



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

2013–15
На правах рукописи

Щукин Андрей Александрович

**Поиск универсальных дополнительных
измерений в эксперименте D0**

01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук

Протвино 2013

УДК 539.1.07

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

Научный руководитель – академик РАН, доктор физико-математических наук С.П. Денисов.

Официальные оппоненты: кандидат физико-математических наук В.М. Айнутдинов (старший научный сотрудник лаборатории нейтринной астрофизики высоких энергий ИЯИ РАН), профессор, доктор физико-математических наук А.К. Лиходед (главный научный сотрудник отдела теоретической физики ФБГУ ГНЦ ИФВЭ).

Ведущая организация – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 2013 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 201.004.01 при ФБГУ ГНЦ ИФВЭ по адресу: 142281, Протвино Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 201.004.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 2013

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Основной задачей физики высоких энергий является поиск фундаментальных частиц, взаимодействие между которыми должно объяснять все многообразие процессов и явлений во Вселенной. За последние десятилетия в этом направлении совершен грандиозный прорыв – создана квантово-полевая теория - Стандартная Модель (СМ), описывающая чрезвычайно широкую совокупность явлений субъядерного мира. Заметим, что большинство фундаментальных частиц не было известно до последнего времени.

Всесторонние экспериментальные проверки СМ на ускорителях и коллайдерах не выявили серьезных разногласий с предсказаниями СМ. Однако, есть основания полагать, и об этом будет сказано ниже, что СМ не является по ряду причин вполне удовлетворительной, и должна существовать более общая теория, объясняющая, например, асимметрию вещества и антивещества во Вселенной. В связи с этим неудивительно, что уже давно начали предприниматься попытки расширить СМ путем введения дополнительных гипотез. Одним из таких расширений является модель универсальных дополнительных измерений (UED – от англ. Universal Extra Dimensions). Согласно этой модели существует одно или несколько дополнительных изме-

рений и все частицы и поля „живут“ во всех этих $4 + n$ измерениях. В значительной степени модель UED опирается на теорию Калуцы и Клейна (КК) и является ее развитием. Каждой частице SM сопоставляется соответствующая башня КК-состояний. В силу сохранения КК-четности, КК-состояния могут рождаться только парами, а легчайшая КК-частица является стабильной. Нетрудно заметить сходство UED с другим расширением SM — суперсимметрией, где каждой частице SM сопоставляется суперсимметричный партнер и сохраняется R-четность.

Физические результаты, полученные в эксперименте D0, представляют большой научный интерес. Поиски новых частиц и явлений с целью проверки SM являются актуальной и важной задачей современной физики частиц. К ним относится и проведенный в диссертационной работе поиск дополнительных измерений с использованием самых современных средств анализа экспериментальных данных и моделирования фоновых процессов.

Практическая ценность работы

Полученные физические результаты по поиску дополнительных измерений и разработанные методы идентификации КК-частиц и моделирования фона могут быть использованы при планировании и проведении аналогичных исследований, например, на установках LHC.

Целью диссертационной работы является поиск КК-частиц в $p\bar{p}$ -взаимодействиях при энергии 1.96 ТэВ в с.ц.м. на коллайдере Tevatron на установке D0 для получения ответа на вопрос, существуют ли дополнительные измерения.

Научная новизна и результаты работы

Данная работа является первым прямым поиском КК-частиц в рамках модели с минимальным количеством дополнительных измерений (mUED). Впервые экспериментально получены ограничения на сечения образования КК-частиц. Новые результаты позволили с уровнем достоверности 95% исключить область обратного радиуса компактификации $R^{-1} \leq 260$ ГэВ, что соответствует массам легчайшего КК-кварка $m(Q_1) \leq 317$ ГэВ.

Личный вклад автора

Все этапы проведенной работы выполнены при определяющем участии автора.

Апробация работы

Выполненная работа многократно представлялась на рабочих совещаниях сотрудничества D0. Основные результаты доложены автором на III и V Черенковских чтениях (Москва, ФИАН, 2010, 2012) и на международной конференции Supersymmetry 2011 (Батавия, США). Апробация диссертации проведена в рамках научного семинара ФБГУ ГНЦ ИФВЭ (Протвино, 2013).

Публикации

Основные результаты работы опубликованы в 3 печатных работах, из них 2 статьи [1],[2] в рецензируемых журналах, включенных в список ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 79 листах и состоит из введения, трех глав и заключения. Работа включает в себя 47 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 29 наименований.

Краткое содержание работы

Во введении изложены актуальность работы, ее цели, новизна и практическая ценность, а также кратко представлены основные положения СМ.

В первой главе рассмотрены теоретические модели, на которые опирается данная работа. В разделах 1.1 и 1.2 изложены базовые понятия СМ и указаны ее главные недостатки, которые делают актуальными задачи по развитию новых, более общих теорий, объясняющих наблюдаемые явления как во Вселенной, так и в микромире. В разделах 1.3.1, 1.3.2 и 1.3.3 дается краткий обзор теорий дополнительных измерений и рассматриваются наиболее популярные модели — большие дополнительные измерения, искривленные дополнительные измерения и универсальные дополнительные измерения. Универсальные дополнительные измерения, являющиеся объектом исследования в диссертационной работе, рассмотрены несколько по-

дробнее, а в разделе 1.3.4 представлены результаты расчетов массового спектра КК-частиц в рамках минимальной модели универсальных дополнительных измерений (mUED).

Во второй главе описывается коллайдер Tevatron (раздел 2.1) и экспериментальная установка D0 (раздел 2.2). В разделе 2.2.5 подробно описана мюонная система установки, ее особенности, основные характеристики и критерии качества идентификации мюонов, используемые в дальнейшем в диссертации. В этом же разделе изложены разработанные методы мониторинга стабильности работы мюонной системы и результаты этого мониторинга за период 2006-2011 гг. В разделе 2.2.6 описана триггерная система установки D0.

Третья глава посвящена непосредственно поиску универсальных дополнительных измерений в эксперименте D0. В начале главы рассматриваются процессы, связанные с образованием (рис.1а) а распадами (рис.1б) КК-частиц на коллайдере Tevatron.



Рис. 1. Диаграммы рождения КК-частиц ($\bar{Q}_1 Q_1$) на адронных коллайдерах (а) и их распада (б).

Из диаграммы распада видно, что в конечном состоянии может наблюдаться до 4 лептонов. Однако, некоторые лептоны могут быть очень “мягкими” (имеющими малый поперечный импульс), что делает их регистрацию и идентификацию весьма сложной. Поэтому было принято решение рассматривать события, содержащие только 2 мюона одного знака (события с мюонами разного знака имеют гораздо больший фон).

В разделе 3.1 описаны экспериментальные данные и триггерные условия, использованные в работе. Интегральная светимость, соответствующая использованной выборке данных, составила 7.3 fb^{-1} .

В разделе 3.2 представлены результаты моделирования событий искомым и фоновым процессом. События с рождением КК-частиц были сгенерированы для 9 различных значений обратного радиуса компактификации дополнительного измерения R^{-1} в диапазоне 200-320 ГэВ. Для этого были использованы функции распределения партонов LHGRIDSTEQ5L и генератор PYTHIA 6.421. При энергиях Тэватрона параметр порогового масштаба Λ полагался равным 10 ТэВ. Значения сгенерированных масс КК-частиц представлены в таблице 1. В качестве фоновых процессов рассматривались следующие процессы Стандартной модели с образованием Z - и W -бозонов, адронных струй и t -кварков: Z +струи, W +струи, WW , WZ , ZZ , $t\bar{t}$.

Таблица 1. Массы КК-частиц (в ГэВ) и сечения их образования (в пб) в зависимости от R^{-1} (в ГэВ).

| R^{-1} | $m(\gamma_1)$ | $m(Z_1)$ | $m(g_1)$ | $m(l_1)$ | $m(Q_1)$ | σ |
|----------|---------------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| 200 | 201 | 230 | 269 | 207 | 249 | 34.93 ± 0.21 |
| 215 | 216 | 245 | 287 | 222 | 266 | 20.36 ± 0.12 |
| 230 | 231 | 260 | 305 | 238 | 283 | 12.06 ± 0.07 |
| 245 | 246 | 274 | 323 | 253 | 300 | 7.24 ± 0.04 |
| 260 | 261 | 289 | 341 | 268 | 317 | 4.39 ± 0.03 |
| 275 | 276 | 304 | 359 | 284 | 334 | 2.68 ± 0.02 |
| 290 | 291 | 319 | 377 | 299 | 351 | 1.65 ± 0.01 |
| 305 | 306 | 335 | 395 | 314 | 368 | 1.02 ± 0.01 |
| 320 | 321 | 350 | 413 | 330 | 385 | 0.63 ± 0.01 |

При моделировании фоновых реакций была использованы программы ALPGEN и PYTHIA. При этом в программы Монте-Карло были внесены необходимые изменения с целью учета особенностей экспериментальной установки и обеспечения максимального согласия расчетных и экспериментальных данных. Вклад фона, связанный с КХД процессами, оценивался из экспериментальных данных и рассмотрен отдельно.

В разделе 3.3 перечислены критерии предварительного отбора

событий. Среди них основным является требование наличия в событии двух мюонов одного знака с поперечным импульсом больше 5 ГэВ/. Кроме того использовались критерии изолированности мюона. $I^{cal} = \frac{\sum E_T^{0.1 < \Delta R < 0.4}}{p_T}$ - сумма энергосделений в ячейках калориметра в области, ограниченной конусами $\Delta R = 0.1$ и $\Delta R = 0.4$ относительно мюонного трека, нормированная на величину поперечного импульса мюона, где $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$ и $I^{trk} = \frac{\sum p_T^{\Delta R < 0.5}}{p_T}$ - сумма поперечных импульсов всех треков (кроме трека рассматриваемого мюона) в центральной трековой системе в конусе относительно мюонного трека, ограниченном $\Delta R = 0.5$, нормированная на величину поперечного импульса мюона. Мюон считался жестко изолированным, если $I^{cal} < 0.4$, $I^{trk} < 0.12$, и мягко изолированным, если $I^{cal} < 0.4$, $I^{trk} < 0.25$. Для повышения статистики жесткие требования изолированности мюона накладывались только на один мюон, а второй мюон мог быть мягко изолированным.

Сечения КХД-процессов, с мюонами от рождения $b\bar{b}$ - и $c\bar{c}$ -пар и их последующего распада очень велики, что делает моделирование, связанного с ними фона, методом Монте-Карло крайне затруднительным (требуются колоссальные объемы данных). В разделе 3.4 подробно описана новая разработанная нами методика оценки вклада данного фона. Она основана на формировании двух выборок \mathcal{S} и \mathcal{Q} :

- выборка \mathcal{S} соответствует сигналу; в этой выборке один из мюонов жестко изолирован, второй - мягко (см. выше);
- выборка \mathcal{Q} соответствует КХД-фону; в этой выборке один из мюонов по-прежнему жестко изолирован, а второй - не является даже мягко изолированным.

События в выборках \mathcal{S} и \mathcal{Q} довольно похожи, но в \mathcal{Q} подавляющее число мюонов порождены КХД-процессами. Это позволяет выбрать некую кинематическую область, где КХД-фон доминирует, параметризовать его и затем применить полученную параметризацию в области, ортогональной предыдущей. Параметризация КХД-фона осуществлялась в области малых поперечных импульсов изолированного мюона ($p_T < 10$ ГэВ/), где КХД-процессы доминируют в обеих

выборках. В простейшем случае достаточно в области $p_T < 10$ ГэВ/ определить нормировочный коэффициент N как отношение числа событий I в \mathcal{S} и \mathcal{Q} выборках:

$$N = \frac{I(\mathcal{S})}{I(\mathcal{Q})}$$

и применить его к выборке \mathcal{Q} в области $p_T > 10$ ГэВ/. Коэффициент N вычислялся отдельно для каждого значения множественности адронных струй. При этом из выборки \mathcal{Q} был вычтен вклад от электрослабых процессов, рассчитанный методом Монте-Карло. Вышеописанная процедура позволила добиться приемлемого согласия между данными и фоном (рис. 2).

В разделе 3.5 перечислены критерии окончательного отбора событий и переменные, выбранные для дальнейшего мультивариационного анализа. Требования к значению поперечного импульса были повышены до 15 ГэВ/ для лидирующего мюона и до 10 ГэВ/ — для второго. Введено требование к величине недостающей поперечной энергии $\cancel{E}_T > 25$ ГэВ и ряд других. Ниже приведен список переменных, отобранных для мультивариационного анализа:

- поперечный импульс лидирующего мюона p_{T1} ;
- поперечный импульс второго мюона p_{T2} ;
- азимутальный угол между мюонами $\Delta\phi$;
- недостающая поперечная энергия \cancel{E}_T ;
- величина χ^2 фита сшивки мюонных треков в центральном треkere и в мюонной системе;
- число струй в событии N_{jets} ;
- инвариантная масса мюонной пары $M_{\mu\mu}$;
- $\cancel{E}_T \times p_{T2}$ — скалярное произведение недостающей поперечной энергии и поперечного импульса второго мюона;
- топологические переменные M_{T1} и M_{T2} для лидирующего и второго мюонов, вычисляемые по формуле:

$$M_T = \sqrt{2 \cancel{E}_T \cdot p_T (1 - \cos\Delta\phi(\vec{\cancel{E}}_T, \mu))}. \quad (1)$$

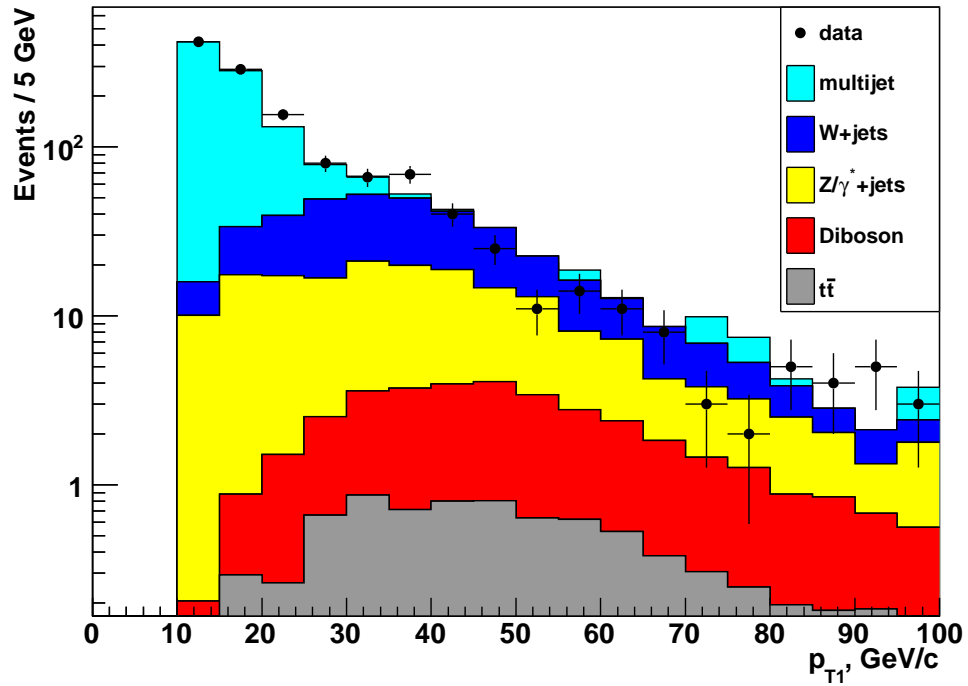


Рис. 2. Распределение событий по поперечному импульсу лидирующего мюона p_T после вычитания вклада электрослабых процессов.

- значимость недостающей поперечной энергии $Sig(\cancel{E}_T)$. Неверное измерение энергии струи приводит к ошибочному появлению недостающей энергии в направлении параллельном струе. Чтобы учесть такие ошибки, вводится переменная $Sig(\cancel{E}_T)$, являющаяся отношением недостающей поперечной энергии \cancel{E}_T к сумме погрешностей определения энергии струй, спроециро-

ванных на направление струи:

$$Sig(\cancel{E}_T) = \frac{\cancel{E}_T}{\sum_{jets} \sigma_{proj}^2}. \quad (2)$$

Распределения событий по этим переменным также приведены в данном разделе.

В разделе 3.6 изложена процедура отделения сигнала от фона. Для этого был использован метод BDT (Boosted Decision Trees), входящий в пакет TMVA. На этапе тренировки половина фоновых событий и половина событий искомого сигнала используются для нахождения наилучшей дискриминирующей переменной. Затем эта переменная тестируется на второй половине событий фона и сигнала. На рисунке 3 показано распределение событий по оптимизированной дискриминирующей переменной для данных, фона и сигнала при значении обратного радиуса компактификации $R^{-1} = 200$ ГэВ.

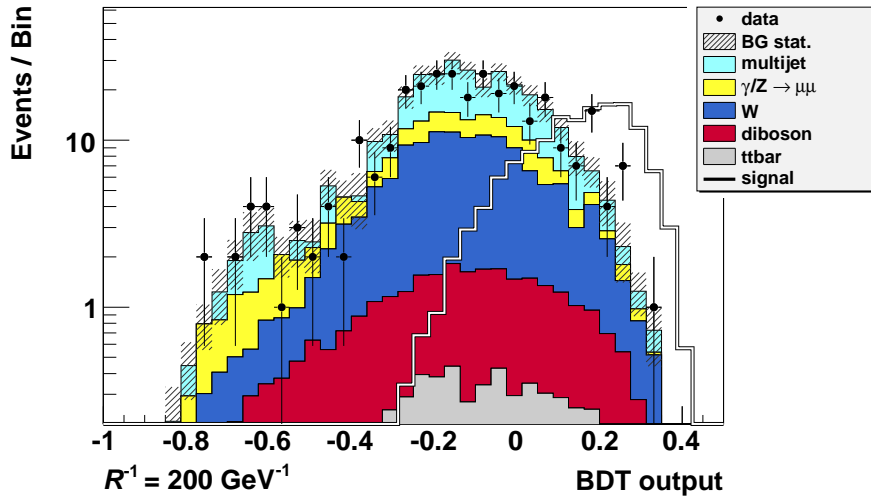


Рис. 3. Выход BDT для сигнала при $R^{-1} = 200$ ГэВ.

Систематические погрешности, необходимые для корректного вычисления ограничения на сечение образования КК-частиц, приведены в разделе 3.7. Подробно описана процедура оценки система-

тической погрешности, вносимой методом моделирования фона от КХД-процессов. Величина этой погрешности составила 40%.

В разделе 3.8 представлены окончательные результаты и методы их получения. Для вычисления ограничения на величину сечения процессов, связанных с mUED, был использован программный пакет Collie, который учитывает не только интегральное число событий в данных, сигнале и Монте-Карло, но и полную форму распределений выходных переменных ВДТ.

Наблюдаемые (σ_{obs}) и ожидаемые (σ_{exp}) значения ограничений на величину сечения образования частиц mUED, помноженные на брэнчинг конечного состояния с двумя мюонами одного знака, для различных значений обратного радиуса компактификации R^{-1} представлены на рис. .

Точки пересечения наблюдаемого и ожидаемого ограничений на сечение образования частиц mUED с кривой теоретических расчетов соответствуют значениям $R^{-1} = 260$ ГэВ и $R^{-1} = 275$ ГэВ. Таким образом, с уровнем достоверности 95% исключается область $R^{-1} < 260$ ГэВ, что соответствует разрешенной области масс легчайшего КК-кварка ≥ 317 ГэВ.

В заключении подведены результаты диссертационной работы:

1. Диссертационная работа посвящена поиску дополнительных пространственных измерений в эксперименте D0, а именно, поиску частиц Калуцы-Клейна (КК-частиц), рождающихся в рамках минимальной модели универсальных дополнительных измерений (mUED). Было показано, что поиск таких частиц в событиях, содержащих два мюона одного знака, является перспективной и решаемой задачей.
2. В работе проанализированы экспериментальные данные, соответствующие накопленной светимости 7.3 фб^{-1} .
3. С помощью разработанных методов и программного обеспечения для измерения одномюонных выходов экспериментально показана стабильность работы мюонной и триггерной системы, а также алгоритмов идентификации мюонов.

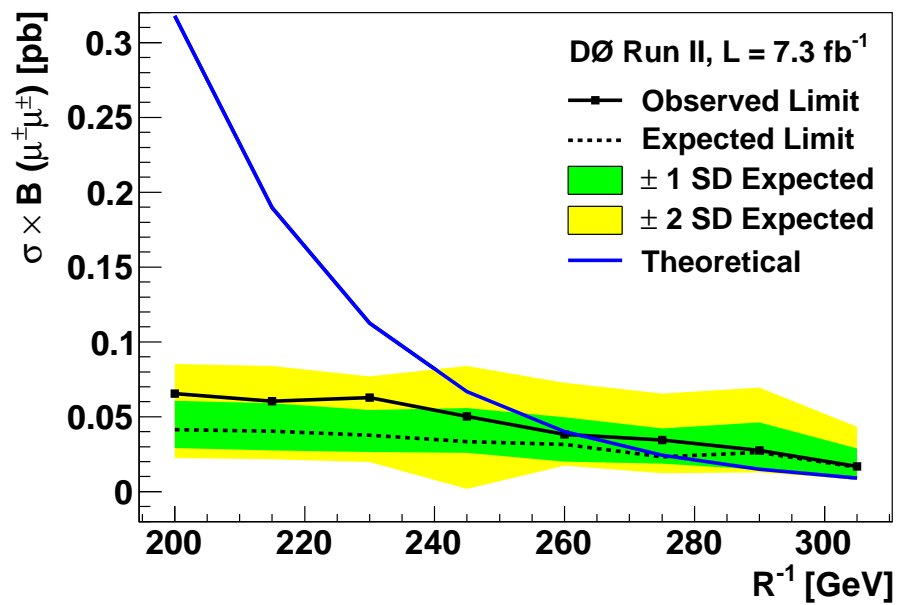


Рис. 4. Наблюдаемые и ожидаемые значения ограничения на величину сечения образования частиц mUED для различных значений обратного радиуса компактификации R^{-1} .

4. В рамках программного окружения эксперимента D0 созданы новые программные пакеты для отбора событий-кандидатов и моделирования фоновых процессов.
5. Наиболее сложным этапом работы оказалось моделирование фона от КХД процессов, что привело к созданию новой оригинальной методики его оценки.
6. Проведена работа по оценке систематических погрешностей, вносимых различными источниками, в том числе методом моделирования фона от КХД процессов, ошибочным определением заряда мюонов и др.
7. Результаты, полученные с помощью современных программных методов, позволили с уровнем достоверности 95% исключить область обратного радиуса компактификации $R^{-1} \leq 260$ ГэВ, что соответствует массам легчайшего КК-кварка $m(Q_1) \leq 317$ ГэВ.
8. Выполненная работа является первым прямым поиском универсальных дополнительных измерений, предсказываемых моделью mUED.

Список литературы

- [1] V. M. Abazov, B. Abbott, B. S. Acharya, M. Adams, T. Adams, G. D. Alexeev, G. Alkhazov, A. Alton, G. Alverson, M. Aoki, A. Askew, B. Asman, S. Atkins, O. Atramentov, K. Augsten, C. Avila, J. BackusMayes, F. Badaud, L. Bagby, B. Baldin, D. V. Bandurin, S. Banerjee, E. Barberis, P. Baringer, J. Barreto, J. F. Bartlett, U. Bessler, V. Bazterra, A. Bean, M. Begalli, C. Belanger-Champagne, L. Bellantoni, S. B. Beri, G. Bernardi, R. Bernhard, I. Bertram, M. Besancon, R. Beuselinck, V. A. Bezzubov, P. C. Bhat, S. Bhatia, V. Bhatnagar, G. Blazey, S. Blessing, K. Bloom, A. Boehnlein, D. Boline, E. E. Boos, G. Borissov, T. Bose, A. Brandt, O. Brandt, R. Brock, G. Brooijmans, A. Bross, D. Brown, J. Brown, X. B. Bu, M. Buehler, V. Buescher, V. Bunichev, S. Burdin, T. H. Burnett, C. P. Buszello, B. Calpas, E. Camacho-Perez, M. A. Carrasco-Lizarraga, B. C. K. Casey, H. Castilla-Valdez, S. Chakrabarti, D. Chakraborty, K. M. Chan, A. Chandra, E. Chapon, G. Chen, S. Chevalier-Thery, D. K. Cho, S. W. Cho, S. Choi, B. Choudhary, S. Cihangir, D. Claes, J. Clutter, M. Cooke, W. E. Cooper, M. Corcoran, F. Couderc, M.-C. Cousinou, A. Croc, D. Cutts, A. Das, G. Davies, S. J. de Jong, E. De La Cruz-Burelo, F. Deliot, R. Demina, D. Denisov, S. P. Denisov, S. Desai, C. Deterre, K. DeVaughan, H. T. Diehl, M. Diesburg, P. F. Ding, A. Dominguez, T. Dorland, A. Dubey, L. V. Dudko, D. Duggan, A. Duperrin, S. Dutt, A. Dyshkant, M. Eads, D. Edmunds, J. Ellison, V. D. Elvira, Y. Enari, H. Evans, A. Evdokimov, V. N. Evdokimov, G. Facini, T. Ferbel, F. Fiedler, F. Filthaut, W. Fisher, H. E. Fisk, M. Fortner, H. Fox, S. Fuess, A. Garcia-Bellido, G. A. Garcia-Guerra, V. Gavrilov, P. Gay, W. Geng, D. Gerbaudo, C. E. Gerber, Y. Gershtein, G. Ginther, G. Golovanov, V. N. Goryachev, A. Goussiou, P. D. Grannis, S. Greder, H. Greenlee, Z. D. Greenwood, E. M. Gregores, G. Grenier, Ph. Gris, J.-F. Grivaz, Grohsjean, S. Grunendahl, M. W. Grunewald, T. Guillemin, G. Gutierrez, P. Gutierrez, A. Haas, S. Hagopian, J. Haley, L. Han, K. Harder, A. Harel, J. M. Hauptman, J. Hays, T. Head, T. Hebbeker, D.

Hedin, H. Hegab, A. P. Heinson, U. Heintz, C. Hensel, I. Heredia-De La Cruz, K. Herner, G. Hesketh, M. D. Hildreth, R. Hirosky, T. Hoang, J. D. Hobbs, B. Hoeneisen, M. Hohlfeld, Z. Hubacek, V. Hynek, I. Iashvili, Y. Ilchenko, R. Illingworth, A. S. Ito, S. Jabeen, M. Jaffre, 15 D. Jamin, A. Jayasinghe, R. Jesik, K. Johns, M. Johnson, A. Jonckheere, P. Jonsson, J. Joshi, A. W. Jung, A. Juste, K. Kaadze, E. Kajfasz, D. Karmanov, P. A. Kasper, I. Katsanos, R. Kehoe, S. Kermiche, N. Khalatyan, A. Khanov, A. Kharchilava, Y. N. Kharzheev, J. M. Kohli, A. V. Kozelov, J. Kraus, S. Kulikov, A. Kumar, A. Kupco, T. Kurca, V. A. Kuzmin, S. Lammers, G. Landsberg, P. Lebrun, H. S. Lee, S. W. Lee, W. M. Lee, J. Lellouch, H. Li, L. Li, Q. Z. Li, S. M. Lietti, J. K. Lim, D. Lincoln, J. Linnemann, V. V. Lipaev, R. Lipton, Y. Liu, A. Lobodenko, M. Lokajicek, R. Lopes de Sa, H. J. Lubatti, R. Luna-Garcia, A. L. Lyon, A. K. A. Maciel, D. Mackin, R. Madar, R. Magana-Villalba, S. Malik, V. L. Malyshev, J. Mansour, Y. Maravin, J. Martinez-Ortega, R. McCarthy, C. L. McGivern, M. M. Meijer, A. Melnitchouk, D. Menezes, P. G. Mercadante, M. Merkin, A. Meyer, J. Meyer, F. Miconi, N. K. Mondal, G. S. Muanza, M. Mulhearn, E. Nagy, M. Naimuddin, M. Narain, R. Nayyar, H. A. Neal, J. P. Negret, P. Neustroev, S. F. Novaes, T. Nunnemann, G. Obrant, J. Orduna, N. Osman, J. Osta, G. J. Otero y Garzon, M. Padilla, A. Pal, N. Parashar, V. Parihar, S. K. Park, R. Partridge, N. Parua, A. Patwa, B. Penning, M. Perfilov, Y. Peters, K. Petridis, G. Petrillo, P. Petroff, R. Piegaia, M.-A. Pleier, P. L. M. Podesta-Lerma, V. M. Podstavkov, P. Polozov, A. V. Popov, M. Prewitt, D. Price, N. Prokopenko, J. Qian, A. Quadt, B. Quinn, M. S. Rangel, K. Ranjan, P. N. Ratoff, I. Razumov, P. Renkel, M. Rijssenbeek, I. Ripp-Baudot, F. Rizatdinova, M. Rominsky, A. Ross, C. Royon, P. Rubinov, R. Ruchti, G. Safronov, G. Sajot, P. Salcido, A. Sanchez-Hernandez, M. P. Sanders, B. Sanghi, A. S. Santos, G. Savage, L. Sawyer, T. Scanlon, R. D. Schamberger, Y. Scheglov, H. Schellman, T. Schliephake, S. Schlobohm, C. Schwanenberger, R. Schwienhorst, J. Sekaric, H. Severini, E. Shabalina, V. Shary, **A. A. Shchukin**, R. K. Shivpuri, V. Simak, V. Sirotenko, P. Skubic, P. Slattery, D.

Smirnov, K. J. Smith, G. R. Snow, J. Snow, S. Snyder, S. Soldner-Rembold, L. Sonnenschein, K. Soustruznik, J. Stark, V. Stolin, D. A. Stoyanova, M. Strauss, D. Strom, L. Stutte, L. Suter, P. Svoisky, M. Takahashi, A. Tanasijczuk, M. Titov, V. V. Tokmenin, Y.-T. Tsai, K. Tschann-Grimm, D. Tsybychev, B. Tuchming, C. Tully, L. Uvarov, S. Uvarov, S. Uzunyan, R. Van Kooten, W. M. van Leeuwen, N. Varelas, E. W. Varnes, I. A. Vasilyev, P. Verdier, L. S. Vertogradov, M. Verzocchi, M. Vesterinen, D. Vilanova, P. Vokac, H. D. Wahl, M. H. L. S. Wang, J. Warchol, G. Watts, M. Wayne, M. Weber, J. Weichert, L. Welty-Rieger, A. White, D. Wicke, M. R. J. Williams, G. W. Wilson, M. Wobisch, D. R. Wood, T. R. Wyatt, Y. Xie, R. Yamada, W.-C. Yang, T. Yasuda, Y. A. Yatsunenko, W. Ye, Z. Ye, H. Yin, K. Yip, S. W. Youn, T. Zhao, B. Zhou, J. Zhu, M. Zielinski, D. Zieminska, L. Zivkovic. Search for Universal Extra Dimensions in ppbar Collisions. Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 131802.

- [2] В.А.Беззубов, И.А.Васильев, В.Н.Евдокимов, В.В.Липаев, А.А.Щукин, И.Н.Чурин, Д.С.Денисов, В.М.Подставков. Калибровка сцинтилляционного триггерного детектора передней мюонной системы эксперимента D0. Приборы и методы эксперимента **1** (2008), с.45-49.
- [3] A.Popov, A.Shchukin, A.Santos, J.Mansour, P.Mercadante, V.Goryachev. Search for Universal Extra Dimensions in the Likesign Dimuon Channel. Препринт D0, **6300** (2012).

Рукопись поступила 1 октября 2013 года.

Автореферат отпечатан с оригинала-макета, подготовленного автором.

А.А. Шукин

Поиск универсальных дополнительных измерений в эксперименте D0.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **LaTeX**.

Подписано к печати 08.10.2013. Формат 60 × 84/16.
Цифровая печать. Печ.л. 1,18. Уч.-изд.л. 1,48. Тираж 100. Заказ 30.
Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 2013–15, И Ф В Э, 2013
