

Skobeltsyn
Institute of Nuclear Physics

Lomonosov Moscow State University



Изучение В-мезонов в эксперименте ATLAS на LHC

Алексей Болдырев

(по материалам кандидатской диссертации)

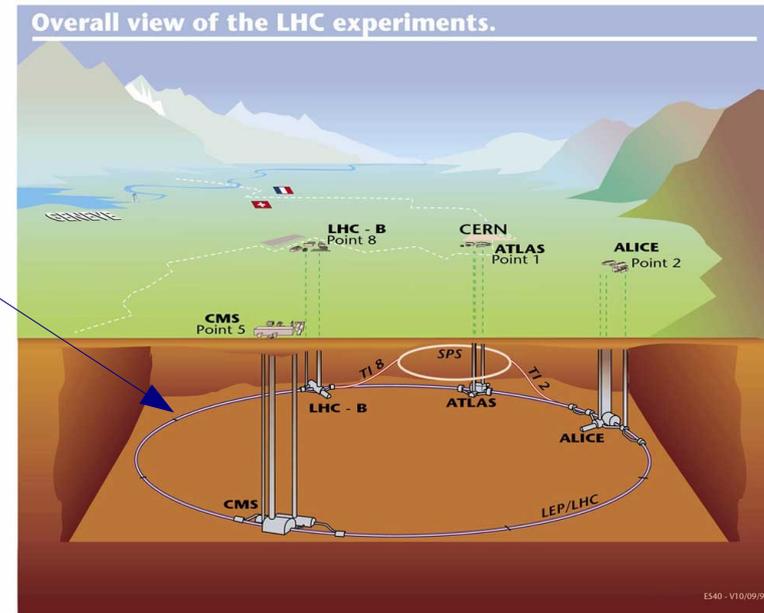
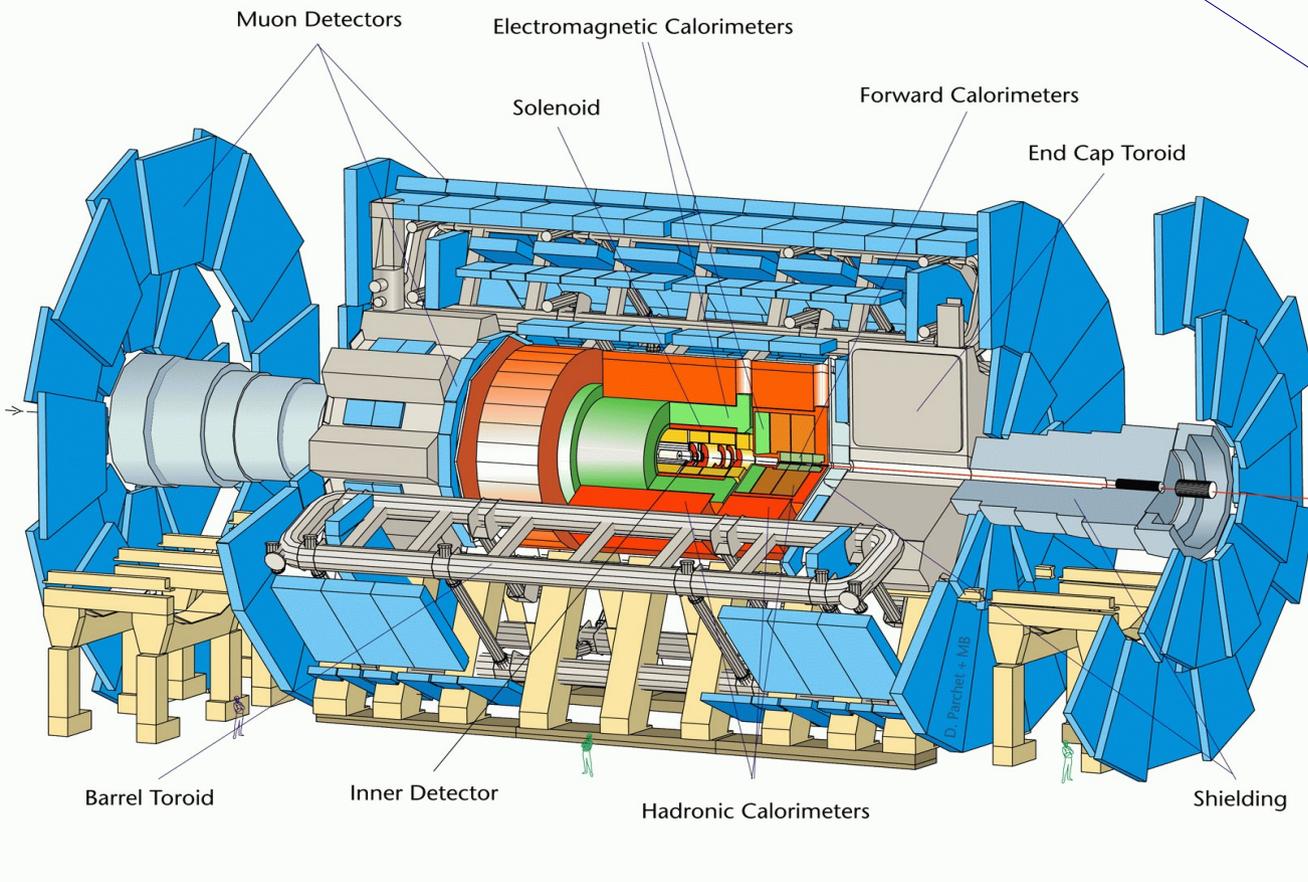
Основные цели работы:

- Участие в запуске трекового детектора переходного излучения (TRT) установки ATLAS и настройка детектора в процессе меняющихся условий набора данных
- Создание универсального форматированного набора трековых данных ATLAS TRT и анализ его работы с увеличением светимости LHC
- Моделирование и испытание трекового детектора GasPix для проекта модернизации Внутреннего детектора ATLAS
- Определение эффективности триггера и реконструкция В-мезонов в эксперименте ATLAS
- Определение верхней границы относительной парциальной ширины редкого распада $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Детектор ATLAS на Большом Адронном Коллайдере

ЛHC — Большой Адронный Коллайдер

Детектор ATLAS:



Внутренний детектор (ID)

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

Мюонные спектрометры

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

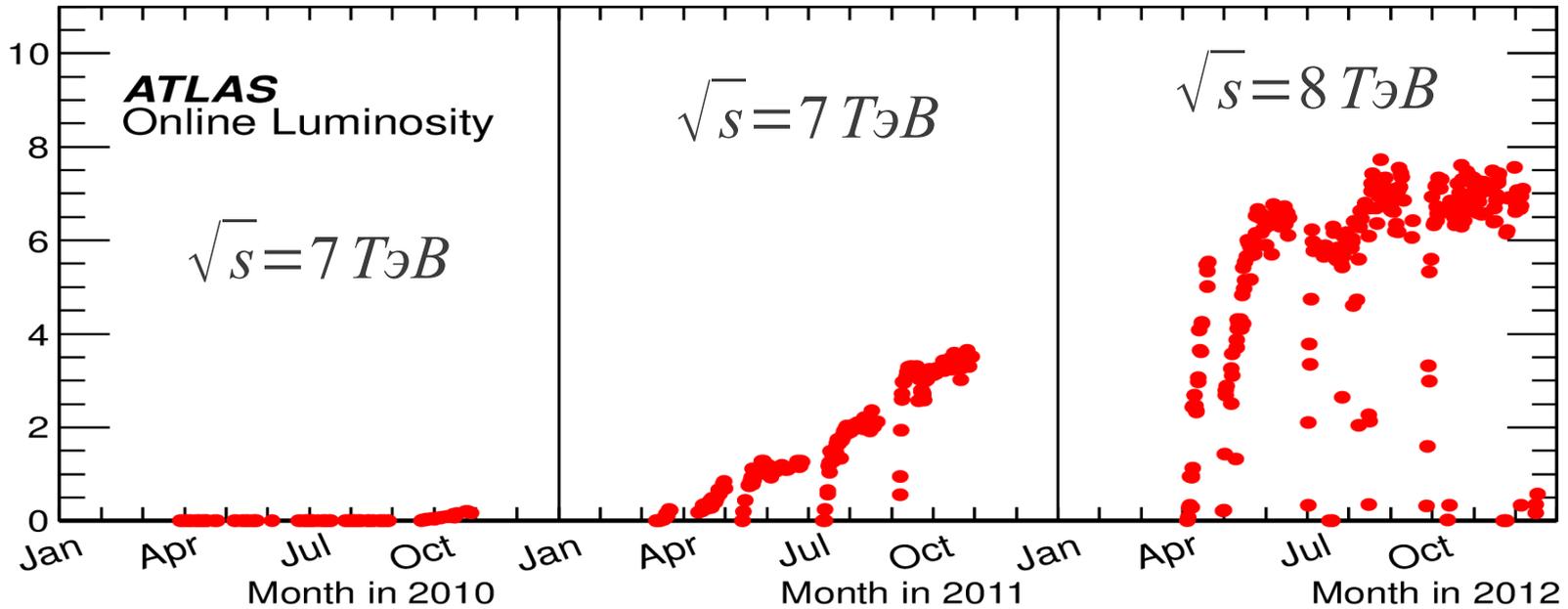
Калориметры

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

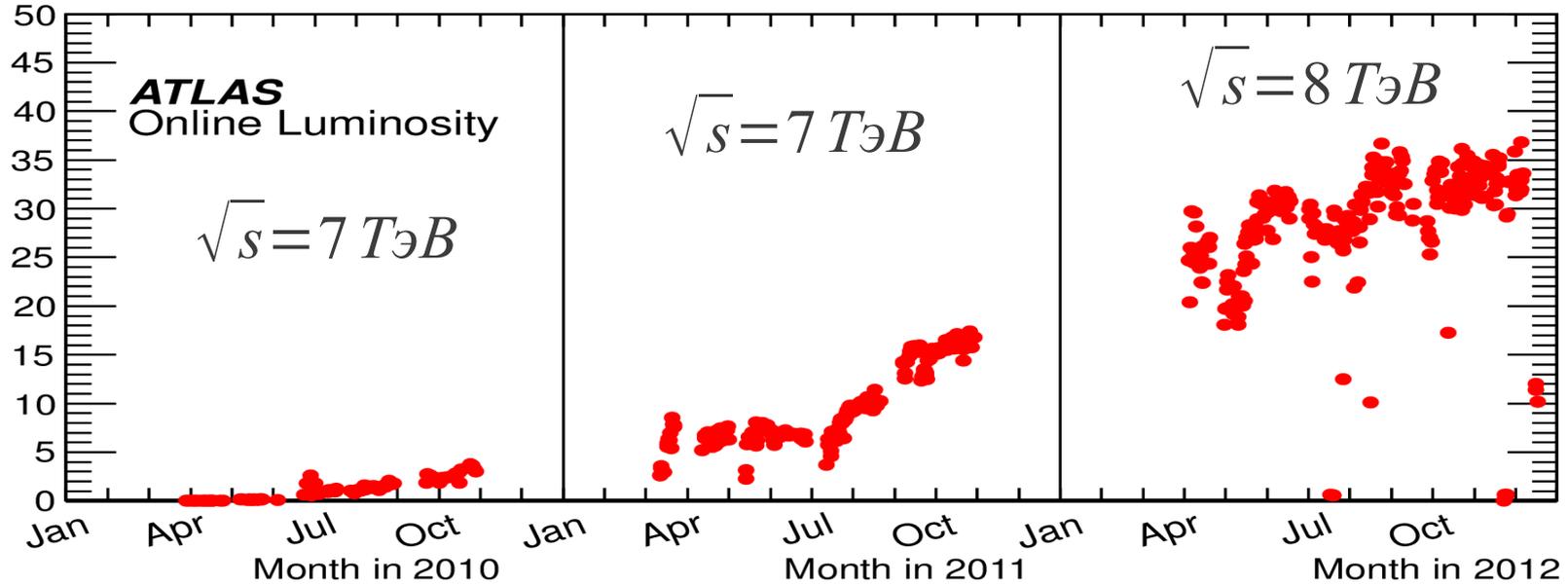
Меняющиеся условия работы детектора ATLAS

(показаны только pp -соударения)

Пиковая светимость,
 $10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$



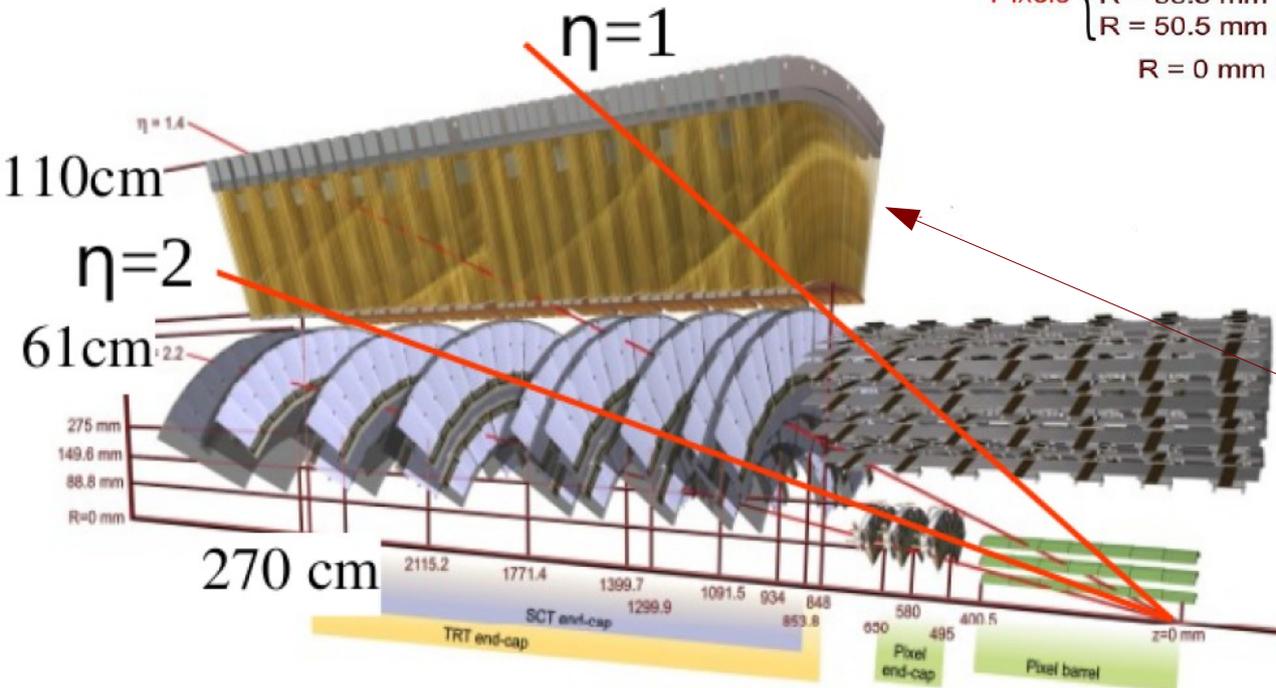
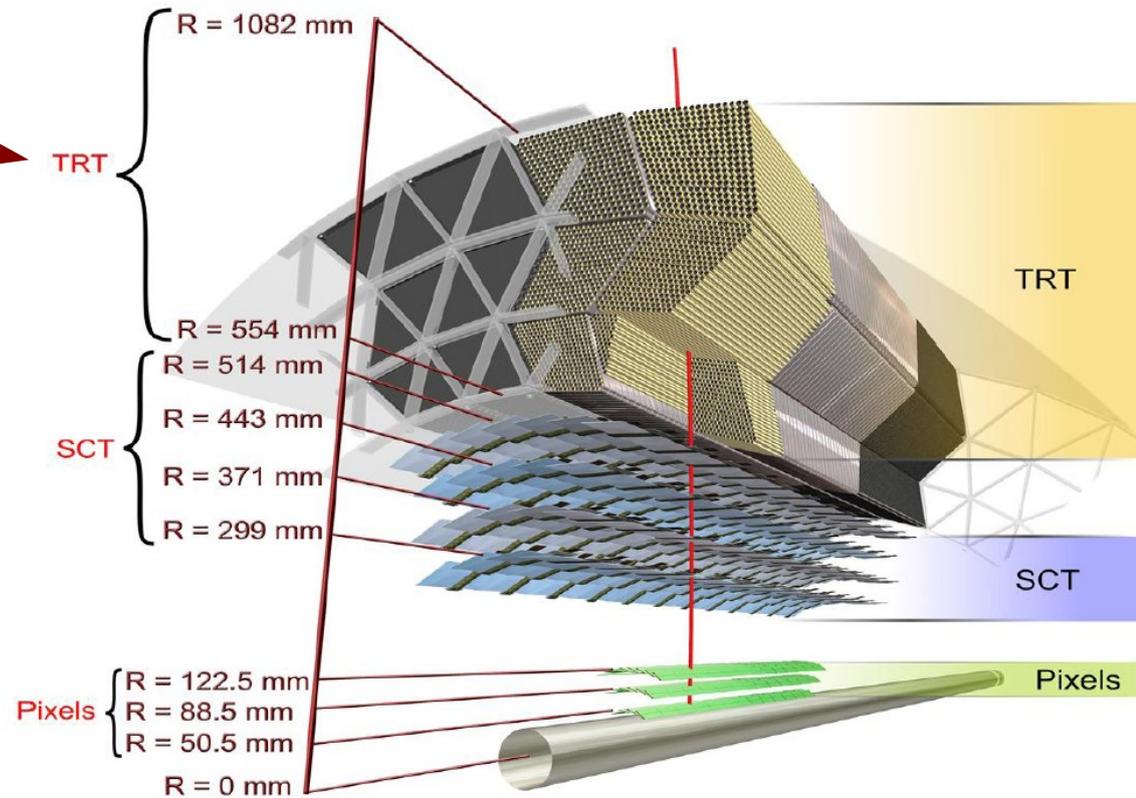
Количество взаимодействий
на акт соударения пучков



Трековый детектор переходного излучения (TRT)

Баррель TRT:

- 3 слоя по 32 ϕ модуля
- 4 мм x 1.44 м дрейфовые трубки
- 31 мкм проволока в трубке
(~ 1.5 см мёртвая область считывание с обоих концов)
- 105088 каналов считывания



Газовая система TRT:

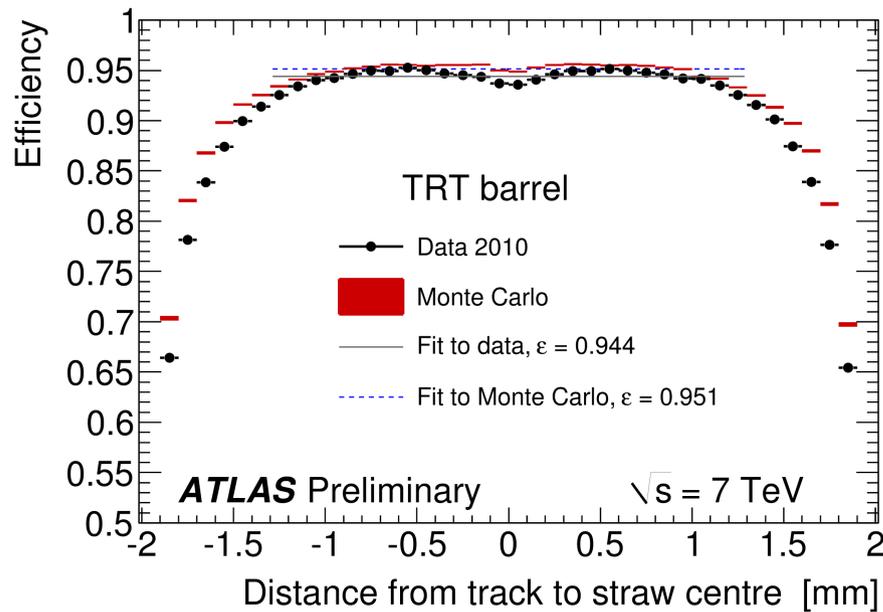
- Смесь $\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ 70/27/3
- Общий объём 3 m^3

Торцевые области TRT:

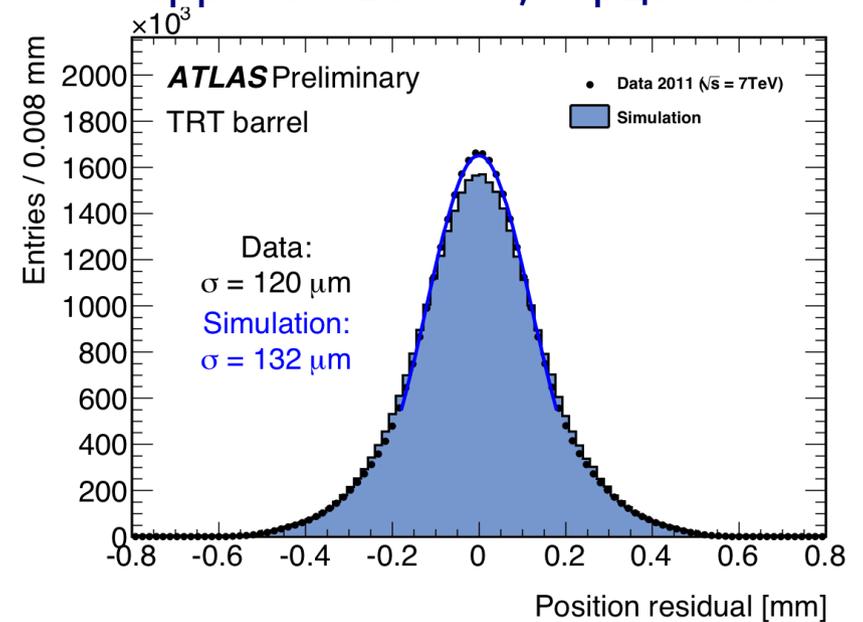
- (12+8) модули с 8 слоями
- 39 см дрейфовых трубок
- 120880 каналов

Основные рабочие характеристики детектора TRT

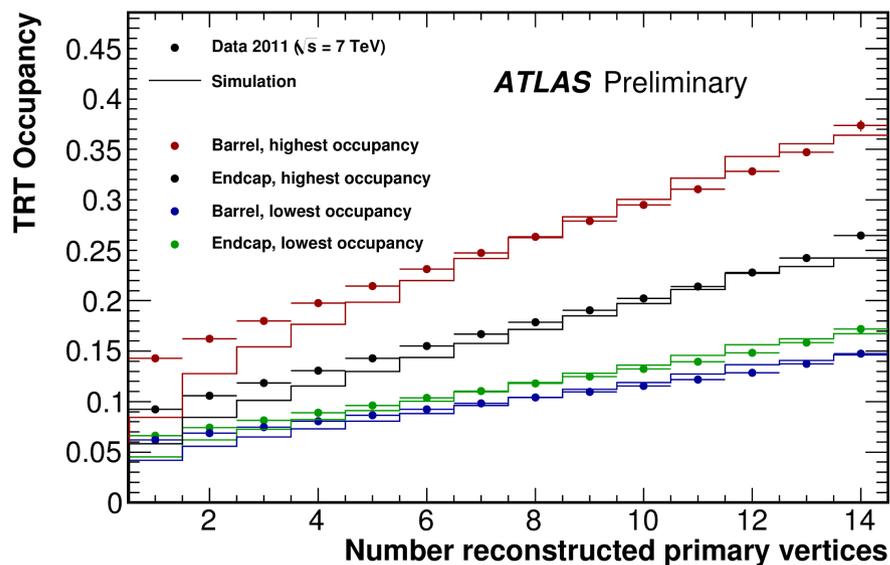
Эффективность дрейфовых трубок ~94%



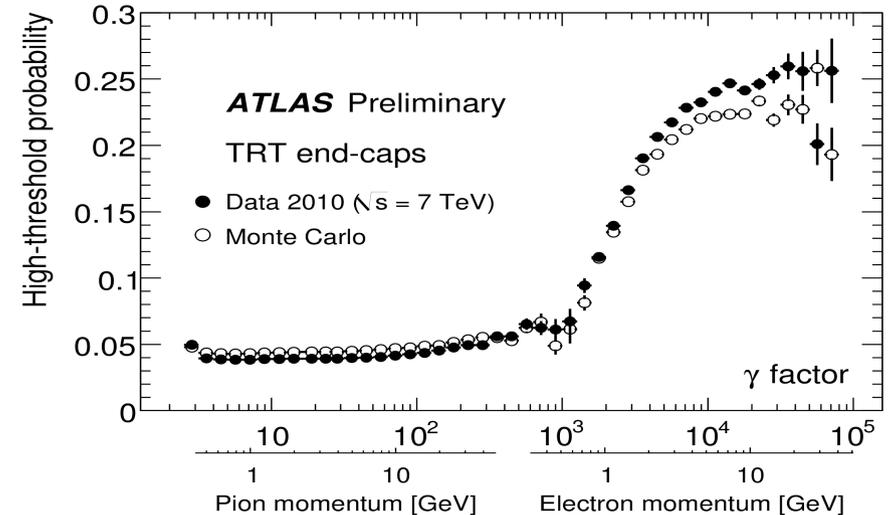
Среднеквадратичное отклонение хитов трека баррель: 120 мкм, торцы: 135 мкм



Зависимость загрузок от числа вершин



e/π -различение фактор режекции пионов ~20 при 90% эффективности регистрации e



Эксплуатация детектора TRT

При эксплуатации детектора TRT осуществлялся контроль работы:

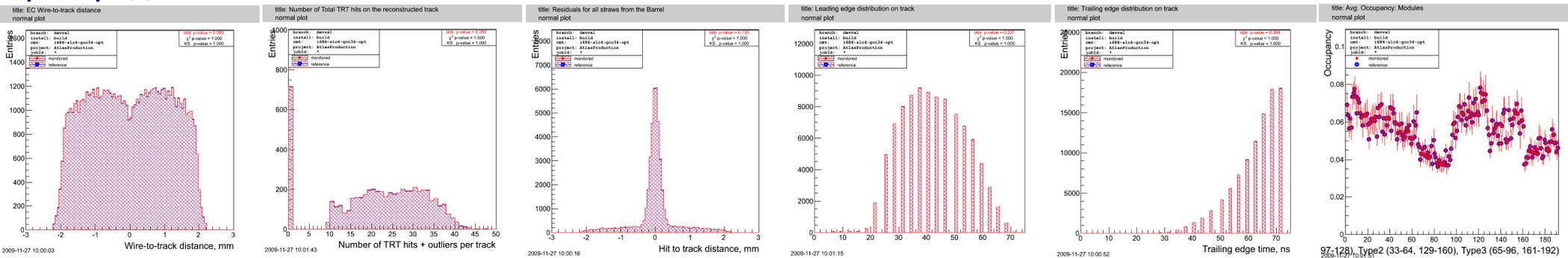
В центре управления ATLAS — системы FSM, DAQ, DQ, Online Monitoring

Ежедневный и 24/7 контроль

FSM (Final State machine) — круглосуточный контроль систем: HV, LV, состояние газовой системы, работа систем охлаждения, системы газового усиления и эффектов старения

DAQ (Data AcQuisition) — сбор данных, проведение калибровок, тестов шумов при HT и LT

DQ (Data Quality) — контроль качества данных: выбор блоков светимости, при которых результаты распределений основных величин показывают хорошее согласие с проверочными распределениями:

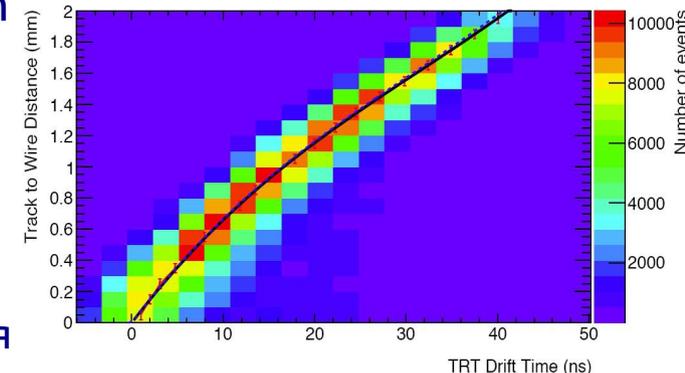


Удалённый контроль — системы Offline DQ, RTT, Calibration (еженедельный цикл)

Offline DQ — детальный контроль качества данных, сравнение результатов с другими трекерами ATLAS

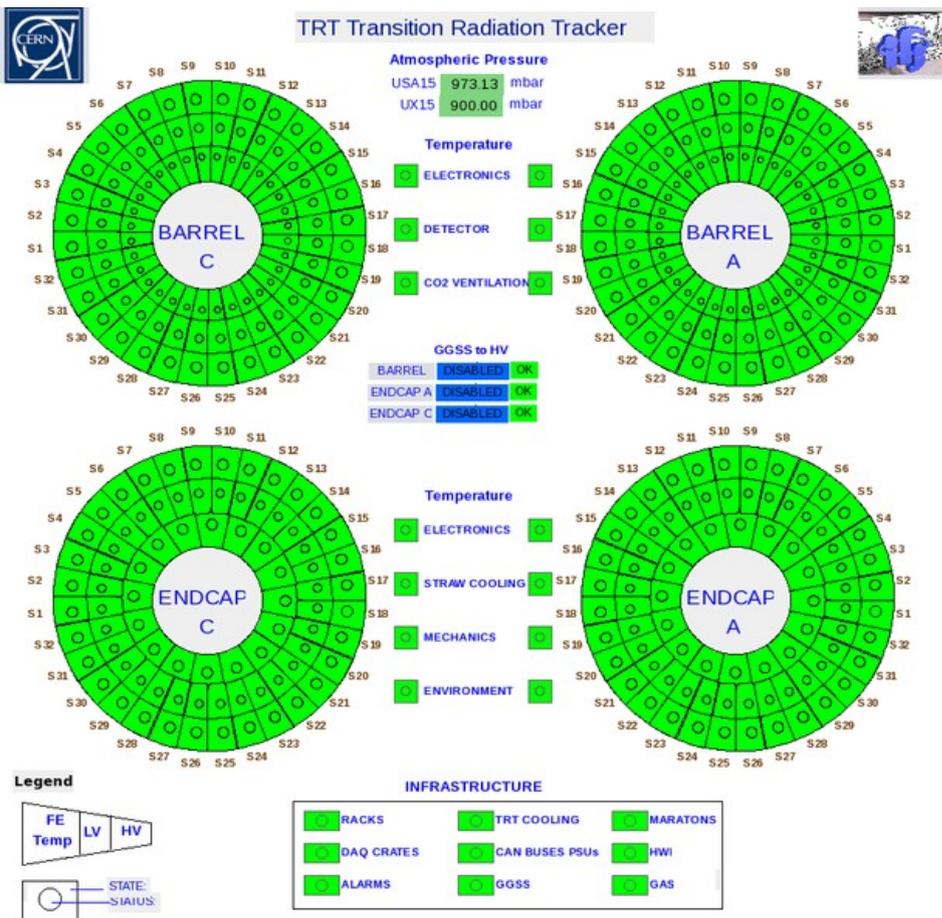
RTT (Run Time Testing) — проверка алгоритмов ПО

Offline Calibration — калибровка и выставление R-t соотношения



Стабильность работы и качество данных детектора TRT

Стабильная работа подсистем TRT



Доля качественных данных при стабильном пучке LHC

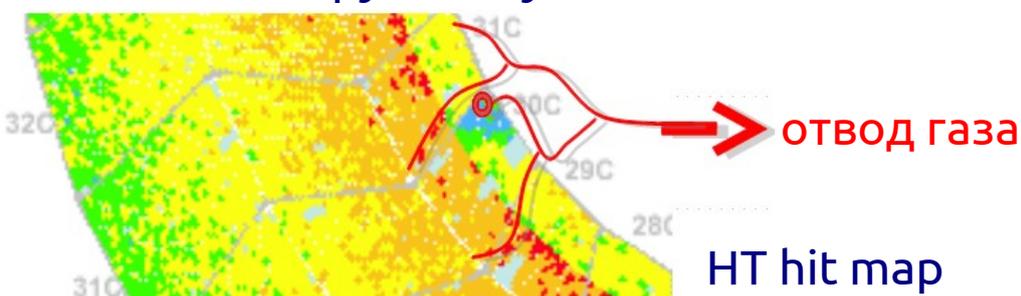
$\sqrt{s} = 7 T\text{ЭВ}$ ATLAS 2010 p-p run $\mathcal{L} = 45 \text{ пб}^{-1}$										
Inner Tracking			Calorimeters				Muon Detectors			
Pixel	SCT	TRT	LAr EM	LAr HAD	LAr FWD	Tile	MDT	RPC	CSC	TGC
99.1	99.9	100	90.7	96.6	97.8	100	99.9	99.8	96.2	99.8

$\sqrt{s} = 7 T\text{ЭВ}$ ATLAS 2011 p-p run $\mathcal{L} = 5.23 \text{ фб}^{-1}$										
Inner Tracking			Calorimeters				Muon Detectors			
Pixel	SCT	TRT	LAr EM	LAr HAD	LAr FWD	Tile	MDT	RPC	CSC	TGC
99.8	99.6	99.2	97.5	99.2	99.5	99.2	99.4	98.8	99.4	99.1

$\sqrt{s} = 2.76 T\text{ЭВ} *$ ATLAS 2011 Pb-Pb run $\mathcal{L} = 158 \text{ мкб}^{-1}$										
Inner Tracking			Calorimeters				Muon Detectors			
Pixel	SCT	TRT	LAr EM	LAr HAD	LAr FWD	Tile	MDT	RPC	CSC	TGC
99.7	99.7	99.5	100	100	100	100	100	100	100	99.9

$\sqrt{s} = 8 T\text{ЭВ}$ ATLAS p-p run: April-Sept. 2012 $\mathcal{L} = 14 \text{ фб}^{-1}$										
Inner Tracker			Calorimeters		Muon Spectrometer					
Pixel	SCT	TRT	LAr	Tile	MDT	RPC	CSC	TGC		
100	99.3	99.5	97.0	99.6	99.9	99.8	99.9	99.9		

В 2012 г. обнаружены утечки газовой смеси

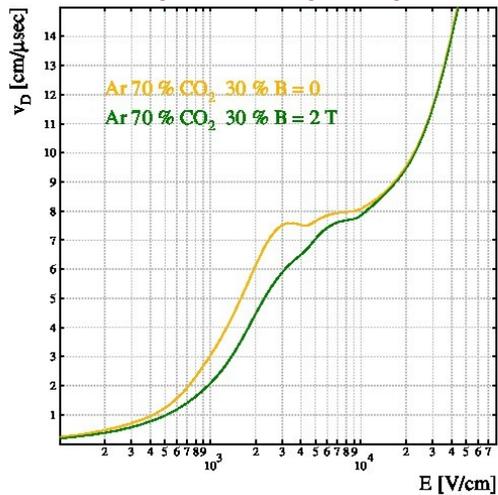


Выбор газовой смеси для детектора TRT

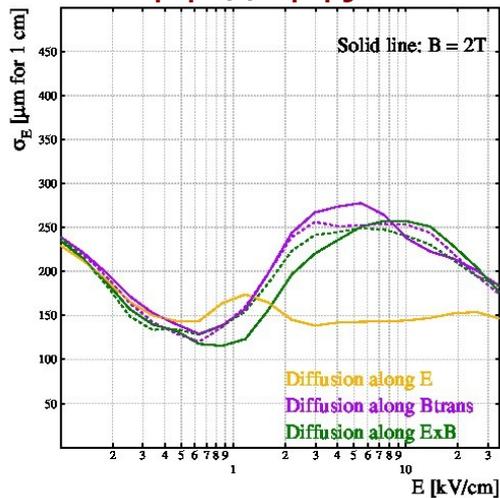
Была поставлена задача: в краткие сроки найти альтернативную ($\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$) газовую смесь для функционирования TRT. Поиск осуществлён исходя из требуемой скорости дрейфа и диффузии электронов, а также стабильности газового усиления.

Результаты для Ar/CO_2 70/30 газовой смеси:

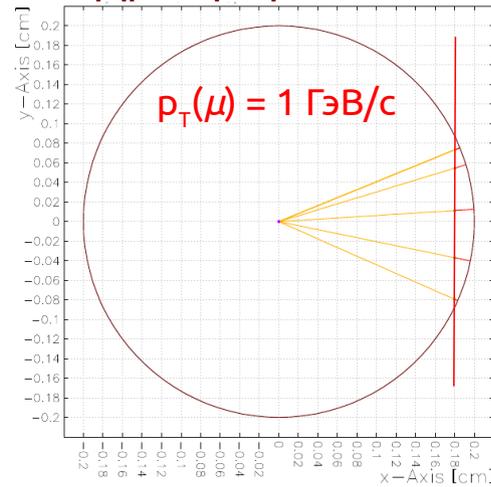
Скорость дрейфа



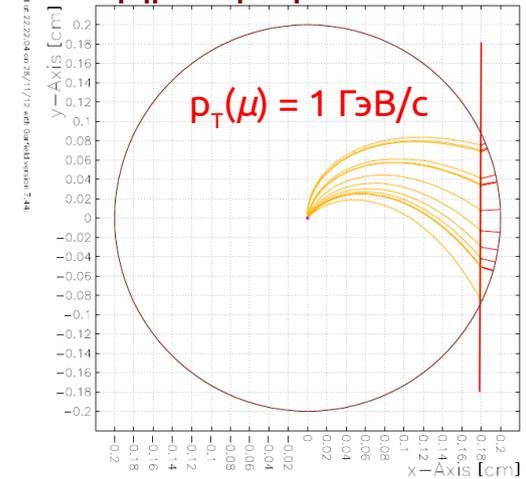
Коэфф. диффузии



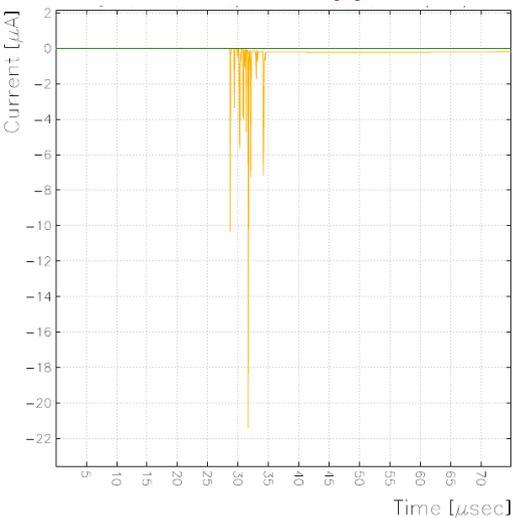
Дрейф при $B = 0$



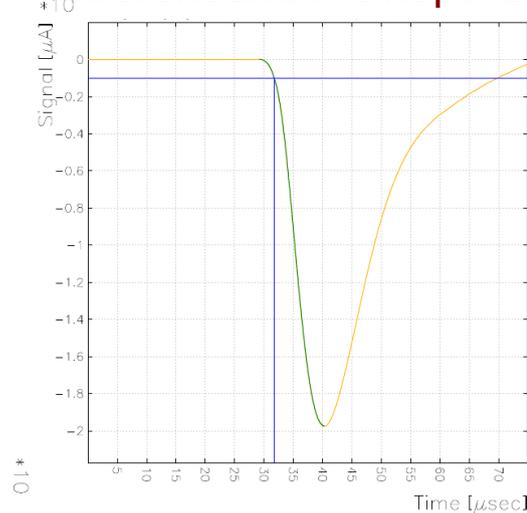
Дрейф при $B = 2$ Тл



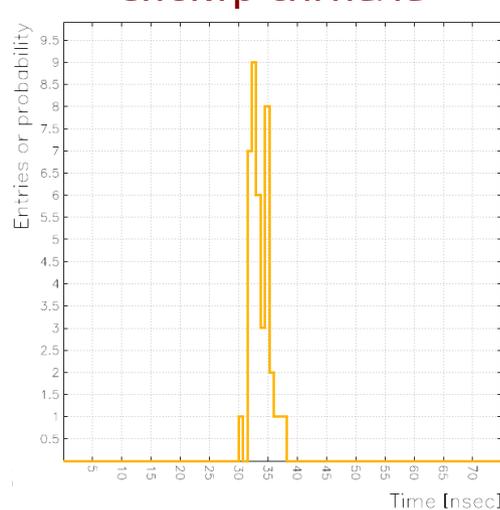
Ток на аноде



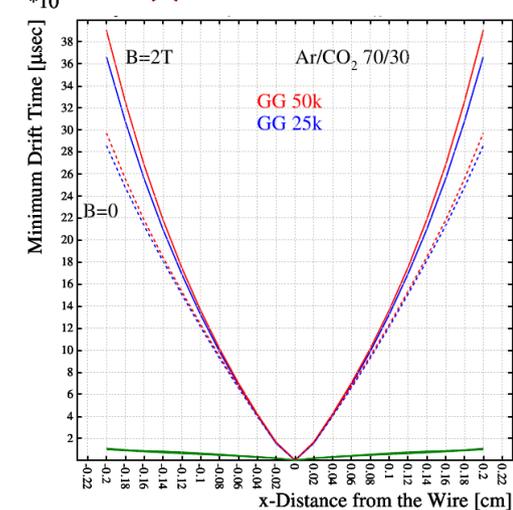
Установление порога



Спектр сигнала



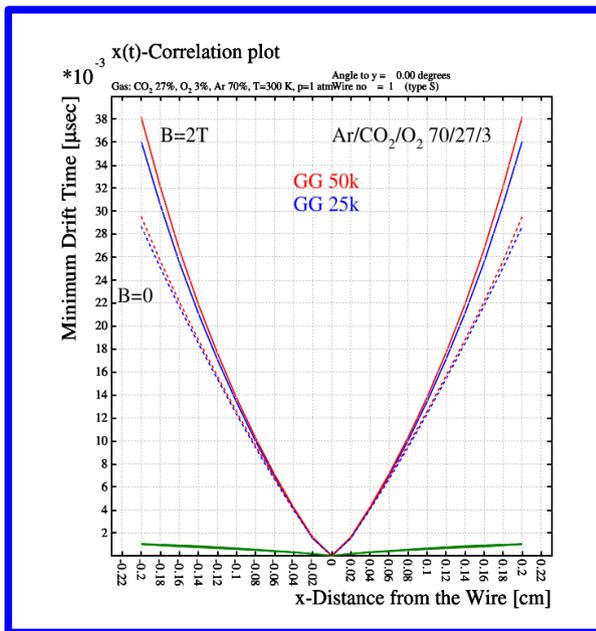
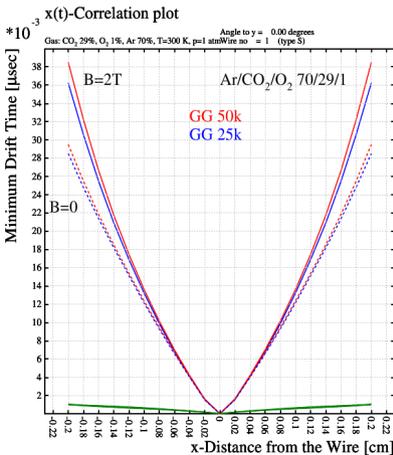
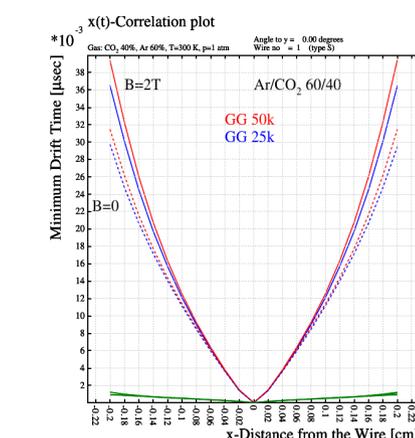
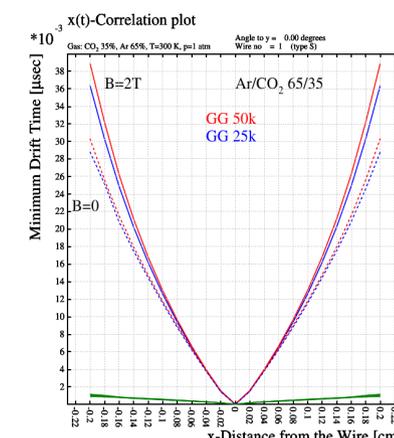
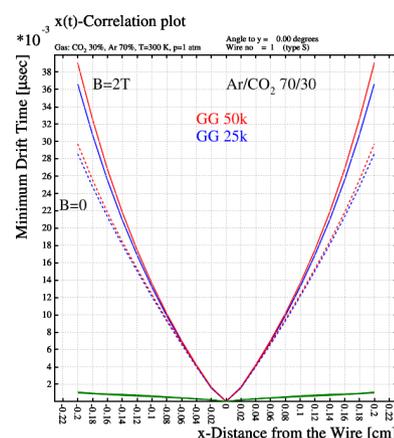
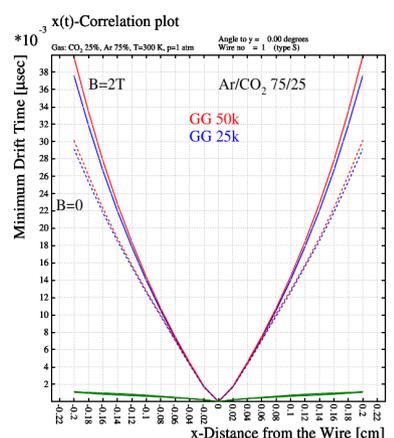
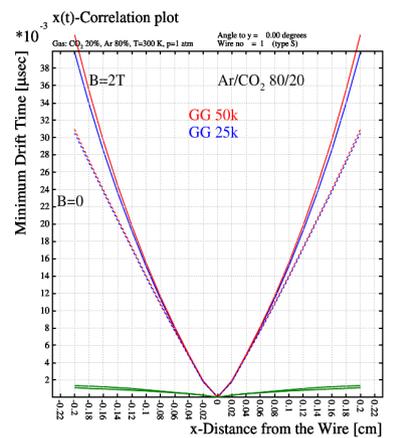
$\tau(t)$ -зависимость



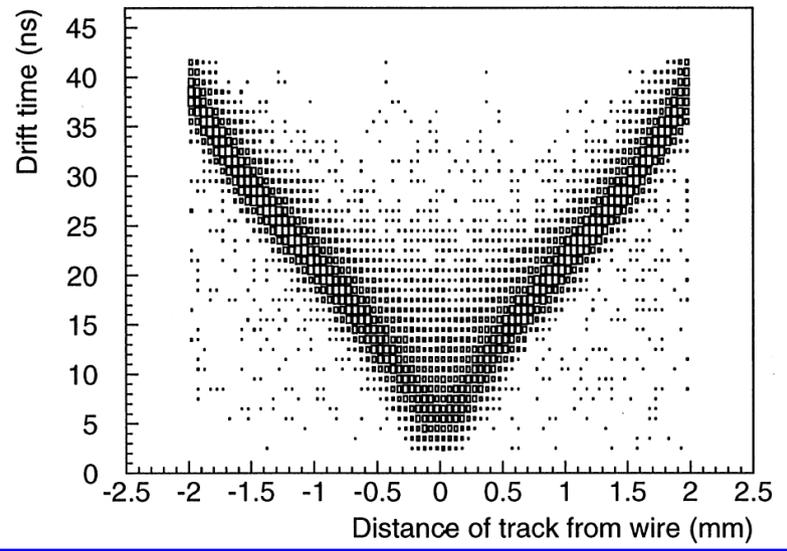
Выбор газовой смеси для детектора TRT

В ходе исследования использовались программные пакеты:

- **Magboltz** для численного решения уравнений переноса Больцмана для дрейфа электронов в газовой смеси
- **Garfield** для моделирования дрейфовых свойств в различных конфигурациях \bar{E} и \bar{V}



«Straw tube drift-time properties and electronics parameters for the ATLAS TRT detector» // NIM A 449 (2000) 446-460



Стабильность газового усиления измерялась на стенде TRT SR1

Полученный результат применён в ходе p-Pb сеансов набора данных TRT в 2013 г.

Модернизация ATLAS для работы в условиях HL-LHC

11

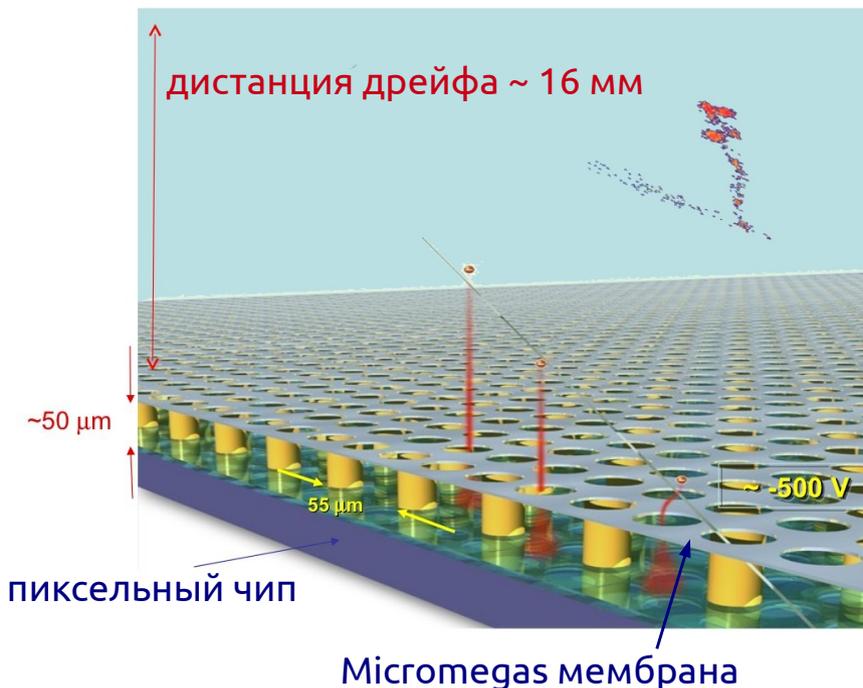
Для будущих циклов работы LHC необходима модернизация Внутреннего детектора. В том числе — замена TRT на кремниевый детектор.

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 5×10^{34} $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, 7 + 7 ТэВ, 25(50) нс

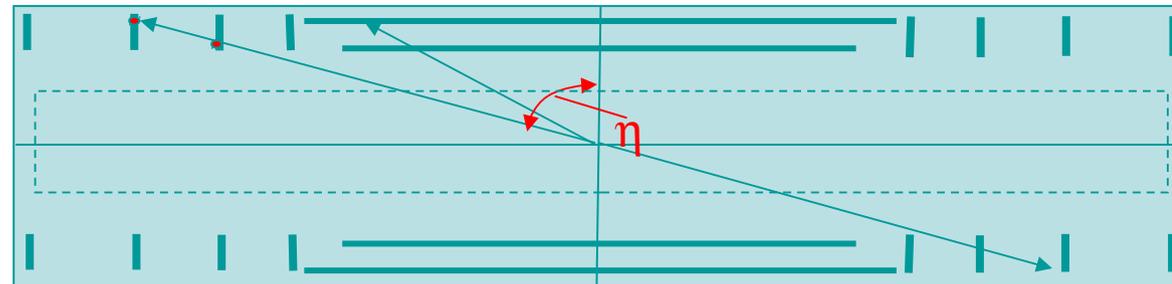
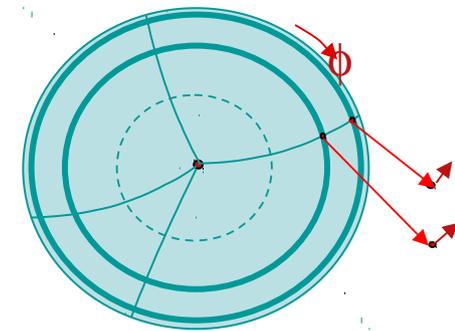
Детектор TRT оказался очень эффективным для снижения загрузок e^- -каналов благодаря регистрации переходного излучения. Стоит задача сохранить регистрацию ПИ.

Утверждённым ATLAS проектом модернизации Внутреннего детектора является газовый кремниевый детектор GasPix. Детектор **позволяет** производить векторное восстановление трека и регистрировать ПИ.

Возможная геометрия модулей GasPix



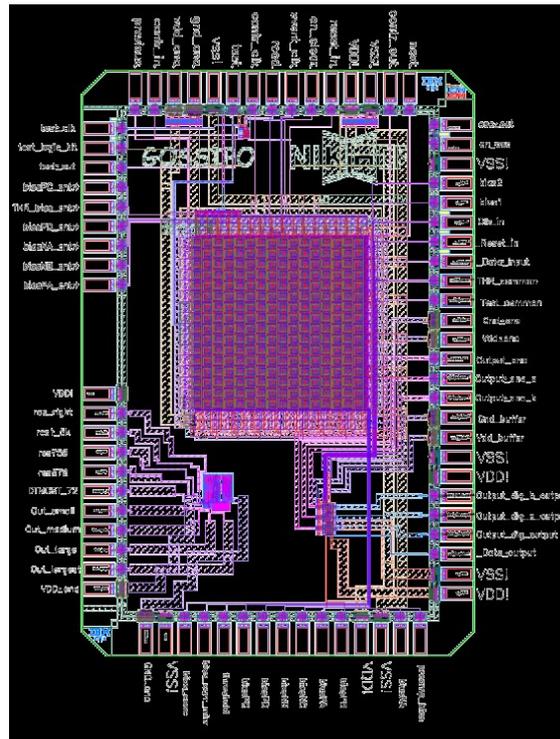
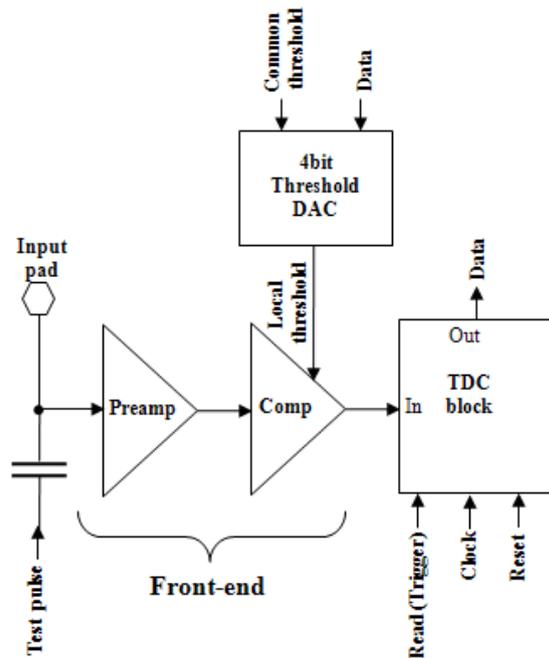
Модули GasPix могут занимать внешнюю область Внутреннего детектора ATLAS и содержать два слоя радиатора переходного излучения.



Технологии для GasPix

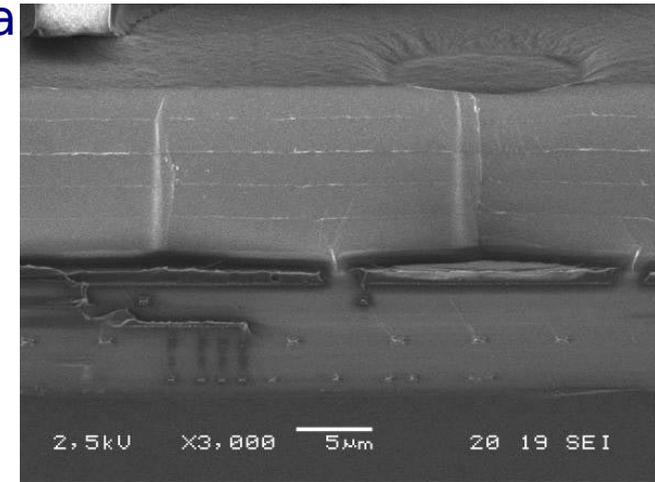
TimePix/MediPix пиксельный чип

- 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⁻



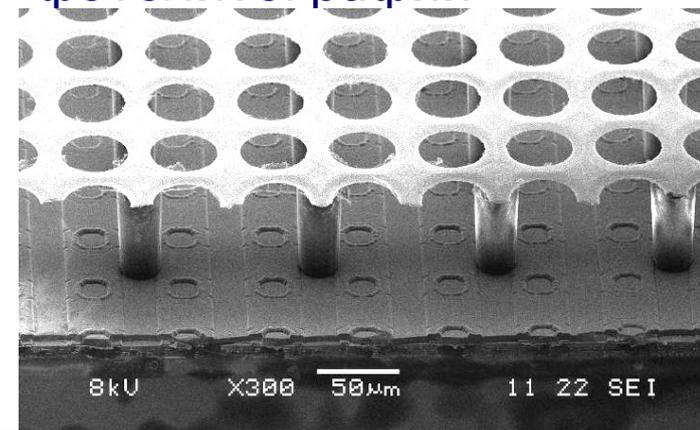
SiNProt

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



InGrid (Micromegas)

Нанесённая на Si-подложку Micromegas-мембрана при помощи фотолитографии



Моделирование детектора GasPix

Этапы моделирования:

1. Выбор газовой смеси для дрейфовой камеры (Magboltz)
2. Моделирование дрейфовых свойств электронов в конфигурациях \bar{E} и \bar{V} , соответствующих проектной геометрии расположения детектора (Garfield)
3. Моделирование прохождения трека через модуль детектора (Atlsim на основе G3 и ПО ATLAS TRT для ПИ)

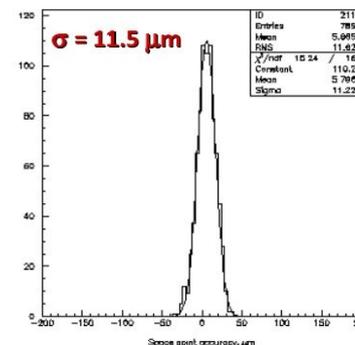
- 1-2.
- Высокая скорость дрейфа **> 4 см/мкс**
 - Низкая диффузия **< 170-180 мкм/см**
 - Малый угол Лоренца **< 30°**
 - Требования безопасности: невоспламеняемость, нетоксичность, нерадиоактивность
 - Стабильность усиления **3000-5000 в линейном режиме**
 - Без старения
 - Дрейф в условиях полей \bar{E} и \bar{V} : **< 4 кВ/см 0...2 Тл**

Анализ ~ 100 газовых смесей показал, что удовлетворяют следующие газовые смеси:

Ar- или Xe- (или вместе) основа (50-80%) и примесь из: CO₂, CF₄, Силана, DME, Изобутана, N₂O, NH₃

- 3.
- Размер пикселя и число пикселей в чипе
 - Параметры камеры
 - Энергия пучка и тип частиц
 - Состав газовой смеси (из 1)
 - Скорость дрейфа и диффузия (из 1-2)
 - Геометрические параметры пучка
 - Параметры радиатора ПИ
 - Задержки электроники
 - Пороги регистрации и другие

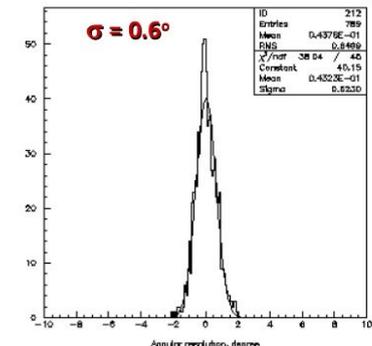
Газовая смесь с низкой диффузией



11.5 мкм для e^-

25 мкм для e^- с кластерами ПИ

Угол падения 10°

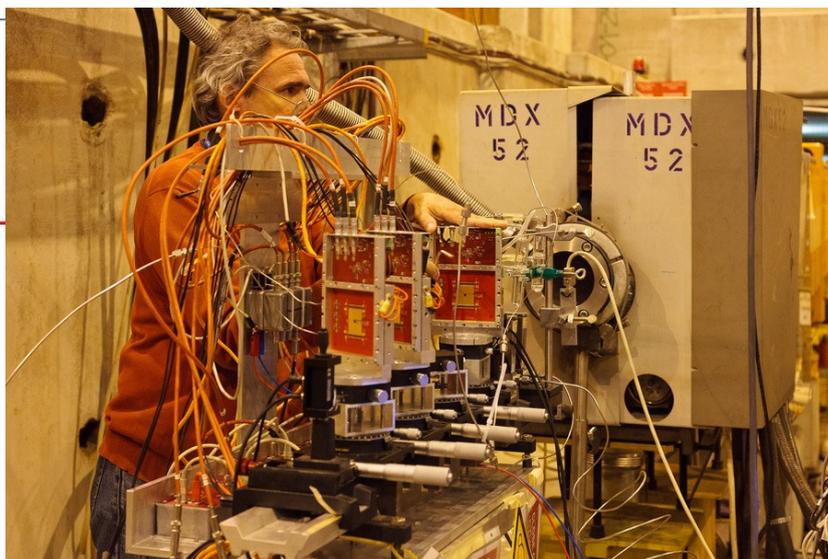


0,6° для угла 10°

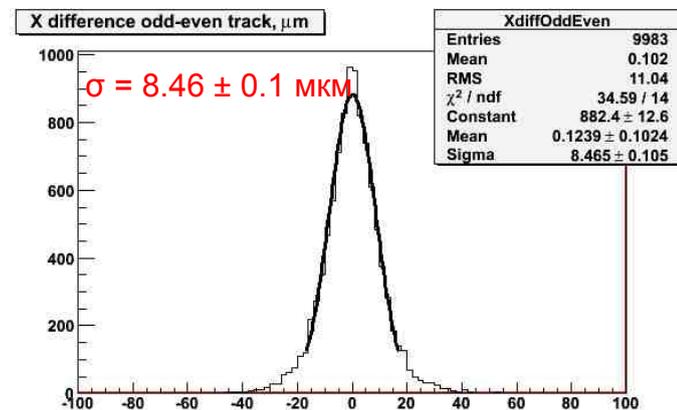
Тестовые испытания GasPix (ноябрь 2012 г.)

GridPix детектор 14x14 мм, 256x256 пикселей.

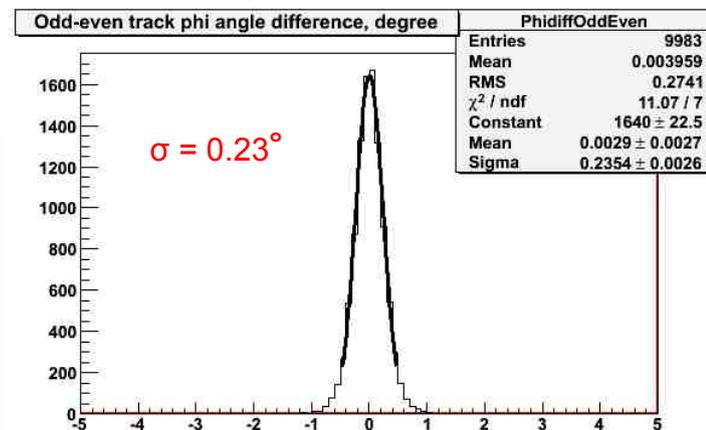
Использовался пучок H4 от ускорителя SPS (π и μ до 20 ГэВ/с)



Пространственное разрешение



Угловое разрешение



Первые результаты измерений:

	Среднее число хитов на треке	Координатная точность, мкм	Угловая точность, градусы
2012 год, ран № 69, дрейфовый промежуток 1.0 см, дрейфовое поле 2 кВ/см	23	10.1	1.04
2012 год, ран № 71, дрейфовый промежуток 1.0 см, дрейфовое поле 3.5 кВ/см	31	9.7	0.77

Первые результаты тестовых испытаний детектора GasPix в ноябре 2012 г. и результаты моделирования находятся в **хорошем согласии**.

Использовались газопые смеси:
 Ar/CO₂ 92/7
 DME/CO₂ 50/50

Организация триггера ATLAS

HW

- **Level - 1**
 - Мюонные триггерные камеры и калориметры выделяют область интереса (**e, γ , τ , jet, μ** кандидаты выше порога регистрации)
 - Время обработки 2.5 мкс

SW

- **Level – 2**
 - Подтверждение Триггера L1 в областях интереса
 - Прецизионные мюонные камеры и Внутренний детектор уточняют характеристики события
 - Измерение в области интереса Level-1
 - Время обработки 10 мс
 - Частота событий ~ 2 кГц
- **Event Filter**
 - Возможный анализ всех параметров события
 - Время обработки 1с
 - Частота событий ~ 100 Гц

Программа и триггер В-физики

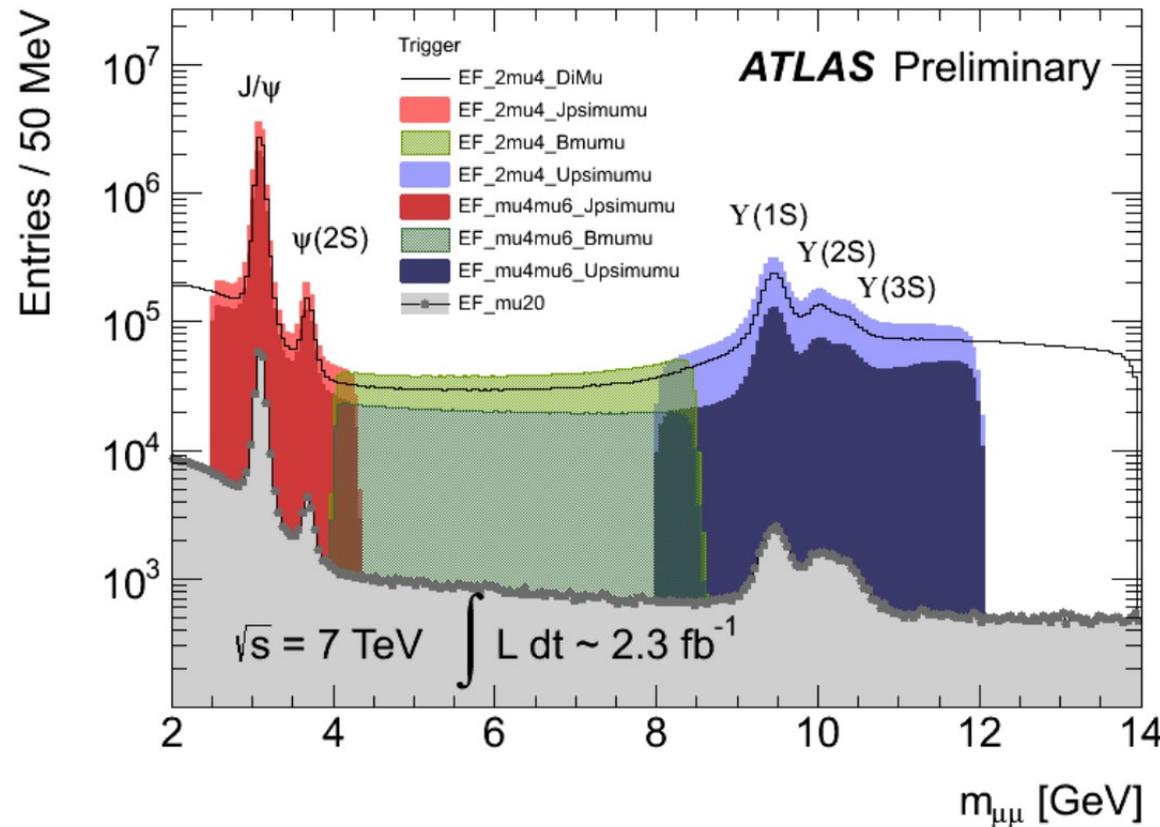
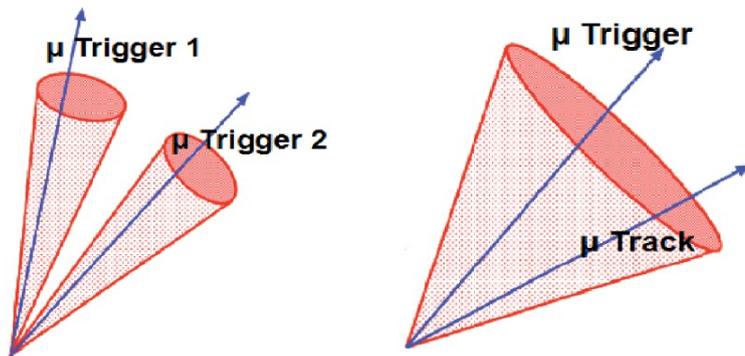
В-физика является частью физической программы ATLAS.

Программа В-физики опирается на двухмюонные процессы:

- Связанные состояния ($J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$, $\Upsilon \rightarrow \mu^+\mu^-$)
- $B \rightarrow J/\psi(\mu\mu)X$, смешивание и CP-нарушения
- Редкие распады $B_s \rightarrow \mu^+\mu^- (X)$

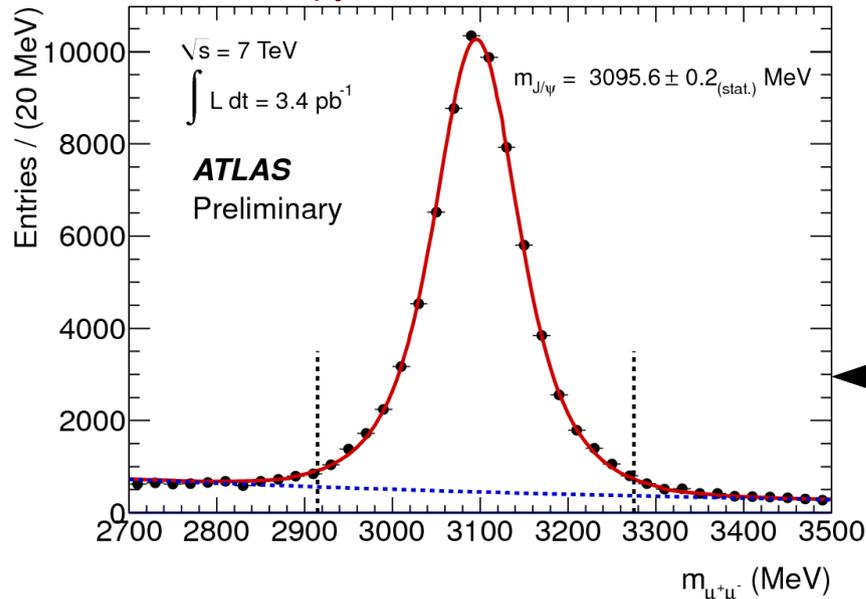
Триггер димюонов при низких p_T (>4 , >6 ГэВ):

- 2 мюона на L1
- Подтверждение в HLT
- Вершинное и массовое ограничения



Измерение B^\pm -мезонов в эксперименте ATLAS

Реконструкция J/ψ кандидатов



$$p_T(K^+) > 2.5 \text{ ГэВ/с}$$

$$p_T(J/\psi K^+) > 2.5 \text{ ГэВ/с}$$

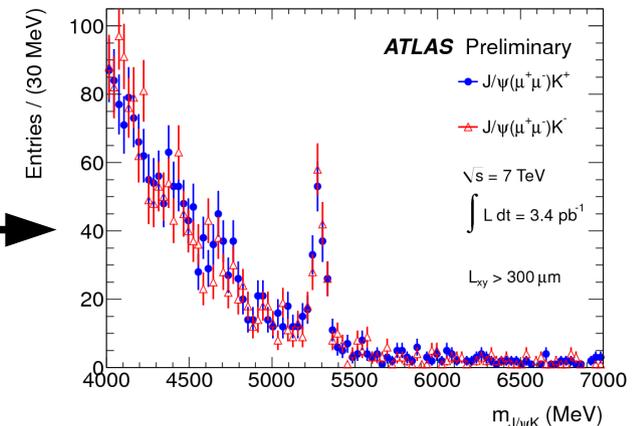
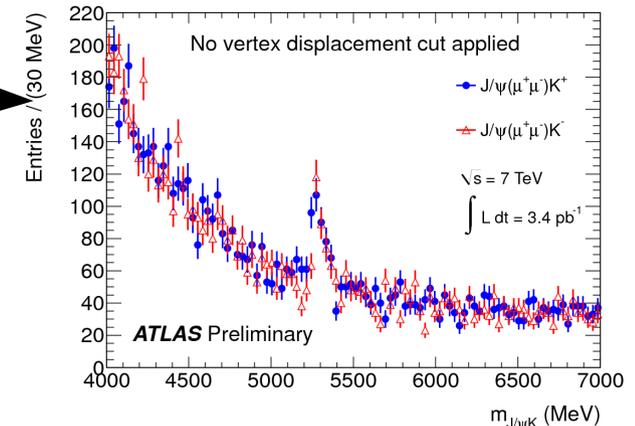
$$\chi^2/\text{n.d.o.f.} < 6$$

$$p_T(\mu 1) > 4 \text{ ГэВ/с}$$

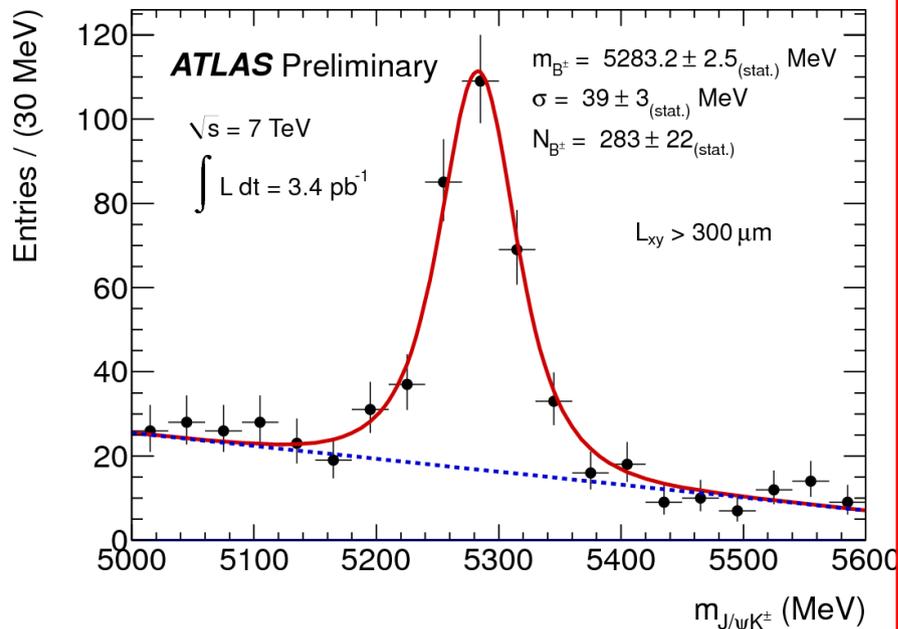
$$p_T(\mu 2) > 2.5 \text{ ГэВ/с}$$

$$\chi^2/\text{n.d.o.f.} < 10$$

Реконструкция $J/\psi(\mu\mu)K^\pm$ кандидатов



Реконструкция B^\pm кандидатов



$$L_{xy} > 300 \text{ мкм}$$

$$L_{xy} \equiv \vec{L} \cdot \vec{p}_T^B / |\vec{p}_T^B|$$

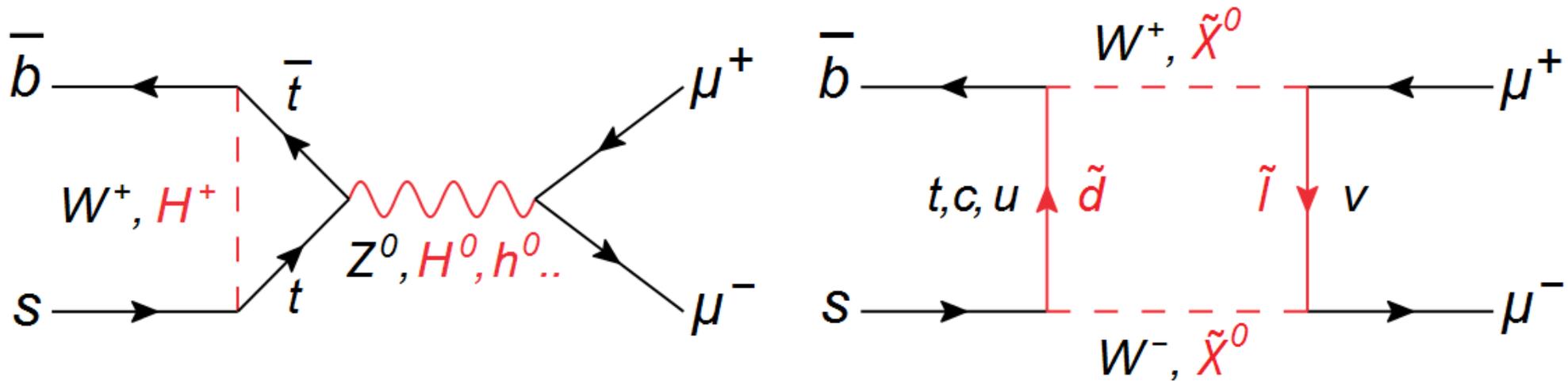
Результаты измерения масс

PDG: $5279.15 \pm 0.31 \text{ MeV}$

	$m_B, \text{ MeV}$	$\sigma_m, \text{ MeV}$	N_{sig}	N_{bkg}	S
B^\pm	5283.2 ± 2.5	39 ± 3	283 ± 22	131 ± 13	1.09 ± 0.07
B^+	5282.6 ± 3.6	40 ± 4	138 ± 15	70 ± 11	1.12 ± 0.11
B^-	5283.7 ± 3.3	39 ± 4	146 ± 15	61 ± 8	1.06 ± 0.10
MC	5281.8 ± 0.2	39.8 ± 0.2			1.100 ± 0.003

Редкий распад $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Одной из важных задач проверки Стандартной модели является поиск редкого канала распада $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, который запрещён на древесном уровне диаграмм. Меняющие аромат нейтральные токи сильно подавлены в СМ.



$$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.5 \pm 0.2) \times 10^{-9}$$

[De Bruyn, Fleischer et al.,
Phys. Rev. Lett. 109, 041801 (2012)]

Анализ $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ в эксперименте ATLAS

Измерение относительной парциальной ширины редкого канала распада $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ производится относительно нормировочного канала $B^+ \rightarrow J/\psi(\mu^+ \mu^-)K^+$

При этом систематические неопределённости сокращаются (светимость, сечение, эффективность регистрации,...)

$$\begin{aligned}
 \mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) &= \mathcal{B}(B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm \rightarrow \mu^+ \mu^- K^\pm) \times \frac{f_u}{f_s} \times \frac{N_{\mu^+ \mu^-}}{N_{J/\psi K^\pm}} \times \frac{A_{J/\psi K^\pm}}{A_{\mu^+ \mu^-}} \times \frac{\epsilon_{J/\psi K^\pm}}{\epsilon_{\mu^+ \mu^-}} \\
 &= N_{\mu^+ \mu^-} \times \text{SES}
 \end{aligned}$$

Относительная парциальная ширина нормировочного канала и отношение функций фрагментации [из PDG]

Сигнальные события

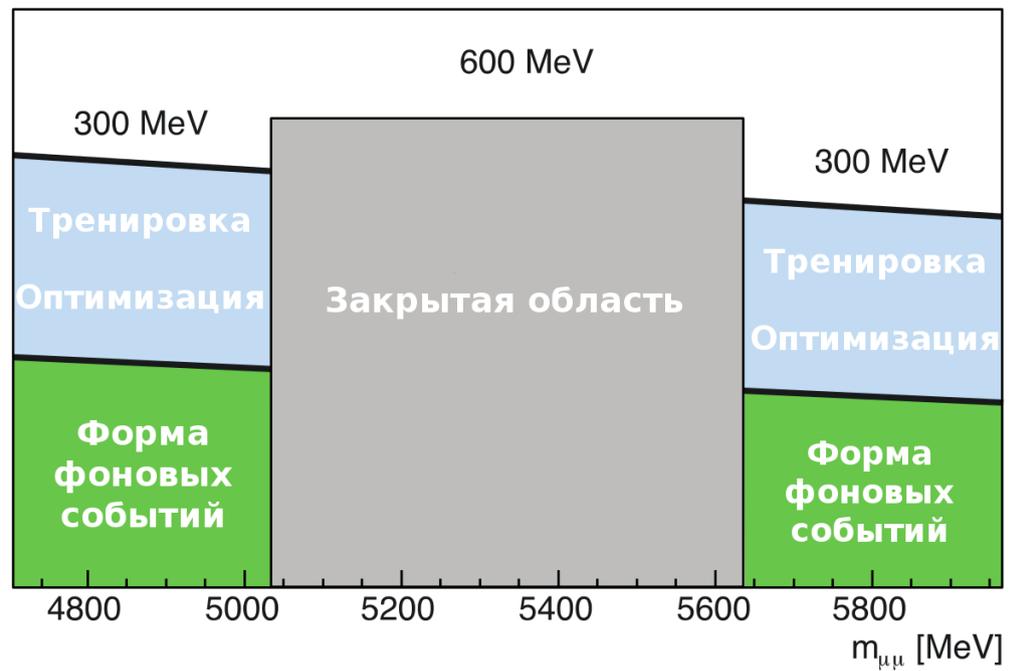
Подсчёт $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ событий в сигнальной области и определение фона, оценённого по «боковым» областям. Подсчёт событий $B^\pm \rightarrow \mu^+ \mu^- K^\pm$

Акцептансы и эффективности

- Определяются из модельных событий и перевзвешиваются до достижения совпадения с данными
- Одинаковые критерии отбора для $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и нормировочного канала

Чувствительность к одиночному событию (SES)

- Соответствует относительной парциальной ширине, при которой регистрируется одно событие



Различение сигнала/фона

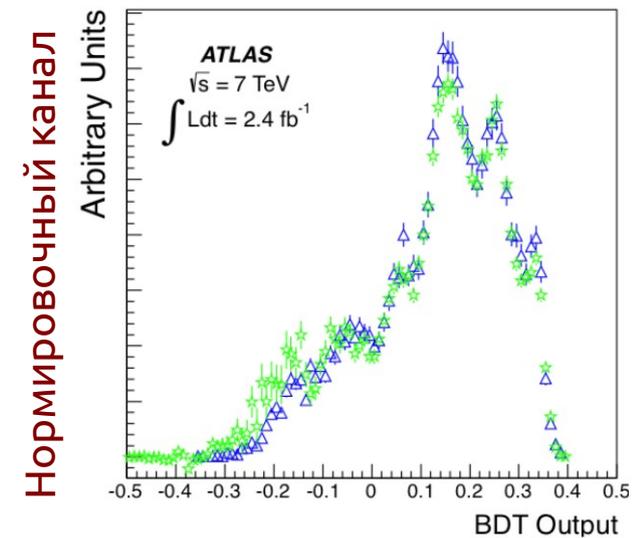
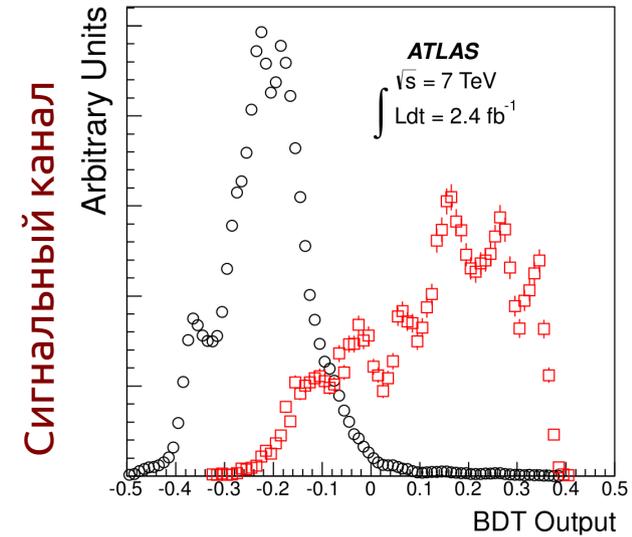
Для наложения эффективных ограничений с целью подавления фона применялась модификация многофакторного BDT (Boosted Decision Trees). Оптимизировалось 14 переменных.

Оценка фона производилась при помощи экстраполяции его значений в «боковых» областях на сигнальную область.

Оптимизация отбора событий производилась при достижении максимума оценочной функции

$$\mathcal{P}(q_{cut}, \Delta m) = \frac{\varepsilon_{sig}}{1 + \sqrt{N_{bkg}}}$$

Оптимизация производилась в шестимерном пространстве Δm и пороговому значению выхода BDT-классификатора для каждой группы по точности определения инвариантной массы димюона.



Выделение трёх областей по массовому разрешению

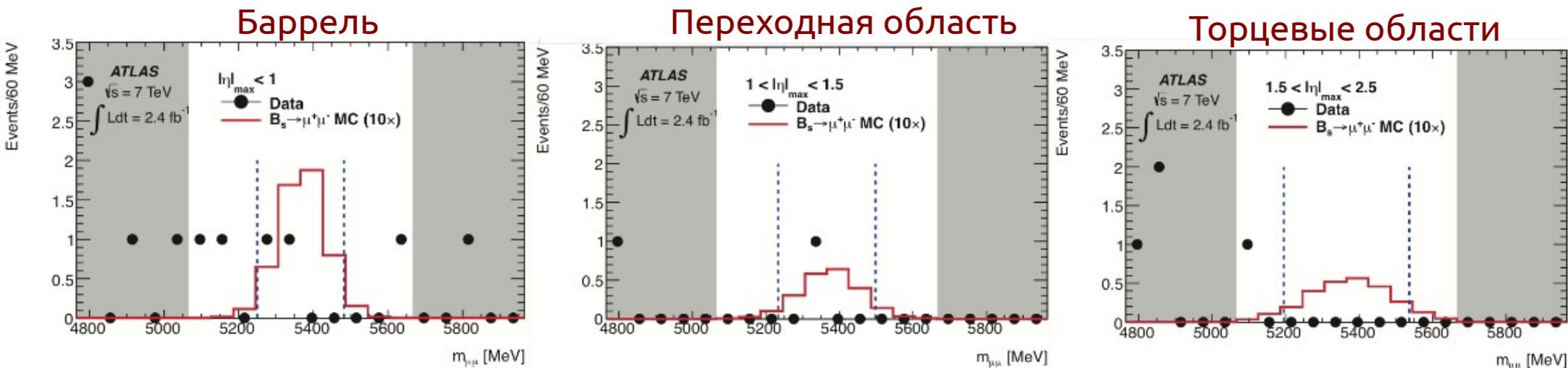
	Баррель	Переходная область	Торцевые области
Диапазон	$0 < \eta _{\max} < 1.0$	$1.0 < \eta _{\max} < 1.5$	$1.5 < \eta _{\max} < 2.0$
Разрешение массы	60 МэВ	80 МэВ	110 МэВ

Наблюдение событий в сигнальной области

- Раскрытие сигнальной области
- Измерение нерезонансного фона при помощи экстраполяции значений боковых областей
- Оценка пикового фона с помощью Монте-Карло

Подсчёт событий в трёх областях по массовому разрешению

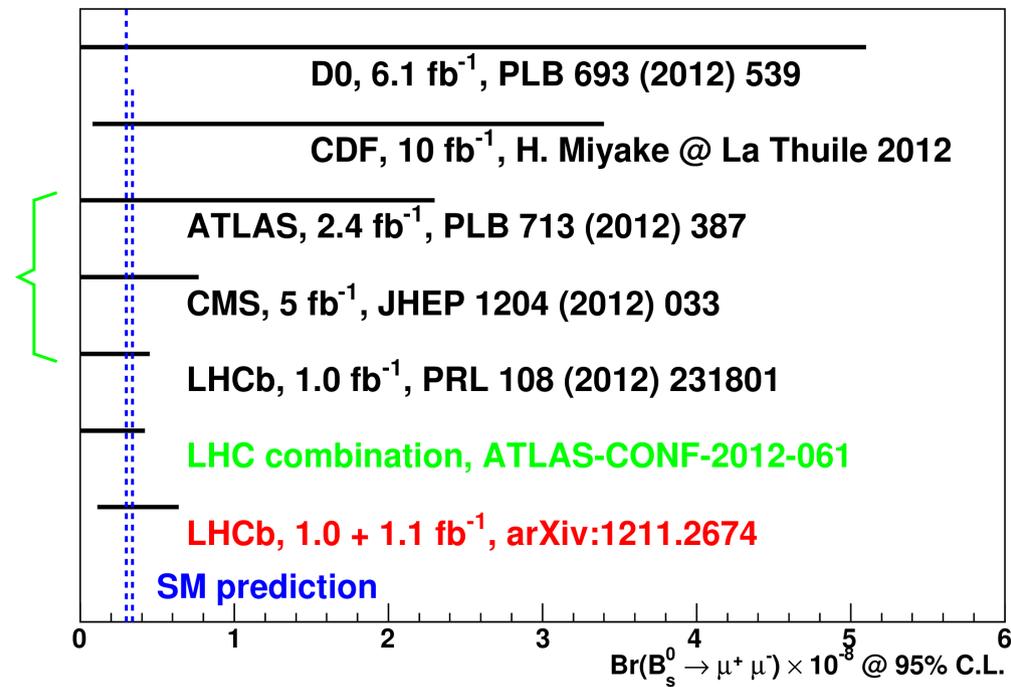
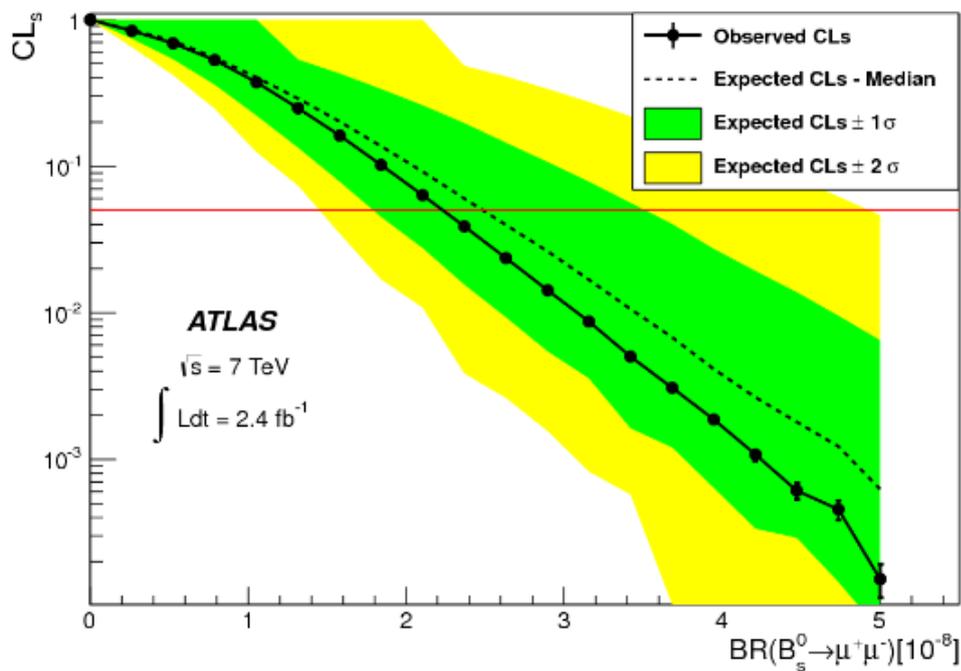
	Баррель	Переходная область	Торцевые области
Боковые области	5	0	2
Предсказание $B \rightarrow hh$	0.10	0.06	0.08
Наблюдалось событий	2	1	0



Определение верхнего предела относительной парциальной ширины канала $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Для определения верхнего предела относительной парциальной ширины использовался метод доверительных уровней (CL).

$$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 2.2 \times 10^{-8}$$



Наблюдаемый верхний предел в ATLAS при **95% CL**: $\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 2.2 \times 10^{-8}$ (2.4 фб⁻¹)

Объединённый результат LHC при **95% CL**: $\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 4.2 \times 10^{-9}$

Новый результат LHCb: $\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.2^{+1.5}_{-1.2}) \times 10^{-9}$ (1.0 + 1.1 фб⁻¹)

Заключение

- осуществлен запуск и проведён контроль качества работы трекового детектора переходного излучения (TRT) ATLAS, получены первые характеристики его работы, путем моделирования определены варианты замены состава рабочей газовой смеси детектора в случае большой утечки ксенона в процессе эксплуатации;
- созданы программы для представления данных TRT в универсальном для эксперимента ATLAS формате D3PD и получены значения среднего пространственного разрешения трека: 120 мкм в баррельной и 135 мкм в торцевых частях детектора при 30-ти координатах регистрации (хитов) на трек; а также характеристики загрузок детектора в зависимости от числа первичных вершин в одном акте pp-соударения: показано, что при светимости коллайдера $10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ загрузки не превышают значение 0.35 в барреле и 0.24 в торцевых частях, что обеспечивает хорошее качество данных при достигнутой светимости как в pp, так и в соударениях с тяжёлыми ионами;
- в результате проведенного моделирования определены варианты газовой смеси; рассчитаны координатное и угловое разрешения газового пиксельного детектора GasPix, показано соответствие расчетных значений разрешения детектора и результатов, полученных в испытаниях на пучке. Это показывает хорошую перспективу использования детектора такого типа для модернизации внутреннего детектора установки ATLAS;
- проведено моделирование процессов рождения B-мезонов в pp-взаимодействиях на LHC и реконструкции распадов B⁺-мезонов, выполнен анализ характеристик событий с рождением B-мезонов, показано присутствие корреляций в вылете заряженных частиц относительно направления B-мезона;
- выполнено моделирование эффективности триггера редких распадов B-мезонов и получены первые результаты поиска редкого распада B-мезонов $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ в эксперименте ATLAS на интегральной светимости 2.4 фб⁻¹. Найденное значение верхней границы относительной парциальной ширины этого распада $2.2 \cdot 10^{-8}$ находится в согласии с предсказаниями Стандартной модели и результатами экспериментов CMS и LHCb.

Дополнительные слайды

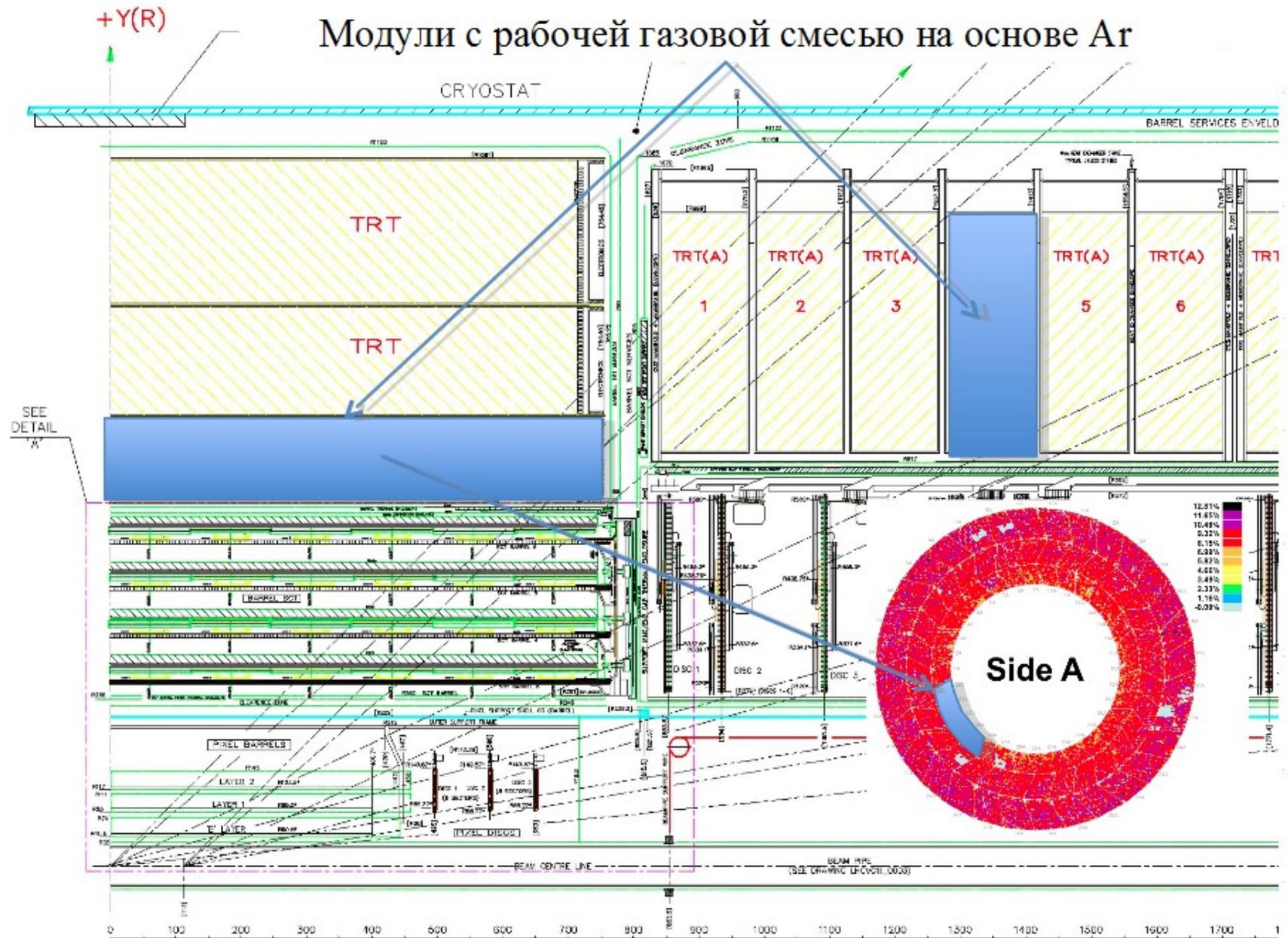
Основные результаты доложены на следующих конференциях:

- А.С. Болдырев, С.И. Лютов, С.Ю. Сивоклоков, Л.Н. Смирнова, "Форма pp-событий с рождением В-мезонов на коллайдере LHC", доклад на конференции МГУ "Ломоносовские чтения", 16 апреля 2009 г., МГУ, Москва
- L. Smirnova, A. Boldyrev. Physics with B-mesons in ATLAS. On behalf of the ATLAS Collaboration. International Symposium on Multiparticle Dynamics (ISMD), Gomel, Belarus, 4-9 September 2009
- А.С. Болдырев, "Азимутальная асимметрия в событиях с рождением В⁺-мезона в протонных соударениях в рамках эксперимента ATLAS на Большом Адронном Коллайдере", доклад на XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов", Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 13-18 апреля 2009 г.
- А.С. Болдырев, "Мониторинг детектора переходного излучения на установке ATLAS", доклад на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов-2010", Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 13 апреля 2010 г.
- А.С. Болдырев, Я.В. Гришкевич, Л.Н. Смирнова, "Мониторинг TRT детектора ATLAS", доклад на конференции МГУ "Ломоносовские чтения", 18-25 апреля 2010 г., МГУ, Москва
- A. Boldyrev, "Di-Muon trigger efficiency studies for rare decay B_s → μ+μ⁻, постерный доклад на Европейской Школе по Физике Высоких Энергий (ESHEP), Cheile Gradistei, Romania, 7-20 September 2011
- А.С. Болдырев, А.С. Романюк (МИФИ), С.Н. Смирнов (МИФИ), Л.Н. Смирнова, "Разработка газ-пиксельного детектора для эксперимента ATLAS", доклад на конференции МГУ "Ломоносовские чтения", 14 ноября 2011 г., МГУ, Москва
- А.С. Болдырев, С.Ю. Лобанов, С.Ю. Сивоклоков, С.М. Турчихин, Л.Н. Смирнова, "Условия наблюдения редкого распада В → τμμ в эксперименте ATLAS", доклад на конференции МГУ "Ломоносовские чтения", 14 ноября 2011 г., МГУ, Москва
- A.S. Boldyrev, S.Yu. Lobanov, A.S. Maevskiy, L.N. Smirnova, S.M. Turchikhin. "Measurements and simulations of b and c-quark production at hadron colliders". On behalf of the ATLAS Collaboration. Report on International Symposium Nonlinear Dynamics and Applications. 2011, Minsk, Belarus
- А.С. Болдырев, Л.К. Гладилин, Я.В. Гришкевич, В.А. Крамаренко, В.И. Рудь, С.Ю. Сивоклоков, Л.Н. Смирнова, С.М. Турчихин, "Поиск бозона Хиггса в эксперименте ATLAS", доклад на конференции МГУ "Ломоносовские чтения", 16 апреля 2012 г., МГУ, Москва
- А.С. Болдырев, "Газ-пиксельные детекторы для эксперимента ATLAS", доклад на Пярых Черенковских Чтениях, Москва, ФИАН, 12 апреля 2012 г.
- С.М. Турчихин, А.С. Болдырев и др. "Поиск редкого распада B_s → τμ+μ⁻ в эксперименте ATLAS". Доклад на международной сессии-конференции секции Ядерной Физики ОФН РАН. Москва, 12-16 ноября 2012 г.
- Л.Н. Смирнова, С.Ю. Сивоклоков, С.М. Турчихин, А.С. Болдырев. "Мюонный триггер эксперимента ATLAS для pp соударений при 7 ТэВ". Доклад на международной сессии-конференции секции Ядерной Физики ОФН РАН. Москва, 12-16 ноября 2012 г.

Основные результаты опубликованы в работах:

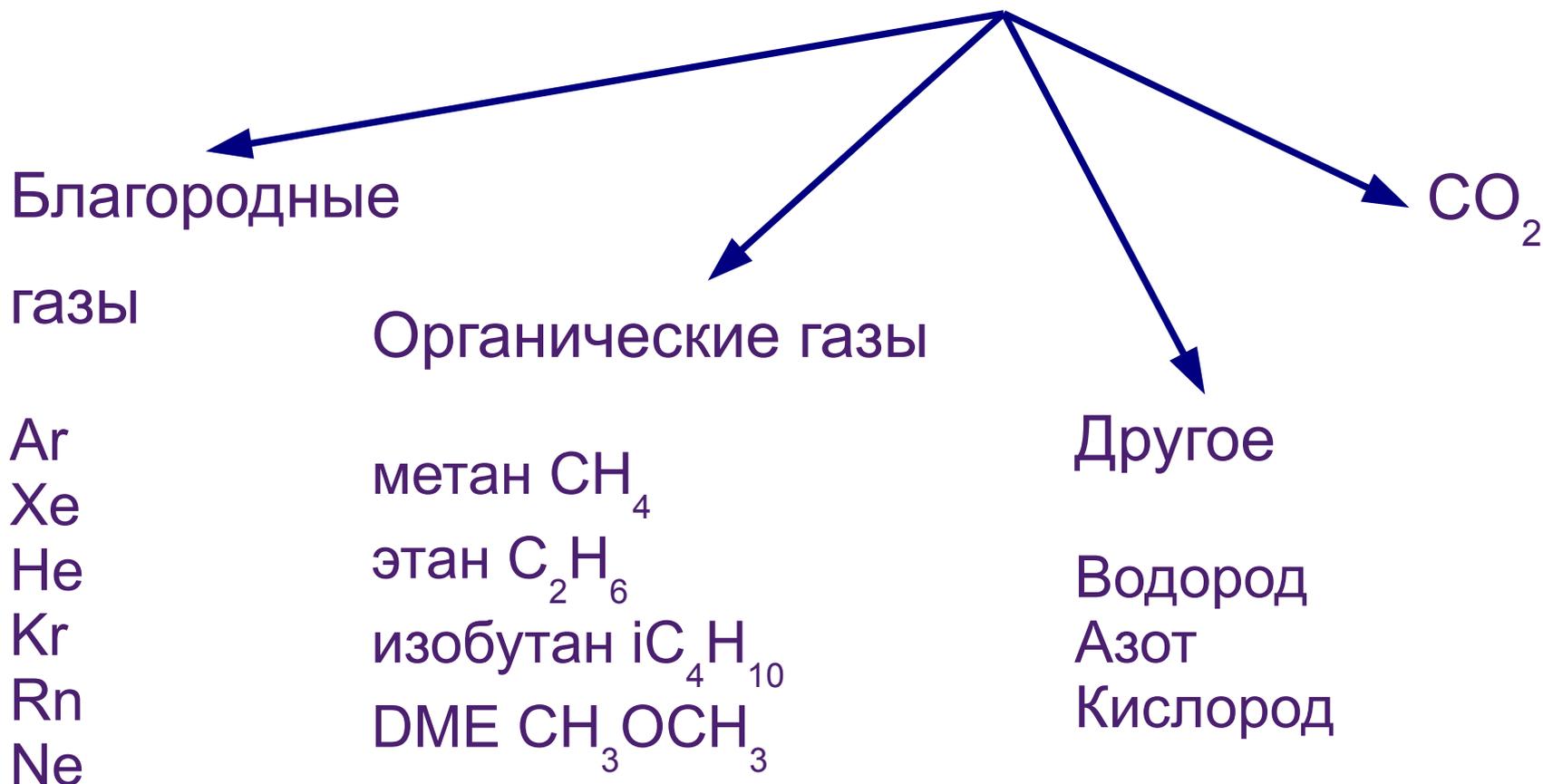
1. Болдырев А.С., "Азимутальная асимметрия в событиях с рождением B^+ -мезона в протонных соударениях в рамках эксперимента ATLAS на Большом Адронном Коллайдере". Материалы докладов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов". Отв. ред. И.А. Алешковский, П.Н. Костылёв, А.И. Андреев. [Электронный ресурс] - М.: Издательство МГУ, 2009. [Адрес ресурса в сети <http://www.lomonosov-msu.ru/2009/>]
2. "Charged-particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s} = 900$ GeV measured with the ATLAS detector at the LHC". ATLAS Collaboration. Published in Phys. Lett. B 688, 1 (2010) 21-42
3. "Physics with B-mesons in ATLAS". Lidia Smirnova, Alexey Boldyrev. Nonlinear Phenomena in Complex Systems, vol. 13, no. 2 (2010), pp. 132-135
4. "Мониторинг детектора переходного излучения на установке ATLAS" в материалах Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2010» — М.: МАКС Пресс, 2010
5. "Процессы рождения и корреляции b-кварков при энергиях LHC". А.С. Болдырев, А.А. Мартынов, С.Ю. Сивоклоков, Л.Н. Смирнова, С.М. Турчихин. Ядерная физика. - 2011. - Т. 74, № 12. - С. 1712-1720
6. "Measurements and simulations of b and c-quark production at hadron colliders". A.S. Boldyrev, S.Yu. Lobanov, A.S. Maevskiy, L.N. Smirnova, S.M. Turchikhin. Nonlinear Dynamics and Applications. V.18, 2011, Minsk, Belarus, pp. 216-223
7. "Трековый детектор переходного излучения эксперимента ATLAS". А.С. Болдырев и др., Приборы и техника эксперимента. - № 3, Май-Июнь 2012, С. 27-39
8. "Поиск редкого распада $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ в эксперименте ATLAS". Тезисы докладов международной сессии-конференции секции Ядерной Физики ОФН РАН. Москва, 12-16 ноября 2012 г. С.М. Турчихин, А.С. Болдырев и др.
9. "Мюонный триггер эксперимента ATLAS для pp соударений при 7 ТэВ". Тезисы докладов международной сессии-конференции секции Ядерной Физики ОФН РАН. Москва, 12-16 ноября 2012 г. Л.Н. Смирнова, С.Ю. Сивоклоков, С.М. Турчихин, А.С. Болдырев.
10. "Limit on $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ based on 2.4 fb^{-1} of integrated luminosity". Alexopoulos, T; Beale, S; Boldyrev. A and others. ATLAS Internal Note, ATL-COM-PHYS-2011-1619, CERN 2011.

Конфигурация TRT в р-Pb сеансах набора данных в 2013 г.



+X INTO PAGE

Кандидаты для компонентов газовой смеси

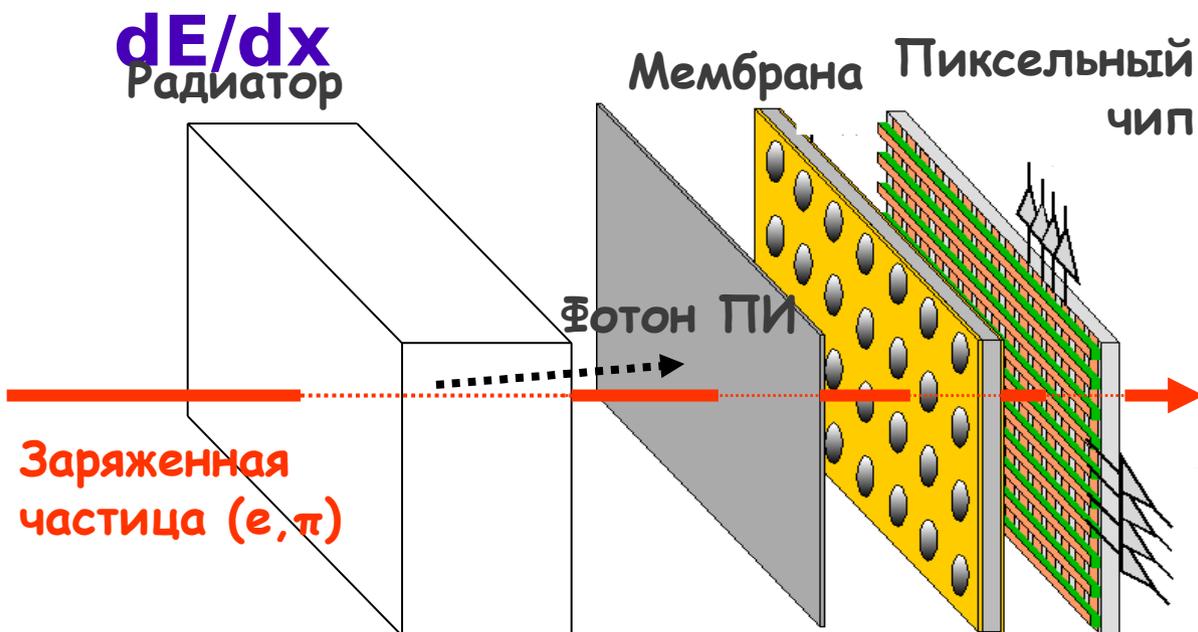


А также фреоны (CF_4), Азотные соединения (NH_3 , NO , N_2O),
Силан (SiH_4)

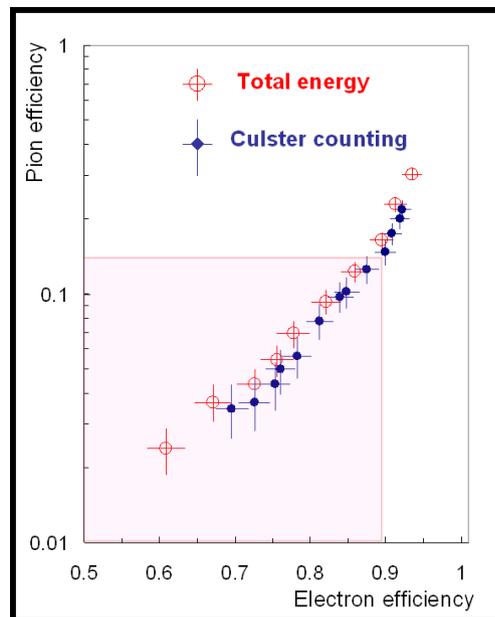
Ar- или **Xe-** (или вместе) основа (60-70%) и примесь из:

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

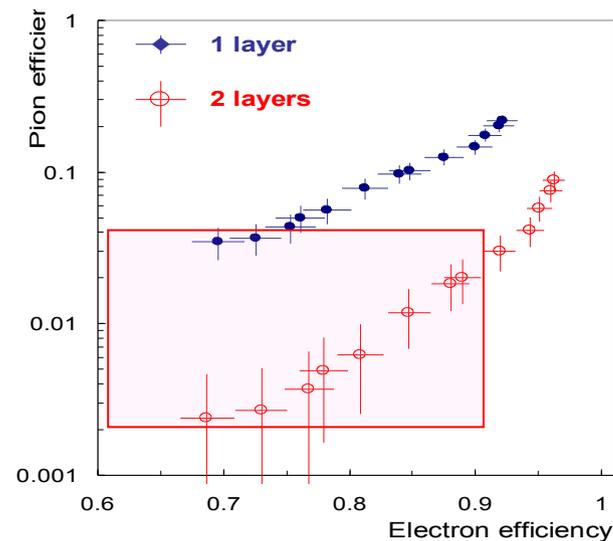
Распознавание типа частиц с помощью ПИ и dE/dx



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



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



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 :

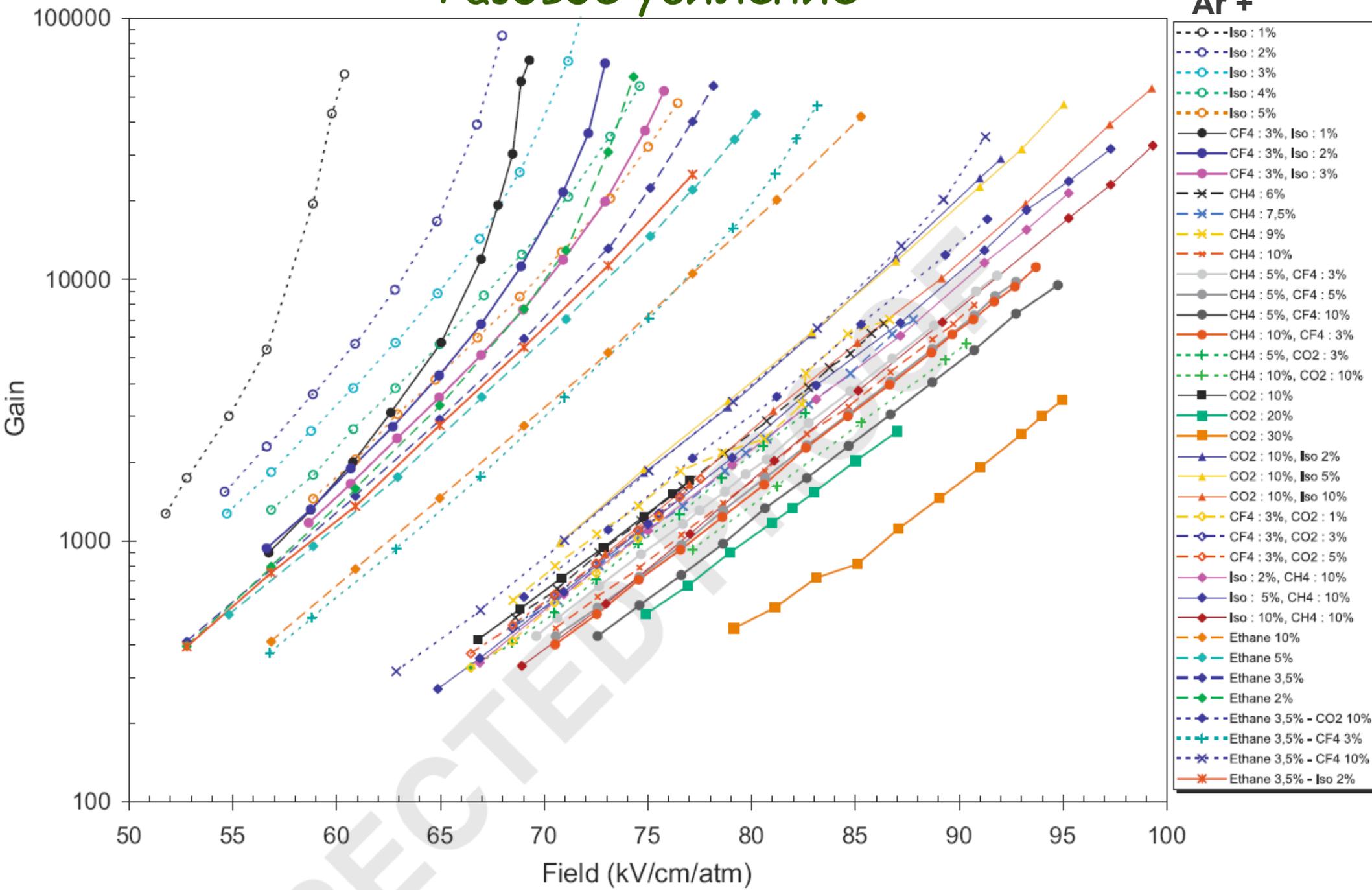
Без информации о первых электронах:

- *Время прибытия электронов*
- *Счёт электронов*

С информацией о первых электронах:

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

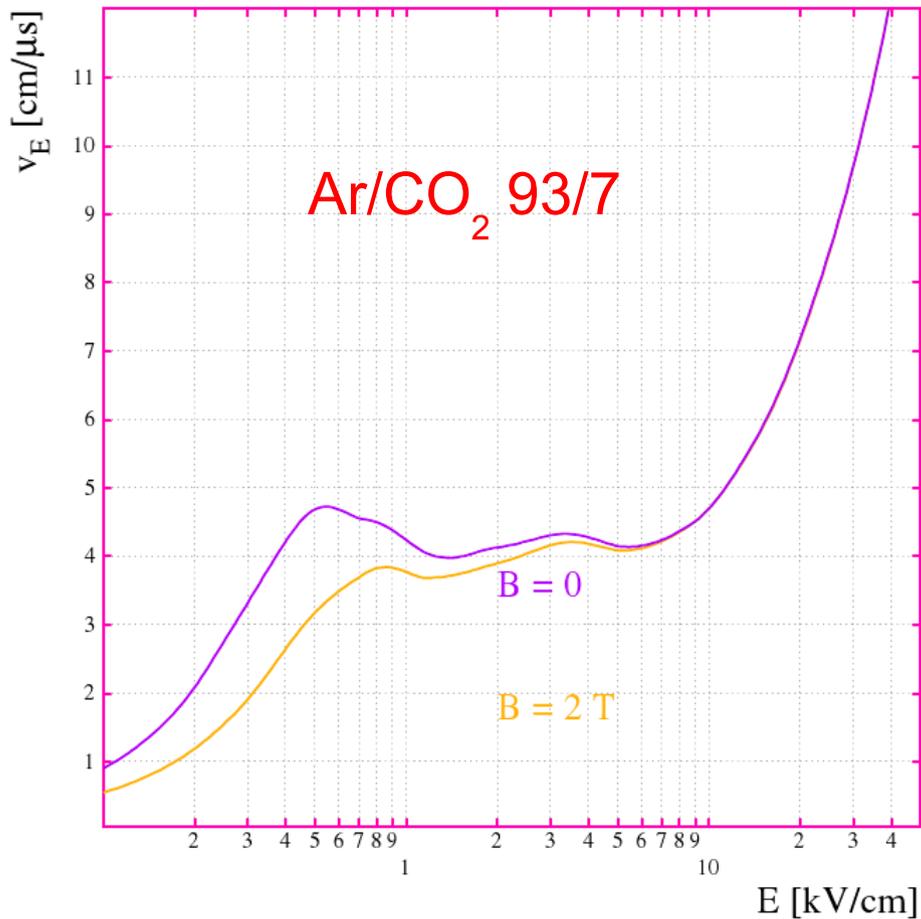
Газовое усиление



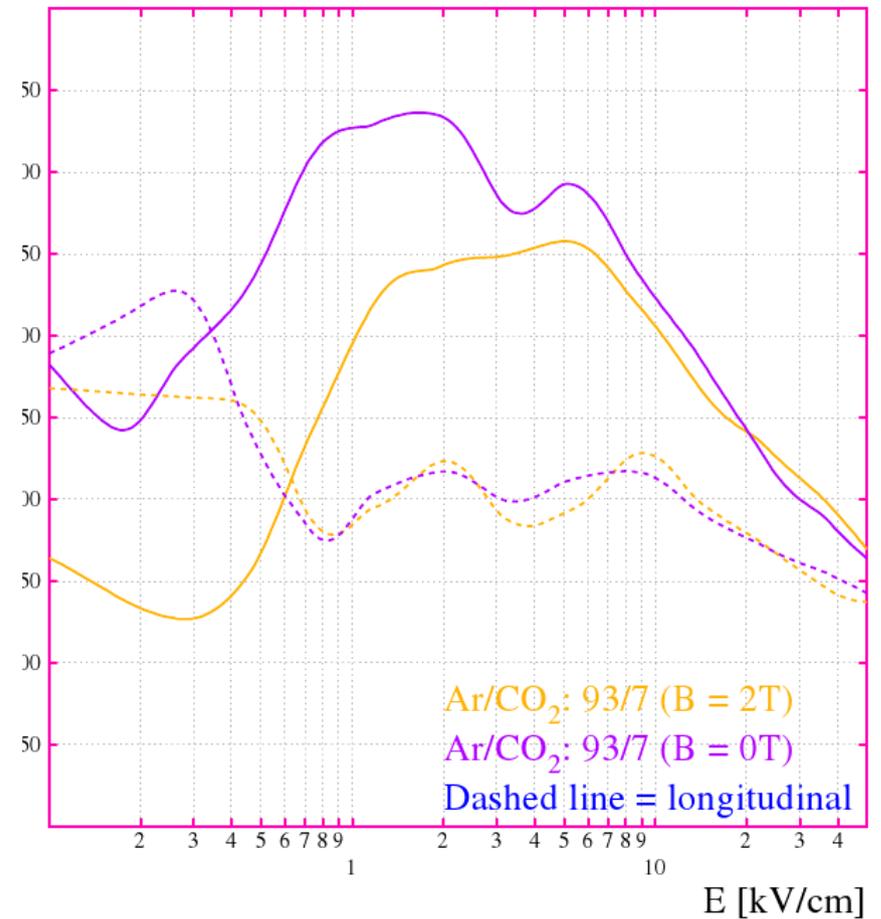
Источник: D. Attié (doi:10.1016/j.nima.2008.08.114)

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Drift velocity parallel with E



Diffusion coefficients vs E



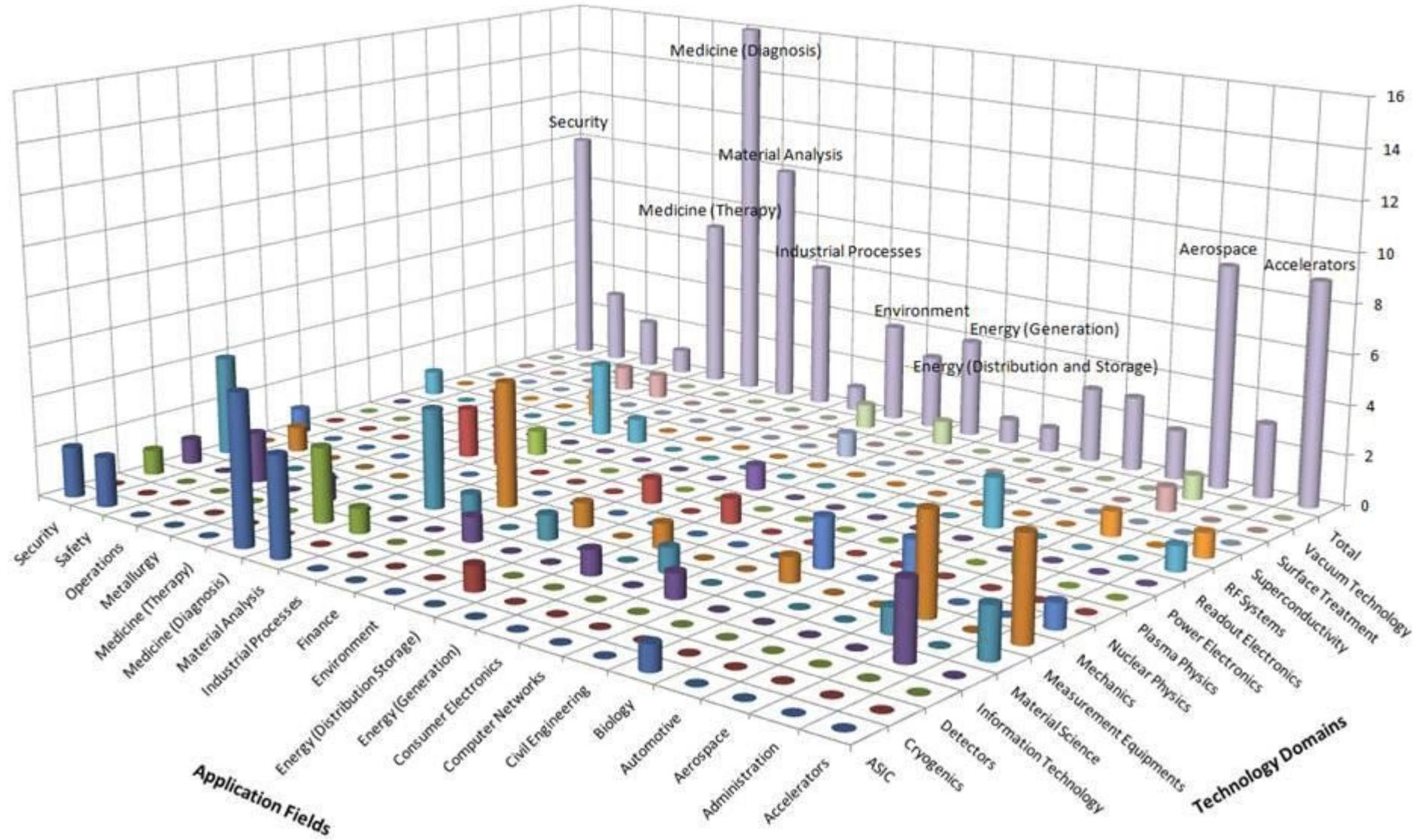
Смеси-кандидаты

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

Области применения технологий, разработанных в ЦЕРН



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