



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

На правах рукописи

2008–15

Васильев Игорь Александрович

**ТРИГГЕРНЫЙ ДЕТЕКТОР
ПЕРЕДНЕЙ МЮОННОЙ СИСТЕМЫ
ЭКСПЕРИМЕНТА D0**

01.04.23 – физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 2008

УДК 539.1.074

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук В.Н. Евдокимов.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук В.С. Селезнев (ОЭА, ИФВЭ), кандидат физико-математических наук М.Ф. Рунцо (МИФИ, Москва).

Ведущая организация – Институт теоретической и экспериментальной физики (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 2008 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 201.004.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142281, Протвино Московской обл..

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 201.004.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 2008

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Протон-антипротонный коллайдер Тэватрон на энергию ~ 2 ТэВ в системе центра масс лаборатории им. Ферми (Фермилаб) в США по настоящее время остается крупнейшим ускорителем в мире. Одной из основных установок, работающих на Тэватроне, является установка D0. Главными задачами экспериментов на этой установке являются проверка предсказаний Стандартной модели и поиск новых частиц и явлений за ее пределами.

Ко второму сеансу работы Тэватрона, который начался в марте 2001 г., установка D0 была существенно модернизирована, что было связано со значительным повышением светимости коллайдера. Одной из важнейших и актуальных задач модернизации установки D0 были разработка и создание системы из 4214 сцинтилляционных счетчиков с высоким временным разрешением и тонкой сегментацией для формирования мюонного триггера и идентификации мюонов, чему и посвящена данная работа.

Система расположена симметрично относительно точки взаимодействия протонного и антипротонного пучков, по три слоя счетчиков с каждой из двух сторон. Общая площадь детектора составляет ~ 450 м². Результатом введения в установку этой большой системы

явилось значительное увеличение эффективности выработки триггера передней мюонной системы установки D0 во втором сеансе.

Цель диссертационной работы – разработка и создание системы из 4214 триггерных сцинтилляционных счетчиков для передней мюонной системы эксперимента D0, исследование их характеристик и анализ контроля стабильности их работы во время проведения экспериментов для получения физических результатов.

Научная новизна и практическая ценность работы

Созданная система сцинтилляционных счетчиков является одной из крупнейших в мире, в коллайдерных экспериментах она применяется впервые. Разработанные во время производства и эксплуатации сцинтилляционных счетчиков методы измерения их характеристик и контроля стабильности системы являются во многом оригинальными. Использование триггерной системы счетчиков в эксперименте D0 позволило получить целый ряд новых физических результатов, среди которых наиболее важными являются наблюдение осцилляций B_s -мезонов и открытие каскадного Ξ_b^- -бариона — первой частицы, состоящей из кварков всех трех поколений.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы при создании больших систем сцинтилляционных счетчиков как в нашей стране (ОИЯИ, ИЯИ РАН, ИЯФ РАН, НИИЯФ МГУ, ФИ РАН), так и за рубежом (ЦЕРН, Фермилаб).

Автор защищает:

- создание в ГНЦ ИФВЭ при активном участии диссертанта триггерного детектора на основе 4214 сцинтилляционных счетчиков с полной площадью сцинтиллятора ~ 450 м².
- разработку методики калибровки системы сцинтилляционных счетчиков на ускорительных мюонах, полученных в результате протон-антипротонных столкновений на Тэватроне.
- методы анализа данных и результаты калибровки на светодиодах и на ускорительных мюонах.

При активном участии диссертанта в контроле и мониторинговании триггерного детектора его надежная работа в течение семи лет в выработке триггера эксперимента D0 для регистрации редких

физических процессов с мюонами в конечном состоянии позволила провести уникальные физические исследования.

Основные публикации и апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, неоднократно докладывались автором на совещаниях и семинарах сотрудничества эксперимента D0 и научных конференциях в Фермилабе. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в российском журнале “Приборы и Техника Эксперимента” [1] и зарубежных журналах “Nuclear Instruments and Methods” [2, 3] и “Physical Review Letters” [4].

Апробация диссертации прошла в ГНЦ ИФВЭ 8 сентября 2008 г.

Структура диссертации

Диссертация изложена на 77 страницах печатного текста, состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 50 рисунков, 3 таблицы и список цитируемой литературы, включающий 41 наименование.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, показаны научная новизна представленных исследований и их практическая ценность, а также описана структура диссертации.

В первой главе диссертации изложены научные цели эксперимента D0, представлена схема установки текущего (второго) сеанса, а также описаны мюонные детекторы установки.

Эксперимент D0 был предложен в 1983 г. для изучения протон-антипротонных столкновений с энергией в системе центра масс 1.8 ТэВ на коллайдере Тэватрон в Фермилабе. Целью эксперимента была проверка предсказаний Стандартной модели (СМ) и поиск новых частиц и явлений за ее пределами — изучение состояний с высокими массами и процессов с большим поперечным импульсом. Эффективная работа установки в ходе первого сеанса (1992–1996 гг.) привела к получению ряда важнейших результатов. Среди них — открытие топ-кварка и измерение его массы, прецизионное

измерение массы W-бозона, изучение процессов образования струй, установление более строгих ограничений на сечения образования и массы суперсимметричных частиц, лептокварков и других частиц, существование которых предсказывается различными расширениями СМ.

Научная программа второго сеанса включает в себя много направлений, в числе которых исследования нарушения СР-инвариантности, поиск хиггсовского бозона, ответственного в СМ за образование масс элементарных частиц, поиски составных состояний лептонов и кварков, а также суперсимметричных частиц и много других интересных задач. Наиболее значительными результатами продолжающегося второго сеанса являются наблюдение осцилляций B_s -мезонов и открытие каскадного Ξ_b^- -бариона.

В ходе первого сеанса Тэватрон работал с 6 “банчами” (сгустками) протонов и антипротонов, с 3500 наносекундными интервалами между пересечениями банчей и энергией 1.8 ТэВ в системе центра масс. Пик светимости обычно составлял $1-2 \times 10^{31} \text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$. Интегральная светимость за первый сеанс составила $\sim 120 \text{пб}^{-1}$.

После запуска нового инжектора и модернизации Тэватрона коллайдер начал свою работу во втором сеансе в марте 2001 г. с 36 банчами протонов и антипротонов, интервалом между банчами в 396 наносекунд и при энергии в системе центра масс 1.96 ТэВ. Светимость возросла более чем на порядок величины — до $2-3 \times 10^{32} \text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$. Ожидается, что Тэватрон будет работать по крайней мере до конца 2009 г. В этом случае интегральная светимость может достичь величины $\sim 5-8 \text{fb}^{-1}$.

Чтобы в полной мере использовать новые возможности Тэватрона, установка D0 была значительно модернизирована. Схема модернизированной установки D0 показана на рис. 1. Северная половина установки обозначена на рис. 1 как “north”, а южная — как “south”. Установка состоит из трех основных составляющих: центральные трековые детекторы, электромагнитный и адронный калориметры и мюонный спектрометр. Центральная трековая система ко второму сеансу была заменена полностью. Эффективная работа трековых детекторов в центральной системе крайне важна для изучения свойств

топ-кварка, электрослабых взаимодействий, В-физики, а также для поиска новых частиц, включая бозон Хиггса. Новая система включает в себя кремниевый микростриповый трековый детектор SMT (Silicon Tracker на рис. 1) и сцинтилляционный волоконный трековый детектор CFT (Fiber Tracker), расположенные внутри сверхпроводящего соленоида с магнитным полем 2Т.

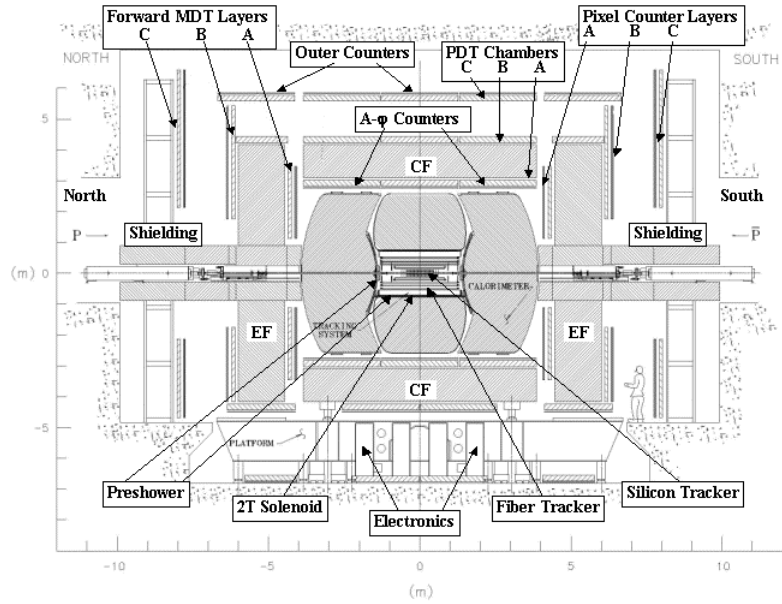


Рис. 1. Схема установки D0 во втором сеансе ускорителя Тэватрон в Фермилабе. Вид сбоку.

Мюонная система является одной из основных в установке D0 [2]. Это связано с тем обстоятельством, что большинство частиц, изучение которых представляет особый интерес (W , Z , частицы с t - и b -кварками и др.), идентифицируется по лептонным и полулептонным каналам распада. Мюонная система установки должна обеспечивать эффективную регистрацию и идентификацию мюонов в широком диапазоне углов и импульсов и при этом иметь низкий уровень фона. Стабильная и надежная многолетняя работа и ради-

радиационная стойкость в условиях высокой светимости также исключительно важны для мюонной системы. Основными компонентами мюонной системы модернизированной установки D0 являются триггерные сцинтилляционные счетчики и трековые детекторы — пропорциональные дрейфовые трубки (PDT) в центральной части и мини-дрейфовые трубки (MDT) — в передней.

Значительным усовершенствованием установки D0 было введение в переднюю мюонную систему (область псевдобыстрот $1 < |\eta| < 2$) новых триггерных мюонных детекторов на основе сцинтилляционных счетчиков. Для этого в ГНЦ ИФВЭ в 1998–1999 гг. было изготовлено 4214 сцинтилляционных счетчиков. Описание передней мюонной триггерной системы, методов ее калибровки и мониторинга и применения для получения физических результатов и является основным содержанием диссертации.

Вторая глава посвящена созданной системе триггерных сцинтилляционных счетчиков для передней мюонной системы. В ней описана конструкция счетчика, изложены процедуры отбора и исследования параметров отдельных элементов счетчиков, рассмотрена конструкция детектора и методика его тестирования с использованием космических мюонов.

Сцинтилляционные счетчики передней мюонной системы должны были удовлетворять следующим требованиям:

- обладать высокой радиационной стойкостью при длительной работе в условиях большой светимости, достигающей до нескольких единиц на $10^{32} \text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$;
- обеспечивать близкую к 100% эффективность регистрации минимально-ионизирующей частицы (МИП);
- иметь хорошую однородность амплитуды снимаемого сигнала по всей площади счетчиков для подавления фоновых частиц;
- иметь временное разрешение не хуже нескольких наносекунд;
- обеспечивать надежную и стабильную работу в течение как минимум десяти лет;
- быть простыми в изготовлении и умеренными по стоимости (из-за ограниченных сроков производства).

В итоговую рабочую конфигурацию передней мюонной системы вошли 4214 сцинтилляционных счетчика. Они были размещены в 48 октантах, образующих шесть слоев (по три слоя (А, В и С) в южной и северной половинах установки) по восемь октантов в каждом. Эти слои счетчиков обозначены как “Pixel Counter Layers” на рис. 1. В каждом из октантов находятся до 96 счетчиков, которые разделены на шесть групп (до 16 счетчиков в одной группе), каждая из которых подключена к своему высоковольтному источнику питания.

Деление слоя счетчиков на октанты и счетчиков октанта на группы представлено на рис. 2 на примере слоя А.

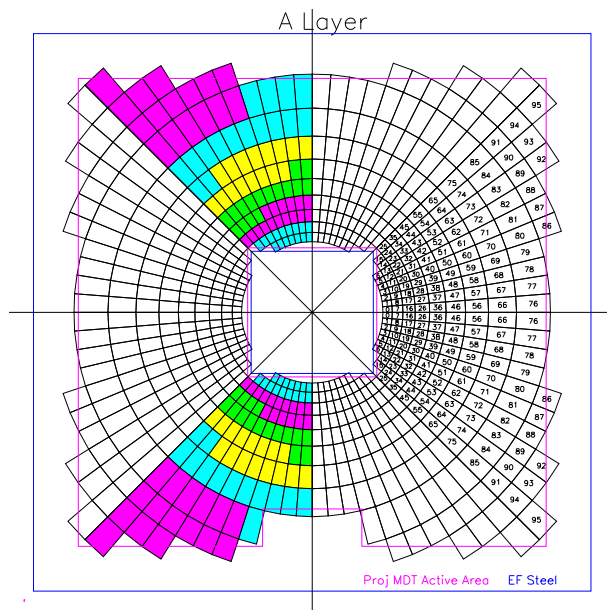


Рис. 2. Схема слоя А системы сцинтилляционных счетчиков. Восемь октантов нумеруются с нулевого по седьмой по часовой стрелке, начиная с нижнего октанта левой верхней четверти слоя. Высоковольтные группы октантов обозначены разным цветом.

Конструкция одного сцинтилляционного счетчика представлена на рис. 3. В счетчиках используется сцинтиллятор Viscon 404А тол-

щиной 12.7 мм. Передача сцинтилляционного света на фотоумножитель ФЭУ-115М осуществляется с помощью двух полос из сместителя спектра Kumagin 30 толщиной 4.2 мм и шириной 12.7 мм, расположенных на соседних гранях сцинтиллятора.

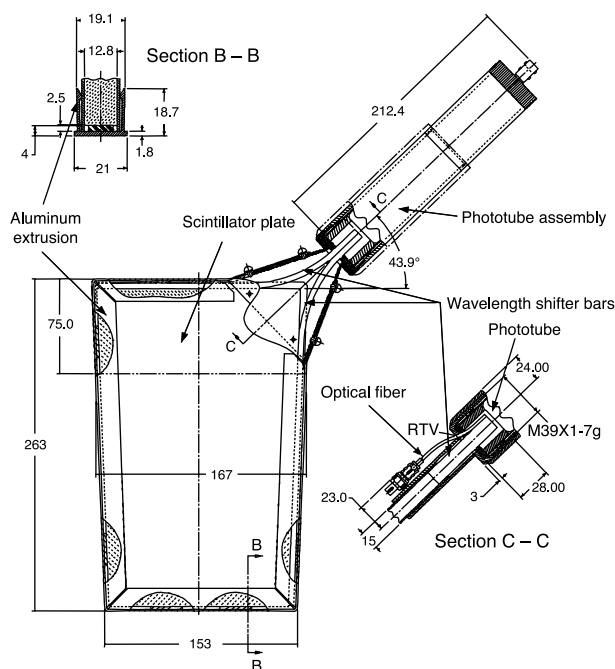


Рис. 3. Схема сцинтилляционного счетчика. Размеры даны в миллиметрах.

Для получения высокой эффективности, однородности и хорошего временного разрешения при разумной стоимости производства были изучены несколько методов светосбора. Из измерений был сделан вывод, что для данной геометрии и при данных размерах счетчиков полосы из сместителя спектра дают лучшую эффективность светосбора и конструктивно проще, чем, например, волоконные. Поэтому в подавляющем большинстве счетчиков для светосбора и использовались полосы из сместителя спектра Kumagin 30, пик поглощения которого соответствовал пику излучения сцинтиллятора

Вісcon 404А, выбраннаго в качестве рабочаго варианта вследствие его хорошей однородности, высокого световыхода и малого времени высвечивания. Вблизи пересечения граней сцинтиллятора полосы сместителей спектра изогнуты на угол 43.9° , как показано на рисунке. В силу геометрии установки размеры счетчиков сильно варьируются от $9 \times 14 \text{ см}^2$ до $60 \times 110 \text{ см}^2$. Фотоумножитель защищен от влияния рассеяния магнитных полей экранами из пермаллоя и мягкой стали. Для калибровки и проверки ФЭУ используются сигналы от светодиодов, которые подаются через оптическое волокно со специальным разъемом (рис. 3, секция С–С).

Перед сборкой счетчиков 3301 полоса из сместителя спектра длиной 124 см каждая была протестирована с помощью светодиода. Полосы с лучшими значениями световыхода и длины поглощения (расстояния, на котором световой поток уменьшается в e раз) использовались в счетчиках с большими размерами. После того как счетчики были собраны, они были проверены на светодиодах и с помощью радиоактивного источника. Затем счетчики с минимальными величинами выходного сигнала были проверены на космических мюонах с целью определения для них числа фотоэлектронов, образующихся при регистрации минимально-ионизирующей частицы (МІР). Тест показал, что число фотоэлектронов от МІР > 70 . Это обеспечивает высокую эффективность регистрации мюонов (> 0.99).

Заранее на тестовом пучке 125 ГэВ/с в Фермилабе были проведены исследования с прототипом счетчика. На рис. 4 представлена зависимость эффективности регистрации и временного разрешения счетчиков от высокого напряжения для счетчиков трех размеров: “больших” — $60 \times 106 \text{ см}^2$, “типичных” — $24 \times 34 \text{ см}^2$ и “маленьких” — $17 \times 24 \text{ см}^2$. Порог регистрации для этих счетчиков был установлен на уровне 10 мВ. Измеренные эффективности и временные разрешения показывают, что максимальная эффективность регистрации превосходит 99.9%, а временное разрешение в зависимости от размера счетчика варьируется от 0.5 до 1 нс.

Для каждой высоковольтной группы выбирались счетчики по возможности с близкими значениями сигналов, и к ним подбирались фотоумножители с близкими значениями высокого напряжения. Для

бóльших по размеру счетчиков с учетом оставшихся в наличии ФЭУ выбирались фотоумножители с бóльшими значениями спектральной чувствительности, коэффициента усиления, эффективности фотокатода и с бóльшими значениями высокого напряжения, чтобы обеспечить оптимальную эффективность регистрации и временное разрешение (см. рис. 4). Собранные счетчики после перевозки во ФНАЛ были протестированы с помощью радиоактивного источника Sr^{90} .

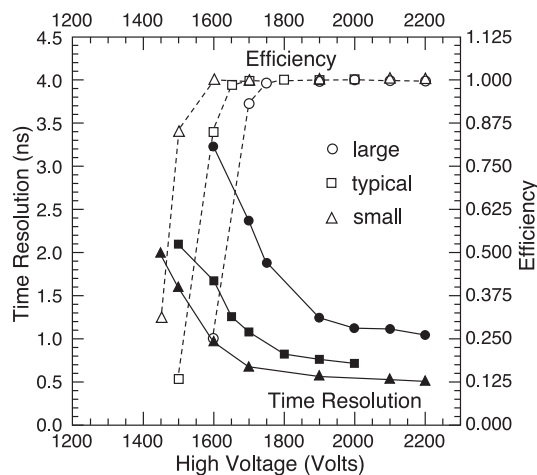


Рис. 4. Зависимость временного разрешения и эффективности регистрации сцинтилляционных счетчиков различного размера от высокого напряжения.

В третьей главе описаны методы мониторингования и калибровок сцинтилляционных счетчиков от светодиодов и на ускорительных мюонах, необходимые для контроля стабильности их характеристик [1]. Описаны также методика и результаты исследования стабильности работы передней мюонной системы с использованием одиночных мюонов. Точная информация о времени появления сигналов со сцинтилляционных счетчиков важна для эффективной работы мюонных триггеров, измерений времени пролета частиц и эффективного подавления фонов, вызванных, в основном, наличием “галло” протонного и антипротонного пучков. Стабильный амплитудный от-

клик обеспечивает высокую эффективность регистрации мюонов и низкую чувствительность к шумам. Для мониторингования стабильности временных сигналов, коэффициентов усиления фотоумножителей и стабильности электроники была разработана светодиодная система калибровки. Светодиоды освещают фотоумножители световыми импульсами, схожими по амплитуде и форме с импульсами сигналов от прохождения мюонов.

Система состоит из 48 модулей, каждый из которых закреплен на плоскости соответствующего октанта сцинтилляционного детектора. Каждый счетчик подключен к своему каналу электронного модуля SFE. В этом модуле происходит оцифровка сигналов с ФЭУ.

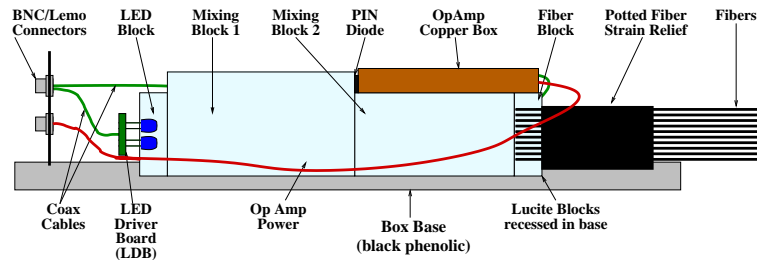


Рис. 5. Схема модуля системы светодиодной калибровки.

Схема одного модуля системы светодиодной калибровки представлена на рис. 5. Генератор светодиода, обозначенный на рисунке как LED Driver Board (LDB), формирует импульсы тока для запуска светодиода (LED Block). Используются синие светодиоды NSPB320BS фирмы Nichia America Corporation, поскольку их спектр излучения близок к спектрам поглощения сместителей сцинтилляционных счетчиков и фотокатода ФЭУ. Для обеспечения однородности излучения световой импульс, сгенерированный светодиодом, проходит два модуля смешивания света (Mixing Block 1, 2 на рис. 5). За первым из этих модулей для мониторингования стабильности светодиода размещен кремниевый пин-диод Hamamatsu S6775. Второй модуль служит для дальнейшего смешивания света посредством полного внутреннего отражения. Пройдя модули смешивания, световые

импульсы разделяются в волоконном модуле (Fiber Block) и далее по отдельным световым волокнам распространяются в каждый из 96 счетчиков данного октанта.

Светодиодная система успешно использовалась для тестирования счетчиков во время их сборки и продолжает использоваться для мониторинга работы счетчиков во время набора данных. Примерно раз в год проводится полная светодиодная калибровка всех счетчиков для проверки стабильности их работы. Впервые эта процедура была проведена в мае 2001 г. Полученные тогда результаты стали реперными для всех последующих калибровок. Результаты светодиодной калибровки для 2008 г. представлены на рис. 6.

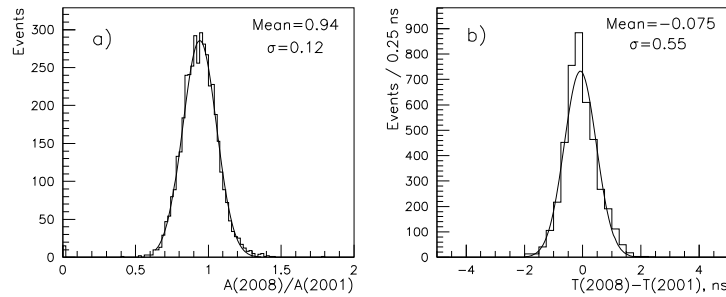


Рис. 6. Результаты калибровки 2008 г. (в сравнении с 2001 г.): а) отношение амплитуд $A(2008)/A(2001)$; б) разность времен $T(2008)-T(2001)$.

На рис. 6а показано распределение амплитудных отношений для всех счетчиков. Среднее значение амплитудного отношения составило 0.94 при σ фита Гауссианом 0.12.

Для оценки временной стабильности работы счетчиков среднее время сигнала с ФЭУ для каждого счетчика данных 2001 г. вычиталось из соответствующего значения для 2008 г. Среднее время сигналов с ФЭУ измеряется при каждом считывании и представляет собой время от сигнала “пересечения пучков” до момента достижения сигналом с ФЭУ уровня порога дискриминации (7 мВ). Среднее значение разности времен составило -0.075 нс с σ распределения отклонений 0.55 нс (рис. 6б).

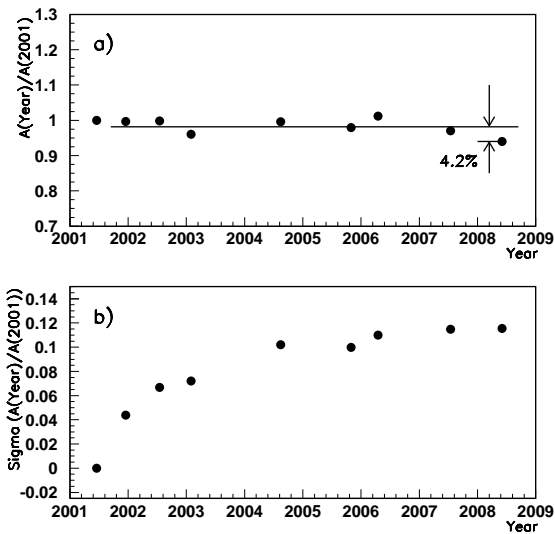


Рис. 7. Изменения параметров амплитудных распределений за семь лет. а) Изменения средних отношений амплитуд. Статистические ошибки измерений меньше размера точек. При фитировании данных прямой максимальное отклонение составляет 4.2%. б) Изменения σ распределения отклонений. Первая точка на обоих рисунках — реперная.

На рис. 7 и 8 представлены результаты светодиодной калибровки за семь лет работы: средние отношения амплитуд (рис. 7) и средние значения разности времен (рис. 8), а также максимальные отклонения от фита прямой линией. Первая точка на каждом графике соответствует реперному набору данных 2001 г. Рис. 7 показывает, что среднее значение амплитудного отношения стабильно в пределах 4.2% с максимальной σ по всем счетчикам 11.6%. Рис. 8 демонстрирует хорошую стабильность сигналов во времени в пределах 0.23 нс с максимальным σ 0.62 нс. Эта величина (0.23 нс) отражает, в основном, стабильность процедуры калибровки. Реальная стабильность счетчиков при работе на Тэватроне составляет около 0.1 нс.

Она оказалась даже значительно лучше, чем стабильность сигнала от ускорителя, задающего момент пересечений пучков и начало отсчета времени для детекторов. Изменение σ распределений отклонений (рис. 8b) характеризует, в основном, стабильность задержки срабатывания светодиода.

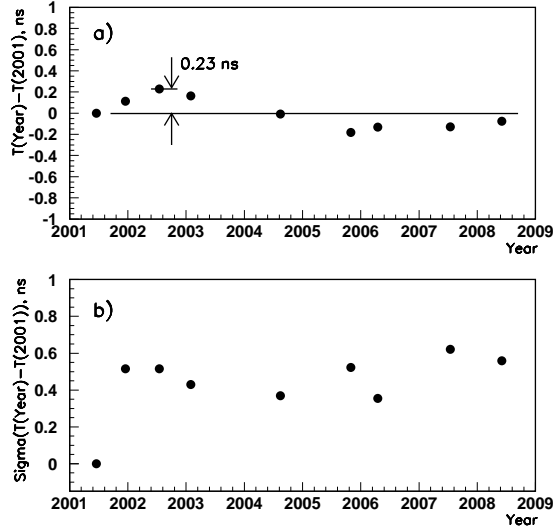


Рис. 8. Изменения параметров временных распределений за семь лет. а) Изменения средних значений разности времен. Статистические ошибки измерений меньше размера точек. При фитировании данных прямой максимальное отклонение составляет 0.23 нс. б) Изменения σ распределения отклонений. Первая точка на обоих рисунках — реперная.

Для мониторинга стабильности работы системы сцинтилляционных счетчиков также была разработана процедура калибровки сцинтилляционных счетчиков на мюонах, образовавшихся в результате протон-антипротонных столкновений в ходе второго сеанса эксперимента D0. В отличие от калибровки на светодиодах при этом проверяются не только стабильность работы фотоумножителей и электроники, но и сцинтиллятора и переизлучателей спектра, т.е. полностью имитируются рабочие сигналы сцинтилляционных счет-

чиков, возникающие при прохождении через них заряженных частиц. К тому же этот тип калибровки позволяет отслеживать старение сцинтиллятора.

Амплитуды сигналов со счетчиков при прохождении через них заряженных частиц измеряются в ходе набора статистики, причем следить за ними можно в режиме реального времени с помощью специального пакета `muo-examine`. Амплитудные распределения для всех 4704 каналов SFE (количество каналов электроники превышает число счетчиков, равное 4214) представлены в логарифмическом масштабе на рис. 9а и в линейном — на рис. 9б.

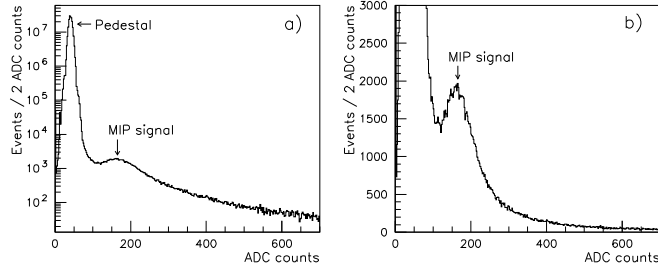


Рис. 9. Амплитудные распределения для всех 4704-х каналов SFE (данные 2002 г.): а) в логарифмическом масштабе; б) в линейном масштабе.

Пик в районе 40 отсчетов АЦП соответствует пьедестальным значениям всех задействованных каналов электроники, а в районе 165 отсчетов АЦП наблюдается пик от минимально ионизирующих частиц (MIP). Так же, как и при калибровке на светодиодах, из-за мультиплексорного измерения в одном событии считывается амплитуда только для одного из 16 счетчиков данной высоковольтной группы. Для накопления статистики для каждого из 4214 счетчиков требуется очень большое время, что делает практически невозможным поканальную калибровку всех счетчиков. В связи с этим амплитудная калибровка производилась по октантам.

Для выборки мюонных событий из данных была разработана процедура, использующая корреляцию срабатываний счетчиков в различных слоях мюонной системы. Обрабатывались только собы-

тия, при которых были зарегистрированы срабатывания счетчиков в каждом из трех слоев (А, В, С) какой-либо половины (южной или северной) системы в соседних счетчиках октантов с одинаковыми номерами. Соседним для данного счетчика считался тот, который отличается от него не более чем ± 1 по последней цифре порядкового номера и не более чем на ± 2 по номеру ряда, в котором он находится. Информация, касающаяся этих срабатываний (номер сработавшего счетчика, амплитуда, пьедестал и время срабатывания), использовалась в дальнейшей обработке.

Описанная процедура впервые была применена на практике в 2002 г. и далее проводилась ежегодно, начиная с 2004 г. Амплитудные распределения сигналов от мюонов, выделенных в 2002 и 2008 гг. по приведенной выше методике срабатывания, представлены на рис. 10. Несмотря на то, что критерии отбора по времени не применялись, амплитудное распределение показывает, что $\geq 98\%$ выделенных таким образом мюонов имеют амплитуды, соответствующие энергии минимально ионизирующей частицы. Рис. 10 также демонстрирует однородность сигнальных амплитуд и подтверждает разумность выбора порога дискриминации для набора статистики во втором сеансе на уровне 7 мВ, что соответствует 25 каналам АЦП.

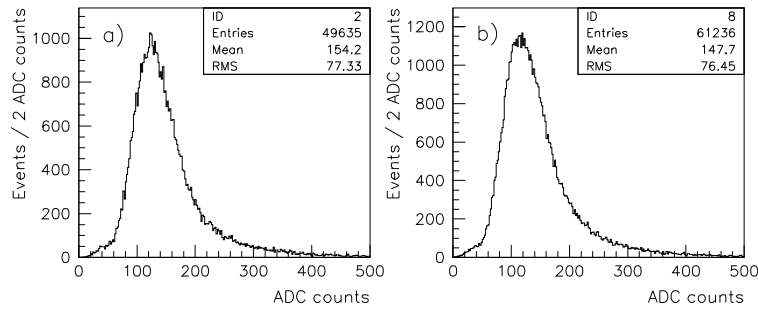


Рис. 10. Амплитудные распределения сигналов от мюонов, выделенных по методике срабатывания, для всех 4214 счетчиков для а) 2002 г. и б) 2008 г.

Изменение отношения амплитуд за 5.5 лет, формула фита прямой линией и параметры фита представлены на рис. 11. Как видно из рисунка, старение всей системы счетчиков в комплексе составляет не более 1.5% за год ($P2 = -0.0144$ на рис. 11), что обеспечивает долгосрочную работу системы.

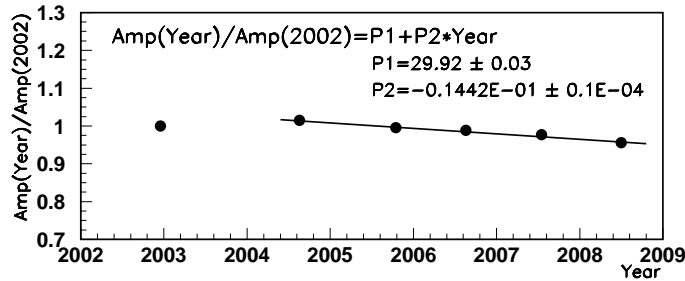


Рис. 11. Изменение отношения амплитуд за 5.5 лет. P1 и P2 — параметры фита прямой линией.

Около 15 счетчиков (из 4214) вышли из строя в первые три года работы установки во втором сеансе по причине поломки делителя или ФЭУ. Все они были успешно починены. Впоследствии число неработающих счетчиков снизилось до 1–2 в год.

Временные распределения сигналов со сцинтилляционных счетчиков от ускорительных мюонов представлены на рис. 12. Временное распределение событий, прошедших триггер “minimum bias” (триггер на наличие хотя бы одного взаимодействия в данном пересечении банчей), имеет широкий пик, идущий от 0 до ~ 70 нс (рис. 12а) в основном из-за фоновых частиц, которые попадают в счетчики позже мюонов. Информация о событиях, произошедших в границах фиксированных временных ворот, пересылается на мюонный триггер первого уровня L1. Распределение для таких событий представлено на рис. 12b, на котором уже виден четкий мюонный пик в районе 0 нс с небольшим количеством фона. Временное распределение для мюонов, выделенных по методике срабатывания, представлено на рис. 12с.

Эта методика позволяет практически полностью избавиться от фоновых частиц и получить пик с временным разрешением $\sigma_T = 2.2 - 2.4$ нс. Результаты, представленные на рис. 12, демонстрируют высокую эффективность работы триггерных сцинтилляционных счетчиков передней мюонной системы эксперимента D0.

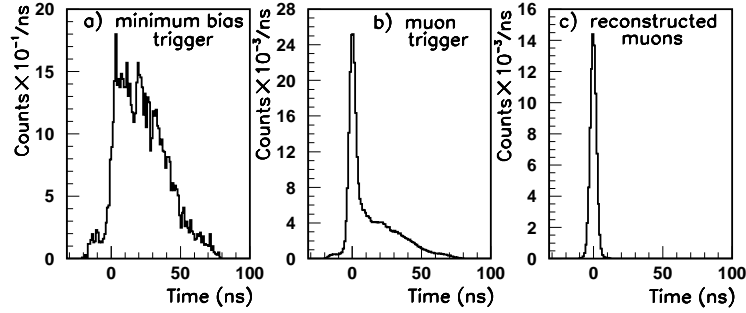


Рис. 12. Временные распределения сигналов от ускорительных мюонов со всех 4214 счетчиков для а) триггера “minimum bias”; б) мюонного триггера первого уровня L1; в) мюонов, выделенных по методике срабатывания.

Высокая стабильность временных характеристик сцинтилляционных счетчиков передней мюонной системы позволяет использовать средние значения их временных распределений для мониторинга стабильности сигнала от ускорителя, задающего момент пересечений пучков и начало отсчета времени для детекторов, в пределах 1.2–1.4 нс и для компенсации сезонных изменений сигналов в длинном волокне, используемом для передачи временного сигнала.

Для мониторинга стабильности работы всей передней мюонной системы (сцинтилляционные счетчики и мини-дрейфовые трубки МДТ) в комплексе с работой мюонных триггеров и программы реконструкции используется процедура, основанная на измерении выходов одиночных мюонов. Каждые 1–2 месяца происходит набор ~ 100 – 150 тысяч событий, прошедших мюонный триггер первого уровня “mulptxatlx”, который позволяет регистрировать одиночный мюон, используя информацию как с триггерных счетчиков, так и

с МДТ. Эти события далее обрабатываются с использованием программы реконструкции последней рабочей версии. После этого на реконструированные события накладываются определенные условия отбора, описанные в диссертации. В конечном итоге, количество реконструированных мюонов делится на величину интегральной светимости за время набора данных. Таким образом определяется величина мюонного выхода $Yield = N_{\mu}^{frow} / Lum$. В идеальном случае эта величина должна быть постоянной. Измерения выходов мюонов в зависимости от светимости и контроль за их стабильностью позволили, совместно с другими данными, обнаружить и устранить неточности в измерениях светимости.

Результаты, полученные за последние два года, в течение которых использовался усовершенствованный метод расчета светимости, представлены на рис. 13. Они демонстрируют стабильную работу передней мюонной системы за этот период в пределах 1%. На таком же уровне (1%) работа системы стабильна в зависимости от светимости для диапазона светимости $(0.5 - 2.5) \times 10^{32} \text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$.

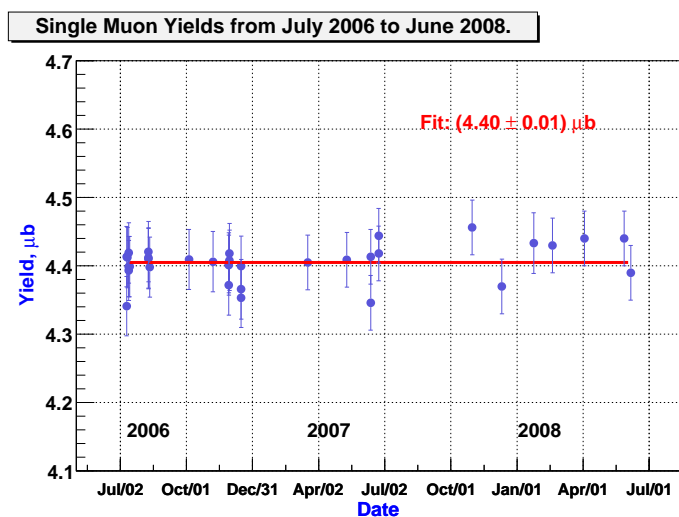


Рис. 13. Результаты определения выходов мюонов за 2006–2008 гг.

В четвертой главе описано, как созданная передняя система из 4214 сцинтиляционных счетчиков использовалась по своему главному назначению, а именно, для триггирования взаимодействий протонов с антипротонами с образованием мюонов [3]. Новая триггерная система для второго сеанса на Тэватроне состоит из трех уровней. На каждом последующем уровне анализируется меньшее количество событий, чем на предыдущем, но при этом проводится анализ более сложный и более детальный. Результатом работы чисто электронного триггера первого уровня (L1) является поток данных с частотой 2 кГц. Около 50% событий, прошедших мюонный триггер первого уровня, дает мюон, реконструированный в режиме off-line.

На втором уровне (L2) электроника с уже встроенными микропроцессорами, связанными с определенными детекторами установки D0, передает информацию в глобальный процессор, где положительное решение триггера вырабатывается как с учетом отдельных объектов, так и их корреляций. Триггер L2 уменьшает поток данных для дальнейшего анализа вдвое, до уровня 1 кГц. Дополнительная режекция от триггера второго уровня дает возможность записывать данные передней мюонной системы на ленты с чистотой 80% и эффективностью 90%, обусловленной, в основном, геометрической эффективностью МДТ.

События, получившие положительное решение после триггеров L1 и L2, передаются на ферму микропроцессоров, где происходит уже гораздо более тонченный и сложный анализ данных, который вырабатывает положительное решение триггера третьего уровня (L3). При этом поток событий уменьшается до 50 Гц. Эти события записываются на архивные носители для последующего физического анализа данных off-line.

Трехуровневая триггерная система мюонных детекторов установки D0 с заметным использованием информации с созданной системы сцинтиляционных счетчиков успешно и надежно отработала в течение более семи лет второго сеанса на Тэватроне и дала возможность провести уникальные физические исследования.

В пятой главе приведен один из важнейших физических результатов эксперимента D0, для получения которого существенно

использовалась информация с системы сцинтилляционных счетчиков, а именно открытие странного каскадного Ξ_b^- бариона [4].

Работа мюонного детектора эксперимента D0 во втором сеансе показывает, что цели, поставленные перед усовершенствованной установкой, были достигнуты. Распределение инвариантной массы мюонной пары, соответствующей интегральной светимости в 0.20 фб^{-1} , представленное на рис. 14, демонстрирует отличные возможности по триггированию и идентификации мюонов с помощью мюонного детектора.

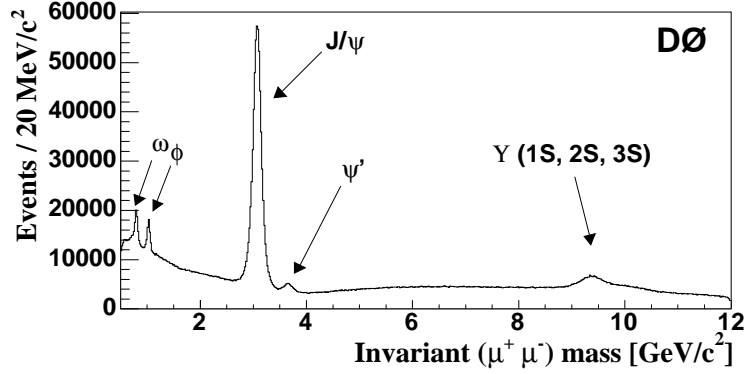


Рис. 14. Распределение инвариантной массы мюонной пары, соответствующей интегральной светимости в 0.20 фб^{-1} .

В 2007 г. эксперимент D0 объявил о первом прямом наблюдении странного каскадного бариона Ξ_b^- в полностью реконструированной эксклюзивной моде распада. Был обнаружен распад $\Xi_b^- \rightarrow J/\psi \Xi^-$, где $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ и $\Lambda \rightarrow p \pi^-$. Физический анализ данных основан на статистике, набранной на установке D0 в 2002–2006 гг. при энергии протон-антипротонного взаимодействия в системе центра масс 1.96 ТэВ с интегральной светимостью 1.3 фб^{-1} . Наиболее важными детекторами для регистрации странного каскадного бариона являлись центральная трековая система и мюонный спектрометр. Именно система сцинтилляционных счетчиков мюонного спектрометра вырабатывала триггер на два мюона, где “золотая” мода распада $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ образовывала ансамбль очень редких событий типа В

→ $J/\psi X$, при анализе которых и был обнаружен странный каскадный барион Ξ_b^- . В результате было найдено 15.2 ± 4.4 (стат. ошибка) $^{+1.9}_{-0.4}$ (сист. ошибка) кандидатов в Ξ_b^- с массой 5.774 ± 0.011 (стат. ошибка) ± 0.015 (сист. ошибка) ГэВ.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. При значительном вкладе диссертанта в ГИЦ ИФВЭ создан триггерный детектор передней мюонной системы на основе 4214 сцинтилляционных счетчиков с полной площадью сцинтиллятора $\sim 450 \text{ м}^2$ для эксперимента D0 на ускорителе Тэватрон (Фермилаб, Батавия, США). Детектор такого масштаба впервые используется в коллайдерных экспериментах.
2. Для работы установки D0 во втором сеансе при возросшей более чем на порядок светимости Тэватрона созданный триггерный детектор должен был иметь высокое временное разрешение. Разброс временных сигналов детектора со всех счетчиков составил не более 2.5 нс, что полностью удовлетворило этим требованиям.
3. Высокая стабильность временных характеристик созданного детектора позволяет отслеживать и компенсировать температурные изменения импульса синхронизации от Тэватрона, задающего начало отсчета времени для всех детекторов D0.
4. Разработана методика калибровки детектора, основанная на измерении отклика счетчиков на прохождение через них мюонов, образованных в протон-антипротонных столкновениях на ускорителе Тэватрон.
5. Представлены результаты калибровок на светодиодах и на ускорительных мюонах. Старение всей системы счетчиков составляет не более 1.5% в год, что обеспечивает ее долгосрочную работу.
6. Представлены результаты мониторинга стабильности передней мюонной системы с использованием выходов одиночных мюонов. Система стабильна в пределах 1% во времени и в диапазоне светимости $(0.5 - 2.5) \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

7. Надежная работа в течение более семи лет созданного детектора в триггере эксперимента D0 для регистрации редких физических процессов с мюонами в конечном состоянии дала возможность провести уникальные физические исследования. В частности, позволила впервые обнаружить странный каскадный барион Ξ_b^- (dsb) — первую частицу, состоящую из валентных кварков всех трех известных поколений.

Список литературы

- [1] В.А. Беззубов, **И.А. Васильев**, В.Н. Евдокимов, В.В. Липаев, А.А. Шукин, И.Н. Чурин, Д.С. Денисов, В.М. Подставков “Калибровка сцинтилляционного триггерного детектора передней мюонной системы эксперимента D0”. ПТЭ (2008) №1, с. 40–50.
- [2] V.M. Abazov, B.S. Acharya, G.D. Alexeev, G. Alkhazov, V.A. Anosov, B. Baldin, S. Banerjee, O. Bardon, J.F. Bartlett, M.A. Baturitsky, D. Beutel, V.A. Bezzubov, V. Bodyagin, J.M. Butler, H. Cease, E. Chi, D. Denisov, S.P. Denisov, H.T. Diehl, S. Doulas, S.R. Dugad, O.V. Dvornikov, A. Dyshkant, M. Eads, A. Evdokimov, V.N. Evdokimov, T. Fitzpatrick, M. Fortner, V. Gavrilov, Y. Gershtein, V. Golovtsov, B. Gomez, R. Goodwin, Yu.A. Gornushkin, D.R. Green, A. Gupta, S.N. Gurzhiev, G. Gutierrez, H. Haggerty, P. Hanlet, S. Hansen, E. Hazen, D. Hedin, B. Hoeneisen, A.S. Ito, R. Jayanti, K. Johns, N. Jouravlev, A.M. Kalinin, S.D. Kalmani, Y.N. Kharzheev, N. Kirsch, E.V. Komissarov, V.M. Korablev, A. Kostritsky, A.V. Kozelov, M. Kozlovsky, N.P. Kravchuk, M.R. Krishnaswamy, N.A. Kuchinsky, S. Kuleshov, A. Kupco, M. Larwill, R. Leitner, V.V. Lipaev, A. Lobodenko, M. Lokajicek, H.J. Lubatti, E. Machado, M. Maity, V.L. Malyshev, H.S. Mao, M. Marcus, T. Marshall, A.A. Mayorov, R. McCroskey, Y.P. Merekov, V.A. Mikhailov, N. Mokhov, N.K. Mondal, P. Nagaraj, V.S. Narasimham, A. Narayanan, J.P. Negret, P. Neustroev, A.A. Nozdrin, B. Oshinowo, N. Parashar, N. Parua, V.M. Podstavkov, P. Polozov, S.Y. Porokhvoi, I.K. Prokhorov, M.V.S. Rao, J. Raskowski, L.V. Reddy, T. Regan, C. Rotolo, N.A. Russakovich, B.M. Sabirov, B. Satyanarayana, Y. Scheglov, A.A. Schukin, H.C. Shankar, A.A. Shishkin, D. Shpakov, M. Shupe, V. Simak, V. Sirotenko, G. Smith, K. Smolek, K. Soustruznik, A. Stefanik, J. Steinberg, V. Stolin, D.A. Stoyanova, L. Stutte, J. Temple, N. Terentyev, V.V. Teterin, V.V. Tokmenin, D. Tompkins, L. Uvarov, S. Uvarov, **I.A. Vasilyev**, L.S. Vertogradov, P.R. Vishwanath, A. Vorobyov, V.B. Vysotsky, H. Willutzki, M. Wobisch, D.R. Wood, R. Yamada, Y.A. Yatsunenko, F. Yoffe, M. Zanabria, T. Zhao, D. Zieminska, A. Zieminski, S.A. Zvyagintsev. “The muon system of the Run II D0 detector”, Nucl. Instr. and Methods in Physics Research A 552 (2005) p.p. 372–398.

- [3] V.M. Abazov, B. Abbott, M. Abolins, B.S. Acharya, D.L. Adams, M. Adams, T. Adams, M. Agelou, J.-L. Agram, S.N. Ahmed, S.H. Ahn, M. Ahsan, G.D. Alexeev, G. Alkhazov, A. Alton, G. Alverson, G.A. Alves, M. Anastasoae, T. Andeen, J.T. Anderson, S. Anderson, B. Andrieu, R. Angstadt, V. Anosov, Y. Arnoud, M. Arov, A. Askew, B. Asman, A.C.S. Assis Jesus, O. Atramentov, C. Autermann, C. Avila, L. Babukhadia, T.C. Bacon, F. Badaud, A. Baden, S. Baffioni, L. Bagby, B. Baldin, P.W. Balm, P. Banerjee, S. Banerjee, E. Barberis, O. Bardon, W. Barg, P. Bargassa, P. Baringer, C. Barnes, J. Barreto, J.F. Bartlett, U. Bassler, M. Bhattacharjee, M.A. Baturitsky, D. Bauer, A. Bean, B. Baumbaugh, S. Beauceron, M. Begalli, F. Beaudette, M. Begel, A. Bellavance, S.B. Beri, G. Bernardi, R. Bernhard, I. Bertram, M. Besancon, A. Besson, R. Beuselinck, D. Beutel, V.A. Bezzubov, P.C. Bhat, V. Bhatnagar, M. Binder, C. Biscarat, A. Bishoff, K.M. Black, I. Blackler, G. Blazey, F. Blekman, S. Blessing, D. Bloch, U. Blumenschein, E. Bockenthien, V. Bodyagin, A. Boehnlein, O. Boeriu, T.A. Bolton, P. Bonamy, D. Bonifas, F. Borcharding, G. Borissov, K. Bos, T. Bose, C. Boswell, M. Bowden, A. Brandt, G. Briskin, R. Brock, G. Brooijmans, A. Bross, N.J. Buchanan, D. Buchholz, M. Buehler, V. Buescher, S. Burdin, S. Burke, T.H. Burnett, E. Busato, C.P. Buszello, D. Butler, J.M. Butler, J. Cammin, S. Caron, J. Bystricky, L. Canal, F. Canelli, W. Carvalho, B.C.K. Casey, D. Casey, N.M. Cason, H. Castilla-Valdez, S. Chakrabarti, D. Chakraborty, K.M. Chan, A. Chandra, D. Chapin, F. Charles, E. Cheu, L. Chevalier, E. Chi, R. Chiche, D.K. Cho, R. Choate, S. Choi, B. Choudhary, S. Chopra, J.H. Christenson, T. Christiansen, L. Christofek, I. Churin, G. Cisko, D. Claes, A.R. Clark, B. Clement, C. Clement, Y. Coadou, D.J. Colling, L. Coney, B. Connolly, M. Cooke, W.E. Cooper, D. Coppage, M. Corcoran, J. Coss, A. Cothenet, M.-C. Cousinou, B. Cox, S. Crepe-Renaudin, M. Cristetiu, M.A.C. Cummings, D. Cutts, H. da Motta, M. Das, B. Davies, G. Davies, G.A. Davis, W. Davis, K. De, P. de Jong, S.J. de Jong, E. De La Cruz-Burelo, C. De La Taille, C. De Oliveira Martins, S. Dean, J.D. Degenhardt, F. Deliot, P.A. Delsart, K. Del Signore, R. DeMaat, M. Demarteau, R. Demina, P. Demine, D. Denisov, S.P. Denisov, S. Desai, H.T. Diehl, M. Diesburg, M. Doets, M. Doidge, H. Dong, S. Doulas, L.V. Dudko, L. Duflot, S.R. Dugad, A. Duperrin, O. Dvornikov, J. Dyer, A. Dyshkant, M. Eads, D. Edmunds, T. Edwards, J. Ellison, J. Elmsheuser, J.T. Eltzroth, V.D. Elvira, S. Eno, P. Ermolov, O.V. Eroshin, J. Estrada, D. Evans, H. Evans, A. Evdokimov, V.N. Evdokimov, J. Fagan, J. Fast, S.N. Fatakia, D. Fein, L. Feligioni, A.V. Ferapontov, T. Ferbel, M.J. Ferreira, F. Fiedler, F. Filthaut, W. Fisher, H.E. Fisk, I. Fleck, T. Fitzpatrick, E. Flattum, F. Fleuret, R. Flores, J. Foglesong, M. Fortner, H. Fox, C. Franklin, W. Freeman, S. Fu, S. Fuess, T. Gadfort, C.F. Galea, E. Gallas, E. Galyaev, M. Gao, C. Garcia, A. Garcia-Bellido, J. Gardner, V. Gavrilov, A. Gay, P. Gay, D. Gele, R. Gelhaus, K. Genser, C.E. Gerber, Y. Gershtein, D. Gillberg, G. Geurkov, G. Ginther, B. Gobbi, K. Goldmann, T. Golling, N. Gollub, V. Golovtsov, B. Gomez, G. Gomez, R. Gomez, R. Goodwin, Y. Gornushkin, K. Gounder, A. Goussiou, D. Graham, G. Graham, P.D. Grannis, K. Gray, S. Greder, D.R. Green, J. Green, J.A. Green, H.

Greenlee, Z.D. Greenwood, E.M. Gregores, S. Grinstein, Ph. Gris, J.-F. Grivaz, L. Groer, S. Grunendahl, M.W. Grunewald, W. Gu, J. Guglielmo, A. Gupta, S.N. Gurzhiev, G. Gutierrez, P. Gutierrez, A. Haas, N.J. Hadley, E. Haggard, H. Haggerty, S. Hagopian, I. Hall, R.E. Hall, C. Han, L. Han, R. Hance, K. Hanagaki, P. Hanlet, S. Hansen, K. Harder, A. Harel, R. Harrington, J.M. Hauptman, R. Hauser, C. Hays, J. Hays, E. Hazen, T. Hebbeker, C. Hebert, D. Hedin, J.M. Heinmiller, A.P. Heinson, U. Heintz, C. Hensel, G. Hesketh, M.D. Hildreth, R. Hirosky, J.D. Hobbs, B. Hoeneisen, M. Hohlfeld, S.J. Hong, R. Hooper, S. Hou, P. Houben, Y. Hu, J. Huang, Y. Huang, V. Hynek, D. Huffman, I. Iashvili, R. Illingworth, A.S. Ito, S. Jabeen, Y. Jacquier, M. Jaffre, S. Jain, V. Jain, K. Jakobs, R. Jayanti, A. Jenkins, R. Jesik, Y. Jiang, K. Johns, M. Johnson, P. Johnson, A. Jonckheere, P. Jonsson, H. Jostlein, N. Jouravlev, M. Juarez, A. Juste, A.P. Kaan, M.M. Kado, D. Kafer, W. Kahl, S. Kahn, E. Kajfasz, A.M. Kalinin, J. Kalk, S.D. Kalmani, D. Karmanov, J. Kasper, I. Katsanos, D. Kau, R. Kaur, Z. Ke, R. Kehoe, S. Kermiche, S. Kesisoglou, A. Khanov, A. Kharchilava, Y.M. Kharzheev, H. Kim, K.H. Kim, T.J. Kim, N. Kirsch, B. Klima, M. Klute, J.M. Kohli, J.-P. Komrath, E.V. Komissarov, M. Kopal, V.M. Korablev, A. Kostritski, J. Kotcher, B. Kothari, A.V. Kotwal, A. Koubarovsky, A.V. Kozelov, J. Kozminski, A. Kryemadhi, O. Kouznetsov, J. Krane, N. Kravchuk, K. Krempetz, J. Krider, M.R. Krishnaswamy, S. Krzywdzinski, M. Kubantsev, R. Kubinski, N. Kuchinsky, S. Kuleshov, Y. Kulik, A. Kumar, S. Kunori, A. Kupco, T. Kurca, J. Kvita, V.E. Kuznetsov, R. Kwarciany, S. Lager, N. Lahrichi, G. Landsberg, M. Larwill, P. Laurens, B. Lavigne, J. Lazoflores, A.-C. Le Bihan, G. Le Meur, P. Lebrun, S.W. Lee, W.M. Lee, A. Leflat, C. Leggett, F. Lehner, R. Leitner, C. Leonidopoulos, J. Leveque, P. Lewis, J. Li, Q.Z. Li, X. Li, J.G.R. Lima, D. Lincoln, C. Lindenmeyer, S.L. Linn, J. Linnemann, V.V. Lipaev, R. Lipton, M. Litmaath, J. Lizarazo, L. Lobo, A. Lobodenko, M. Lokajicek, A. Lounis, P. Love, J. Lu, H.J. Lubatti, A. Lucotte, L. Lueking, C. Luo, M. Lynker, A.L. Lyon, E. Machado, A.K.A. Maciel, R.J. Madaras, P. Mattig, C. Magass, A. Magerkurth, A.-M. Magnan, M. Maity, N. Makovec, P.K. Mal, H.B. Malbouisson, S. Malik, V.L. Malyshev, V. Manakov, H.S. Mao, Y. Maravin, D. Markley, M. Markus, T. Marshall, M. Martens, M. Martin, G. Martin-Chassard, S.E.K. Mattingly, M. Matulik, A.A. Mayorov, R. McCarthy, R. McCroskey, M. McKenna, T. McMahon, D. Meder, H.L. Melanson, A. Melnitshouk, A. Mendes, D. Mendoza, L. Mendoza, X. Meng, Y.P. Merekov, M. Merkin, K.W. Merritt, A. Meyer, J. Meyer, M. Michaut, C. Miao, H. Miettinen, D. Mihalcea, V. Mikhailov, D. Miller, J. Mitrevski, N. Mokhov, J. Molina, N.K. Mondal, H.E. Montgomery, R.W. Moore, T. Moulik, G.S. Muanza, M. Mostafa, S. Moua, N. Mokhov, M. Mulders, L. Mundim, Y.D. Mutaf, P. Nagaraj, E. Nagy, M. Naimuddin, F. Nang, M. Narain, V.S. Narasimhan, A. Narayanan, N.A. Naumann, H.A. Neal, J.P. Negret, S. Nelson, R.T. Neuenschwander, P. Neustroev, C. Noeding, A. Nomerotski, S.F. Novaes, A. Nozdrin, T. Nunnemann, A. Nurczyk, E. Nurse, V. O'Dell, D.C. O'Neil, V. Oguri, D. Olis, N. Oliveira, B. Olivier, J. Olsen, N. Oshima, B.O. Oshinowo, G.J. Otero y Garzon, P. Padley, K. Papageorgiou,

N. Parashar, J. Park, S.K. Park, J. Parsons, R. Partridge, N. Parua, A. Patwa, G. Pawloski, P.M. Perea, E. Perez, O. Peters, P. Petroff, M. Petteni, L. Phaf, R. Piegaia, M.-A. Pleier, P.L.M. Podesta-Lerma, V.M. Podstavkov, Y. Pogorelov, M.-E. Pol, A. Pompos, P. Polosov, B.G. Pope, E. Popkov, S. Porokhovoy, W.L. Prado da Silva, W. Pritchard, I. Prokhorov, H.B. Prosper, S. Protopopescu, M.B. Przybycien, J. Qian, A. Quadt, B. Quinn, E. Ramberg, R. Ramirez-Gomez, K.J. Rani, K. Ranjan, M.V.S. Rao, P.A. Rapidis, S. Rapisarda, J. Raskowski, P.N. Ratoff, R.E. Ray, N.W. Reay, R. Rechenmacher, L.V. Reddy, T. Regan, J.-F. Renardy, S. Reucroft, J. Rha, M. Ridel, M. Rijssenbeek, I. Ripp-Baudot, F. Rizatdinova, S. Robinson, R.F. Rodrigues, M. Roco, C. Rotolo, C. Royon, P. Rubinov, R. Ruchti, R. Rucinski, V.I. Rud, N. Russakovich, P. Russo, B. Sabirov, G. Sajot, A. Sanchez-Hernandez, M.P. Sanders, A. Santoro, B. Satyanarayana, G. Savage, L. Sawyer, T. Scanlon, D. Schaile, R.D. Schamberger, Y. Scheglov, H. Schellman, P. Schieferdecker, C. Schmitt, C. Schwanenberger, A. Schwartzman, R. Schwienhorst, S. Sengupta, H. Severini, E. Shabalina, M. Shamim, H.C. Shankar, V. Shary, A.A. Shchukin, P. Sheahan, W.D. Shephard, R.K. Shivpuri, A.A. Shishkin, D. Shpakov, M. Shupe, R.A. Sidwell, V. Simak, V. Sirotenko, D. Skow, P. Skubic, P. Slattery, D.E. Smith, R.P. Smith, K. Smolek, G.R. Snow, J. Snow, S. Snyder, S. Soldner-Rembold, X. Song, Y. Song, L. Sonnenschein, A. Sopczak, V. Sorin, M. Sosebee, K. Soustruznik, M. Souza, N. Spartana, B. Spurlock, N.R. Stanton, J. Stark, J. Steele, A. Stefanik, J. Steinberg, G. Steinbruck, K. Stevenson, V. Stolin, A. Stone, D.A. Stoyanova, J. Strandberg, M.A. Strang, M. Strauss, R. Strohmer, D. Strom, M. Strovink, L. Stutte, S. Sumowidagdo, A. Sznajder, M. Talby, S. Tentindo-Repond, P. Tamburello, W. Taylor, P. Telford, J. Temple, N. Terentyev, V. Teterin, E. Thomas, J. Thompson, B. Thooris, M. Titov, D. Toback, V.V. Tokmenin, C. Tolian, M. Tomoto, D. Tompkins, T. Toole, J. Torborg, F. Touze, S. Towers, T. Trefzger, S. Trincaz-Duvoid, T.G. Trippe, D. Tsybychev, B. Tuchming, C. Tully, A.S. Turcot, P.M. Tuts, M. Utes, L. Uvarov, S. Uvarov, S. Uzunyan, B. Vachon, P.J. van den Berg, P. van Gemmeren, R. Van Kooten, W.M. van Leeuwen, N. Varelas, E.W. Varnes, A. Vartapetian, **I.A. Vasilyev**, M. Vaupel, M. Vaz, P. Verdier, L.S. Vertogradov, M. Verzocchi, M. Vigneault, F. Villeneuve-Seguiet, P.R. Vishwanath, J.-R. Vlimant, E. Von Toerne, A. Vorobyov, M. Vreeswijk, T. Vu Anh, V. Vysotsky, H.D. Wahl, R. Walker, N. Wallace, L. Wang, Z.-M. Wang, J. Warchol, M. Warsinsky, G. Watts, M. Wayne, M. Weber, H. Weerts, M. Wegner, N. Wermes, M. Wetstein, A. White, V. White, D. Whiteson, D. Wicke, T. Wijnen, D.A. Wijngaarden, N. Wilcer, H. Willutzki, G.W. Wilson, S.J. Wimpenny, J. Wittlin, T. Wlodek, M. Wobisch, J. Womersley, D.R. Wood, T.R. Wyatt, Z. Wu, Y. Xie, Q. Xu, N. Xuan, S. Yacoob, R. Yamada, M. Yan, R. Yarema, T. Yasuda, Y.A. Yatsunenkov, Y. Yen, K. Yip, H.D. Yoo, F. Yoffe, S.W. Youn, J. Yu, A. Yurkewicz, A. Zabi, M. Zanabria, A. Zatserklyaniy, M. Zdrzil, C. Zeitnitz, B. Zhang, D. Zhang, X. Zhang, T. Zhao, Z. Zhao, H. Zheng, B. Zhou, B. Zhou, J. Zhu, M. Zielinski, D. Zieminska, A. Zieminski, R. Zitoun, T. Zmuda, V. Zutshi, S. Zviagintsev, E.G. Zverev, A. Zylberstejn.

“The Upgraded D0 Detector”, Nucl. Instr. and Methods A565 (2006) p.463.

- [4] V. M. Abazov, B. Abbott, M. Abolins, B. S. Acharya, M. Adams, T. Adams, E. Aguilo, S. H. Ahn, M. Ahsan, G. D. Alexeev, G. Alkhazov, A. Alton, G. Alverson, G. A. Alves, M. Anastasoiaie, L. S. Ancu, T. Andeen, S. Anderson, B. Andrieu, M. S. Anzelc, Y. Arnoud, M. Arov, M. Arthaud, A. Askew, B. Asman, A. C. S. Assis Jesus, O. Atramentov, C. Autermann, C. Avila, C. Ay, F. Badaud, A. Baden, L. Bagby, B. Baldin, D.V. Bandurin, S. Banerjee, P. Banerjee, E. Barberis, A.-F. Barfuss, P. Bargassa, P. Baringer, J. Barreto, J. F. Bartlett, U. Bassler, D. Bauer, S. Beale, A. Bean, M. Begalli, M. Begel, C. Belanger-Champagne, L. Bellantoni, A. Bellavance, J. A. Benitez, S. B. Beri, G. Bernardi, R. Bernhard, L. Berntzon, I. Bertram, M. Besancon, R. Beuselinck, V. A. Bezzubov, P. C. Bhat, V. Bhatnagar, C. Biscarat, G. Blazey, F. Blekman, S. Blessing, D. Bloch, K. Bloom, A. Boehnlein, D. Boline, T. A. Bolton, G. Borissov, K. Bos, T. Bose, A. Brandt, R. Brock, G. Brooijmans, A. Bross, D. Brown, N. J. Buchanan, D. Buchholz, M. Buehler, V. Buescher, S. Burdin, S. Burke, T. H. Burnett, C. P. Buszello, J. M. Butler, P. Calfayan, S. Calvet, J. Cammin, S. Caron, W. Carvalho, B. C. K. Casey, N. M. Cason, H. Castilla-Valdez, S. Chakrabarti, D. Chakraborty, K. M. Chan, K. Chan, A. Chandra, F. Charles, E. Cheu, F. Chevallier, D. K. Cho, S. Choi, B. Choudhary, L. Christofek, T. Christoudias, S. Cihangir, D. Claes, C. Clement, B. Clement, Y. Coadou, M. Cooke, W. E. Cooper, M. Corcoran, F. Couderc, M.-C. Cousinou, S. Crepe-Renaudin, D. Cutts, M. Cwiok, H. da Motta, A. Das, G. Davies, K. De, S. J. de Jong, P. de Jong, E. De La Cruz-Burelo, C. De Oliveira Martins, J. D. Degenhardt, F. Deliot, M. Demarteau, R. Demina, D. Denisov, S. P. Denisov, S. Desai, H. T. Diehl, M. Diesburg, A. Dominguez, H. Dong, L.V. Dudko, L. Duflot, S. R. Dugad, D. Duggan, A. Duperrin, J. Dyer, A. Dyshkant, M. Eads, D. Edmunds, J. Ellison, V. D. Elvira, Y. Enari, S. Eno, P. Ermolov, H. Evans, A. Evdokimov, V. N. Evdokimov, A.V. Ferapontov, T. Ferbel, F. Fiedler, F. Filthaut, W. Fisher, H. E. Fisk, M. Ford, M. Fortner, H. Fox, S. Fu, S. Fuess, T. Gadfort, C. F. Galea, E. Gallas, E. Galyaev, C. Garcia, A. Garcia-Bellido, V. Gavrilov, P. Gay, W. Geist, D. Gele, C. E. Gerber, Y. Gershtein, D. Gillberg, G. Ginter, N. Gollub, B. Gomez, A. Goussiou, P. D. Grannis, H. Greenlee, Z. D. Greenwood, E. M. Gregores, G. Grenier, Ph. Gris, J.-F. Grivaz, A. Grohsjean, S. Grunendahl, M.W. Grunewald, J. Guo, F. Guo, P. Gutierrez, G. Gutierrez, A. Haas, N. J. Hadley, P. Haefner, S. Hagopian, J. Haley, I. Hall, R. E. Hall, L. Han, K. Hanagaki, P. Hansson, K. Harder, A. Harel, R. Harrington, J. M. Hauptman, R. Hauser, J. Hays, T. Hebbeker, D. Hedin, J. G. Hegeman, J. M. Heinmiller, A. P. Heinson, U. Heintz, C. Hensel, K. Herner, G. Hesketh, M. D. Hildreth, R. Hirosky, J. D. Hobbs, B. Hoeneisen, H. Hoeth, M. Hohlfeld, S. J. Hong, R. Hooper, S. Hossain, P. Houben, Y. Hu, Z. Hubacek, V. Hynek, I. Iashvili, R. Illingworth, A. S. Ito, S. Jabeen, M. Jaffre, S. Jain, K. Jakobs, C. Jarvis, R. Jesik, K. Johns, C. Johnson, M. Johnson, A. Jonckheere, P. Jonsson, A. Juste, D. Kafer, S. Kahn, E. Kajfasz, A. M. Kalinin, J. R. Kalk, J. M. Kalk, S. Kappler, D. Karmanov, J. Kasper, P. Kasper, I. Katsanos, D. Kau, R. Kaur, V. Kaushik, R. Kehoe, S. Kermiche, N.

Khalatyan, A. Khanov, A. Kharchilava, Y. M. Kharzheev, D. Khatidze, H. Kim, T. J. Kim, M. H. Kirby, M. Kirsch, B. Klima, J. M. Kohli, J.-P. Konrath, M. Kopal, V. M. Korablev, B. Kothari, A.V. Kozelov, D. Krop, A. Kryemadhi, T. Kuhl, A. Kumar, S. Kunori, A. Kupco, T. Kurca, J. Kvitka, F. Lacroix, D. Lam, S. Lammers, G. Landsberg, J. Lazoflores, P. Lebrun, W. M. Lee, A. Leflat, F. Lehner, J. Lellouch, V. Lesne, J. Leveque, P. Lewis, J. Li, Q. Z. Li, L. Li, S. M. Lietti, J. G. R. Lima, D. Lincoln, J. Linnemann, V.V. Lipaev, R. Lipton, Y. Liu, Z. Liu, L. Lobo, A. Lobodenko, M. Lokajicek, A. Lounis, P. Love, H. J. Lubatti, A. L. Lyon, A. K. A. Maciel, D. Mackin, R. J. Madaras, P. Mattig, C. Magass, A. Magerkurth, N. Makovec, P. K. Mal, H. B. Malbouisson, S. Malik, V. L. Malyshev, H. S. Mao, Y. Maravin, B. Martin, R. McCarthy, A. Melnitchouk, A. Mendes, L. Mendoza, P. G. Mercadante, Y. P. Merekov, M. Merkin, K.W. Merritt, J. Meyer, A. Meyer, M. Michaut, T. Millet, J. Mitrevski, J. Molina, R. K. Mommsen, N. K. Mondal, R.W. Moore, T. Moulik, G. S. Muanza, M. Mulders, M. Mulhearn, O. Mundal, L. Mundim, E. Nagy, M. Naimuddin, M. Narain, N. A. Naumann, H. A. Neal, J. P. Negret, P. Neustroev, H. Nilsen, A. Nomerotski, S. F. Novaes, T. Nunnemann, V. O'Dell, D. C. O'Neil, G. Obrant, C. Ochando, D. Onoprienko, N. Oshima, J. Osta, R. Otec, G. J. Otero y Garzon, M. Owen, P. Padley, M. Pangilinan, G. Panov, N. Parashar, S.-J. Park, S. K. Park, J. Parsons, R. Partridge, N. Parua, A. Patwa, G. Pawloski, B. Penning, P. M. Perea, K. Peters, Y. Peters, P. Petroff, M. Petteni, R. Piegaiia, J. Piper, M.-A. Pleier, P. L. M. Podesta-Lerma, V. M. Podstavkov, Y. Pogorelov, M.-E. Pol, P. Polozov, A. Pompos, B. G. Pope, A.V. Popov, C. Potter, W. L. Prado da Silva, H. B. Prosper, S. Protopopescu, J. Qian, A. Quadt, B. Quinn, A. Rakitine, M. S. Rangel, K. J. Rani, K. Ranjan, P. N. Ratoff, P. Renkel, S. Reucroft, P. Rich, M. Rijssenbeek, I. Ripp-Baudot, F. Rizatdinova, S. Robinson, R. F. Rodrigues, C. Royon, A. Rozhdestvenski, P. Rubinov, R. Ruchti, G. Safronov, G. Sajot, A. Sanchez-Hernandez, M. P. Sanders, A. Santoro, G. Savage, L. Sawyer, T. Scanlon, D. Schaile, R. D. Schamberger, Y. Scheglov, H. Schellman, P. Schieferdecker, T. Schliephake, C. Schmitt, C. Schwanenberger, A. Schwartzman, R. Schwienhorst, J. Sekaric, S. Sengupta, H. Severini, E. Shabalina, M. Shamim, V. Shary, A. A. Shchukin, R. K. Shivpuri, D. Shpakov, V. Siccardi, V. Simak, V. Sirotenko, P. Skubic, P. Slattery, D. Smirnov, R. P. Smith, J. Snow, G. R. Snow, S. Snyder, S. Soldner-Rembold, L. Sonnenschein, A. Sopczak, M. Sosebee, K. Soustruznik, M. Souza, B. Spurlock, J. Stark, J. Steele, V. Stolin, A. Stone, D. A. Stoyanova, J. Strandberg, S. Strandberg, M. A. Strang, M. Strauss, E. Strauss, R. Strohmer, D. Strom, M. Strovink, L. Stutte, S. Sumowidagdo, P. Svoisky, A. Sznajder, M. Talby, P. Tamburello, A. Tanasijczuk, W. Taylor, P. Telford, J. Temple, B. Tiller, F. Tissandier, M. Titov, V.V. Tokmenin, M. Tomoto, T. Toole, I. Torchiani, T. Trefzger, D. Tsybychev, B. Tuchming, C. Tully, P. M. Tuts, R. Unalan, S. Uvarov, L. Uvarov, S. Uzunyan, B. Vachon, P. J. van den Berg, B. van Eijk, R. Van Kooten, W. M. van Leeuwen, N. Varelas, E.W. Varnes, A. Vartapetian, **I.A. Vasilyev**, M. Vaupel, P. Verdier, L. S. Vertogradov, Y. Vertogradova, M. Verzocchi, F. Villeneuve-Seguiet, P. Vint, P. Vokac, E. Von

Toerne, M. Voutilainen, M. Vreeswijk, R. Wagner, H. D. Wahl, L. Wang, M. H. L. S. Wang, J. Warchol, G. Watts, M. Wayne, M. Weber, G. Weber, H. Weerts, A. Wenger, N. Wermes, M. Wetstein, A. White, D. Wicke, G. W. Wilson, S. J. Wimpenny, M. Wobisch, D. R. Wood, T. R. Wyatt, Y. Xie, S. Yacoob, R. Yamada, M. Yan, T. Yasuda, Y. A. Yatsunenko, K. Yip, H. D. Yoo, S. W. Youn, J. Yu, C. Yu, A. Yurkewicz, A. Zatserklyaniy, C. Zeitnitz, D. Zhang, T. Zhao, B. Zhou, J. Zhu, M. Zielinski, D. Zieminska, A. Zieminski, L. Zivkovic, V. Zutshi, E. G. Zverev.
“**Direct Observation of the Strange Ξ_b^- Baryon**”, Phys. Rev. Lett. 99, 052001 (2007).

Рукопись поступила 2 октября 2008 года.

И.А. Васильев

Триггерный детектор передней мюонной системы эксперимента D0.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **L^AT_EX**.

Редактор Н.В. Ежела.

Подписано к печати 06.10.2008. Формат 60 × 84/8.
Офсетная печать. Печ.л. 1,8. Уч.-изд.л. 1,65. Тираж 100. Заказ 63.
Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 2008-15, И Ф В Э, 2008
