



# Прецизионные измерения характеристик $B_{(s)}$ -мезонов и их распадов в эксперименте ATLAS

Доклад по материалам кандидатской диссертации  
аспиранта кафедры общей ядерной физики  
физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

Маевского Артёма Сергеевича

Научный руководитель:  
д. ф.-м. н., проф.  
Смирнова Лидия Николаевна

4 октября 2016



- ▶ Цели работы
- ▶ Введение
  - Детектор ATLAS Большого Адронного Коллайдера
  - Физика  $B$ -адронов в эксперименте ATLAS
- ▶ Трековый детектор переходного излучения TRT ATLAS
  - Моделирование условий регистрации переходного излучения
  - Эксперименты на тестовых пучках SPS
- ▶ Прецизионное измерение массы  $B^+$ -мезона по данным сеанса Run-2
- ▶ Измерение параметров CP-нарушения по характеристикам распада  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$
- ▶ Заключение
  - Положения, выносимые на защиту
  - Личный вклад диссертанта
  - Публикации



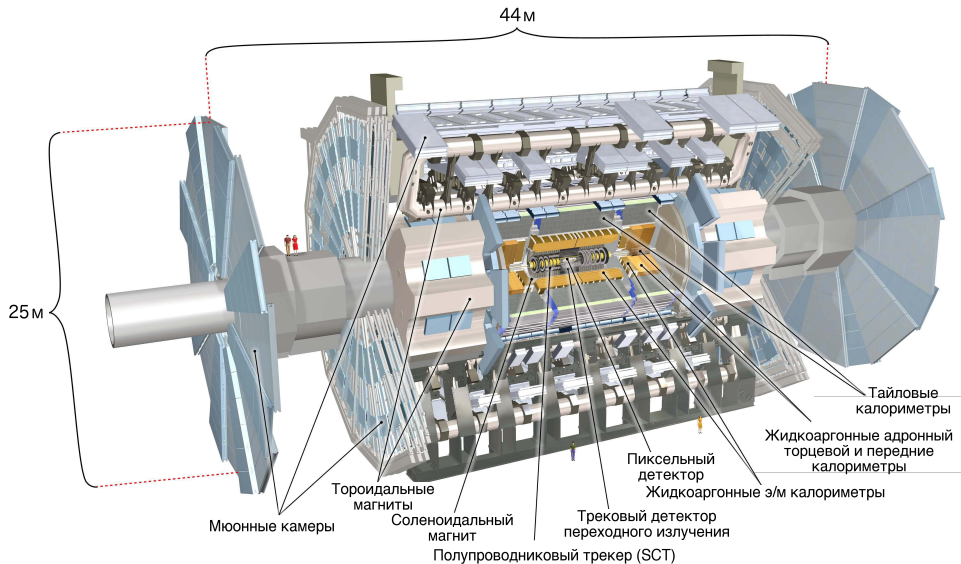
- ▶ Проверка качества работы внутреннего детектора в сеансе «Run-2» с помощью прецизионного измерения массы  $B^\pm$ -мезонов по распадам  $B^\pm \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)K^\pm$  в зависимости от их быстроты
- ▶ Усовершенствование математической модели детектора TRT и модификация стандартных пакетов программного обеспечения (ПО) эксперимента ATLAS (реализация возможности проведения моделирования детектора при заполнении отдельных модулей TRT новыми газовыми смесями)
- ▶ Измерение характеристик распадов  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  и определение на их основе значений слабой фазы  $\phi_s$ , характеризующей величину CP-нарушения в этих распадах, и разницы ширин легкого и тяжелого массовых состояний  $B_s^0$ -мезона  $\Delta\Gamma_s$  на полном наборе данных сеанса «Run-1» при энергиях  $pp$ -соударений в системе центра масс 7 и 8 ТэВ



# Введение



# Детектор ATLAS





## Этапы работы эксперимента:

- ▶ Первый сеанс набора данных («Run-1», до 2013 г.):
  - Энергия: 7 и 8 ТэВ
  - Максимальная светимость:  $7.7 \times 10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$
- ▶ Первый период длительной остановки («Long Shutdown 1», LS1, 2013–2015 гг.)
- ▶ Второй сеанс набора данных («Run-2», с 2015 г.)
  - Энергия: 13 ТэВ
  - Максимальная светимость: более  $10^{34} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$



# Модификации ATLAS во время LS1

## Основные модификации:

- ▶ Увеличение энергии (до 13 ТэВ) и светимости (до более чем  $10^{34} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ )
- ▶ Внедрение дополнительного слоя прецизионных пиксельных детекторов (3.3 см от оси пучка)
- ▶ Модификации триггера
  - Внедрение в триггер первого уровня (аппаратный триггер) топологического модуля (вычисление на этом уровне углов раствора, инвариантных масс, скалярных и векторных сумм поперечных импульсов и т. п. на частоте 40 МГц)
  - Объединение процессорных ферм триггеров второго и третьего уровней (динамическое распределение ресурсов между этими уровнями  $\Rightarrow$  оптимизация процесса отбора событий)
- ▶ Изменение активной газовой смеси в некоторых модулях детектора TRT

## Связанные методические задачи диссертационной работы:

- ▶ Проверка качества работы внутреннего детектора в сеансе «Run-2» с помощью прецизионного измерения массы  $B^\pm$ -мезонов по распадам  $B^\pm \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)K^\pm$  в зависимости от их быстроты
- ▶ Усовершенствование математической модели детектора TRT и модификация стандартных пакетов программного обеспечения (ПО) эксперимента ATLAS (реализация возможности проведения моделирования детектора при заполнении отдельных модулей TRT новыми газовыми смесями)



## Основные направления:

- ▶ Проверка предсказаний КХД и непертурбативных моделей на ее основе
  - Измерение сечений рождения адронов и параметров их распадов
  - Спектроскопия связанных состояний
- ▶ Изучение слабых распадов  $B$ -адронов
  - Уточнение параметров Стандартной Модели (СМ)
  - Косвенные поиски проявлений новой физики по отклонениям наблюдений от предсказаний СМ:
    - ▶ Измерение характеристик редких процессов
    - ▶ Измерение параметров  $CP$ -нарушения

## Основная цель диссертационной работы:

- ▶ Измерение характеристик распадов  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  и определение на их основе значений слабой фазы  $\phi_s$ , характеризующей величину  $CP$ -нарушения в этих распадах, и разницы ширин легкого и тяжелого массовых состояний  $B_s^0$ -мезона  $\Delta\Gamma_s$  на полном наборе данных сеанса «Run-1» при энергиях  $pp$ -соударений в системе центра масс 7 и 8 ТэВ

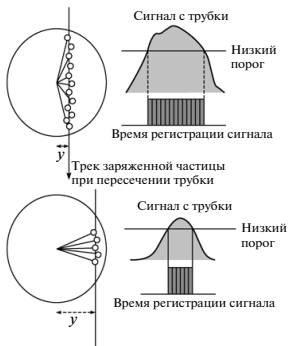




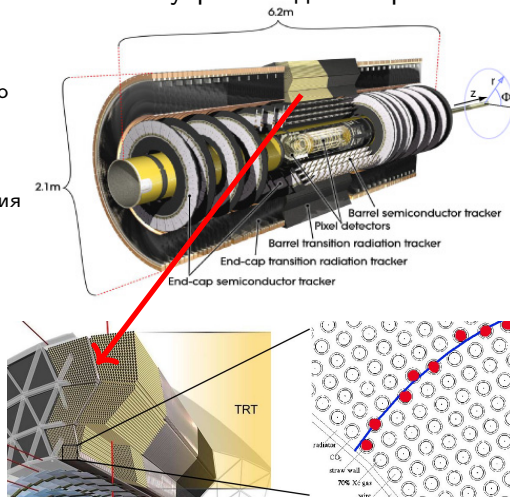
# Трековый детектор переходного излучения TRT ATLAS



- ▶ Набор тонких (4мм) газоразрядных трубок
- ▶ Измерение координат треков по времени дрейфа (разрешение одной трубки — 130 мкм)
- ▶ Идентификация электронов с помощью переходного излучения

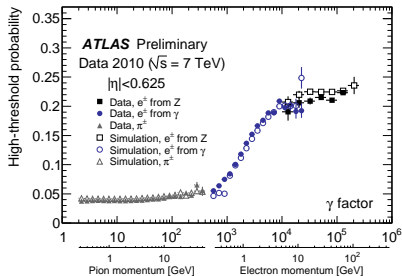
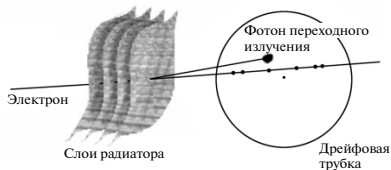


## Внутренний детектор





# Детектор TRT. Идентификация электронов



- ▶ Пространство между трубками заполнено радиатором — веществом с переменным показателем диэлектрической проницаемости
- ▶ Пролетая через радиатор, релятивистские заряженные частицы испускают рентгеновские фотоны переходного излучения (Transition Radiation, TR)
  - Интенсивность излучения пропорциональна лоренц-фактору  $\gamma$
  - Угол испускания фотонов относительно направления движения пропорционален  $1/\gamma$
- ▶ Электроны из-за малой массы испускают больше фотонов TR, чем другие заряженные частицы
  - ⇒ Возможна их идентификация путем регистрации TR
- ▶ Два порога дискриминатора сигнала трубок TRT:
  - низкий (Low Threshold, LT) — порядка  $\sim 300$  эВ — измерение координат треков;
  - высокий (High Threshold, HT) — порядка  $\sim 5 - 6$  кэВ — регистрация TR.



- ▶ Для идентификации электронов важна эффективная регистрация переходного излучения (TR)
- ▶ Это определяет выбор активной газовой смеси:  $\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$  — смесь на основе ксенона
- ▶ К концу сеанса «Run-1» образовались значительные утечки активной газовой смеси TRT
- ▶ Невозможность устранения утечек  $\Rightarrow$  замена в некоторых модулях дорогой смеси  $\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$  на более дешевую  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{O}_2$  — смесь на основе аргона
  - Выбор модулей определялся минимизацией ухудшения эффективности идентификации электронов в ATLAS
- ▶ Также изучалась возможность использовать смесь на основе криптона

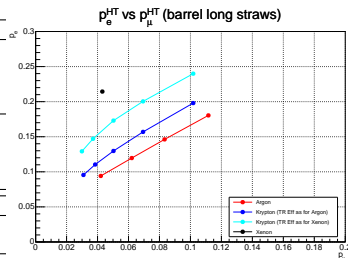


Методическая задача:

- Усовершенствование математической модели детектора TRT и модификация стандартных пакетов программного обеспечения (ПО) эксперимента ATLAS (реализация возможности проведения моделирования детектора при заполнении отдельных модулей TRT новыми газовыми смесями)

была успешно решена.

Рабочее напряжение, В	Значение высокого порога в модуле, эВ		
	Центральная часть, короткие трубки (слои 0 – 8)	Центральная часть, длинные трубки (слои 9 – 18)	Торцевая часть
1500	1315	1171	1203
1490	1560	1356	1397
1470	1882	1590	1649
1449	2415	2028	2118
Модуль	Эффективность регистрации переходного излучения		
Центральный	55%		
Торцевой	80%		





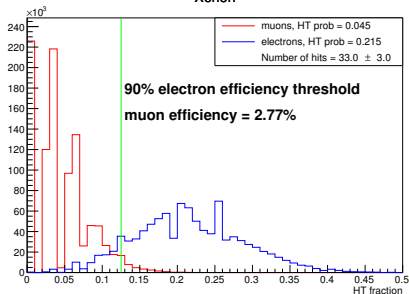
## Оценка эффективности идентификации электронов

- ▶ Методом «Toy Monte-Carlo» (моделируются наперед заданные распределения)
- ▶ TRT полностью заполнен одной газовой смесью (на основе Xe, Kr или Ar)
  - Для Kr в связи с отсутствием калибровки моделируются два случая: оптимистичный и пессимистичный
- ▶ Предполагается нормальное распределение числа сигналов TRT на треке (числа пересеченных треком дрейфовых трубок)
- ▶ Одинаковая вероятность преодоления высокого порога во всех трубках для одного и того же газа
- ▶ Изучается распределение доли сигналов с высоким порогом на треке

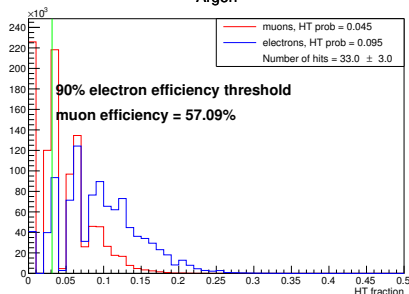


# Детектор TRT. Моделирование регистрации TR

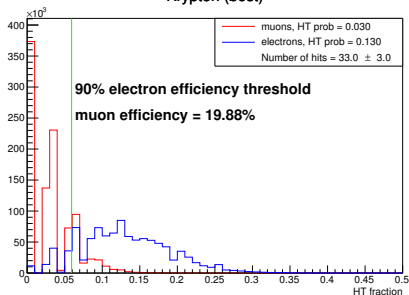
Xenon



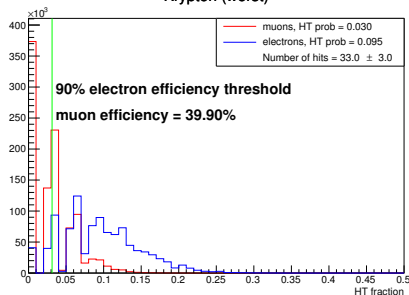
Argon



Krypton (best)



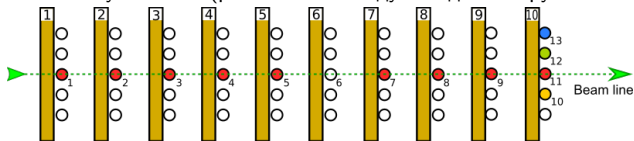
Krypton (worst)



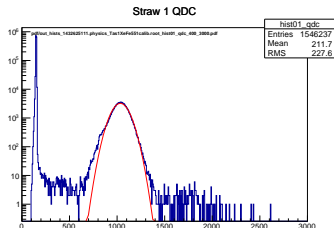
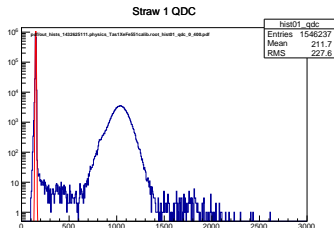


# Эксперименты на тестовых пучках SPS

- ▶ Исследование свойств регистрации переходного излучения при использовании различных газовых смесей на тестовых пучках электронов и пионов энергии 20 ГэВ (май 2015 г.)
- ▶ Экспериментальная установка (расстояние между соседними трубками  $\sim 20$  мм):



- ▶ Калибровка установки — сопоставление номера канала считывающей электроники соответствующей ему поглощенной газом энергии
- ▶ Облучение прототипа фотонами источника  $^{55}\text{Fe}$  с известной энергией ( $\sim 5.95$  кэВ)
- ▶ Калибровка осуществлена путем фитирования распределений сигнала  $^{55}\text{Fe}$  (всего 15 калибровок для каждой из 11 трубок):







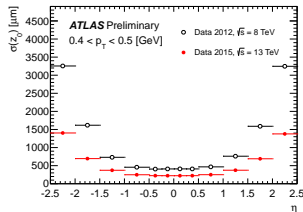
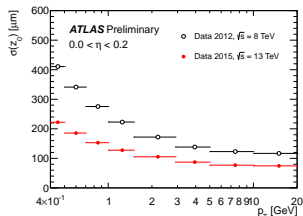
# Прецизионное измерение массы $B^+$ -мезона<sup>1</sup> по данным сеанса Run-2

---

<sup>1</sup>В данной задаче под  $B^+$  подразумеваются оба зарядово сопряженных состояния  $B^+$  и  $B^-$

## Мотивация

- ▶ Получение одного из первых физических результатов на новых данных, при новых условиях (проверка качества работы детектора в сеансе «Run-2»):
  - Новая энергия 13 TeV
  - Интервал между  $pp$ -соударениями 25 нс (в конце «Run-1» — 50 нс)
  - Новый слой пиксельного детектора во Внутреннем Детекторе ATLAS
- ▶ Подготовка к другим измерениям В-физики:
  - время жизни  $B^\pm$ ,
  - сечение рождения  $B^\pm$ ,
  - CP-нарушение в распаде  $B_s \rightarrow J/\psi\phi$
  - и др. . .



## Отбор кандидатов

- ▶ Данные  $pp$ -соударений 2015 г., соответствующие интегральной светимости  $3.2 \text{ fb}^{-1}$
- ▶ Отбор производился по критериям качества реконструкции треков, их кинематическим характеристикам и качеству  $\chi^2/N_{\text{d.o.f.}}$  вершинных фитов ( $\mu^+\mu^-$  и  $\mu^+\mu^-K^\pm$ )

## Массовый фит

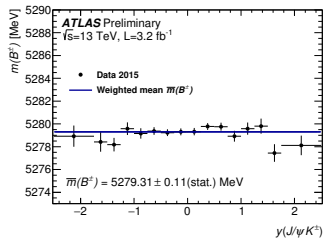
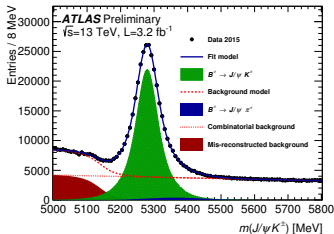
$$\ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^N \{ \ln(f_s \cdot \mathcal{F}_s(m_i)) + f_s \cdot f_{B_x} \cdot \mathcal{F}_{B_x}(m_i) + f_s \cdot f_{B_\pi} \cdot \mathcal{F}_{B_\pi}(m_i) + (1 - f_s \cdot (1 + f_{B_x} + f_{B_\pi})) \mathcal{F}_{\text{bkg}}(m_i) \}$$

- ▶ Сигнал - двойной Гаусс с общим средним
- ▶ Комбинаторный фон - линейная функция
- ▶ Частично реконструированные распады  $B \rightarrow J/\psi X$  - гиперболический тангенс
- ▶ Резонансный фон от  $B^\pm \rightarrow J/\psi \pi^\pm$  - Гаусс (с фиксированными параметрами, определенными моделированием данного канала методом Монте-Карло)

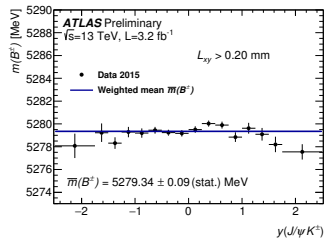
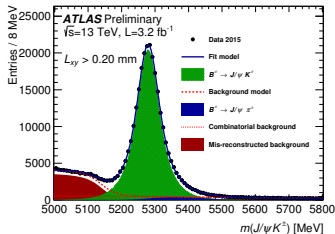


# Измерение массы $B^+$ -мезона

Обычный отбор событий



Доп. требование на поперечную длину пробега



- Результат фита стабилен с великолепной точностью (отн. отклонения  $< 0.001$ )



## Сравнение с другими экспериментами

- ▶ Сравнение с мировым средним (PDG)
- ▶ Сравнение с результатом LHCb
- ▶ Самосогласованность результата (при наличии и отсутствии дополнительного требования на поперечную длину пробега)

Фит	Масса $B^+$ -мезона, МэВ	Погрешность, МэВ
Стандартный	5279.31	$\pm 0.11$
$L_{xy} > 0.2$ мм	5279.34	$\pm 0.09$
Мировое среднее	5279.29	$\pm 0.15$
LHCb	5279.38	$\pm 0.11 \pm 0.33$

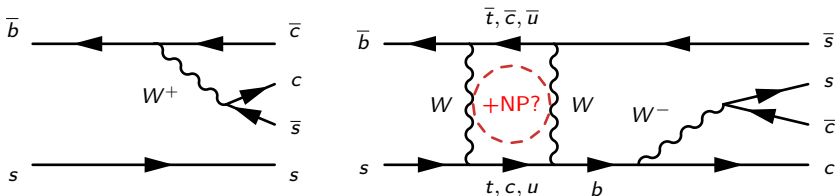
- ▶ Оцененная систематическая неопределенность (неполная) — 0.25 МэВ
- ▶ В оценку систематической погрешности не входит погрешность калибровки измерения координат и импульсов Внутреннего Детектора



# Измерение параметров CP-нарушения по характеристикам распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$



$$B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$$



- ▶ Нейтральный  $B_s^0$ -мезон смешивается со своей античастицей посредством петлевых диаграмм с двумя  $W$ -бозонами (аналогично нейтральным каонам)
- ▶ CP-нарушение происходит за счет интерференции между прямым распадом  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  и распадом посредством осцилляции:

$$\Gamma[B_s^0 (\rightsquigarrow \bar{B}_s^0) \rightarrow J/\psi\phi](t) \neq \Gamma[\bar{B}_s^0 (\rightsquigarrow B_s^0) \rightarrow J/\psi\phi](t)$$

- ▶ Временная эволюция системы  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$  определяется следующими параметрами:
  - $\Delta m_s = m_s^H - m_s^L$
  - $\Delta \Gamma_s = \Gamma_s^L - \Gamma_s^H$
  - $\phi_s$  — разница слабых фаз между амплитудами смешивания  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$  и распада  $b$ -кварка  $b \rightarrow c\bar{c}s$  — характеризует величину CP-нарушения
- ▶ Вклады гипотетических частиц новой физики могут повлиять на значение  $\phi_s$
- ▶ Значительного влияния новой физики на  $\Delta \Gamma_s$  не ожидается



$$B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$$

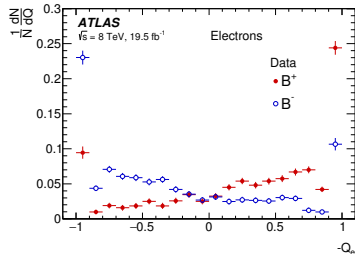
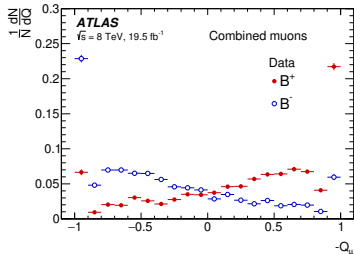
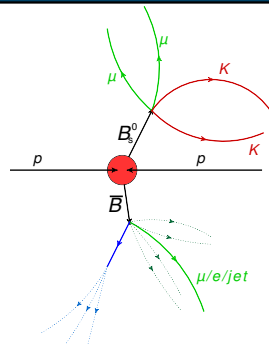
- ▶ Измерение  $\phi_s$  и  $\Delta\Gamma_s$  осуществлено по данным  $pp$ -соударений при энергии 8 ТэВ, соответствующим интегральной светимости  $14.3 \text{ fb}^{-1}$
- ▶ Результат статистически скомбинирован с аналогичным измерением на данных 7 ТэВ ( $4.9 \text{ fb}^{-1}$  интегральной светимости)
- ▶ Распад псевдоскалярного  $B_s^0$ -мезона на состояние с двумя векторными мезонами  $J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi(K^+K^-)$ 
  - ⇒ Три конечных состояния с орбитальным моментом  $L = 0, 2$  (СР-четные) и  $L = 1$  (СР-нечетные)
    - + Одно дополнительное СР-нечетное состояние с  $S$ -волновой конфигурацией  $K^+K^-$
  - ⇒ 4 амплитуды распада ( $A_{\parallel}$ ,  $A_{\perp}$ ,  $A_0$  и  $A_S$ ) и соответствующие интерференционные члены
- ▶ Используется временной анализ для извлечения параметров  $\phi_s$  и  $\Delta\Gamma_s$
- ▶ Угловой анализ для разделения компонент различных амплитуд
- ▶ Метод мечения (таггирования) аромата  $B_s^0$ -мезона (flavour tagging)





# $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ : таггирование аромата

- ▶  $b$ -кварки рождаются парами. Аромат  $B_s^0$ -мезона коррелирует с зарядом  $e/\mu$ /струи от распада парного ему  $B$ -адрона
- ▶ Калибровка метода с помощью распадов  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ , где аромат известен





$$\ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^N \left\{ w_i \cdot \ln \left[ f_s \cdot \mathcal{F}_s(m_i, t_i, \sigma_i, \Omega_i, P(B|Q), p_{Ti}) + f_s \cdot f_{B^0} \cdot \mathcal{F}_{B^0}(m_i, t_i, \sigma_i, \Omega_i, P(B|Q), p_{Ti}) + f_s \cdot f_{\Lambda_b^0} \cdot \mathcal{F}_{\Lambda_b^0}(m_i, t_i, \sigma_i, \Omega_i, P(B|Q), p_{Ti}) + (1 - f_s \cdot (1 + f_{B^0} + f_{\Lambda_b^0})) \cdot \mathcal{F}_{bkg}(m_i, t_i, \sigma_i, \Omega_i, P(B|Q), p_{Ti}) \right] \right\}$$

Веса для учета триггерной эффективности по времени жизни

Сигнальное распределение

Распределение фона от  $B_d$

Распределение фона от  $\Lambda_b^0$

Распределение остальных фонов

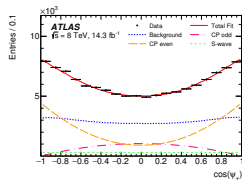
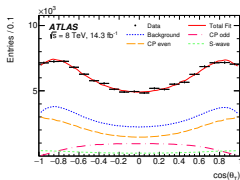
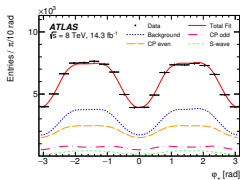
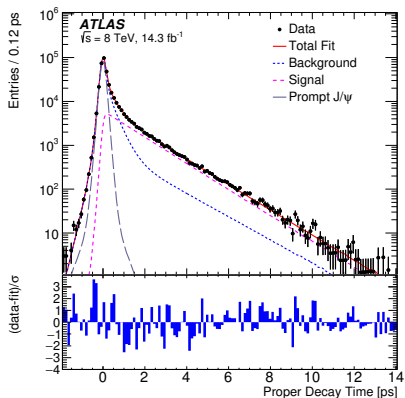
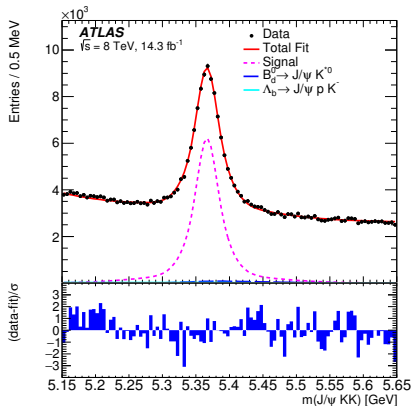
► Резонансные фоновые каналы:

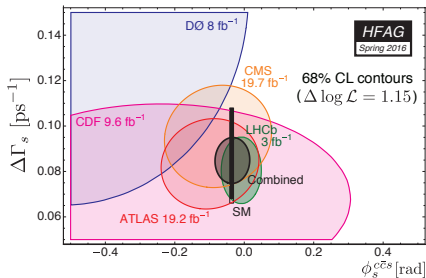
- $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}(K\pi) - (3.3 \pm 0.5)\%$  по отношению к сигналу
- $B_d^0 \rightarrow J/\psi K\pi - (0.7 \pm 0.5)\%$  по отношению к сигналу (не участвует в фите, учитывается в виде систематической неопределенности)
- $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi pK - (1.8 \pm 0.5)\%$  по отношению к сигналу

- Доли определены с помощью Монте-Карло моделирования эффективностей реконструкции данных каналов, а также с использованием измеренных относительных парциальных ширин соответствующих распадов и вероятностей фрагментации  $b$ -кварка в соответствующие адроны
- Для моделирования  $\Lambda_b^0$  также учтен измеренный коллаборацией LHCb нетривиальный спектр инвариантной массы системы  $pK$



# Результат





$$\phi_s = -0.090 \pm 0.078 \text{ (stat.)} \pm 0.041 \text{ (syst.) rad}$$

$$\Delta\Gamma_s = 0.085 \pm 0.011 \text{ (stat.)} \pm 0.007 \text{ (syst.) ps}^{-1}$$

$$\Gamma_s = 0.675 \pm 0.003 \text{ (stat.)} \pm 0.003 \text{ (syst.) ps}^{-1}$$

$$|A_{\parallel}(0)|^2 = 0.227 \pm 0.004 \text{ (stat.)} \pm 0.006 \text{ (syst.)}$$

$$|A_0(0)|^2 = 0.522 \pm 0.003 \text{ (stat.)} \pm 0.007 \text{ (syst.)}$$

$$|A_S(0)|^2 = 0.072 \pm 0.007 \text{ (stat.)} \pm 0.018 \text{ (syst.)}$$

$$\delta_{\perp} = 4.15 \pm 0.32 \text{ (stat.)} \pm 0.16 \text{ (syst.) rad}$$

$$\delta_{\parallel} = 3.15 \pm 0.10 \text{ (stat.)} \pm 0.05 \text{ (syst.) rad}$$

$$\delta_{\perp} - \delta_S = -0.08 \pm 0.03 \text{ (stat.)} \pm 0.01 \text{ (syst.) rad.}$$

- ▶ Результат ATLAS согласуется с результатами других экспериментов и с предсказанием СМ
- ▶ Мировое среднее согласуется с СМ



- ▶ Осуществлена модификация стандартных пакетов ПО эксперимента ATLAS с целью моделирования новых активных газовых смесей (на основе аргона и криптона) в TRT. Определены калибровочные константы для регистрации переходного излучения смесью на основе аргона. Произведено моделирование регистрации переходного излучения при использовании новых смесей, осуществлена количественная оценка ухудшения эффективности идентификации электронов.
- ▶ Выполнено прецизионное измерение массы  $B^+$ -мезона по данным сеанса «Run-2». Результаты данного измерения в различных областях детектора стабильны и не отклоняются от среднего более чем на 0.1%. Результаты согласуются с измерением эксперимента LHCb и с мировым средним.
- ▶ Измерены значения параметров CP-нарушения в распадах  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ , учтены фоновые процессы  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ ,  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^+\pi^-$  и  $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p^+ K^-$ . Результат измерения согласуется с другими экспериментами и с предсказанием СМ. Мировое среднее измерений этих параметров также согласуется с СМ.



## Автор защищает:

1. Моделирование условий регистрации переходного излучения при использовании смесей на основе аргона и криптона в подсистеме TRT ATLAS.
2. Результаты определения калибровочных констант для регистрации переходного излучения при использовании газовой смеси на основе аргона в TRT, используемых в стандартных пакетах ПО эксперимента ATLAS при полном математическом моделировании детектора методом Монте-Карло.
3. Прецизионное измерение массы  $B^+$  мезона по первым данным  $p\bar{p}$ -соударений в сеансе Run-2 при энергии 13 ТэВ, демонстрирующие стабильность работы внутреннего детектора ATLAS после проведенной модернизации.
4. Методику учета вкладов резонансного фона в анализе распада  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ .
5. Результаты измерения значений параметров  $\phi_s$  и  $\Delta\Gamma_s$  в канале  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  по данным сеанса Run-1.

Диссертант принимает активное участие в работе группы TRT эксперимента ATLAS с 2013 г. Им осуществлена модификация стандартных пакетов ПО эксперимента ATLAS для моделирования использования газовых смесей на основе аргона и криптона в различных модулях TRT. В ходе данной работы диссертантом была обнаружена и решена при его участии проблема, связанная с двойным учетом вклада от дельта-электронов при моделировании сигналов TRT.

Диссертант произвел определение калибровочных констант, используемых для описания регистрации переходного излучения в TRT с помощью активной газовой смеси на основе аргона, по данным соударений протонов с ионами свинца в начале 2013 г. Он также участвовал в 2015 и 2016 гг. в экспериментах на тестовых пучках SPS, посвященных изучению свойств переходного излучения и его регистрации в дрейфовых трубках при использовании различных радиаторов и газовых смесей. Диссертант был задействован в предварительной подготовке к этим экспериментам и в сменных дежурствах. Им также была осуществлена калибровка результатов эксперимента 2015 г.

С 2014 г. диссертант участвует в работе группы  $B$ -физики. Он принимал участие в измерении параметров CP-нарушения по угловым и временным характеристикам распадов  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  по полному набору данных сеанса Run-1 и в реконструкции массы  $B^+$ -мезона по данным сеанса Run-2. Диссертантом проведена оценка числа событий от фоновых процессов  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$  и  $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-$  в анализе распадов  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ . Для этого же анализа им были осуществлены моделирование, оценка вклада и определение систематических неопределенностей от распадов  $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p^+ K^-$ . Участие диссертанта в реконструкции массы  $B^+$ -мезона по распадам  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  заключалось в моделировании, фитировании и оценке систематических неопределенностей от фонового процесса  $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ .



## Публикации, удовлетворяющие требованиям ВАК:

1. Aad G., ..., Maevskiy A. et al (ATLAS Collaboration). Measurement of the CP-violating phase  $\phi_s$  and the  $B_s^0$  meson decay width difference with  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  decays in ATLAS // JHEP. — 2016. — Vol. 08. — P. 147. — DOI:10.1007/JHEP08(2016)147. arXiv:1601.03297 [hep-ex].
2. Болдырев А., Маевский А. Моделирование условий регистрации переходного излучения при использовании Ar и Kr смесей в TRT ATLAS // Ядерная физика и инжиниринг. — 2014. — Т. 5, № 9-10. — С. 857–860. — DOI:10.1134/S2079562914080065.

## Прочие публикации:

3. ATLAS Collaboration.  $B^\pm$  mass reconstruction in  $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$  decay at ATLAS at 13 TeV pp collisions at the LHC // ATLAS-CONF-2015-064. — 2015. — Dec. — URL: <https://cds.cern.ch/record/2114830>.
4. Маевский А. С. Калибровка порогов регистрации переходного излучения в TRT ATLAS для аргоновой смеси // Труды XV межвузовской научной школы молодых специалистов Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии медицине. — 25–26 ноября 2014. — С. 28-32.
5. Lobanov S., Maevskiy A., Smirnova L.  $K/\pi$  ratio and strangeness suppression in pp collisions at the LHC // PoS. — 2011. — Vol. IHEP-LHC-2011. — P. 008.
6. Boldyrev A. S., Lobanov S. Y., Maevsky A. S. et al. Measurements and simulations of  $b$  and  $c$ -quark production at hadron colliders // Proceedings of the Eighteenth Annual Seminar NPC'S'2011. — Minsk, Belarus, 2011. — Vol. 18. — P. 216-222.





## Работы, направленные в редакции журналов:

1. Maevskiy A. Recent results on B-Physics and Quarkonia with the ATLAS detector // PoS. — 2016. — Vol. DIS2016. — P. 136. *(статья принята редакцией журнала)*
2. Maevskiy A. Flavour Tagged Time Dependent Angular Analysis of the  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  Decay on Run 1 Data in ATLAS // AIP. — LHCP2015. *(статья направлена в редакцию журнала)*
3. Маевский А. Измерение массы  $B^+$ -мезона в распаде  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  в эксперименте ATLAS в  $pp$ -соударениях при  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ на Большом Адронном Коллайдере // Ядерная физика. *(статья направлена в редакцию журнала)*
4. Маевский А. С., Смирнова Л. Н. Распады  $B$ -мезонов в состояния с чармонием в эксперименте ATLAS // Физика элементарных частиц и атомного ядра *(статья направлена в редакцию журнала)*



Результаты неоднократно докладывались автором и обсуждались на научных конференциях «Ломоносовские чтения», на рабочих совещаниях групп TRT и *B*-физики эксперимента ATLAS и на совещаниях российских групп, являющихся участниками эксперимента. Автором были также сделаны доклады на следующих совещаниях, конференциях и школах:

1. TRT workshop (25–27 июня 2014 г., Краков, Польша);
2. Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (17–21 ноября 2014 г., МИФИ, Москва, Россия)
3. The Third Annual Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP2015, 31 августа–5 сентября 2015 г., Санкт-Петербург, Россия)
4. 19th International Moscow School of Physics and 44th ITEP Winter School of Physics (16–22 февраля 2016 г., Москва, Россия)
5. 24th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2016, 11–15 апреля 2016 г., DESY, Гамбург, Германия)
6. Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (12–15 апреля 2016 г., ОИЯИ, Дубна, Россия)
7. Hadron Structure and QCD: from Low to High Energies (HSQCD2016, 27 июня–1 июля 2016 г., ПИЯФ, Гатчина, Россия)



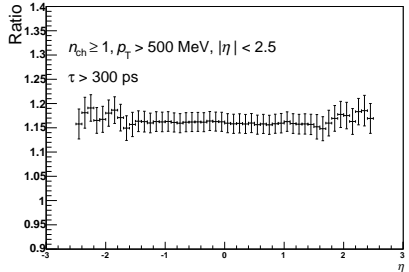
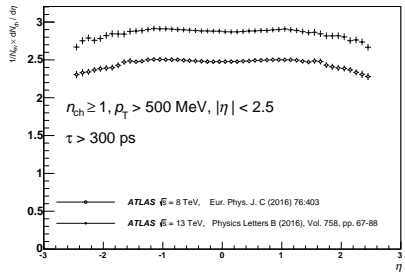
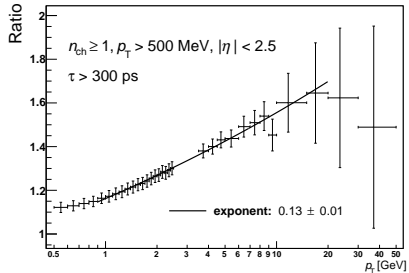
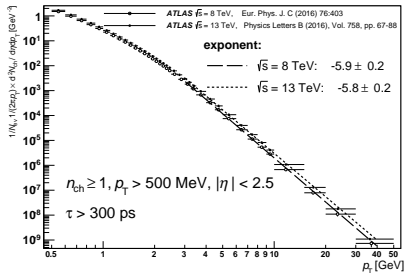
Спасибо за внимание!



## Дополнительные слайды

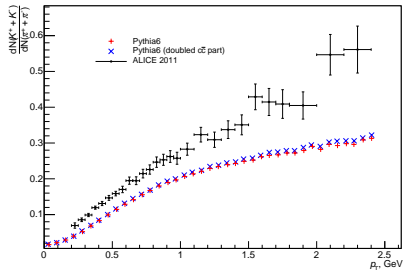
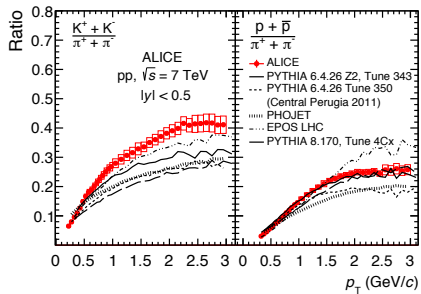


# Спектры заряженных частиц



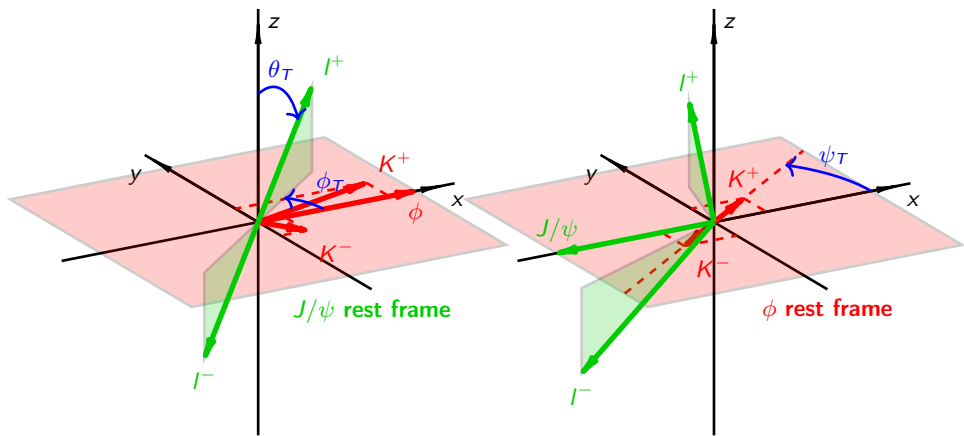


# Спектры заряженных $K$ и $\pi$ -мезонов





# $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ . Углы





$$B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$$

Вероятность распада в зависимости от углов и времени жизни:

$$\frac{d^4\Gamma}{dt d\Omega} = \sum_{k=1}^{10} \mathcal{O}^{(k)}(t) g^{(k)}(\theta_T, \psi_T, \phi_T)$$

$k$	$\mathcal{O}^{(k)}(t)$	$g^{(k)}(\theta_T, \psi_T, \phi_T)$
1	$\frac{1}{2} A_0(0) ^2 \left[ (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \pm 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$2 \cos^2 \psi_T (1 - \sin^2 \theta_T \cos^2 \phi_T)$
2	$\frac{1}{2} A_{  }(0) ^2 \left[ (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \pm 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$\sin^2 \psi_T (1 - \sin^2 \theta_T \sin^2 \phi_T)$
3	$\frac{1}{2} A_{\perp}(0) ^2 \left[ (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \mp 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$\sin^2 \psi_T \sin^2 \theta_T$
4	$\frac{1}{2} A_0(0)  A_{  }(0)  \cos \delta_{  } \left[ (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \pm 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \sin 2\psi_T \sin^2 \theta_T \sin 2\phi_T$
5	$ A_{  }(0)  A_{\perp}(0)  \left[ \frac{1}{2} (e^{-\Gamma_L^{(s)} t} - e^{-\Gamma_H^{(s)} t}) \cos(\delta_{\perp} - \delta_{  }) \sin \phi_s \pm e^{-\Gamma_s t} (\sin(\delta_{\perp} - \delta_{  }) \cos(\Delta m_s t) - \cos(\delta_{\perp} - \delta_{  }) \cos \phi_s \sin(\Delta m_s t)) \right]$	$-\sin^2 \psi_T \sin 2\theta_T \sin \phi_T$
6	$ A_0(0)  A_{\perp}(0)  \left[ \frac{1}{2} (e^{-\Gamma_L^{(s)} t} - e^{-\Gamma_H^{(s)} t}) \cos \delta_{\perp} \sin \phi_s \pm e^{-\Gamma_s t} (\sin \delta_{\perp} \cos(\Delta m_s t) - \cos \delta_{\perp} \cos \phi_s \sin(\Delta m_s t)) \right]$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \sin 2\psi_T \sin 2\theta_T \cos \phi_T$
7	$\frac{1}{2} A_S(0) ^2 \left[ (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \mp 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$\frac{2}{3} (1 - \sin^2 \theta_T \cos^2 \phi_T)$
8	$ A_S(0)  A_{  }(0)  \left[ \frac{1}{2} (e^{-\Gamma_L^{(s)} t} - e^{-\Gamma_H^{(s)} t}) \sin(\delta_{  } - \delta_S) \sin \phi_s \pm e^{-\Gamma_s t} (\cos(\delta_{  } - \delta_S) \cos(\Delta m_s t) - \sin(\delta_{  } - \delta_S) \cos \phi_s \sin(\Delta m_s t)) \right]$	$\frac{1}{3} \sqrt{6} \sin \psi_T \sin^2 \theta_T \sin 2\phi_T$
9	$\frac{1}{2} A_S(0)  A_{\perp}(0)  \sin(\delta_{\perp} - \delta_S) \left[ (1 - \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L^{(s)} t} + (1 + \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H^{(s)} t} \mp 2e^{-\Gamma_s t} \sin(\Delta m_s t) \sin \phi_s \right]$	$\frac{1}{3} \sqrt{6} \sin \psi_T \sin 2\theta_T \cos \phi_T$
10	$ A_0(0)  A_S(0)  \left[ \frac{1}{2} (e^{-\Gamma_H^{(s)} t} - e^{-\Gamma_L^{(s)} t}) \sin \delta_S \sin \phi_s \pm e^{-\Gamma_s t} (\cos \delta_S \cos(\Delta m_s t) + \sin \delta_S \cos \phi_s \sin(\Delta m_s t)) \right]$	$\frac{4}{3} \sqrt{3} \cos \psi_T (1 - \sin^2 \theta_T \cos^2 \phi_T)$





# $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ . Систематические погрешности

	$\phi_s$ [rad]	$\Delta\Gamma_s$ [ps <sup>-1</sup> ]	$\Gamma_s$ [ps <sup>-1</sup> ]	$ A_{  }(0) ^2$	$ A_0(0) ^2$	$ A_S(0) ^2$	$\delta_{\perp}$ [rad]	$\delta_{  }$ [rad]	$\delta_{\perp} - \delta_S$ [rad]
Tagging	0.025	0.003	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	0.001	0.236	0.014	0.004
Acceptance	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	0.003	$<10^{-3}$	0.001	0.004	0.008	$<10^{-3}$
Inner detector alignment	0.005	$<10^{-3}$	0.002	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	0.134	0.007	$<10^{-3}$
Background angles model:									
Choice of $p_T$ bins	0.020	0.006	0.003	0.003	$<10^{-3}$	0.008	0.004	0.006	0.008
Choice of mass interval	0.008	0.001	0.001	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	0.002	0.021	0.005	0.003
$B_d^0$ background model	0.023	0.001	$<10^{-3}$	0.002	0.002	0.017	0.090	0.011	0.009
$\Lambda_b$ background model	0.011	0.002	0.001	0.001	0.007	0.009	0.045	0.006	0.007
Fit model:									
Mass signal model	0.004	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$	0.002	$<10^{-3}$	0.001	0.015	0.017	$<10^{-3}$
Mass background model	$<10^{-3}$	0.002	$<10^{-3}$	0.002	$<10^{-3}$	0.002	0.027	0.038	$<10^{-3}$
Time resolution model	0.003	$<10^{-3}$	0.001	0.002	$<10^{-3}$	0.002	0.057	0.011	0.001
Default fit model	0.001	0.002	$<10^{-3}$	0.002	$<10^{-3}$	0.002	0.025	0.015	0.002
<b>Total</b>	0.042	0.007	0.004	0.006	0.007	0.022	0.30	0.05	0.01