

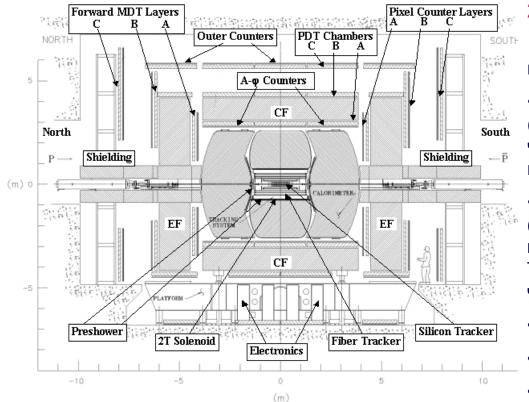
#### План:

- > Краткий обзор детектора D0 в Run II и его мюонной системы;
- > Алгоритмы реконструкции и критерии идентификации мюонов;
- > Эффективность применяемых методов и способы измерения этой эффективности из данных D0.
- Импульсное разрешение для мюонов;.
- Анализ контроля стабильности их работы характеристик 4214
  сцинтилляционных счетчиков передней мюонной системы за 10 лет.
- Вероятности срабатывания счетчиков и мини-дрейфовых трубок
  MDT на триггер (оссирансу).
- Нормированные выходы одиночных мюонов в зависимости от времени и от светимости.



- ✓ Реконструкция и идентификация мюоннов являются краеугольными камнями программы физических исследований в Run II эксперимента D0 на р коллайдере Тэватрон в Фермилабе и других экспериментов на адронных коллайдерах .
- ✓ Мюоны с большим поперечным импульсом (PT > 10 ГэВ) при отсутствии сигнала калориметра или дополнительных треков частиц вокруг них являются сигнатурой распадов электрослабого бозона (W  $\rightarrow$ µv, Z /  $\gamma \rightarrow$  µµ), позволяющие изучение электрослабой физики, физики топ-кварка (T $\rightarrow$  Wb) и физики бозона Хиггса (рождение WH, ZH, распад H $\rightarrow$ WW).
- ✓ Мюоны с малым поперечным импульсом, к примеру, из полулептонных распадов кварков тяжелых ароматов или от распада J / ψ→ μμ, дают доступ к богатой программе физики ароматов.
- ✓ Анализы, по физической программе тяжелых ароматов, как правило, основаны на использовании мюонов малыми РТ и не требует определения абсолютной эффективности идентификации мюонов, поскольку они, как правило, нормированы на известные сечения полулептонных распадов.
- ✓ Представлен обзор методов реконструкции и идентификации мюонов, используемых эксперименте D0 для анализа 10 fb−1 данных, собранных при = 1,96 ТэВ в период между 2001 и 2011 годами. В основном, рассматривается успешность реконструкции и идентификации мюонов для с большим поперечным импульсом мюонов.





### 2. Детектор D0 и её мюонная система

Детекторы, окружающие область взаимодействия, включают:

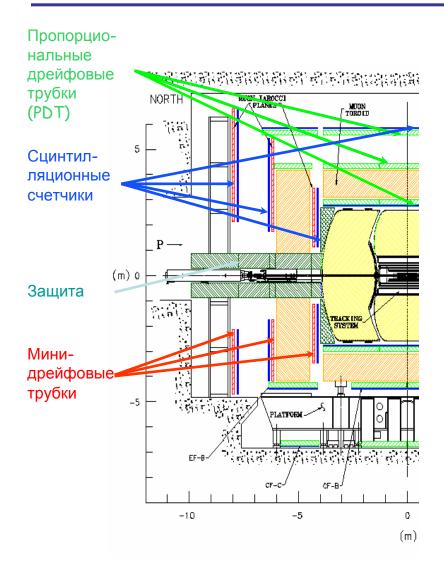
- Кремниевый микростриповый детектор (SMT) для точного отслеживания заряженных частиц и определения первичных и вторичных вершин вершин распада,
- Сцинтилляционный волоконный трекер (СFT) для точной реконструкции треков частиц в соленоидальном магните с величиной поля 2 Т для определения импульсов заряженных частиц,
- Preshower детекторы,
- Жидкоаргоновые урановые калориметры,
- Мюонная система из 3-х слоев (А, В и С).

#### Центральная и передняя мюонные системы:

Run I (1992-1996): Мюонная система широких углов охватывала область | η |≤2.0 и состояла из пропорциональных дрейфовых трубок (PDT). Мюонная система малых углов SAMUS (ИФВЭ) охватывала область 2.0≤| η |≤3.0, состояла из плокостей дрейфовых трубок и двух небольших железных тороидов.

Run II (2001-2011): Мюонная система малых углов была полностью удалена и была заменена слоистой защитой. В передней области (1.0≲| η |≲2.0,) PDT камеры были заменены новой трековой системой. Добавлена система сцинтилляционных счетчиков.





#### Мюонная система для Run II:

В центральной с мюонной системе (| η |<1.0) имеются 630 сцинтилляционных счетчиков в А - слое (называемые А φ -счетчики), с угловой сегментацией 79 мрад по ф и 372 счетчиков в С-слое.

В передней области, в общей сложности 4214 сцинтилляционных счетчика используются в А, В, С и слоях, обеспечивая три независимых измерения координат и времени вдоль мюонных треков.

Координатные детекторы мюонной системы состоят из PDT в центральной области (с быстротами | η |<1.0) и мини-дрейфовых трубок (MDT) в передней области (1.0≤| η |≤2.0).

РDТ и MDT установлены в три слоя, A, B и C, каждый из которых состоит из 4, 3 и 3 плоскостей, соответственно (кроме нижнего A-слоя PDT, имеющего три плоскости) и обеспечивают точность измерения координат около 1 мм.

Для определения координат мюонов вдоль сигнальной проволочки в PDT имеются клинья Вернье, однако информация с них считываются только в A-слое.

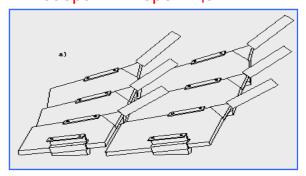
## Forward Muon System at High Luminosity



### Триггерные сцинтилляционные счетчики (изготовлены в ИФВЭ)



6 плоскостей ~10x10m2 собраны «черепицей»

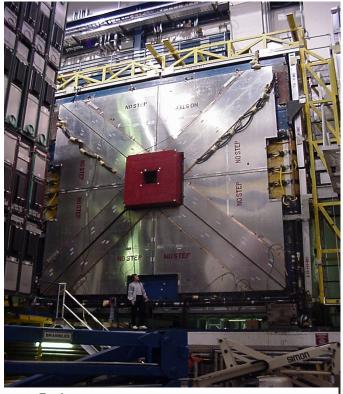


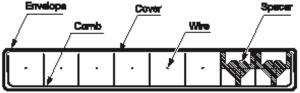
- По 3 плоскости ~10х10m² с каждой строны от области столкновения пучков
- Счетчики выполнены в R-ф геометрии для для соответствия разбиению центрального трекера из сцинтилляционных волокон
- Полное число счетчиков 4214
- Основные характеристики:
  - Тонкое разбиение
  - Временное разрешение 1-2 нс для разделения треков, приходящих от области взаимодействия пучков от космического фона и от частиц из туннеля ускорителя
  - Малое старение от радиации
  - Работа в магнитном поле до ∼350 Гаусс
- Простая и надежная конструкция
  - Использованы пластины сцинтиллятора Bicron 404A толщиной 12.7 мм
  - Светосбор при помощи спектросмещающих пластин и Кумарин- 30 (WLS)
  - Использованы ФЭУ 115-М с фотокатодом 30 мм



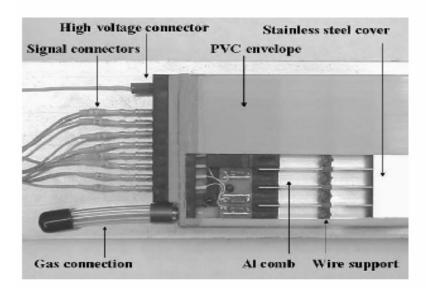
## Передний трековый детектор

Плоскость MDT A-слоя





Поперечное сечение трубок MDT (изготовлены в ОИЯИ)



Сигнальный конец мини-дрейфовой трубки с частично удаленной крышкой

- •Длина трубок от 1м до 6 м
- •50 мкм золоченные вольфрамовые прволочки с поддержкой положения через каждый метр
- •Полное число сигнальных проволочек ~50,000
- •Трубки собраны в 8 октантов на слой с направлением проволочек вдоль магнитного поля
- •4 плоскости проволочек в А-слое и по 3 плоскости в В-и С-слоях
- •10 хитов мюона на треке



### РЕКОНСТРУКЦИЯ МЮОНОВ

Алгоритм восстановления траектории мюонов общий в передней и центральных областях:

- ✓ Составляется список хитов от мюонного детектора.
- ✓ Хиты группируются и образуют сегменты треков мюонов, которые затем используется для формирования треков в мюонной системе, называемые локальными треками.
- ✓ Локальные треки и сегменты, не использованные для формирования локальных треков, вместе названы локальными мюонами.
- ✓ На последнем этапе проверяется соответствие локальных мюонов трекам, реконструированным в центральной трековой системе.

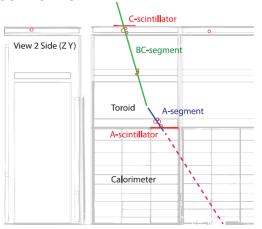
#### Нахождение хитов:

- ✓ Для передней мюонной системы координата  $\phi$  определяется по сцинтилляционным счетчикам. Счетчики имеют размер 4.5° (39 мрад) по  $\phi$ , разрешение по  $\phi$  примерно 39/ $\sqrt{12}$ =11.3 мрад.
- ✓ Для центральной системы координата по ф определяется и в центральных счетчиках, и в РDТ. Измерение координаты по ф в центральном А-слое счетчиков имеет разрешение около 11 мрад. Для получения ф координат РDТ измеряют положение хита вдоль проволочки с использованием разницы во времени прихода сигнала от каждого конца из соседних соединенных пар. Получено координатное разрешение вдоль проволочки, равное 15 см. Для А-слоя, электроды Вернье скомбинированы с шириной каналов измерения времени и с положением сцинтилляционных счетчиков, что позволяет улучшить пространственное разрешение до величины около 2 см, что соответствует примерно 7 мрад.



### Реконструкция сегментов.

- ✓ Используя времена дрейфа в MDT и PDT, находятся 2-х размерные сегменты в каждом из слоев A,B,C в плоскости, перпендикулярной магнитному полю и сигнальным проволочкам. Каждая пара хитов образует сегмент.
- ✓ Затем они сливаются итерациями прямой линией. х2 процедуры фитирования используеся для определения качества сегмента.
- ✓ Сегменты в В- и С-слоях соединяются, если они совместимы с прямой. В итоге, ВС-сегмент это либо отдельный В- или С-сегмент, либо их комбинация. В итоге, для 2-х размерного сегмента требуется пара хитов в камерах в разных плоскостях.
- √Присоединяется хит в сцинтилляторе, если он подходит по ф и η. В области |η| около 1, образовать трек могут сегменты в MDT и PDT одновременно.
- ✓Для уменьшения множественности хитов от одного мюона, берутся тлько 3 лучших хита в данном сегменте.



Реконструкция А-сегмента и ВС-сегмента из хитов

#### Нахождение локального мюонного трека

Сегменты в А-слое до тороида и ВС-слоях после тороида связываются, если они совместимы с прохождением мюона через тороид. Не связанные А-и ВС-сегменты остаются в списке локальных мюонов, так как из них можно идентифицировать мюоны после соединения с центральными треками.

Для каждой подходящей пары сегментов, мюонный трек фитированием с учетом величины магнитного поля, потерь энергии и многократного кулоновского рассеяния.

Эффективность реконструкции локального мюонного трека внутри захвата мюонной системы около 85%.



#### Подбор и совмещение с центральными треками

Для улучшения импульсного разрешения проводится совмещение локальных треков с центральными треками. Совмещение проводится проводкой треков через калориметр учитывая неоднородное магнитное поле, потери энергии и многократное кулоновское рассеяние.

Набор формул позволяет проводить проводку локальных треков внутрь в центр детектора D0, а также проводку треков в центральном трекере наружу в мюонную систему.

Для локальных треков проводка вовнутрь предпочтительнее. Для не спаренных A- и BC-сегментов разумна только проводка наружу, так как для них нет точного измерения импульса для локального мюона. Для всех случаев, качество совмещения для лараметров локального мюона Pm и матрицы ошибок Vm и параметров центрального трека Pc и матрицы ошибок Vc между определяется по  $\chi^2$  – тесту:  $\chi^2 = (P_m - P_c)^T \cdot (V_m + V_c)^{-1} \cdot (P_m - P_c)$ . Совмещаются пары треков с минимальным  $\chi^2$  для пары.

#### Измерение импульса

Так как разрешение по импульсу для локального мюона уступает разрешению центрального трекера, за импульс для мюона, совмещенного с центральным треком, берется импульс, измеренный центральным трекером. Для не спаренных А- и ВС-сегментов, совмещенных с ценнтральными треками и определенных как мюоны, также берется импульс, измеренный центральным трекером.

Для кандидатов в мюоны, совмещенным с центральному треку без хита в кремниевом детекторе SMT, используется дополнительная привязка точки выхода трека к области пересечения пучков. Это ограничение дает поправку на кривизну  $\kappa$  трека, которое определяется в первом порядке как  $\kappa \rightarrow \kappa + (xb \sin \varphi 0 - yb \cos \varphi 0 - d0)$ , где d0 - расстояние наибольшего сближения с центральной осью (x, y) = (0, 0),  $\varphi 0$  - азимутальный угол трека, и Vkd Vdd и элементы ковариационной матрицы, полученной в результате фитирования при реконструкция центрального трека. Vkd является ковариацией между  $\kappa$  и  $\kappa$  d0, a Vdd -это квадрат неопределенности на  $\kappa$  d0.

9



#### Идентификация мюонов

Кандидат в мюоны определяется прежде всего (I) наличием локального мюона в мюонной системе. Кроме того, для большинства физических анализов, (II) локальный мюон должен соответствовать треку в центральной трековой системе. Для физики с большими рТ может быть востребовано (III) отсутствие значительной активности вокруг траектории мюона, как в калориметре, так и в центральном трекере.

#### А. Критерии идентификации в мюонной системе

Для выявления местных мюонов, три категории качества мюонов, *слабые, средние и жесткие* требования определяются следующим образом.

- ✓ Локальный мюон слабого качества, если
- (а) он имеет хотя бы одно срабатывание сцинтилляционного счетчика и по крайней мере два срабатывания в проволочной камере в А-слое мюонной системы, или
- (б) по крайней мере одно срабатывание сцинтиллятора и по крайней мере два срабатывания в до В- и С- слоях.
- ✓ В общем случае, локальный мюон *среднего* качества, если он отвечает обоим условиям (а) и (б), за исключением того, для  $|\eta| < 1,6$ , нет требования срабатывания сцинтиллятора в В и С-слоях. В частном случае нижней части детектора, где при  $(5\pi/4 < \phi < 7\pi/4 \text{ и } |\eta| < 1,6)$  расположена опорная конструкция калориметра, локальный мюон среднего качества, если он выполняет одно из приведенных выше условий либо (а) или (б).
- ✓ Локальный мюон удовлетворяет *жестким* критериям, если он принадлежит к категории мюон среднего качества, удовлетворяющем обоим условиям (а) и (б), за исключением того, что для  $|\eta| < 1,6$ , нет требования хита в сцинтилляторах B и C.
- $\checkmark$  Количество категорий удваивается в зависимости от наличия или отсутствия требования запрета (вето) космических мюонов. Вето критерий требует, чтобы время срабатывания сцинтиллятора в каждом слое, при его наличии, будет совместимо с точностью 10 нс с временем для частицы, движущейся со скоростью света от первичной вершины. Вето критерий имеет типичную эффективность около 98,5% для мюонов с большим поперечным импульсом.



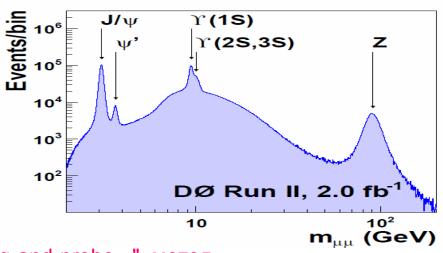
#### В. Критерии идентификации в центральной трековой системе.

Для идентификации мюонных треков в центральной трековой системе определяются четыре категории качества: *слабые, средние, средние по SMT и жесткие* требования.

- ✓ Мюонные треки, содержащие хиты в SMT, определяется как *слабые*, если | dca| <0,04 см, где dca расстояние приближения трека к оси пучка. Это требование изменено на | dca | <0,2 см для треков без SMT хитов. Мюоны *слабого* качества являются хорошим выбором для анализов, в которых не требуется измерение импульса мюона с высокой точностью.
- ✓ Трек мюона удовлетворяет жестким требованием качества, если оно отвечает требованиям для слабых и если  $\chi 2$  / NDOF < 4, где  $\chi 2$  результат фитирования трека при реконструкции в центральной трековой системе и NDOF число степеней свободы. Требование на  $\chi 2$  приводит к ощутимым потерям эффективности из-за неправильного приписывания хитов, относящихся к трекоам из других p взаимодействий в том же пересечении пучков при светимости больше  $150 \times 1030$  см-2с-1. По этой причине, в определении среднего уровня качества используются более слабые требования на  $\chi 2$ .
- ✓ Трек мюона определяется как *средний*, если он *слабого* качества и если, кроме того, χ2/NDOF < 9,5. Кроме того, по крайней мере, требуются два срабатывания в СFТ для дополнительного подавления случайного сочетания срабатываний в SMT при высокой мгновенной светимости.
- ✓ Трек мюона *среднего по SMT* качества, если оно отвечает необходимым требованиям на *среднее* качество, и, кроме того, имеет хит в SMT. Это приводит к более низкому уровню ложных и ошибочно реконструированных треков, а также лучшее по сравнению с другими категориями импульсное разрешение.



### Характеристики мюонной системы



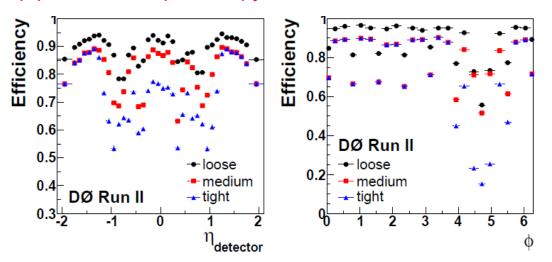
Спектр инвариантных масс для реконструированых с детекторе D0 димюонных событий. Наблюдаемые резонансы показаны стрелками.

#### «Tag-and-probe» " метод

Для измерения эффективности идентификации и реконструкции мюонов с большим поперечным импульсом в данных, применяется " «tag-and-probe» " метод, основанный на использовании распадов  $Z / \gamma \star ! \mu + \mu$  -. Эффективность разделена на три независимо измеренные компоненты: эффективность регистрации мюона , эффективность трека и эффективность изоляции. В этом методе один кандидат в жесткие мюоны служит в качестве метки , а другой кандидат служит в качестве зонда и используется для измерений эффективности. Дополнительные требования, такие, как ограничения на инвариантную массу пары мюонов, накладываются на оба кандидата в мюоны, Требуется, чтобы объект «tag» был локальным среднего качества мюоном с соответствием ему жесткого качества треком с PT> 30 ГэВ в центральном трекере и с критерием изолированости с ltrk <3,5 ГэВ и Ical <2,5 ГэВ. Он должен дать срабатывание одномюонного триггера и иметь время срабатывания А или В- слоях сцинтиллятора менее 7 нс по абсолютной величине. «Ргоbe» должен иметь жесткого качества трек в центральном трекере с PT > 20 ГэВ и изолированостью с ltrk <3,5 ГэВ и Ical <2,5 ГэВ, для которого найден в соответствующий в пределах R <0.5 локальный мюонный трек. Треки «tag» и «Ргоbe» должны иметь противоположный электрическим заряд и должны удовлетворять условиям |z0| <2 см и  $\Delta$ R > 2.



### Эффективность реконструкции мюонной системы



Эффективность регистрации для *слабых, средних и жестких* по качеству мюонов,как функции η и Ф

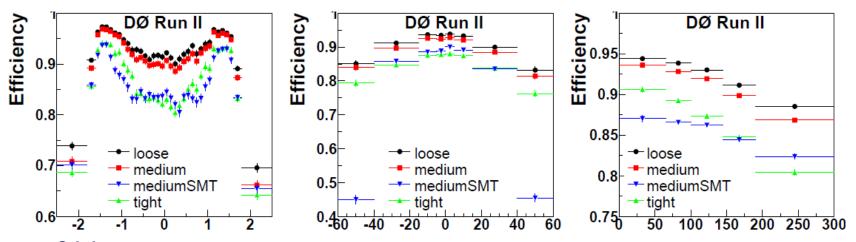
Разброс измеренной эффективности от канала к каналу связан с небольшими зазорами между проволочными камерами, а также, в меньшей степени, между сцинтилляторами. Из-за опорной конструкции калориметра перекрытие детекторами нижней части мюонной системы меньше, что приводит к более низкой эффективности для  $5\pi/4 < \phi < 7\pi/4$ , |  $\eta$ detector | < 1,6.

Среднее значение эффективности реконструкция равно 88,9%, 80,8%, а 72,0% для *слабых, средних и жестких* по качеству мюонов, соответственно.

Если вето космических частиц не требуется, эти эффективности увеличится до 90,9%, 82,5% и 73,1%, соответственно. Статистическая неопределенность этих эффективностей пренебрежимо мала (~0,1%). Источниками систематической ошибки являются возможный вклад фона (0,8% - 1,1%), зависимость от рТZ (0,3%), вклад техники«tag-and-probe» (0,2%). Полная относительная неопределенность равна 0,9% -1,2%. Есть лишь незначительные изменения в эффективности мюонной системы в течение Run II. Небольшая часть этого эффекта обусловлена слабой зависимостью от светимости, в то время как большей частью они обусловлены изменениями количества работающих PDT.



#### Эффективность реконструкции мюонов с использованием центрального трекера

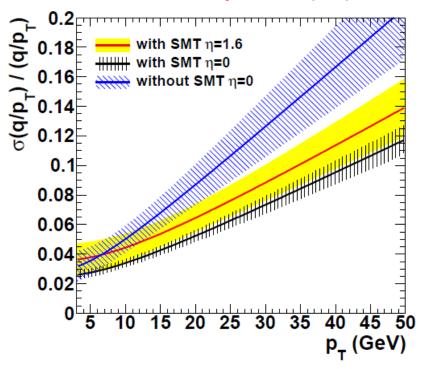


Эффективность реконструкции мюонов с использованием центрального трекера для *слабых, средних и жестких* по качеству треков, измеренная методом «tag-and-probe», как функция η, z0 и светимости.

Средняя эффективность равна 91,6%, 90,5%, 84,6%, и 86,2%, для *слабых, средних*, *средних с SMT*, *и жестких* требованиях на трек. Как источники систематической неопределенности, рассмотрены: моделирование положения первичных вершин вдоль пучка (0,7% -0,8%), возможный вклад фона (0,5%), «tag-and-probe» техники (0,3%), вклад множественности струй в конечном состоянии (0,1% -1,4%). Относительная статистическая погрешность незначительна (~0,1%). Полная относительная погрешность имеет величину до 1,1% -1,6%. Уменьшение эффективности с ростом светимости связана с с большоой множественностью в волоконном трекере CFT.



#### Импульсное разрешение для мюонов

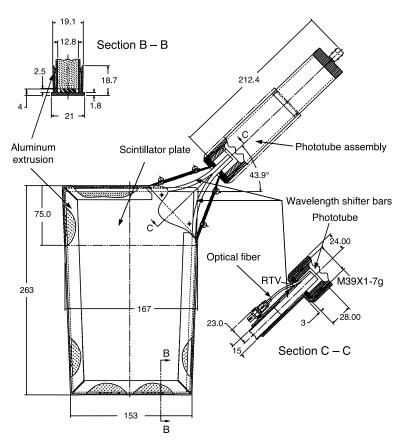


Относительное импульсное разрешение мюонов для различных типов треков. Заштрихованные области показывают неопределенность измерений величиной +/- 1 стандартное отклонение

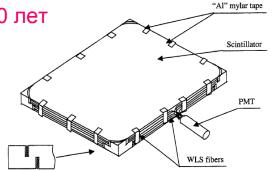
Разрешение по импульсу мюона измеряемое трековой системой, может быть описано как  $\sigma\left(\frac{1}{p_T}\right) = \frac{R_{CFT}^2}{L_{arm}^2}\left(A \oplus \frac{B\sqrt{\cosh\eta}}{p_T}\right)$ , где A- вклад в разрешение, относящийся к юстировке элементов детектора и координатному разрешению, B - описывает влияние многократного кулоновского рассеяния, RCFT = 52 см - внешний радиус центрального волоконного трекера CFT, Larm является радиусом, соответствующим к самому внешнему хиту вдоль трека в CFT . Член (RCFT / Larm) учитывает плечо для измерения дорожки импульса; это отношение обычно равно единице для треков внутри полного захвата CFT при |  $\eta$ CFT | <1.6.



Изучение стабильности характеристик счетчиков за 10 лет



Конструция сцинтилляционного счетчика передней мюонной системы.



Конструция части счетчиков передней мюонной системы ~150(шт), основанная на светосборе при помощи переизлучающих волокон.

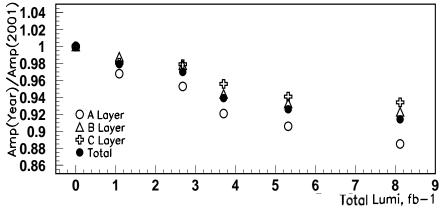
Мониторирование характеристик счетчиков в ходе сеанса.

- а) калибровки с использованием светодиодной системы Сигнал светодиода при помощи длинных (3-4 м) волоконнооптических кабелей подавался на фотокатоды ФЭУ всех счетчиков. Часть света подавалась на PIN-диод для нормировки.
- б) Калибровки детектора основаны на измерениях отклика счетчиков при прохождении через них мюонов, образованных в протон-антипротонных столкновениях на ускорителе Тэватрон.
- в) Периодически, раз в году, для части счетчиков проводились с помощью осциллографа измерения с бета-источником Sr90 для проверки стабильности работы Систематического уменьшения амплитуд счетчиков в период с 1999 по 2009 не обнаружено в пределах 10% точности измерений.

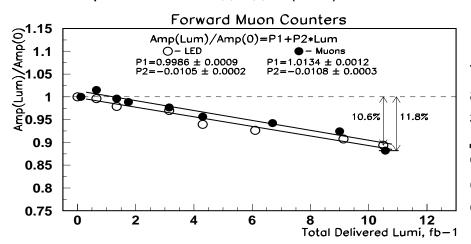
<u> 16</u>

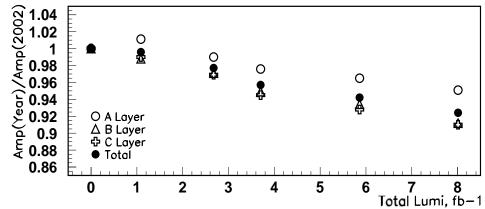


#### Результаты по изучению долговременной стабильности счетчиков за 10 лет



Зависимость отношения амплитуд сигналов со счетчиков от интегральной светимости Тэватрона, отдельно для А, В и С- слоев и результат усреднения по слоям. Данные калибровок на светодиодах (LED).





Отношение амплитуд сигналов сцинтилляционных счетчиков от интегральной светимости Тэватрона, отдельно для А, В и С- слоев и результат усреднения по слоям. Измерения отклика счетчиков при прохождении через них мюонов.

Усредненные по слоям счетчиков отношения амплидуд со счетчиков Amp(Lum)/Amp(0) в зависимости от светимости для LED-калибровок и для измерений отклика счетчиков при прохождении через них мюонов. Р1 и Р2 – параметры фитирования прямой линией. Статистические ошибки меньше размеров точек.



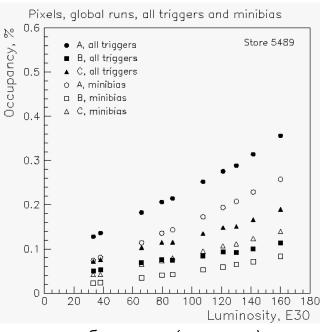
Интересно выяснить, какой компонент сцинтилляционного счетчика отвечает за старение. И калибровки на LED, и результаты измерений при помощи мюонов показывают снижение амплитуды. В принципе, это может быть связано с падением усиления ФЭУ. Однако, детальное сравнение с учетом различий в результатах старения для A, B и C - слоев, включая различия в размерах счетчиков, изменяет вывод.

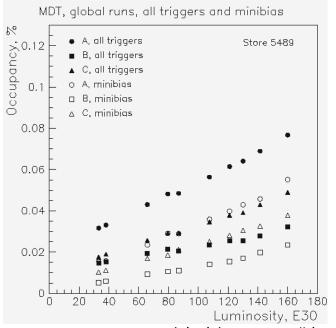
Для мониторирования при помощи LED, когда световые импульсы подаются на фотокатод ФЭУ, снижение амплитуды можно объяснить старением РМТ и/или волоконно-оптического кабеля, передающего импульсы LED к ФЭУ. Результаты калибровки на мюонах ожидается более точными для долгосрочных измерений и чувствительны к старению сцинтиллятора, WLS баров и ФЭУ. Старение ФЭУ чувствительно к величине анодного тока ФЭУ и накопленного электрического заряда на аноде ФЭУ . Амплитуды сигналов одинаковы для всех ФЭУ , так что старение должно зависеть от скорости счета . Скорости счета для А-слоя в 2-3 раза выше , чем для В- и С- слоев, и можно ожидать большую скорость старения ФЭУ для А-слоя по сравнению с В- и С -слоями в соответствии с результатами светодиодной системой калибровки и в противоречии с результатом, полученным для мюонов.

Старение пластин WLS следует рассматривать как основное объяснение полученных на мюонах результатов. Старение WLS пластин из-за радиационных повреждений должно дать меньшее уменьшение света для А-слоя счетчиков за счет меньшей длины пластин. Результаты исследования прототипов счетчиков подтверждают такой вывод.

Дополнительно, уменьшение длины затухания вследствие радиационных повреждений длинных волоконно-оптических кабелей светодиодной системы может объяснить различия результатов LED-калибровки для A, B и C слоев. Для A-слоев уровень излучения выше и приводит к более быстрому уменьшению светодиодных импульсов калибровки от суммарной светимости.







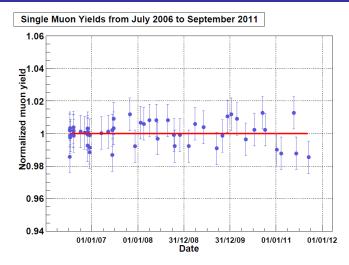
Вероятности срабатывания (occupancy) для сцинтилляционных счетчиков (pixels) мини-дрейфовых трубок (MDT) A, B и C- слоев передней мюонной системы D0 для *міпітит bias* триггера и для триггеров, использованных при наборе физических данных.

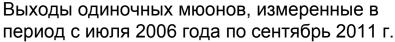
Величина *оссирапсу* счетчиков низка в соответствии с ожиданиями, основанными на расчетах конструкции защиты мюонной системы. Для Тэватрона в Run II, когда пересечения разделены по времени на 396 нс, интенсивность столкновений составляла 1,7 • 106 столкновений в секунду, а минимальная размещение смещения для слоя составляла 0,25% при светимости 160 • 1030 см-2с-1. В этих условиях средняя скорость счета счетчика A-слоя составляла 1,7 • 106 с-1 • 0,25 • 10-2 = 4,2 кГц.

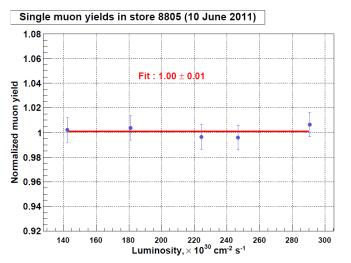
Даже для самой высокой светимости в Run II, равного 4 • 1032 см-2с-1, средняя скорость счета не превышает 11,2 кГц. Вычисленное значение среднего анодного тока ФЭУ в указанных выше условиях составляет 1 мкА при амплитуде сигнала 30 мВ и длительности импульса15 нс.

Вероятность срабатывания для мюонного триггера в два раза выше, чем для *міпітит bias* триггера, но не превышает 1% для самой высокой для Run II светимости.









Зависимость выходов одиночных мюонов от светимости

Измерения выходов одиночных мюонов проводились на регулярной основе для контроля стабильности всей передней мюонной системы (сцинтилляционных счетчиков и мини-дрейфовых трубок), а также стабильности триггера на мюоны и эффективности программ реконструкции.

Выход одиночных мюонов определяется как количество реконструированных мюонных треков, нормированное на интегральную светимость. Периодически, как правило, раз в месяц-полтора, набиралось ~ 100-150 тысяч событий с использованием одниюонного триггера. Этот триггер выбирает события образования мюона с использованием информации только из мюонной системы, других системы детекторов Д0 не использовались. Для расчета выходов, мюоны восстанавливались также с использованием информации только с мюонных детекторов.

Выход одиночных мюонов не зависит от светимости на уровне 1% точности для этого и других подобных измерений для диапазона светимости (20-300) • 10<sup>30</sup> см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>.

Измерения выходов одиночных мюонов показывают стабильную работу системы в пределах 1% во времени и в диапазоне светимости  $(0.5-3) \times 10^{32}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>.



#### Заключение

- ➤Представлен краткий обзор методов, использованных в эксперименте D0 для реконструкции и идентификации мюонов при анализе данных Run 2 Тэватрона.
- ▶Обсуждена эффективность регистрации и идентификации мюонов, полученная из данных D0.
- ▶В пределах своего захвата по псевдобыстроте | η | <2, мюонная система идентифицирует мюоны с большим поперечным импульсом РТ >10 ГэВ с эффективностью в диапазоне от 72% до 89%.
- ➤Показаны характеристики работы 4214 сцинтилляционных счетчиков передней мюонной системы и анализ контроля стабильности их работы во время проведения экспериментов.
- Уменьшение средней амплитуды сигнала со всех счетчиков за счет старения составило 11% за десять лет. Такой результат обеспечил долгосрочную успешную работу системы.
- ➤Нормированные выходы одиночных мюонов в зависимости от времени и от светимости показали стабильность в пределах 1%.
- ➤ Мюонная система установки D0 успешно и надежно отработала в течение более десяти лет второго сеанса на Тэватроне и дала возможность провести уникальные физические исследования.

#### Подготовлены публикации:

- Muon reconstruction and identification with the Run II D0 detector, D0 collaboration, Submitted 07/19/13:
  Nucl. Inst. A, arXiv:1307.5202 submitted to NIM
- D. Denisov, V. Evdokimov, V. Lipaev, A. Shchukin, I. Vasilyev, The Performance and long term stability of the D0 Run II Forward Muon Scintillation Counters, Nucl. Inst. A, submitted to NIM