

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛИНЫ ПРОБЕГА ТЯЖЕЛЫХ АДРОНОВ В ТРИГГЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS

А. А. Прохоров

Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: andarpro@mail.ru

Триггер детектора ATLAS - это система цифровой электроники, которая осуществляет отбор событий в реальном времени набора данных. Триггер имеет двухуровневую структуру, состоящую из триггера первого уровня (Level-1, L1), выполненного на аппаратном уровне, и триггера высокого уровня (High-Level Trigger, HLT), представляющего собой программные алгоритмы, выполняемые на вычислительных фермах. На основе алгоритмов HLT осуществляет дополнительный отбор событий, прошедших отбор триггера L1. Общая схема работы триггера в сеансе Run 2 эксперимента ATLAS представлена на рис.1. Так как триггер в реальном времени производит отбор событий, то пропускная способность каналов записи данных оказывается ограниченной, что ставит задачу уменьшения потоков данных без ощутимой потери информации изучаемых распадов. Подробнее о работе триггера можно найти в [1].

Триггер первого уровня получает информацию с калориметров и мюонного спектрометра. В триггере L1 происходит отбор сигнатур, характерных для тех или иных физических процессов: мюонов, адронных струй, электронов и фотонов, τ -лептонов, распадающихся по адронным каналам, а также свойств, определяемых по суммарным характеристикам событий - большая полная поперечная энергия и упущенная поперечная энергия. Триггер первого уровня снижает частоту отбираемых событий с 40 МГц до 100 кГц.

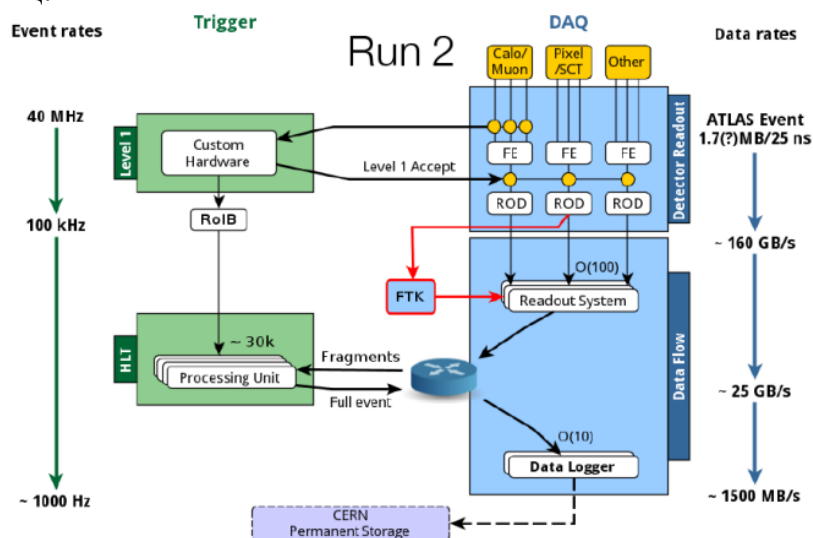


Рисунок 1: Схема работы триггера и системы съема данных ATLAS в Run 2 [2]

Информация о событиях, прошедших отбор L1, поступает в систему считывания (Readout System). Для каждой сигнатуры, найденной триггером первого уровня, происходит построение так называемой области интереса (Region of Interest, RoI) - области детектора, определяемой диапазонами координат η и ϕ , вокруг зарегистрированного объекта, которая затем анализируется в триггере HLT, использующем прецизионную информацию со всех подсистем детектора.

Триггер HLT - многопроцессорная ферма, на которой выполняются программные алгоритмы отбора событий. Процессоры получают из системы считывания информацию со всех детекторов о треках, попадающих внутрь RoI, построенных с помощью L1. В триггере происходит реконструкция треков внутри RoI и отбор событий по дополнительным критериям. В результате поток событий снижается со 100 кГц до 1 кГц.

Общая конфигурация триггера ATLAS задается с помощью триггерного меню - набора триггерных цепочек. Каждая цепочка представляет собой последовательность из набора сигнатур L1 и последовательности алгоритмов, выполняемых в HLT и отвечает за отбор событий определенной инклюзивной реакции. В названии каждой цепочки отражены основные критерии проводимого отбора. Например, цепочки $2\mu_{4_Jpsimumu}$ производит отбор двух треков мюонов с поперечным импульсом больше 4 ГэВ, которые сводятся в общую вершину и образуют частицу с массой, лежащую в диапазоне масс, соответствующих массе кваркония J/ψ . Для триггерных цепочек может применяться процедура деления частоты. Это означает, что только 1 из N событий, прошедших отбор в триггере, сохраняется для дальнейшего анализа. Такой процесс применяется в случае, если поток выходных данных триггерной цепочки превышает предельно допустимые нормы считывающих каналов, что приводит к уменьшению сигнальных событий.

Исследование редких распадов В-мезонов для поиска проявлений Новой Физики является одним из основных направлений программы В-физики детектора ATLAS. Также в нее входят исследования физики тяжелых ароматов, включая измерения сечений рождения, свойств распадов и спектроскопию состояний, содержащих тяжелые кварки [3]. Отбор данных для изучения таких процессов основан на использовании триггера В-физики.

Основной тип алгоритмов триггера В-физики, использовавшийся большую часть сеанса Run 1, а также применяющийся на данный момент в сеансе Run 2, опирается на выделение пары мюонов в двух RoI, идентифицированных в триггере первого уровня, которые затем реконструируются в триггере HLT. Триггерные цепочки, основанные на таких алгоритмах, называются димюонными триггерами В-физики. Отбор направлен на выделение сигналов распадов тяжелых адронов с двумя мюонами в конечном состоянии и подавление событий с парами несвязанных между собой мюонов. Помимо димюонных алгоритмов используются также алгоритмы отбора полуплептонных распадов $B \rightarrow \mu^+ \mu^- X$.

Как уже было сказано выше, так как пропускная способность системы считывания данных ограничена, то задача триггера состоит в эффективном отборе сигнальных событий. Алгоритмы $B \rightarrow \mu^+ \mu^- X$ направлены на отбор редких распадов b-адронов и дают оптимальные потоки событий для каналов записи данных, в отличие от димьюонных алгоритмов, которые отбирают большее количество событий. На рис.2 представлены потоки событий в димьюонных триггерах HLT B-физики как функции светимости при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ.

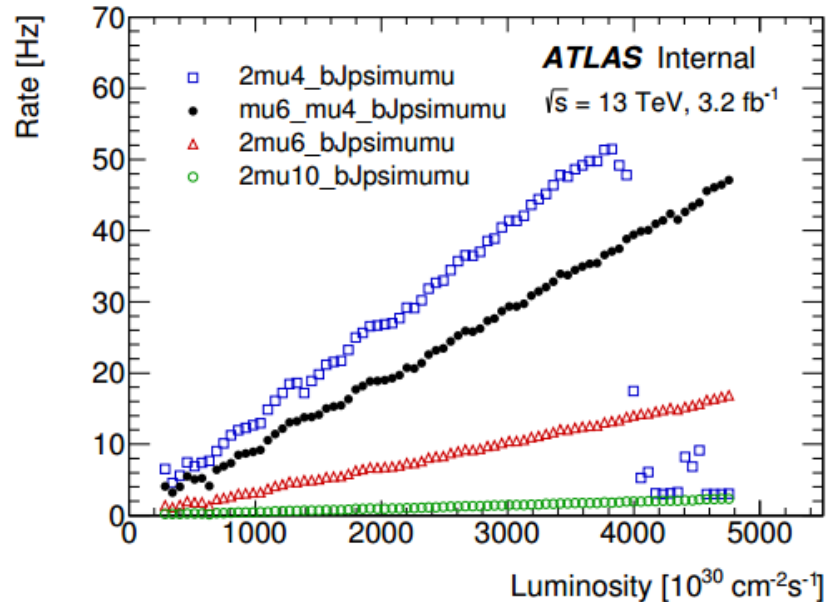


Рисунок 2: Потоки событий триггеров HLT B-физики как функции светимости

Из графика видно, что при светимостях порядка $L = 0.4 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$, частота событий для триггера 2mu4_Jpsimumu составляет около 50 Гц, что соответствует предельной частоте, отводимой на этот канал записи данных. При повышении светимости до $L = 1.2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$, что соответствует светимости, предполагаемой в 2016 году, поток событий будет втрое больше. Если стоит задача сохранить тот же порог для мюонов по поперечному импульсу $p_T > 4 \text{ ГэВ}$ без большой потери сигнальных событий, т.е. без введения коэффициентов деления частоты, то необходимо вводить новые критерии отбора событий в алгоритмы HLT.

Одним из таких критериев отбора событий при регистрации распадов тяжелых адронов может служить величина поперечного пробега этих адронов, L_{xy} .

Возможность использования данного параметра в HLT и исследование эффективности регистрации сигнальных событий были проведены для димьюонной триггерной цепочки 2mu4_Jpsimumu с помощью модельных данных при энергии pp-столкновений $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, полученных методом Монте-Карло с помощью генератора событий PYTHIA.

В качестве сигнальных событий для данной триггерной цепочки 2mu4_Jpsimumu рассматривались инклюзивные процессы рождения кваркония J/ψ при распаде b-кварков $b\bar{b} \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+ \mu^-) X$. Основной фон

для регистрации таких событий составляют процессы прямого рождения кваркония J/ψ в pp-столкновениях $pp \rightarrow J/\psi X$ и полуплептонные распады обоих b-кварков рожденной пары $b\bar{b} \rightarrow \mu^+\mu^- X$ без образования J/ψ в промежуточном состоянии.

На рис.3 представлены нормированные на сечения процессов распределения реконструированных в HLT длин пробегов для трех указанных типов процессов.

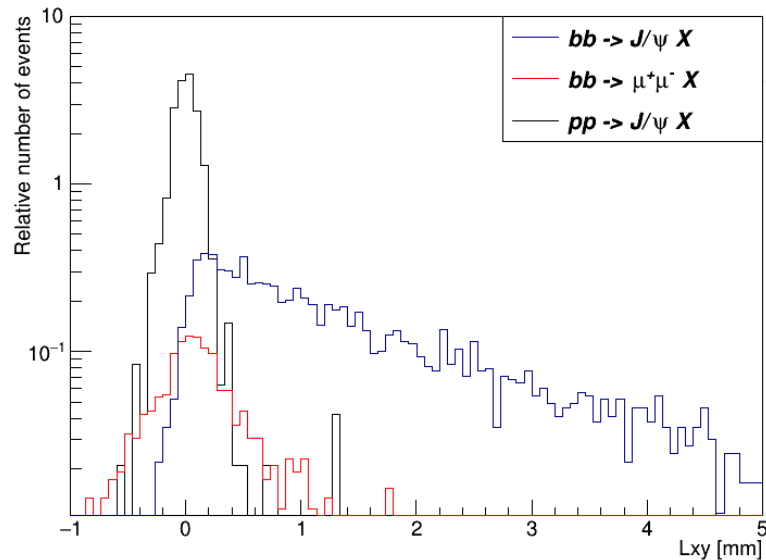


Рисунок 3: Реконструированные длины пробегов тяжелых адронов:
 $b\bar{b} \rightarrow J/\psi X$ - сигнальные события для триггера 2mu4_Jpsimumu,
 $b\bar{b} \rightarrow \mu^+\mu^- X$ - фоновые события от несвязанных пар мюонов,
 $pp \rightarrow J/\psi X$ - фоновые события от процессов прямого рождения J/ψ .

Полученные распределения показывают, что для триггерной цепочки 2mu4_Jpsimumu фоновые события, в отличие от сигнальных, вносят весь вклад в областях с небольшим поперечным пробегом $L_{xy} < 0.6$ мм, а значит длина пробега тяжелых адронов может служить эффективным критерием отбора для подавления фоновых событий при регистрации распадов $b\bar{b} \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+\mu^-) X$.

На основе полученных распределений была исследована эффективность работы триггерной цепочки 2mu4_Jpsimumu. В таблице 1 приведены значения коэффициентов E (эффективность, которая определяется как отношение сигнальных событий при условии $L_{xy} > a$ ко всем сигнальным событиям) и R (коэффициент снижения потока событий, который определяется как отношение всех событий к событиям, прошедшим отбор $L_{xy} > a$) при условии $L_{xy} > 0$, которое применяется во всех триггерах В-физики, а также при фиксированных значениях E или R, так как различные критерии отбора подбираются под определенное значение эффективности или коэффициента снижения общего потока событий.

Таблица 1: Коэффициенты эффективности отбора распадов $b\bar{b} \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-) X$ (E) и снижения потока событий (R) в зависимости от ограничений на длины пробега тяжелых адронов.

$L_{xy}, \text{мм}$	E, %	R
0	97	1.5
0.07	94	2
0.2	87	3
0.55	70	4

Из полученных результатов (табл. 1) следует что ограничение $L_{xy} > 0.2$ мм на поперечное смещение тяжелых адронов позволяет сократить частоту потока событий втрое, т.е. до оптимальных значений, позволяющих функционировать триггерной цепочке `2mu4_Jpsimumu` без введения коэффициентов деления частоты или увеличения порога на поперечные импульсы мюонов. При этом эффективность уменьшается на 10%, что слабо повлияет на набор статистических данных при возросших светимостях в сеансе Run 2.

Таким образом, поперечная длина пробега тяжелых адронов является эффективным критерием отбора для подавления фоновых событий, а ограничение $L_{xy} > 0.2$ мм может использоваться в триггерной цепочке `2mu4_Jpsimumu` для оптимизации отбора данных при светимостях, планируемых в 2016 году. Полученные алгоритмы реконструкции пробегов тяжелых адронов вHLT для димюонной триггерной цепочки `2mu4_Jpsimumu` могут применяться для любых димюонных триггеров.

1. ATLAS Collaboration, Performance of the ATLAS Trigger System in 2010, arXiv:1110.1530v2 (2011)
2. С.М. Турчихин Распады B_c^+ мезона и поиск редкого распада $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ в эксперименте ATLAS (2016)
3. ATLAS Collaboration, The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider, JINST 3 (2008) S08003

Аннотация.

Триггер детектора ATLAS - это система цифровой электроники, осуществляющая отбор событий в реальном времени набора данных. Важность триггера заключается в том, что он обрабатывает информацию со всех детекторов эксперимента ATLAS и производит реконструкцию событий, записывая всю кинематическую информацию реконструированных процессов. Но так как процесс реконструкции осуществляется в реальном времени, то пропускная способность системы съема данных ограничена, а значит одна из основных задач триггера - это снижение потоков отбираемых событий. При светимостях 2016 года не все алгоритмы, используемые в триггерах позволяют снизить поток событий до оптимальных значений, и для них приходится уменьшать набираемую статистику в разы, отбирая 1 из N событий. Особенно это актуально для димьюонных триггеров, которые отбирают пару мюона с небольшими поперечными импульсами. В данной работе рассматривается возможность использовать новый критерий отбора - поперечная длина пробега тяжелых адронов - для снижения потоков событий в триггерах и исследуется эффективность отбора сигнальных событий в зависимости от этого параметра.