

Измерение параметров CP-нарушений в распадах $B(s)$ мезонов в эксперименте ATLAS



Мешков Олег Васильевич

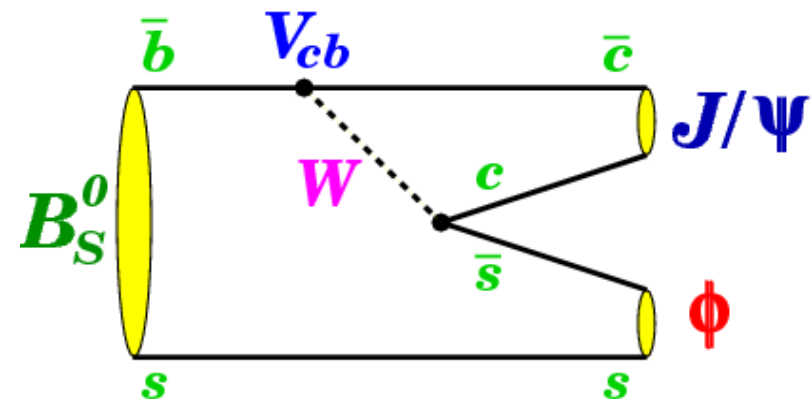
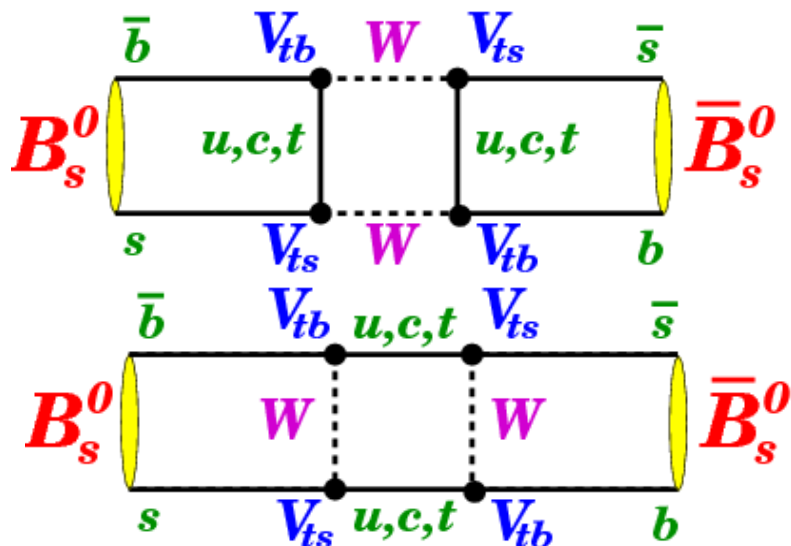
*Научный руководитель:
профессор Смирнова Л.Н.*

План доклада

- CP-нарушение в $B_s \rightarrow J/\psi\phi$
- Детектор ATLAS
 - Внутренний детектор
 - Триггер
 - Триггер В-физики
 - Усовершенствование оффлайн мониторинга триггера В-физики
- Программа В-физики
- Измерение параметров CP-нарушений в эксперименте ATLAS
 - Данные и отбор событий
 - Угловой анализ
 - Тагирование B_s аромата
 - Фит методом наименьшего правдоподобия
 - Результаты и систематические неопределенности
 - Статистическое объединение с Run-1 и сравнение с другими экспериментами БАК
- Заключение и Планы
 - Доклады на конференциях
 - Публикации

CP-нарушения in $B_s \rightarrow J/\psi\phi$

- В распаде $B_s \rightarrow J/\psi\phi$, CP-нарушения происходят за счет интерференции между прямыми распадами и распадами посредством $B_s - \bar{B}_s$ осцилляций



- На левом рисунке — диаграммы Фейнмана низкого порядка, которые показывают $B_s - \bar{B}_s$ осцилляции
- На правом рисунке — диаграмма распада $B_s \rightarrow J/\psi\phi$

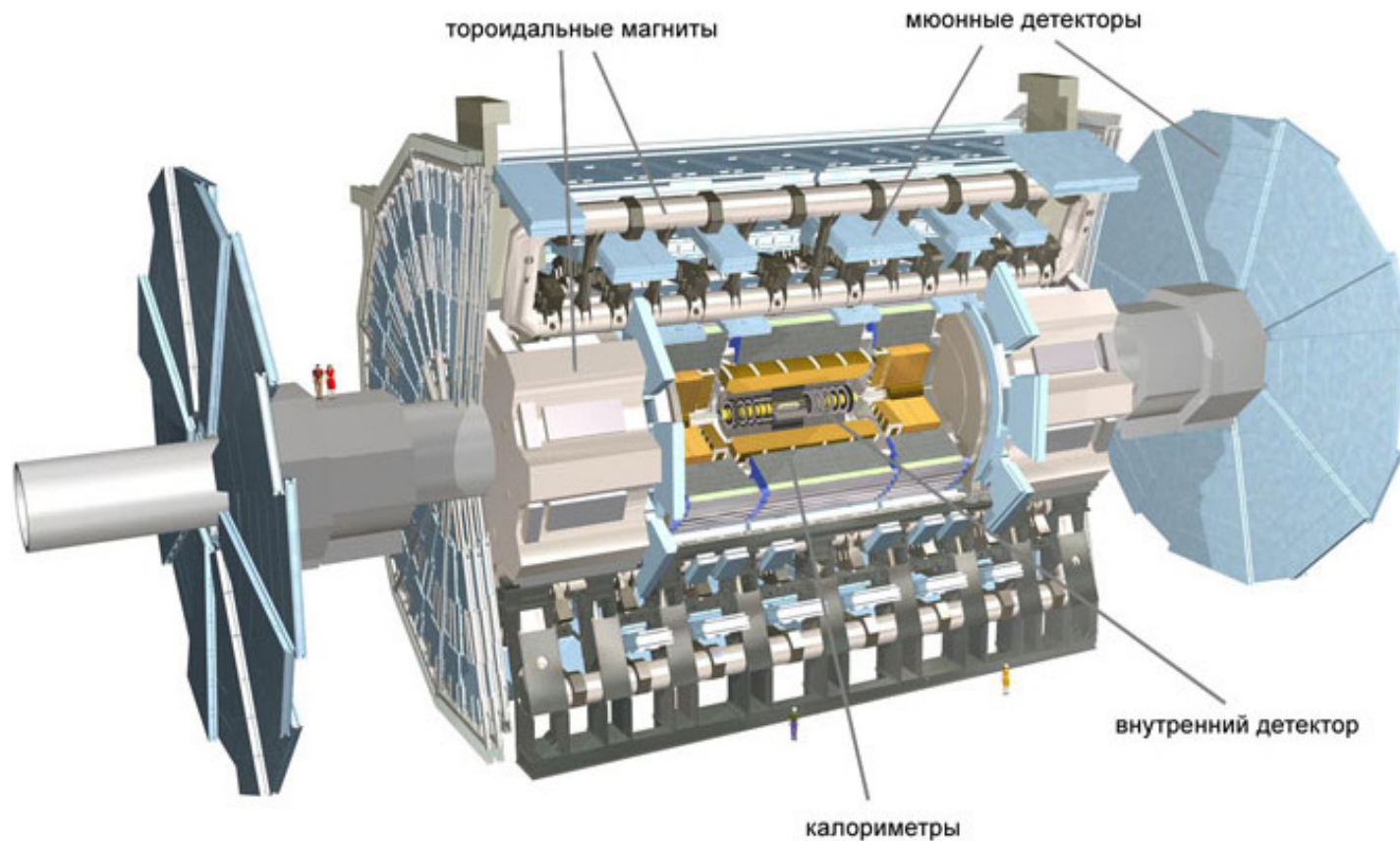
Параметры CP-нарушений

- Величина CP-нарушений — φ_s , которая определяется как разница слабых фаз между амплитудой $V_s - \bar{V}_s$ смешивания и амплитудой распада $b \rightarrow c\bar{c}s$
- В SM фаза φ_s мала, а ее значение связано со значениями элементов Кабиббо — Кобаяси — Маскавы(ККМ) матрицы посредством соотношения $\varphi_s \approx -2\beta_s$

$$\bullet \varphi_s \equiv -2\beta_s = -2 \arg\left(\frac{-V_{ts} V_{*tb}}{V_{cs} V_{*cb}}\right) = -0.03696 \begin{matrix} +0.00072 \\ -0.00082 \end{matrix} \text{ rad} \quad \text{arXiv: 1501.05013}$$

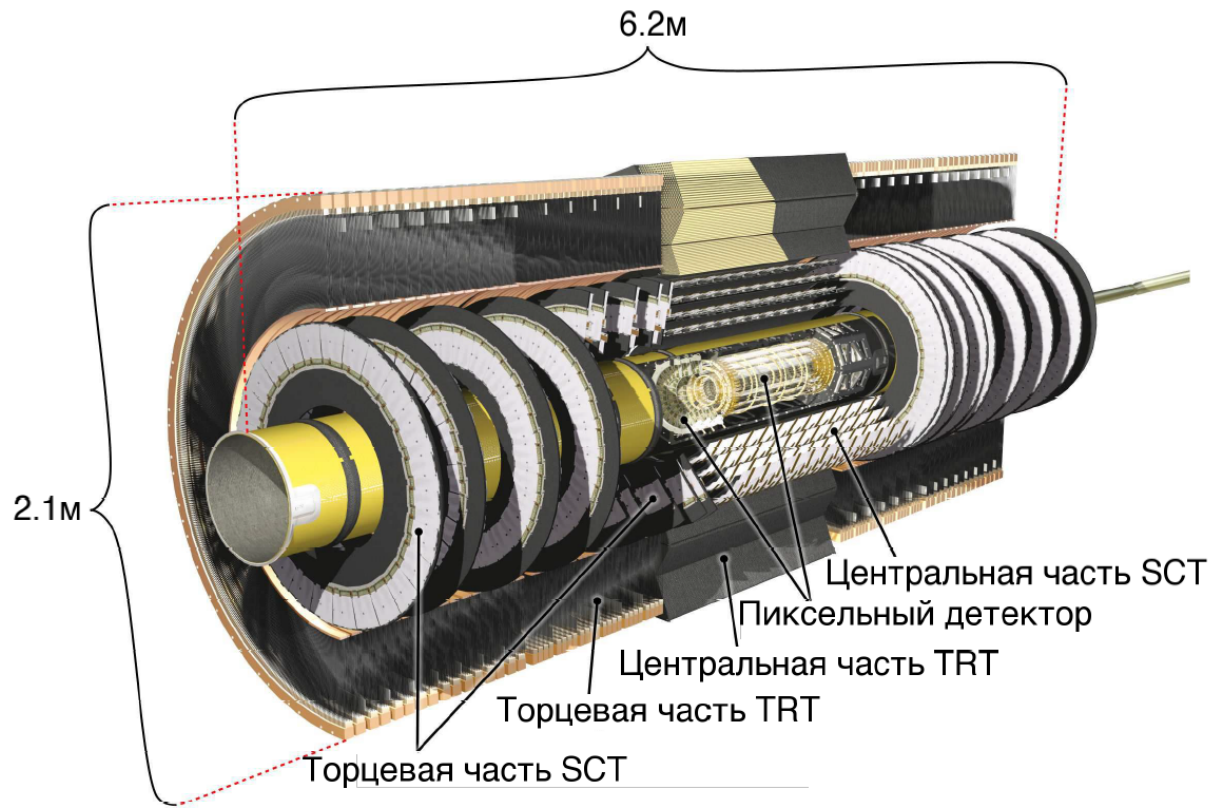
- Величина фазы CP-нарушений φ_s чувствительна к проявлениям новой физики
- Другая характеристика в V_s смешивании это $\Delta\Gamma_s = \Gamma_L - \Gamma_H$, где Γ_L и Γ_H ширины распадов легкого и тяжелого массовых состояний. $\Delta\Gamma_s$ не чувствительна к проявлениям новой физики, однако измерение интересно для проверки теорий

Детектор ATLAS



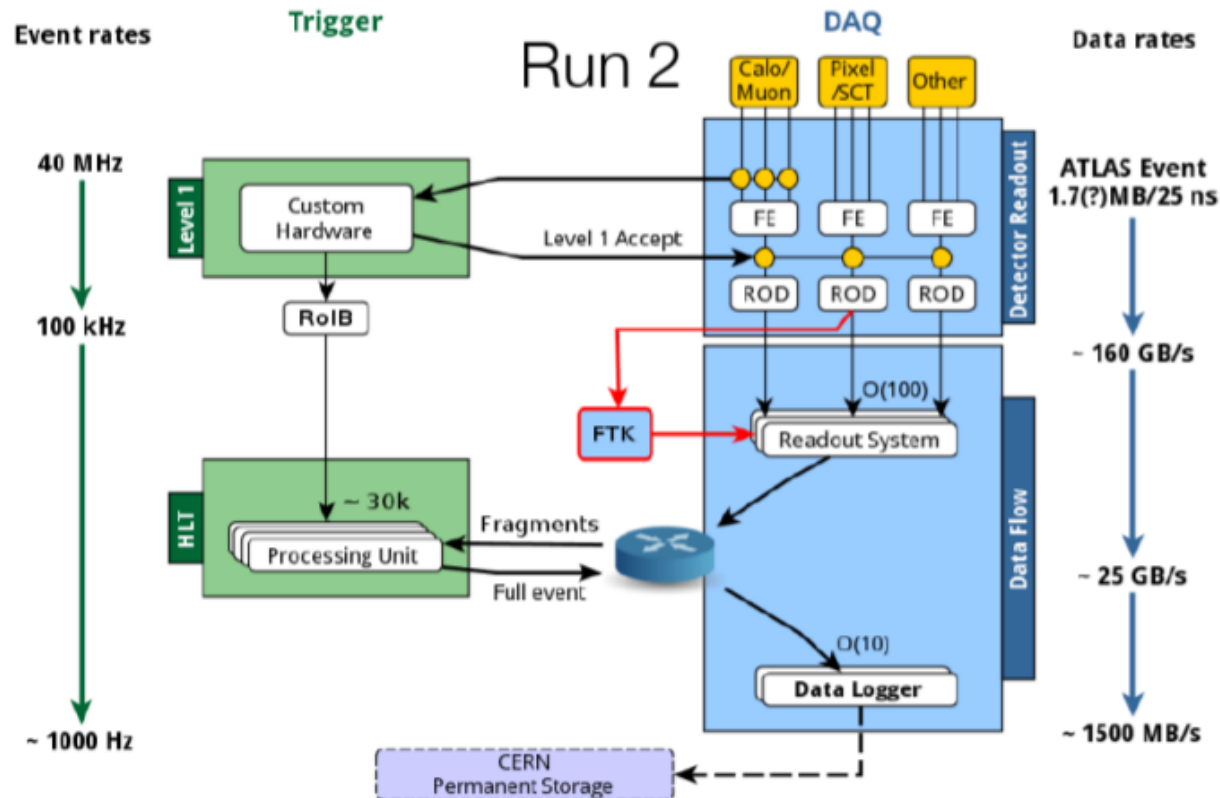
- Детектор ATLAS:
- Магнитная система
- Внутренний детектор
- Калориметры
- Мюонный детектор

Внутренний детектор



- Пиксельный детектор(pixel)
- Микростриповые кремнивые детекторы(SCT)
- Трековая система переходного излучения(TRT)

Триггер детектора ATLAS



ATLAS работает с большими потоками данных, соответствующих 10^9 соударений протонов в секунду. Только некоторые из этих событий содержат интересную информацию, поэтому нужен триггер.

Триггер детектора ATLAS во время второго сеанса работы:

- Триггер первого уровня
- Триггер высокого уровня

Триггер В-физики

Триггерный отбор событий для исследований тяжёлых адронов в ATLAS основывается на поиске распадов с мюонами

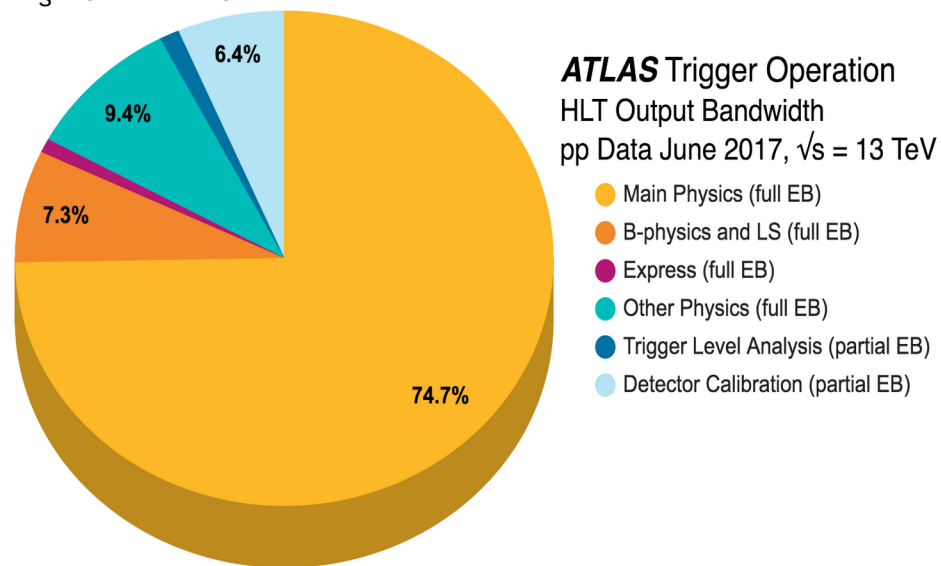
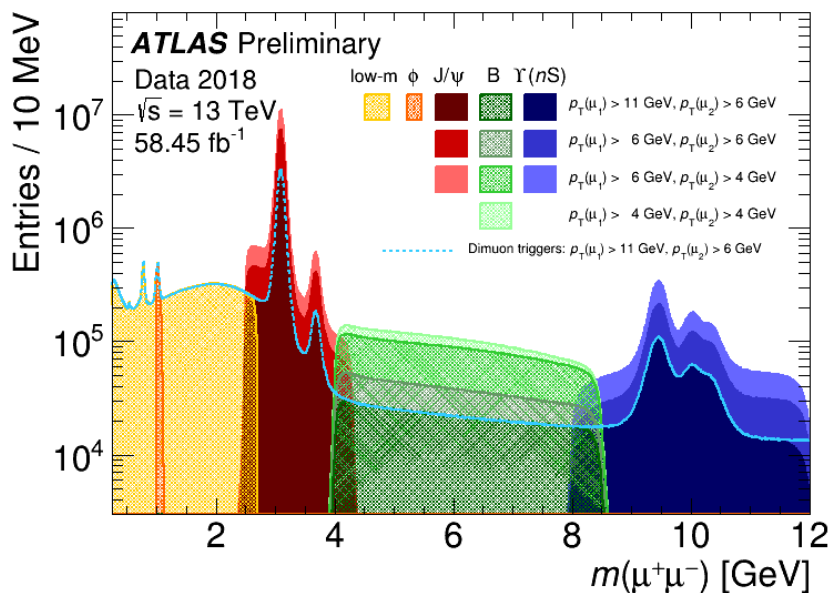
Основные триггерные алгоритмы триггера В-физики:

- J/ψ и $\psi(2S)$ — 2.5 – 4.3 ГэВ; (Jpsimumu)
- Редкие распады В (s) — 4 – 8.5 ГэВ; (Bmumu)
- $\Upsilon(nS)$ — 8 – 12 ГэВ; (Upsimumu)
- $B \rightarrow \mu\mu X$ (BМуМуХ) – 1.5 – 14 ГэВ

1. $B^0 \rightarrow \mu\mu K^{*0}$

2. $B_s^0 \rightarrow \mu\mu\phi$

3. $B_c^+ \rightarrow \mu\mu D_s^{*+}(K^+K^-\pi^+)$



Текущие задачи триггера B-физики

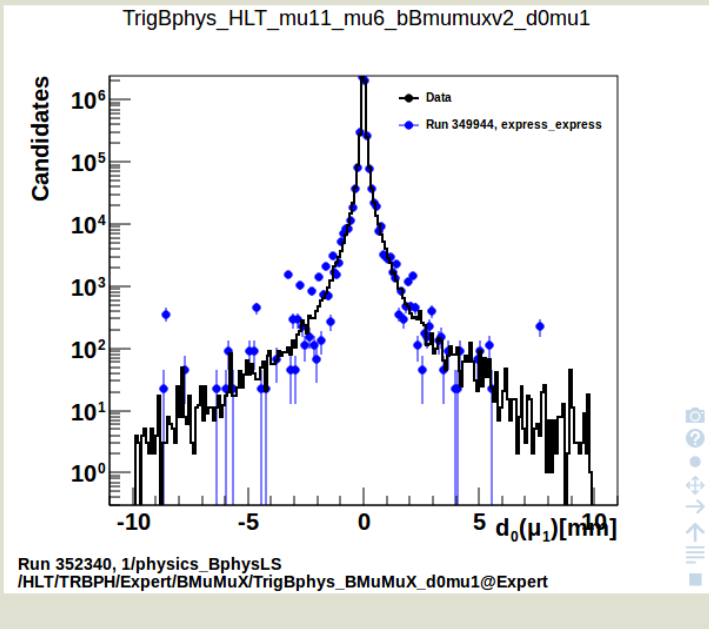
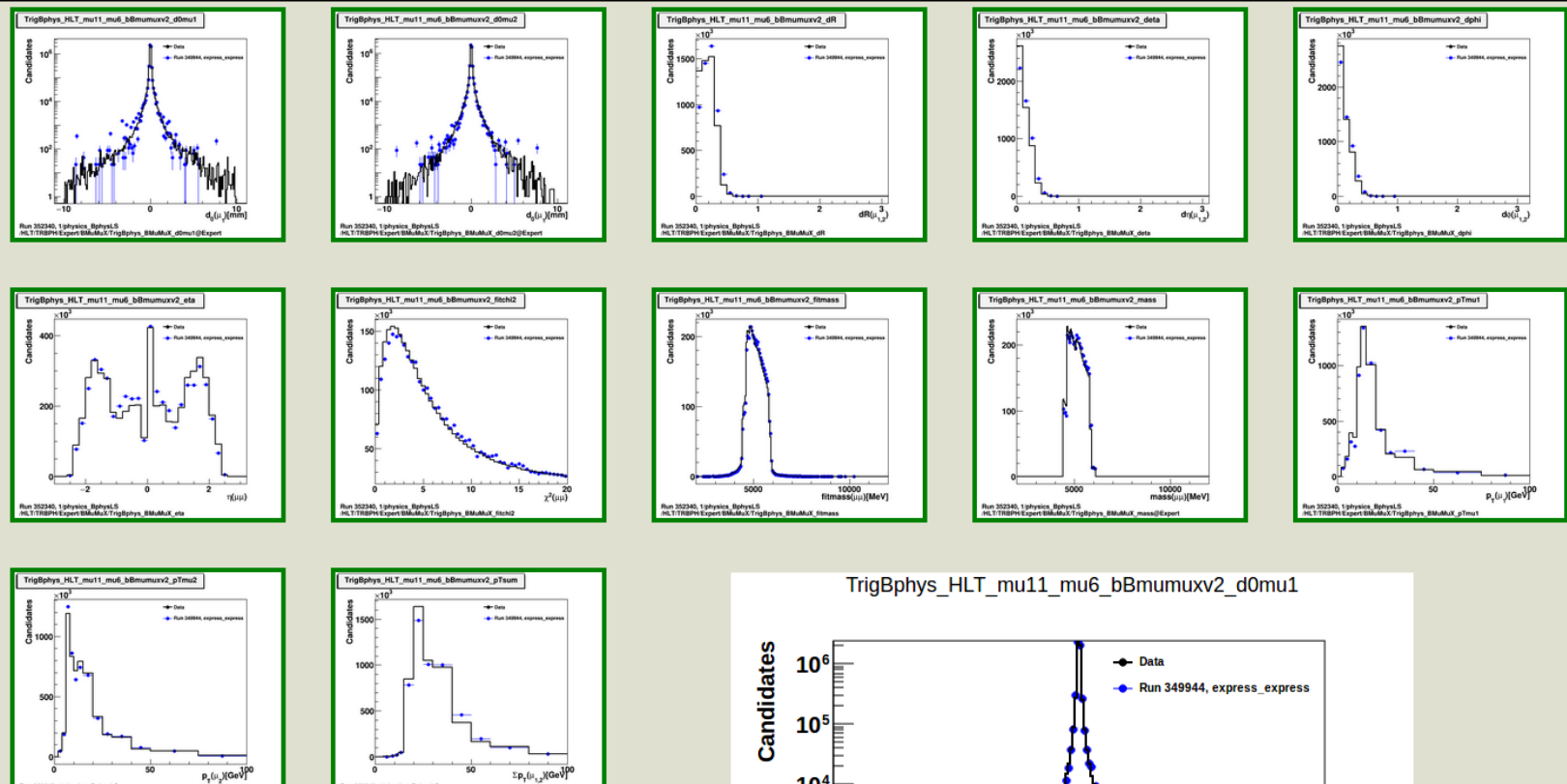
- Исследования эффективности димьюонных триггеров
- Учет влияния большого количества наложенных событий (pileup) на эффективность отбора событий
- Мониторинг времени жизни и массы B^+ -мезона
- Усовершенствования мониторинга B-триггера
- Подготовка триггера к Run-3

Системы мониторинга триггера В-физики

- Online мониторинг
 - количество ядер ЦП
 - среднее время обработки событий
 - гистограммы переменных
- Offline мониторинг
 - отслеживаются следующие переменные: прицельные параметров треков, координаты вершины рождения В-адрона, η , ϕ , P_T , как для отдельного мюона, так и для всего кандидата в В-адрон и др.

Офлайн мониторинг

- Overall Status: **Red**
- CaloMonitoring: Undefined
 - CentralTrigger: **Red**
 - Global: **Red**
 - HLT: **Red**
 - TRBJT: **Red**
 - TRBPH: **Red**
 - Expert: **Yellow**
 - BMuMu: **Green**
 - BMuMuX: **Green**
 - Containers: **Green**
 - JpsiFinder: **Green**
 - L1Topo: **Yellow**
 - MuTrack: **Green**
 - MuTrack: **Green**
 - MuTrack: **Green**
 - Shifter: **Red**
 - BMuMu: **Green**
 - BMuMuX: **Green**
 - Containers: **Green**
 - L1Topo: **Yellow**
 - MuTrack: **Red**
 - MuTrack: **Red**
 - MuTrack: **Green**
 - MuTrack: **Green**
 - TRCAL: **Green**
 - TREG: **Red**
 - TRHLT: Undefined
 - TRIDT: **Red**
 - TRJET: **Red**
 - TRMBI: **Red**
 - TRMET: **Red**
 - TRMUO: **Green**
 - TauMon: **Red**
 - InnerDetector: **Red**
 - JetTagging: Undefined
 - Jets: Undefined
 - L1Calo: **Red**
 - L1Interfaces: **Red**
 - LAr: **Red**
 - MissingEt: Undefined
 - MuonDetectors: **Red**
 - MuonTracking: Undefined
 - Tau: Undefined

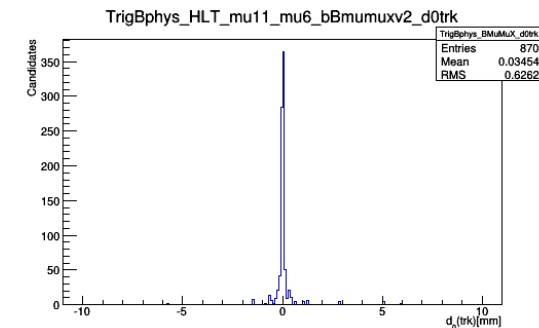
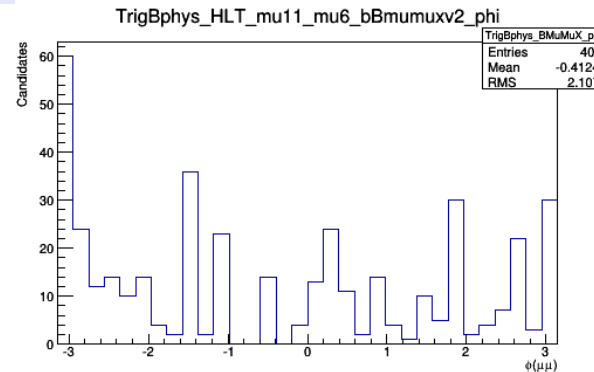
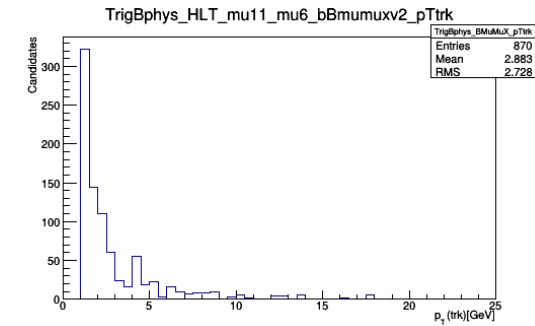
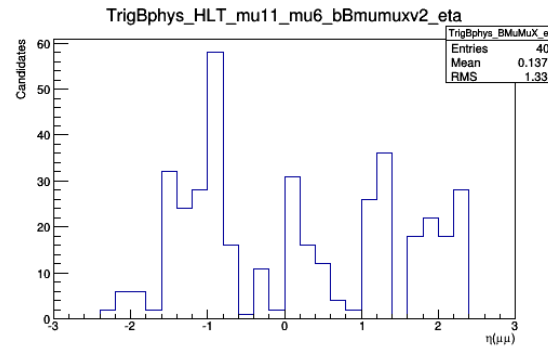
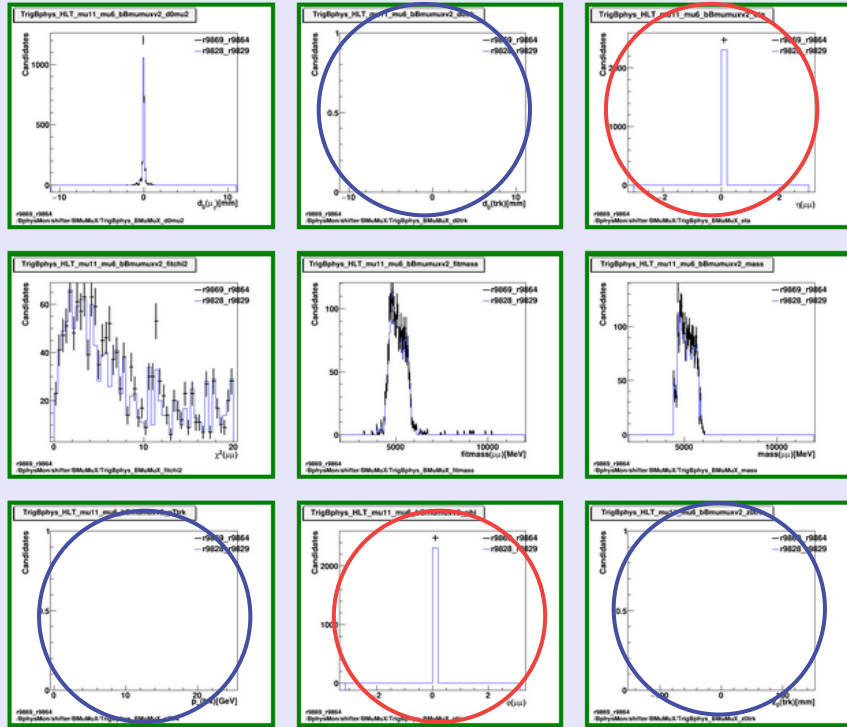


Web Display офлайн мониторинга

Исправление заполнения нулевых и пустых гистограмм для офлайн мониторинга

r9869_r9864 BphysMon/shifter
/BMuMuX: Green only

[Only Red] [Only Yellow] [Only Green]

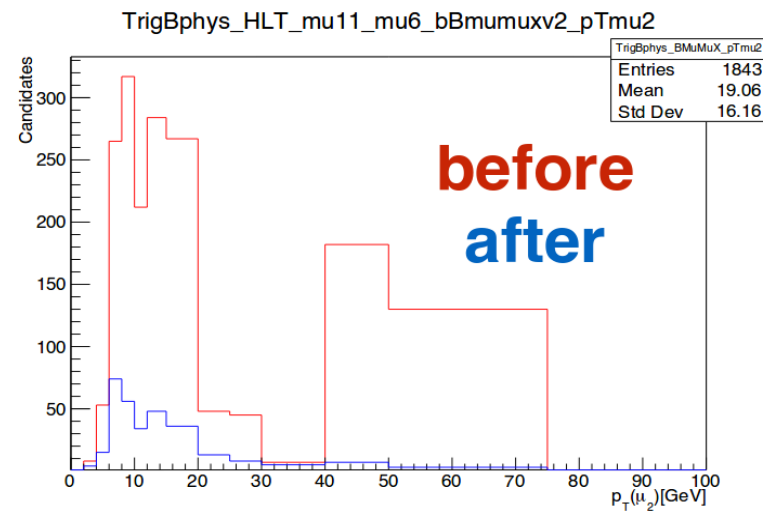
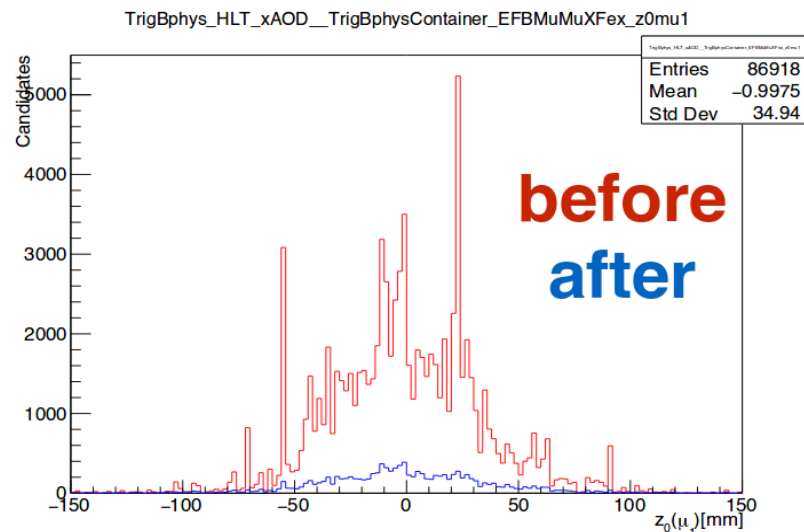
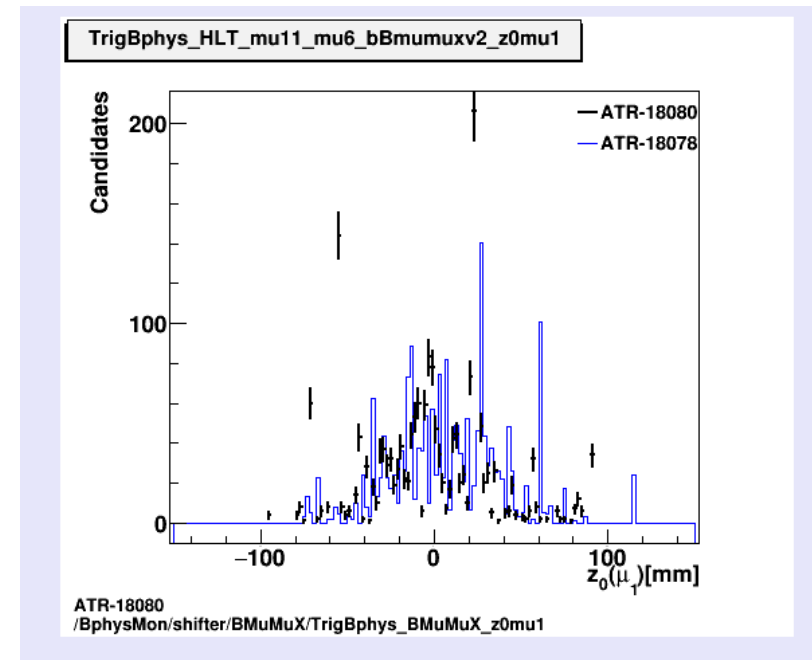


Красные круги — заполненные нулем, а синие круги — пустые гистограммы

Гистограммы для η и ϕ — нулевые, а гистограммы для p_T , d_0 , z_0 для треков пустые

Улучшение для регистрации пары мюонов в офлайн мониторинге

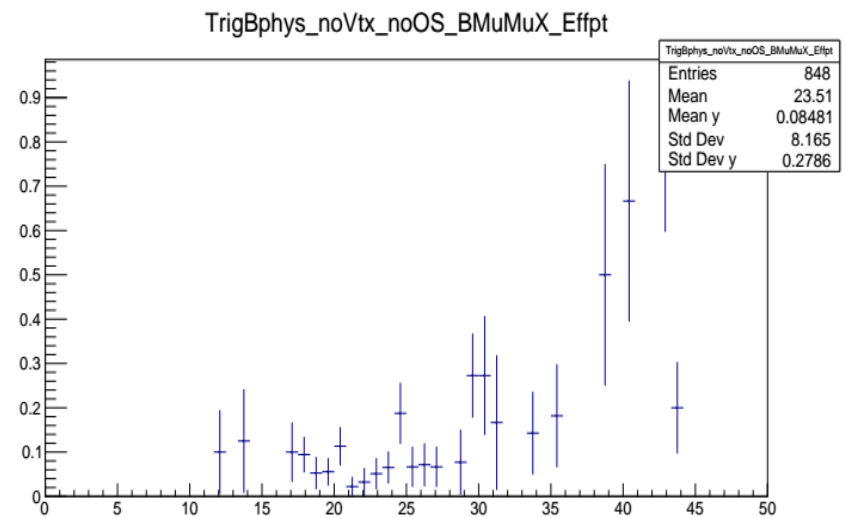
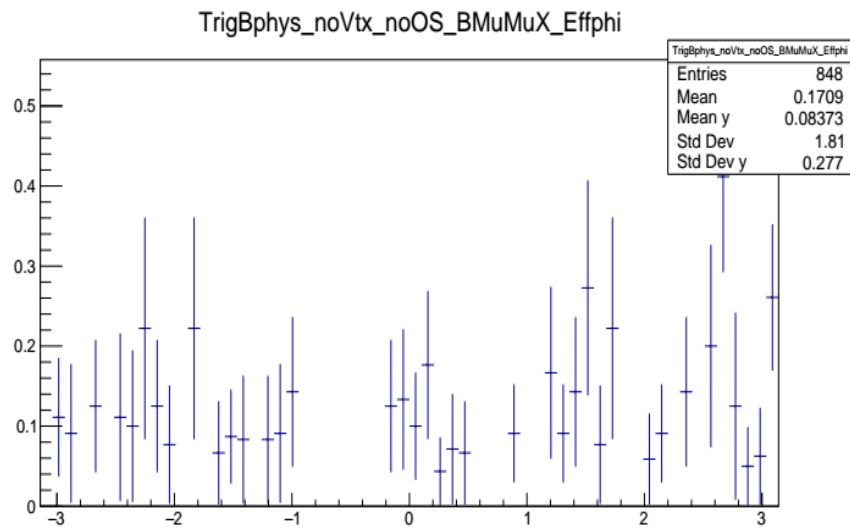
В BMuMuX и MultiMu алгоритмах офлайн мониторинга построения кандидатов в В-адрон одни и те же самые пары мюонов записывались несколько раз, что порождало путаницу и странные выбросы количества событий



Исправление графиков эффективности для офлайн мониторинга

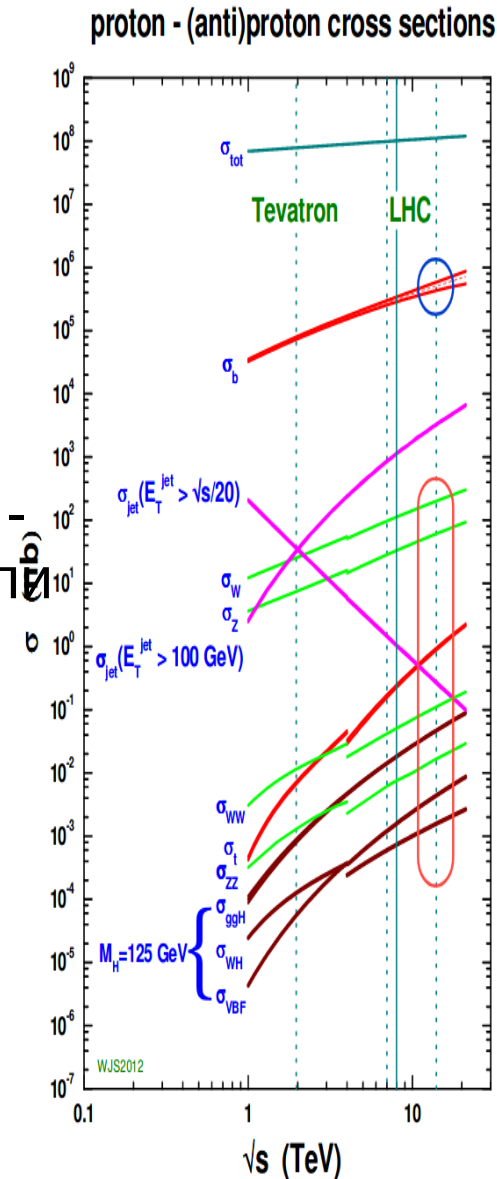
Графики эффективности не были заполнены должным образом - их было необходимо исправить

Также существующие гистограммы эффективности являлись не аддитивными.



Программа В-физики в эксперименте ATLAS

- Проверка предсказаний на основе КХД:
 - измерение сечений,
 - спектроскопия, кварконий,
 - экзотические адроны (тетракварк и пентакварк),
 - исследования поляризации, асимметрии распада
- Проверка электрослабой физики и поиск новой физики - это области, где СМ предсказывает редкие процессы или небольшие эффекты:
 - ▶ редкие распады $B_{s,d} \rightarrow \mu\mu$,
 - ▶ ϕ_S в $B_S \rightarrow J/\psi\phi$
 - ▶ Нарушение лептонного аромата ($R(K^*)$)
 - ▶ $\tau \rightarrow 3\mu$



Данные для анализа

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

Данные:

- Использованы данные 80.5 fb^{-1} из 2015-17, 13 ТэВ
- Статистическое объединение с Run1 результатами ATLAS :
 - 4.9 fb^{-1} (7 ТэВ, pp 2011)
 - 14.3 fb^{-1} (8 ТэВ, pp 2012) — статическое объединение с 7 TeV
- Триггерные алгоритмы основаны на идентификации распадов $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ с порогами на поперечные импульсы мюонов 4 или 6 ГэВ
 - Использовались Монте-Карло (МК) наборы для $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ и $B_d \rightarrow J/\psi K^*$, $B_d \rightarrow J/\psi K\pi$ и $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K$ для оценки фоновых процессов
- Нет отбора по времени жизни — разделение фона и сигнала проводилось с помощью фитирования

Реконструкция и отбор событий

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

Отбор событий

- Хотя бы одна первичная вершина, образованная по меньшей мере четырьмя треками во внутреннем детекторе
- Не менее одной пары $\mu^+\mu^-$, реконструированных с использованием внутреннего детектора и мюонного спектрометра

$J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$

- Двухмюонный вершинный фит $\chi^2/\text{d.o.f.} < 10$
- Три двухмюонных массовых окна для ВВ/ВЕ/ЕЕ (центральная часть (Barrel), торцевая часть (Endcap) детектора)

$\phi \rightarrow K^+K^-$

- $p_T(K) > 1$ ГэВ
- $1008.5 \text{ МэВ} < m(KK) < 1030.5 \text{ МэВ}$

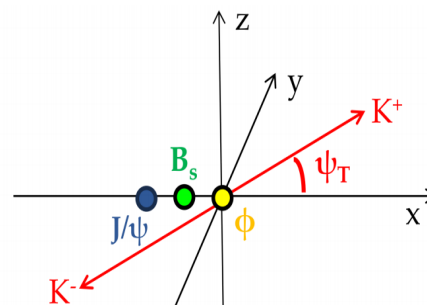
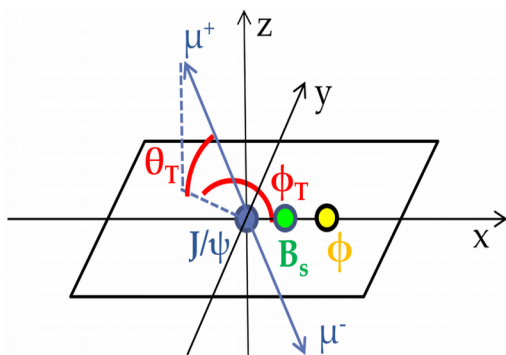
$B_s \rightarrow J/\psi(\mu\mu)\phi(KK)$

- $p_T(B_s) > 10$ ГэВ
- Четверка треков объединялась в один фит с $\chi^2/\text{d.o.f.} < 3$
- Использовался кандидат с наименьшим $\chi^2/\text{d.o.f.}$ в событии
- $5150 \text{ MeV} < m(B_s) < 5650 \text{ MeV} \rightarrow$ всего отобранно 3 210 429 B_s кандидатов

Угловой анализ

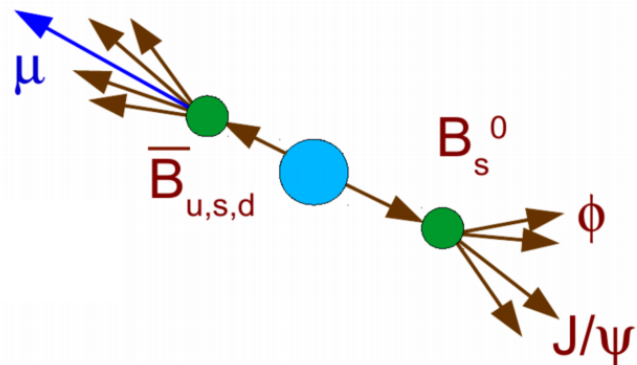
[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

- Распад псевдоскалярного нейтрального $B_s \rightarrow J/\psi(\mu\mu)\phi(KK)$ на конечное состояние с двумя векторными мезонами
- Конечное состояние: суперпозиция из CP-нечетных ($L = 1$) and CP-четных ($L = 0, 2$) состояний
- Статистическое разделение всех этих состояний возможно благодаря угловому анализу продуктов распада
- Не резонансный S-волновой распад $B_s \rightarrow J/\psi KK$ включен в конечное состояние



B_s тагирование(мечение) аромата(1)

- Начальный аромат нейтрального В-мезона может быть восстановлен с использованием информации от противоположного b-адрона, содержащего парный к исходному b-кварк (opposite-side tagging, OST)
- Методы тагирования:
 - Тагирование электрона
 - Тагирование мюона
 - Тагирование струи b-адрона (если отсутствует лептон)



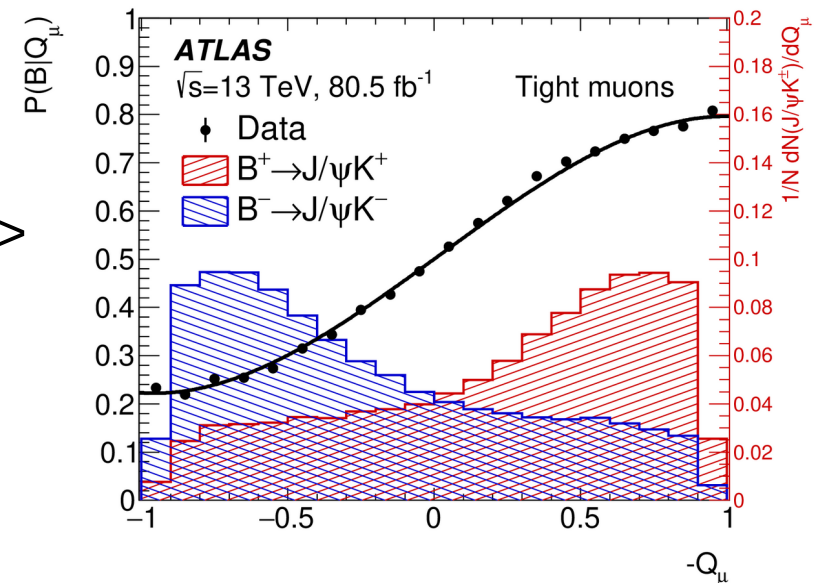
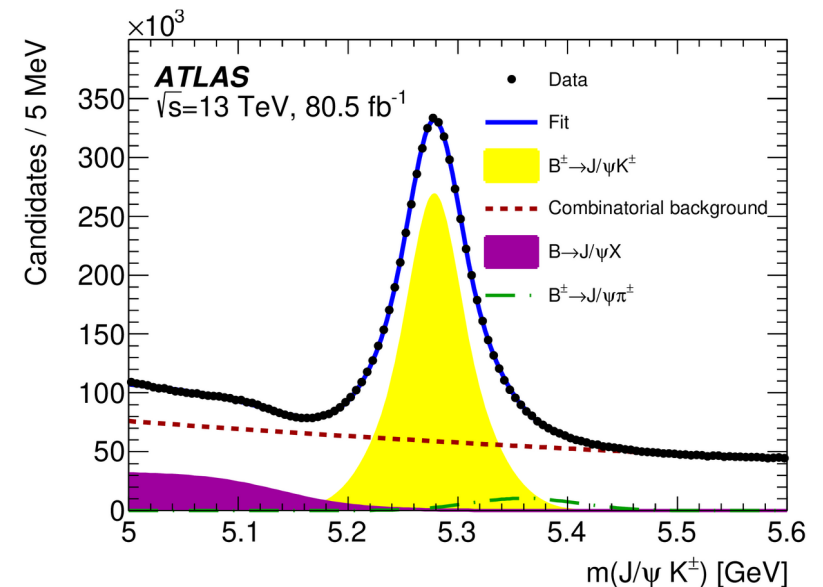
V_s тагирование аромата(2)

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

- Переходы $b \rightarrow l$ разбавляются в результаты процессов, которые могут изменить заряд наблюдаемого лептона, например в результате осцилляций нейтрального B -мезона или в результате каскадных распадов $b \rightarrow c \rightarrow l$
- Для выбранного мюона, электрона или струи строится зарядовая переменная:

$$Q_x = \frac{\sum_i^{N \text{ tracks}} q_i \cdot (p_{Ti})^\kappa}{\sum_i^{N \text{ tracks}} (p_{Ti})^\kappa} \longrightarrow P(Q|B^\pm) \quad Q \in \langle -1, 1 \rangle$$

- Распад $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ использовался для калибровки тагирования аромата



Качество работы тагирования

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

Tag method	ϵ_x [%]	D_x [%]	T_x [%]
Tight muon	4.50 ± 0.01	43.8 ± 0.2	0.862 ± 0.009
Electron	1.57 ± 0.01	41.8 ± 0.2	0.274 ± 0.004
Low- p_T muon	3.12 ± 0.01	29.9 ± 0.2	0.278 ± 0.006
Jet	12.04 ± 0.02	16.6 ± 0.1	0.334 ± 0.006
Total	21.23 ± 0.03	28.7 ± 0.1	1.75 ± 0.01

- Эффективность ϵ : отношение числа В-кандидатов, тагированных данным методом, к полному числу кандидатов: $\epsilon = \frac{N_{tagged}}{N_{Bcand}}$
- Коэффициент разбавления D (dilution) : $D = (1 - 2w)$, где w — вероятность ошибочного тагирования
- Мощность тагирования T (tagging power) : показатель качества работы тагирования
 - Зависит от dilution и эффективности:
 $TP = \epsilon D^2 = \epsilon(1 - 2w)^2$

Фит методом наибольшего правдоподобия

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

$$\ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \ln [f_s \cdot \mathcal{F}_s(m_i, t_i, \sigma_{m_i}, \sigma_{t_i}, \Omega_i, P_i(B|Q_x), p_{T_i}) + f_s \cdot f_{B^0} \cdot \mathcal{F}_{B^0}(m_i, t_i, \sigma_{m_i}, \sigma_{t_i}, \Omega_i, P_i(B|Q_x), p_{T_i}) + f_s \cdot f_{\Lambda_b} \cdot \mathcal{F}_{\Lambda_b}(m_i, t_i, \sigma_{m_i}, \sigma_{t_i}, \Omega_i, P_i(B|Q_x), p_{T_i}) + (1 - f_s \cdot (1 + f_{B^0} + f_{\Lambda_b})) \cdot \mathcal{F}_{\text{bkg}}(m_i, t_i, \sigma_{m_i}, \sigma_{t_i}, \Omega_i, P_i(B|Q_x), p_{T_i})]$$

Сигнал

Фон $B_d \rightarrow J/\psi K^*$ и $\Lambda_b \rightarrow J/\psi K^0$

Объединенные фоновые процессы

Вес для учета эффективности триггера

Физические параметры:

- Фаза φ_s
- Ширины распада: $\Delta\Gamma_s, \Gamma_s$
- Амплитуды распада: $|A_0(0)|^2, |A_{\parallel}(0)|^2, \delta_{\parallel}, \delta_{\perp}$
- S-волна: $|A_s(0)|^2, \delta_s$
- Δm_s фиксировано (PDG)

Переменные:

- Базовые переменные: m_i, t_i, Ω_i
- Переменные для каждого кандидата:
 - Неопределенность: σ_m, σ_t
 - Вероятность тагирования и метод: $P(B|Q)$

Систематические неопределенности

arXiv:2001.07115

	ϕ_s [10 ⁻³ rad]	$\Delta\Gamma_s$ [10 ⁻³ ps ⁻¹]	Γ_s [10 ⁻³ ps ⁻¹]	$ A_{\parallel}(0) ^2$ [10 ⁻³]	$ A_0(0) ^2$ [10 ⁻³]	$ A_S(0) ^2$ [10 ⁻³]	δ_{\perp} [10 ⁻³ rad]	δ_{\parallel} [10 ⁻³ rad]	$\delta_{\perp} - \delta_S$ [10 ⁻³ rad]
Tagging	19	0.4	0.3	0.2	0.2	1.1	17	19	2.3
■ Acceptance	0.5	< 0.1	< 0.1	1.0	0.8	2.6	30	50	11
■ ID alignment	0.8	0.2	0.5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	11	7.2	< 0.1
■ Best candidate selection	0.5	0.4	0.7	0.5	0.2	0.2	12	17	7.5
Background angles model:									
■ Choice of fit function	2.5	< 0.1	0.3	1.1	< 0.1	0.6	12	0.9	1.1
Choice of p_T bins	1.3	0.5	< 0.1	0.4	0.5	1.2	1.5	7.2	1.0
Choice of mass interval	0.4	0.1	0.1	0.3	0.3	1.3	4.4	7.4	2.3
Dedicated backgrounds:									
■ B_d^0	2.3	1.1	< 0.1	0.2	3.0	1.5	10	23	2.1
■ Λ_b	1.6	0.3	0.2	0.5	1.2	1.8	14	30	0.8
Fit model:									
■ Time res. sig frac	1.4	1.1	0.5	0.5	0.6	0.8	12	30	0.4
Time res. p_T bins	0.7	0.5	0.8	0.1	0.1	0.1	2.2	14	0.7
S-wave phase	0.2	< 0.1	< 0.1	0.3	< 0.1	0.3	11	21	8.4
Fit bias	4.1	1.7	0.9	1.4	< 0.1	1.5	19	0.9	7.0
Total	20	2.5	1.6	2.3	3.5	4.5	50	79	18

Систематическими погрешностями, связанным с методикой калибровки процедуры тагирования
 Угловой акцептанс рассчитывается с помощью модельных сигнальных событий в бинах по углам и поперечному импульсу

Калибровка геометрии (alignment) внутреннего детектора: Неточности в определении координат элементов внутреннего детектора

Угловые распределения для фона: выборы функции фитирования, количества бинов, интервала массы

Вклад событий $B_d^0 \rightarrow J/\psi K^*$, ошибочно реконструированных как $B_s \rightarrow J/\psi \phi$

Вклад событий $\Lambda_b \rightarrow J/\psi K^0$, ошибочно реконструированных как $B_s \rightarrow J/\psi \phi$

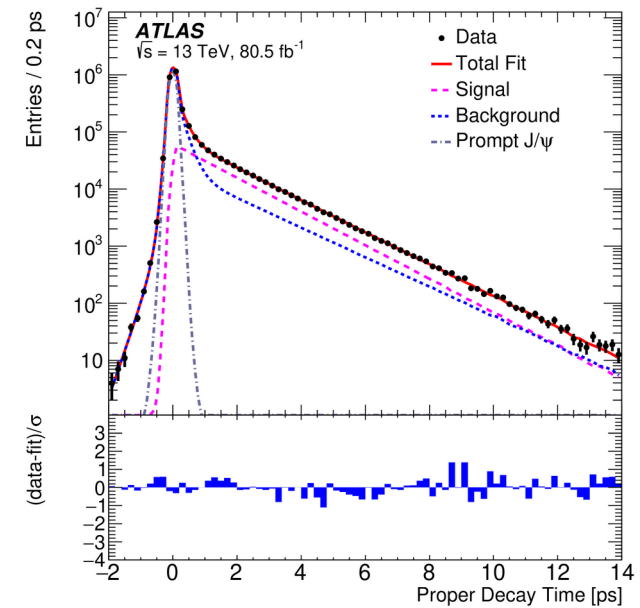
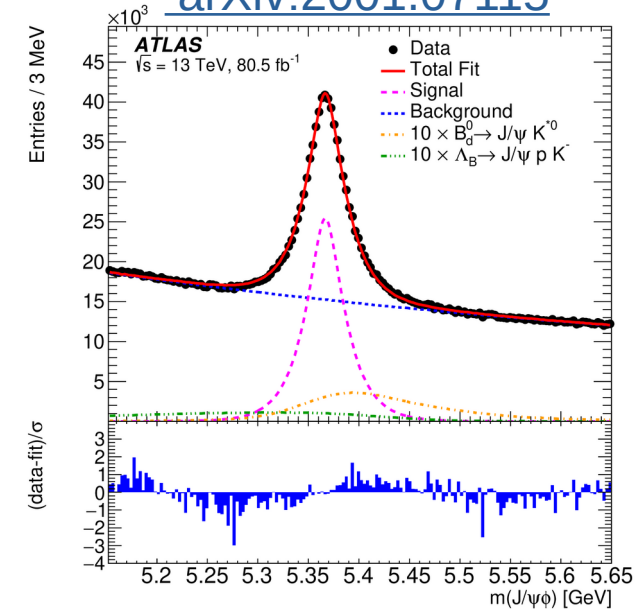
Вариации модели фита. Систематические эффекты, связанные с выбором модели фита

Проекции и результаты фита(1)

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

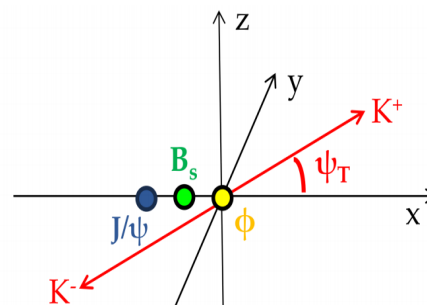
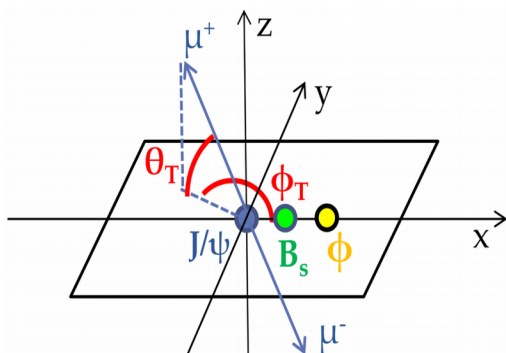
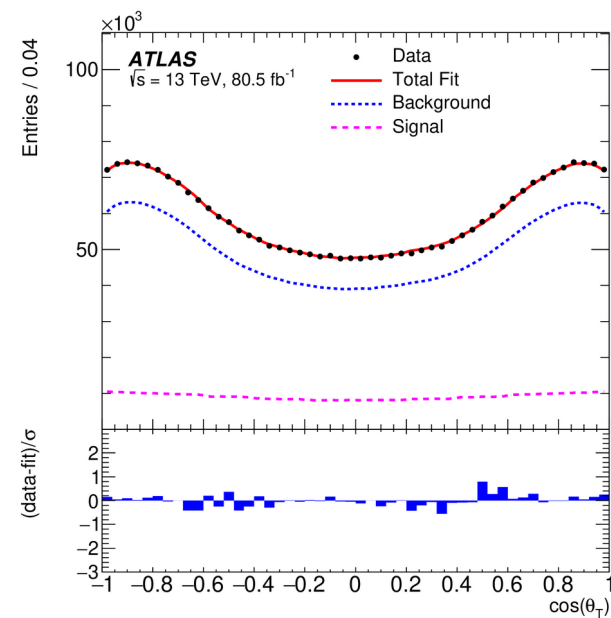
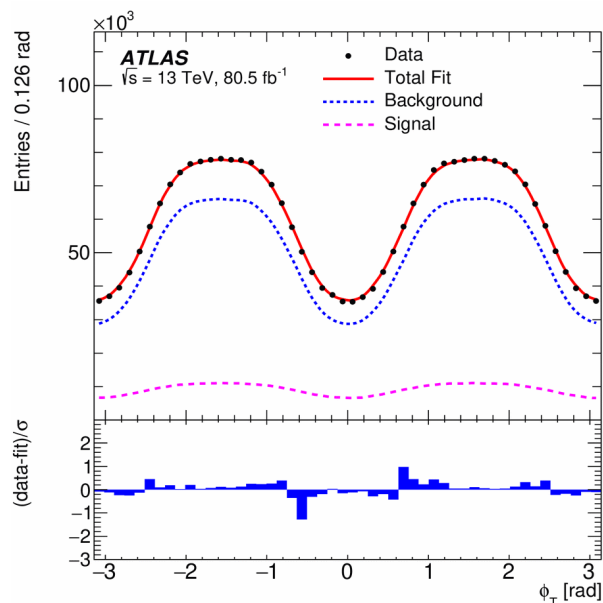
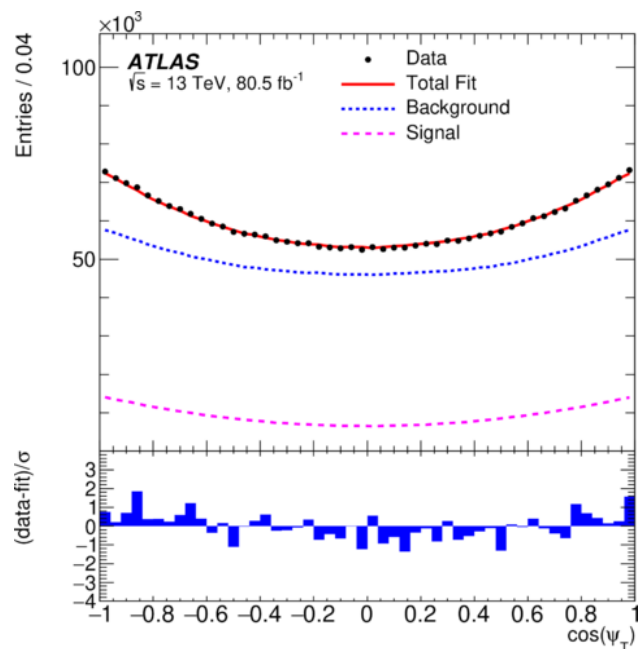
Parameter	Value	Statistical uncertainty	Systematic uncertainty
ϕ_s [rad]	-0.081	0.041	0.020
$\Delta\Gamma_s$ [ps^{-1}]	0.0607	0.0046	0.0025
Γ_s [ps^{-1}]	0.6687	0.0015	0.0017
$ A_{\parallel}(0) ^2$	0.2213	0.0020	0.0022
$ A_0(0) ^2$	0.5131	0.0013	0.0034
$ A_S(0) ^2$	0.0321	0.0034	0.0044
δ_{\perp} [rad]	3.12	0.11	0.05
δ_{\parallel} [rad]	3.35	0.05	0.06
$\delta_{\perp} - \delta_S$ [rad]	-0.25	0.05	0.01

$$t = \frac{L^{xy} m^B}{p_{T_B}}$$



Проекции и результаты фита(2)

[arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

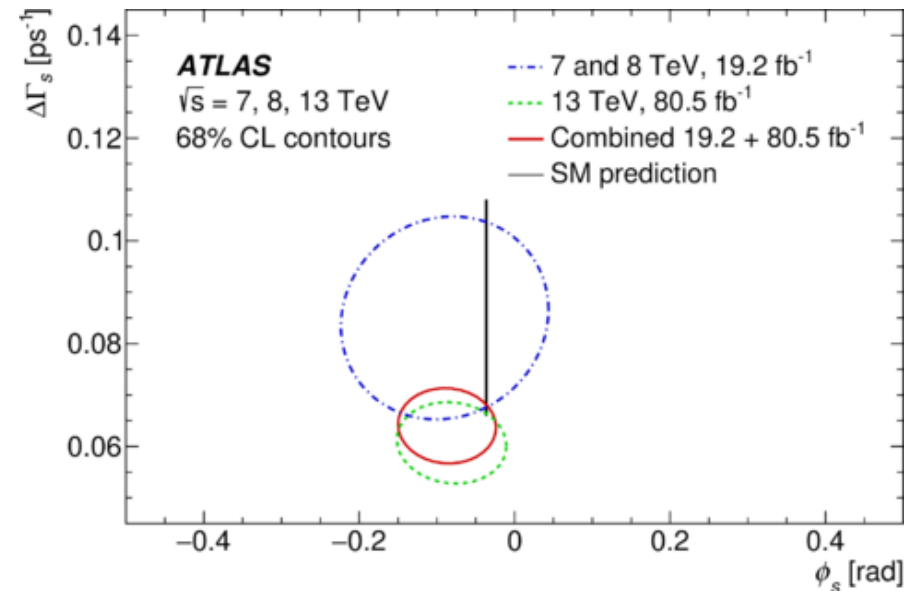


Статистическое объединение с результатами Run-1 [arXiv:2001.07115](https://arxiv.org/abs/2001.07115)

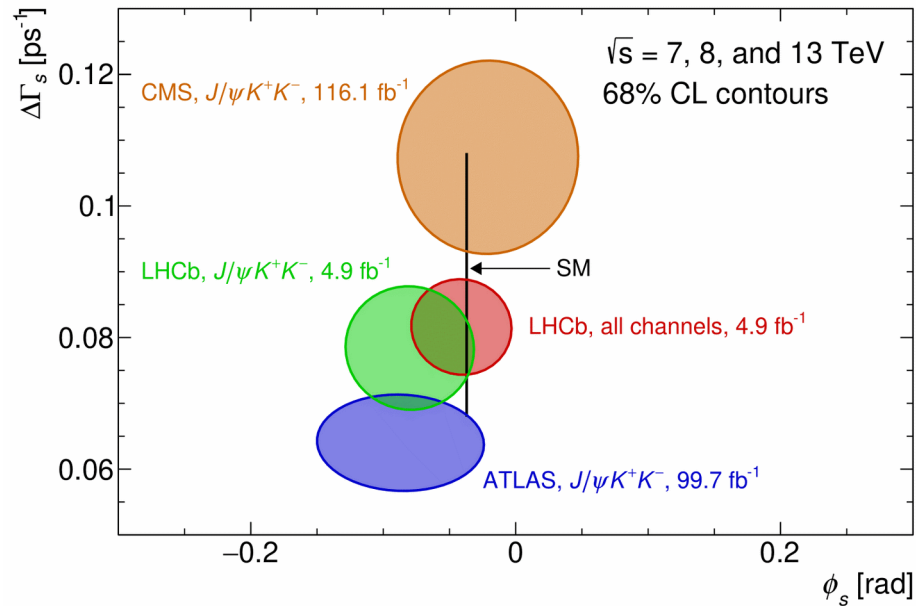
Объединение ATLAS Run 1 & Run 2
(19.2 fb^{-1} + 80.5 fb^{-1}):

Parameter	Value	Statistical uncertainty	Systematic uncertainty
ϕ_s [rad]	-0.087	0.037	0.019
$\Delta\Gamma_s$ [ps^{-1}]	0.0640	0.0042	0.0024
Γ_s [ps^{-1}]	0.6698	0.0014	0.0015
$ A_{\parallel}(0) ^2$	0.2221	0.0018	0.0022
$ A_0(0) ^2$	0.5149	0.0012	0.0031
$ A_S ^2$	0.0343	0.0032	0.0044
δ_{\perp} [rad]	3.21	0.10	0.05
δ_{\parallel} [rad]	3.36	0.05	0.08
$\delta_{\perp} - \delta_S$ [rad]	-0.24	0.05	0.02

Run 1 (19.2 fb^{-1}) & Run 2 (80.5 fb^{-1}):



Последние результаты БАК



$B_s \rightarrow J/\psi K K$	ϕ_s [рад]
LHCb 4.9 fb ⁻¹ Объединение с 3 другими каналами, EUR. PHYS. J. C 79 (2019) 706	-0.042 ± 0.025
CMS 96.4 fb ⁻¹ Run2 объединение с Run1, CMS-PAS-BPH-20-001	-0.021 ± 0.045
ATLAS 80.5 fb ⁻¹ Run2 объединение с Run1, arXiv: 2001.07115	-0.087 ± 0.037 (стат.) ± 0.019 (сист.)

Заключение и планы

- Триггер В-физики играет важную роль в эксперименте ATLAS
- Система мониторинга триггера В-физики выполняет важные задачи во время сбора данных
- Мною было произведено усовершенствование заполнения примерно 30% гистограмм для оффлайн мониторинга
- Анализ с использованием 2015+2016+2017 ATLAS данных представлен
- Результаты статистически объединены с Run1
- Результаты согласуются с LHCb, CMS и предсказаниями SM
- Готовится препринт для полного анализа по Run2(60 фб⁻¹)
- Планируется полностью новый анализ по всему Run2

Доклады на конференциях

- Measurement of the weak mixing phase ϕ_s through time-dependent CP violation in $B_s \rightarrow J/\psi\Phi$ decay in ATLAS, FPCP 2020
- Measurement of the CP violation in $B_s \rightarrow J\psi + \Phi$ decays in ATLAS at 13 TeV, MISP 2020
- Heavy quark physics at ATLAS and CMS (excluding top), QFTHEP 2019
- Исследование нарушения лептонного аромата, CP-инвариантности и $R(K^*)$ аномалии в экспериментах на БАК, «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика»
- Вклад фоновых процессов в систематическую погрешность измерения параметра фазы ϕ_s в эксперименте ATLAS, VIII Межинститутская молодежная конференция "Физика элементарных частиц и космология 2019"
- Системы мониторинга триггера В-физики в эксперименте ATLAS Большого адронного коллайдера», XIX Межвузовская научная школа молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине»
- Задачи модернизации детектора ATLAS, Ломоносовские чтения — 2018
- Основные задачи триггера В-физики в эксперименте ATLAS, VII межинститутская молодёжная конференция "Физика элементарных частиц и космология 2018"
- Развитие средств мониторинга триггера В-физики в эксперименте ATLAS, XXV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018». Секция «Физика»

Публикации

- Готовится препринт «Measurement of the CP-violation phase φ_s and other system parameters in $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ decays in ATLAS at 13 TeV»
- «Measurement of the CP violation phase φ_s in $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ decays in ATLAS at 13 TeV» Отправлена на печать в «European Physical Journal C»(arXiv:2001.07115).
- Исследования нарушения лептонного аромата, CP-инвариантности и $R(K^*)$ аномалии в экспериментах на БАК, УЗФФ № 3, с. 1930404
- Системы мониторинга триггера В-физики в эксперименте ATLAS Большого адронного коллайдера, УЗФФ, № 2, с. 1920202
- Газовые детекторы для идентификации частиц при высоких энергиях, УЗФФ, № 3, с. 173204-1-173204-8

Дополнительные слайды

Временные и угловые функции

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

Расчет вклада фоновых процессов для B_d

- Для расчета вклада от $B_d \rightarrow J/\psi K^*$ и $B_d \rightarrow J/\psi K\pi$:

$$Fr_{Bd J/\psi K^*} = \frac{f_d}{f_s} \frac{Br(Bd \rightarrow J/\psi K^*) * Br(K^* \rightarrow K^+ \pi^-) eff_{BdJpsiKstar}}{Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi) * Br(\phi \rightarrow K^+ K^-) eff_{BsJpsiPhi}}$$

$$Fr_{Bd K\pi} = \frac{f_d}{f_s} \frac{Br(Bd \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-) S-wave eff_{BdJpsiKpi}}{Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi) * Br(\phi \rightarrow K^+ K^-) eff_{BsJpsiPhi}}$$

- Если использовать переменные из таблицы, то получаются:

- $Fr_{K^*} = (3.68 \pm 0.42)\%$
- $Fr_{K\pi} = (0.63 \pm 0.08)\%$

- $Fr_{B_d} = 4.31 \pm 0.43\%$

Переменная	Значение
f_s/f_d	0.259 ± 0.015 PDG 2018
$Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi)$	$(1.08 \pm 0.08) * 10^{-3}$ PDG 2018
$Br(Bd \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-)_{tot}$	$(1.079 \pm 0.0011) * 10^{-3}$ PDG 2018
P-волна	0.735 ± 0.007 PDG 2018
$Br(\phi \rightarrow K^+ K^-)$	0.492 ± 0.005 PDG 2018
S-волна	0.157 ± 0.008 PDG 2018
$eff_{BdJ/\psi Kstar}$	0.000577 ± 0.000035 MC 2017
$eff_{BdJ/\psi Kpi}$	0.000460 ± 0.000036 MC 2017
$eff_{BsJ/\psi \phi}$	0.090300 ± 0.000704 MC 2017

Расчет вклада фоновых процессов для Λ_b

Для расчет вклада от $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^-$:

$$Fr_{\Lambda_b J/\psi p K^-} = \frac{f_{\Lambda_b}}{f_s} \frac{Br(\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^-)}{Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi) * Br(\phi \rightarrow K^+ K^-)} \frac{eff_{\Lambda J\psi p K^-}}{eff_{Bs J\psi p K^-}}$$

$$Fr_{\Lambda_b J/\psi p K^-} = \frac{N_{\Lambda_b LHCb}}{N_{B_d LHCb}} \frac{f_d}{f_s} \frac{Br(Bd \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-) p\text{-wave}}{Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi) * Br(\phi \rightarrow K^+ K^-)} \frac{eff_{Lb J\psi p K^-}}{eff_{Bs J\psi p K^-}}$$

Если брать значения из таблицы, то получается:

$$Fr_{\Lambda_b} = (2.13 \pm 0.26)\%$$

Variable	Value
f_s/f_d	0.259 ± 0.015 PDG 2018
$Br(Bs \rightarrow J/\psi \phi)$	$(1.08 \pm 0.08) * 10^{-3}$ PDG 2018
$Br(Bd \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-)_{tot}$	$(1.079 \pm 0.0011) * 10^{-3}$ PDG 2018
$N_{\Lambda_b LHCb}$	15581 LHCb
$N_{bd LHCb}$	97506 LHCb
S-волна	0.157 ± 0.008 PDG 2018
$Br(\phi \rightarrow K^+ K^-)$	0.492 ± 0.005 PDG 2018
$eff_{Lb J/\psi p K^-}$	0.002090 ± 0.000152 MC 2017
$eff_{Bs J/\psi \phi}$	0.090300 ± 0.000704 MC 2017