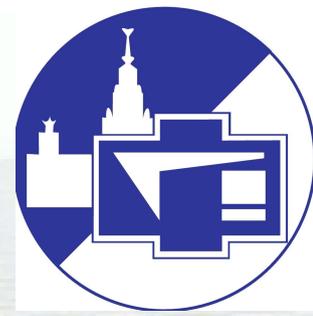


Skobeltsyn
Institute of Nuclear Physics

Lomonosov Moscow State University



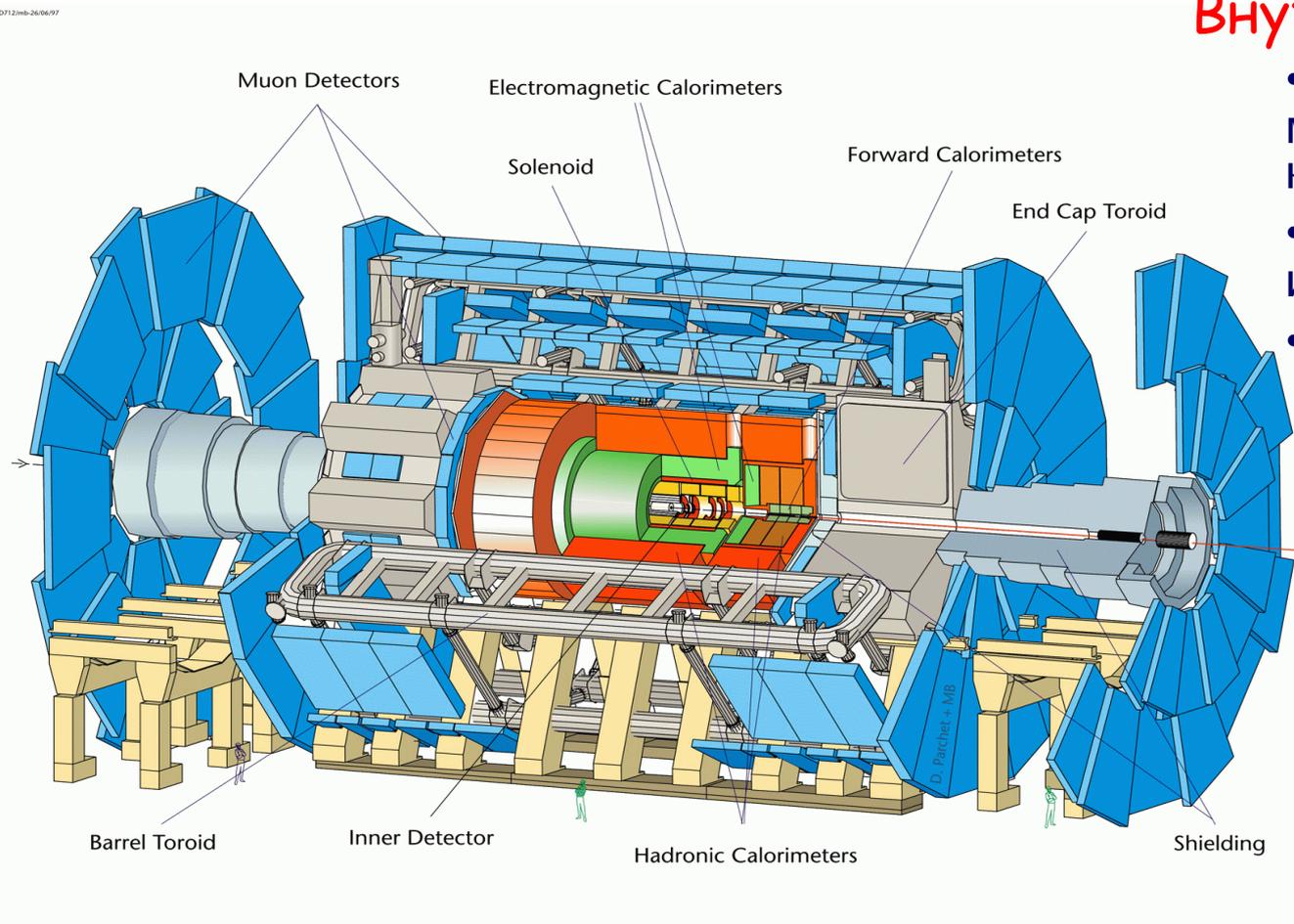
Газ-пиксельные детекторы для эксперимента ATLAS

Анатолий Романюк (МИФИ)
Сергей Смирнов (МИФИ)
Владимир Тихомиров (ФИАН)
Алексей Болдырев (НИИЯФ МГУ)

Детектор ATLAS на LHC

Внутренний детектор (ID)

- Пиксельный и микростриповый кремниевые детекторы
- Детектор переходного излучения
- Соленоид (2Т)



Мюонный спектрометр

- Воздухо-зазорный тороидальный магнит ~ 0.5 Т
- Мюонные камеры

Калориметр

- LAr ЭМ калориметр: $|\eta| < 3.2$
- Адронный калориметр

Апгрейд (модернизация) детектора ATLAS

Модернизация ускорителя:

- после 2014 г. • до $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 6.5 + 6.5 ТэВ, 25 нс
- 2018-2021 гг. • $2-3 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 7 + 7 ТэВ, 25 (50) нс
- после 2021 г. • до $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 7 + 7 ТэВ, 25 (50) нс

3000 фб⁻¹ к 2030 г.!

Основные причины необходимости апгрейда:

- Адаптация к увеличенной светимости (загрузки, триггирование)
- Требование физических задач (трекинг, определение типа частиц)
- Естественное и радиационное старение

Апгрейд (модернизация) детектора ATLAS

Порядок апгрейда детектора ATLAS:

2013-2014 гг.

- усовершенствование L1 триггера (новые L1Calo MCMs и CTP)

до 2018 г.

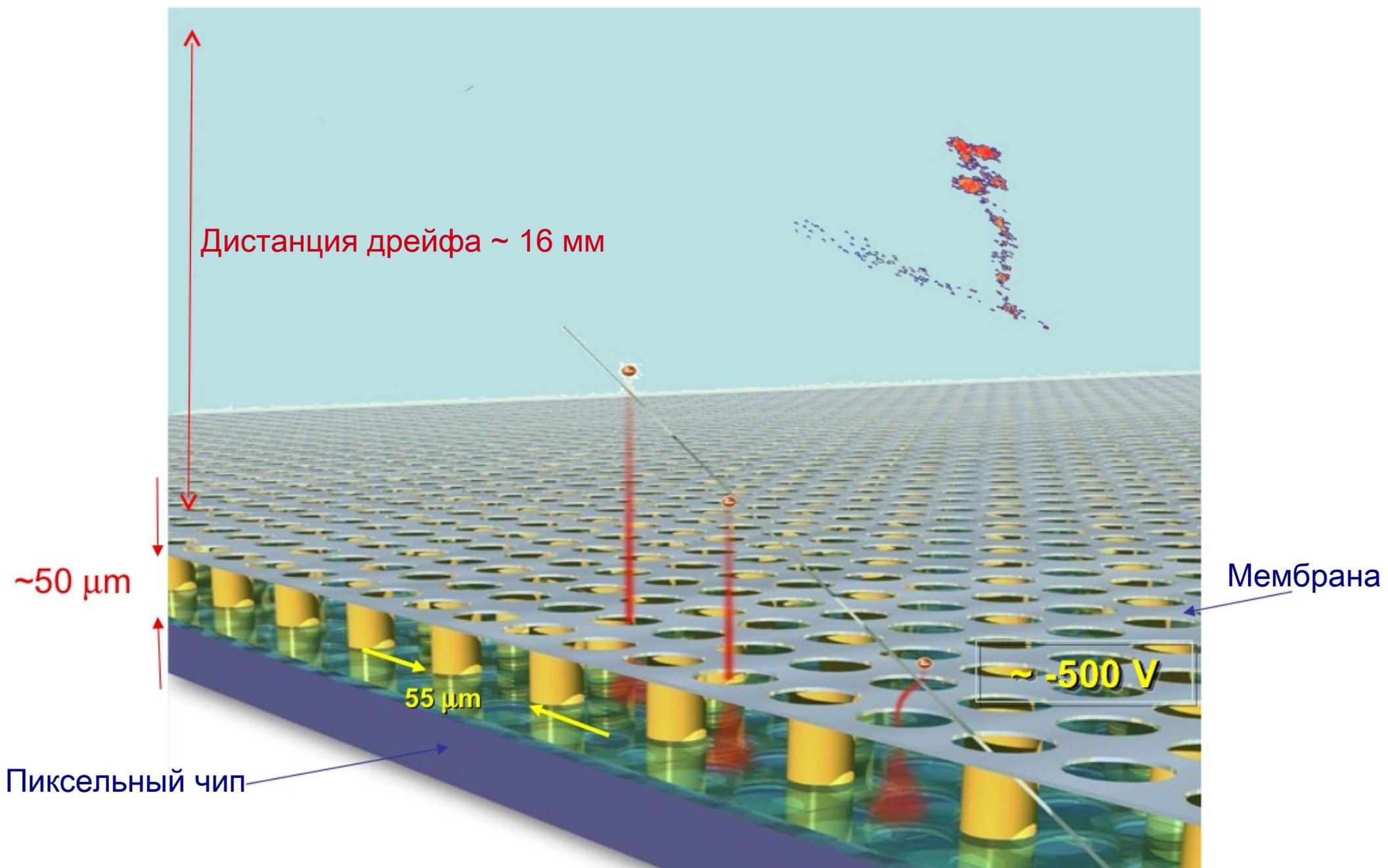
- Вставной B-layer (IBL)
- Замена электроники у LAr и TileCal
- Быстрый Трековый Триггер (FTK)
- Замена малых колёс мюонных камер

после 2021 г.

- Замена Внутреннего Детектора
- Замена торцевых калориметров
- MDT триггер

газовый пиксельный детектор
вместо существующего TRT

Детектор GasPixel



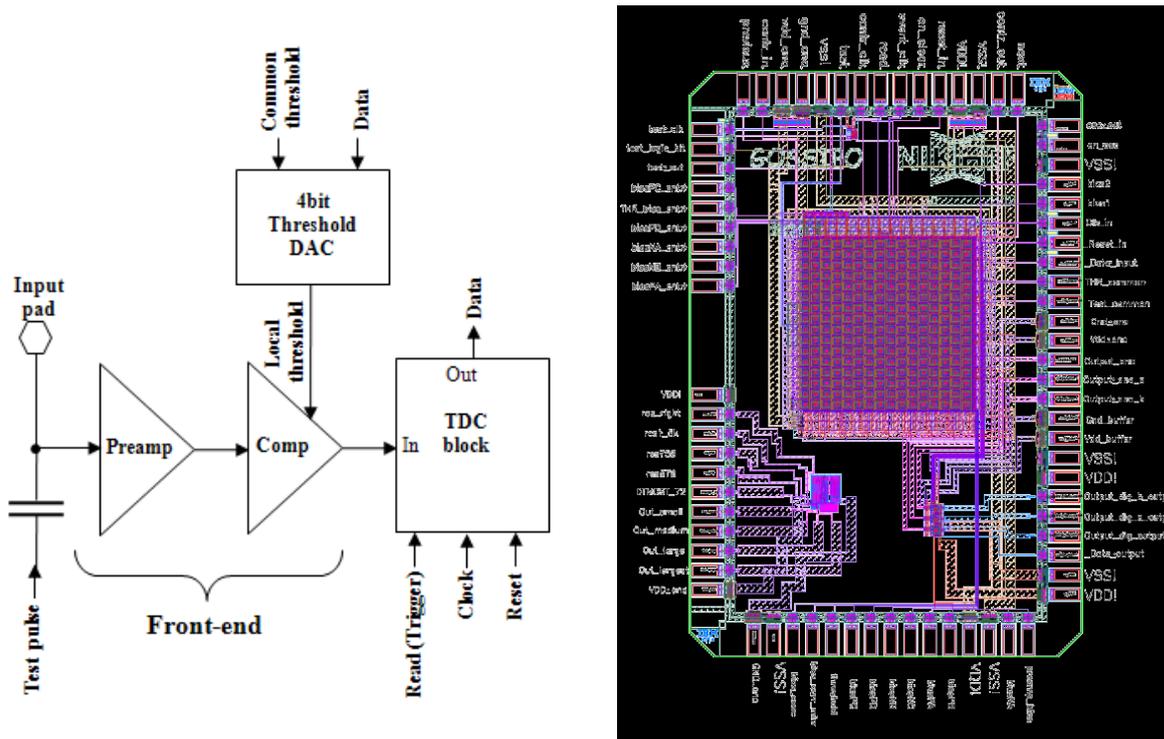
Требования к GasPixel/GridPixel

- Геометрические ограничения во Внутреннем Детекторе
- Работа при высоких нагрузках
- Прецизионная точность восстановления треков
- Идентификация типа частицы при помощи переходного излучения
- Реализация L1-триггера во Внутреннем Детекторе

Технологии для GasPixel

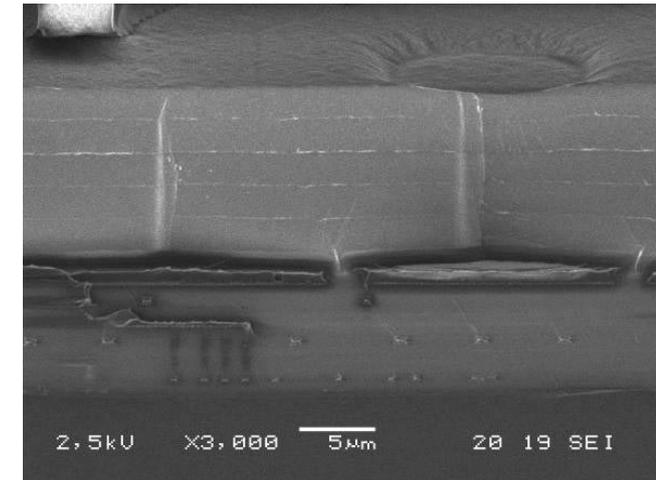
TimePix пиксельный чип

- Потребляемая мощность каждого пикселя 1,5 мкВт
- Мёртвое время (регулируемое) 50-3000 нс
- Зарядовое усиление 85 mV/ke⁻
- Паразитная внутренняя ёмкость 30 фФ
- Входной шум 70 ENC (эквивалентный шумовой заряд)
- Минимальный порог 350 e⁻
- Порог АЦП 80 e⁻



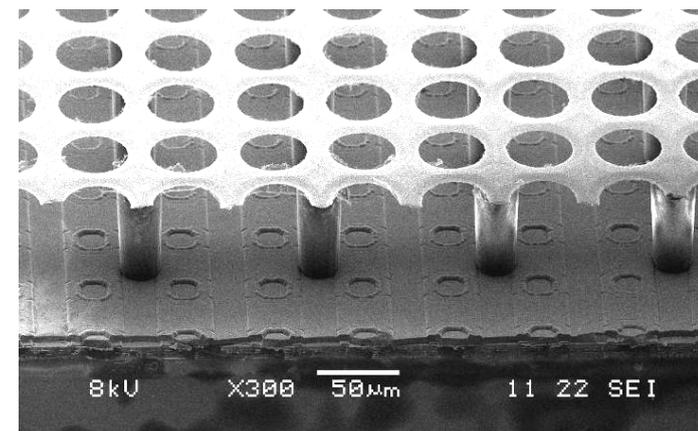
SiNProt

Пять Si₃N₄ 2,4 мкм защитных слоя для рабочей поверхности чипа



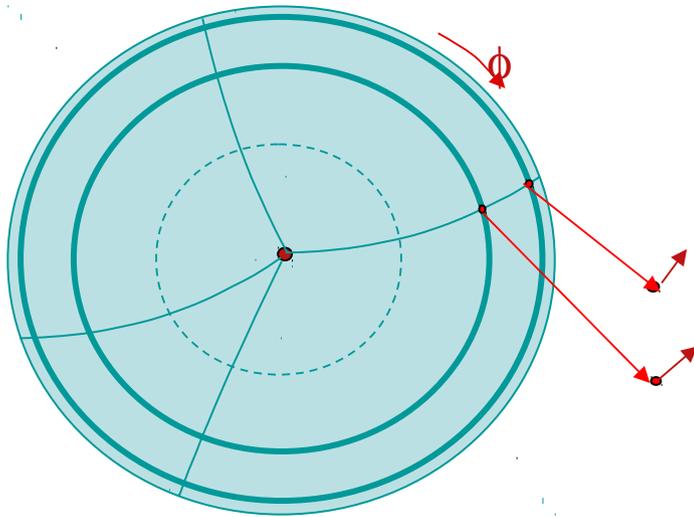
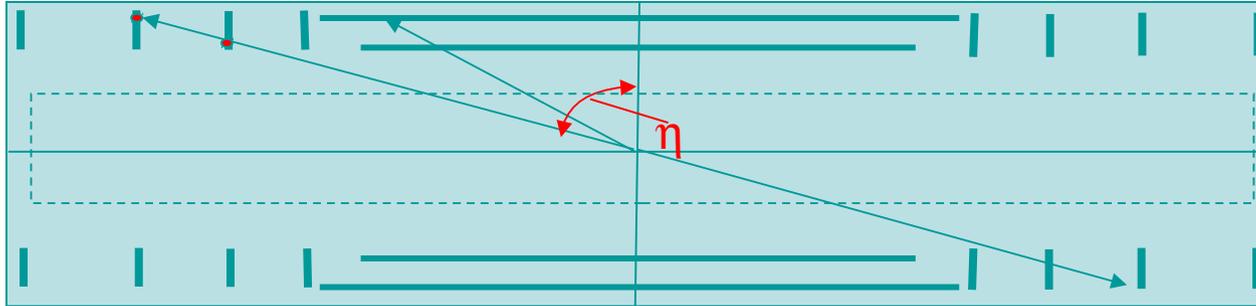
InGrid (Micromegas)

Нанесённая на Si-подложку Micromegas-мембрана при помощи фотолитографии



Возможная геометрия модулей GasPixel

Детектор может занимать внешнюю область Внутреннего Детектора ATLAS и содержать 2 слоя для радиатора Переходного Излучения



Сложности:

1. В области барреля (малые η) угол падения трека сильно зависит от угла
2. Необходима компенсация угла Лоренца

Основные требования к разработке:

1. Ограниченное пространство – необходим эффективный радиатор ПИ
2. Минимальный объем дрейфовой камеры

Выбор газовой смеси

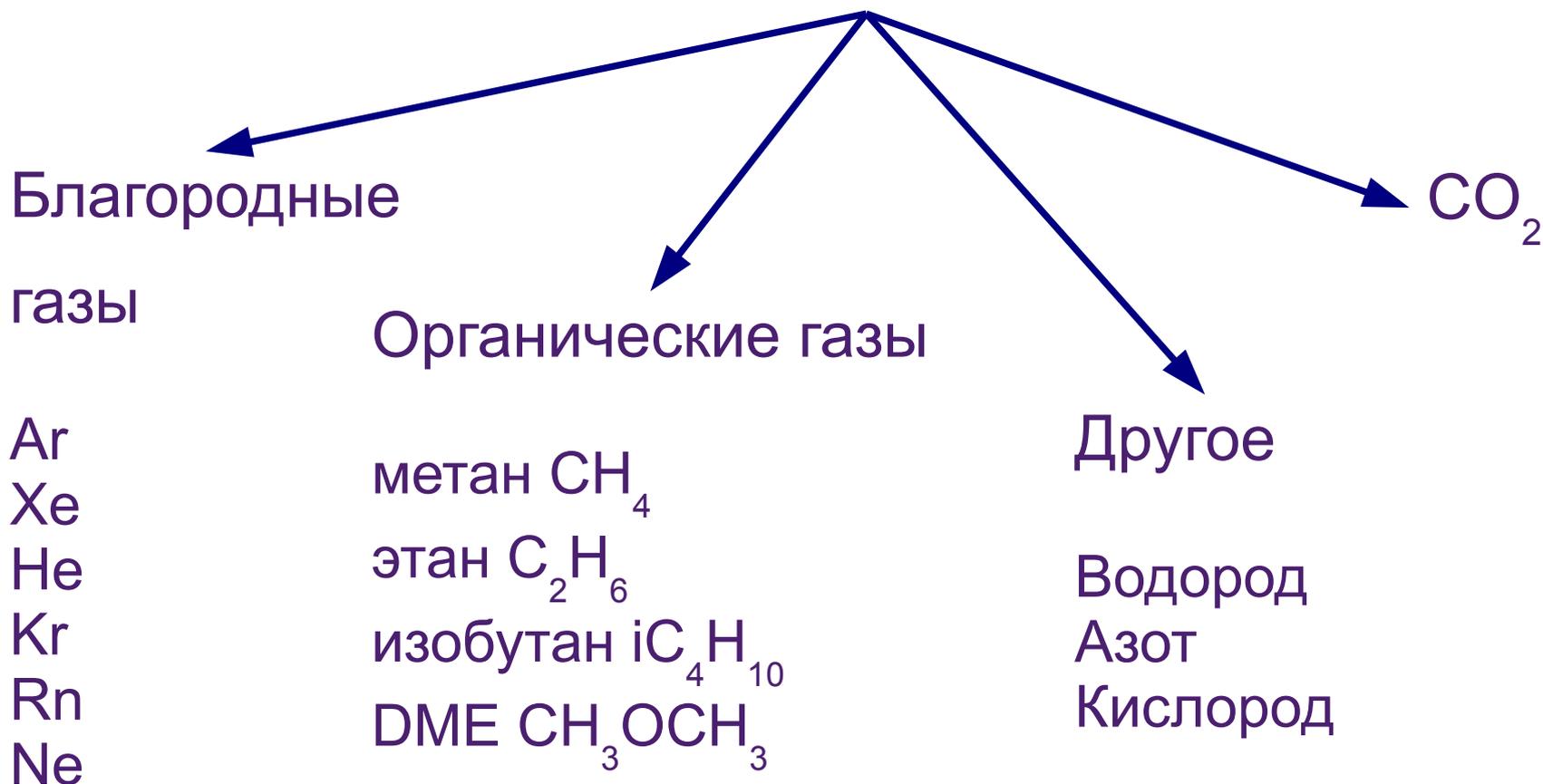
Желаемые свойства:

- Высокая скорость дрейфа **> 4 см/мкс**
- Низкая диффузия **< 170-180 мкм/см**
- Малый угол Лоренца **< 30°**
- Требования безопасности:
невоспламеняемость, нетоксичность, нерадиоактивность
- Стабильность усиления **3000-5000 в линейном режиме**
- Без старения

< 2 кВ/см 0..1,5 Тл

«внешние» условия: эл. поле, магн. поле

Кандидаты для компонентов смеси

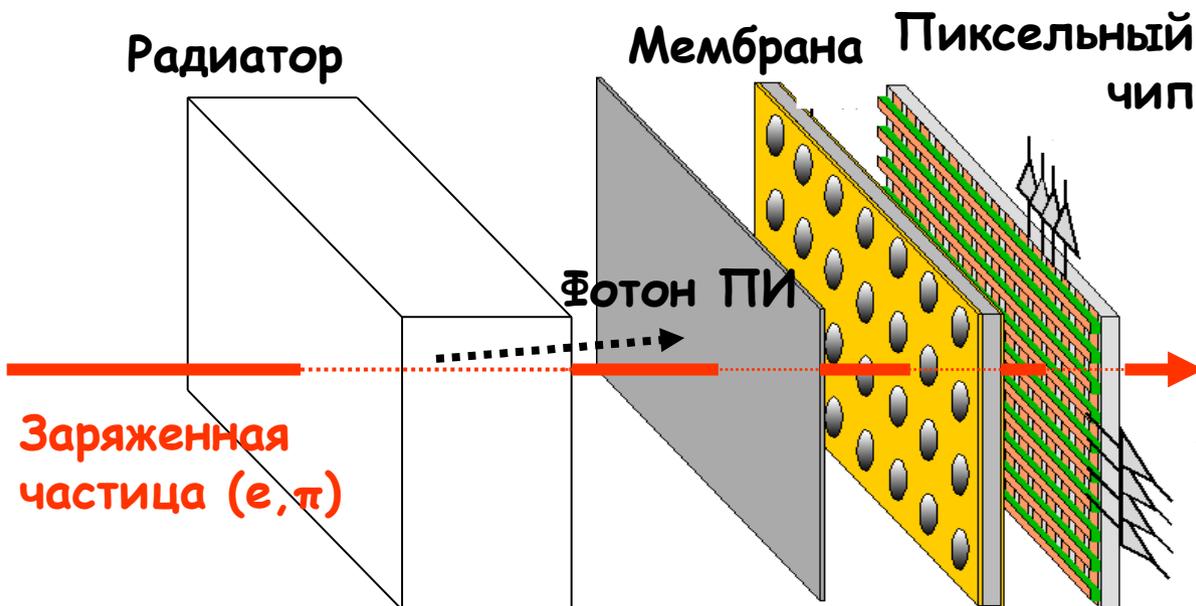


А также фреоны (CF_4), Азотные соединения (NH_3 , NO , N_2O),
Силан (SiH_4)

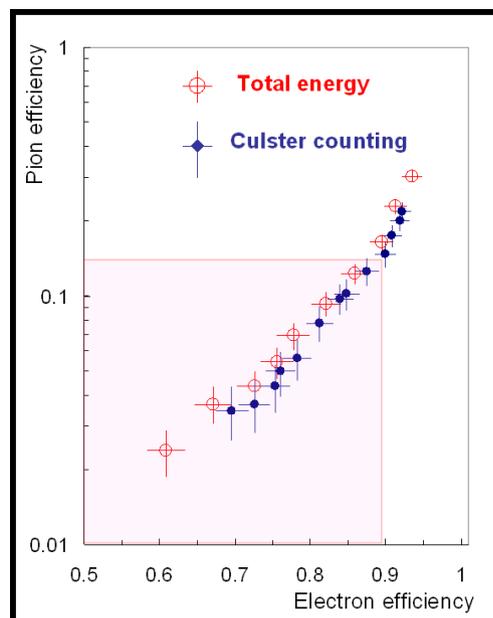
Ar- или **Xe-** (или вместе) основа (60-70%) и примесь из:

CO_2 , CF_4 , Силан, DME, Изобутан, N_2O , NH_3

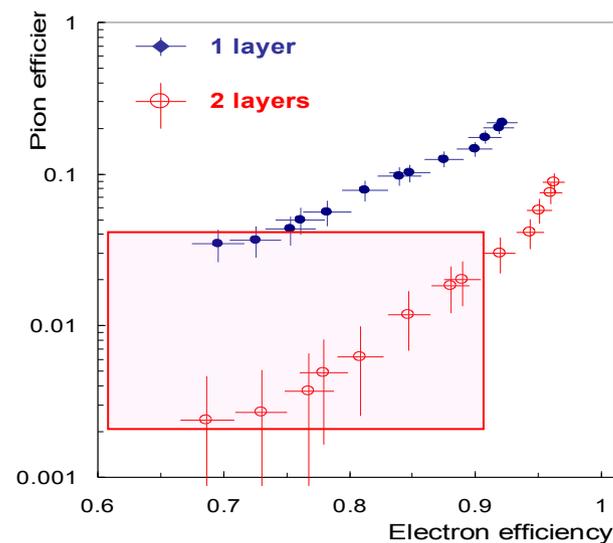
Распознавание типа частиц с помощью ПИ и dE/dx



Двухслойный детектор обеспечивает фактор подавления пионов **~50** при 90% эффективности регистрации электронов

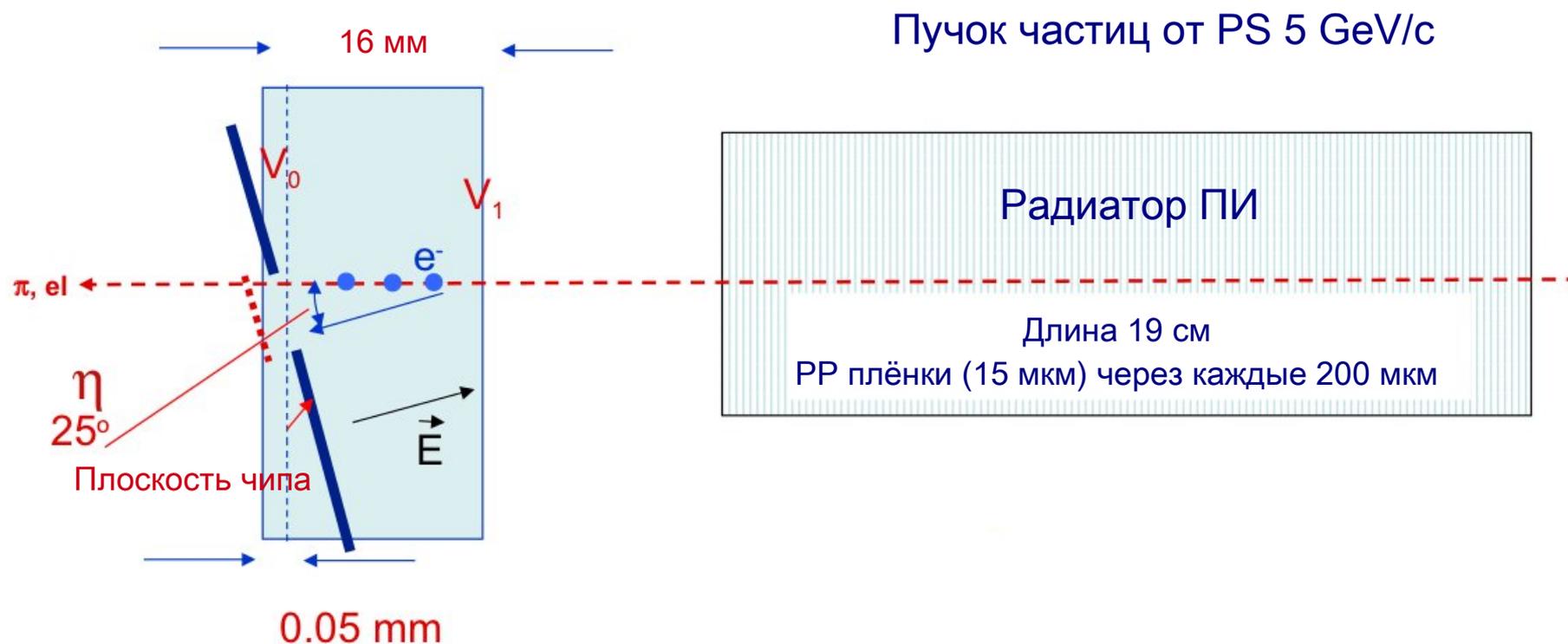


Фактор подавления пионов **~7** при 90% эффективности регистрации электронов



Test-beam GasPixel для ATLAS (май 2008 г.)

InGrid TimePix детектор, 14x14 мм, 256x256 пикселей (размер пикселя **55** мкм)



Два рабочих режима: измерение времени прибытия дрейфовых электронов и надпороговое время (амплитудное измерение)

Test-beam GasPixel для ATLAS (май 2008 г.)

InGrid TimePix детектор, 14x14 мм, 256x256 пикселей (размер пикселя **55** мкм)

InGrid пиксельная технология

Расстояние дрейфа 16 мм

$V_{\text{drift}} = 3800 \text{ В}$

$E_{\text{drift}} = 2000 \text{ В/см}$

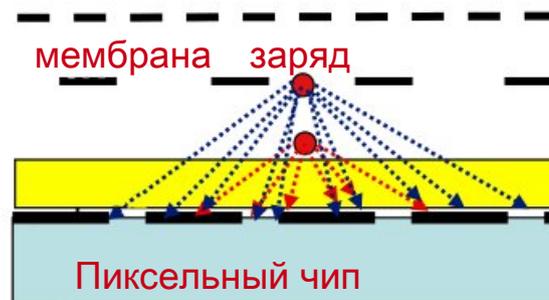
$V_{\text{amp}} \sim 470 \text{ В}$

Газовое усиление $\sim 800\text{-}3500$

Защитный слой 30 мкм

Зазор усиления 50 мкм

Положение: 25° к оси пучка



Параметры для Xe/CO_2 (70/30):

Общее время дрейфа $\sim 300 \text{ нс}$

Ионный сигнал $\sim 80 \text{ нс}$

Коэффициент поперечной диффузии $\sim 240 \text{ мкм/см}$

Коэффициент продольной диффузии $\sim 130 \text{ мкм/см}$

Газовые смеси:

Ar/CO_2

Xe/CO_2

$\text{He}/\text{Изобутан}$

DME/CO_2

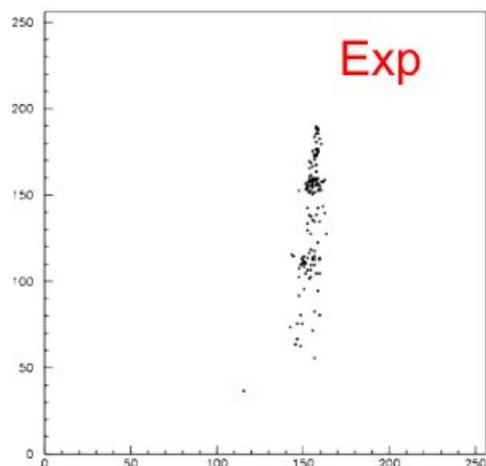
Порог электроники ~ 800 электронов

Диапазон газового усиления 800-1600

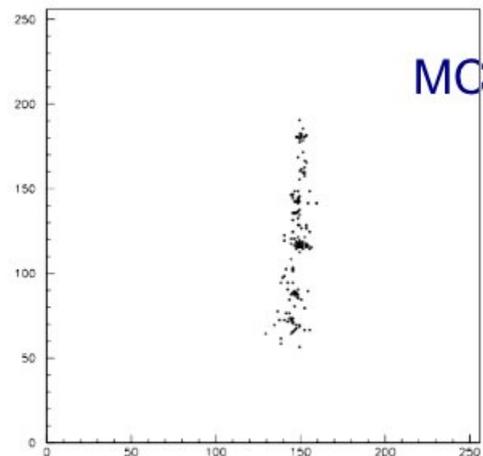
**Эффективный порог > 1600 электронов
или > 1 первичного электрона**

Эффективность для 1 первичного электрона $\sim 30\%$

Пример события в детекторе GasPixel



Пучок частиц: пионы 5 GeV/c



MC-моделирование:

GEANT3 (Atlsim)

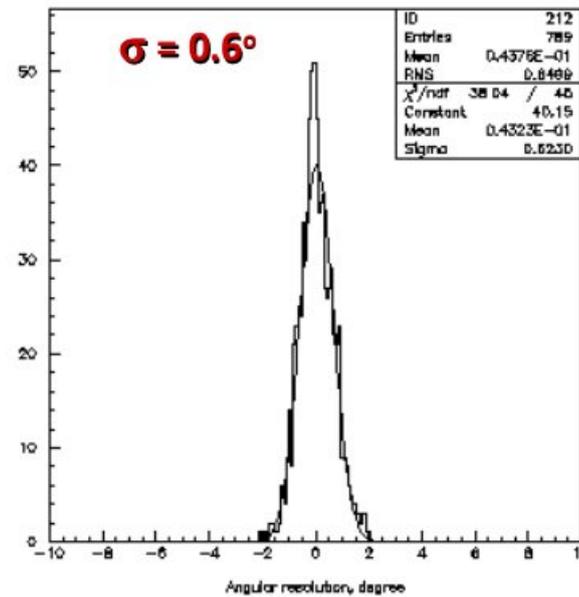
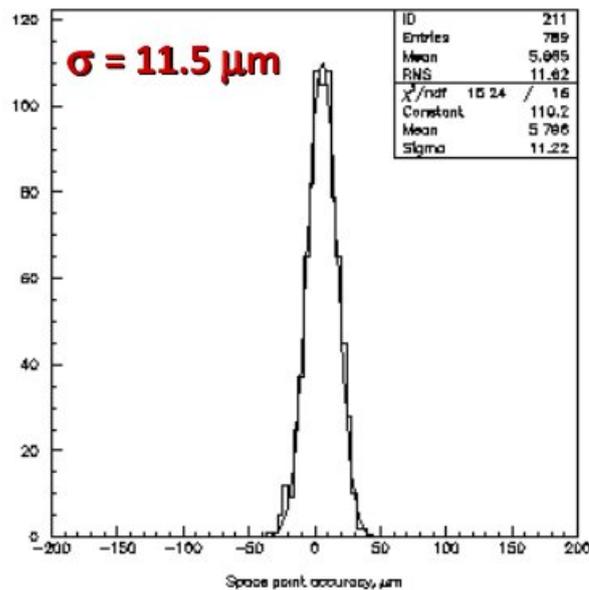
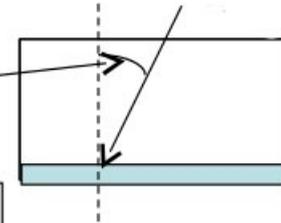
ATLAS TRT код для ПИ

Анализ и реконструкция трека в PAW

Восстановление треков в детекторе GasPixel

Газовая смесь с низкой диффузией

Угол падения 10° .



Пространственное разрешение: $30 \mu\text{m}$ для электронов (без переходного излучения)
 $55 \mu\text{m}$ для электронов с кластерами ПИ

При угле падения 10° угловая точность составила $0,6^\circ$ для проекции трека

МС-моделирование детектора

МС-моделирование:

GEANT3 (Atlsim)

ATLAS TRT код для ПИ

Анализ и реконструкция трека в PAW

МС-модель предполагает следующую конфигурацию параметров:

- *Размер пикселя и число пикселей в чипе*
- *Параметры камеры*
- *Энергия пучка и тип частиц*
- *Состав газовой смеси*
- *Скорость дрейфа и диффузия в газовой смеси*
- *Геометрические параметры пучка*
- *Параметры радиатора переходного излучения*
- *Задержки электроники*
- *Пороги регистрации*
- *и другие*

Выходные данные :

Без информации о первых электронах:

- *Время прибытия электронов*
- *Счёт электронов*

С информацией о первых электронах:

- *Временной режим*
- *ToT режим (измерение надпорогового времени)*

Планы Test-beam в мае 2012 г.

- Изучение свойств газовых смесей
- Тесты при различных конфигурациях установки и разных размерах дрейфовой камеры
- Эффекты в магнитном поле (при $B = 1,5$ Тл)
- Использование радиаторов переходного излучения

Выводы:

Детектор GasPixel

Новые возможности:

Векторный трекинг (при специальной геометрии установки)

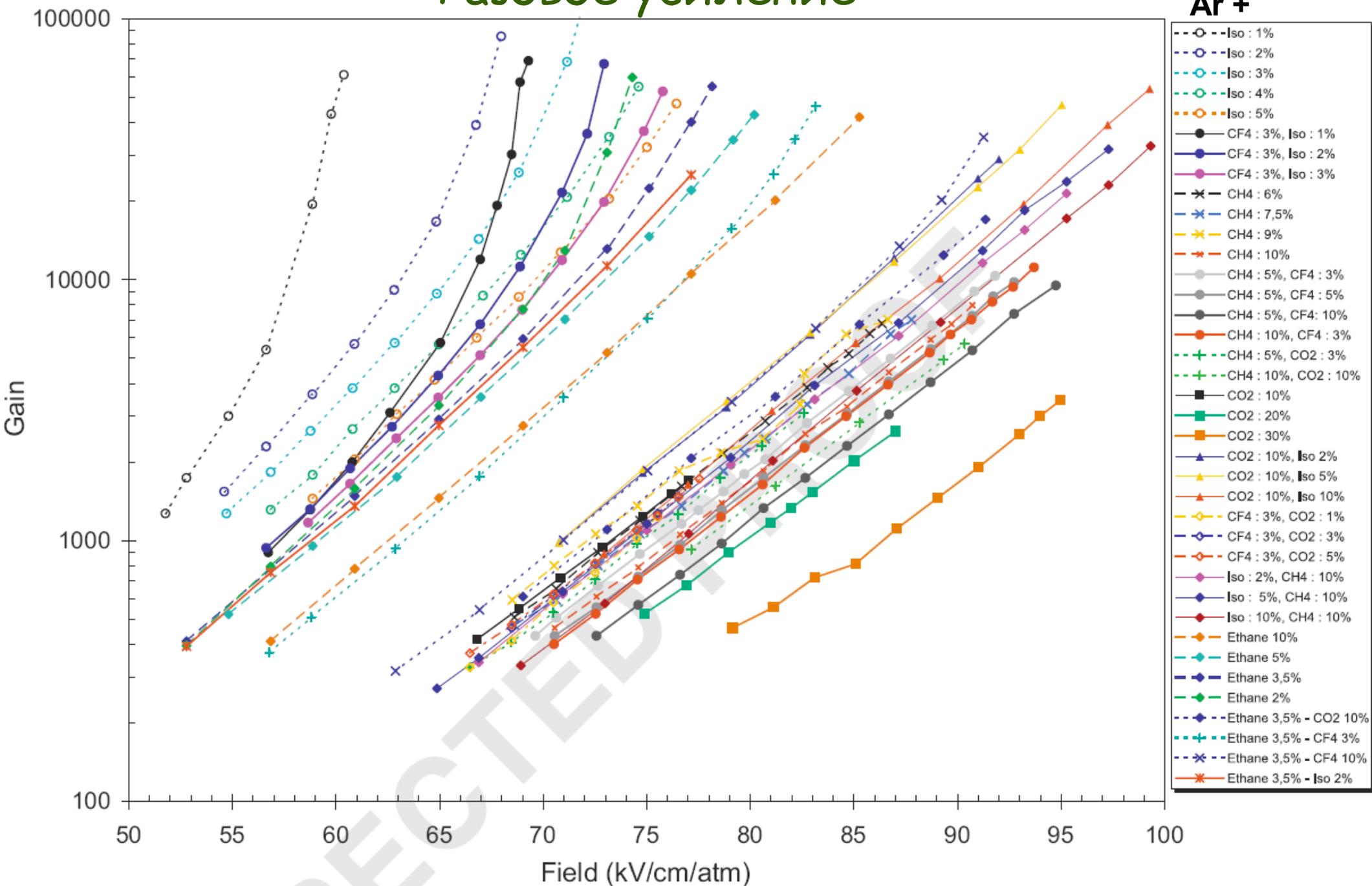
1. Высокоточное пространственное разрешение - координаты X (φ) и Y (η)
2. Определение направлений φ и η
3. Точные ПИ и dE/dx измерения

Ближайшие планы:

1. Проведение test-beam в мае 2012 г. на прототипе детектора и анализ полученных данных
2. Разработка L1 триггера на базе GasPixel

Дополнительные слайды

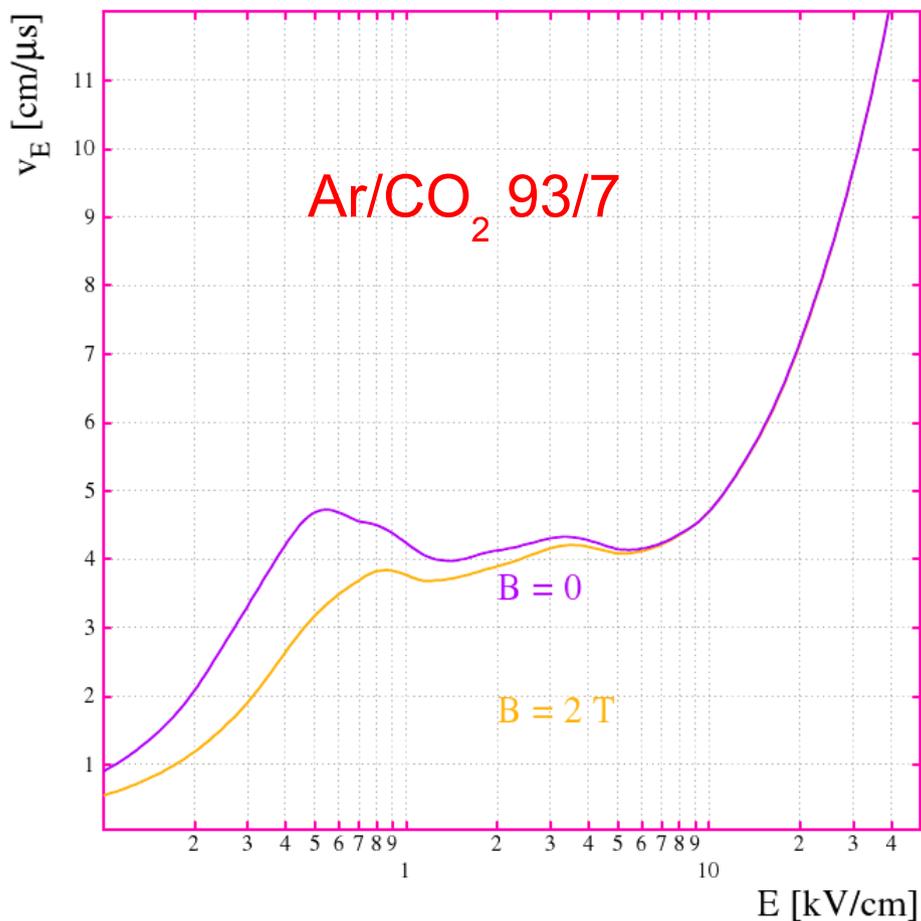
Газовое усиление



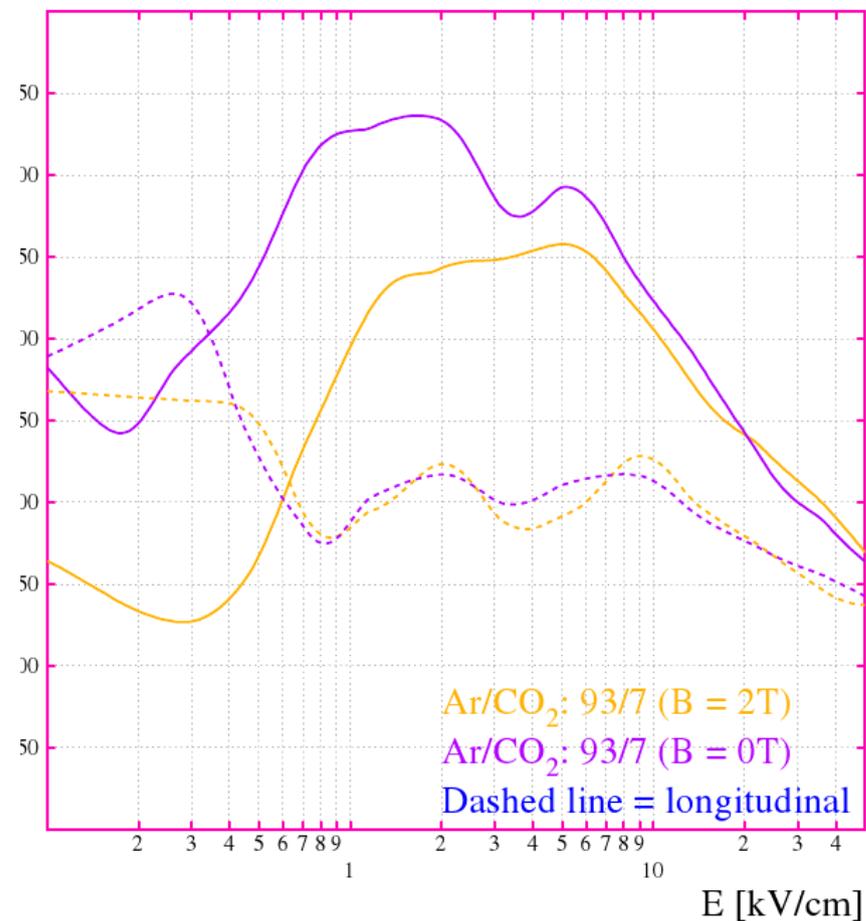
Источник: D. Attié (doi:10.1016/j.nima.2008.08.114)

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Drift velocity parallel with E



Diffusion coefficients vs E



Смеси-кандидаты

Xe основа

	Gas mixture			Drift velocity (cm/ μ s)	Diffusion ExB (μ m/cm)	Lorentz angle ($^{\circ}$)	E field (kV/cm)
Xe/CF4/Silane	80	16	4	5,0	120	25	2,0
Xe/CF4/Isobutane	80	16	4	5,0	130	26	1,8
Xe/CO2/NH3	80	16	4	4,8	135	24	2,0
Xe/CO2/N2O	65	30		4,0	150	20	2,0
Xe/CO2/N2O	80	16	4	6,0	150	28	2,0
Xe/CO2/CF4	70	27	3	4,5	155	21	2,0
Xe/CO2	65	35		4,3	160	21	2,0
Xe/CO2/Silane	70	27	3	4,5	165	22	2,0
Xe/CO2	70	30		4,3	170	22	1,9
Xe/CO2/N2O	70	25	5	4,7	170	23	2,1
Xe/CO2/Silane	80	16	4	4,0	170	21	1,0
Xe/CO2/Isobutane	70	27	3	4,5	175	21	1,9
Xe/CO2/NH3	70	27	3	4,5	180	20	2,2
Xe/CO2/N2O	70	27	3	4,5	185	22	2,1
Xe/CO2	75	25		4,5	190	23	2,0
Xe/CO2	80	20		4,0	220	25	1,8
Xe/CO2/N2O	80	17	3	4,5	220	24	2,0
Xe/CO2/N2O	80	10	10	4,8	220	25	2,0
Xe/CO2/NH3	80	14	6	4,0	220	21	2,0
Xe/CO2/NH3	80	10	10	3,9	230	19	2,4
Xe/CO2/Silane	93	4	3	3,8	230	30	1,5
Xe/CO2/NH3	80	6	14	3,8	245	17	2,5
Xe/CO2/N2O	80	15	5	4,7	250	25	2,0
Xe/CO2/NH3	80	4	16	3,7	255	16	2,7

	Aggressive
	Electronegative
	Ageing

Смеси-кандидаты

Ar основа

	Gas mixture			Drift velocity (cm/ μ s)	Diffusion ExB (μ m/cm)	Lorentz angle ($^{\circ}$)	E field (kV/cm)
Ar/CF4/Isobutane	95	3	2	5,5	65	44	0,3
Ar/CF4/Silane	95	2	3	6,2	75	44	0,4
Ar/Silane/Isobutane	95	3	2	4,6	80	44	0,3
Ar/CO2/Silane	95	2	3	4,5	130	42	0,5
Ar/CO2	60	40		4,7	140	21	1,9
Ar/CO2/N2O	65	25	10	5,0	140	25	1,8
Ar/CO2/NH3	80	16	4	4,0	150	26	1,5
Ar/CO2/N2O	80	10	10	4,4	150	34	1
Ar/CO2	70	30		4,5	160	24	1,7
Ar/CO2/N2O	70	25	5	5,0	160	25	1,7
Ar/CO2	65	35		5,0	170	23	2,2
Ar/CO2/Isobutane	95	3	2	3,1	170	41	0,4
Ar/CO2/DME	90	3	7	3,5	200	32	0,9
Ar/CO2/N2O	90	6	4	4,4	200	36	0,9
Ar/CO2/NH3	94	3	3	3,2	210	35	0,7
Ar/CO2/NH3	80	10	10	5,0	220	22	2,0
Ar/CO2/NH3	90	5	5	4,0	225	30	1,0
Ar/CO2/DME	90	7	3	4,0	235	32	1,0
Ar/CO2/N2O	93	4	3	4,0	250	34	0,9
Ar/CO2/NH3	95	2	3	3,2	250	35	0,7
Ar/CO2/N2O	95	3	2	3,4	310	32	0,9

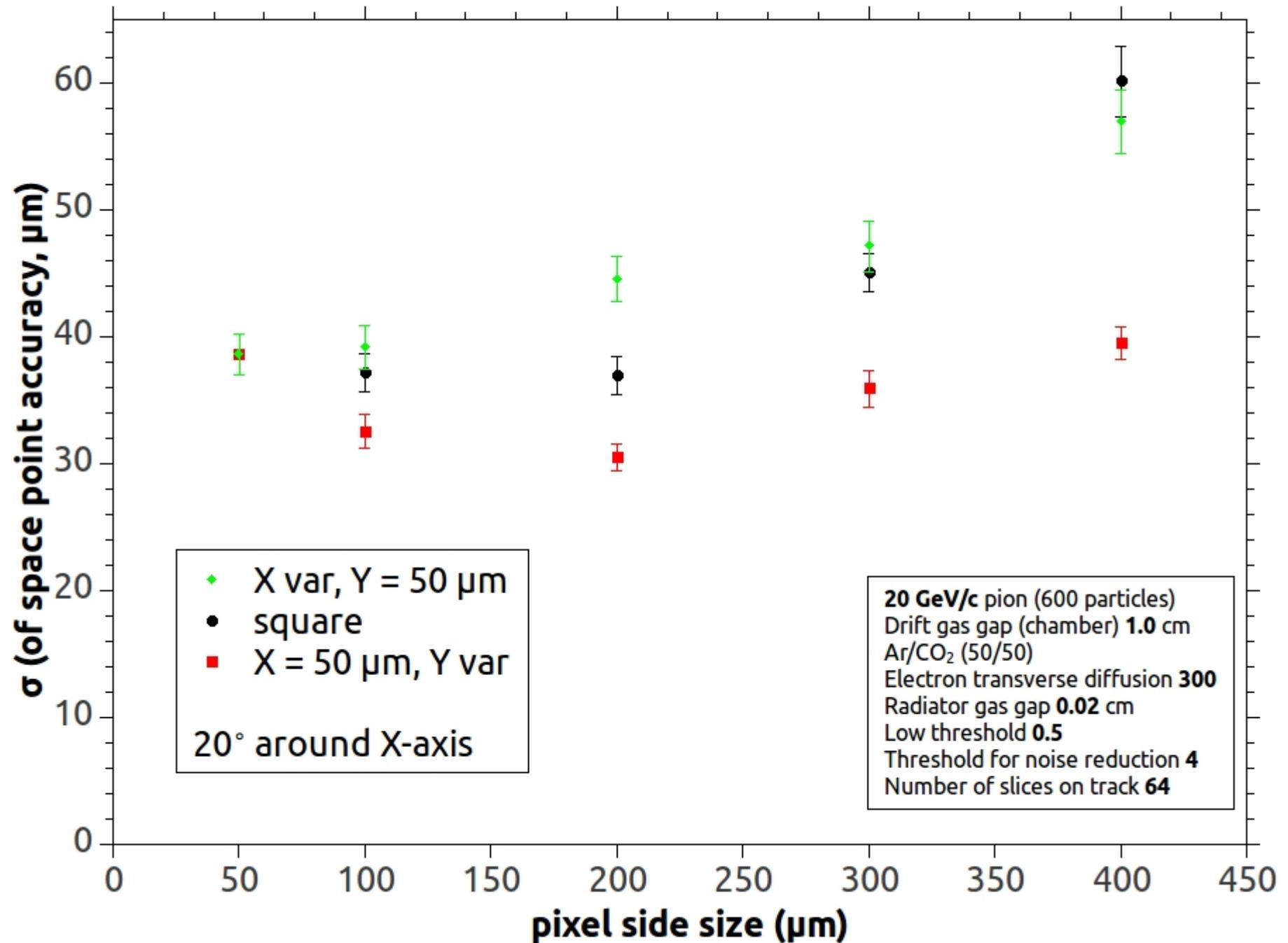
	Aggressive
	Electronegative
	Ageing

Смеси-кандидаты

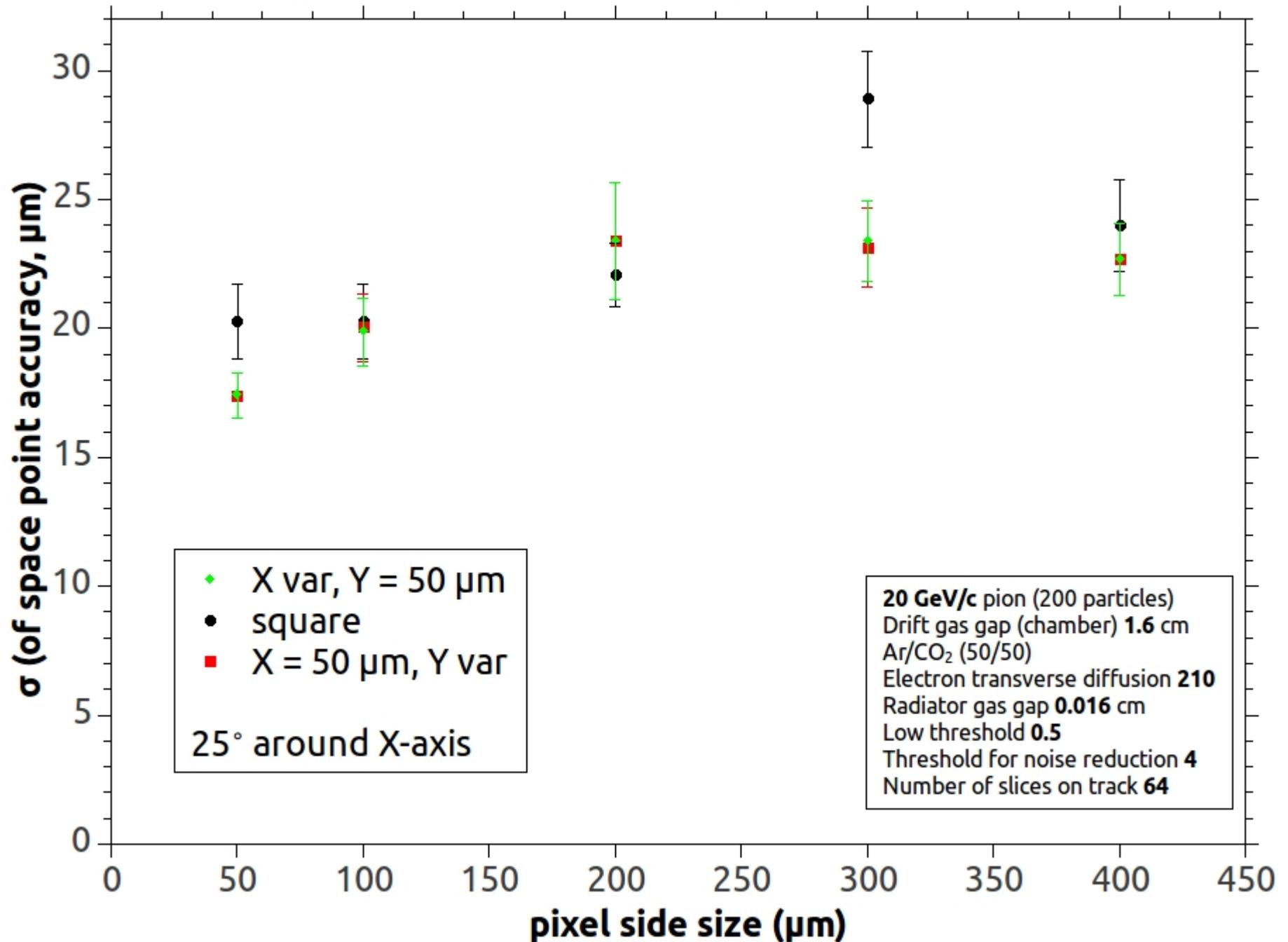
Xe-Ar основа

	Gas mixture			Drift velocity (cm/ μ s)	Diffusion ExB (μ m/cm)	Lorentz angle ($^{\circ}$)	E field (kV/cm)
Xe/Ar/CO ₂ /NH ₃	40	40	14+6	4,0	190	22	1,8
Xe/Ar/DME	45	45	10	3,0	250	25	1,2
Xe/Ar/DME/H ₂	40	50	7+3	2,8	250	27	0,9
Xe/Ar/CO ₂ /DME	35	50	10+5	4,0	220	27	1,5
Xe/Ar/CO ₂ /DME	40	50	5+5	3,2	210	29	1,0
Xe/Ar/DME	50	45	5	2,3	255	31	0,7
Xe/Ar/CO ₂ /Isobutane	45	50	3+2	2,5	250	34	0,6
Xe/Ar/Silane/Isobutan	45	45	8+2	5,0	180	34	1,3
Xe/Ar/Silane	45	45	10	5,0	155	35	1,2
Xe/Ar/Silane/Isobutan	45	50	3+2	3,5	210	35	0,8

Spatial resolution for GasPixel layer



Spatial resolution for GasPixel layer



Spatial resolution for GasPixel layer

