

Системы мониторинга триггера В-физики в эксперименте ATLAS Большого адронного коллайдера

О. В. Мешков^{1,2*}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН. Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53
(Статья поступила 18.02.2019; Подписана в печать 21.02.2019)

Раздел В-физики в эксперименте ATLAS ставит задачей исследование адронов, в состав которых входят b -кварки, или b -адроны. Для того, чтобы уменьшить поток данных используется триггерная система отбора событий. Триггер В-физики отбирает события с двумя мюонами с противоположными электрическими зарядами и пороговыми значениями поперечных импульсов 4 или 6 ГэВ. Он реализован с помощью программных алгоритмов, включенных в триггер высокого уровня. Для поддержания правильной работы триггера В-физики используется мониторинг. Существует два вида мониторинга триггера В-физики: оффлайн и онлайн мониторинг.

PACS: 07.05.Hd, 07.05.Ki

УДК: 539.1.07

Ключевые слова: В-физика, триггер, ATLAS, БАК, триггер В-физики

ВВЕДЕНИЕ

Детектор ATLAS Большого адронного коллайдера (БАК) [1] — это детектор общего назначения, важнейшими задачами которого является исследование свойств бозона Хиггса и поиска эффектов новой физики. Детектор ATLAS состоит из магнитной системы, внутреннего детектора, который измеряет координаты вершины взаимодействий и в котором регистрируются треки частиц, двух калориметров (адронного и электромагнитного) и мюонного спектрометра. Для косвенного наблюдения эффектов новой физики проводятся исследования процессов рождения и распада адронов, содержащих тяжелые b и c -кварки (В-физика).

В программу В-физики эксперимента ATLAS входят [2]: прецизионные измерения (редкие распады и свойства распадов b -адронов), исследование рождения тяжелых адронов со скрытым ароматом (кварконий) и спектроскопия (новые состояния и моды распадов).

ATLAS работает с большими потоками данных, соответствующих 10^9 соударений протонов в секунду. Только некоторые из этих событий содержат интересную информацию, которая может привести к более глубокой проверке Стандартной модели и наблюдению новой физики. Для того, чтобы уменьшить поток данных, используется триггерная система отбора событий.

Во время первого сеанса работы (Run-1) [3] триггер имел трехуровневую систему. Триггер первого уровня (Level-1, L1) работает с информацией от калориметра и мюонных детекторов и выполнен на аппаратном уровне, а последующие триггер второго уровня (Level-2, L2) и фильтр событий (Event Filter, EF) используют программные алгоритмы. Каждый триггер следующе-

го уровня производит дополнительный отсев событий, прошедший отбор на предыдущем.

Во втором сеансе работы (Run-2) [4, 5] при увеличенной светимости до $1.7 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и энергии соударений до 13 ТэВ триггер претерпел существенные изменения. Появилась информация с дополнительного слоя пиксельных детекторов IBL. Были объединены программные уровни L2 и EF в триггер высокого уровня (High-Level Trigger, HLT). Благодаря этому появилась возможность динамического конфигурирования распределения ресурсов между ними. Описанное усовершенствование позволило достичь существенного сокращения потоков событий, значительно возрастающих в сеансе Run-2, а именно с 40 МГц до 1 кГц. Схема триггера детектора ATLAS для Run-2 изображена на рис. 1. Для отбора событий с b -адронами используется триггер В-физики.

1. ТРИГГЕР В-ФИЗИКИ

Сечения рождения b -адронов при энергиях БАК относительно велики и составляют порядка 500 мкб. Для того, чтобы уменьшить поток данных, используется триггер В-физики. Для изучения b -адронов используются димюонные триггеры, т.е. два мюона с противоположными электрическими зарядами и пороговыми значениями для поперечных импульсов 4 или 6 ГэВ.

Триггер В-физики [7, 8] реализован с помощью программных алгоритмов, включенных в триггер высокого уровня. На первом уровне триггера проводится идентификация мюонов и определение их поперечных импульсов. На программном уровне в триггере высокого уровня определяется их инвариантная масса $m_{\mu\mu}$, координаты вершины их рождения, прицельные параметры треков и др. Эти параметры используются в специальных алгоритмах выделения событий. По величине инвариантной массы мюонов выделяются три ти-

*E-mail: ov.meshkov@physics.msu.ru

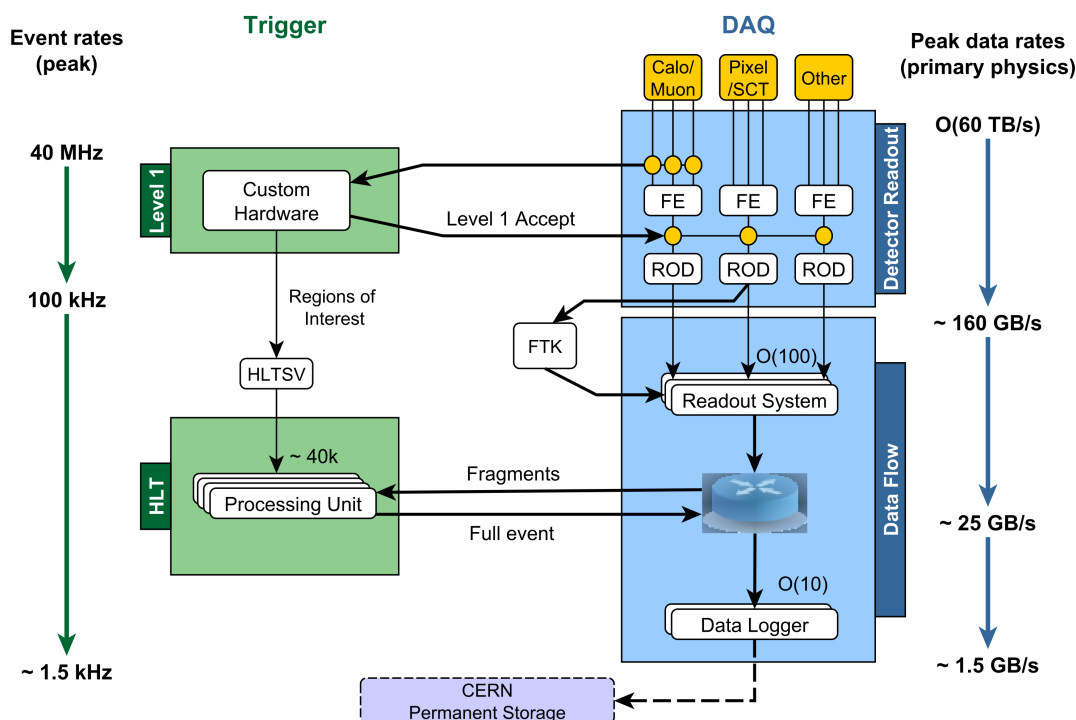


Рис. 1: Схема функционирования триггера и система съема данных ATLAS в сеансе Run-2 [6]

па алгоритмов: для распадов J/ψ и $\psi(2S)$ со значениями $m_{\mu\mu}$ в интервале 2.5–4.3 ГэВ, для редких распадов со значениями $m_{\mu\mu}$ в интервале 4–8.5 ГэВ, для сигналов $\Upsilon(nS)$ со значениями $m_{\mu\mu}$ в интервале 8–12 ГэВ. Для триггера распадов $B \rightarrow \mu\mu X$ в широком интервале $m_{\mu\mu}$ 1.5–14 ГэВ применяются специальные триггеры для отбора событий типа: $B_0 \rightarrow \mu\mu K^{*0}$, $B_s^0 \rightarrow \mu\mu\phi$, $B_c^+ \rightarrow \mu\mu D_s^{*+}(K^+K^-\pi^+)$. Для триггерного алгоритма распадов $B \rightarrow \mu\mu X$ используется информация калориметра. Распределение инвариантных масс $m_{\mu\mu}$ в конце 2017 г. при 13 ТэВ для каждого из алгоритмов триггера В-физики показана на рис. 2. Задачи триггера В-физики включают: определение эффективности димюонных триггеров, влияние высокого уровня наложения событий (pileup) на эффективность отбора событий, мониторинг времени жизни и величины массы B^+ -мезона, разработку нового алгоритма триггера для отбора распадов $B \rightarrow K^*ee$, исследование использования дополнительного быстрого трека (FTK) в $B \rightarrow \mu\mu X$ и усовершенствование мониторинга В-триггера.

2. МОНИТОРИНГ ТРИГГЕРА В-ФИЗИКИ

Для поддержания правильной работы триггера В-физики используется процедура мониторинга. Монито-

ринг осуществляется во всем диапазоне инвариантных масс $m_{\mu\mu}$ от 1.5 ГэВ до 14 ГэВ. Существует два вида мониторинга триггера В-физики: оффлайн и онлайн мониторинг. Аналитические данные в режиме реального времени такие, как количество ядер центрального процессора (ЦП), доступные для принятия новых событий и среднее время обработки событий, а также гистограммы некоторых физических переменных доступны в режиме онлайн мониторинга. Для более подробной информации об использовании ресурсов в триггере используется оффлайн мониторинг. Гистограммы для этого вида мониторинга создаются после реконструкции всех событий с детектора ATLAS. С помощью гистограмм оффлайн мониторинга можно оценить распределения прицельных параметров треков, координат вершины рождения В-адрона, псевдобыстроты η , азимутального угла ϕ , поперечного импульса p_T , как для отдельного мюона, так и для всего кандидата в В-адрон и др. Всего заполняется порядка 300 гистограмм и проверяется соответствие заданным распределениям. Активно ведется работа по поддержке и совершенствованию средств мониторинга триггера В-физики. Добавляются новые гистограммы для параметров событий, ведется проверка функциональности алгоритмов.

Использование ресурсов ЦП [9] для всех цепочек, которые присвоены физическим группам, показано на

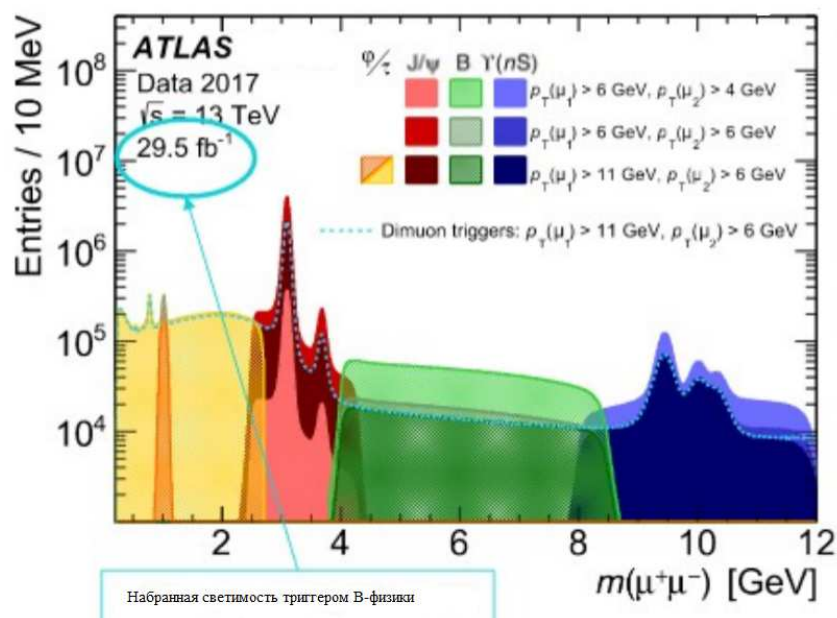


Рис. 2: Распределение инвариантных масс $m_{\mu\mu}$ в конце 2017 г. при 13 ТэВ для каждого из алгоритмов триггера В-физики

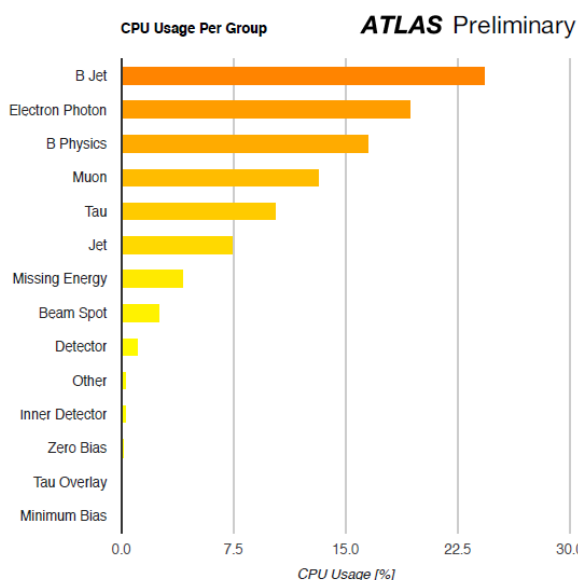


Рис. 3: Использование ресурсов ЦП для всех физических групп в триггера высокого уровня [5]

рис. 3 для онлайн мониторинга. Общие доступные ресурсы, в общей сложности 40% из 40 000 ядер ЦП использовались при обработке входных сигналов 64 кГц событий от триггера первого уровня. В данном случае для В-физики используется 15–16% от общего числа ядер ЦП. Пример распределения времени на событие полученный для двух алгоритмов, используемых в ATLAS, показан на рис. 4. Зеленая линия — это распределение времени для выделения топологическо-

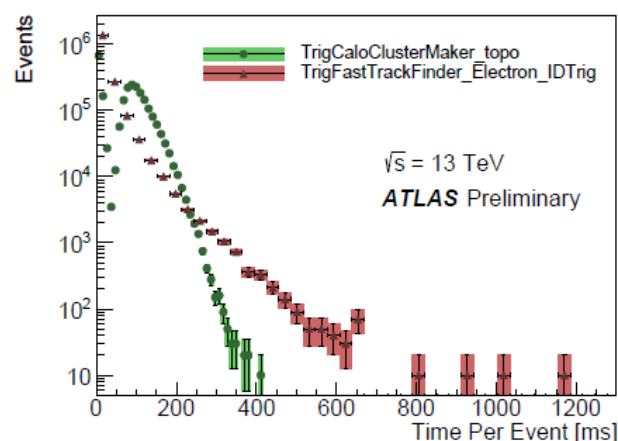


Рис. 4: Распределения времени на событие для двух алгоритмов, используемых в ATLAS. Зеленая линия — это данные топологического кластера в калориметре, а красная линия — реконструкцию трека электрона во внутреннем детекторе [5]

го кластера в калориметре, а красная линия — время на реконструкцию трека электрона во внутреннем детекторе. Эти данные собраны в мониторинге при светимости $1 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Топологические кластер может быть запущен в области интереса триггера (ROI) или при полном сканировании детектора, поэтому на графике можно заметить две области с разным поведением от времени.

Данные оффлайн мониторинга можно увидеть в Веб Дисплее (Web Display). Все гистограммы для каждого алгоритма находятся в папках с кратким названием ал-

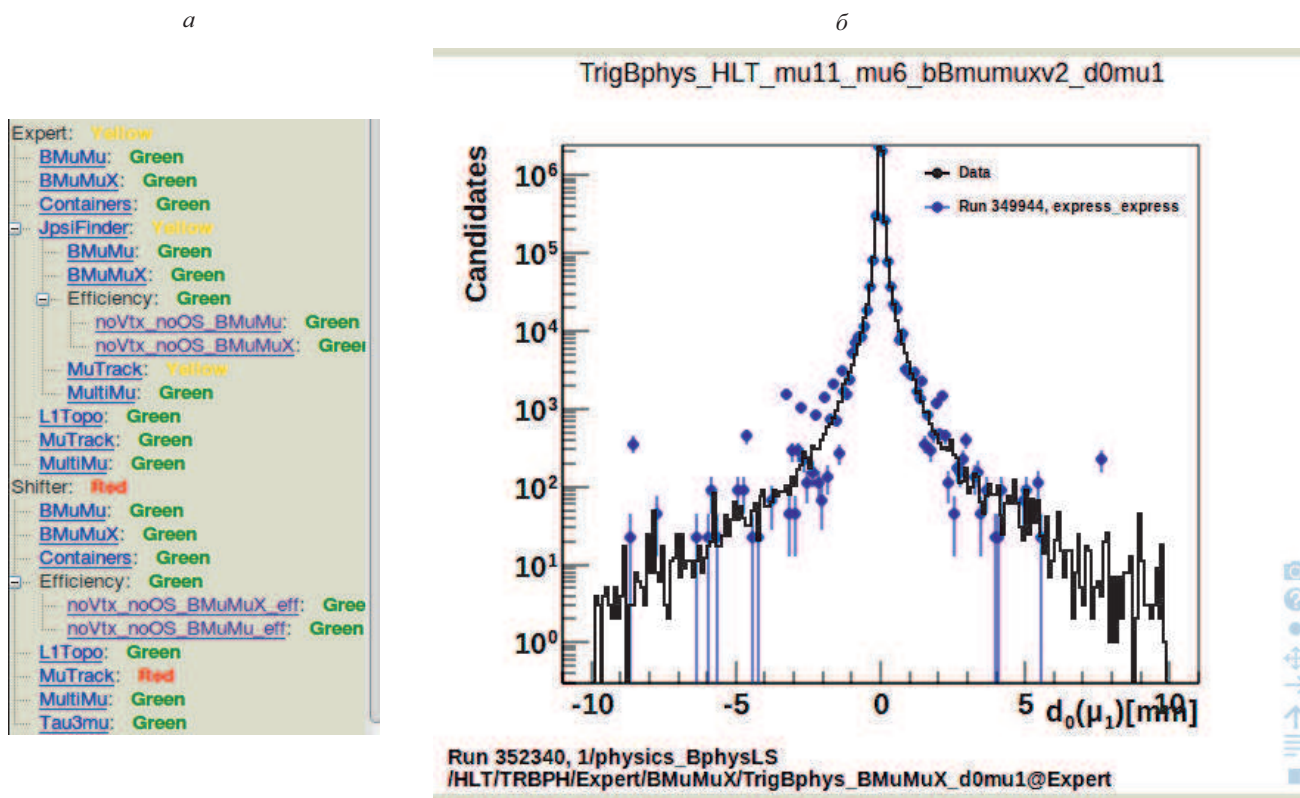


Рис. 5: Общий вид папок Веб Дисплея для триггера В-физики (а). Гистограмма для прицельного параметра d_0 для алгоритма $B \rightarrow \mu\mu X$ (bmtmuh) (b). Синие точки — график для d_0 с предыдущего запуска

горитма. Общий вид папок Веб Дисплея для триггера В-физики показан на рис. 5,а. При заполнении гистограмм в этом дисплее используется два теста: сравнение с предыдущим запуском и заполнение гистограмм. Если хотя бы один из этих тестов, не выполняется, то гистограмма будет отмечена красным цветом. На рис. 5,б показан пример гистограммы для прицельного параметра d_0 для алгоритма $B \rightarrow \mu\mu X$ (bmtmuh), график для d_0 с предыдущего запуска изображен синими точками.

3. ПОТОКИ СОБЫТИЙ ТРИГГЕРА В-ФИЗИКИ

Количество событий, которое получают в триггере высокого уровня соответствует примерно 1 кГц. Из них для В-физики в 2017 г. было набрано 144 Гц, для единичных мюонов — 132 Гц, для единичных мюонов — 194 Гц, b-струй — 146 Гц и другие области физики. На рис. 6 показана диаграмма распределения набранных данных по каждому из потоков для триггера высокого уровня. Представлены поток для основной физики (Main physics), содержащий все триггеры для физических анализов; поток В-физики и легких состояний (B-physics and LS), содержащий триггеры, специфические для анализов В-физики; экспресс-поток для мониторинга качества данных (express stream); поток для

анализа триггера и потоки калибровки детектора. Доля В-физики составляет 7.3%.

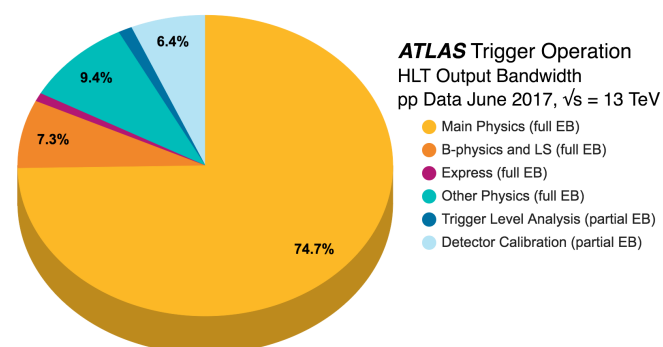


Рис. 6: Диаграмма распределения набранных данных по каждому из потоков для триггера высокого уровня (<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/TriggerOperationPublicResults>)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система мониторинга триггера В-физики выполняет важные задачи во время сбора данных. Онлайн мониторинг преимущественно контролирует состояние вы-

числительных систем ATLAS и алгоритмы отбора событий, которые реализованы на уровне электроники. Оффлайн мониторинг В-физики отслеживает физические параметры частиц и событий, осуществляет за-

полнение около 300 гистограмм физических переменных. Автором было произведено усовершенствование заполнения примерно 30% гистограмм для оффлайн мониторинга.

-
- | | |
|---|---|
| [1] <i>ATLAS Collaboration</i> JINST. 2008. 3 . S08003. | [6] <i>Panduro Vazquez W., ATLAS Collaboration</i> ATL-DAQ-PROC-2017-007. 2017 3 . |
| [2] <i>ATLAS Collaboration</i> ATLAS-TDR-023. 2013. | [7] <i>ATLAS Collaboration</i> ATL-DAQ-PUB-2018-002. 2018 2 . |
| [3] <i>Smirnova L. N., Turchikhin S. M.</i> Phys. Part. Nucl. 2017. 48 . P. 801. | [8] <i>ATLAS Collaboration</i> ATL-DAQ-PUB-2017-001. 2017 1 . |
| [4] <i>ATLAS Collaboration</i> JINST. 2016. 11 . P06008. | [9] <i>ATLAS Collaboration</i> ATL-DAQ-PUB-2016-002. 2016 2 . |
| [5] <i>ATLAS Collaboration</i> Eur. Phys. J. C. 2017. 77 . P. 317 | |

B-physics trigger monitoring systems in the ATLAS experiment of the Large Hadron Collider

O. V. Meshkov^{1,2,a}

¹*Department of General Nuclear Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

²*P.N.Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow 119991, Russia*

E-mail: ^aov.meshkov@physics.msu.ru

The task of B-physics in the ATLAS experiment is the study of hadrons, which include b-quarks, or b-hadrons. For decreasing the events rates are using a trigger system for selecting events. B-physics trigger selects events from two muons with opposite electric charges and threshold values of transverse momentum of 4 or 6 GeV. It is implemented via software algorithms included in the high level trigger (HLT). Monitoring is used to maintain proper operation of the B-physics trigger. There are two types of B-physics trigger monitoring : offline and online monitoring.

PACS: 07.05.Hd, 07.05.Kf.

Keywords: B-physics, trigger, ATLAS, LHC, B-physics trigger.

Received 18 February 2019.

Сведения об авторе

Мешков Олег Васильевич — аспирант; e-mail: ov.meshkov@physics.msu.ru.
