%)	200 (50%)	–
spare parts	500	250 (50%)	250 (50%)	–
Safety	100	–		100 (100%)
Alignment	200	–	200 (100%)	–
Transport	300	100 (33%)	200 (67%)	–
installation and commissioning	1000	400 (40%)	400 (40%)	200 (20%)
On–site infrastructure, cables, crates	500	250 ?	–	250 ?
R&D	500	250 (50%)	250 (50%)	–
Sum	10600	4550	5190	860

Software

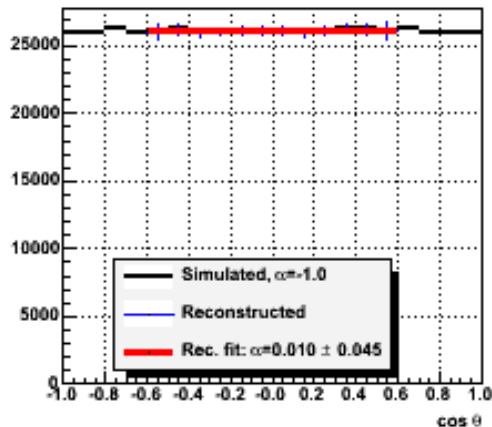
- Проанализированы ошибки реконструкции хитов для различных типов кластеров и гранулярности модулей.
- Разработан алгоритм проверки соответствия реконструированных треков Монте-Карло информации (необходимо для оценки эффективности восстановления треков)
- Продолжена работа по оптимизации структуры детектирующих слоев
- Проведен анализ эффективности реконструкции треков в детекторе MUCH
- Исследовано влияния мертвых зон детектора MUCH, связанных с модульной структурой, на примере эффективности реконструкции мюонов из распада J/ψ
- Осуществлялась поддержка программного обеспечения для детектора MUCH



Физические вопросы

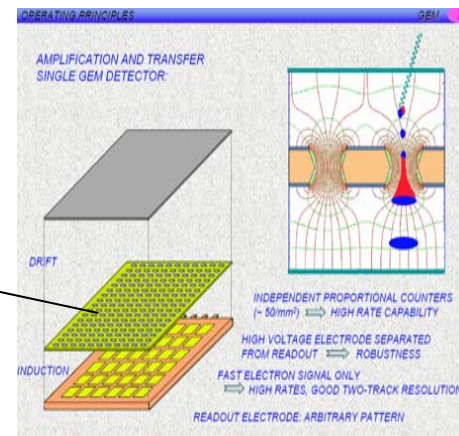
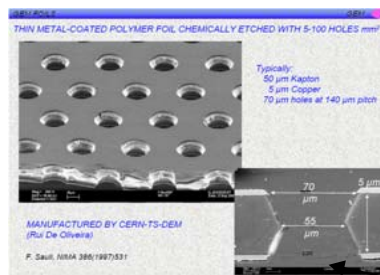
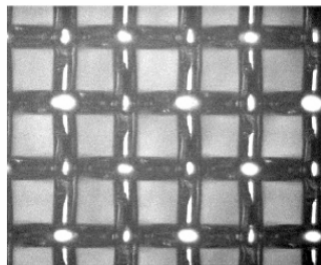
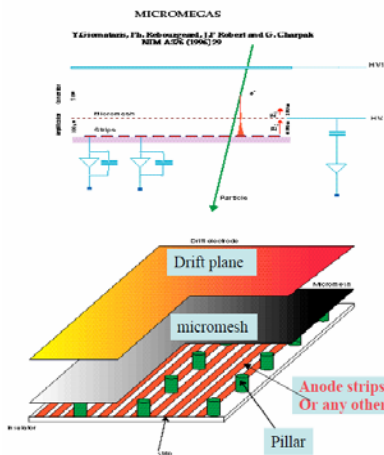


Reconstructed vs $\cos \theta$: $1.0 < pt < 2.0$

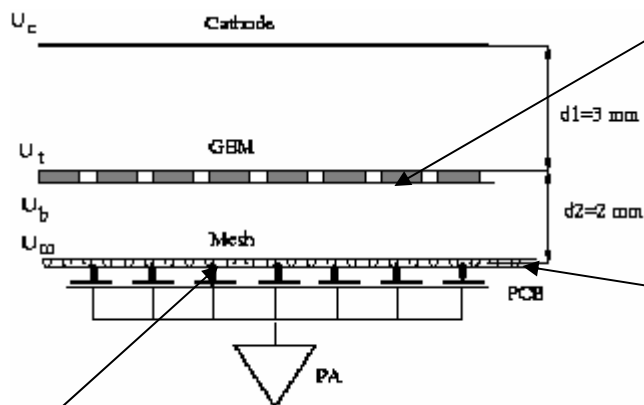


- На примере центральных Au-Au столкновений проведено исследование возможностей реконструкции Λ -, Ξ - и Ω - гиперонов в эксперименте CBM при энергиях SIS100.
- Проведен анализ возможностей реконструкции поляризации J/ψ в димюонном канале эксперимента CBM.

R&D - Выбор базового детектора для станций 1,2,3



GEM (10x10 см²) произведен в CERN



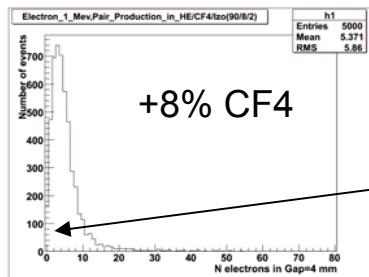
Для MICROMEGAS использована китайская сетка из нержавеющей стали (проволока - 22 µm в диаметре, ячейка - 64µm).

Задающие расстояние (75 µm) до анода столбики выполнены из фоторезиста травлением

Найдена газовая смесь $He/CF_4/iC_4H_{10}$, обладающая подходящими свойствами (в сравнении, например, с Ar/CO_2 смесью):

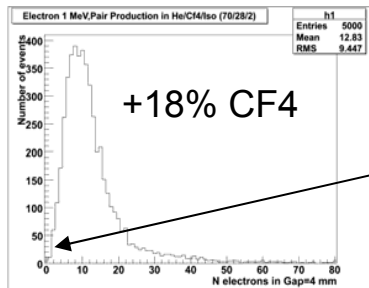
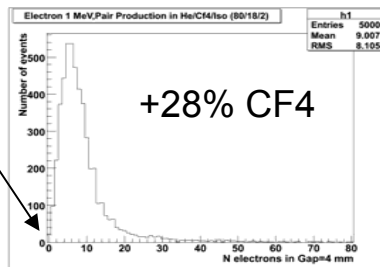
- Существенно ниже вероятность пробоя
- Достаточно малые времена сбора заряда (~ 100 нс)
- Почти в два раза меньше поперечная и продольная диффузия
- Те же значения коэффициента газового усиления достигаются при более низких полях (почти в 2 раза меньше энергия в разряде)

Неэффективность

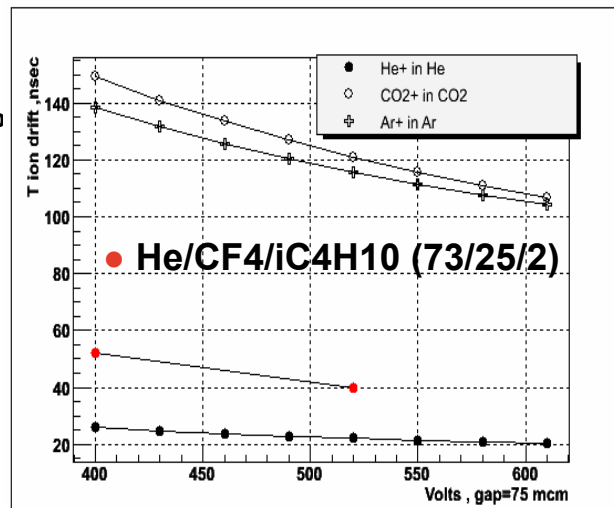
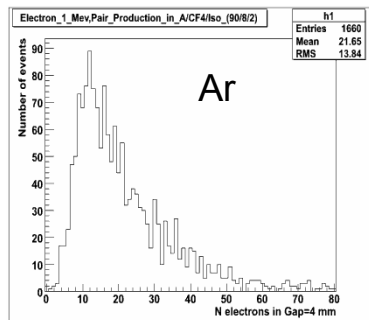


$\sim 0.06\%$

$\sim 3.3\%$



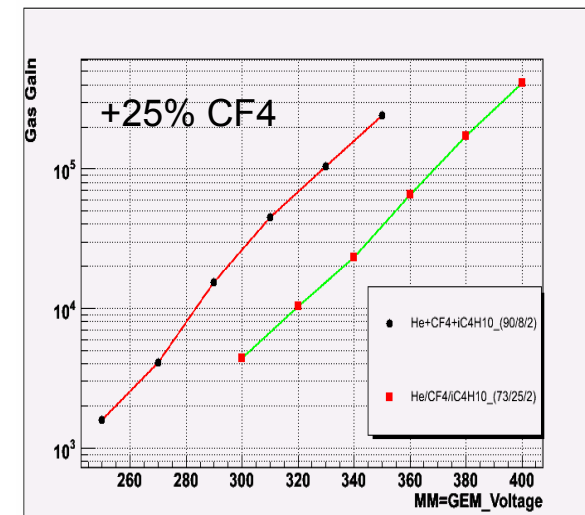
$\sim 0.36\%$



Доля с прошлого года!

Недостаток **He** по сравнению с **Ar** – почти в 4 раза ниже первичная ионизация

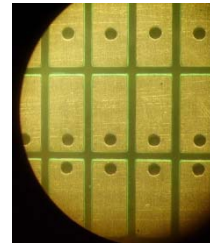
Требуется увеличение **% CF4**



Основная задача на 2010 г. – подготовка и пучковые испытания двух прототипов **GEM/Micromegas** и **TGEM/Micromegas**. Тестовый пучок в GSI – август 2010 г. Тестовый пучок в Гатчине – ?

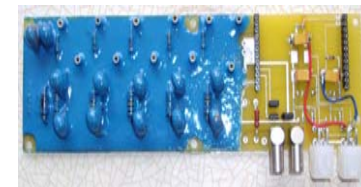
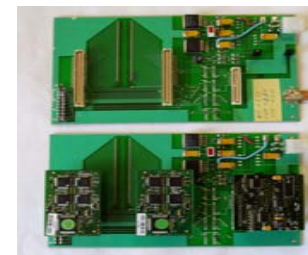
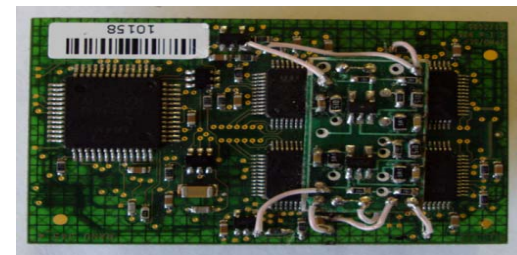
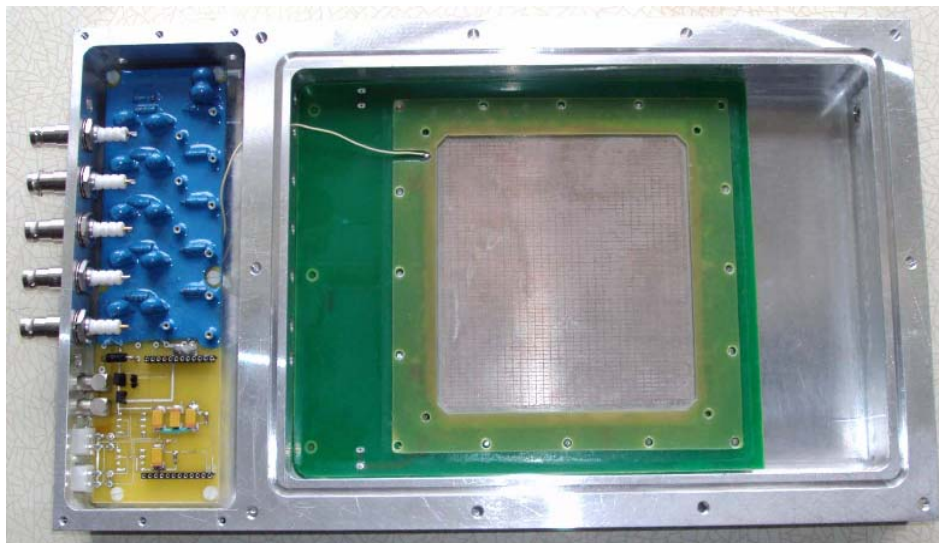
На начальном этапе (тестовый пучок в ПИЯФ) readout электроника ALICE

В GSI переход на NXYTER



Структура анода

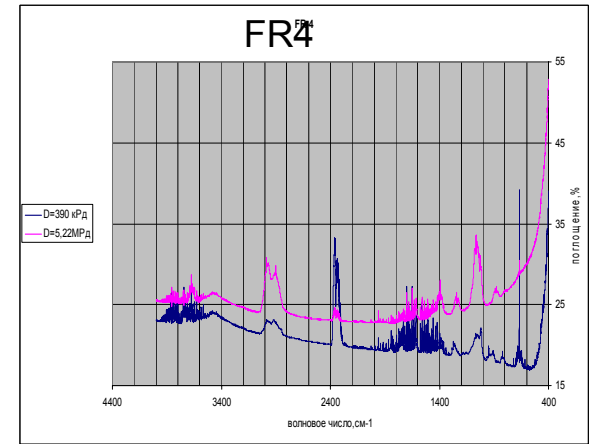
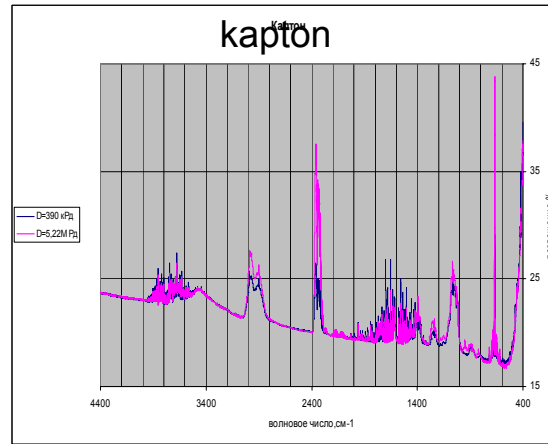
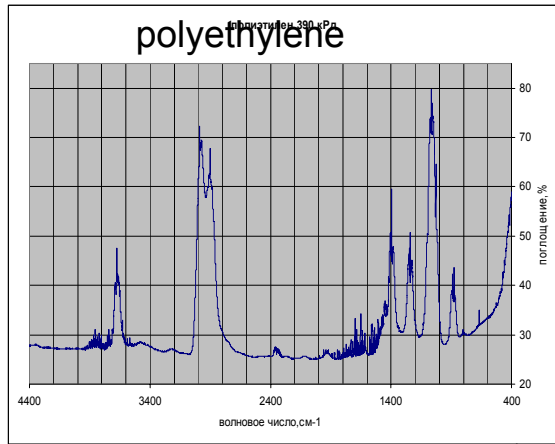
- 2048 падов
- Размер пада 1.5x 3 mm²
- Рабочая область 102x109 mm²



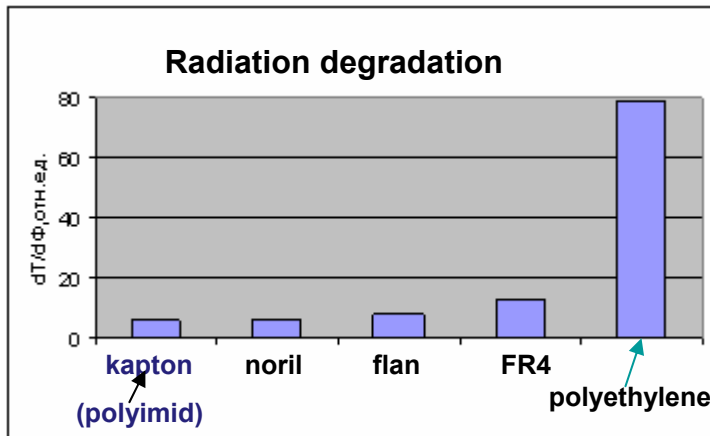
Радиационная стойкость материалов

$\text{Co}^{60}(E=1.25 \text{ MeV}) \rightarrow$ две экспозиции **390 krad** и **5.3 Mrad**

После облучения анализ выделяющихся продуктов методом инфракрасной спектроскопии



Red – 5.3 Mrad, blue -390 krad



Коэффициент радиационного разрушения после дозы облучения 5.3 Mrad

Цена флана и каптона в ~10 выше, чем FR4

Не существует фольгированного норила

Норил в ~2 раза дороже, чем FR4

Детектор RICH

В зоне ответственности ПИЯФ:

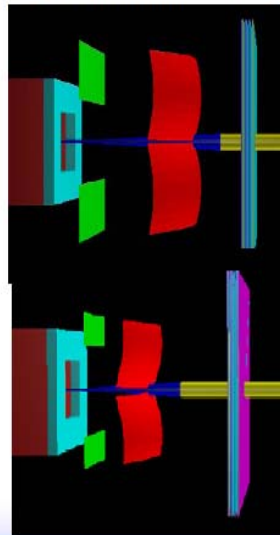
- Вся механика
- Газовая система
- Система юстировки

RICH layout

Reminder:

new – more compact layout developed based on CO₂ as gas radiator this way keeping the number of hits/ring

	Large	Compact
radiator gas	N ₂	CO ₂
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 ²]	22.8	11.8
photodetector size [m ²]	9	2.4
No. of channels	200k	55k



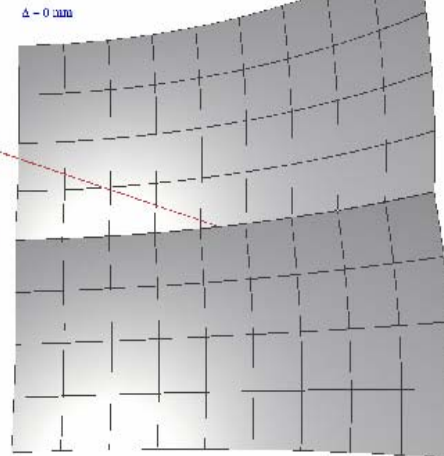
E. Belolaptikova, S. Lebedev, GSI

CBM RICH, trapezoid mirrors

B
C M

The main idea – latitude/longitude division:

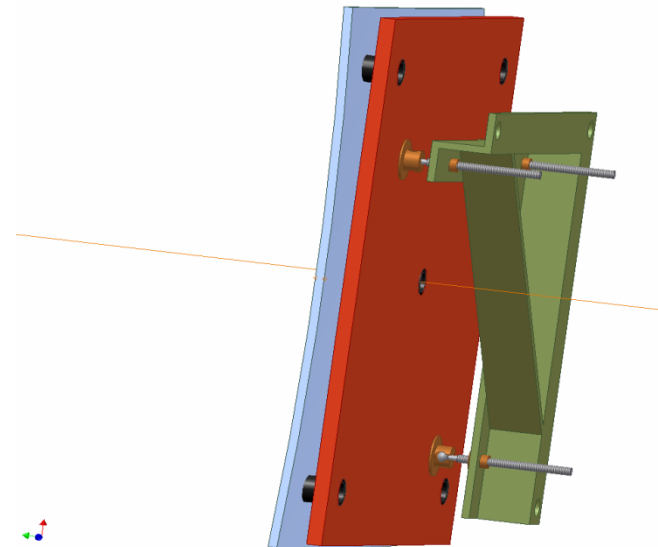
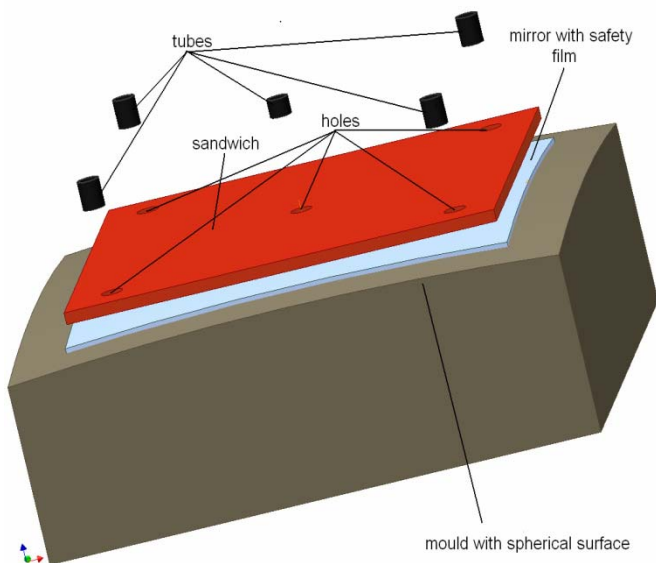
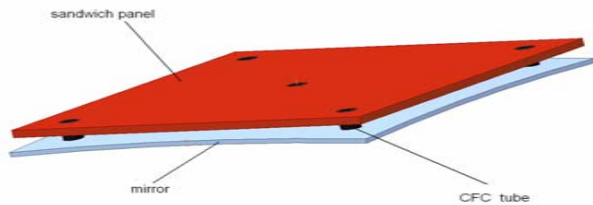
- the division of the goal spherical surface into units has the precise geometrical description;
- minimal gaps between mirror units, **the only technological gaps of 3 mm are needed;**
- the only 2 variants of the unit dimensions, the length of side is about 450 mm;
- no fitting cuts for units.



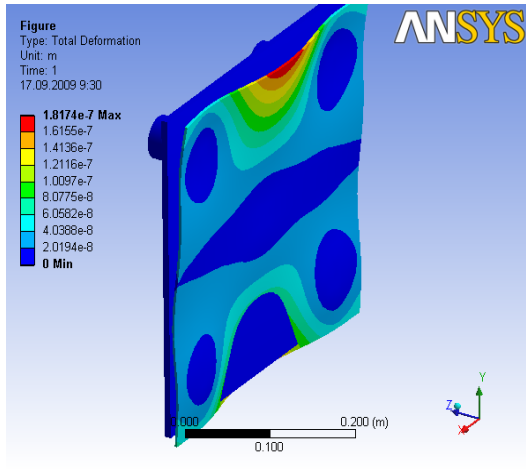
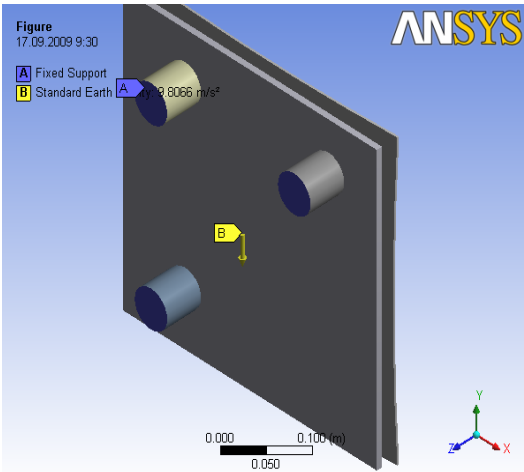
72 trapezoid units

На сегодняшний день предполагается использование тонких (3 мм) стеклянных зеркал

Разработана концепция подстройки и закрепления зеркал

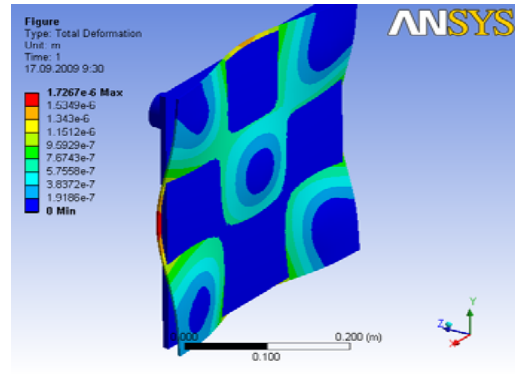
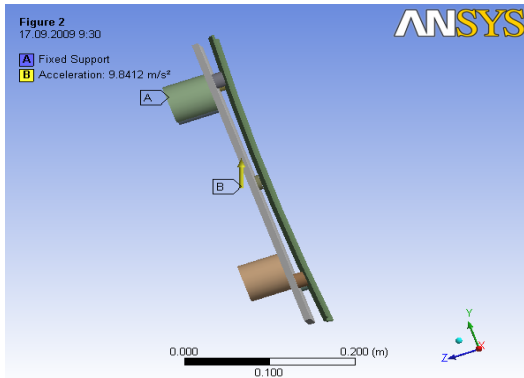


прототип механизма закрепления

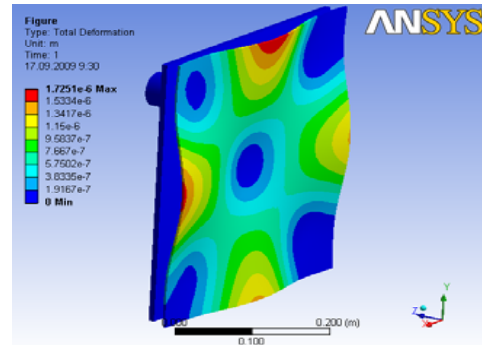
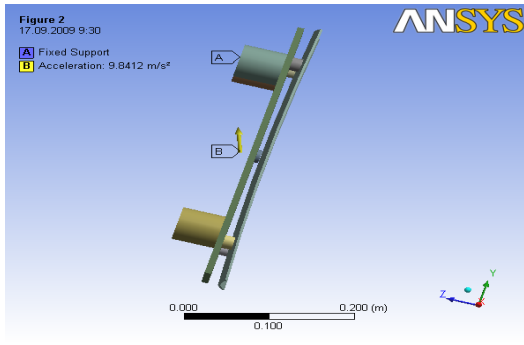


Проведено компьютерное моделирование деформации зеркал при их закреплении

← Вертикальное положение
Макс. отклонение ~ 0.2 мк



← Наклон +20°
Макс. отклонение <2 мк

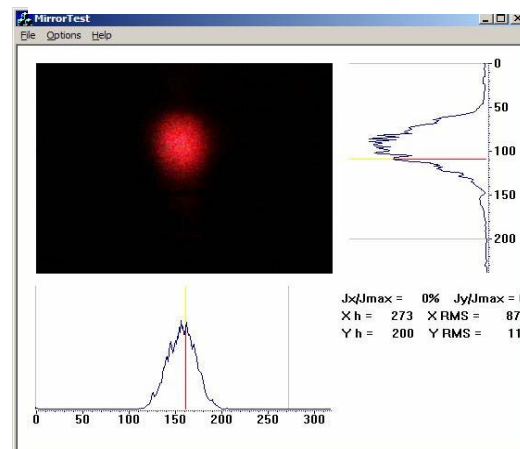
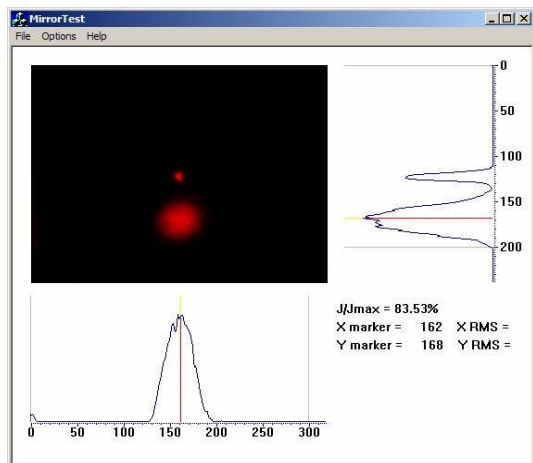
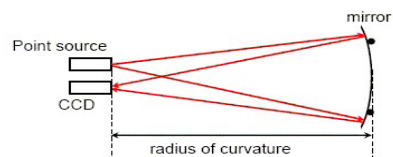
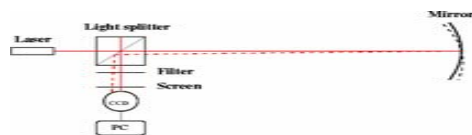
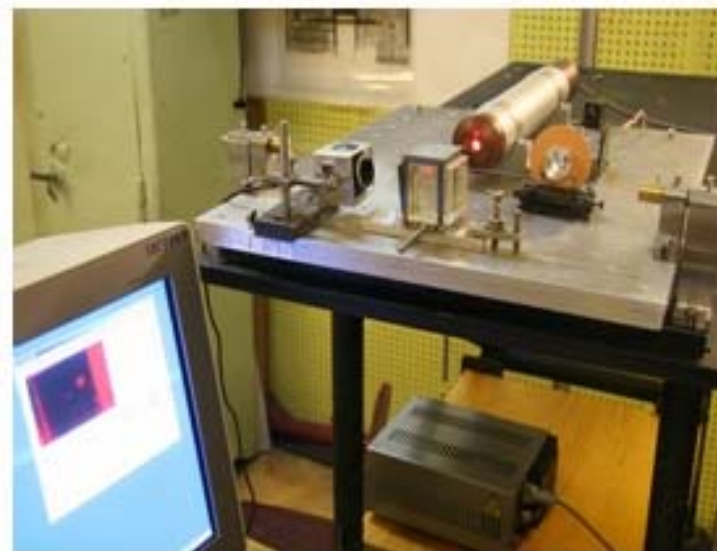


← Наклон -20°
Макс. отклонение <2 мк

Создан стенд оптических измерений,

позволяющий повороты в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 45^\circ$ и в вертикальной $\pm 10/-25^\circ$

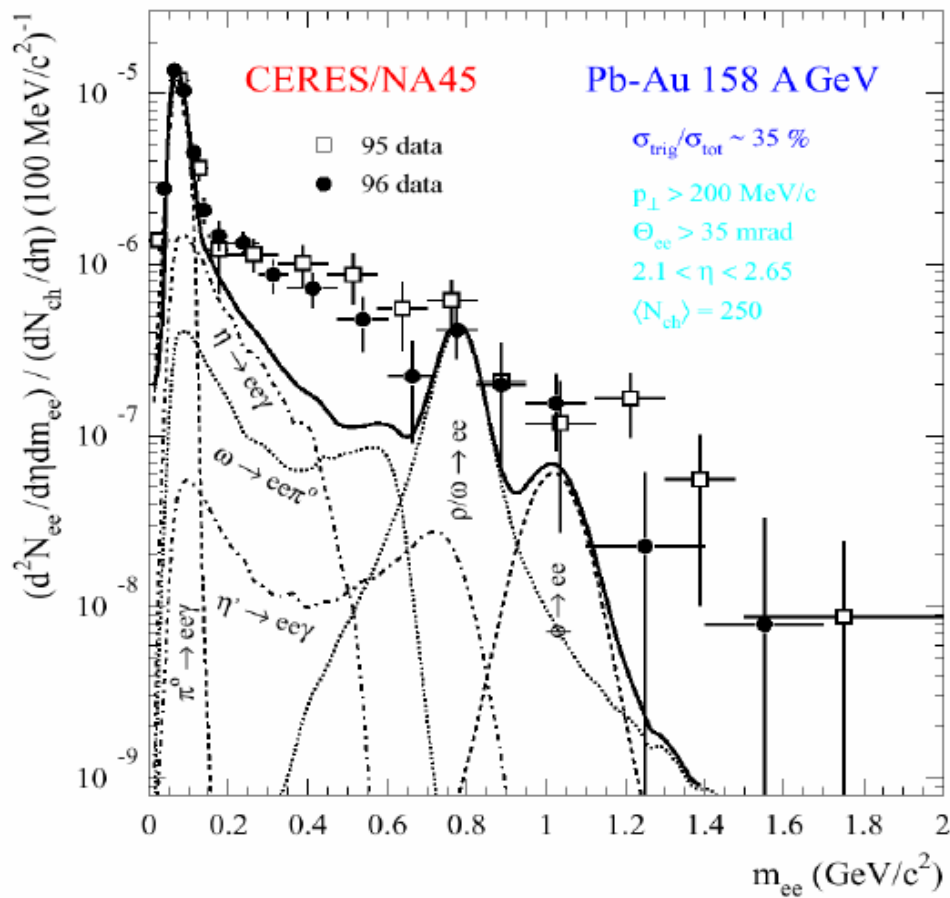
- Оптические характеристики зеркала при выбранной схеме крепления
- Оптические характеристики при различных наклонах зеркала
- Отработка процедуры подстройки
- Измерение временной стабильности



Планы на 2010 г.

- Продолжить оптимизацию мюонного детектора **MUCH**
- Формулирование окончательных требований на гранулярность и пространственное разрешение базовых детекторов трековой системы **MUCH**
- Подготовка и испытание на пучке прототипов детекторов для мюонной системы **MUCH**
- Создание и испытание на пучке прототипа детектора **RICH**

Back up

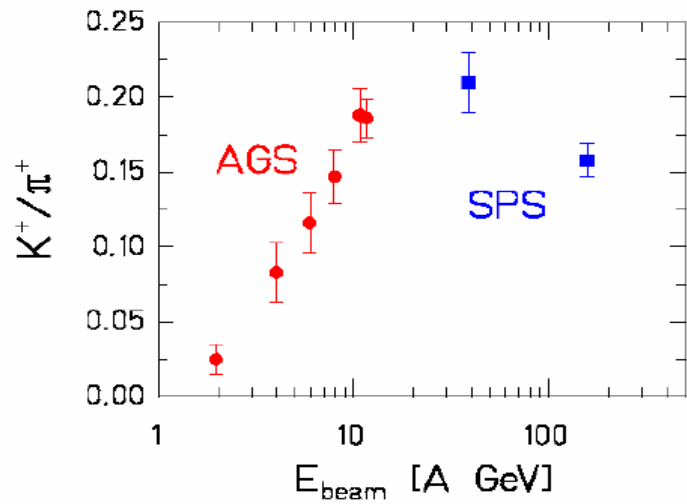


Дилептонные распады короткоживущих векторных мезонов – инструмент для изучения возможного восстановления киральной симметрии в плотной среде.

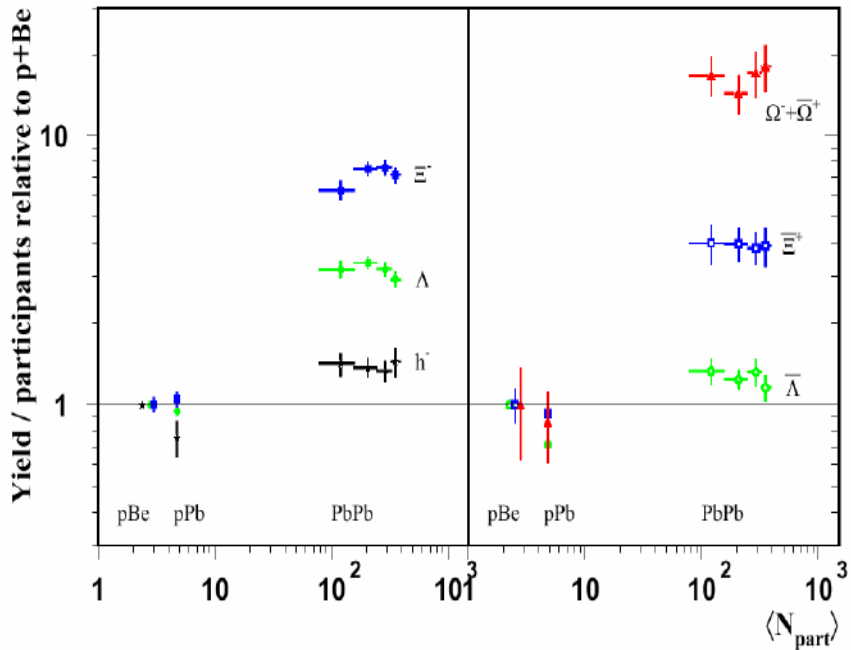
Модификация спектра инвариантной массы для $e^+e^- (\mu^+\mu^-)$ пар.

Диэлектронный спектр инвариантной массы, измеренный на SPS, в сравнении с ожидаемым

Au+Au (Pb+Pb) central collisions



Относительный рост рождения **странности** рассматривается как признак деконфаймента (рождение пар странных кварков в кварк-глюонной плазме энергетически выгодней, чем в адронной материи)

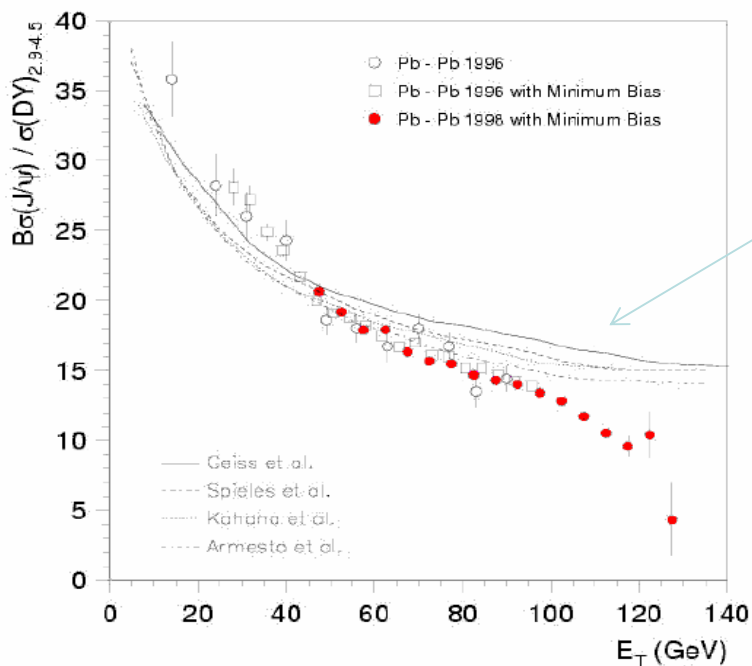


Эффект должен быть наиболее выражен для выхода **мульти-странных частиц**, как это и наблюдалось на SPS, NA49 и WA97/NA57

Рождение чарма – еще более чувствительный зонд горячей и плотной среды, создаваемой в столкновении тяжелых ионов.

Модификация D-мезонов – восстановление киральной симметрии

Подавление выхода чармониума - признак существования кварк-глюонной плазмы



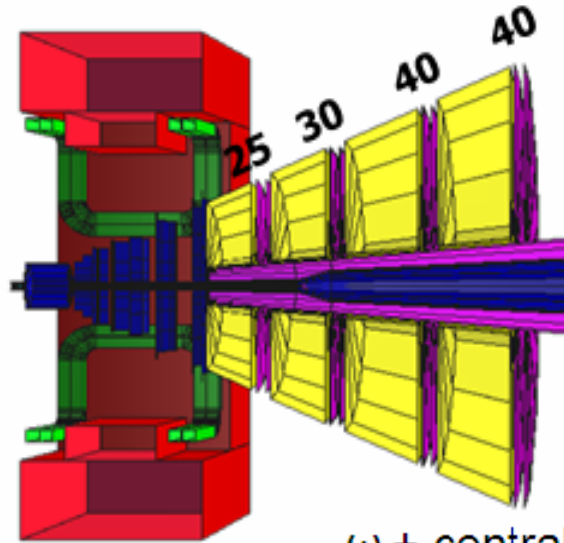
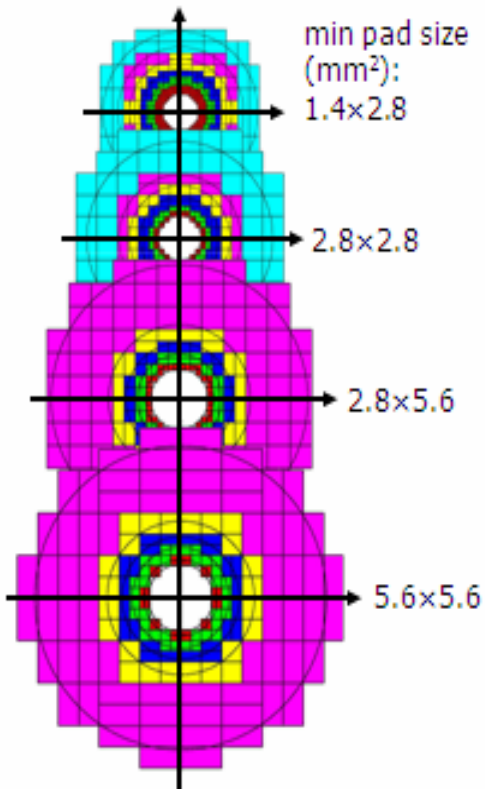
Выход J/Ψ -мезонов в зависимости от поперечной энергии. Кривые – результаты расчетов с учетом поглощения J/Ψ в адронной материи.

Table 3.2: Expected J/ψ count rates for Au+Au at 25 GeV/u. The corresponding values for the CERN experiment NA50 [46] are shown for comparison.

	25GeV/u Au+Au	158 GeV/u Pb+Pb
J/ψ multiplicity (central collisions)	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$
beam intensity	$5 \cdot 10^8/s$	$2 \cdot 10^7/s$
interactions	$1 \cdot 10^7/s$ (2%)	$2 \cdot 10^6/s$ (5%)
central collisions	$1 \cdot 10^6/s$	$1 \cdot 10^5/s$
J/ψ rate	15/s	100/s
6% $J/\psi \rightarrow e+e-$ ($\mu+\mu-$)	0.9/s	6/s
spill fraction	0.8	0.25
acceptance	0.20	0.15
J/ψ measured	0.14/s = $8 \cdot 10^4/\text{week}$	0.22/s = $1.3 \cdot 10^5/\text{week}$

MuCh 25 30 40 40

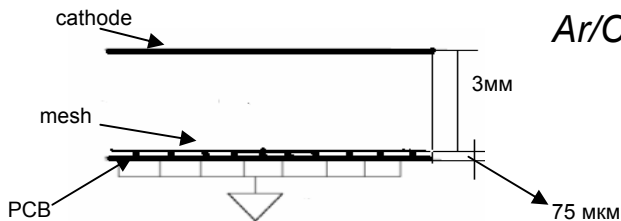
N_{channels} 439 296 \rightarrow 272 384



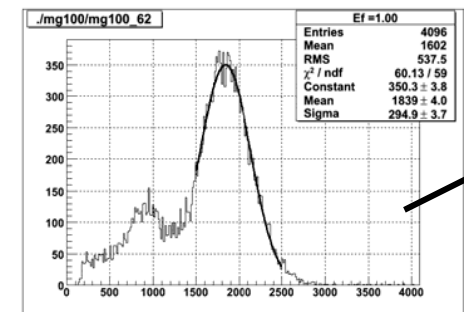
ω + central Au+Au collisions at 25 AGeV

	standard compact MuCh	MuCh 25 30 40 40
S/B	0.095	0.094
ϵ_{ω} , %	1.9	1.8

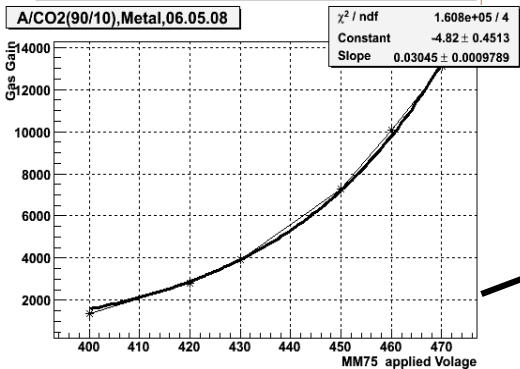
MICROMEGAS



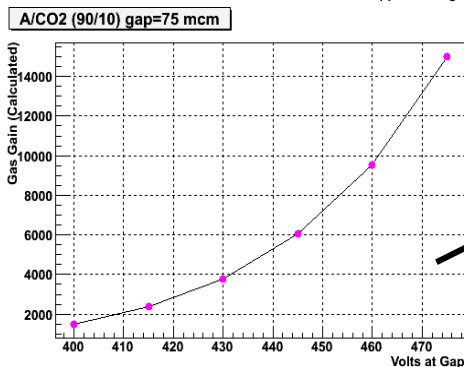
Ar/CO2 (90%/10%), ⁵⁵Fe



Пример амплитудного спектра (энергетическое разрешение ~15%)

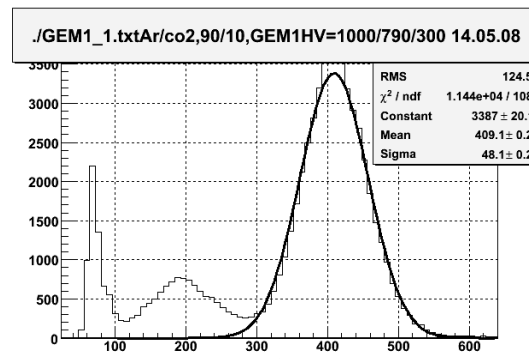
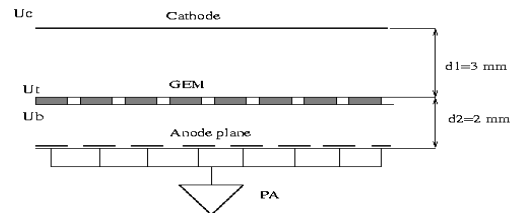


Зависимость КГУ от напряжения на MICROMEGAS

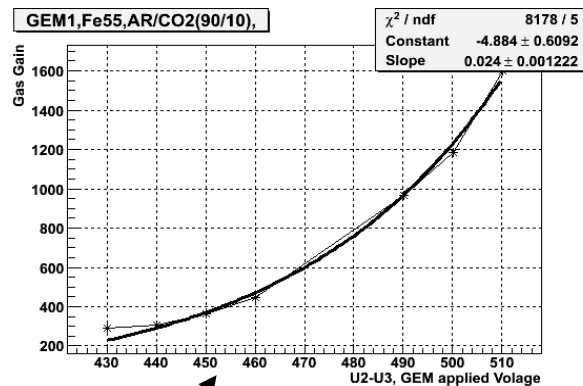


Расчетная (Magbolz) зависимость КГУ согласуется с измеренной

GEM

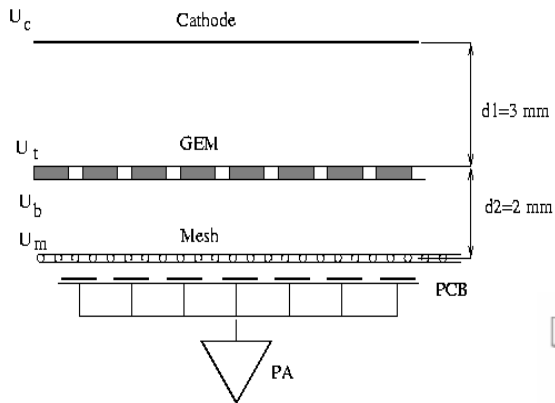


энергетическое разрешение ~12%

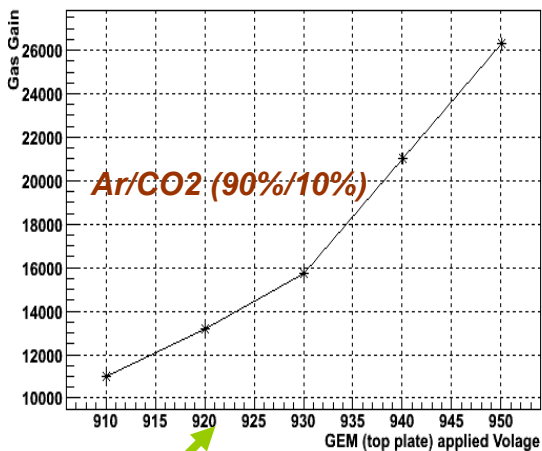


Зависимость КГУ от напряжения, приложенного к GEM

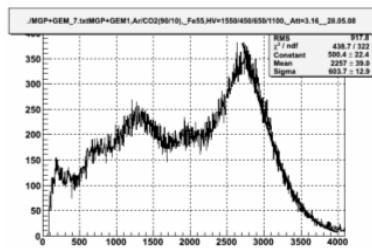
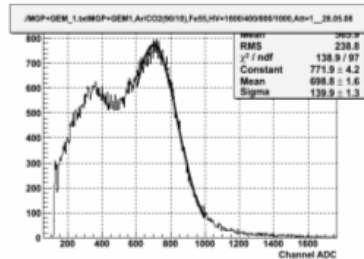
Комбинация GEM+MICROMEGAS



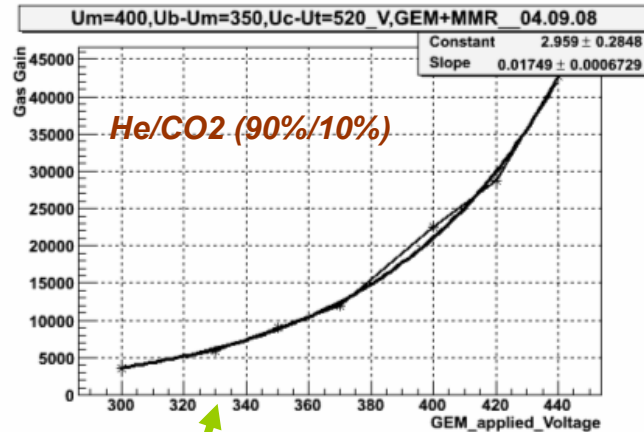
19.05.08 Voltage Ucmmg2=1200,400,500



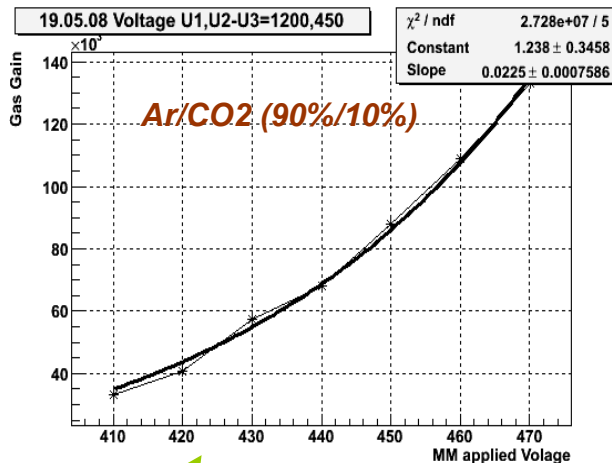
КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к GEM
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_b=500\text{ V}$, $U_m=400\text{ V}$,



Амплитудные спектры (^{55}Fe), измеренные при разных напряжениях на MICROMEGAS
Ar/CO2 (90%/10%)

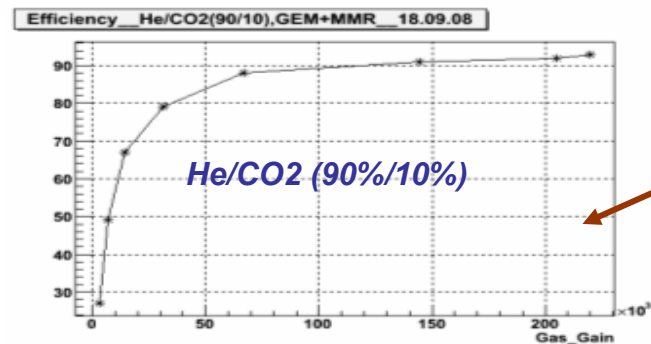
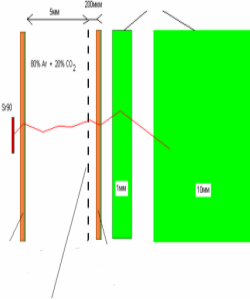
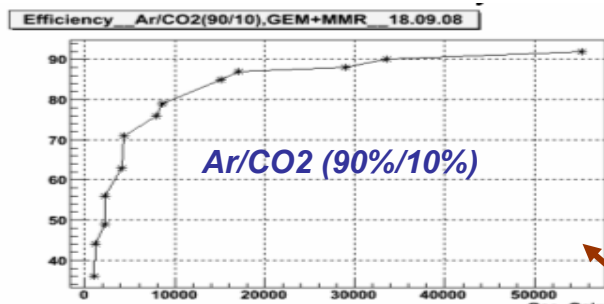


КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к GEM
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_b=500\text{ V}$, $U_m=400\text{ V}$,

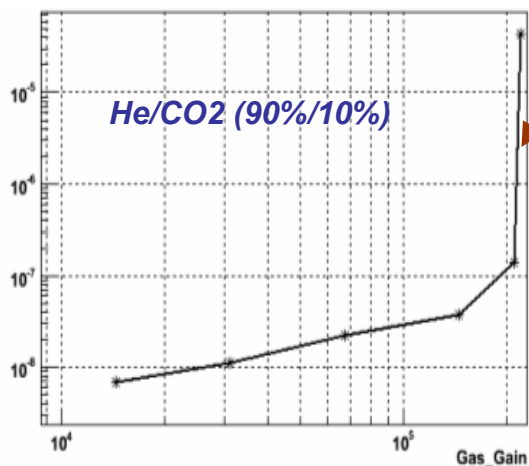
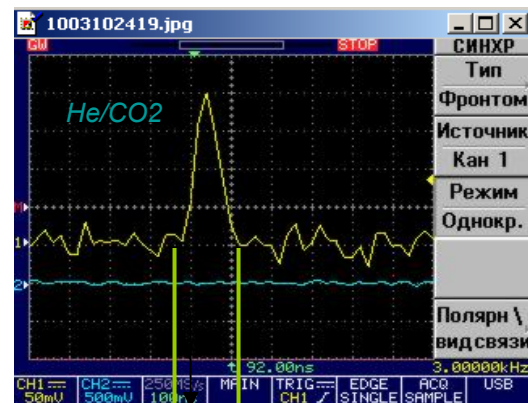
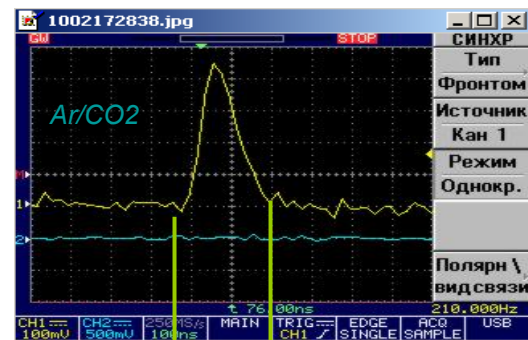


КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к MICROMEGAS
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_t - U_b=450\text{ V}$,

Оценка эффективности и вероятности разряда

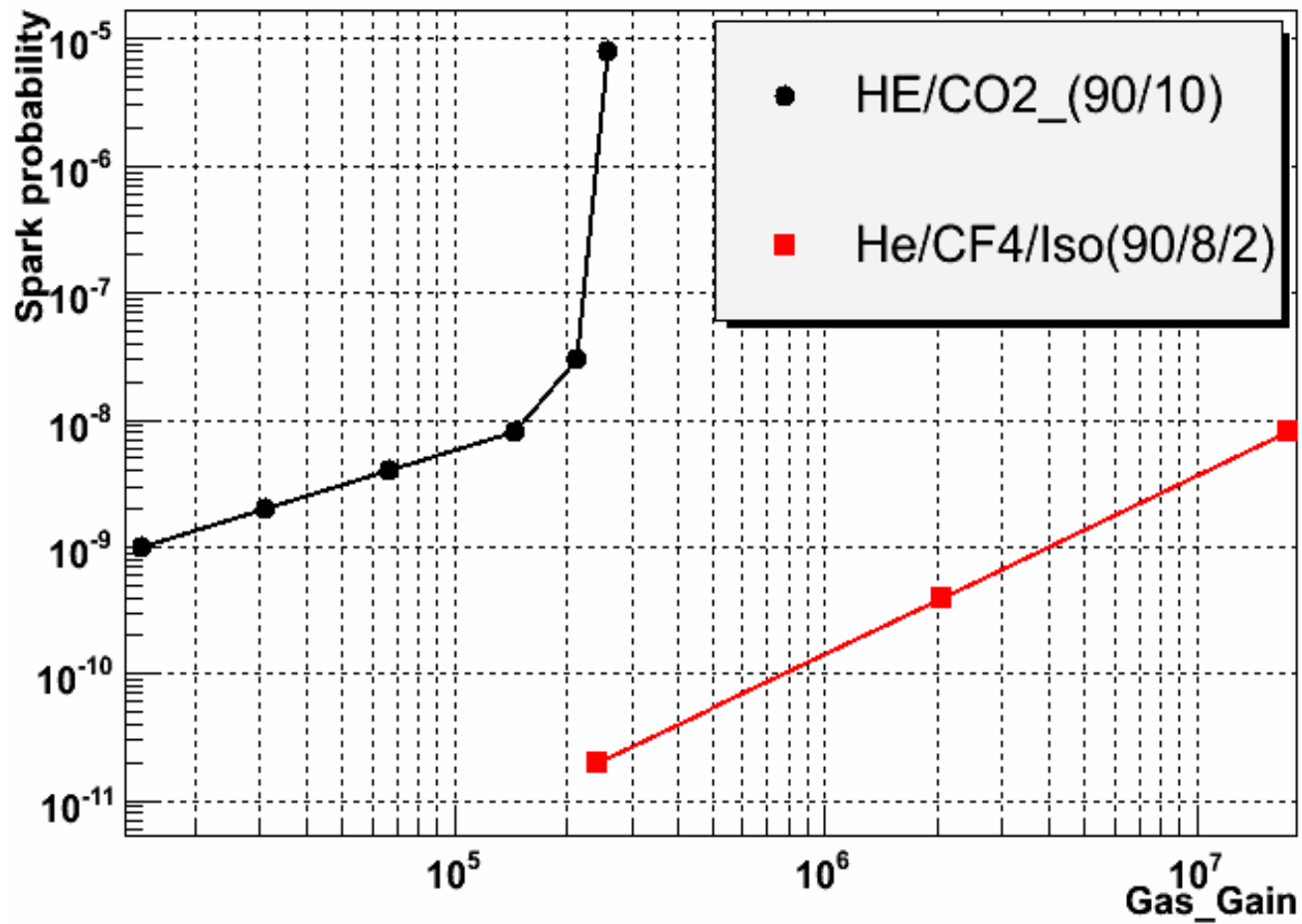


Зависимость
эффективности от КГУ
(β -источник ^{90}Sr)



Вероятность разряда в
зависимости от КГУ

^{55}Fe ($5 \cdot 10^3$ 1/s) + β -источник ^{90}Sr ($3 \cdot 10^4$ 1/s)
Вероятность разряда оценивалась как отношение
числа разрядов (за разряд принимался сигнал,
превосходящий установленный высокий порог) к
общему числу зарегистрированных сигналов

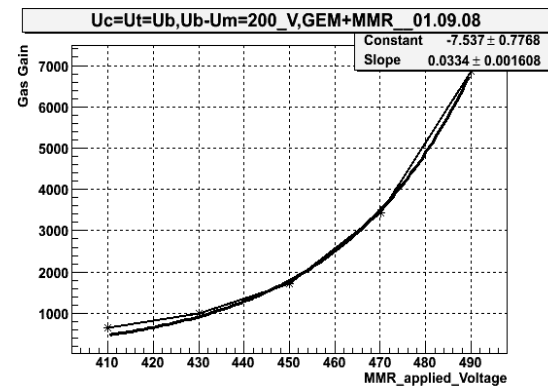
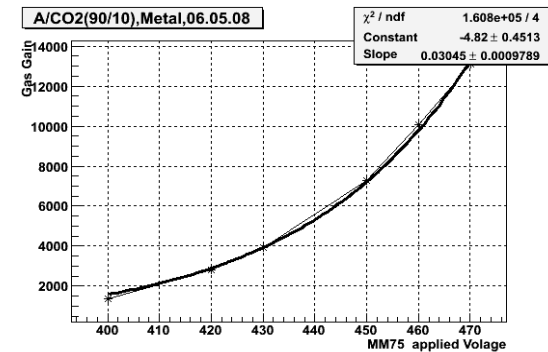




**α - source ^{241}Am (5.5 MeV)
response (gas gain $\sim 6 \cdot 10^4$)**

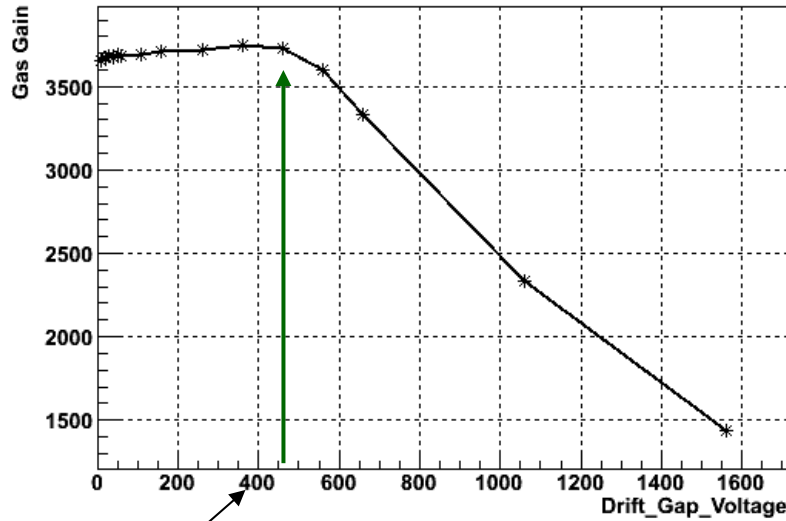
At the following stage for Micromegas we used **rolled mesh of Russian production** – stainless steel (wire - 32μ in diameter and cell - 64μ).

We saw the difference in gas gain of ~ 4 times for the same voltage applied in comparing to previous case (wire - 30μ in diameter and cell – 50μ). Qualitatively it looks reasonable. But quantitative estimations we will get later in special measurements for set of different mesh dimensions.



Ar/CO2 (90%/10%)

Um=350,Ub=550,Ut=940,GEM+MMR_02.09.08

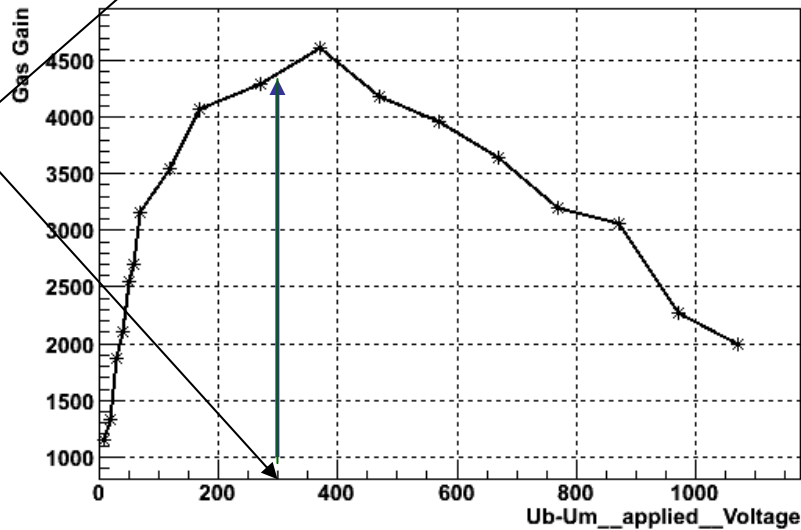


Ar/CO2 (90%/10%)

GG vs. Voltage applied to the cathode.

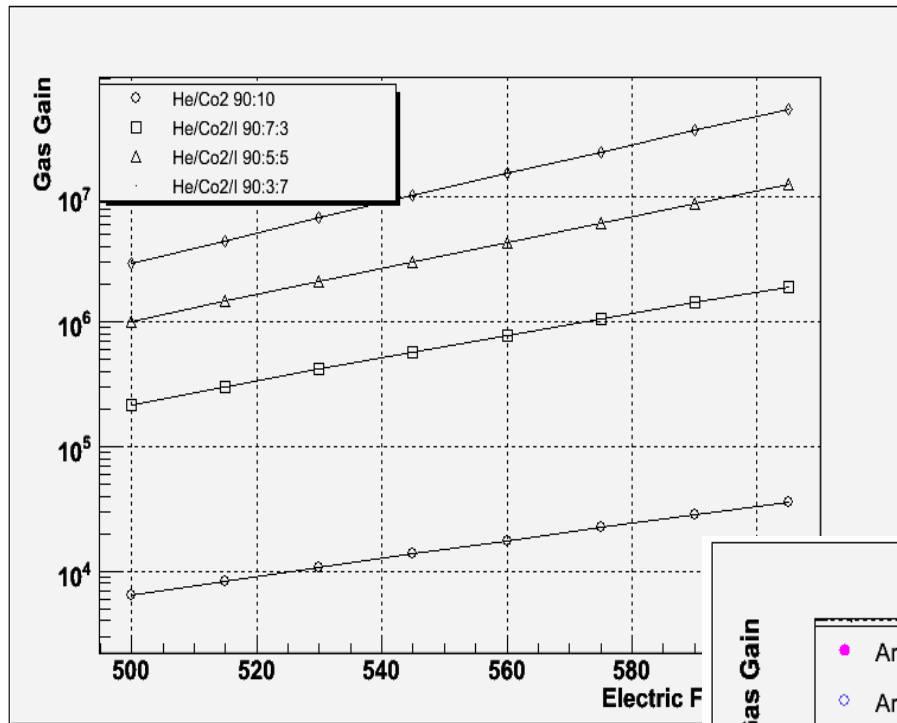
The modest GG Value (Um=350 V, Ugem=390 V)

Um=350,Ut-Ub=390,Uc-Ut=300,GEM+MMR_02.09.08



Working points

The same as previous but variable Voltage between GEM and Mesh



Gas gain is not a problem and we can have it as high as we want.

Use of 3 component gas mixture with small portion (~ 5%) of isobutane gives about two order for gas gain in He at the same voltage.

Using isobutane in working gas mixture should considerably put down working voltage to make lower discharge energy

