

14.04.2009 - ФИАН

## П.А. Черенков

Гос. Премии СССР (1946, 52 и 77 г.г.)

**Нобелевская премия по физике (1958)**

совместно с И. Франком и И. Таммом



Щ- детекторы, RICH, TRD

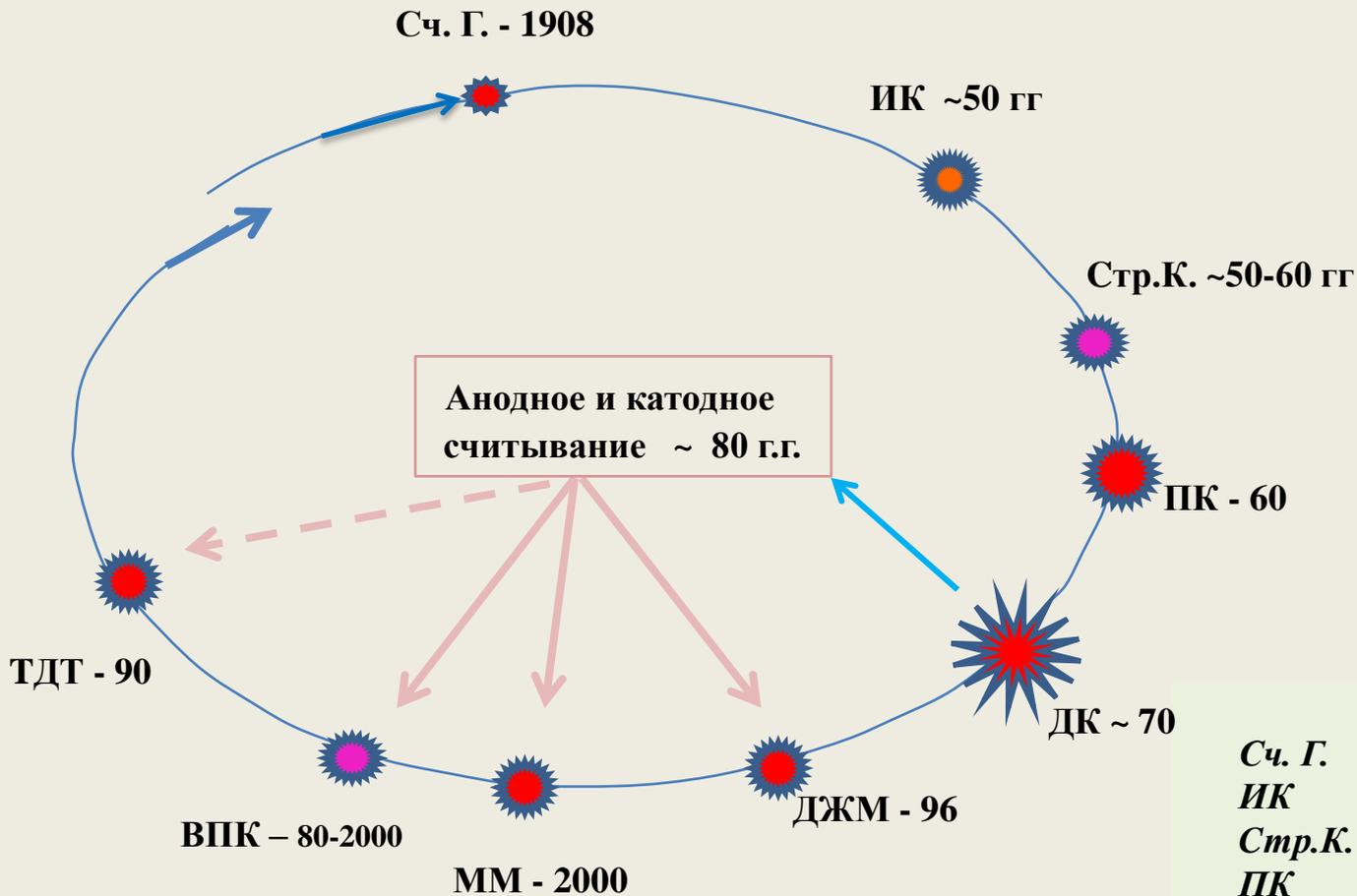


**Georges Charpak**

**MWPC, DC, TPC, GEM, ....**

**The Nobel Prize in Physics (1992)**

"for his invention and development of particle detectors,  
in particular the multiwire proportional chamber"



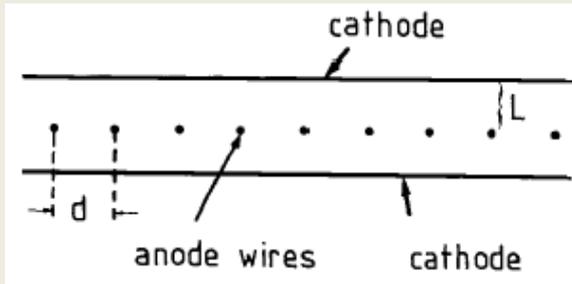
- Сч. Г.* - *Geiger-M.Counter*
- ИК* - *Spark Chamber*
- Стр.К.* - *Strimer Chamber*
- ПК* - *MWPC*
- ДК* - *Drift Chamber*
- ДЖМ* - *GEM Chamber*
- ММ* - *Micromegas Ch.*
- ВПК* - *TPC*
- ТДТ* - *Straw Chamber*

## Параметры некоторых трековых детекторов

	Si-стрип модуль	Straw	DC	GEM	Micromegas
Радиационная стойкость	$3 \cdot 10^{12}$ p/мм <sup>2</sup> (*)	>11 C/см		<5%; 230 мС/мм <sup>2</sup>	23мС/мм <sup>2</sup>
Простр. разрешени (σ), мкм	<b>20-30</b>	~200 ~80 k. r.	~200 <100 k. r.	<b>~50</b>	50-100
Загрузоч. способность, МГц/см <sup>2</sup>	readout	4,5	4,5	<b>~50</b>	<b>~50</b>
Чувствительная площадь (S), см <sup>2</sup>	6.16×6.20	<b>350×245</b>	~200 ×200	33×33	40*40; (15,9)
Толщина (h), мм	0.3 (0.15)	<b>≥40</b>	~30	15	~30
S/h , отн.ед.	1	<b>4,2</b>	0,3	1,3	0,6
Гранулированность, см <sup>2</sup>	<b>~0.1</b>	17 ÷ 97 >1 (s.s.).	~60, >1 (pad)	4 0.1 (s pad)	4 0.1 (s pad)
Радиац. толщина, % X <sub>0</sub> Total	0.33 ~1,3	(0.05 ÷ 0.1) <b>~0,2</b>	> 0.4	0.71 0,5 (beam hole)	0,3
Давление газа, бар	-	<b>&lt;5</b>	1	1	1; (2)
σ/мах. размер	3,7	<b>0,6</b>		1,5	1,2; (10)

(\*) – h=300 мкм; E<sub>p</sub> = 24 GeV

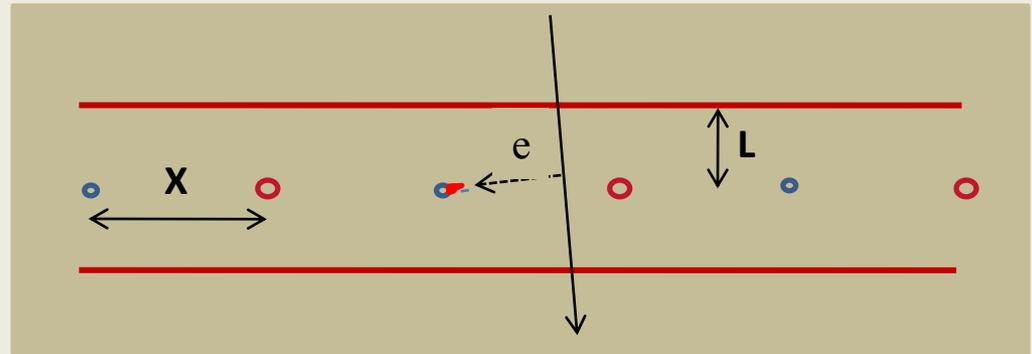
## МПК



$L = 5.8 \text{ мм}$ ,  $d = 2 \text{ мм}$ ,  $\phi = 20 \text{ мкм}$

Цифровое считывание,  $\sigma \approx d/\sqrt{12}$

## ДК

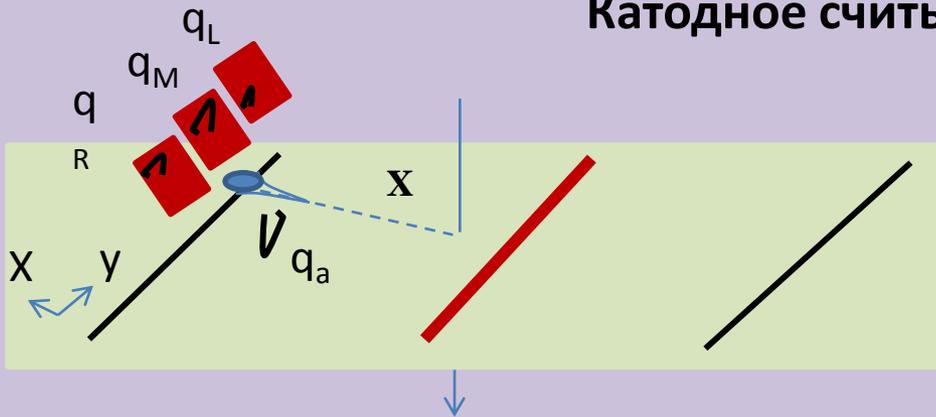


Катоды, аноды,  $L = 3.5 \text{ мм}$ ,  $X = 3.20 \text{ мм}$

$$x = \int v_D(t) dt$$

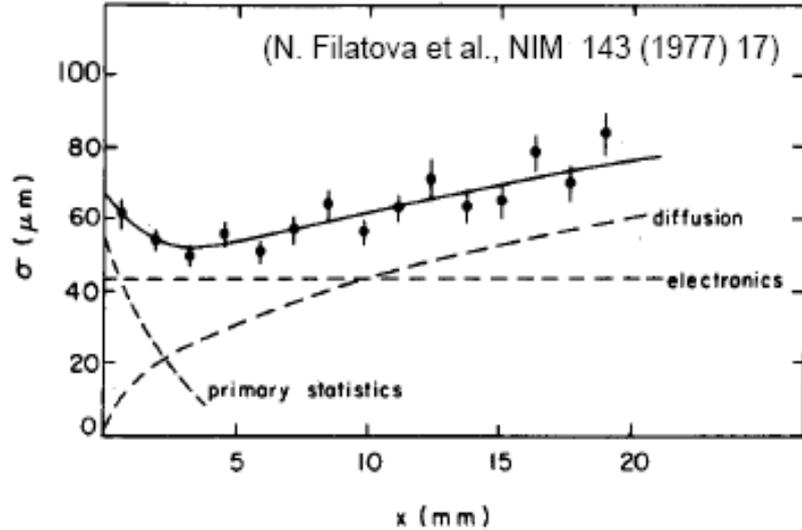
$$\sigma_x^2 = 2D_L t$$

## Катодное считывание



Метод центраида:  $y = W (\lg q_L - \lg q_R) / 2(q_R - 2 \lg q_M + q_L)$

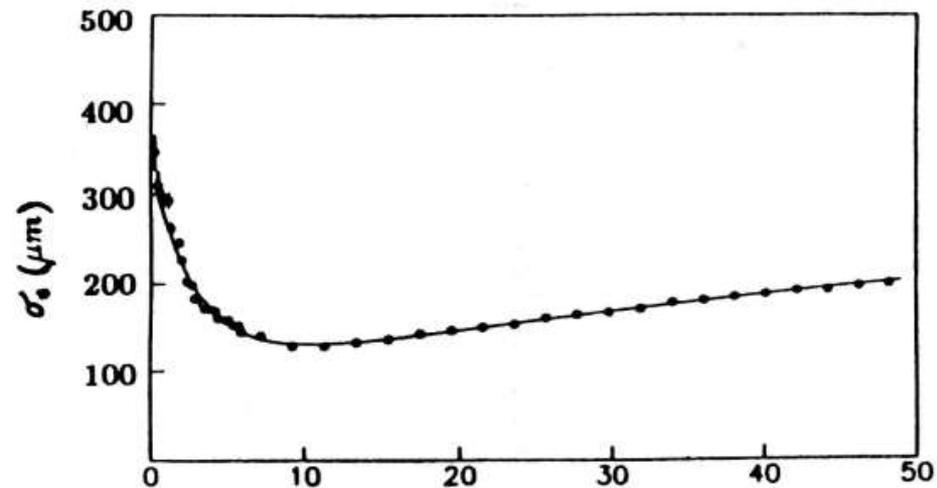
$\sigma_y < 100 \text{ мкм}$



## Основные факторы, определяющие пространственное разрешение:

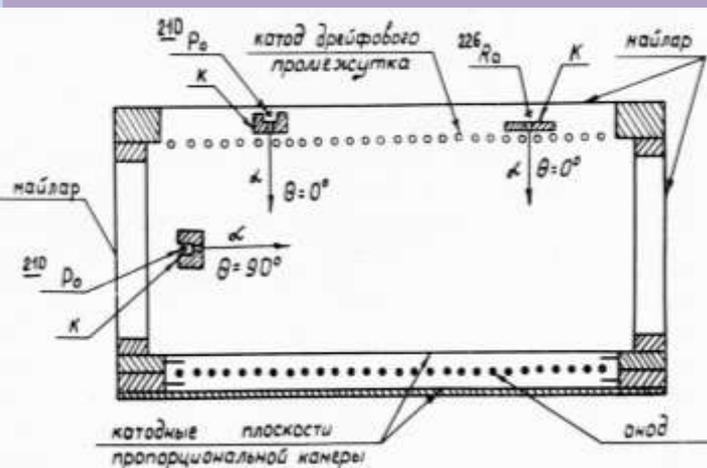
- Точность позиционирования элементов д-ра
- Ионизационные потери, скважность кластеров
- Диффузия электронов в эл.поле
- Отношение сигнал/шум ( $> 30$ )
  - чувствительность эл-ки (порог)
  - уровень шума (grounding)

Пространственное разрешение ДК (L3)

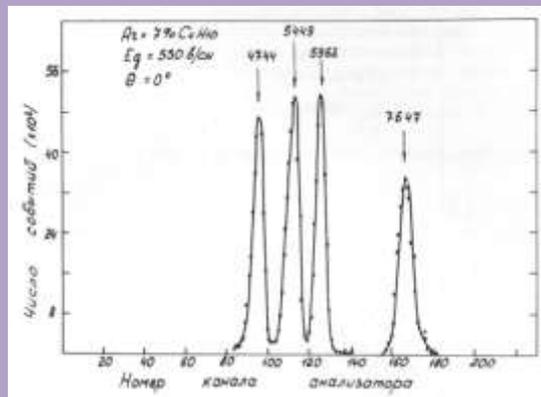


# Time Projection Chamber (TPC)

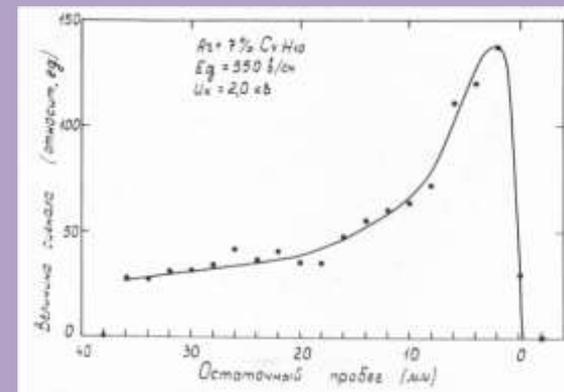
1975-оияи



Идентификатор релятивистских частиц – 1974 г. (W.Allison)

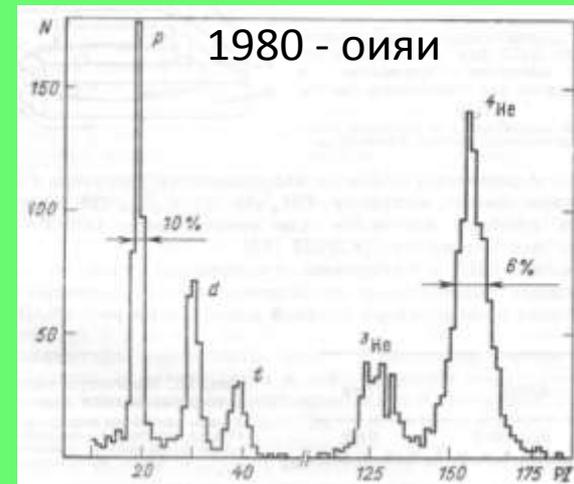
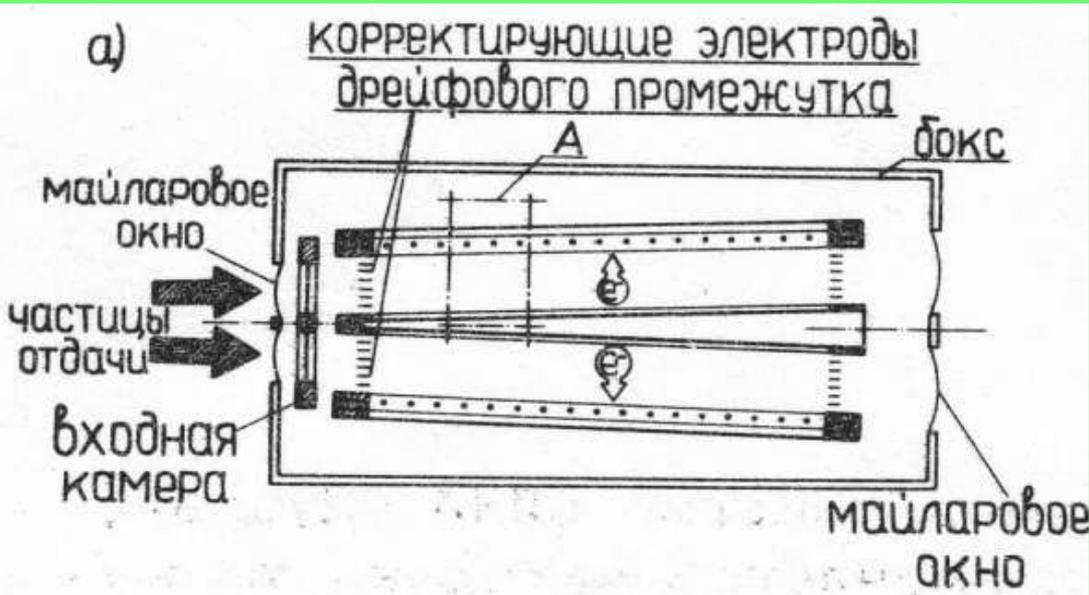


Энергетическое разрешение - 3%



ВПК:

- ✓ - измерение распределения по треку
- ✓ - определения длины пробега (X-координата)
- ✓ - Y – координаты точек трека (катодное считывание с ПК)
- ✓ - Z – координата (измерение времени дрейфа)

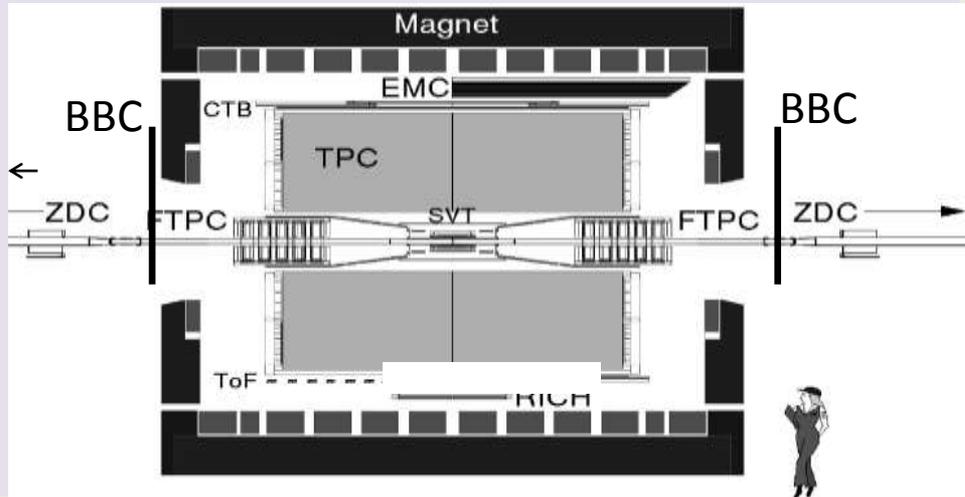
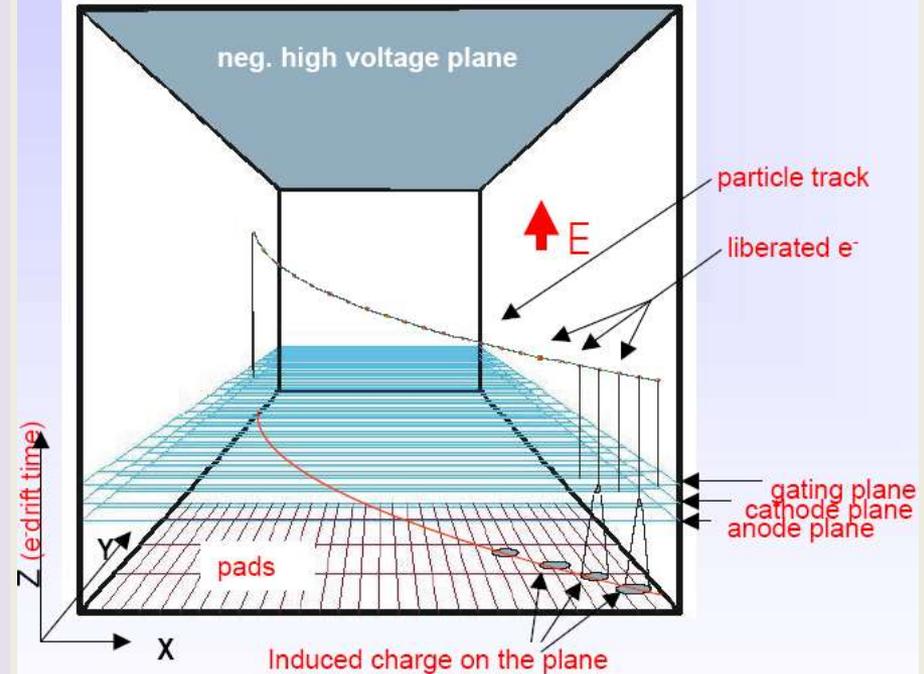
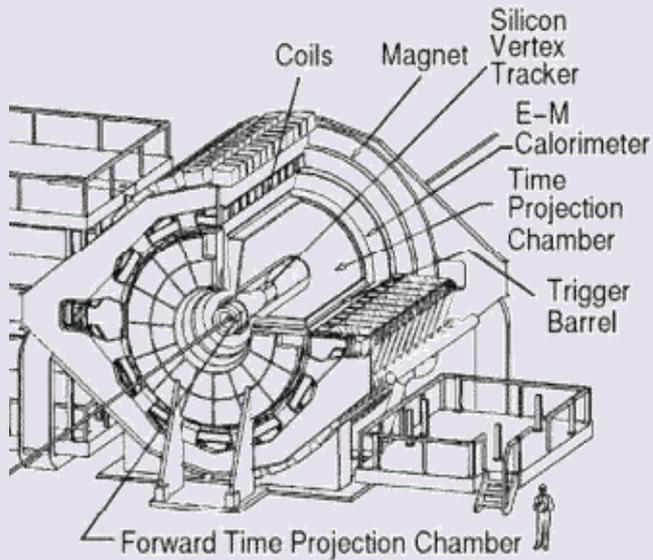


Распределение изотопов водорода и гелия

Разрешающая способность - 10% (FWHM) для протонов и 6% для гелия

# Принцип действия барельных ТРС

## STAR Exp.



Измерение ионизационных потерь  
 3D – трековая реконструкция  
 Магнитное поле  
 Импульсное разрешение

## Некоторые параметры TPC (STAR)

Чувствительный размер:  $\phi_{in} = 100$  см,  $\phi_o = 400$  см; длина - 4.2 м.

Магнит. поле: 0; 0.25 Т; 0.5 Т; соленоид.

Акцептанс:  $|\eta| < 1.8$

Эл. потенциал центрального катода: 28 кВ

Напряженность эл.поля: 135 В/см

Считывание: торцевое; ПК с пэдовым сч.

Газ: Ar/CO<sub>2</sub> (90/10); давление – (атм.+ 2 мБар)

$\sigma_L = 230$  мкм\*см<sup>-1/2</sup> (3.3 мм/210 см)

$\sigma_T = 360$  мкм\*см<sup>-1/2</sup> (5.2 мм/210 см)

Быстродействие : A LICA upgrade– 2 кГц

## TPC для ILC:

**200 точек/трек, разрешение  $R\phi \leq 100$  мкм  
импульсное разрешение  $\leq 0.5 \times 10^{-4} (\text{GeV}/c)^{-1}$**

**MPGD – считывание информации**

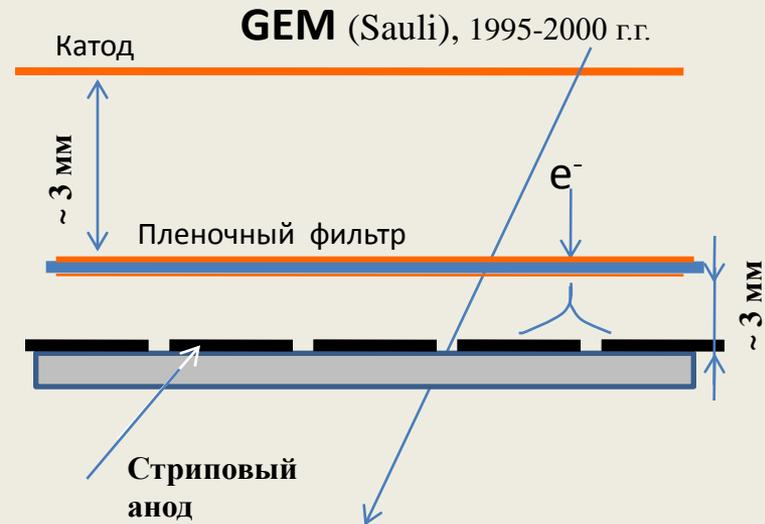
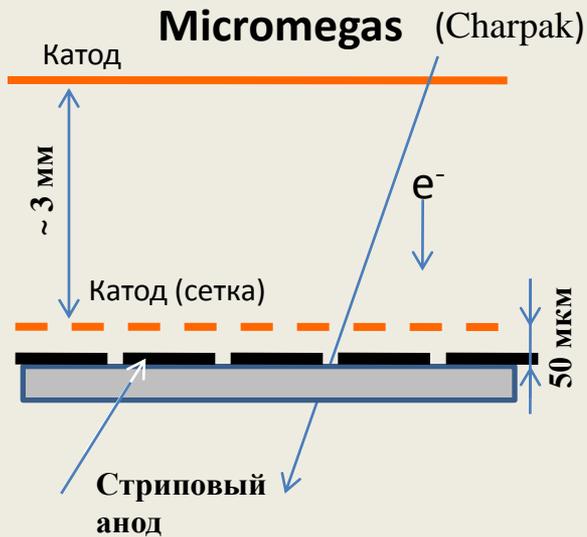
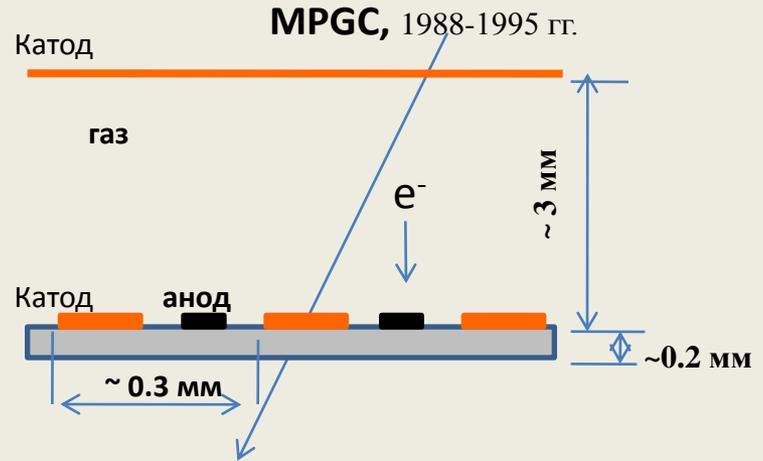
**магнит поле - 3 4 Т**

**Внешний Si трекер на поверхности TPC,  $\sigma_\phi = \sigma_z = 15$  мкм**

(LC-DET-2007-005)

**Micro Pattern Gas Detectors (MPGD)**

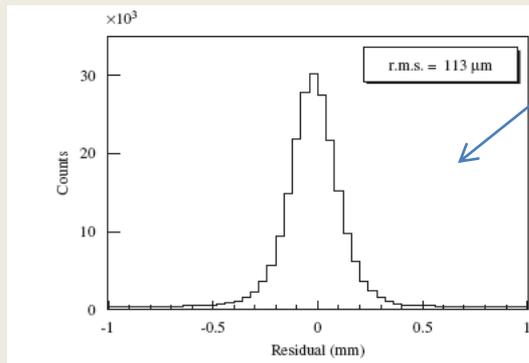
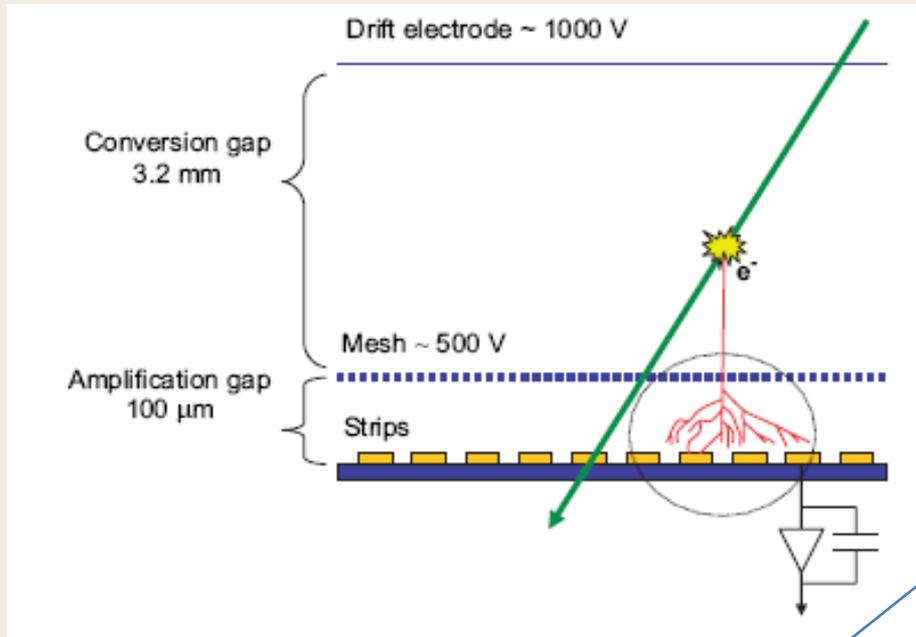
- микро-электронная технология считывания с микроструктур с большим газовым усилением (стрипы/пэды).



## MPGD , быстрые детекторы:

- ✓ с высокой гранулированностью
- ✓ хорошим позиционированием детектирующих элементов (patterns)
- ✓ высоким пространственным разрешением
- ✓ высоким отношением сигнал/шум
- ✓ достаточно хорошим энергетическим разрешением
- ✓ высокоплотной электроникой считывания
- ✓ высокотехнологичными процессами сборки и тестирования
- ✓ современными сервисными системами

## Micromesh Gaseous Structure. COMPASS exp. (CERN)



Газ : Ne/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> (80/10/10)

Электр. поле: 50 kV/cm в 100 мкм зазоре

Размер: 40 x 40 см<sup>2</sup>

Вещество – 0.3% X<sub>0</sub>

Временное разрешение: r.m.s. = 9.3 ns

Пространственное разрешение: r.m.s. = 93 мкм

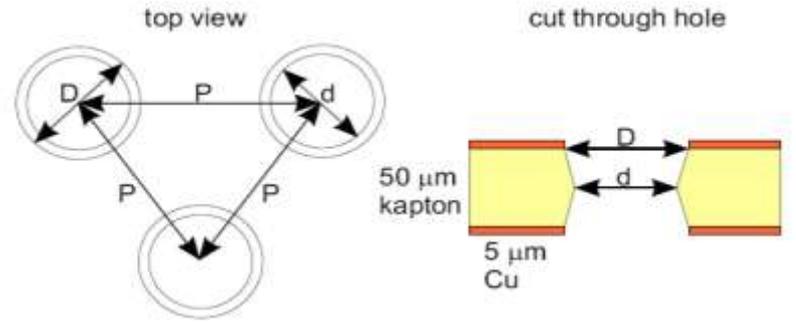
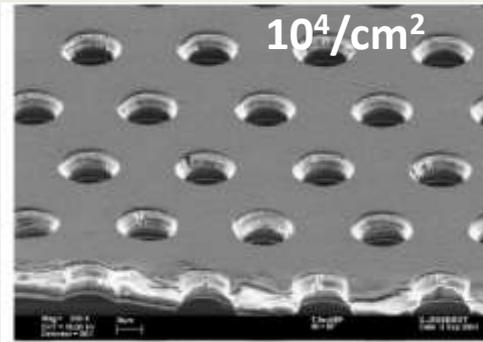
Газовое усиление  $\sim 6 \cdot 10^4$

Загрузка 450 кГц/см<sup>2</sup>

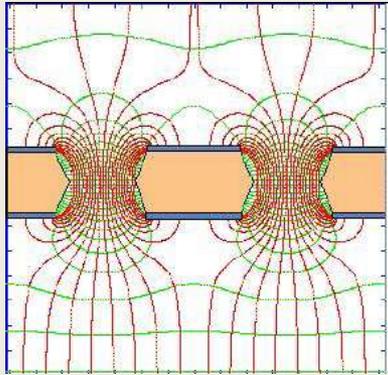
Разряды – 0.03/сброс на камеру

Гранулированность  $\sim 4 \text{ см}^2$

**Gas**  
**Electron**  
**Multiplier (GEM)**

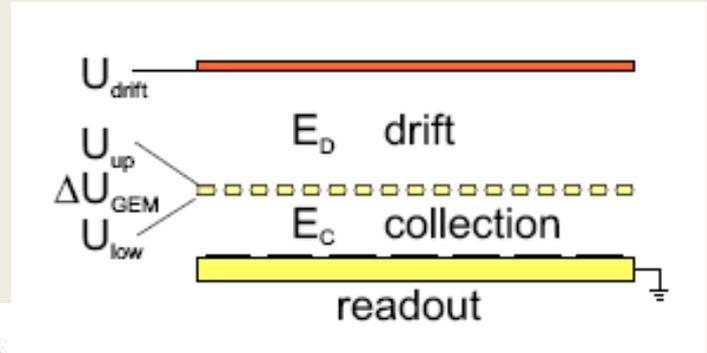


2-х сторонний электрод (GEM foil):  $P = 140 \mu\text{m}$ ,  $D = 75 \mu\text{m}$ ,  $d = 65 \mu\text{m}$ .

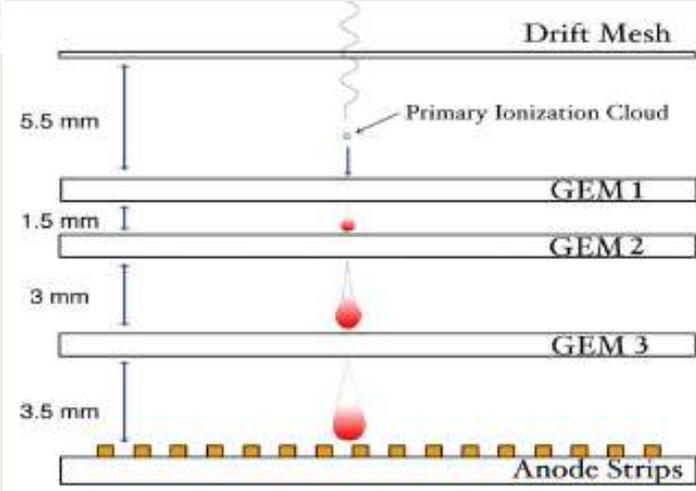


$U_{\text{GEM}} = 200 \text{ V} \rightarrow E = 40 \text{ kV/cm}$

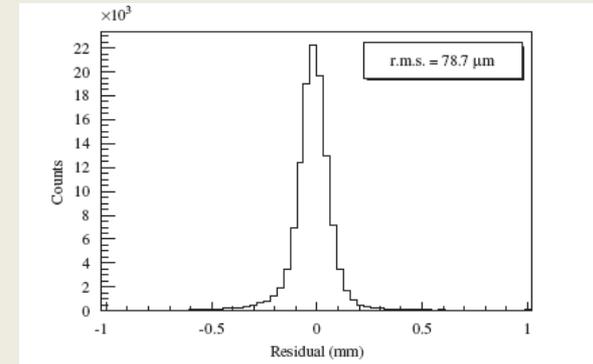
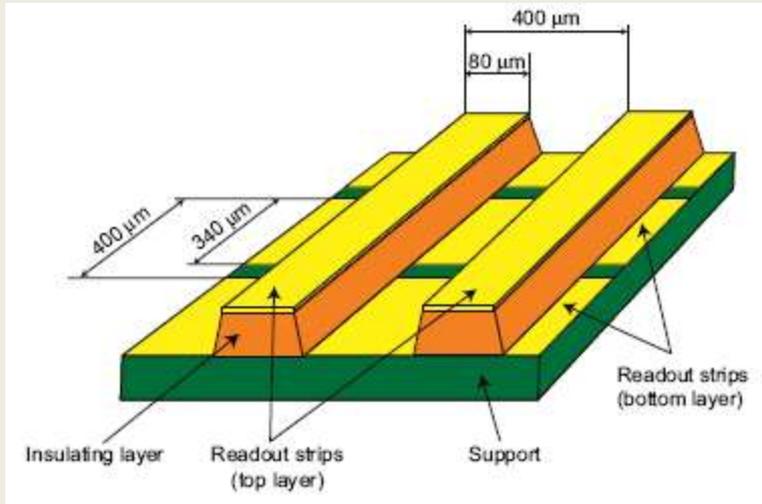
$G \leq 10^3$



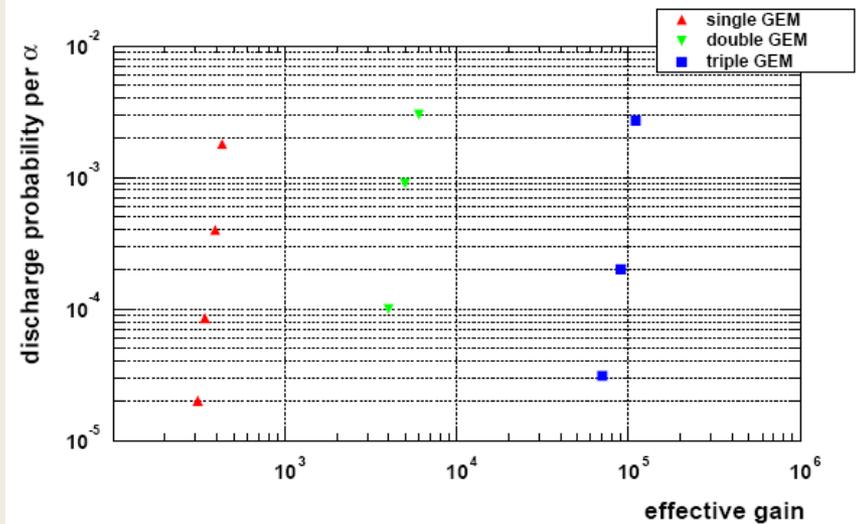
Ar/CO<sub>2</sub>  
 (70/30) gas



## Монолитный двухкоординатный электрод GEM (COMPASS)



Пространственное разрешение



Вероятность разрядов от  $\alpha$ - частиц

Возрастание паров воды с 60ррм до 80 ррм увеличивает вероятность разрядов на порядок  
Для уменьшения мощности разрядов верхний электрод сегментирован

## Параметры GEM COMPASS:

- ✓ Газ - Ar/CO<sup>2</sup> (70/30)
- ✓ размер - 31 x 31 см
- ✓ Спейсерная сетка (шириной (0.3 мм) с ячейкой ~ 7 x 7 см<sup>2</sup>)
- ✓  $G \sim 10^5$
- ✓  $\Delta G = 15\%$
- ✓ Энергетическое разрешение – 19%
- ✓ Пространственное разрешение (r.m.s.) – 67 мкм
- ✓ Временное разрешение (r.m.s.) -12 нс
- ✓ Вещество – 0.7%

## Тестирование

### Пленка:

Качество и точность  $\phi$  отв. ( 2.5 мкм)  
Тест резистивности top/bottom эл-ов (~2ГОм)  
В/В тест после каждой сб. операции

### Рамки:

Покрытие полиуретаном  
В/В контроль

### В/В платы:

(0.2 мм fiberglass) В/В покрытие (индустрия)

### Платы стрипового считывания:

Тест геом. точности стрипов ( 100 мк  
Расстояние между 1-ым и последним стрипами  
(FWHM  $\leq$  150 мкм)  
Оптический контроль качества

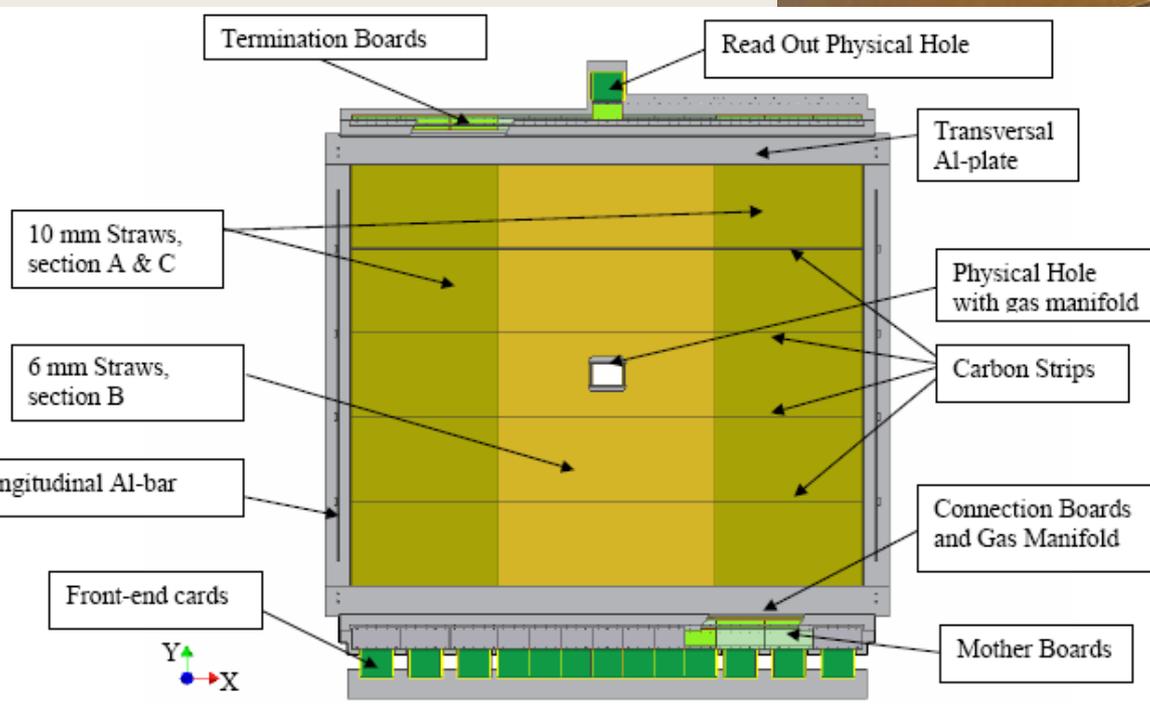
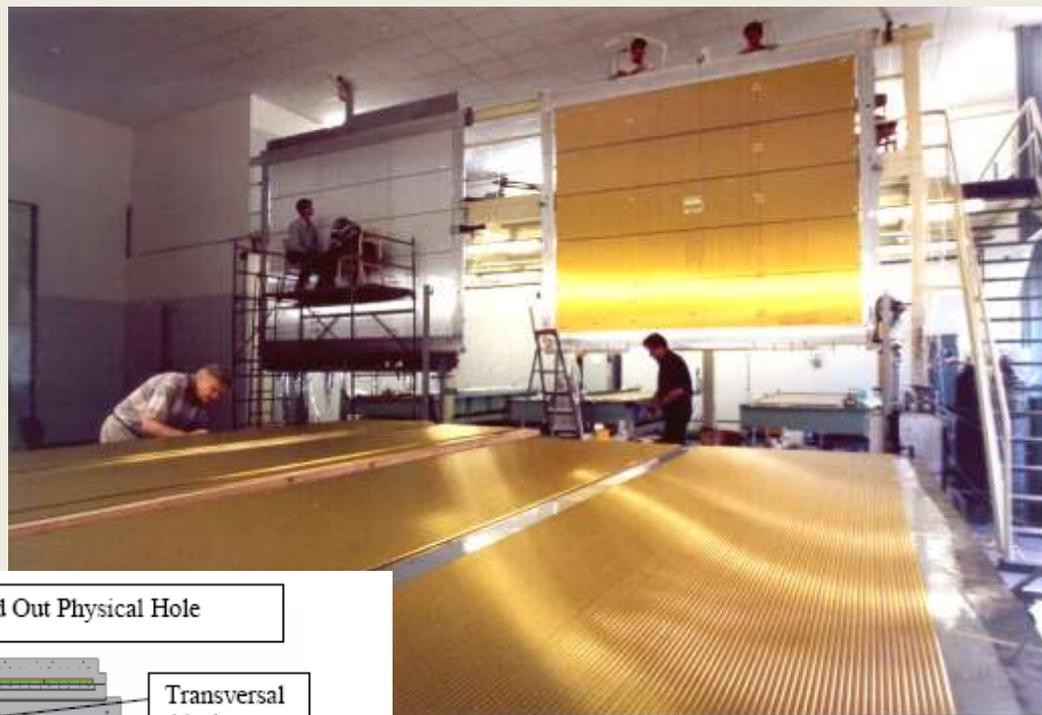
R@D: “толстые GEM”. Проблемы: однородность, накопление заряда диэлектриком

## Создание строу-камер

### COMPASS (ОИЯИ)

Чувств. размер - 3.6 м х ~3 м

Толщина – 40 мм



## Тонкостенные Дрейфовые Трубки (ТДК - straw)

Мин. толщина детектора (толщина стенки от 30 мкм до 70 мкм)

Высокая однородность элементов и эл. поля в них

Диаметр от 4 мм до 15 мм

Длина до 4 м и более (COMPASS - 3.6 m)

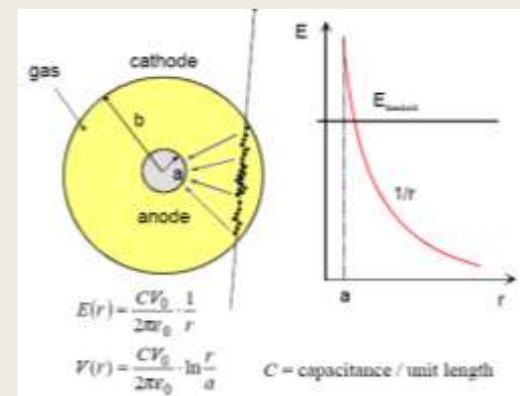
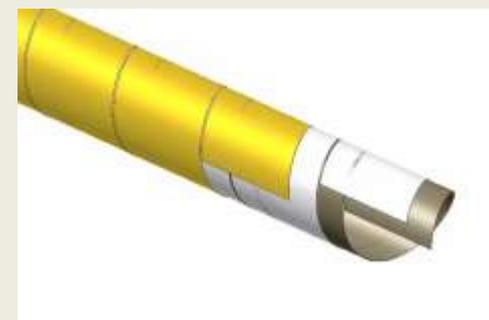
Высокая радиационная стойкость

Создание быстрых больших трековых детекторов

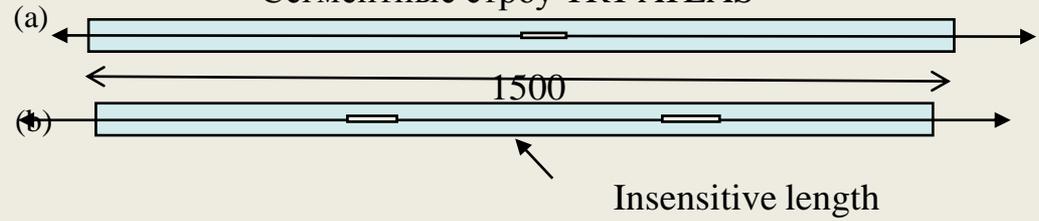
Работа с высоким дифференциальным давлением газа (до 5 Бар)

Возможность катодного считывания

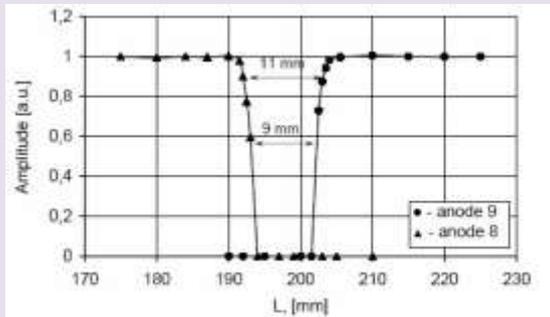
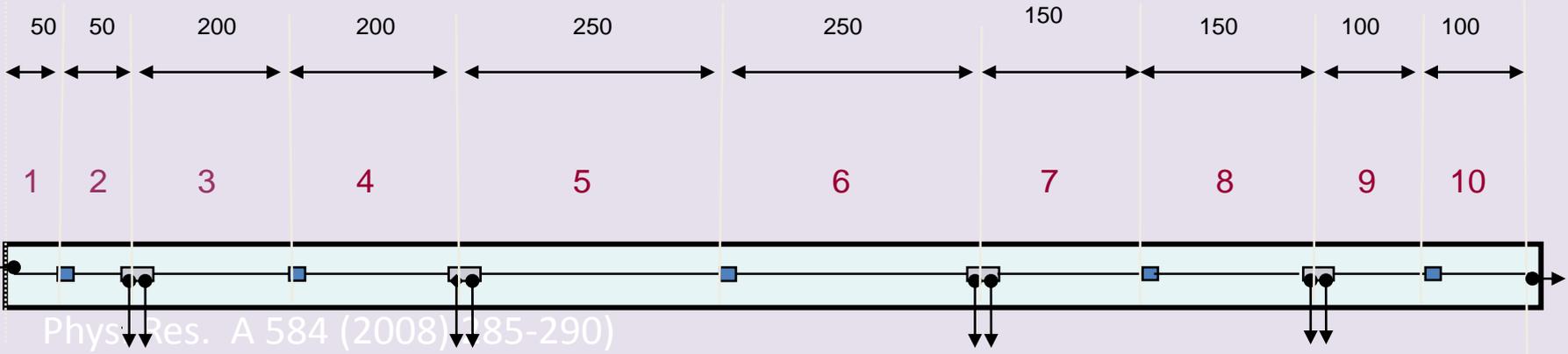
Невысокая гранулированность



# Сегментные строу TRT ATLAS



Segmented straw with 10 segments. straw length – 1.6 m.; diameter – 4 mm; spacer length – 8 mm.



← Insensitive length of the SU zone - ~ 9mm

K. Davkov et al., Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. A 584 (2008) 285-290

Гранулированность -  $\geq 1 \text{ см}^2$

Передача сигнала на FEE и HV на сегмент - общей передаточной линией

Длина линии до 2 м (ослабление сигнала на 12%)

Считывание – возможно с 2-ух концов строу

Длина строу - более 4 метров



2-слойный прототип сегментных строу для пучковых исследований

2 x 48 строу ; 360 сегментов

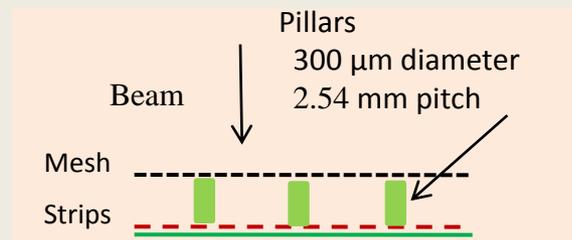
**Развитие - разработка технологии mass-production**

## Развитие MPGD детекторов

**Micromegas- “bulk” technology: анодная плата+полиамид. film + mesh**

Ламинация (high  $t^0C$ )-UV облучение-травление

27 x 26  $cm^2$       50 x 60 (50 x 100)      Единое пром. изделие



Газ:  $CF_4/iC_4H_{10}(80/20)$  -  $\sigma_x = 12 \mu m$ ;  $\sigma_t = 1 ns$

**GEM** (THGEM, RETGEM, .....экзотика – MHSP, +CsI , ....)

Film : 60 x 40cm (100 x 50)

**TPC** :  $\sigma_T = 100 \mu m$  (4T; DL = 250 cm;

Детектор – GEM, Micromegas;

Считывание – пэды < 2 x 6 мм

Длина дрейфа, см	60	60	60
М. Поле, Т	1	2	4
$\sigma_T$ , mm	0.33	0.2	0.14

**Востребованность в газонаполненных детекторах частиц – прикладные исследования, астрофизика, ускорительные центры:**

- У-70; - NICA; -FAIR;- SLHC (светимость до  $5 \cdot 10^{35} \text{ cm}^2 \text{ c}^{-1}$ ); - ILC;
- Project X: - физика нейтрино, заряженных лептонов и кварков

**Благодарю за внимание**