



Введение в системы сбора данных

Триггер

О.Соловьянов (на основе материалов F.Pastore, CERN)

Концепция триггера

➤ Словарь:

- Что-то что запускает процесс или реакцию

➤ Концепция триггера на примере фотокамеры

- Открыть затвор и включить сенсор
- Сфотографировать когда объекты готовы
- Сфокусировать изображение
- Если не хватает света то добавить вспышку
- Если стабилизировано изображение



- ➔ Триггер запускает процесс фотографирования
- ➔ Определяется интересное событие
- ➔ Чувствительность к параметрам
- ➔ Хорошая синхронизация

Цифровой сигнал да/нет (прерывание)

Введение в мир триггера (и понятий...)

- В ФВЭ триггер помогает найти интересующий нас процесс, обычно называемый «событием»
- В экспериментах на коллайдере сгустки частиц (bunches) пересекаются через равные промежутки времени и взаимодействия происходят во время пересечения пучков (**bunch crossings BC**)
- Триггер должен выделить пересечения содержащие события интересные для исследуемых процессов
- Событие идентифицируется номером пересечения пучков



Проблема частоты триггера

colliders	BC length	collision rate
LEP	22 us	45 kHz
Tevatron	396-132 ns	2.5 - 7.6 MHz
LHC	25 ns	40 MHz

Максимальная приемлемая частота ~ 100 Hz

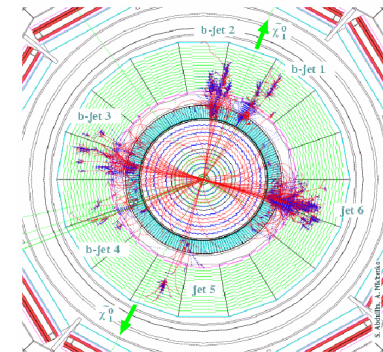
- Даже при небольшой светимости, невозможно записать события от всех взаимодействий
- Большинство взаимодействий «неинтересно» и нет необходимости их все записывать

Триггер работает как фильтр, отбирая только необходимые события

Что мы хотим от триггера?

Задачей триггера является отбор столкновений частиц потенциально содержащих интересующие нас физические процессы

- Требуется высокая точность, поскольку отброшенные события уже не вернуть (надежность)
- Сильное подавление ненужных (фоновых) событий
- Высокая эффективность для определяющих физических событий
- Оба требования не всегда реализуемы одновременно: необходим компромисс между скоростью работы и качеством



Подавление фона (background)

- Подавление фоновых событий уменьшает входную частоту системы сбора данных
 - Сильная связь между триггером и ССД
 - Выходная частота (записи) ограничена скоростью обработки и системой накопления данных.
- Частота фоновых событий очень превышает частоту полезных событий
 - Необходимо определить характеристики позволяющие уверенно подавить фоновые события
- Жизненно необходимо для коллайдерной физики...

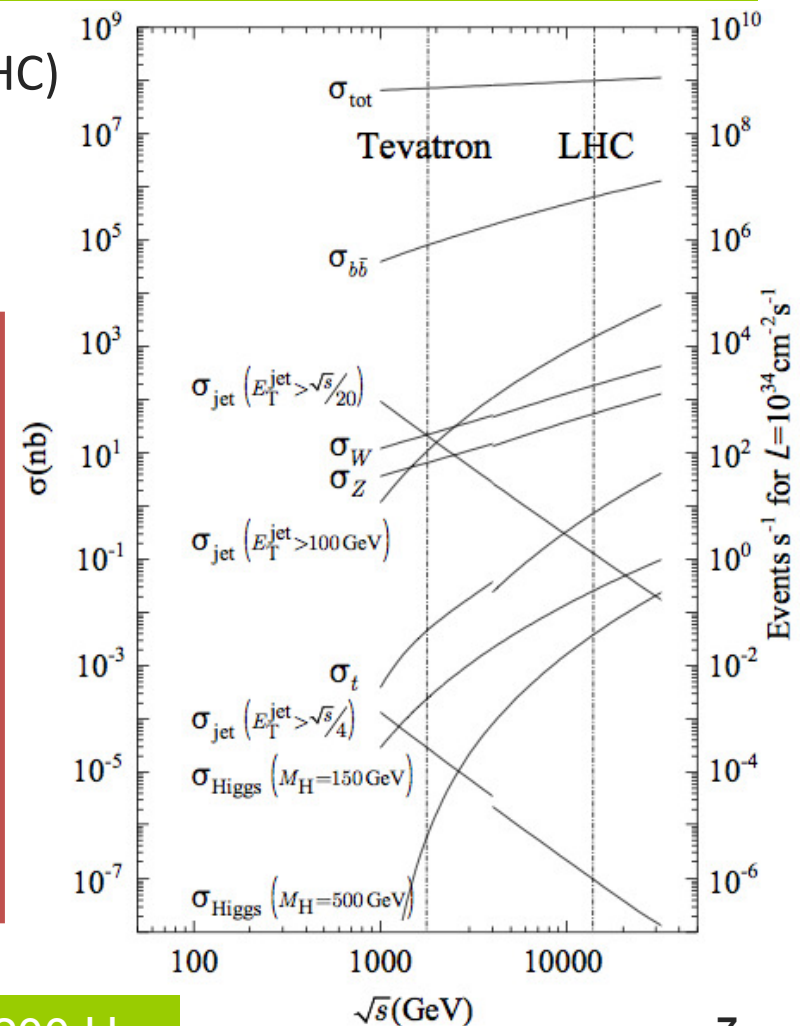
Коллайдерные эксперименты

- Сечения процессов отличаются на порядки величин (10 Tevatron, 12-13 LHC)
 - В столкновениях доминируют фоновые события
 - Необходимо их подавление

Полное сечение pp на LHC $\sqrt{s}=14$ TeV
 ~ 70 mb

Большой разброс величин сечений
 (примеры для планируемой L)

Beauty (0.7 mb)	– 10^3 Hz
W/Z (200/60 nb)	– 100 Hz
Top (0.8 nb)	– 10 Hz
Higgs - 150 GeV (30 pb)	– 0.1 Hz



Триггер должен уменьшить частоту с $\sim \text{GHz}$ to ~ 200 Hz

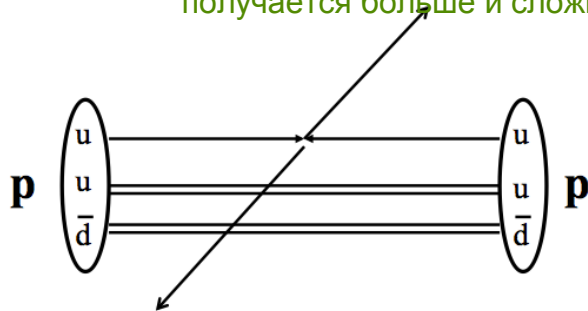
Множественные взаимодействия

➤ e^+e^- коллайдеры: очень маленькая частота взаимодействий (малые сечения), одно событие обычно содержит одно взаимодействие (LEP-HERA)

➤ pp коллайдеры: каждое пересечение пучков дает несколько взаимодействий

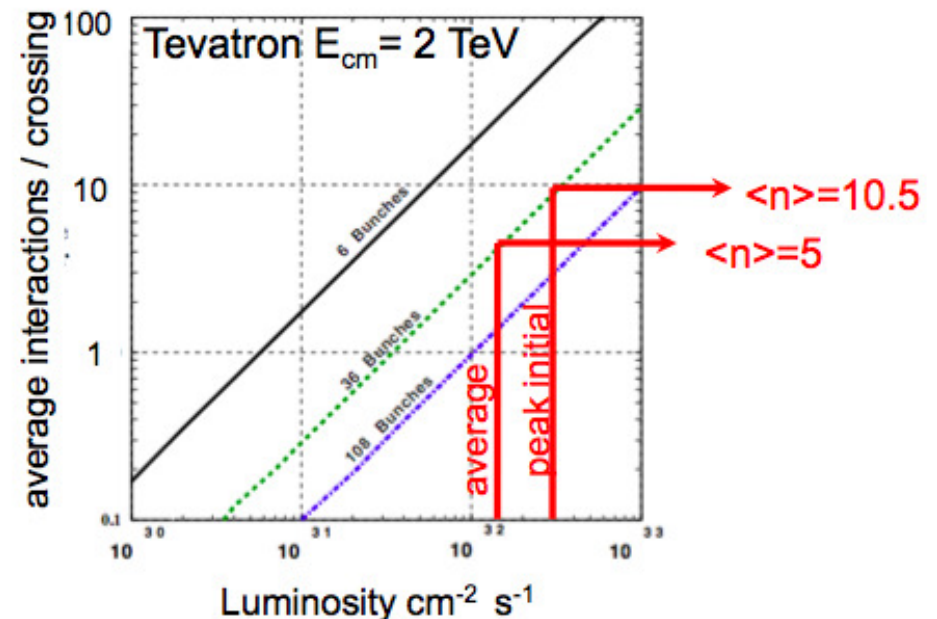
➤ В добавок к интересующим нас взаимодействиям происходит множество «побочных» событий, часто называемых **minimum bias** (то есть выбранных минимально «предвзятым» триггером)

➤ Дополнительные взаимодействия добавляют информацию в детекторах, в результате событие получается больше и сложнее (**pile-up**).



Это дает эффект на:

- размер события, особенно при большом числе каналов
- работу триггера



Светимость

- Важной характеристикой коллайдера является его **светимость**.
- Светимость зависит от количества частиц в каждом пучке и от того, насколько хорошо пучок сфокусирован в точке столкновений.
- Светимость L выражается в $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.
- частота процесса = сечение процесса умноженная на светимость. $R = \sigma * L$
- Например, при проектной светимости LHC, равной $10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, процесс рождения хиггсовского бозона с массой 200 ГэВ, имеющий сечение 20 pb ($= 2 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$), будет происходить со средней частотой один раз в пять секунд.
- Часто используют также **интегральную светимость** (или интеграл светимости), то есть светимость, умноженную на время работы ускорителя.
- Ее выражают в обратных пикобарнах (pb^{-1}) или обратных фемтобарнах (fb^{-1} ; $1 \text{ fb}^{-1} = 1000 \text{ pb}^{-1}$).
- Например, коллайдер со светимостью $10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, проработав в течение «стандартного ускорительного года» (10 миллионов секунд, что примерно равно четырем месяцам), наберет интегральную светимость 100 fb^{-1} .
- Это значит, что какой-нибудь редкий процесс с сечением 1 fb, произойдет за это время примерно 100 раз

<http://elementy.ru/LHC/HEP/measures>

Частота взаимодействий

$$R = \mu \cdot f_{BC} = \sigma_{in} \cdot L$$

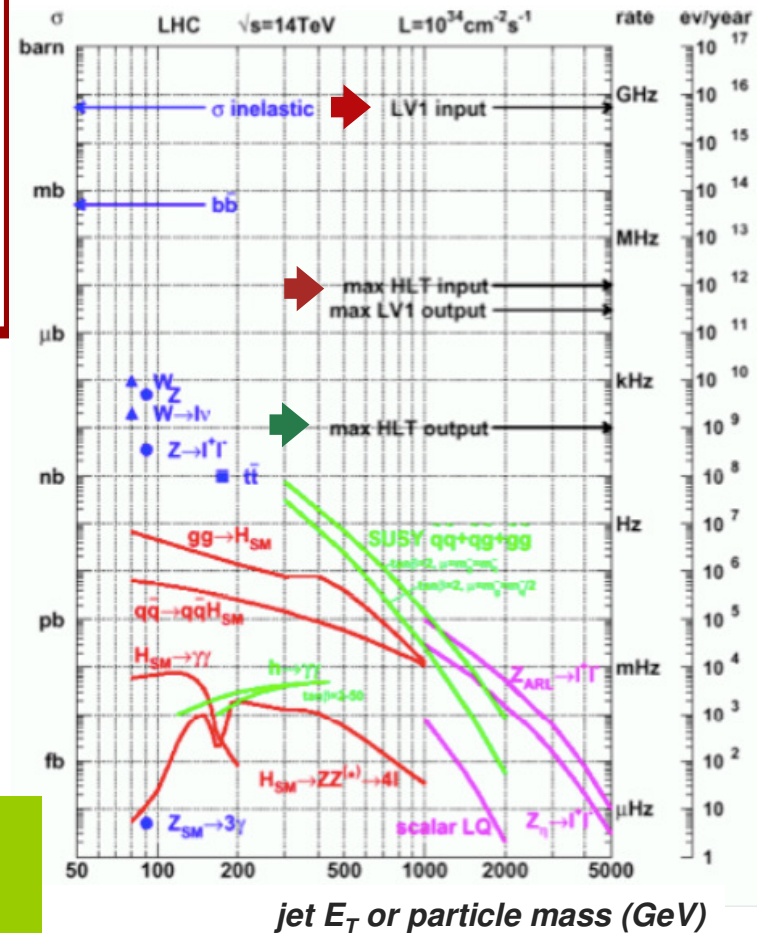
L = светимость

f_{BC} = частота пересечения

μ = среднее число pp взаимодействий на одно пересечение

- LHC: $\sigma_{pp} \sim 70 \text{ mb}$, расчетная $L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- В среднем 25 взаимодействий на пересечение
- Характеристики событий меняются со светимостью, меняется число мюонов, струй, кластеров и т.п., все это необходимо учитывать в триггере

Триггер должен быть достаточно гибким чтобы справиться с изменениями светимости L и частотой фоновых процессов



...еще об адронных коллайдерах

- Многоцелевые эксперименты: триггер должен удовлетворять **обширную физическую программу**
 - Основной канал (Higgs @LHC, top @Tevatron), с прецизионной программой электрослабых взаимодействий
 - Поиск нового
 - КХД
 - В-физика
- **Pile-up** может возникнуть и от ближайших пересечений пучков, если период пересечений меньше времени регистрирования информации в детекторе:
 - Детекторы должны быть быстрее чем частота пересечения
 - Выделение пика сигнала в более медленных детекторах

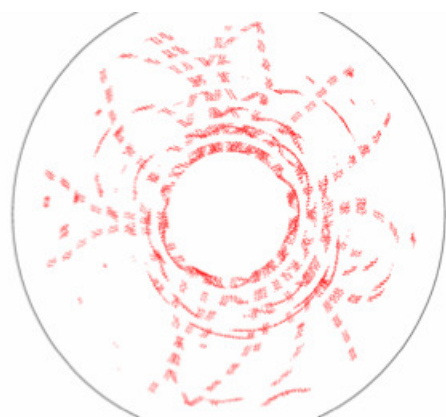
Зависимость частоты от светимости

- Для физического процесса сечение не зависит от светимости
- Частота триггера меняется со светимостью

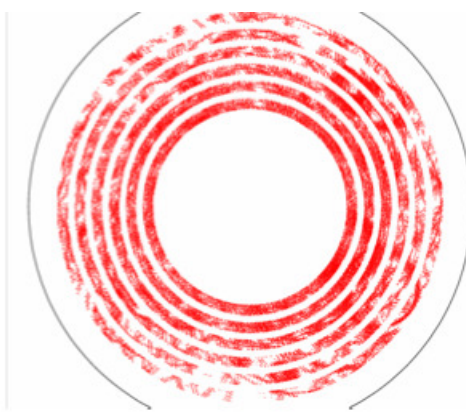
$$R = L\sigma = A + BL + CL^2 + DL^3$$

A = постоянная частота
B = постоянная ширина

- Для хорошего триггера $C \sim D \sim 0$. Высшие степени L из-за:
 - Налагающиеся друг на друга результаты разных столкновений
 - Ухудшение разрешения из-за загрузки детектора



Luminosity ~ 3E31



Luminosity ~ 4E32

Симуляция столкновений
для дрейфовой камеры
эксперимента CDF

Решение: добавить информацию
(провода)

Эффективность и «мертвое» время

- Целью триггера является увеличение числа полезных событий
 - Требуется высокая эффективность
- $\epsilon_{\text{триггера}} = N_{\text{хороших(принятых)}} / N_{\text{хороших(произведенных)}}$
 - Одним из источников неэффективности триггера является «мертвое» время (dead time)
 - Из-за флуктуаций входной частоты система может пропустить интересные события пока она занята вычитыванием данных
 - Буферизация входных данных помогает уменьшить мертвое время
 - Мертвое время возникает если $\langle \text{входная частота} \rangle > 1 / \langle \text{время обработки} \rangle$

Многоуровневый триггер

Для получения высокой эффективности и хорошего подавления фона, триггерную систему делают многоуровневой

L1 = быстрый (μs) ограниченная информация, электронный

L2 = умеренно быстрый (ms), электронный/программный

L3 = программный (на обычных процессорах)

- Первый уровень: Быстрое подавление фона с малым временем решения, на основе специализированной электроники
 - Требуется высокая эффективность но коэффициент выделения может быть небольшим
- Триггер высокого уровня (HLT): большой коэффициент подавления для уменьшения частоты до приемлемой для записи на диск, один или несколько уровней
 - **Последовательное уменьшение** частоты после каждого этапа отбора позволяет использовать более сложные алгоритмы при приемлемой производительности
 - Последние стадии отбора, работающие на компьютерных фермах, могут использовать очень сложные, соответственно медленные, алгоритмы

LHC эксперименты

Exp.	Уровни
ATLAS	3
CMS	2
LHCb	3
ALICE	4

Типы триггеров

- Хотя основная масса отобранных событий делается для физического анализа, триггер также должен отбирать и другие события:

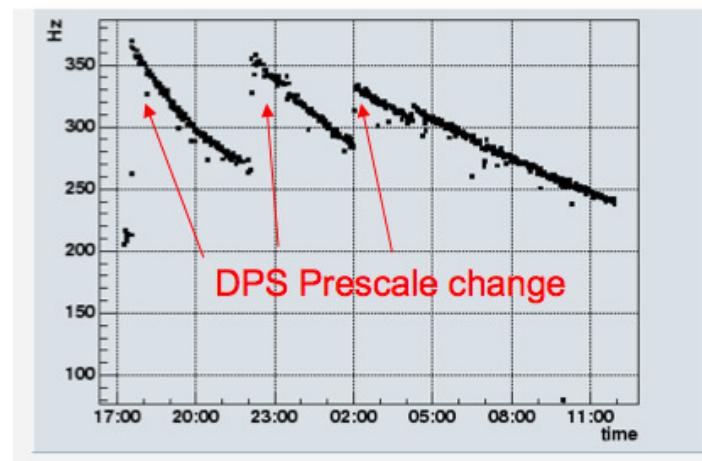
- Для изучения детектора и фонов
- Для измерения эффективности триггера
- Калибровка, и т.п.

- Запасной триггер

- Запасной... но необходимый для большинства физ.анализов
- Может быть отмасштабирован (prescale) в случае большой частоты

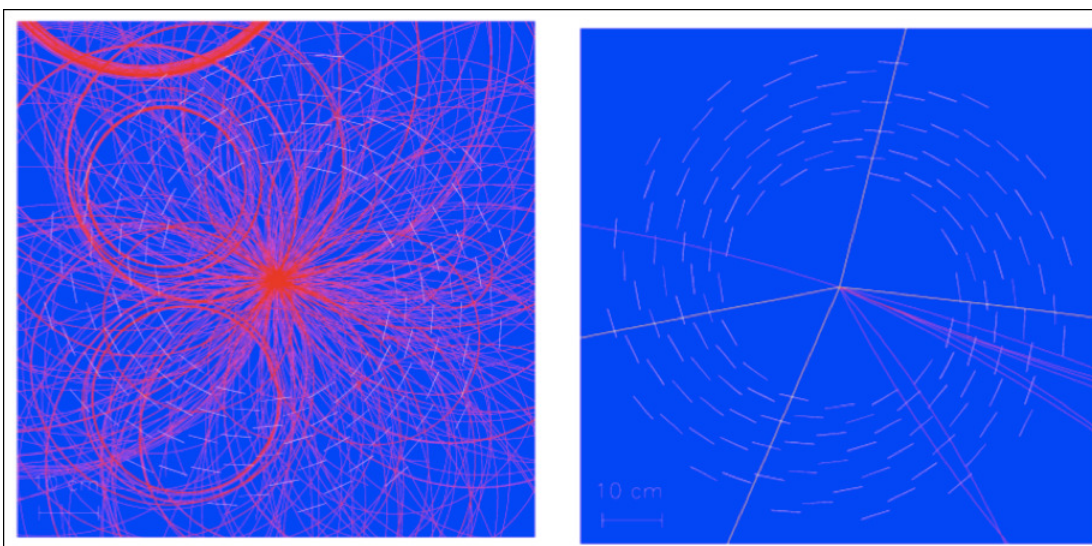
- Масштабированные триггера

- Записывается только некоторая доля N событий удовлетворяющих нужному критерию, где N это так называемый фактор прореживания (prescale). Это полезно для записи триггеров высокой частоты без переполнения системы сбора данных
- Фактор **может меняться** в соответствии с необходимой статистикой
- Поскольку частота триггера может меняться со светимостью, иногда используется динамическое масштабирование (уменьшение факторов с падением светимости)



*Частота триггера L2 CDF
во времени*

Триггерные сигнатуры



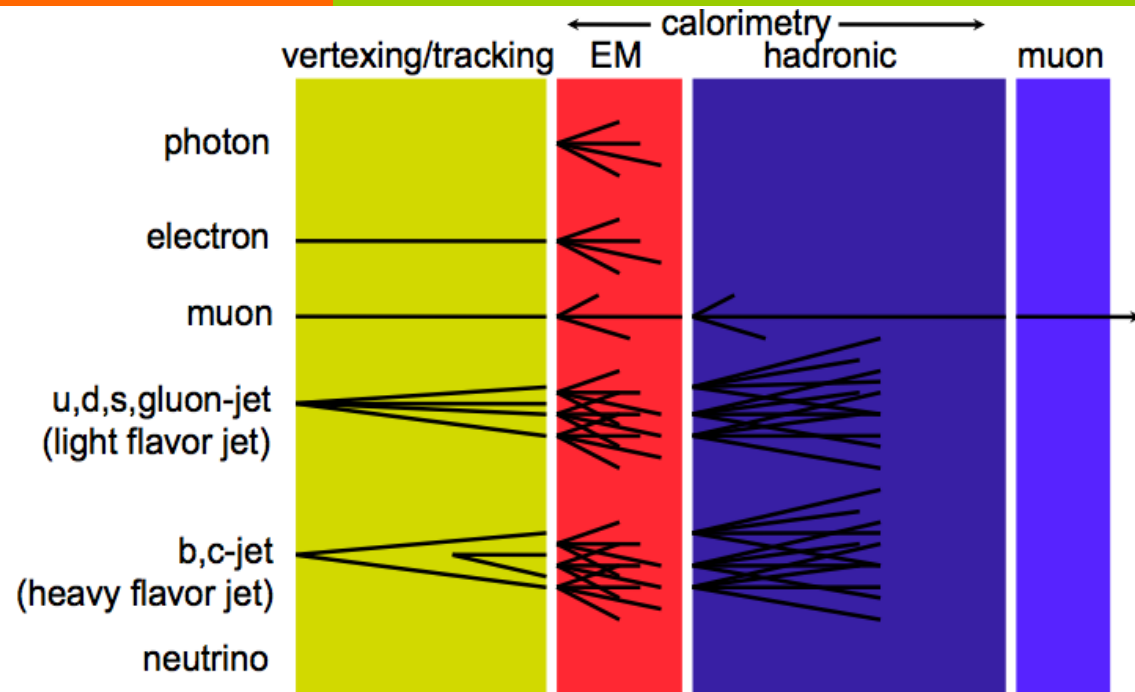
Смоделированное
 $H \rightarrow 4\mu$ событие на
LHC вместе и
без наложенных
событий

- Сигнатура – один или несколько параметров для выделения событий, имеющих потенциальный интерес
- Сигнатура может быть амплитудой сигнала, большей некоего порога, или более сложной величиной выведенной в результате вычислений в программе
 - **вначале стоит использовать наиболее интуитивные решения: быстрые и надежные**
- Далее можно собирать несколько сигналов вместе, следуя некоей логике, дающей избыточность

Критерии отбора

$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$$

pseudorapidity



- Критерии отбора основываются на свойствах одной или пары частиц
 - Мюонные треки, энергия в калориметре, треки в вершинных детекторах
- Детекторы обычно сегментированы в триггере по $\eta-\phi$
- Конечным решением триггера является логическая комбинация (AND, OR) всех или части входных сигналов

Критерии отбора на коллайдерах

- В коллайдерных экспериментах ставят порог на поперечную энергию (E_T) или поперечный импульс (p_T): компоненту энергии или импульса по оси перпендикулярной направлению пучка
- Формы ливней и изоляционные критерии используются для отделения отдельных лептонов от струй
- Также используются глобальные переменные, такие как полная энергия, недостающая энергия (для идентификации нейтрино), и т.д.
- На LHC
 - Большинство процессов интересной физики характерно наличием «жестких» частиц с большим p_T
 - Большинство же частиц фоновых событий являются «мягкими» ($p_T \sim 1 \text{ GeV}$)
 - Большое количество недостающей (missing) E_T может быть знаком новой физики

$$E_T = - \left| \sum_{i=\text{towers}} E_i \cdot \hat{n}_T^i \right|$$

Пример : ATLAS calorimeter trigger

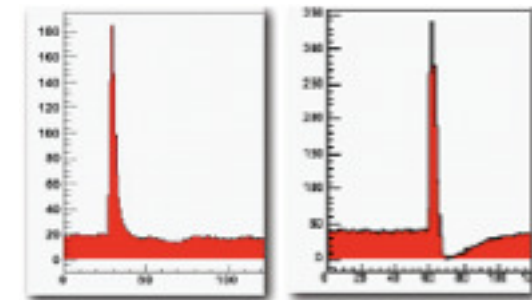
➤ $e, \gamma, \tau, \text{jets}, E_{\text{tmiss}}, \Sigma E_T$

алгоритм кластеризации L1

➤ Комбинации кластерных сумм и изоляционных критериев

➤ L1

➤ Спец.процессоры применяют алгоритмы, используя программируемые пороги E_T
➤ Поиск максимума для идентификации ВС
➤ Метод подвижного окна для поиска кластеров



TileCal and LAr signals at trigger

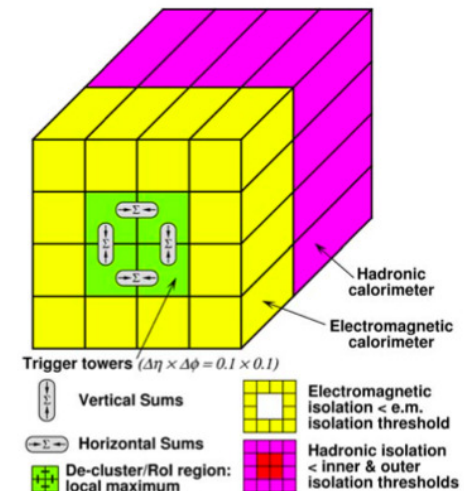
➤ HLT

➤ Больше топологических переменных и трековая информация для электронов из центральных детекторов

➤ Кластеризация «башен» на уровне L2

➤ Струйные алгоритмы на уровне L3

➤ Изоляционный критерий может быть использован для снижения частоты (уменьшение фона для малых порогов по поперечной энергии)



Пример: BaBar

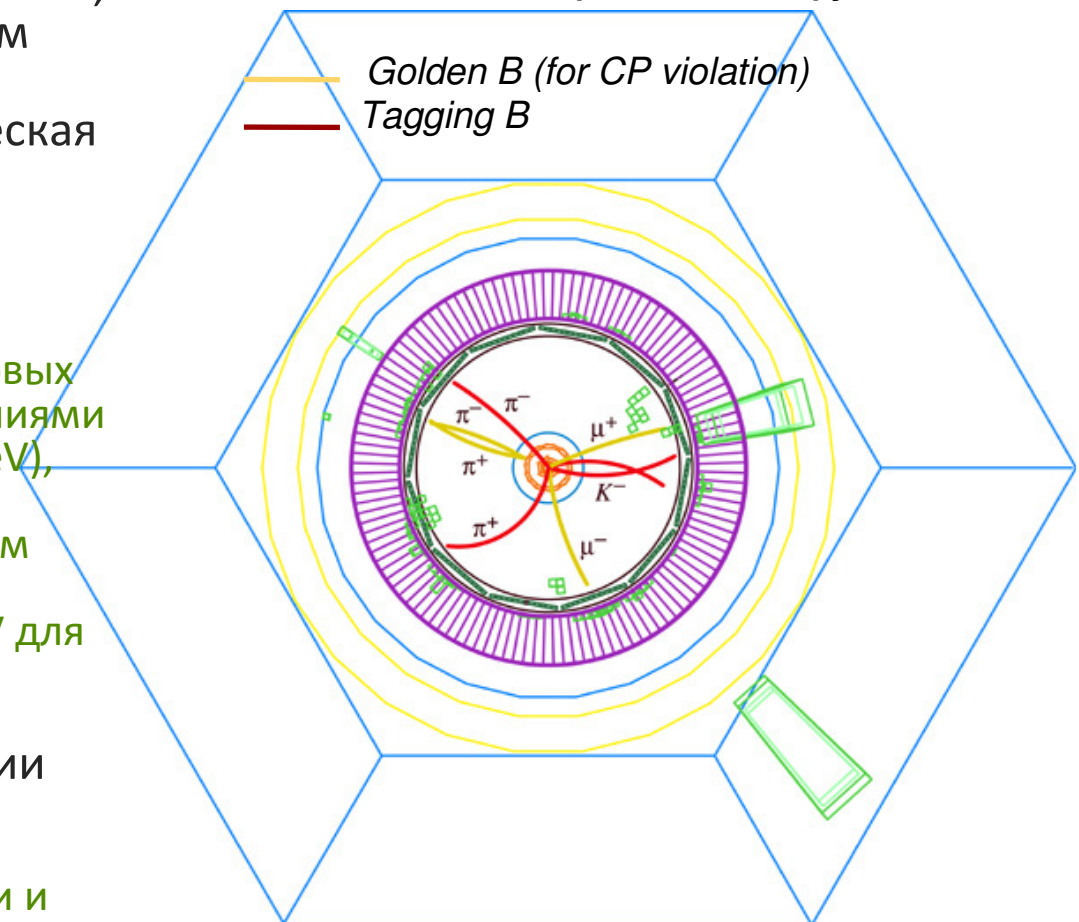
- Для некоторых точных измерений, наиболее важным параметром может быть не сама эффективность, а систематическая ошибка определения эффективности

- Триггерные объекты Babar :
 - Заряженные треки в дрейфовых камерах, с разными обрезаниями по p_T : длинный трек (0.18 GeV), короткий трек (0.12 GeV)
 - Кластера в электромагнитном калориметре с разными обрезаниями по E_T (0.12 GeV для мюонов)

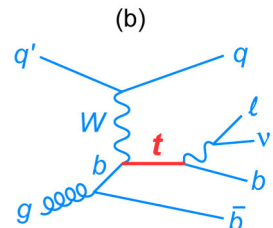
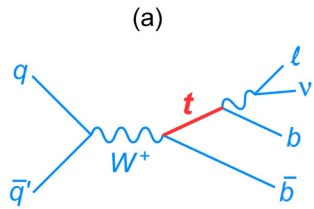
- Поиск определенной топологии
 - Число объектов, различные обрезания по ϕ или соответствие между треками и кластерами

Событие в детекторе BaBar

e^+e^- столкновение порождающее пару B anti- B

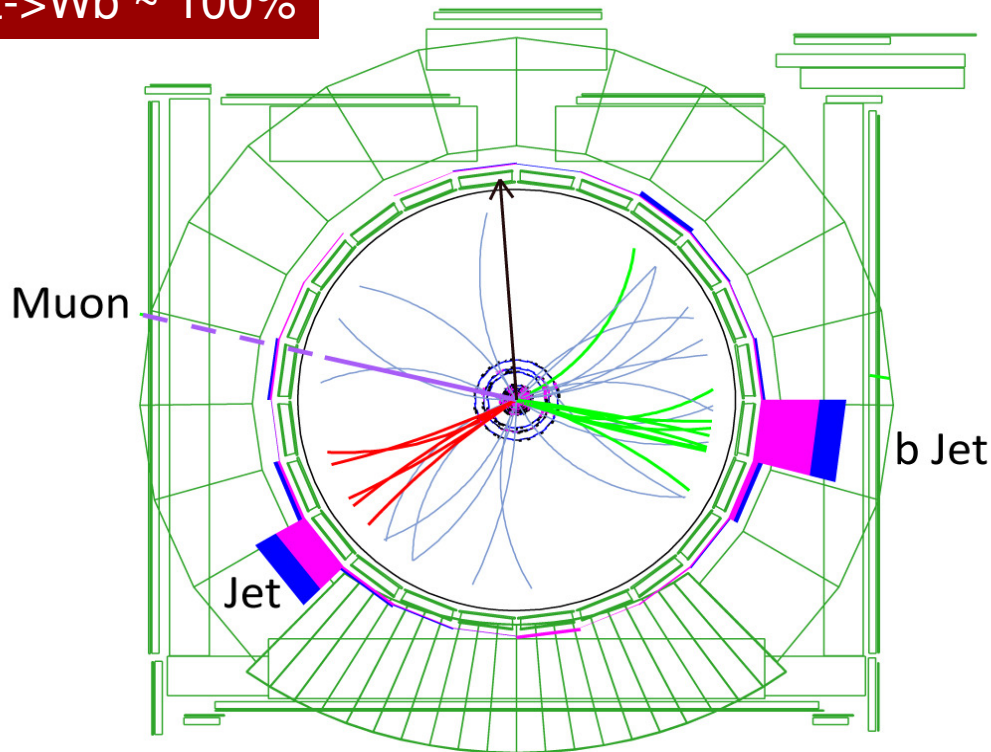


Пример: CDF



t → Wb ~ 100%

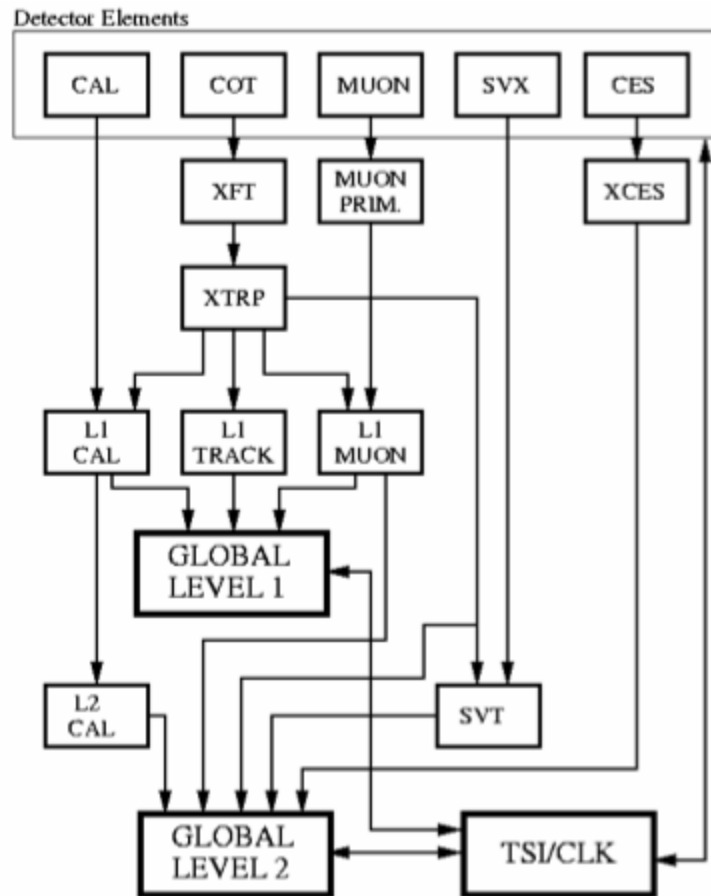
missing Energy



CDF единственный t-кварк

- Характеристика сигнала:
 - 1 изолированный лептон с большим p_T
 - Большая отсутствующая энергия (MET) от высокоэнергетического нейтрино
 - 2 струи, 1 из которых b-струя
- Триггерные объекты на L1
 - Центральный трекер ($p_T > 1.5 \text{ GeV}$)
 - Калориметры
 - электроны
 - фотоны
 - струи
 - Отсутствующая энергия E_T , $\text{Sum} E_T$
 - Мюоны
- Триггерные объекты на L2:
 - Информация от L1
 - Кластера струй
 - Изолированные кластера

Пример: CDF



CDF единичный t-кварк

- Характеристика сигнала:
 - 1 изолированный лептон с большим p_T
 - Большая отсутствующая энергия (MET) от высокоэнергетичного нейтрино
 - 2 струи, 1 из которых b-струя
- Триггерные объекты на L1
 - Центральный трекер ($p_T > 1.5 \text{ GeV}$)
 - Калориметры
 - электроны
 - фотоны
 - струи
 - Отсутствующая энергия E_T , $\text{Sum} E_T$
 - Мюоны
- Триггерные объекты на L2:
 - Информация от L1
 - Кластера струй
 - Изолированные кластера

Эффективность триггера

- Триггер должен обеспечивать
 - Высокую эффективность
 - Непредвзятость, возможность изучать широкий спектр физических процессов
- Эффективность должна быть известна с большой точностью, так как она используется для вычисления сечений процессов
 - Ортогональность требований к триггеру позволяет улучшить точность его калибровки

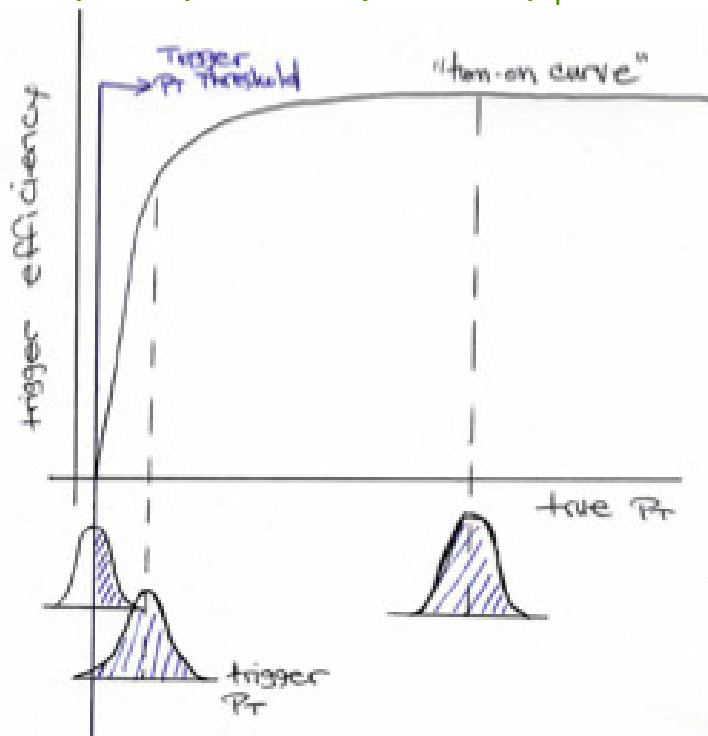
$$BR(\text{Signal}) = \frac{(N_{\text{candidates}} - N_{\text{bg}})}{\alpha \cdot \epsilon_{\text{total}} \cdot \sigma_{Bs} \cdot \int L dt}$$

$$\alpha \cdot \epsilon_{\text{total}} = \alpha \cdot \epsilon_{\text{Tracking}} \cdot \epsilon_{\text{Reco}} \cdot \epsilon_{\text{L1-Trig}} \cdot \epsilon_{\text{L2-Trig}} \cdot \epsilon_{\text{L3-Trig}} \cdot \epsilon_{\text{vertex}} \cdot \epsilon_{\text{analysis}}$$

Допустимая ошибка $\alpha\epsilon$ должна не более 10%

Кривые включения

- Поскольку разрешение по p_T конечно, и наихудшее на первом уровне триггера (грубая гранулярность, $dp_T/p_T \sim 1\%$), эффективность является функцией от p_T
- Например некоторые частицы могут оказаться ниже порога, не пройдут триггер, потому что их p_T недооценен

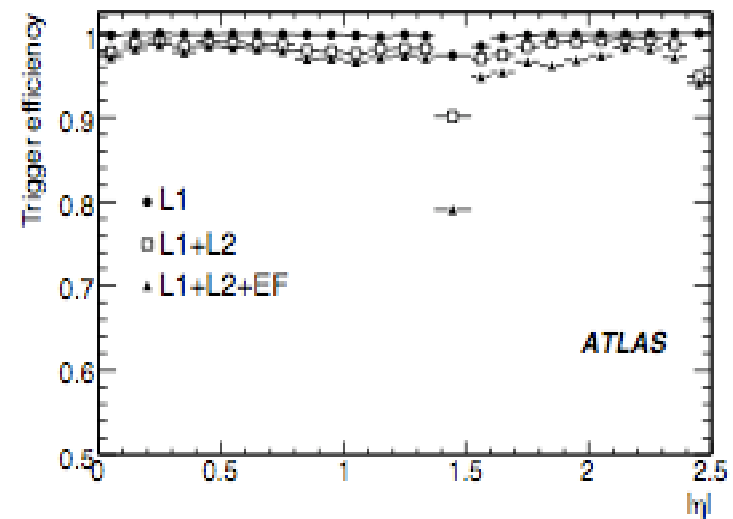
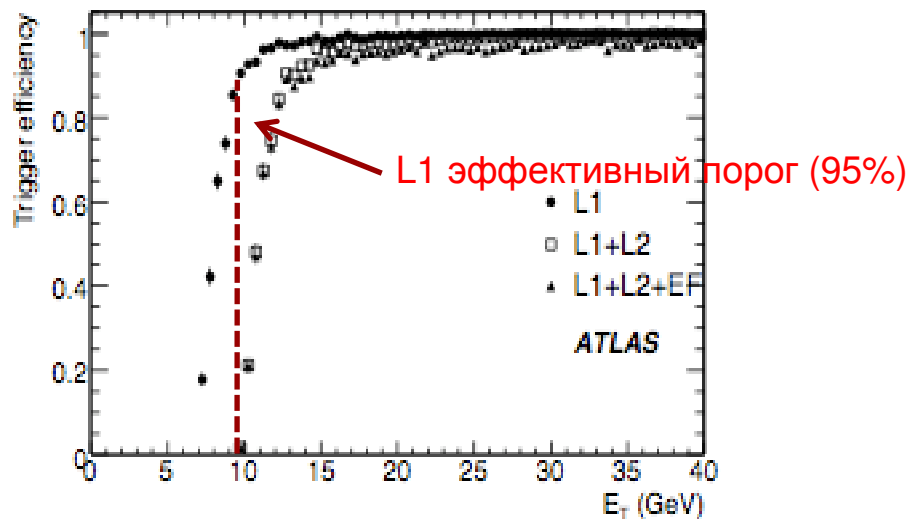


- Эффективность триггера как функция от реального p_T , измеренного после полной реконструкции события (с разрешением порядка 0.1%), может быть описана пороговой функцией

Зависимость эффективности триггера

- Дизайн триггерной системы и алгоритмов должен минимизировать зависимость эффективности триггера от p_T (E_T) и от геометрического акцептанса (η - ϕ)
- пороги L1 выбираются так чтобы эффективность была 95% от максимальной величины

ATLAS: эффективность триггера e10 как функция E_T и η (Monte Carlo)



Параметризация эффективности триггера

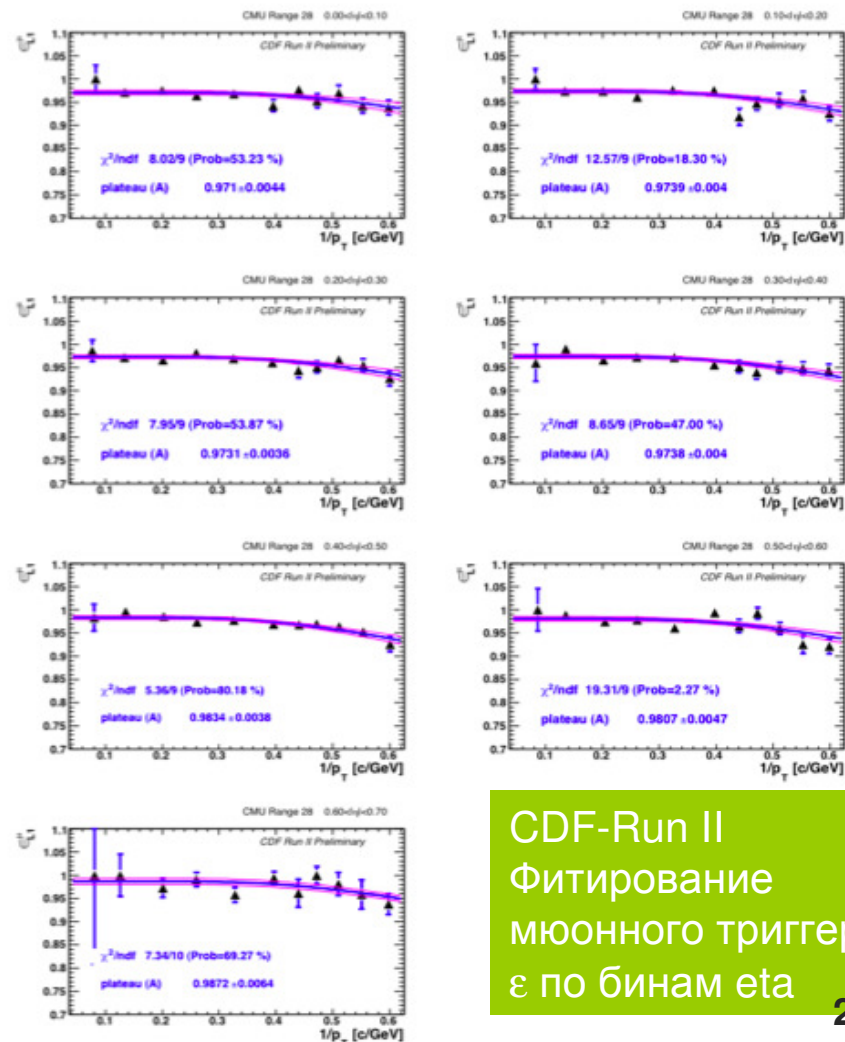
- Поведение триггера, и тем самым набора данных для анализа, может быстро изменяться из за изменений в:

- Детекторе
- Триггерной электронике
- Триггерных алгоритмах
- Определении триггера

- Анализ данных должен учитывать все эти изменения

- Многомерное изучение эффективности: $\varepsilon(p_T, \eta, \phi, \text{run\#})$

- Фитирование пороговых кривых для различных η, ϕ
- Фитирование обратной зависимости $1/p_T$ поскольку разрешение является обратным гауссианом $1/p_T$



CDF-Run II
Фитирование
мюонного триггера
ε по бинам η

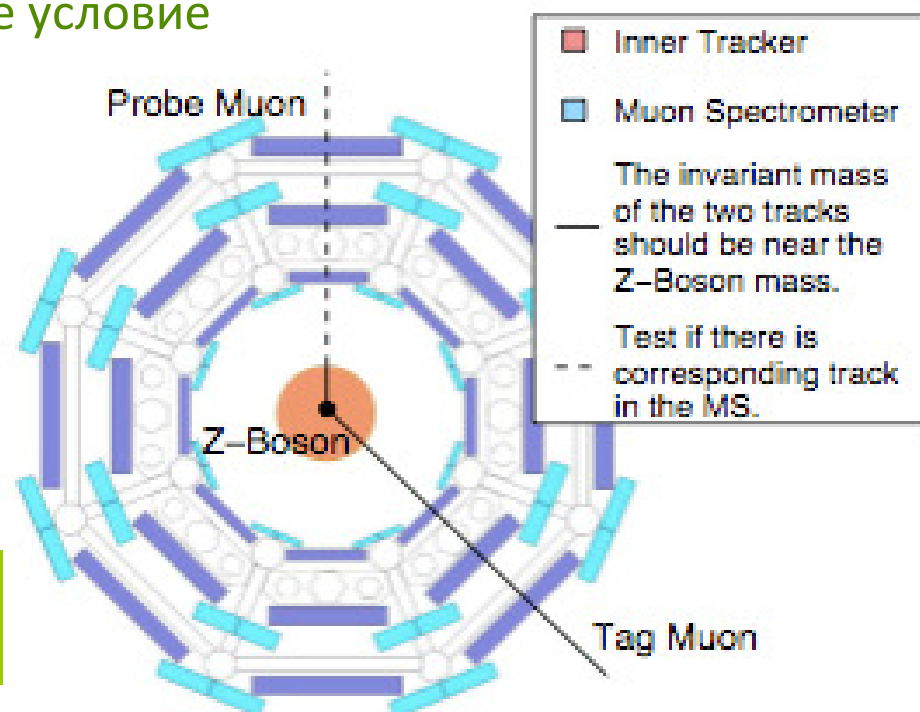
Измерение эффективности (1)

$$\text{Эффективность} = \frac{\text{число событий прошедших отбор}}{\text{число событий без отбора}}$$

- Основная идея: сравнить два случая, когда применяется триггер и когда нет
- Для этой цели используются «запасные» триггера, так называемые «пропускающие» (**pass-through**)
 - Не применяется отбор и вычисляется знаменатель
- Для HLT это делается легко с помощью pass-through
 - $\text{Eff(L2MU10)} = \frac{\text{события прошедшие L2MU10}}{\text{события прошедшие L2MU10_PASSTHROUGH}}$
- L1 дает наибольший вклад в неэффективность из-за более плохого разрешения
 - Не известен абсолютный знаменатель
 - В коллайдерных экспериментах может быть измерен с помощью метода “Tag-and-Probe”

Измерение эффективности (2)

- На коллайдерах метод “Tag and Probe” используется где только возможно (в основном в лептонных триггерах)
 - Чистая подборка сигналов (Z, J/ψ в лептоны)
 - Выбрать трек который триггировал событие (Tag)
 - Найти реконструированный трек (Probe)
 - Применить к нему триггерное условие

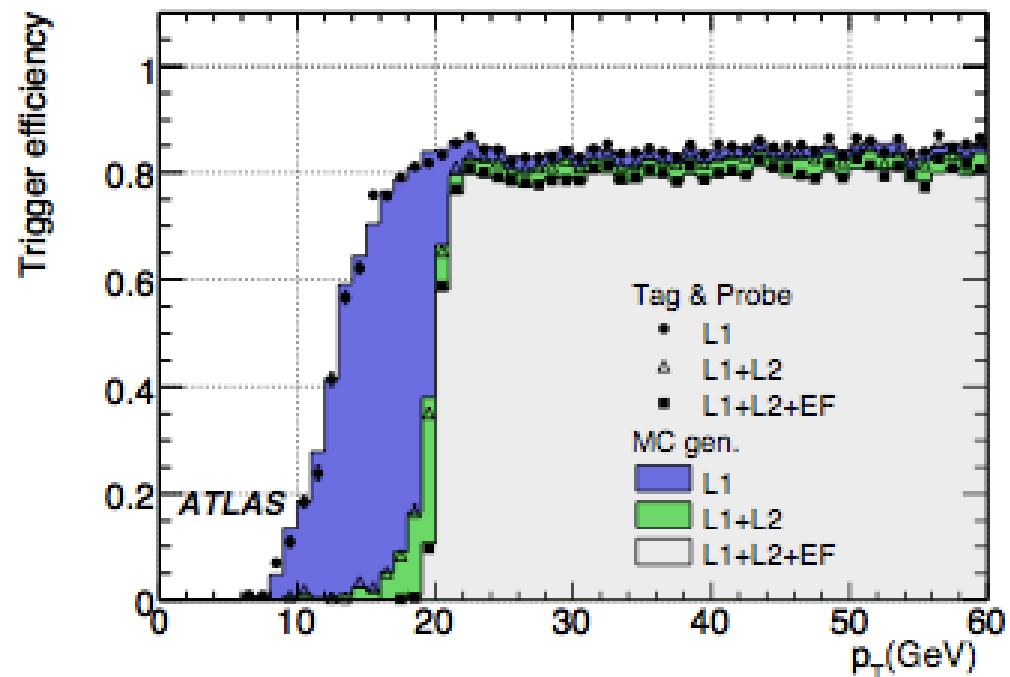


Использование запасных триггеров:
L1_LOWEST_THRESHOLD

Измерение эффективности (3)

- Для получения пороговой кривой мы разобьем “тестовые” лептоны по p_T (E_T)
 - Необходимо для изучения поведения в месте резкого изменения
- Систематические неопределенности метода сравниваются с результатами моделирования Monte Carlo, для понимания возможных зависимостей от набора входных данных

Эффективность
мюонного триггера
ATLAS (1 fb⁻¹ MC)



Баланс между научными интересами и пропускной способностью...

- Высокая эффективность
- Малое мертвое время

Многоуровневый
триггер

Низкие пороги были бы очень желательны, но широта физических интересов должна быть сбалансирована нашими возможностями в обработке данных

- Как охватить наиболее обширную область физики?
- И справиться с увеличивающейся светимостью?

Организовать
триггерное меню!

Что такое триггерное меню?

- Триггерное меню это список наших критериев отбора событий
- Каждый пункт меню это триггерный путь (path/chain)
- Триггерный путь включает в себя набор параметров обрезания или других инструкций для каждого уровня триггера (L1+L2+L3..)
- Событие записывается если удовлетворены один или несколько критериев триггерной цепи

CATERING MENU			
PASTA			
MINI OR SPAGHETTI - in Marinara Sauce	Half Tray	Full Tray	
BAKED ZITI	15.00	29.00	
FETTUCCINI ALFREDO	28.00	45.00	
CAVATELLI BROCCOLI	28.00	50.00	
MANICOTTI	35.00	55.00	
STUFFED SHELLS	35.00	55.00	
LASAGNA	35.00	60.00	
RICE	20.00	35.00	
CHICKEN PARMIGIANA	36.00	65.00	
CHICKEN - Broccoli, Garlic & Oil	36.00	65.00	
SAUSAGE, PEPPERS & ONIONS - in Marinara Sauce	36.00	65.00	
SEAFOOD			
MUSSELS MARINARA	Half Tray	Full Tray	
FRIED CALAMARI	30.00	55.00	
	40.00	75.00	
3 & 6 FOOT SUBS			
ITALIAN	3 FL	6 FL	
TURKEY HAM & CHEESE	49.99	89.99	
TURKEY	49.99	89.99	
ROAST BEEF	49.99	89.99	
A Platter of 24 Sandwiches - \$35.99			
EGGPLANT			
EGGPLANT PARMIGIANA	Half Tray	Full Tray	
EGGPLANT ROLLATINI	27.00	50.00	
STUFFED MUSHROOM	30.00	55.00	
	35.00	65.00	
with Cheese			
MEATBALLS	35.00	55.00	
SAUSAGE, PEPPERS & ONIONS	35.00	55.00	
SALAD			
TOSSED	Half Tray	Full Tray	
CHEF	19.99	29.99	
CAESAR	29.99	49.99	
GRILLED CHICKEN	19.99	29.99	
	34.99	59.99	
Over Cheese Salad or Green Salad			
CAPRESE ANTIPASTO	39.99	69.99	
with Fresh Plum Tomatoes			
DOUGLASS SALAD	39.99	64.99	
Crispy Romaine Lettuce with Fresh Mozzarella,			
Roasted Peppers & Calamata Olives			
BABA GANUSH	24.99	34.99	
Eggplant, Tahini, Lemon Juice, Olive Oil, Garlic			

Как составить триггерное меню

- Хорошо составленное триггерное меню необходимо для выполнения программы физических исследований
 - Разные триггера позволяют вести анализ на разных наборах данных (от наиболее инклюзивных до наиболее эксклюзивных)
 - В идеале, следует сохранять события от всех процессов (чтобы обеспечить широту физики и наборов данных)
 - Следует предусмотреть также набор триггеров для мониторингирования и калибровки, в основном для измерения фона
- Измерение эффективности обеспечивается **избыточностью** выборок, перечисленных в меню
- Список должен быть достаточно **гибким** чтобы справиться с изменениями внешних условий (детекторов, светимости) и научной программы



Распределение частот по сигнатурам

- ✓ Цель максимально использовать разрешенную пропускную способность ($\sim 200 \text{ Hz}$ @ LHC)
- ✓ Выделение частоты для каждого триггера
 - ✓ Физические задачи (плюс калибровка и мониторинг)
 - ✓ Требуемая эффективность и подавление фона
 - ✓ Потребляемая пропускная способность

➤ Частоты вычисляются на больших наборах смоделированных данных, включая фоновые события

➤ Требуются большие наборы фоновых событий (7 миллионов событий было использовано для $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ меню)

$$R_i = L \int_{p_{T-\text{inf}}}^{p_{T-\text{cutoff}}} \frac{d\sigma_i}{dp_T} \cdot \epsilon(p_T) dp_T$$

Trigger Efficiency

➤ Полученная свертка, на интервале E_T/p_T , оценочной эффективности с сечениями дает нам частоту триггера

➤ Большие неопределенности из-за отклика детектора и сечений струй

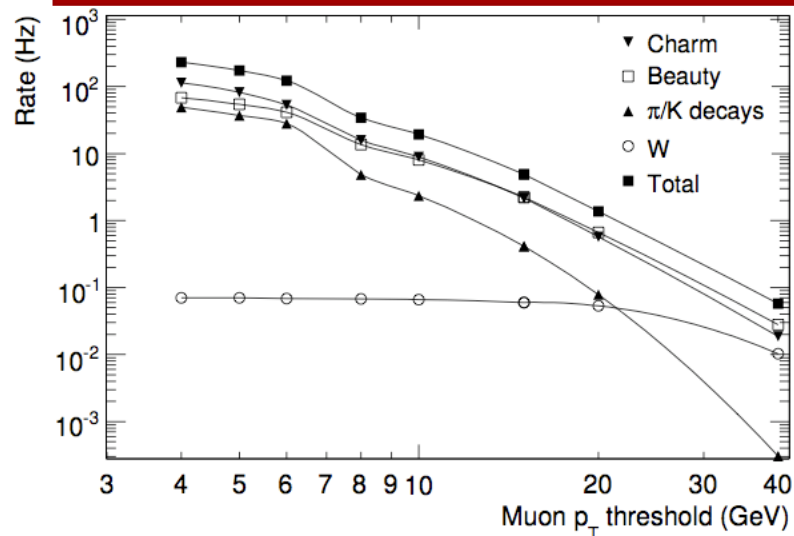
➤ Настраивается с помощью первых данных

Ожидаемые частоты триггера ATLAS @ LHC запуске $L=10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Мюонный триггер

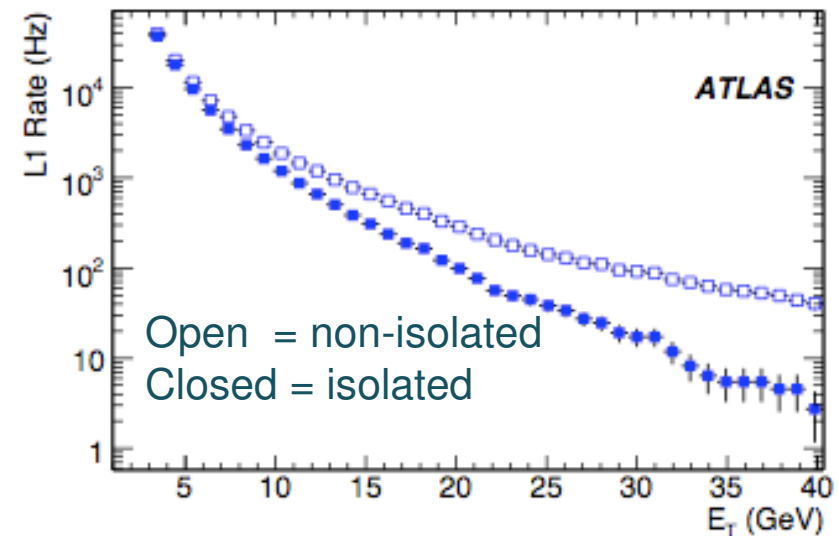
- Выборка на основе мюонного спектрометра
- Большое число мюонов от b/c кварков и распадов в полете π/K

Частоты одиночных мюонов



Калориметрический триггер

Частоты одиночных e/γ



- Для E/p и калибровки струй, триггер должен гарантировать такие каналы SM как W, J/ψ , Drell-Yan, прямые- γ

Пример гибкости триггерного меню

Начальное триггерное меню ATLAS $L=10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

- L1
 - Малые пороги p_T и нестрогие критерии выборки (масштабирование для контроля частоты)
 - Большие пороги и многообъектные триггера для проверки
 - HLT: работает в прозрачной моде (все пропускать) для проверки в offline
- Когда светимость LHC достигнет расчетной, понадобятся более сложные сигнатуры и жесткие обрезания по p_T

- ✓ Первоначальное меню содержит в себе ~130 пунктов L1 и ~180 HLT цепочек
- ✓ e/γ и мюонные триггера не масштабируются, кроме EM3

Object	L1 (Hz)	L2 (Hz)	EF (Hz)
Single-electron	5580	176	27.3
Multi-electrons	6490	41.1	6.9
Multi-photons	common	2.9	< 0.1
Single-photons	common	33.4	9.1
Multi-Jets	221	7.9	7.9
Single-Jets	24.4	24.4	24.4
Multi-Fjets	2.7	2.7	2.7
Single-Fjets	3.7	3.7	3.7
Multi-bjets	common	12.9	2.6
Single-bjets	common	11.6	11.6
Multi-taus	465	14.5	12.4
Single-taus	148	32.9	22.3
Multi-muons	68.6	5.8	2.3
Single-muons	1730	204	21.8
Missing E_T	57.9	31.	3.8
Total E_T	6.3	6.3	1
Total Jet E_T	1.6	1.6	1.6
BPhysics	common	25	13
Muti-Object	5890	134	48
Minimum Bias	1000	10	10
Total	12000	620	197

Пример возможного распределения частот

Стратегия триггера на коллайдерах

- **Инклюзивные** триггера для набора **сигнальных** данных (в основном не масштабируются)
 - большие- p_T $e/\mu/\gamma$ ($p_T > 20$ GeV), струи ($p_T > 100$ GeV)
 - Многокомпонентные события: $e-e$, $e-\mu$, $\mu-\mu$, $e-\tau$, $e-\gamma$, $\mu-\gamma$, etc... для дальнейшего уменьшения частоты
- **Запасные** триггера для обнаружения проблем, и контрольных наборов данных (часто не масштабируются)
 - струи ($p_T > 8, 20, 50, 70$ GeV)
 - Инклюзивные лептоны ($p_T > 4, 8$ GeV)
 - Лептоны + струи

Заключительные замечания

- Триггерная стратегия это компромисс между научными требованиями и доступными системами и технологиями
- Основные требования
 - Высокая эффективность – малое мертвое время
 - Точное знание избирательности триггера по отношению к сигналу и фону
 - Гибкость и избыточность