

Эксперимент СВМ

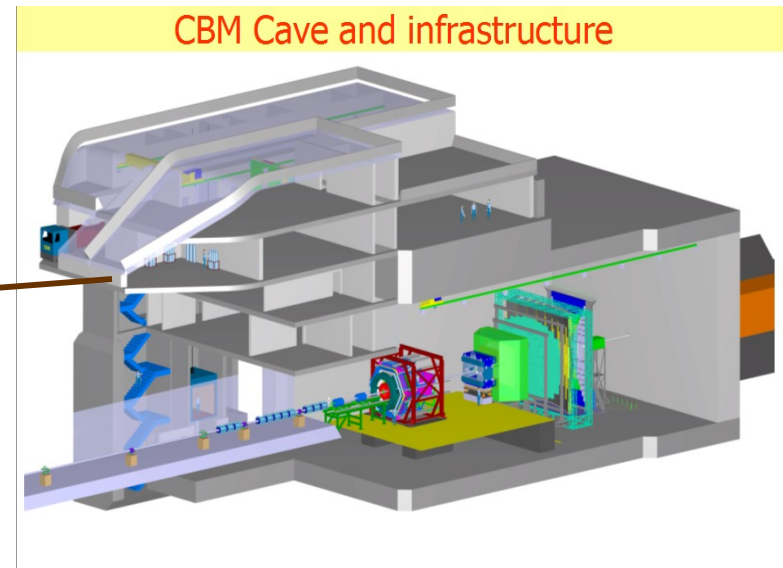
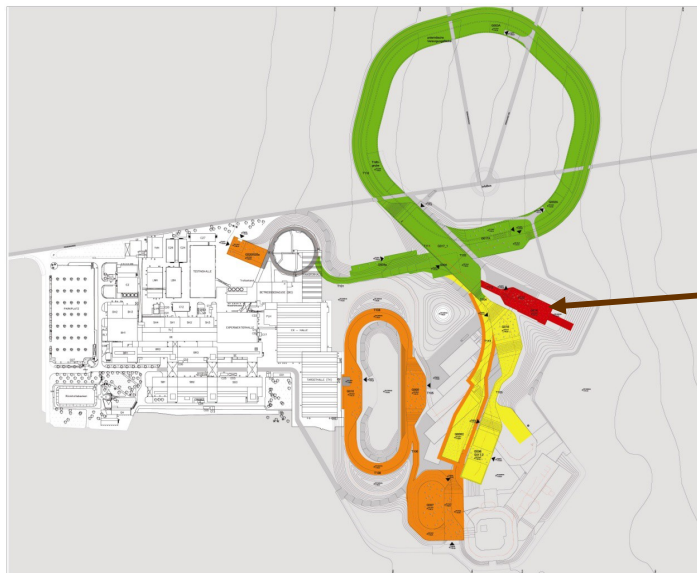
2011 г.

А. Ханзадеев

CBM (Compressed Baryonic Matter) – эксперимент по ядро - ядерному и протон - ядерному взаимодействию на выведенном пучке.

SIS100 В месте расположения **CBM** будет поставлять пучки **Au(Ca)** с энергией до **11(14) АГэВ** и протонов до **29 ГэВ**

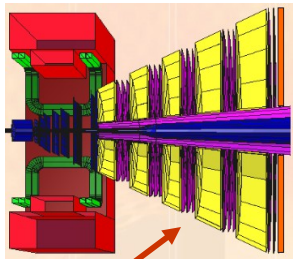
SIS300 – ядра вплоть до урана с энергией **8-40АГэВ** и протоны до **90 ГэВ**



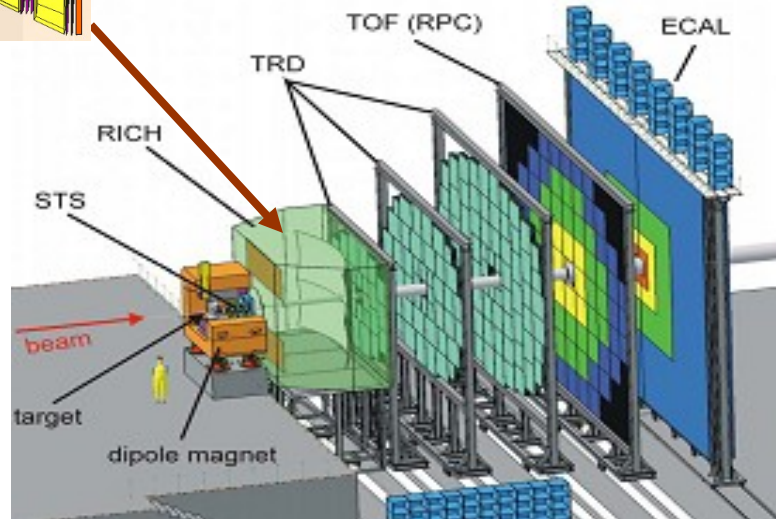
▶ Начало эксперимента планируется на **2018 г.** с запуском **SIS100**.

Стартовая фаза эксперимента (модуль 1) – ныне действующая модифицированная для области энергий **2 -7 ГэВ/и** экспериментальная установка **HADES** и усеченный вариант **CBM (5-11 ГэВ/и)**.

Детектор СВМ



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.**

SIS300 – далекая перспектива

Принятая стратегия – поэтапное создание детектора в полной версии при начале работы на **SIS100** в стартовой конфигурации

Table 2: Costs and expected funding of the CBM start version at SIS100

Detector or Subsystem	Costs		expected funding for CBM start version	
	CBM full version at SIS300	CBM start version at SIS100	Germany (until 2018) §	international partners
	Construction cost Mio € (2009)	Construction cost Mio € (2009)	only investment for Construction Mio € (2009)	only investment for Construction Mio € (2009)
MVD	2.1	2.1	2.0	0.1
STS	9.6	9.6	6.0	3.6
TRD*	9.2	4.0	2.5	1.5
RICH	5.9	5.9	3.0	2.0
TOF	7.4	7.4	2.3	5.1
DAQ*	3.7	3.0	1.5	0.9
FLES*	6.0	3.0	1.0	0
Magnet	4.0	4.0	0	4.0
MuCh*	10.6	4.0	0	4.0
PSD	1.1	1.1	0	1.0
Infrastructure	5.0	5.0	5.0	0
ECAL*	10.6	3.0	0	3.0
Sum	75.7	52.1	23.3	25.2

Участие ПИЯФ

TDR*, DAQ*, FLES*, MuCh* and ECAL* will have a reduced layout for the CBM Start version at SIS100

§ There will applications to the German BMBF after 2018 for further funding

Table 1: Observables and detector combinations at SIS100

	Observables	Detectors
1.	Hadrons, hyperons, dileptons from low-mass vector mesons up to Ni+Ni 13 A GeV	HADES ($12^\circ \leq \Theta \leq 48^\circ$)
2.	Hadrons, hyperons, hypernuclei, up to Au+Au 11 A GeV	CBM dipole magnet, STS, TRD, TOF, PSD, DAQ/FLES
3.	Dileptons from low-mass vector mesons up to Au+Au 11 A GeV	CBM dipole magnet, MVD, STS, RICH, TRD, TOF, PSD, DAQ/FLES
4.	D Mesons in p+A up to 30 GeV and Ca+Ca up to 14 A GeV	CBM dipole magnet, MVD, STS, TRD, TOF, DAQ/FLES
5.	Charmonium in p+A up to 30 GeV, Ca+Ca 14 A GeV, Au+Au 11 A GeV	CBM dipole magnet, STS, MuCh, TRD, TOF, PSD, DAQ/FLES
6.	Photons (incl. π^0 and η -mesons)	CBM dipole magnet, STS, ECAL, PSD, DAQ/FLES

STS: Silicon Tracking System (full version)

MVD: Micro-Vertex Detector (full version)

TOF: Time-of-Flight Detector - Resistive Plate Chambers (full version)

PSD: Projectile Spectator Detector (full version)

RICH: Ring Image Cherenkov Detector (full version)

TRD: Start version as intermediate tracker (1 station out of 3)

MuCh: Start version muon detector (2 stations out of 5)

DAQ/FLES: Data Acquisition System & First Level Event Selector (start version)

ECAL: Electromagnetic Calorimeter (start version)

Experiment	Energy range (Au/Pb beams)	Reaction rates Hz
STAR@RHIC BNL	$\sqrt{s_{NN}} = 7 - 200 \text{ GeV}$	10 – 800 (limitation by luminosity)
NA49/61@SPS CERN	$E_{kin} = 20 - 160 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} = 6.4 - 17.4 \text{ GeV}$	80 (limitation by detector)
MPD@NICA Dubna	$\sqrt{s_{NN}} = 2.0 - 11.0 \text{ GeV}$	~1000 (design luminosity of $10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for heavy ions)
CBM@FAIR Darmstadt	$E_{kin} = 2.0 - 35 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} = 2.0 - 8.3 \text{ GeV}$	$10^5 - 10^7$ (limitation by detector)

при $E_{кин} = 11 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} \approx 5 \text{ GeV}$

Experiment	Observables for beam energies below $\sqrt{s_{NN}} = 12 \text{ GeV}$ (high baryon density region)			
	hadrons	correlations, fluctuations	dileptons	charm
STAR@RHIC BNL	yes	yes	no	no
NA61@SPS CERN	yes	yes	no	no
MPD@NICA Dubna	yes	yes	no	no
CBM@FAIR Darmstadt	yes	yes	yes	yes

На **SIS100** в ядро – ядерных столкновениях будет создаваться барионная плотность $\sim 6\rho_0$

Физическая программа:

- электромагнитная структура плотной барионной материи
- модификация свойств адронов при высокой барионной плотности и признаки восстановления киральной симметрии
- уравнение состояния ядерной материи при плотностях кора нейтронных звезд
- мульти странные гипероны, экзотические состояния материи такие, как конденсаты странных частиц
- рождение чарма на пороге
- влияние среды на свойства очарованных частиц

Участники ПИЯФ в СВМ (на сегодняшний день) :

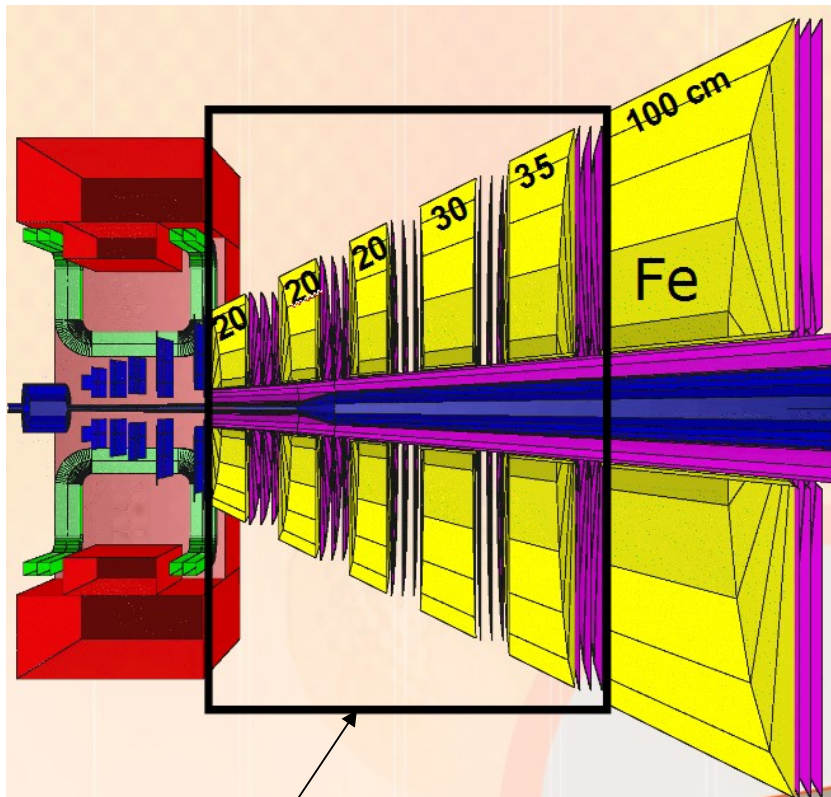
1. В мюонной системе **MuCh**

С. Волков, В. Евсеев, В. Иванов, Б. Комков, Е. Крышень,
Л. Кудин, В. Никулин, Е. Роцин, Г. Рыбаков, В. Самсонов,
О. Тарасенкова, А. Ханзадеев, Е. Чернышова

2. В детекторе **RICH**

Е. Взнуздаев, М. Взнуздаев, В. Евсеев, В. Добырин, Л. Коченда,
П. Кравцов, Н. Мифтахов, В. Поляков, Е. Роцин, Г. Рыбаков,
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 из **3GEM** или **GEM + MICROMEGAS** детекторов в центральной части и **TGEM** - детекторов на периферии в каждой

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

Число каналов электроники $\sim 10^6$

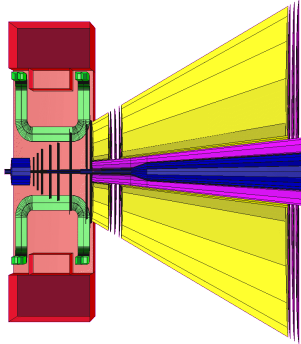
Поэтапное создание полномасштабной версии детектора

Заявка ПИЯФ на участие в MuCh, согласованная с немцами и индусами

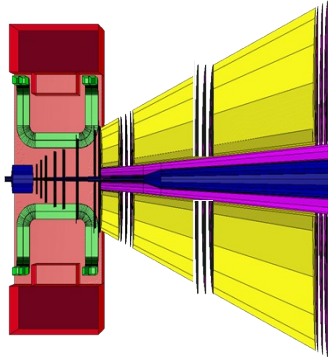
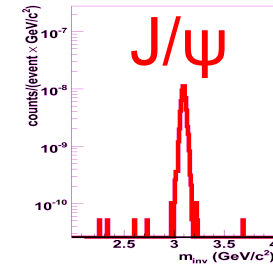
Вид работ		Разбивка объёмов работ по годам (млн. Евро)							Всего
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
1. Создание мюонного детектора MuCh* (Muon detection system, PSP – 1.1.1.11)									
1.1. Абсорберы, включая механику поддержки (absorbers including support)	НИОКР	0.02	0.04	0.02					0.08
	Изготовление и доставка			0.2	0.2	0.3	0.17		0.87
	Монтаж на месте CBM						0.04	0.04	0.08
1.2. Детекторы трековой системы на основе straw tubes и GEM (fast micro-pattern detectors and straw tubes detectors)	НИОКР	0.04	0.03						0.07
	Изготовление и доставка			0.2	0.37	0.37	0.15		1.09
	Установка и настройка						0.06	0.06	0.12
	Доп. оборудование	0.03	0.02	0.01					0.06
1.3. Система подачи высокого напряжения (HV system)	НИОКР	0.02	0.02						0.04
	Изготовление и доставка			0.11	0.22	0.22	0.12		0.67
	Установка и настройка						0.02	0.03	0.05
1.4. Система низковольтного питания (LV system)	НИОКР	0.02	0.01						0.03
	Изготовление и доставка			0.07	0.08	0.11	0.08		0.34
	Установка и настройка						0.02	0.03	0.05
1.5. Система газообеспечения (gas supply system including controls)	НИОКР	0.02	0.01						0.03
	Изготовление и доставка			0.05	0.15	0.31	0.12		0.63
	Установка и настройка						0.02	0.03	0.05
1.6. Конструкция для размещения трековой системы (detector mechanics, mainframe)	НИОКР	0.03	0.02						0.05
	Изготовление и доставка			0.2	0.2	0.3	0.14		0.84
	Установка и настройка						0.03	0.04	0.07
1.7. Система юстировки и геометрических измерений (alignment)	НИОКР	0.03	0.03						0.06
	Изготовление и доставка			0.05	0.05	0.7	0.04		0.21
	Установка и настройка						0.03	0.05	0.08
	Доп. оборудование	0.01	0.01	0.01					0.03
Итого:		0.22	0.19	0.92	1.27	1.68	1.04	0.28	5.6

Напомню: в стартовой версии (SIS100) на MuCh планируется всего **4 М€**

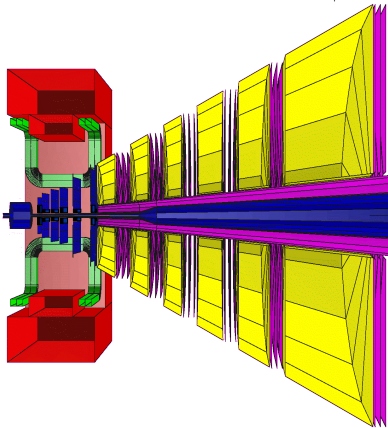
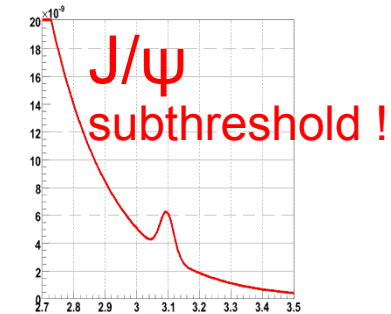
Example for upgrade scenario: Muon detector



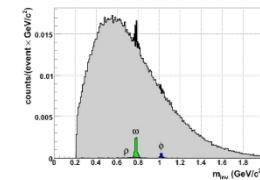
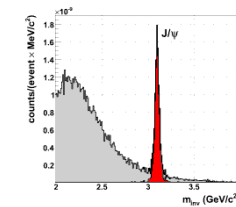
Start version I
25 GeV p+A \rightarrow J/ ψ
Iron absorber: 20+205 cm
2 detector triplets:
GEM + straw tubes

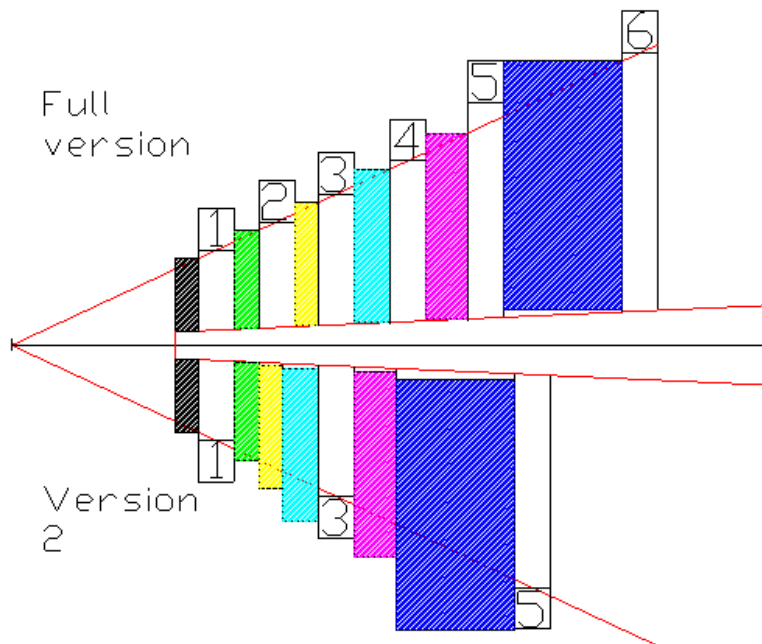
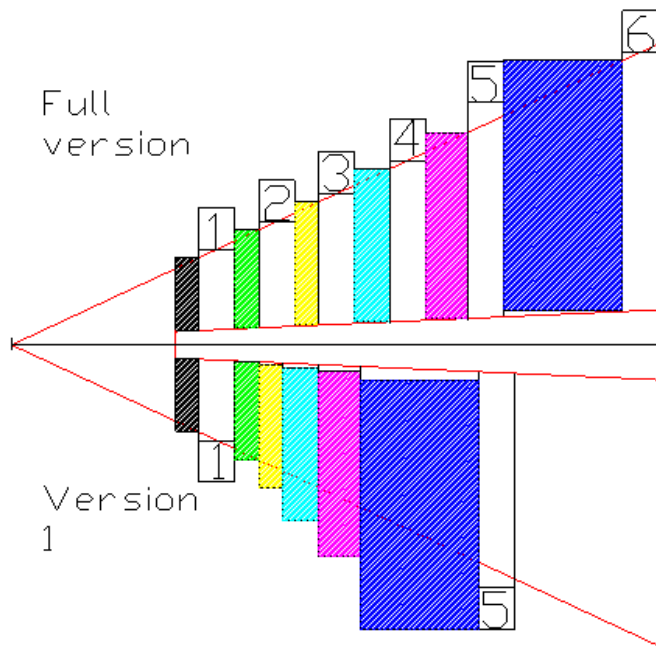


Start version II
10 A GeV Au+Au \rightarrow J/ ψ
Iron absorber: 20+70+135 cm
3 detector triplets:
GEM + micromegas + straw tubes



Full version
25 A GeV Au+Au \rightarrow $\rho, \omega, \phi, J/\psi$
Iron absorber: 3x20+30+35+100 cm
6 detector triplets:
2 GEM+2 micromegas+2 straw tubes





Абсорберы и суперструктура для размещения абсорберов и трековых камер – в зоне ответственности ПИЯФ

Проектирование предполагает возможность реорганизации механики (одни и те же элементы) с минимальными переделками для реализации как промежуточных этапов, так и полной версии

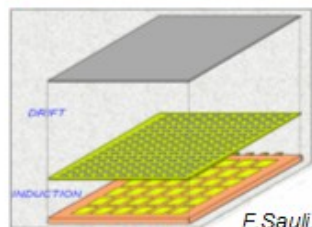
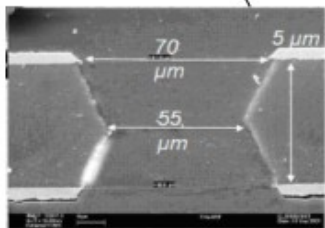
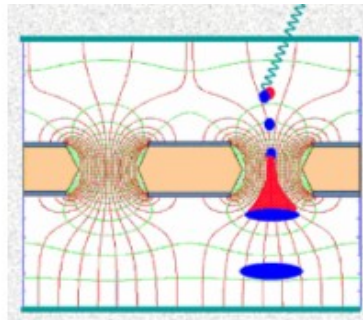
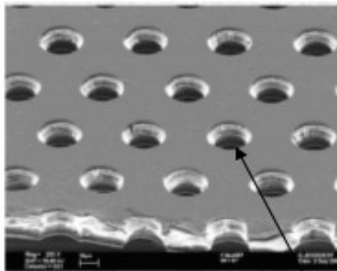
R&D – выбор базовых детекторов трековой системы MuCh

Условия СВМ :

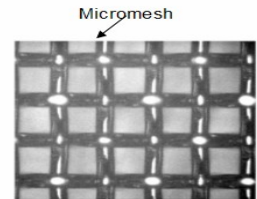
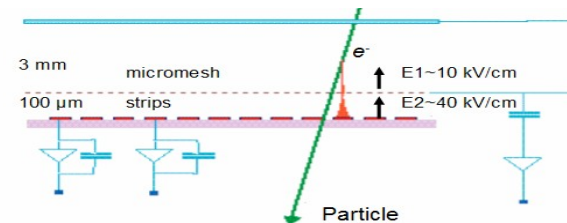
- до 10^7 событий/с, каждое из событий содержит до **1000** треков заряженных частиц
- загрузки в центральной области в первых двух станциях до 10^7 1/см²·сек
- разумное пространственное разрешение → $\sigma \sim 600\mu$
- радиационная стойкость

Кандидаты:

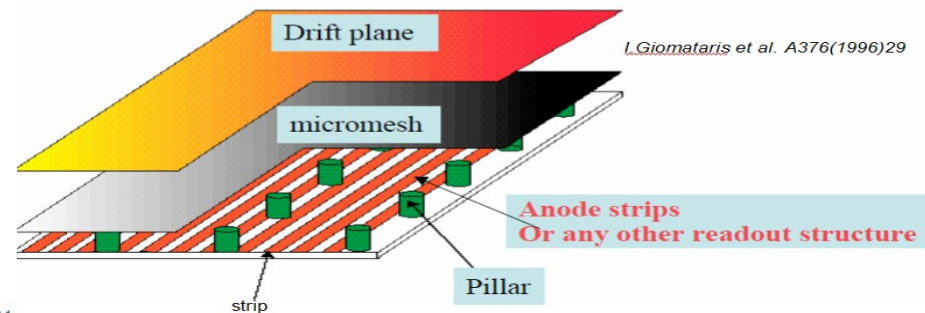
- **центральная область** – детекторы на основе **GEM, MICROMEGAS** или их комбинации
- **периферия** – **TGEM**



E. Sauli, NIM A386(1997)531



L. Giomataris et al. A376(1996)29



Основная задача R&D – освоить все типы этих современных детекторов и выбрать наиболее подходящий вариант для нужд CBM

Важный этап – тестовый сеанс осенью 2010 г. в ЦЕРН на пучке **p** и **π** (энергия **5 ГэВ**, интенсивность **~ 1 кГц**)

Измерения проводились для 4-х прототипов, предварительно прошедших лабораторные испытания с радиоактивными источниками:

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/CO₂/iC₄H₁₀ (88/8/4) и He/CF₄/iC₄H₁₀ (76/22/2)

**Считывающий электрод имел падовую структуру с размером пада 1.5×3.0 мм²
128 каналов электроники (ALICE)**

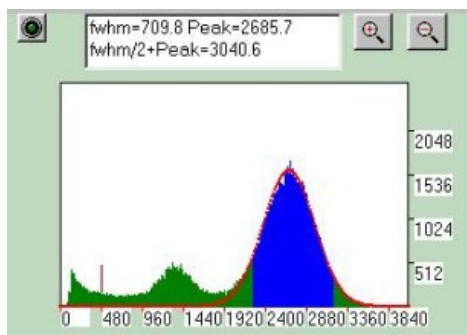
Весной 2011 г. закончен анализ данных тестового сеанса, из которого следует:

- Все типы проверяемых детекторов (**MG**, **MTG**, **DTG**, **GG**) показали высокую (**98-100%**) эффективность регистрации *mip* при коэффициентах газового усиления:
~ $5 \cdot 10^3$ в **Ar-смеси** и ~ $15 \cdot 10^3$ в **He-смеси**
- Измерен размер кластеров (количество сработавших падов считывающего электрода при прохождении *mip*). Средний размер кластера при 0° для **DTG/GG** в **~1.3 раза** больше, чем для **MG/MTG**
В **Ar-смеси** размер кластера в **~1.2 раза** больше, чем в случае **He-смеси**
- Измерен и получен в MC симуляции радиус распределения заряда на считывающем электроде. Результаты эксперимента и моделирования прилично совпадают

	X – direction		Y – direction		simulation	
	He	Ar	He	Ar	He	Ar
	<i>r</i> (mm)	<i>r</i> (mm)	<i>r</i> (mm)	<i>r</i> (mm)	<i>r</i> (mm)	<i>r</i> (mm)
MG	0.18	0.49	0.17	0.54	0.19	0.48
MTG	0.17	0.45	0.18	0.45	0.16	0.41
DTG	0.42	0.60	0.40	0.65	0.49	0.73
GG	-	0.55	-	0.58	-	0.62

- Реалистичный размер распределения заряда вставлен в процедуру симуляции реконструкции векторных мезонов и чарма

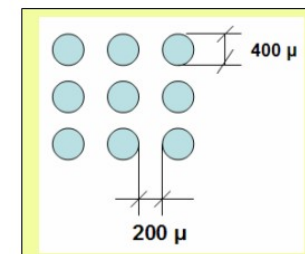
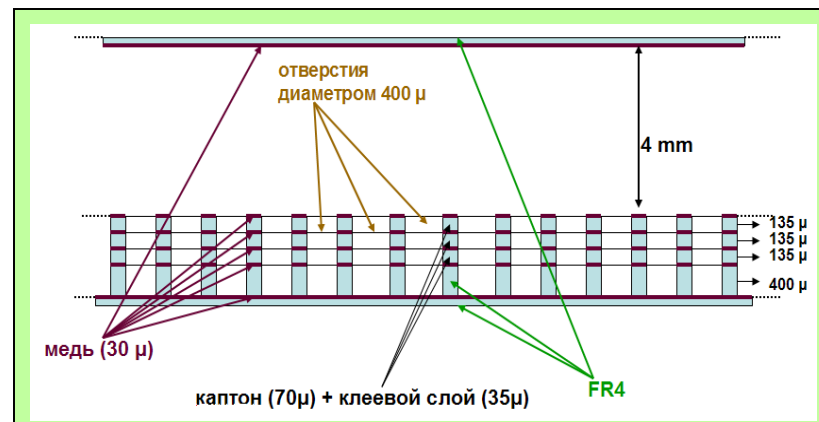
Новая детектирующая структура с многокаскадным усилением (монолитный TGEM), на данном этапе рассматриваемая нами как перспективная для периферии трековых станций



Тест с ^{55}Fe в
 $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{iC}_4\text{H}_{10}$

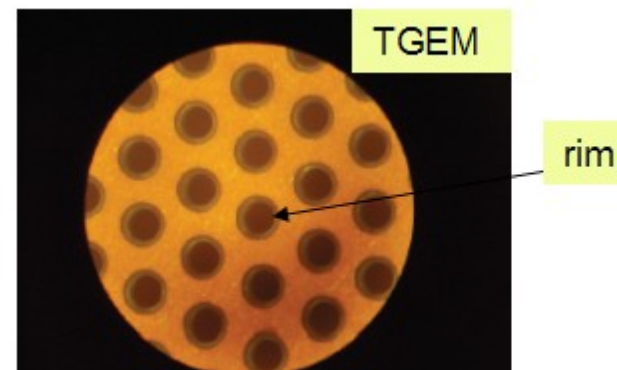
Коэффициент газового усиления в **Ar** смеси при достаточно низком напряжении **~300В** на одном промежутке \rightarrow **GG ~ 30·10³**

Энергетическое разрешение **fw hm ~25%**



Технология – стандартное производство многослойных печатных плат из, например, 4-х тонких слоев фольгированного с одной стороны **FR4** (или **каптон** с точки зрения радиационной стойкости) Затем в подготовленной плате сверлятся сквозные отверстия. Изготовленная плата накладывается на считывающий электрод. В такой структуре легко делается необходимая сегментация в подаче HV

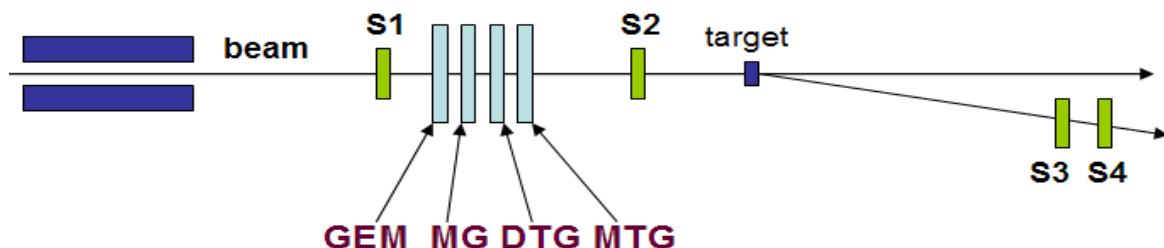
Отсутствует “хитрая” операция травления колечек вокруг отверстий



Пример стандартного **Thick GEM**, производство которого освоено в ПИЯФ

Задача на 2012 г. – проверка на интенсивном тестовом пучке в Гатчине подготовленных прототипов:

GEM – тройной GEM, **MG** – Micromegas+GEM, **DTG** – двойной TGEM, **MTG** – монолит. TGEM



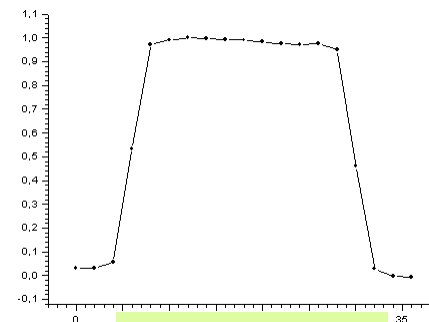
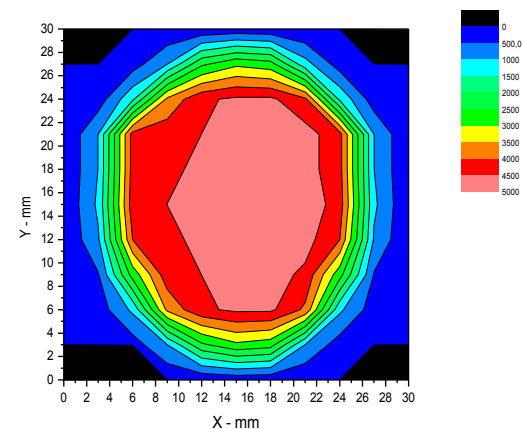
Тестовый пучок:
интенсивность 10^5 - 10^8 1/s
растяжка – 50%

S1-S2 – пучковый триггер при относительно низкой интенсивности, **S3-S4** – триггер/монитор для высокой интенсивности, нормированный на счет **S1-S2** при низкой интенсивности ($< 5 \cdot 10^5$)

Каждый прототип снабжен: считывающим электродом 4×4 мм², быстрым каналом для измерения эффективности, **спектрометрическим каналом** для измерения энергетических потерь и выбора рабочих режимов, **каналом** для измерения вероятности разрядов

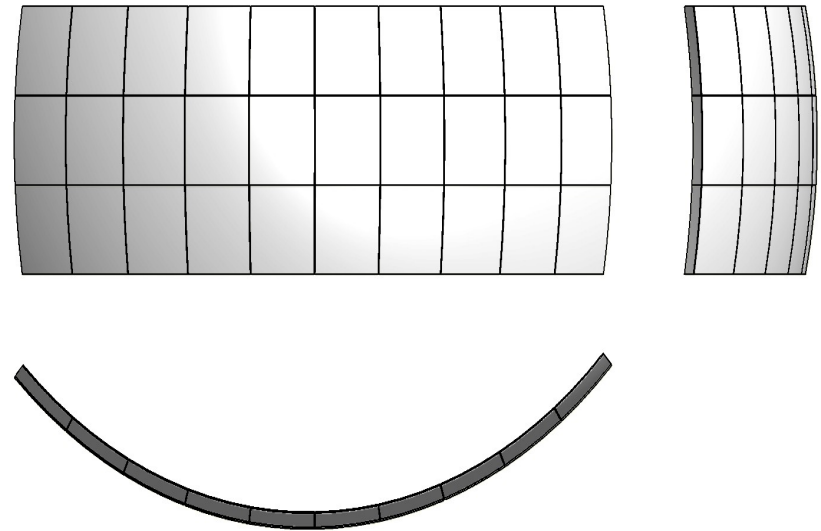
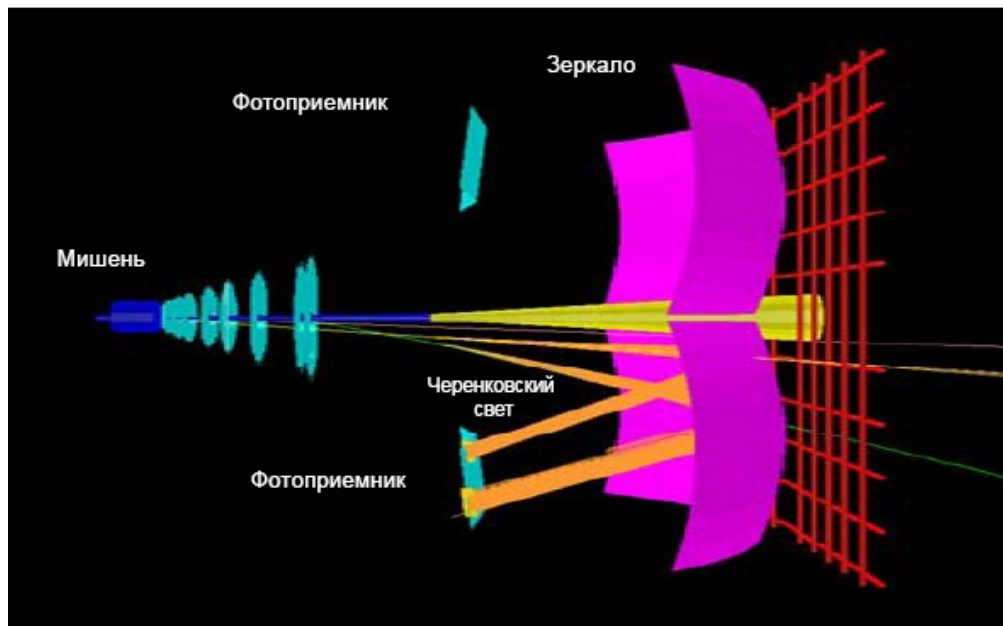
Основные задачи теста:

1. Зависимость эффективности от загрузки
2. Зависимость вероятности разрядов от загрузки
3. Две газовые смеси – аргон и гелий



Пучок на S1

Черенковский детектор RICH



По предложению ПИЯФ зеркала компонуются из трапециoidalных сегментов

Заявка ПИЯФ на участие в RICH, согласованная с немцами

В		Разбивка объемов по годам работ(млн.Евро)							
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
2.Создание черенковского детектора RICH, PSP code: 1.1.1.3									
2.1 Структура поддержки зеркал (Mirror support structure)	НИОКР(R&D)	0.02	0.03						0.05
	Изготовление, отладка и транспортировка			0.1	0.11	0.12			0.33
	Монтаж на месте CBM и настройка						0.02	0.02	0.04
	Доп. оборудование			0.01	0.01	0.01			0.03
2.2 Система газового обеспечения (Radiator gas supply system)	Проектирование	0.01	0.01						0.02
	Изготовление и доставка			0.05	0.05	0.06			0.16
	Монтаж на месте CBM и наладка						0.01	0.02	0.03
	Доп. оборудование			0.03	0.03	0.03			0.09
2.3 Корпус газового объема с несущей рамой (Radiator vessel and support)	Проектирование		0.01	0.01					0.02
	Изготовление и доставка				0.1	0.1			
	Монтаж на месте CBM						0.01	0.02	1.15
2.4 Структура поддержки ФЭУ и магнитная защита (PM support, magn.shielding)	Проектирование	0.01	0.01						0.02
	Изготовление и доставка			0.02	0.03	0.05			0.1
	Монтаж на месте CBM						0.01	0.02	0.03
Итого:		0.04	0.06	0.22	0.33	0.37	0.05	0.08	1.15

В 2011 г. сделан важный шаг – создан полномасштабный прототип, в состав которого входит:

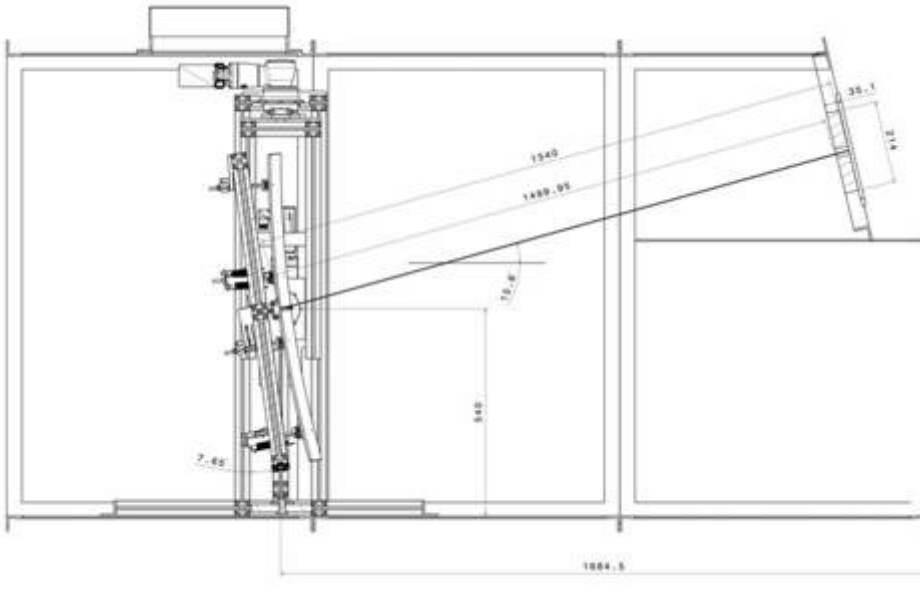
- корпус
- фотодетектор(16 мульти анодных ФЭУ Hamamatsu 8500, 64 пикселя в каждом ФЭУ),
- сборка из 4-х квадратных зеркал 400x400мм с механикой подвеса,
- газовая система(CO₂)

Решаемые задачи:

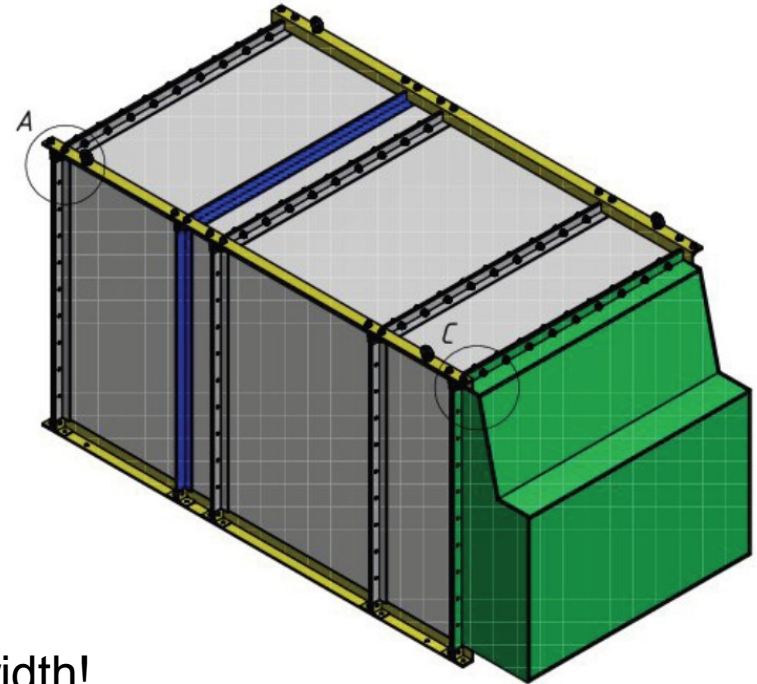
- проверка общей концепции
- измерение параметров детектора и сравнение с результатами симуляции
- схема фотодетектора и электроники считывания
- процедура сборки зеркал в единое целое, проверка механики подвеса сегментов
- разработка элементов управления юстировкой зеркальных сегментов и проверка на практике возможностей юстировки
- проверка в работе возможностей и качества газовой системы
- подготовка к написанию отчета по техническому проектированию(TDR) и заявке на финансирование

RICH prototype design

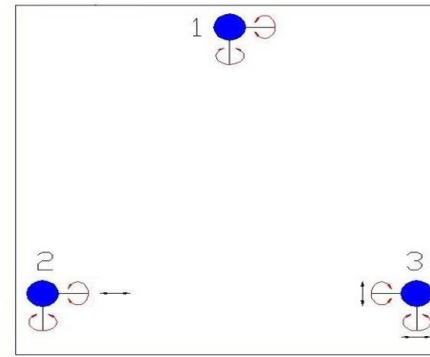
Wolfgang Niebur, GSI
Thomas Wasem, JLUG
Tariq Mahmoud, JLUG
Marat Vznuzdaev, PNPI



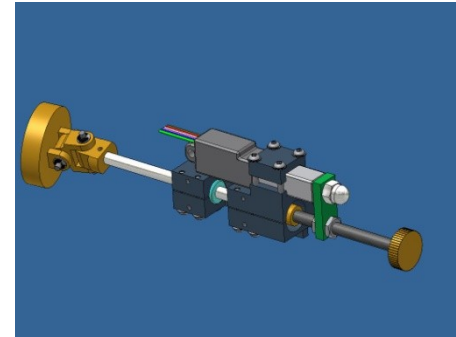
- full length; 1.7 m radiator length
- reduced in lateral dimensions:
 - 2x2 mirror plane
 - 4x4 MAPMTs in photocalorimeter
- complete box: 2.4 m long, 1.2 x 1.4 m² in width!



В ПИЯФ разработан и реализован вариант



П



Т

р

е

х

т

о

ч

е

й

с

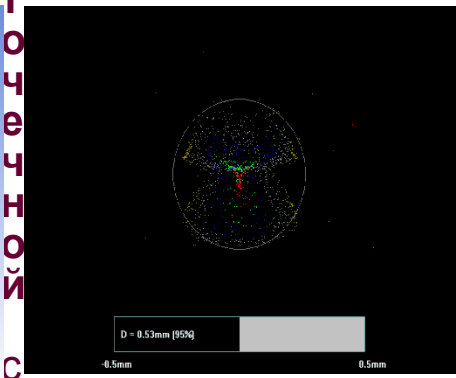
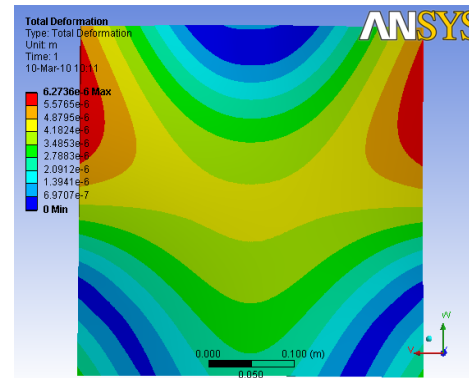
х

е

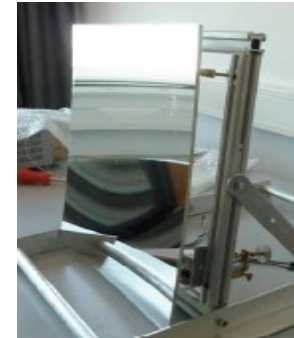
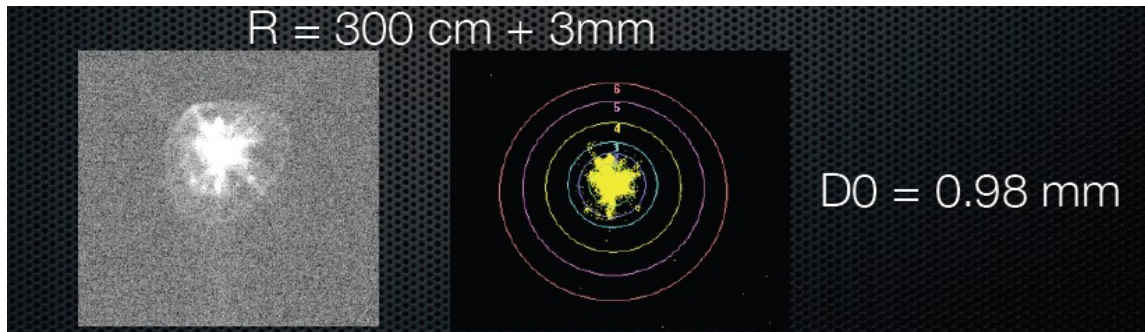
м

е

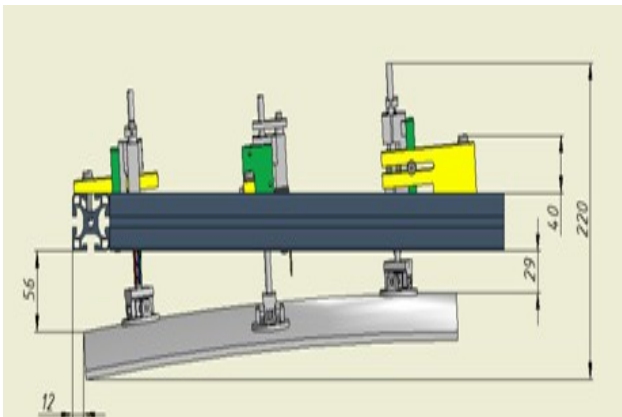
с



- 1-я версия подвеса из 3-х узлов проверялась в сборке зеркального модуля в лаборатории университета г. Гиссен (JLUG), Германия
- на специальном оптическом стенде в JLUG были проведены измерения размера отраженного пятна D° (характеристика оптического качества)
- заметного влияния подвеса (его деформаций) на результирующее оптическое качество зеркала не было обнаружено. Размер $D^{\circ} \sim 1$ мм лучше допустимого.



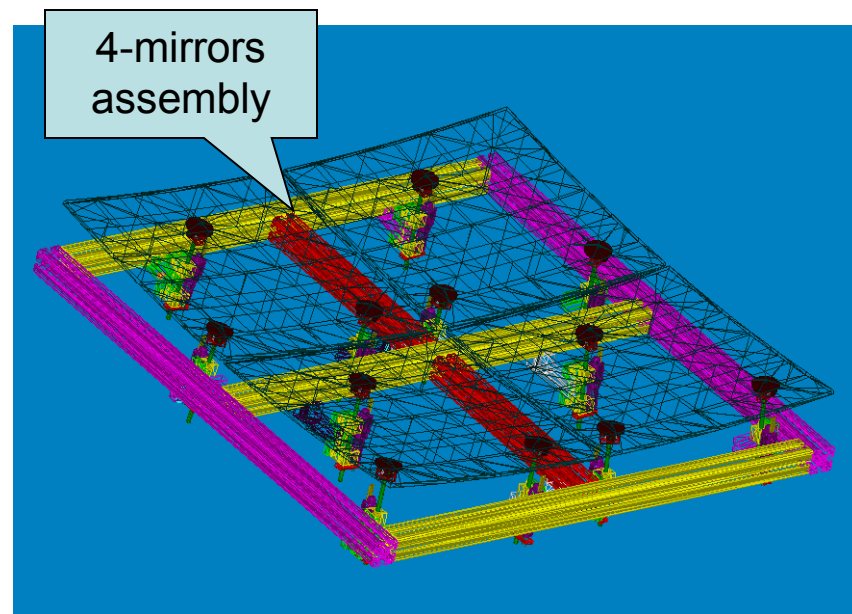
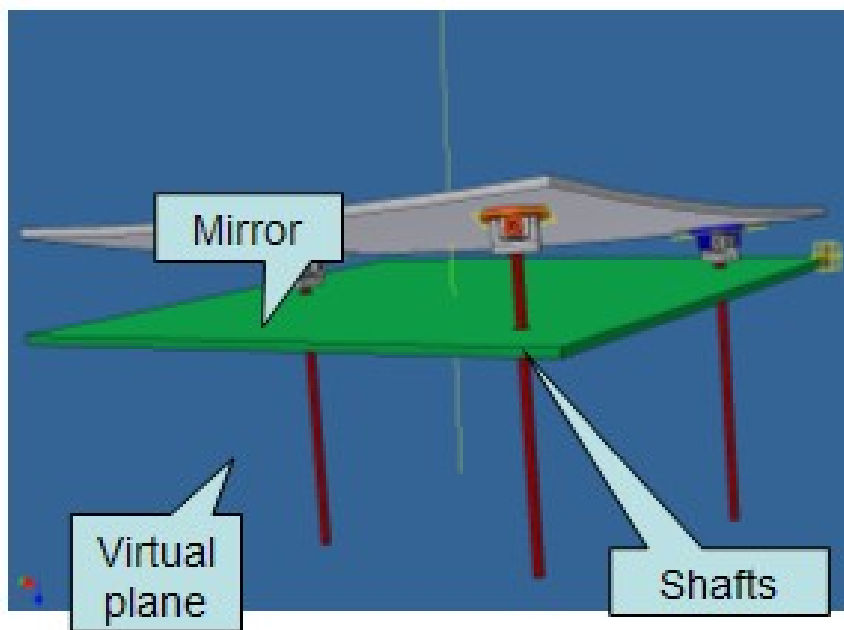
По результатам испытаний в JLUG структура подвеса была усовершенствована, подготовлена техническая документация (О.Тарасенкова) и в механической мастерской ОФВЭ было произведено 12 штук узлов для 4-х зеркал прототипа RICH

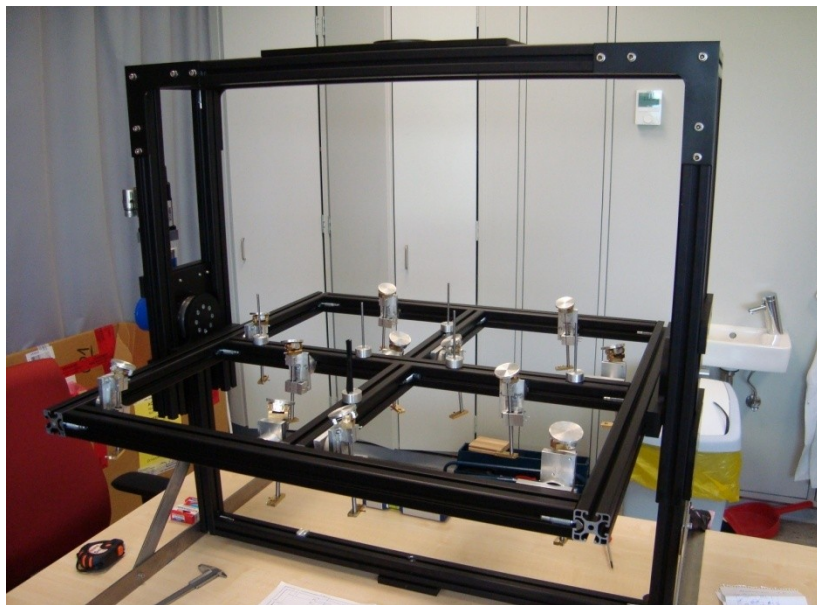


← Схема подвеса зеркала

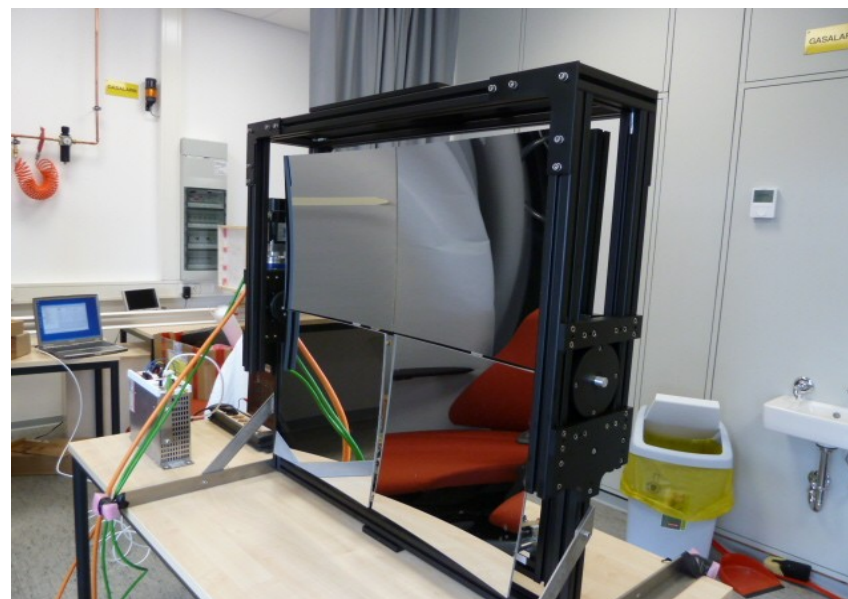
Для обоснования состоятельности механической концепции была создана трехмерная кинематическая **модель** данного варианта подвеса (М.Взнуздаев), позволяющая проверить функционирование подвеса для всех возможных комбинаций положений карданных шарниров.

Также была создана модель сборки 4-х зеркал.





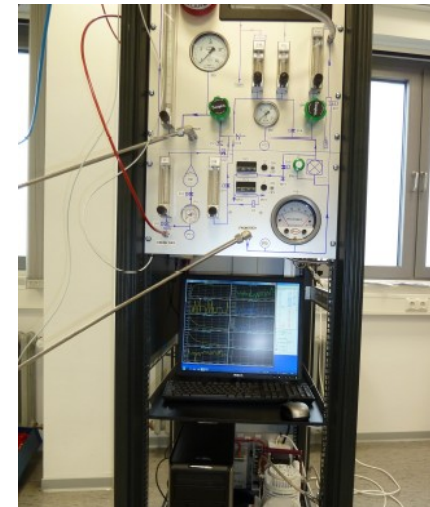
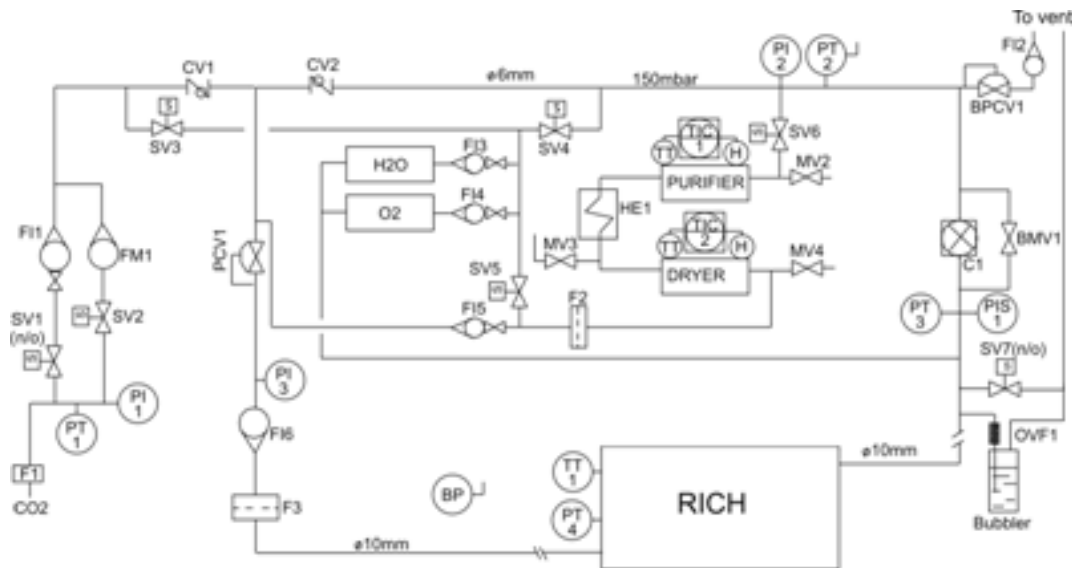
В ходе визита группы сотрудников ПИЯФ в университет Гиссена, было произведено оснащение всех узлов подвеса актуаторами, сборка подвесов на несущей раме, приклейка 4-х зеркальных сегментов и их предварительная юстировка на общий центр кривизны. Все актуаторы были подключены к компьютеру и юстировка производилась в автоматизированном режиме



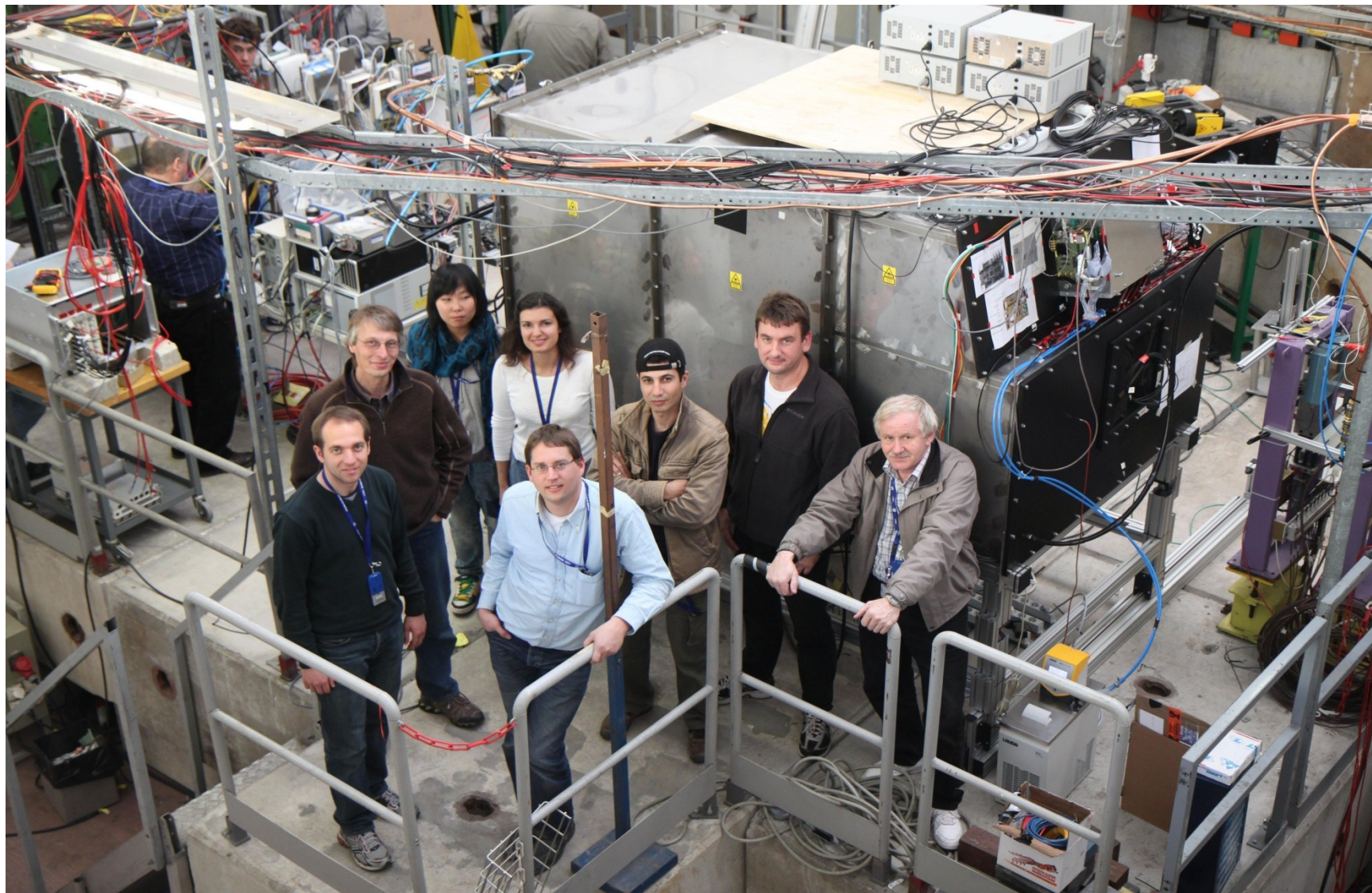
Газовая система

В феврале 2011 г. в Гиссене Л.Коченда и П.Кравцов спроектировали и собрали газовую систему для прототипа

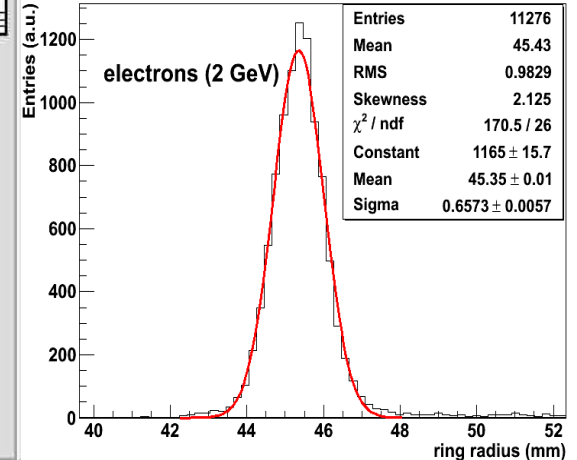
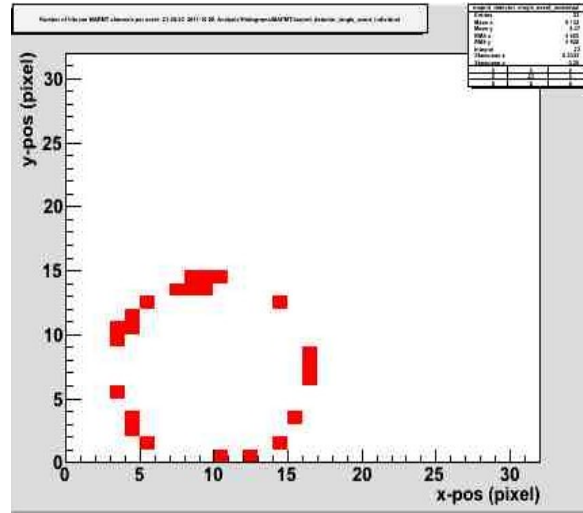
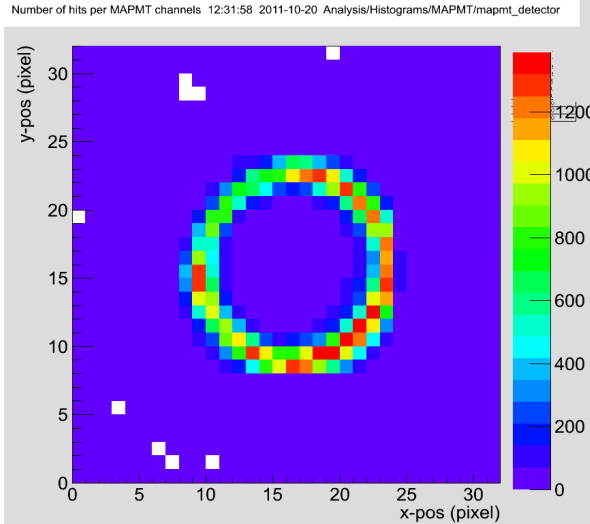
С небольшими изменениями такая система годится и для реального детектора



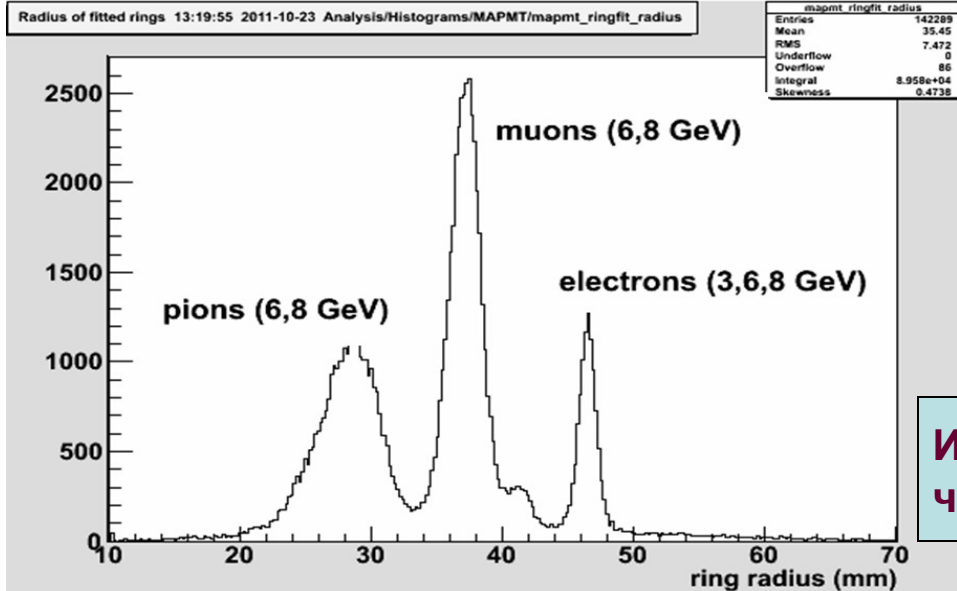
**RICH прототип был подготовлен и установлен на тестовом пучке в ЦЕРН
Эксперимент проводился с 17 по 31 октября 2011 г.**



Первые результаты



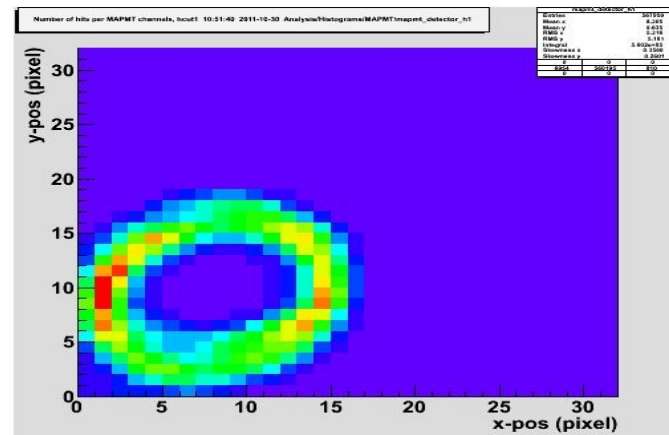
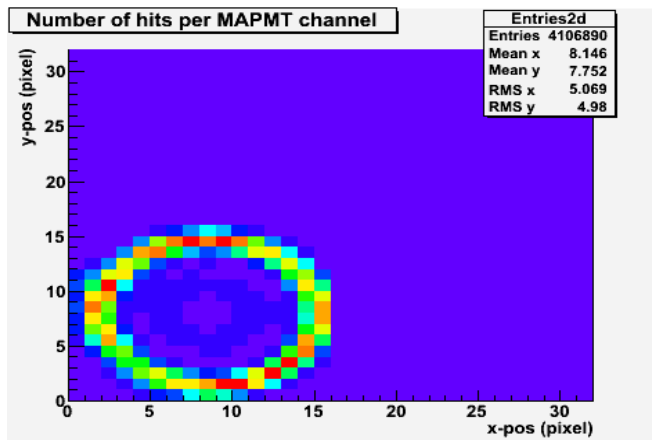
Первые черенковские кольца для электронов с энергией 2Гэв



Идентификация частиц по радиусу черенковского кольца

В ходе тестового сеанса проверялась зависимость качества восстановления колец от:

- чистоты газа
- положения фотодетектора
- напряжения на ФЭУ и порогов
- импульса налетающей частицы
- юстировки зеркал



Пример влияния “расстройки” углового положения одного из зеркальных сегментов

Заключение

- Прототип в целом показал ожидаемое, предсказуемое поведение
- Проверка работы компонентов прототипа дает основание утверждать, что предложенные технические решения состоятельны, в том числе и по механике
- Обработка результатов теста на пучке продолжается для формирования окончательных выводов