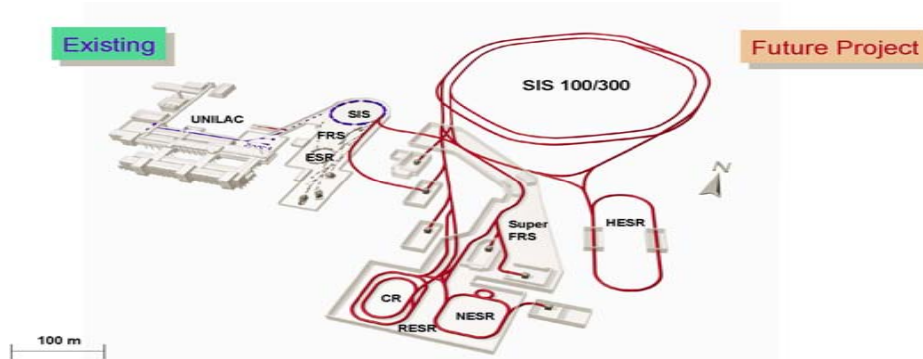


FAIR – Facility for Beams of Ions and Antiprotons – принятый к осуществлению проект стоимостью ~1200 М€ в GSI, Дармштадт. Официальное начало строительства – 07.11.2007 г.



Существующий ускорительный комплекс GSI, содержащий линейный ускоритель UNILAC, синхротрон тяжелых ионов SIS18, фрагмент-сепаратор FRS и накопительное кольцо ESR (показано серым), и новый проект, включающий двойное кольцо синхротронов SIS100/300, высокоэнергичное накопительное кольцо HESR, коллекторное кольцо CR, новое накопительное кольцо NESR и фрагмент-сепаратор Super-FRS (показано красным).

Первичные пучки

- $10^{12}/s$, 1.5–2 GeV/u, ионы до ^{238}U
- $2 \times 10^{13}/s$, 30 GeV, протоны
- вплоть до 90 GeV, протоны
- $10^{10}/s$, 8 - 40 GeV/u, ионы до ^{238}U

Вторичные пучки

- широкий набор радиоактивных пучков, 1.5–2 GeV/u
- антипротоны, 3–30 GeV

Накопительные кольца

- радиоактивные пучки
- e-A коллайдер
- $10^{11}/s$, накопленные и охлажденные антипротоны, 0.8–14.5 GeV

CBM (Compressed Baryonic Matter) – эксперимент по ядро-ядерному взаимодействию на выведенном пучке ядер (вплоть до урана) с энергией **8 - 40 ГэВ/у** (SIS100/300).

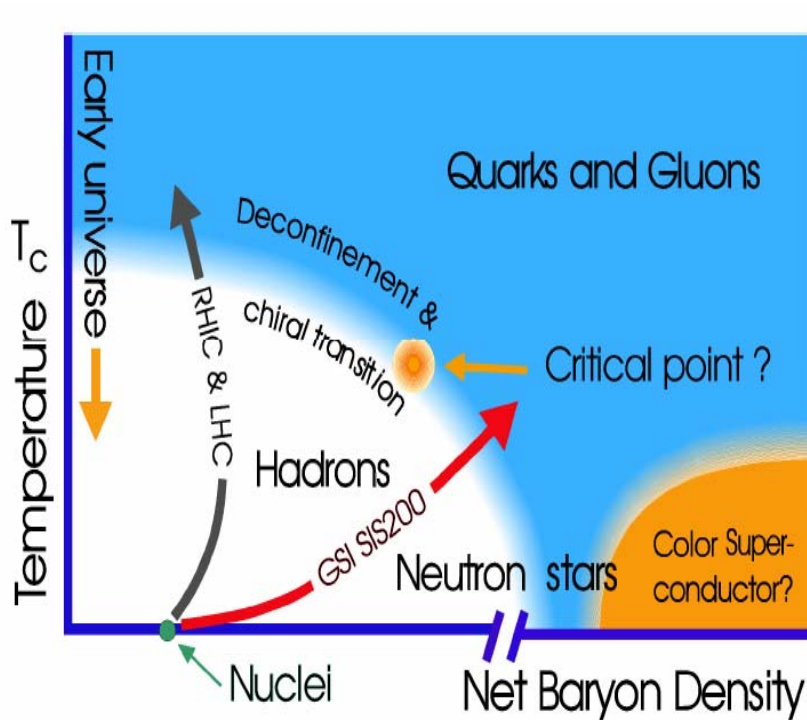
SIS18 (fixed target, GSI) – до 2 GeV/u
AGS (fixed target, BNL) – до 15 GeV/u
SPS (fixed target, CERN) – до 160 GeV/u
RHIC (collider, BNL) – до 200 GeV/u
LHC (collider, CERN) – до 3 TeV/u

Начало эксперимента планируется на 2014 (2015) г. с запуском **SIS100**.

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

Начальная фаза эксперимента – ныне действующая экспериментальная установка **HADES**, размещенная перед мишенью CBM, для области энергий **2 -7 ГэВ/у** и, возможно, усеченный вариант CBM.

CBM – изучение сверхплотной ядерной материи, создаваемой при энергии **SIS300** в центральных столкновениях тяжелых ионов (барионная плотность, сравнимая с плотностью в сердцевине нейтронных звезд и в ~ 10 раз превосходящая 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.

SPS, 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.

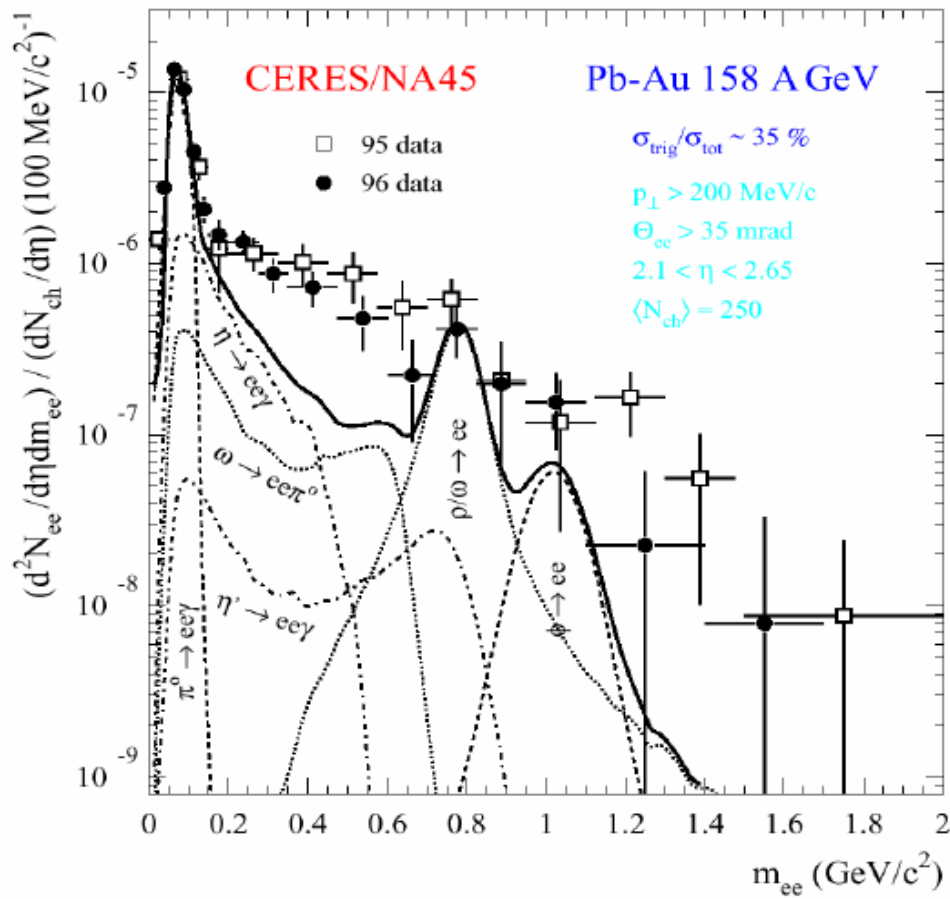
SIS18, AGS, FAIR

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

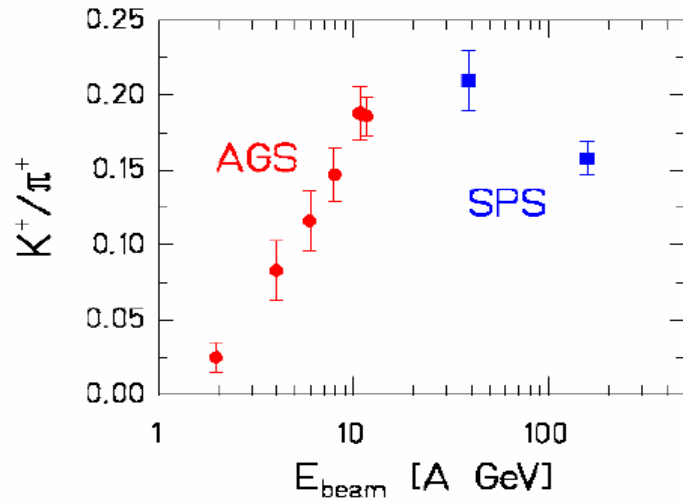


Дилептонные распады короткоживущих векторных мезонов – инструмент для изучения возможного восстановления киральной симметрии в плотной среде.

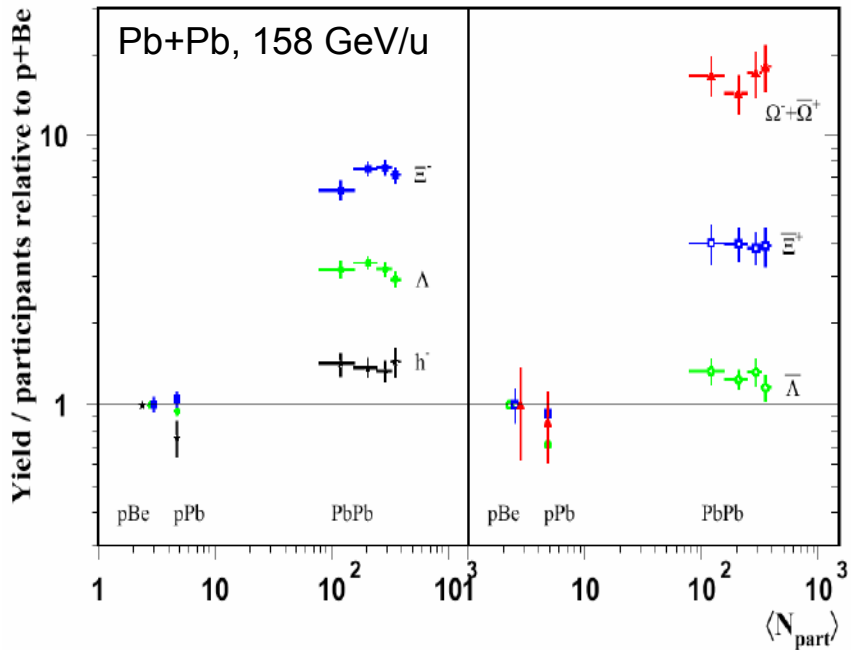
Модификация спектра инвариантной массы для e^+e^- ($\mu^+\mu^-$) пар.

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)

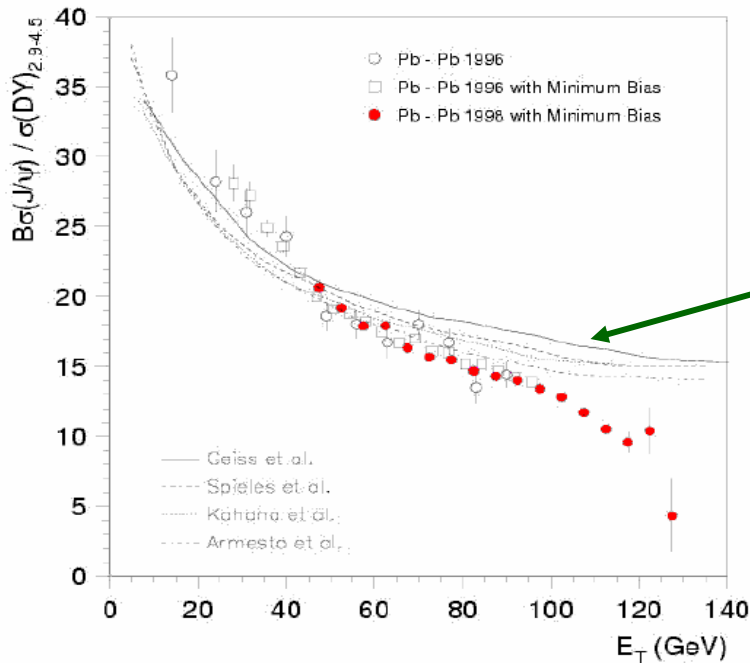


Эффект должен быть наиболее выражен для выхода **мульти-странных частиц**, как это и наблюдалось на SPS, NA49 и WA97/NA57

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

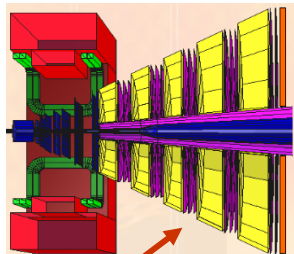


Выход J/Ψ -мезонов в зависимости от поперечной энергии.
Кривые – результаты расчетов с учетом поглощения J/Ψ в адронной материи.

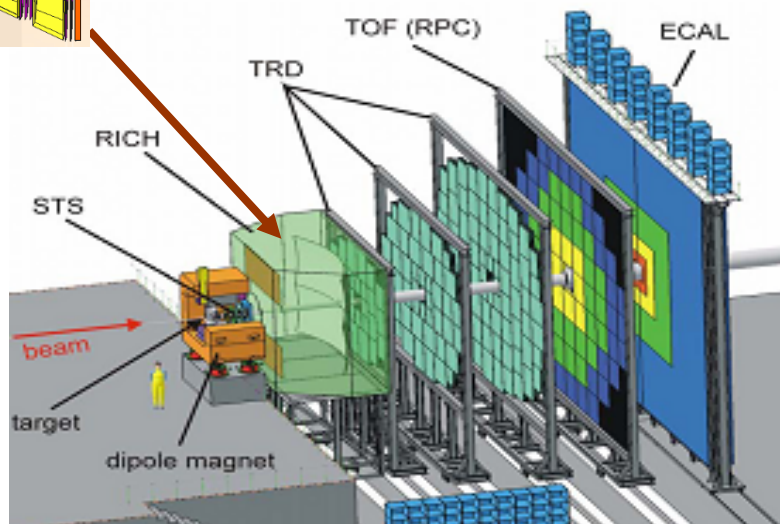
Table 3.2: Expected J/ψ count rates for Au+Au at 25 GeV/u. The corresponding values for the CERN experiment NA50 [46] are shown for comparison.

	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 = $1.3 \cdot 10^5/\text{week}$

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

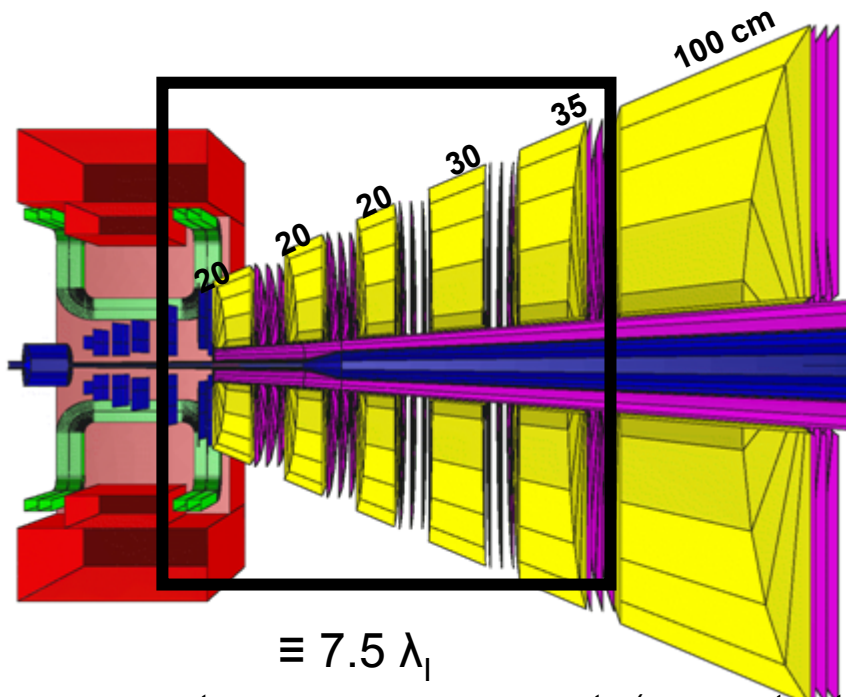
MUCH (Muon Chambers) – **изучение мюонных мод распада.**

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.

Участие ПИЯФ на сегодняшний день:

1. В мюонной системе **MUCH**
 - оптимизация абсорбера и трековой системы
 - R&D базовых трековых детекторов
 - проектирование трековой системы **MUCH**
2. В детекторе **RICH** - дизайн механики
3. В детекторе **TRD** – R&D трековых детекторов на основе **straw**
5. Обсуждается участие в системах газоснабжения
6. Обсуждается участие в разработке и производстве электроники

Standard Muon Chambers (MuCh) system



$\cong 13.5 \lambda_I$

5% occupancy for central Au+Au collisions at 25 AGeV

Fe

min pad
 $1.4 \times 2.8 \text{ mm}^2$

max pad
 $44.8 \times 44.8 \text{ mm}^2$

Total number
of channels:
480 768

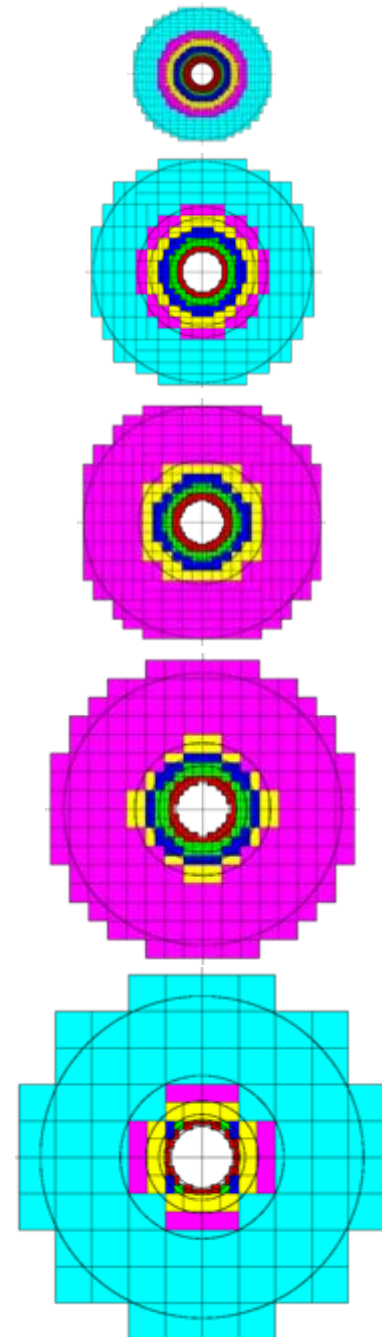
$\cong 7.5 \lambda_I$

low-mass vector meson measurements (compact setup)

Track statistics / central event

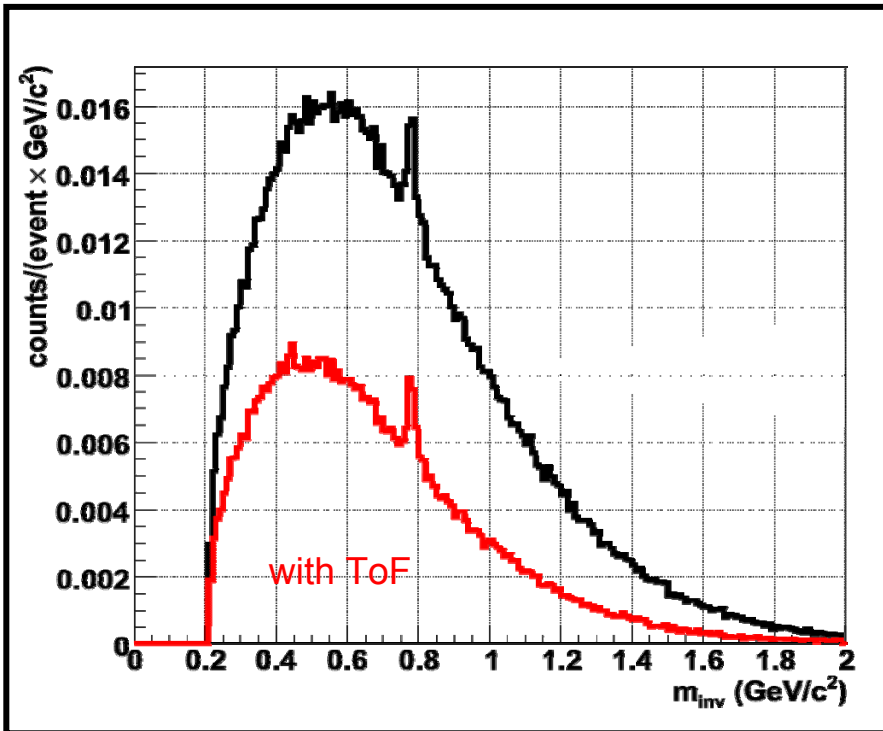
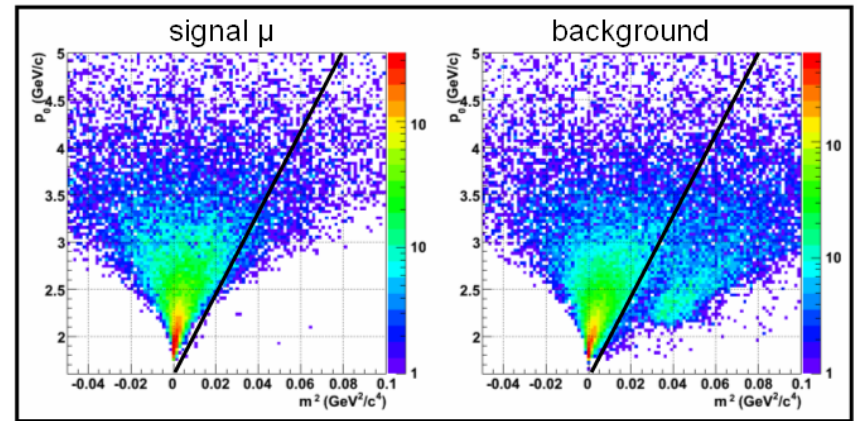
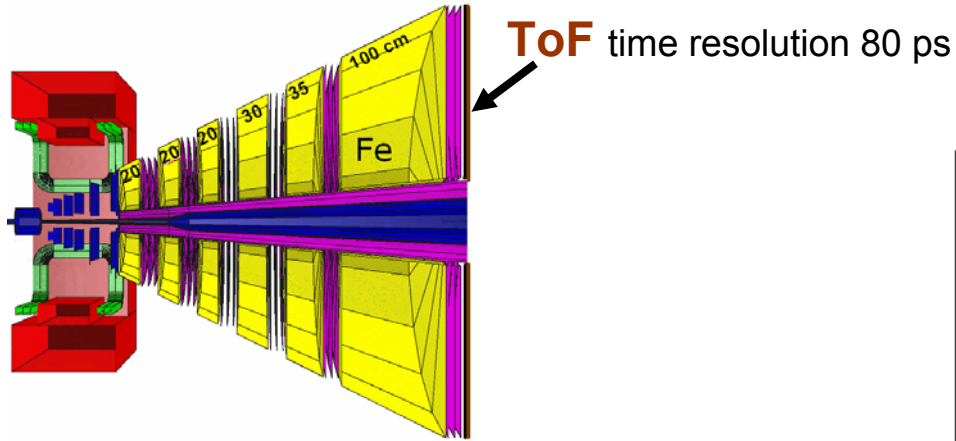
	1	2	3	4	5	6
Total	691	186	65	15.9	5.16	1.853
Primary	105	26	8	2.4	1.54	1.251
Secondary	586	161	57	13.5	3.62	0.601
Protons	114	44	15	2.9	0.51	0.030
Pions	179	52	15	2.6	0.39	0.029
Electrons	372	76	26	5.9	1.53	0.291
Muons	10	7	5	3.6	2.52	1.498
Kaons	15	7	3	0.9	0.22	0.005

Track statistics after the first absorber is dominated by secondary electrons (electromagnetic shower)



Time measurements in MuCh

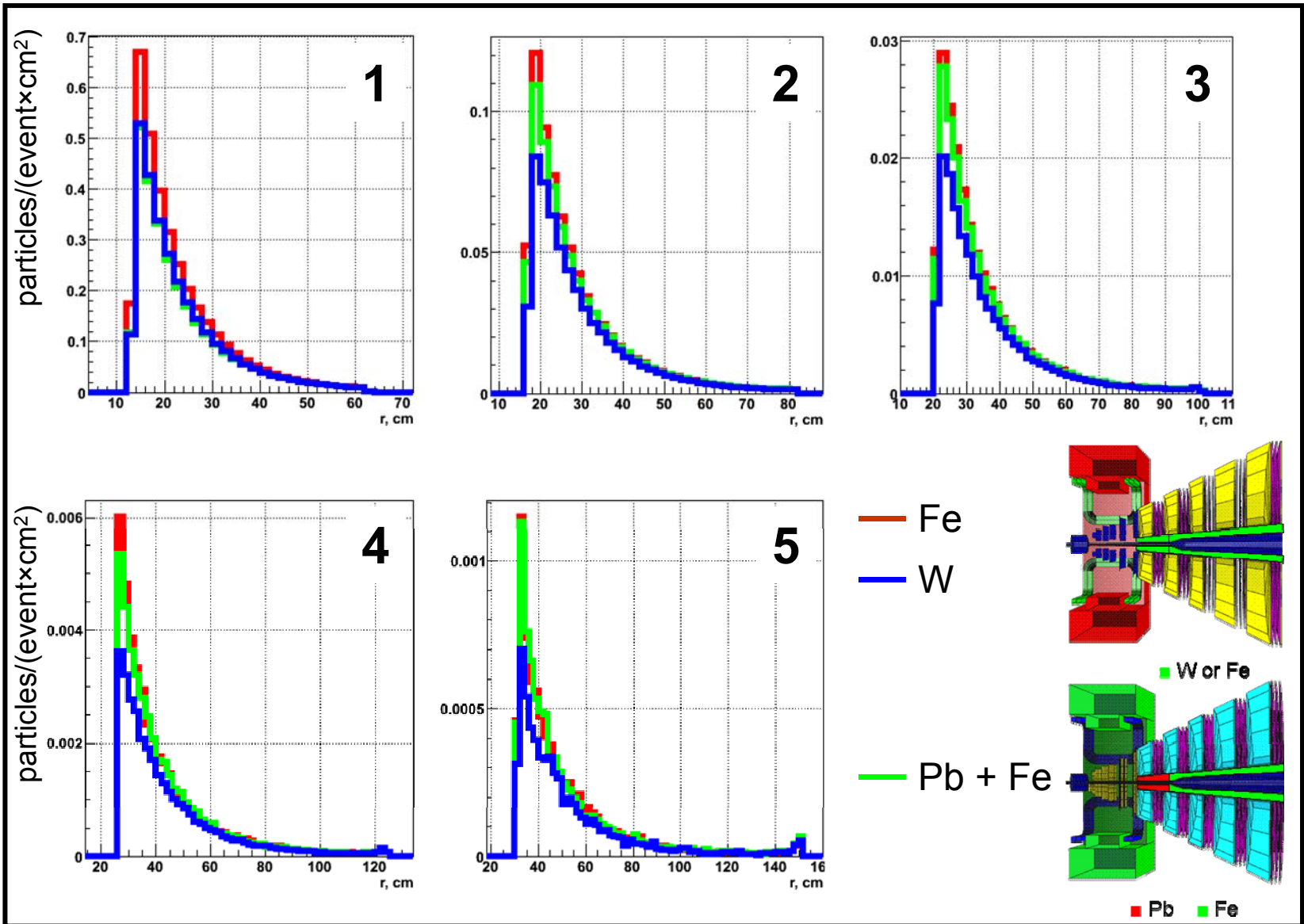
ω + central Au+Au collisions at 25 AGeV



		with ToF
S/B	0.1	0.2
ϵ_ω %	2.1	1.6

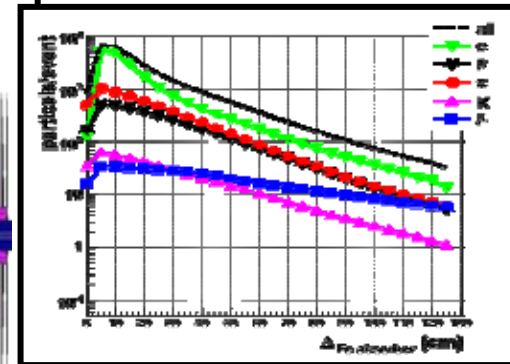
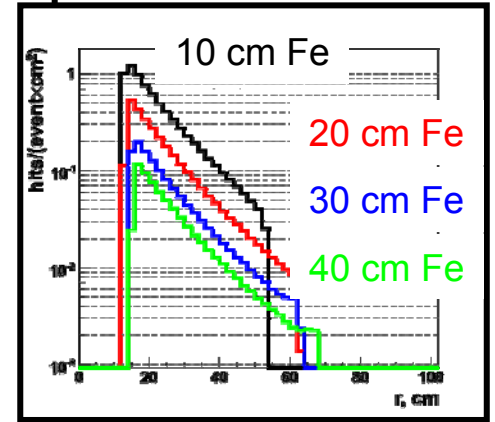
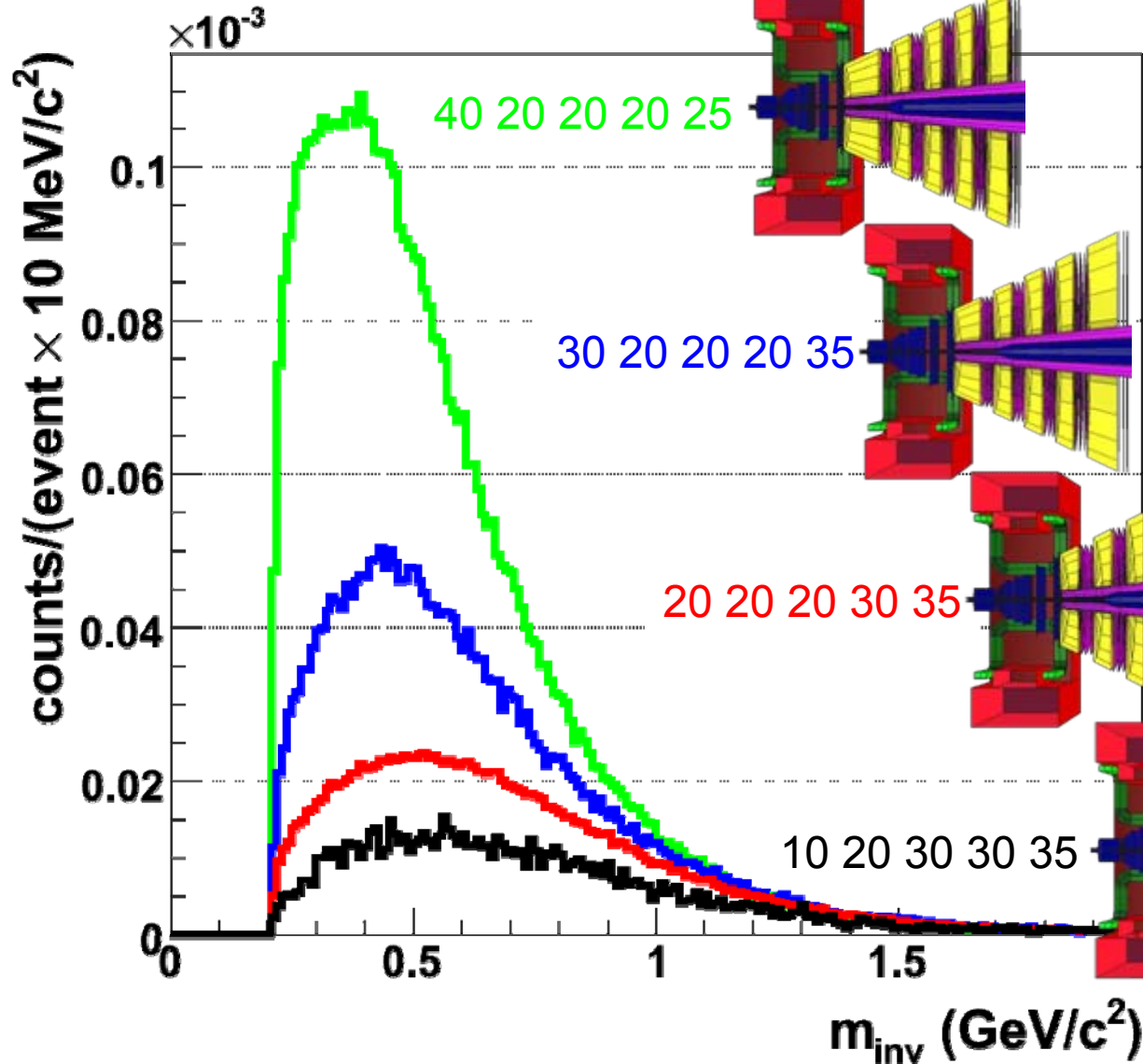
Material of pipe shielding

central Au+Au collisions at 25 AGeV

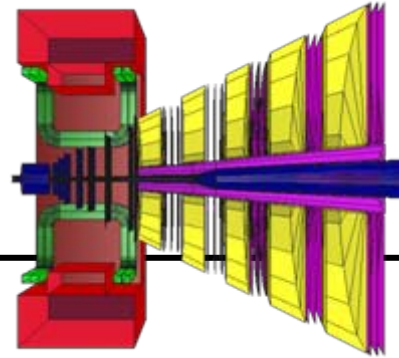
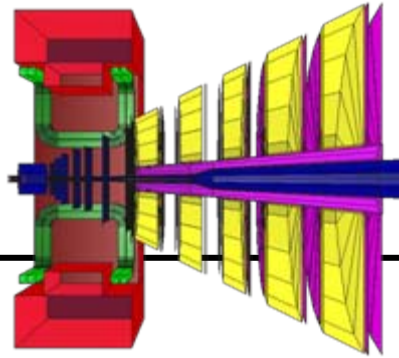


Варианты абсорбера

central Au+Au collisions at 25 AGeV

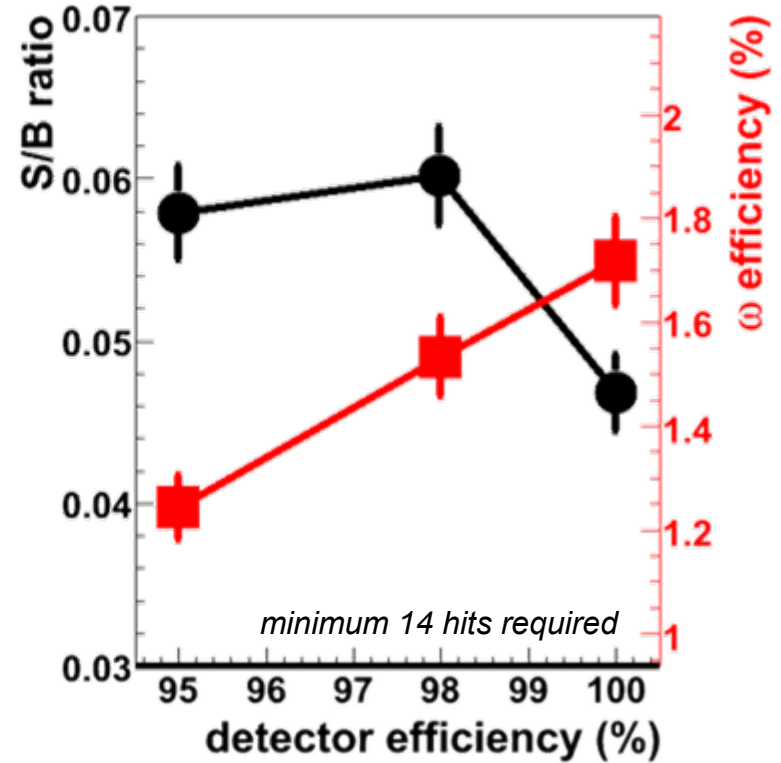
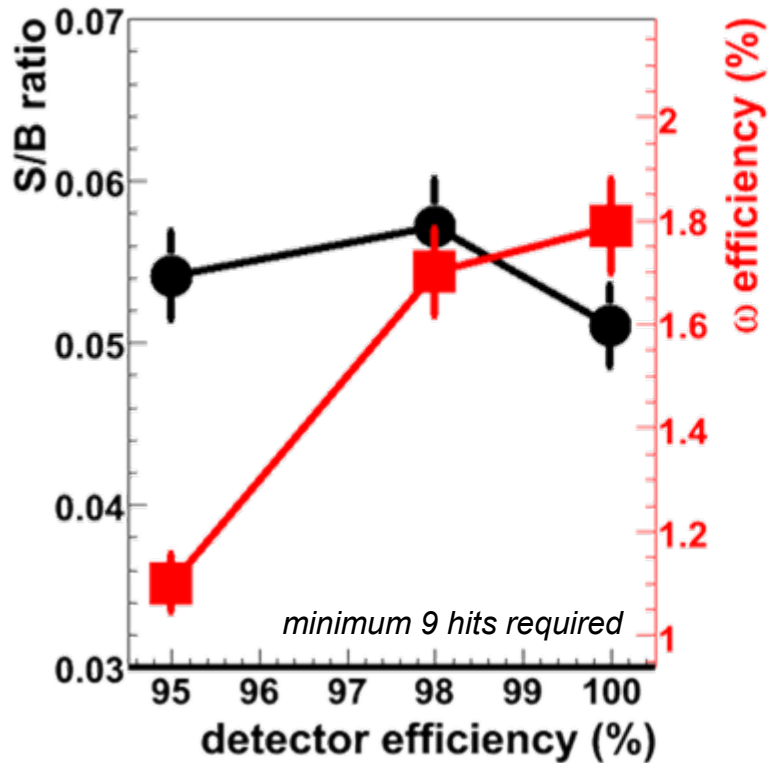


Track reconstruction with reduced detector efficiency



MuCh with 10 detectors

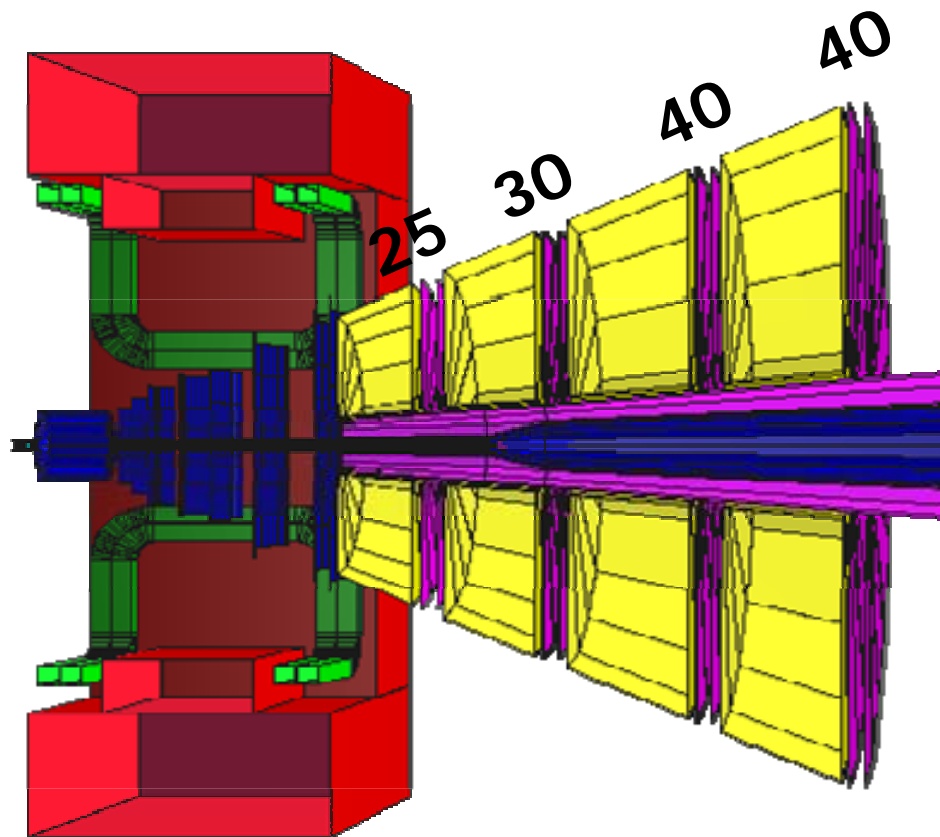
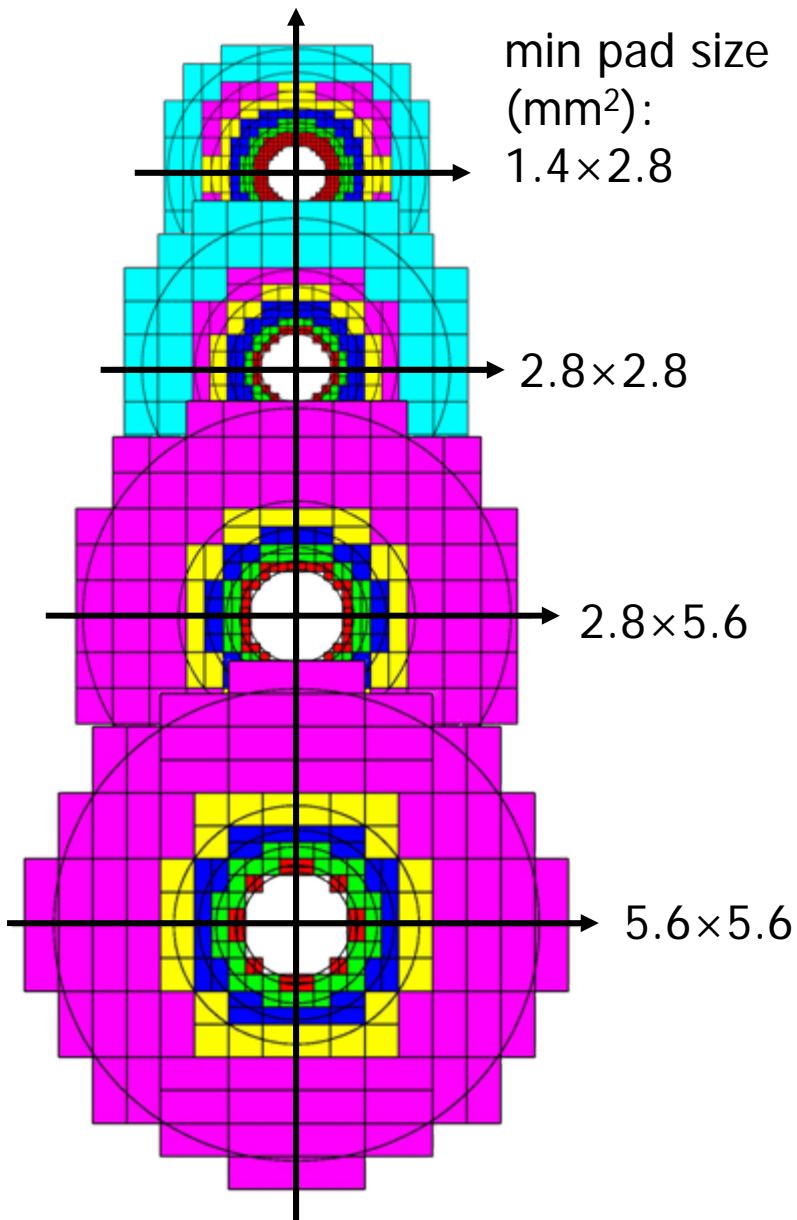
MuCh with 15 detectors



$\omega \rightarrow \mu^+ \mu^-$ + central Au+Au collisions at 25 AGeV

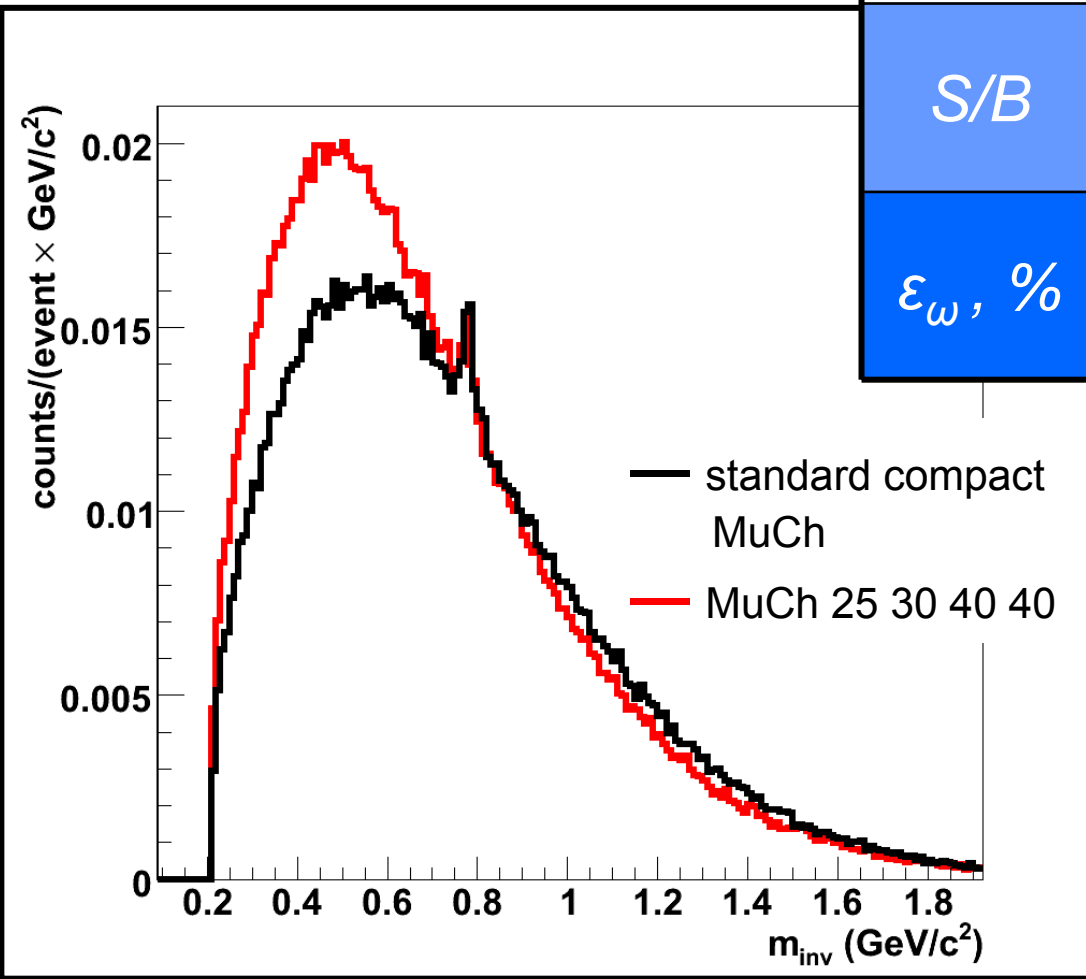
MuCh 25 30 40 40

N_{channels} 439 296 \rightarrow 272 384



Comparison with standard

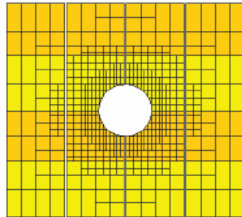
ω + central Au+Au collisions at 25 AGeV



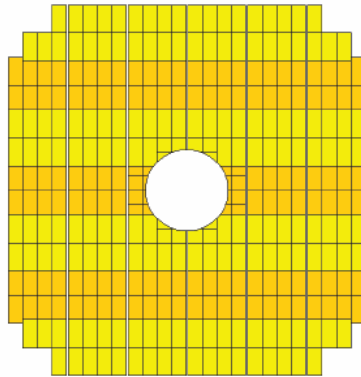
	standard compact MuCh	MuCh 25 30 40 40
S/B	0.095	0.094
ε_{ω} , %	1.9	1.8

Segmentation: results

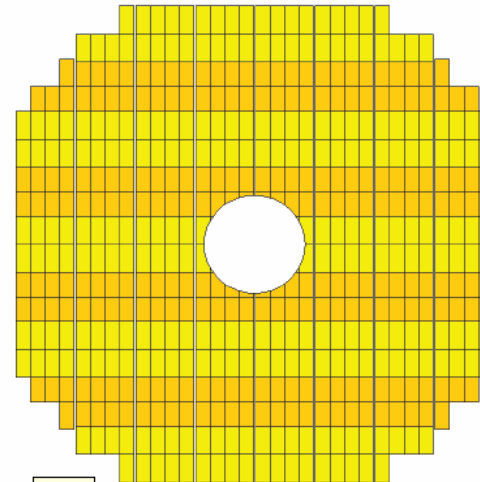
1 station



3 station



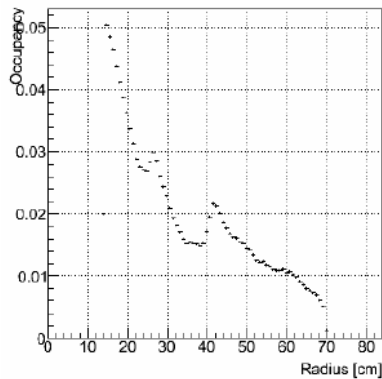
4 station



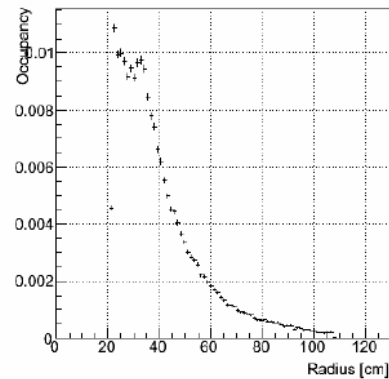
- Sector sizes at the first station are mostly determined by occupancy restrictions
- Starting from the 3rd station sector sizes are determined by the required resolution
- The smallest pad size in the default setup is ~ 2.3 mm (resolution ~ 680 μm).

Occupancies

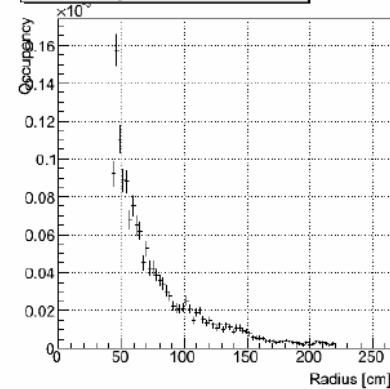
Occupancy vs radius: station 1



Occupancy vs radius: station 3

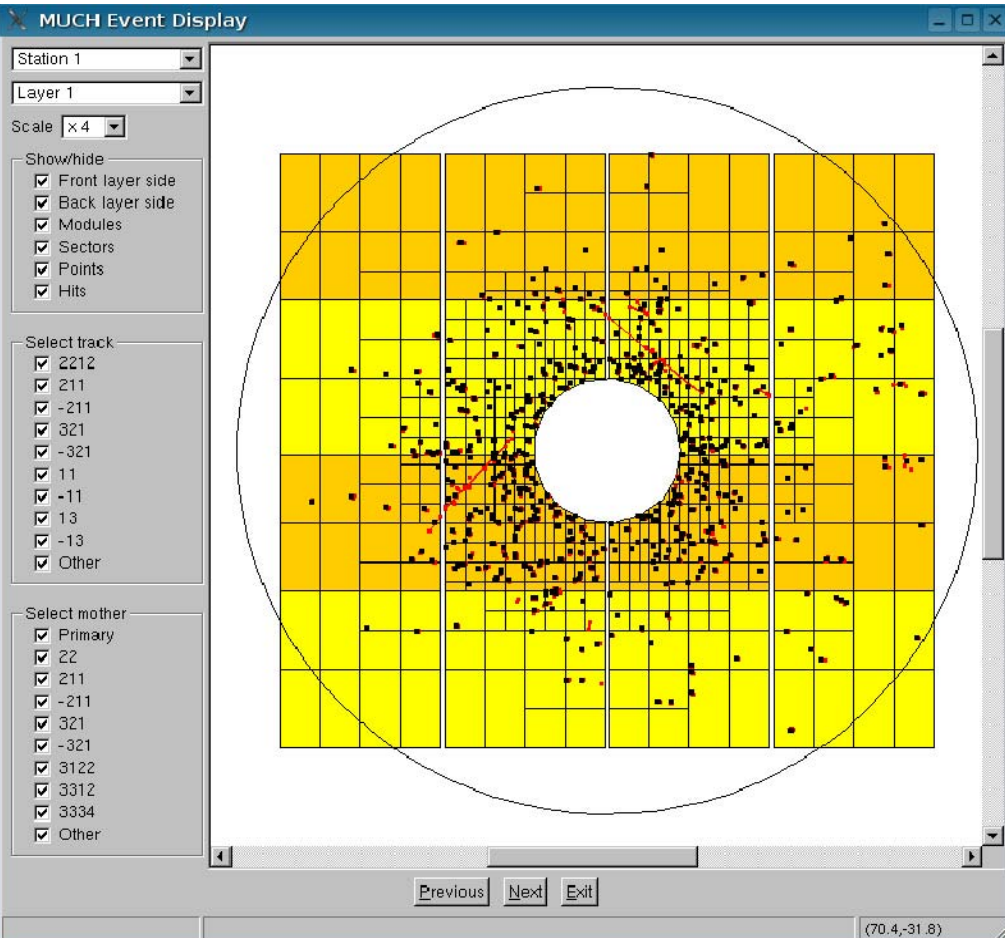


Occupancy vs radius: station 6

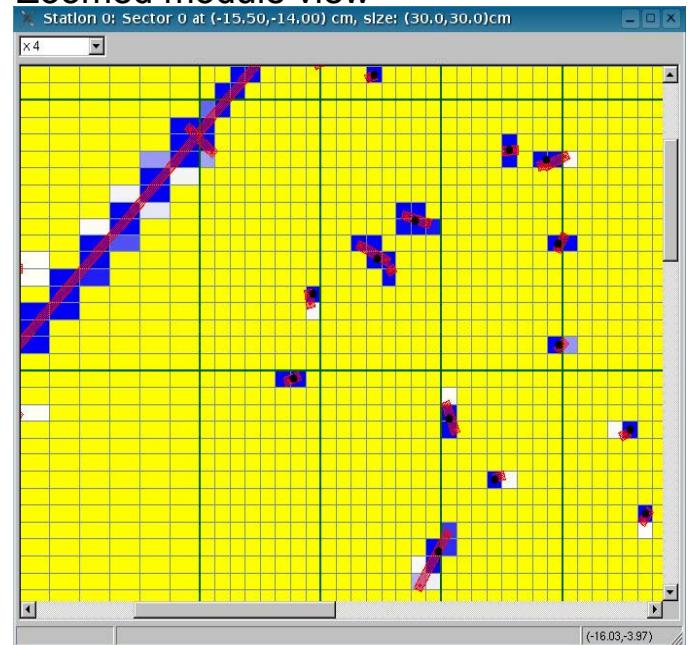


VISUAL EVENT DISPLAY

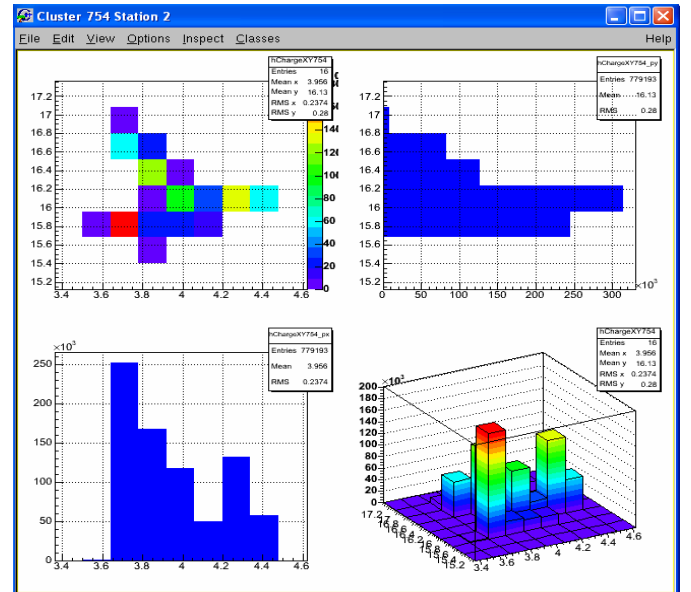
Layer view



Zoomed module view



Cluster view



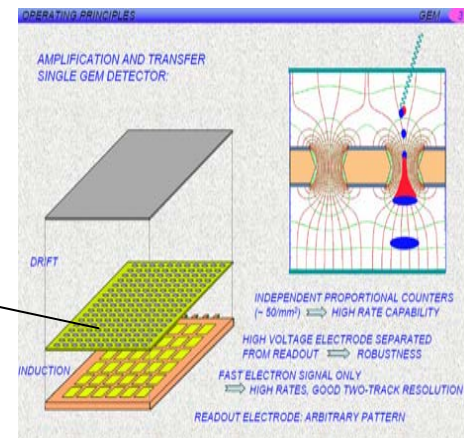
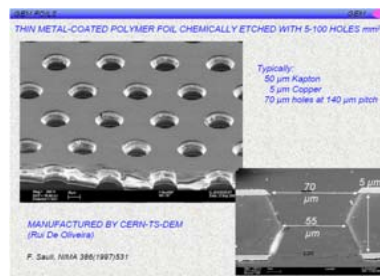
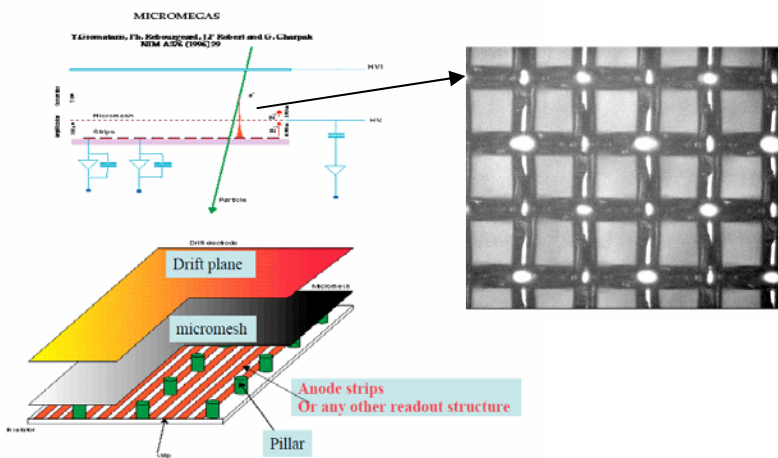
Выбор базового детектора для центральной области трековой системы MUCH (R&D поддержано INTAS)

Требования СВМ :

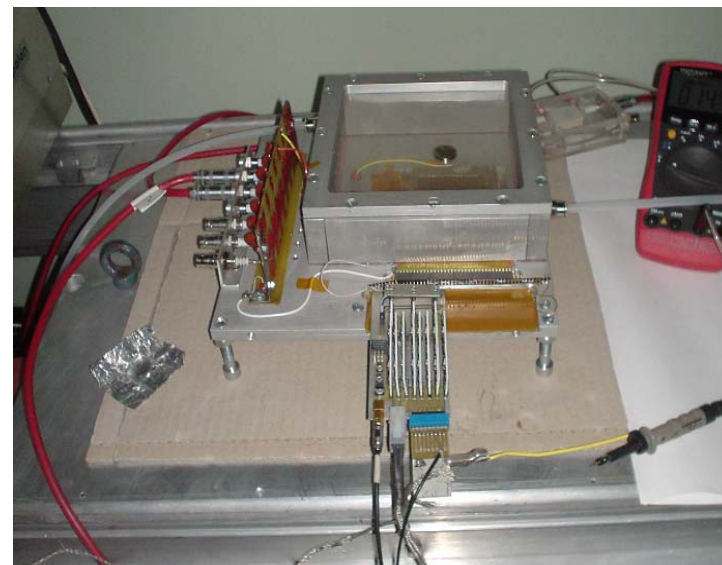
- до 10^7 событий/с, каждое из событий содержит до 1000 треков заряженных частиц, т.е.
 - через <100 ns детектор должен быть готов к приему следующего события
 - высокая гранулярность для центральной области
- разумное пространственное разрешение – $\sigma \sim 500 \mu$
- низкая вероятность разрядов
- радиационная стойкость

Кандидаты

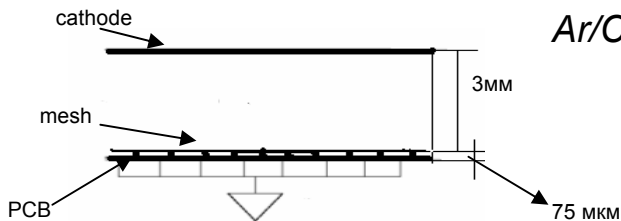
- **центральная область** (радиус от ~ 12 см до ~ 70 см) – детекторы на основе **GEM, MICROMEGAS** или их комбинация
- **периферия** – пропорциональные камеры, возможно сцинтилляторы



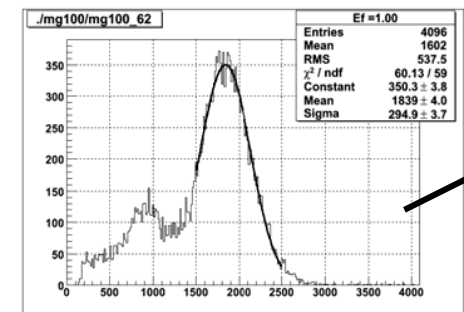
Для проведения R&D создан стенд и несколько прототипов на базе GEM, MICROMEGAS и их комбинаций



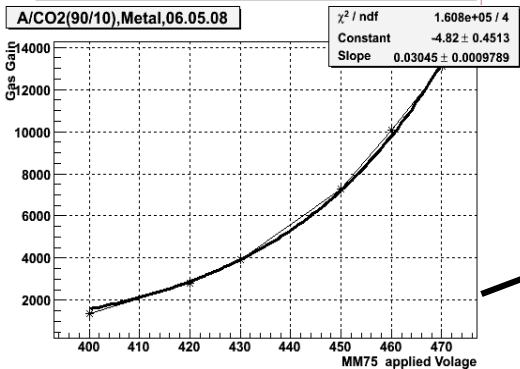
MICROMEGAS



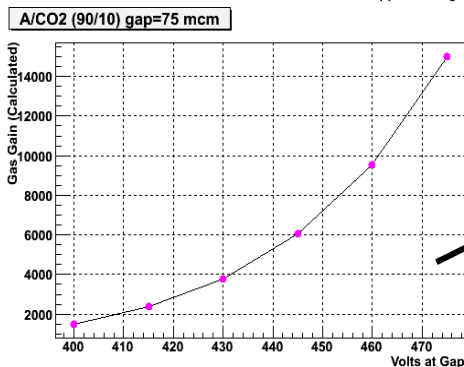
Ar/CO2 (90%/10%), ⁵⁵Fe



Пример амплитудного спектра (энергетическое разрешение ~15%)

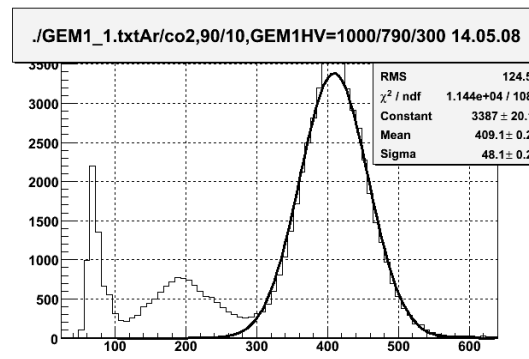
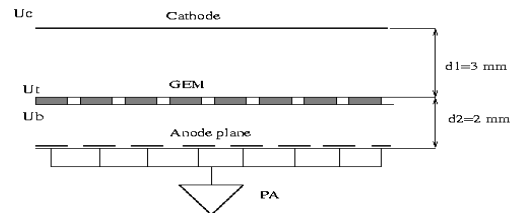


Зависимость КГУ от напряжения на MICROMEGAS

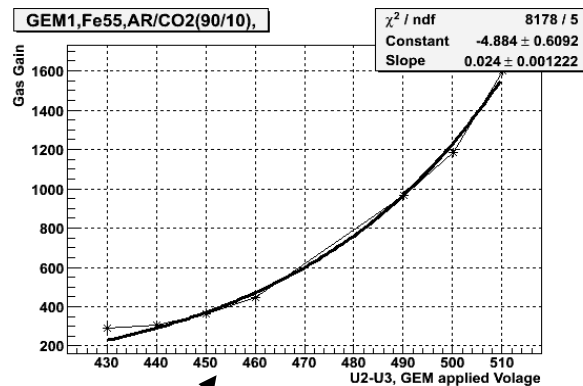


Расчетная (Magbolz) зависимость КГУ согласуется с измеренной

GEM

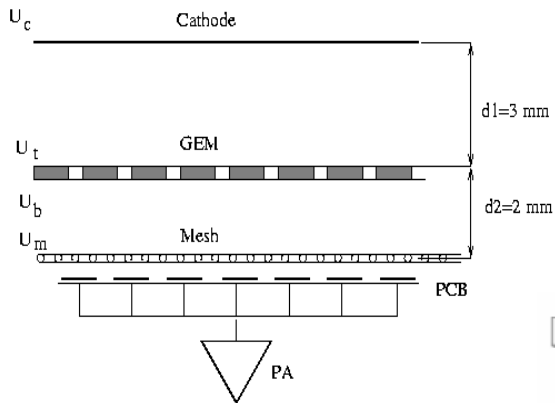


энергетическое разрешение ~12%

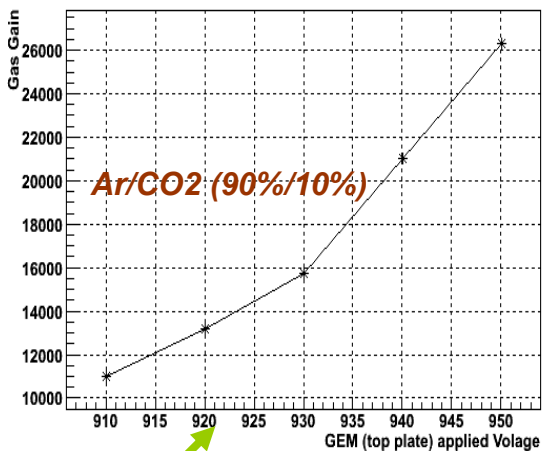


Зависимость КГУ от напряжения, приложенного к GEM

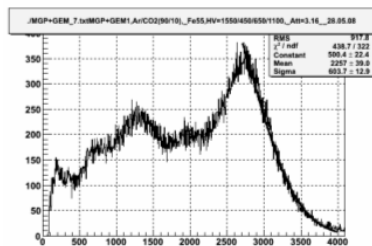
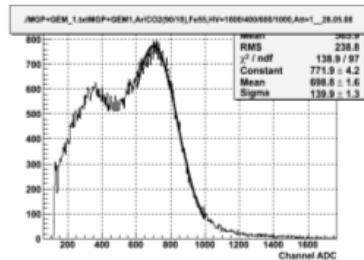
Комбинация GEM+MICROMEGAS



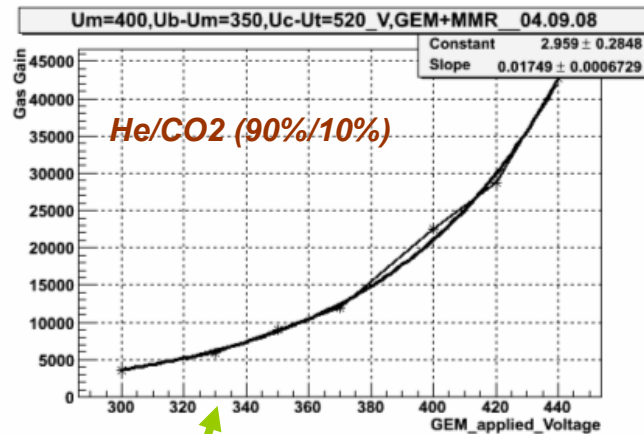
19.05.08 Voltage Ucmmg2=1200,400,500



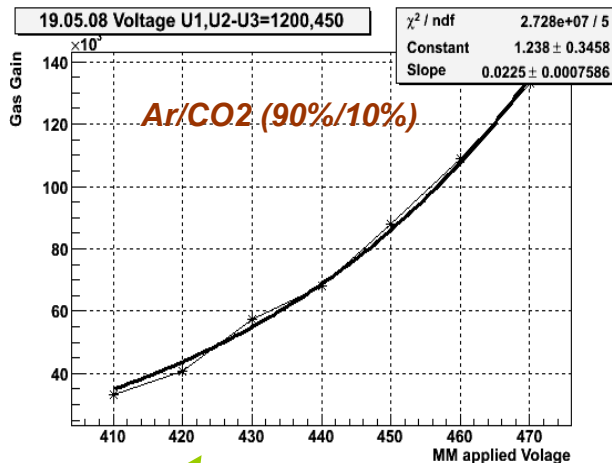
КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к GEM
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_b=500\text{ V}$, $U_m=400\text{ V}$,



Амплитудные спектры (^{55}Fe), измеренные при разных напряжениях на MICROMEGAS
 Ar/CO_2 (90%/10%)

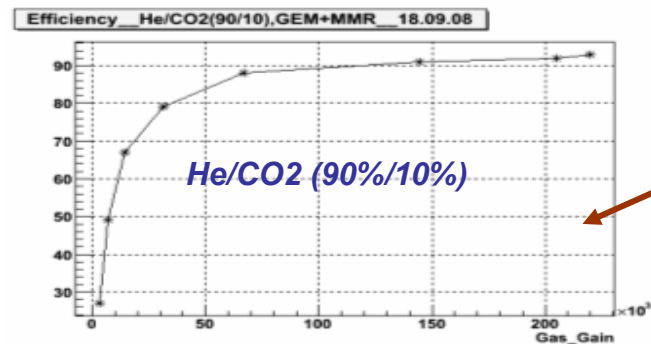
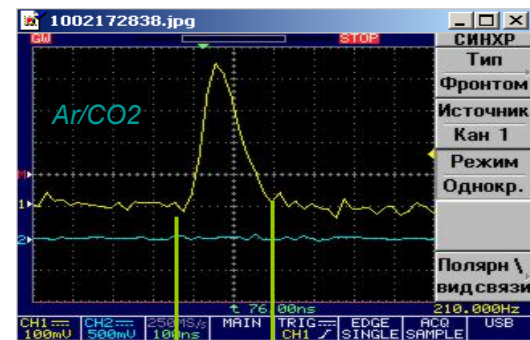
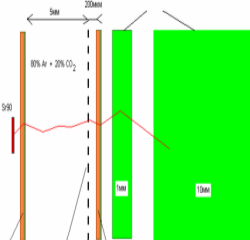
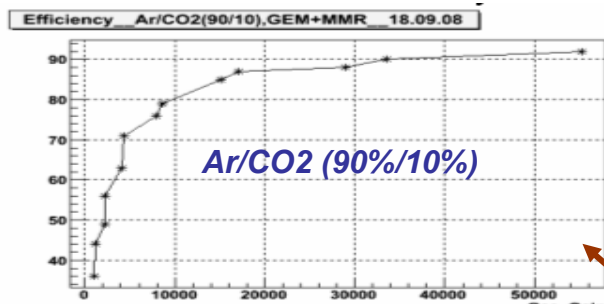


КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к GEM
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_b=500\text{ V}$, $U_m=400\text{ V}$,

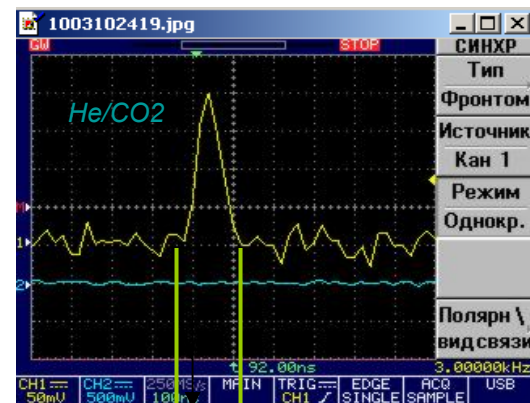


КГУ в зависимости от напряжения, приложенного к MICROMEGAS
 $U_c=1200\text{ V}$, $U_t - U_b=450\text{ V}$,

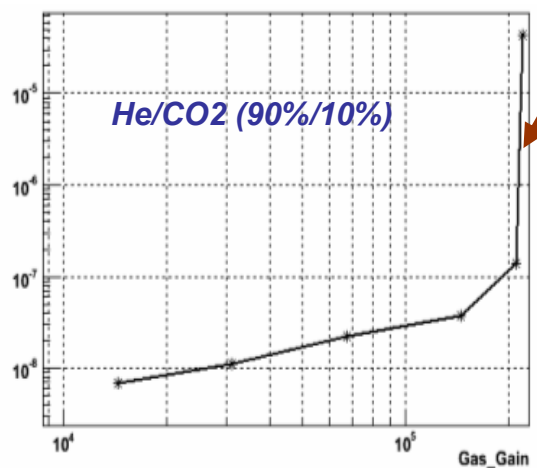
Оценка эффективности и вероятности разряда



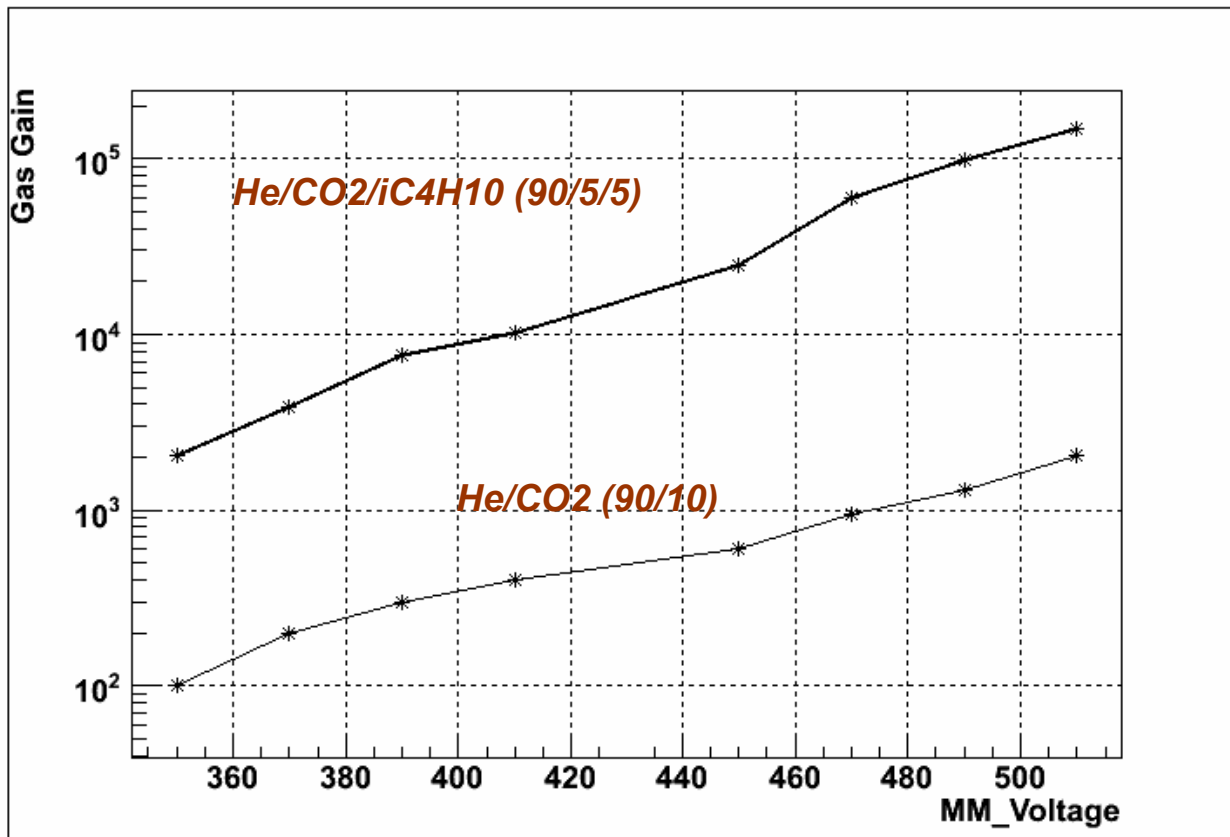
Зависимость
эффективности от КГУ
(β-источник ⁹⁰Sr)



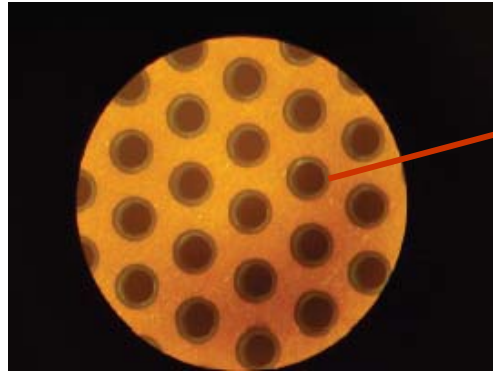
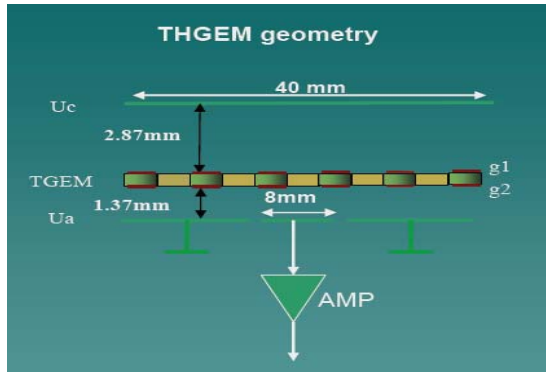
Вероятность разряда в
зависимости от КГУ



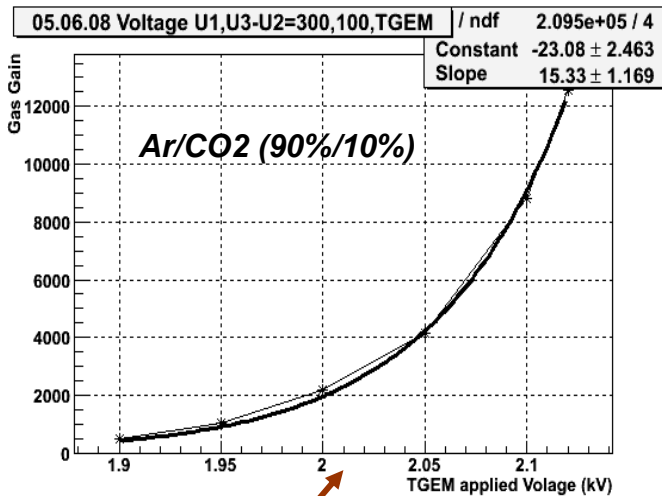
⁵⁵Fe ($5 \cdot 10^3$ 1/s) + β-источник ⁹⁰Sr ($3 \cdot 10^4$ 1/s)
Вероятность разряда оценивалась как отношение
числа разрядов (за разряд принимался сигнал,
превосходящий установленный высокий порог) к
общему числу зарегистрированных сигналов



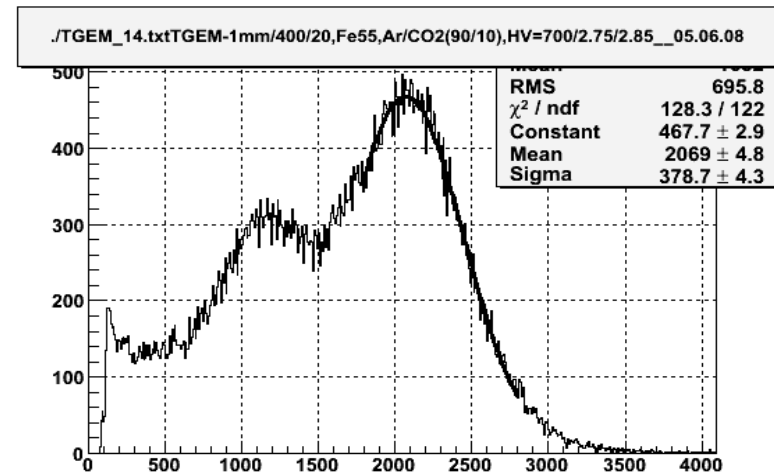
TGEM



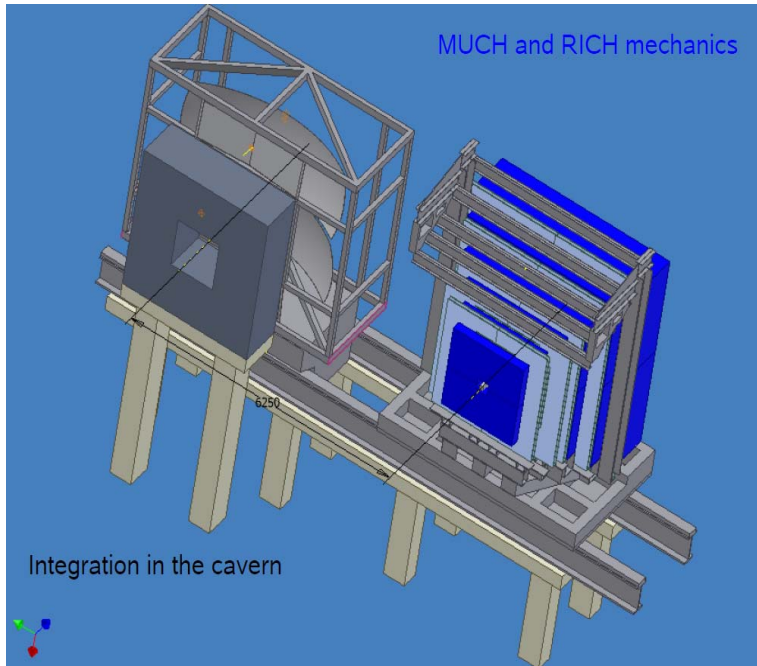
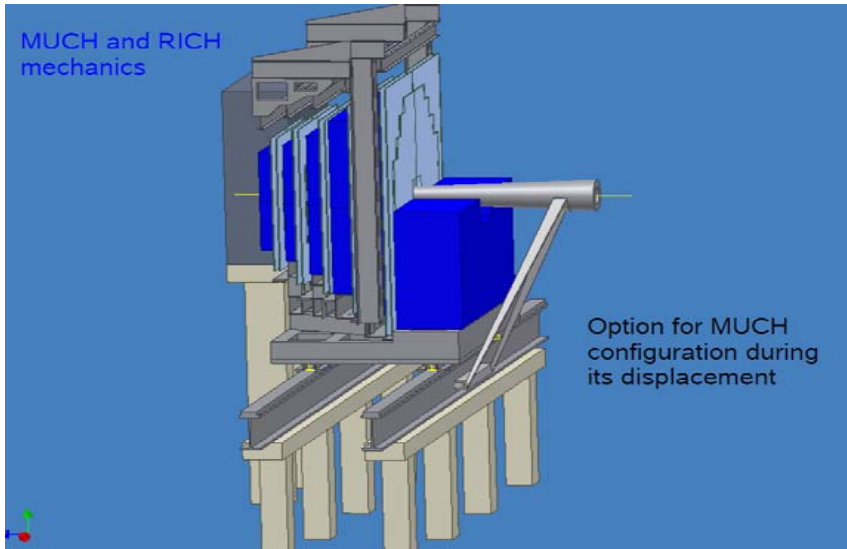
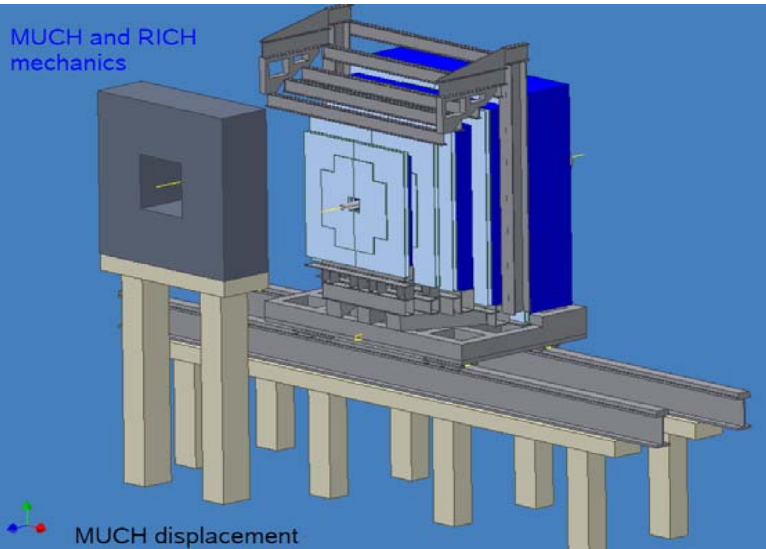
Основное технологическое достижение – rim эксцентриситет составляет не более 5 мкм



Зависимость КГУ от напряжения, приложенного к TGEM

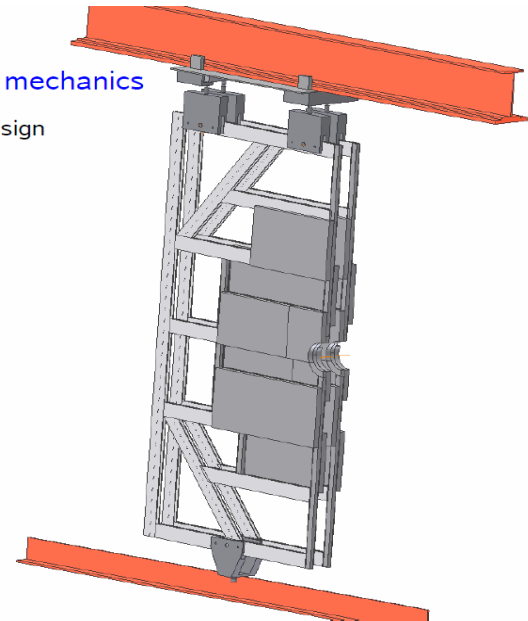


Пример амплитудного спектра (^{55}Fe)



MUCH and RICH mechanics

Tracking chamber design



Планы на 2009 г.

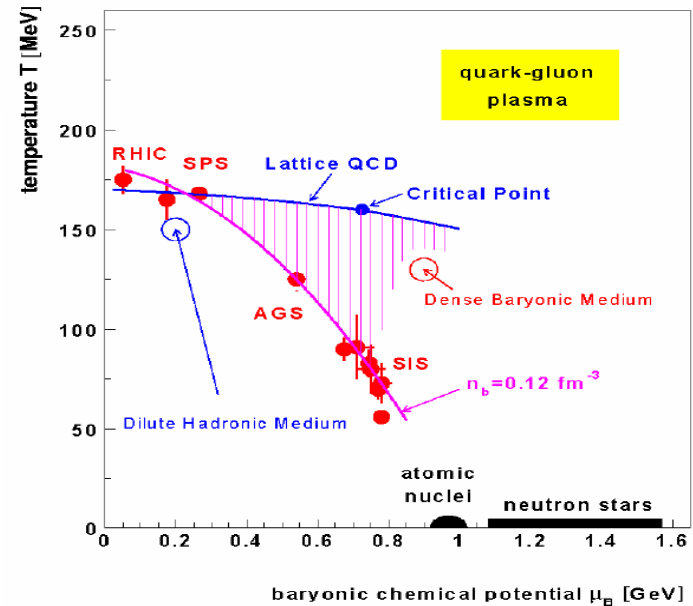
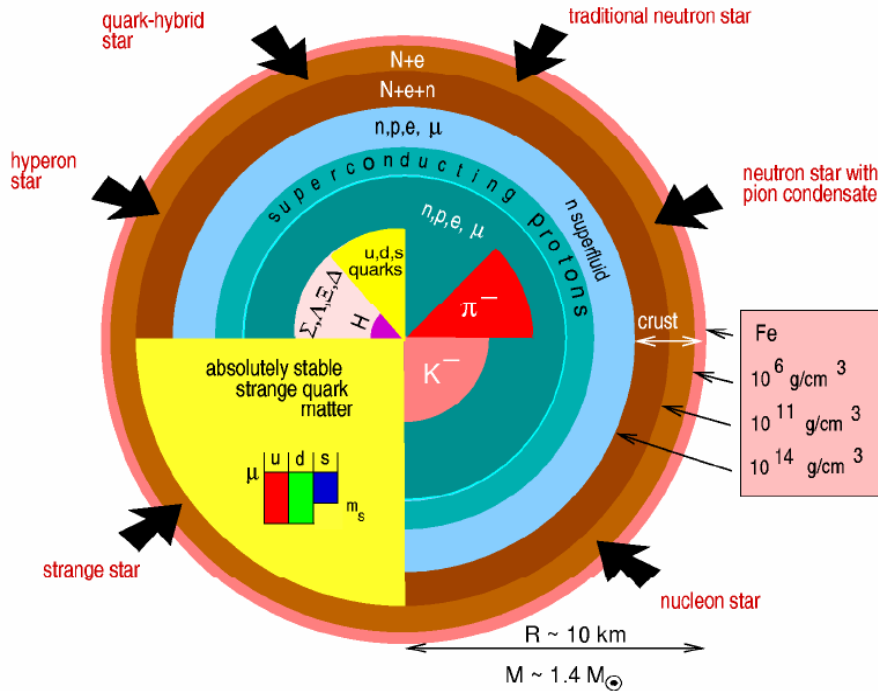
- Продолжить оптимизацию мюонного детектора MUCN
- Формулирование окончательных требований на гранулярность и пространственное разрешение базовых детекторов трековой системы MUCN
- Формулирование требований на front-end электронику
- Проектирование и создание прототипов базовых детекторов для испытаний на пучке
- Испытание прототипов на пучке

Back up

Новые фазы сильно взаимодействующей материи ожидаются в коре нейтронной звезды, где барионные плотности превосходят ядерные на порядок. Предсказываются конкурирующие новые свойства материи такие как :

- конденсаты отрицательно заряженных мезонов (каоны или пионы)
- большой избыток гиперонов
- кварк-глюонная плазма

Ни одно из этих состояний не может быть сегодня исключено астрофизическими наблюдениями или теоретическими рассмотрениями

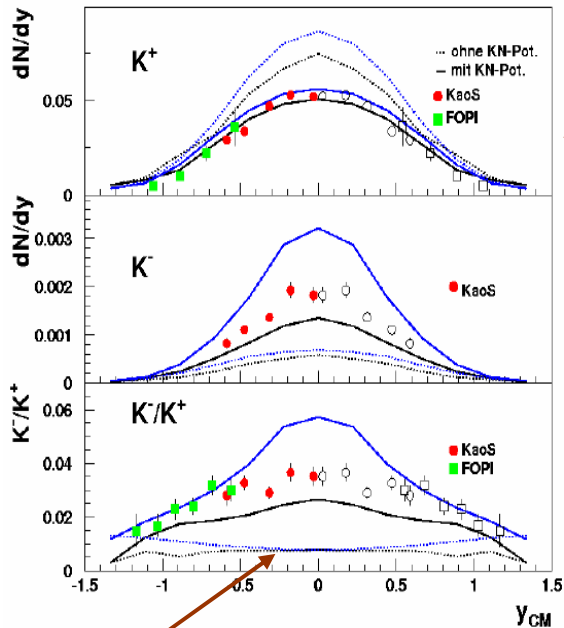


Подавление выхода кваркония в зависимости от плотности и температуры

$$\frac{\langle \bar{q} q \rangle(\rho_N)}{\langle \bar{q} q \rangle_0} = 1 - \frac{\sigma_N \rho_N}{f_\pi^2 m_\pi^2} + \dots \approx 1 - \frac{\rho_N}{3\rho_0} + \dots$$

$$\frac{\langle \bar{q} q \rangle(T)}{\langle \bar{q} q \rangle_0} = 1 - \frac{T^2}{8f_\pi^2} + \dots$$

Ni+Ni (1.93 GeV/u)



Точечные кривые – расчеты с массами каонов и антикаонов в вакууме

Section 2

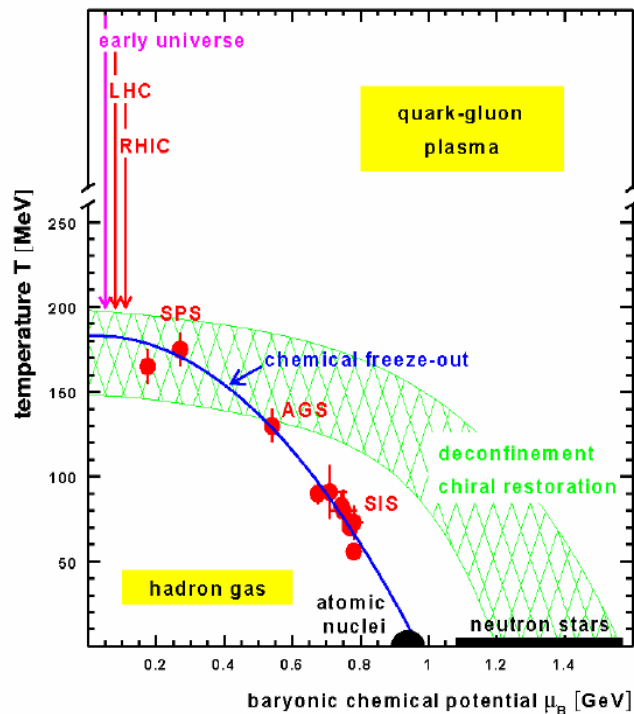


Figure 3.4: The phase diagram of strongly interacting matter. The symbols represent freeze-out points obtained with a statistical model analysis of particle ratios measured in heavy collisions. The solid line indicates the chemical freeze-out curve as function of temperature and chemical potential. Taken from [19].

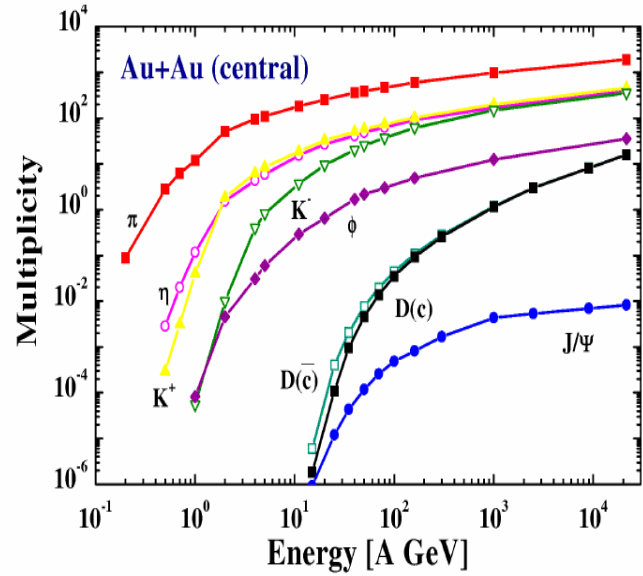
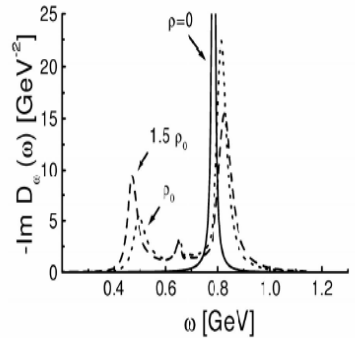
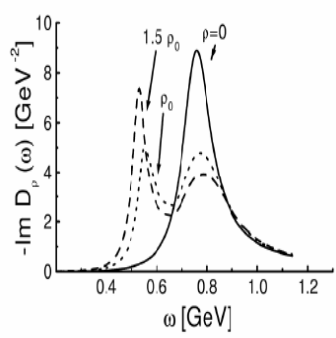
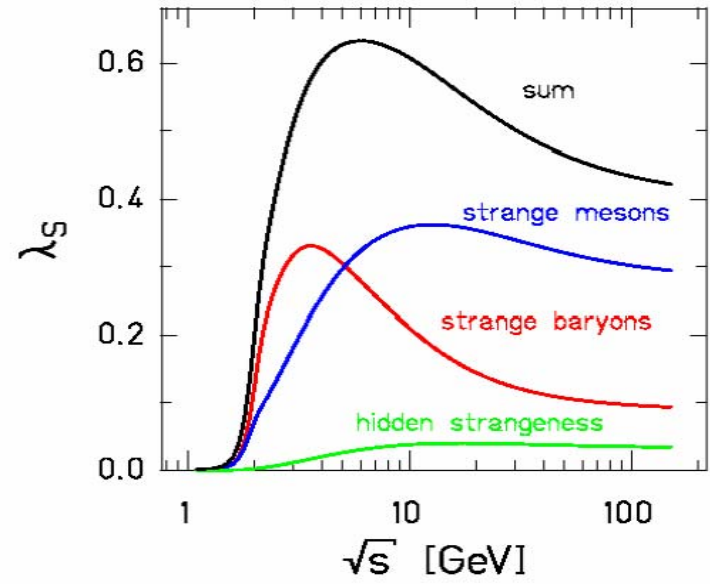
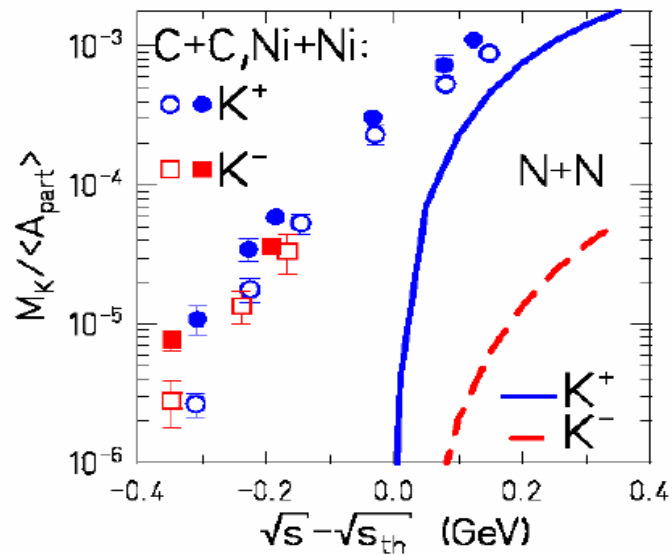


Table 3.1: Multiplicities for central Au+Au collisions at 25 GeV/u from simulations using RQMD and HSD. Experimental values are obtained by interpolation of data measured by NA49 and ES02. The results of a thermal model with $T = 140$ MeV and $\mu_B = 480$ MeV are calculated relative to the number of π^- which is assumed to be 250.

particle	mass (MeV)	RQMD	HSD 3% central	NA49 (40 GeV/u) ES02 (10.7 GeV/u)	thermal
π^0	135	394			
π^-	140	398		234±14	250
π^+	140	369	298	197±12	226
η	550	34	39		17
K^+	494	44	36	39.6±2	46
K^-	494	13	14.5	10.2±0.5	13
ρ^0	770				16
ϕ	1020		1.0		2.3
Λ	1116	30	37 (incl. Σ^0)		40
Σ^-	1197	11	9.2		10.5
Ξ^-	1321	1.25	0.9		2.4
Ω^-	1672				0.15
D^-	1865		$5 \cdot 10^{-4}$		
J/ψ	3097		$1.5 \cdot 10^{-5}$		$3.7 \cdot 10^{-6}$

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.

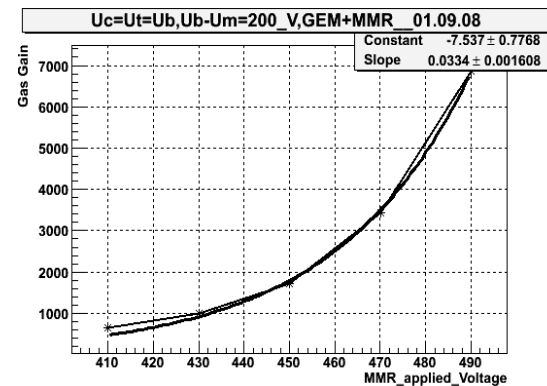
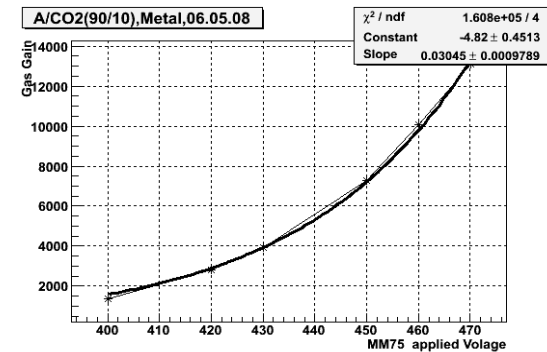
	25GeV/u Au+Au	158 GeV/u Pb+Pb
J/ψ multiplicity (central collisions)	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$
beam intensity	$5 \cdot 10^8/s$	$2 \cdot 10^7/s$
interactions	$1 \cdot 10^7/s$ (2%)	$2 \cdot 10^6/s$ (5%)
central collisions	$1 \cdot 10^6/s$	$1 \cdot 10^5/s$
J/ψ rate	15/s	100/s
6% $J/\psi \rightarrow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



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

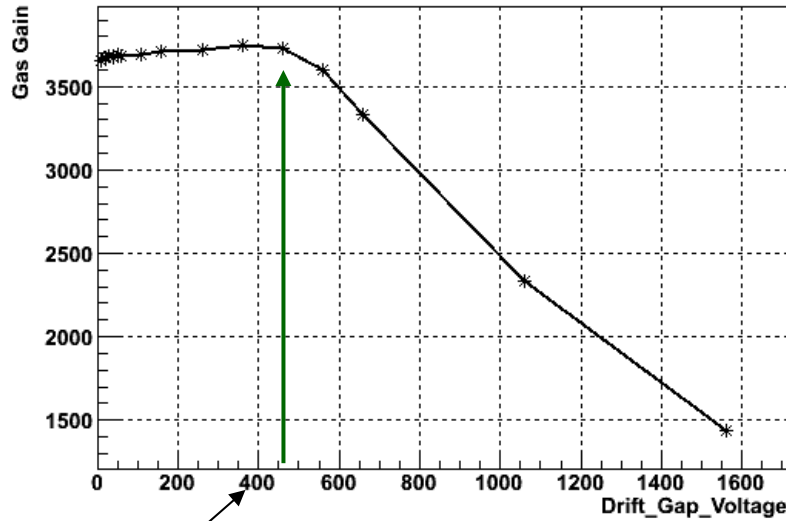
At the following stage for Micromegas we used **rolled mesh of Russian production** – stainless steel (wire - 32μ in diameter and cell - 64μ).

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

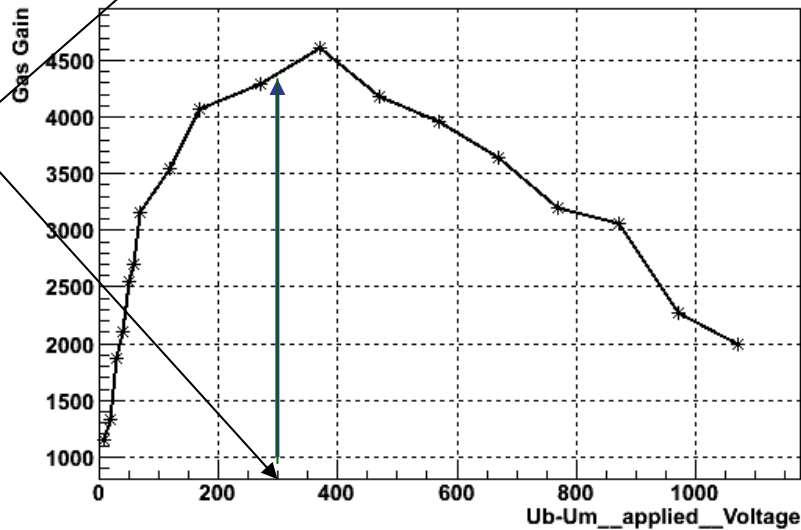


Ar/CO2 (90%/10%)

GG vs. Voltage applied to the cathode.

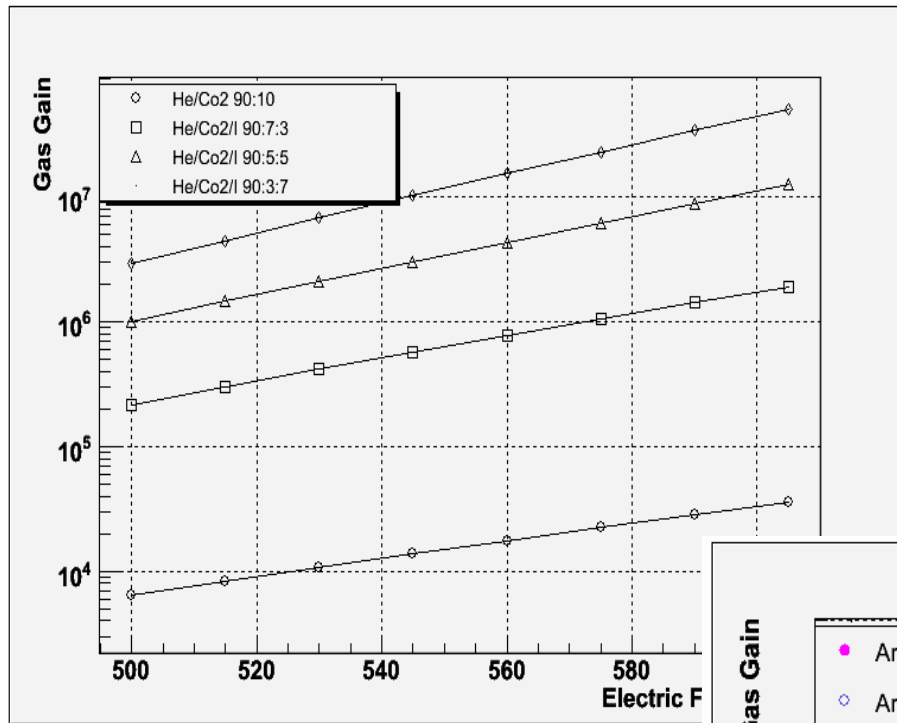
The modest GG Value (Um=350 V, Ugem=390 V)

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



Working points

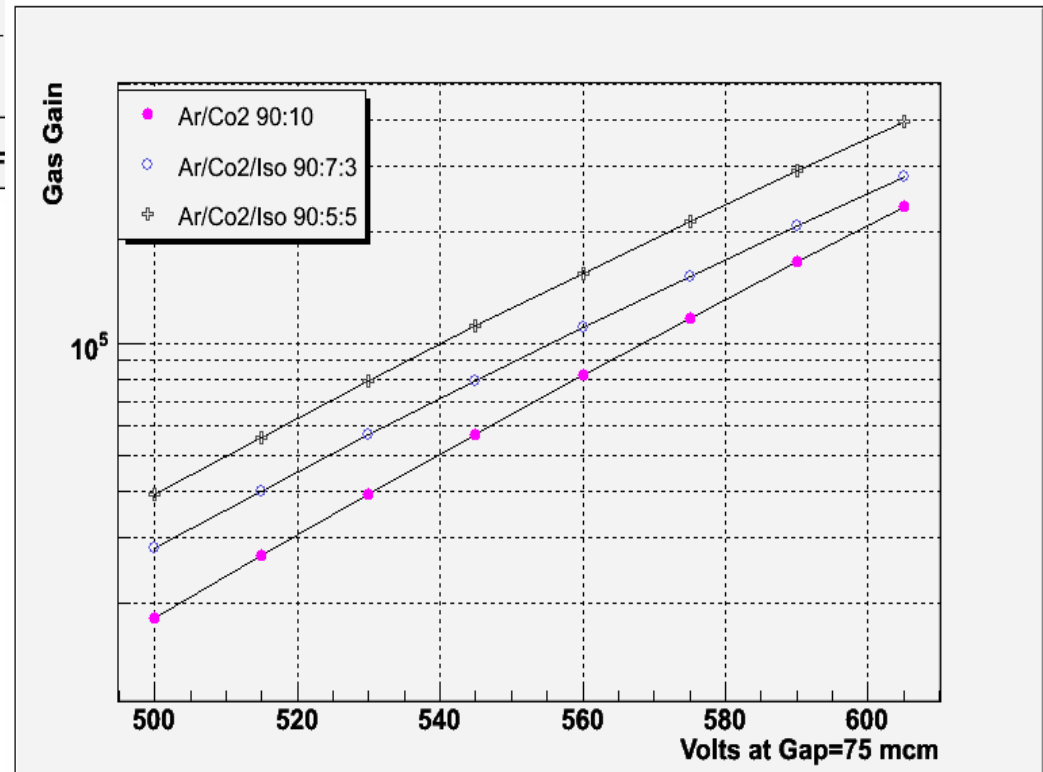
The same as previous but variable Voltage between GEM and Mesh



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.

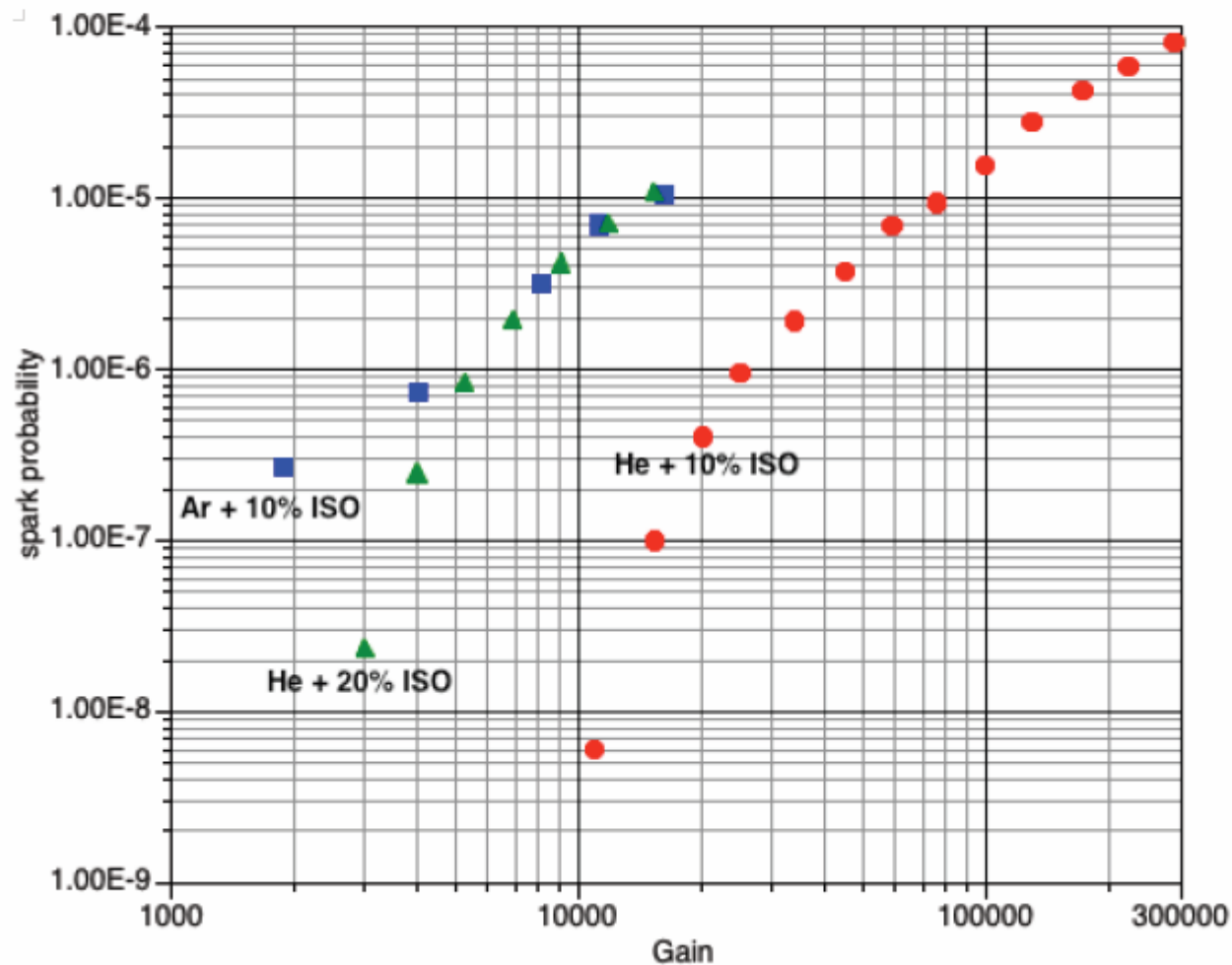
Using isobutane in working gas mixture should considerably put down working voltage to make lower discharge energy



High energy hadron beam

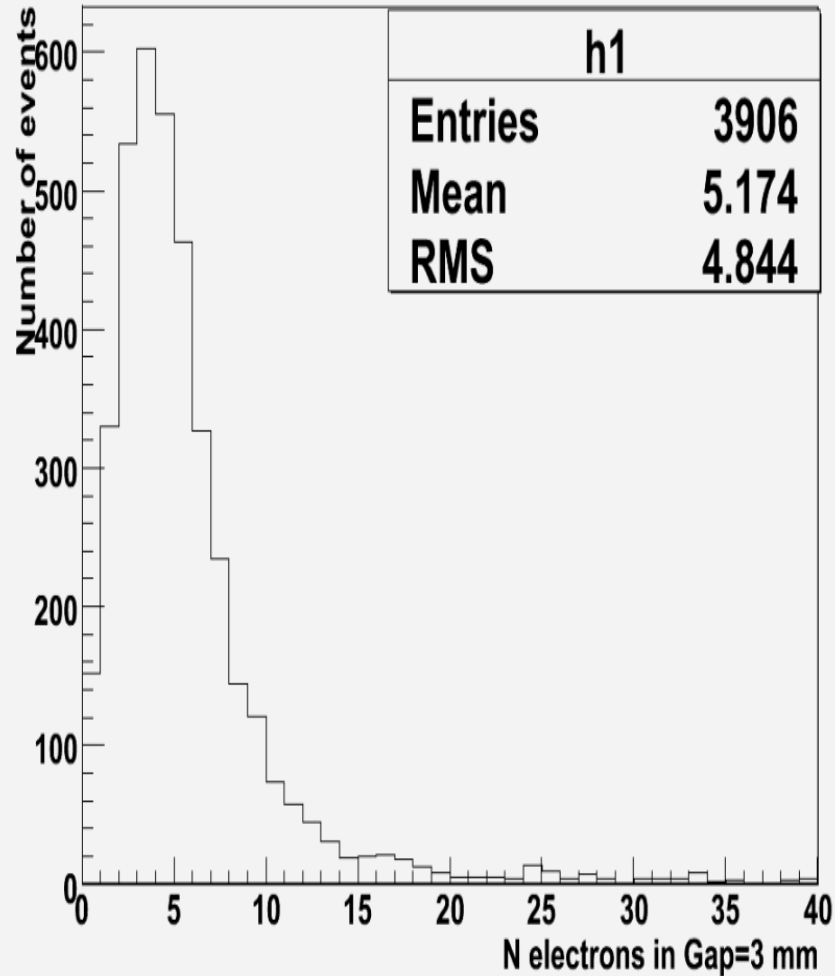
Lower spark probability in low-Z carrier gases

J. Derre, I. Giomataris Nucl.Instrum.Meth.A461:74-76,2001

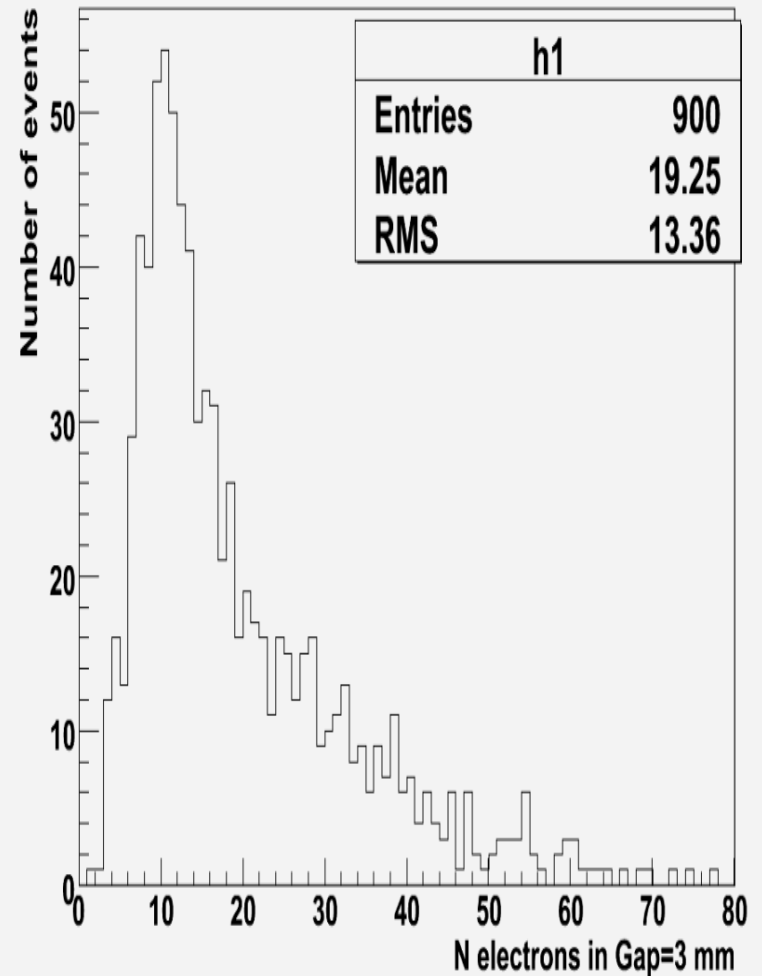


Comparison between Ar/CO2 and He/CO2

Muon 1 Gev, Pair Production in He/CO2 (85/15)



Muon 1 Gev, Pair Production in AR/CO2 (85/15)



Gas Gain in HE/CO₂ mixture study

Parameters of interaction X-Ray Fe55 (E=5.9 keV)

He comparative Ar

Ar

Photoabsorption cross section $\sigma_{ph} = 280.2 \text{ cm}^2/\text{g}$

Compton cross section $\sigma_c = 0.688 \text{ cm}^2/\text{g}$

K1 = 3.206 keV

Mean Energy for ion pair production $w_i = 26 \text{ eV}$

He

Photoabsorption cross section $\sigma_{ph} = 0.1498 \text{ cm}^2/\text{g}$

Compton cross section $\sigma_c = 0.1246 \text{ cm}^2/\text{g}$

K1 = 24.6 eV

Mean Energy for ion pair production $w_i = 41 \text{ eV}$

So for He compton scattering probability is comparable with that for photoionisation and full absorption peak is not so pronounced as in Ar.