

ОКНО В МИР

И.Б. ЛОГашЕНКО

НОВОЙ ФИЗИКИ

Научное направление «Новая физика» объединяет ученых из разных лабораторий, работающих над общей задачей – увидеть косвенно или напрямую, чего не хватает в Стандартной модели элементарных частиц, и расширить понимание того, как устроен мир. Лаборатория поиска взаимодействий за рамками Стандартной модели Новосибирского государственного университета была создана для участия команды университетских ученых и студентов в экспериментах мюонной программы Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми (Фермилаб, США)



ЛОГашЕНКО Иван Борисович – кандидат физико-математических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск), доцент кафедры элементарных частиц, заведующий кафедрой физико-технической информатики физического факультета НГУ. Автор и соавтор более 100 научных работ

Ключевые слова: новая физика, Фермилаб, Стандартная модель, $\mu 2e$, конверсия мюона, g-2, аномальный магнитный момент мюона, ЦЕРН, БАК.

Key words: new physics, Fermilab, Standard Model, $\mu 2e$, muon conversion, g-2, anomalous magnetic moment of muon, CERN, LHC

© И.Б. Логашенко, 2016

Современная теория элементарных частиц, которую мы называем Стандартной моделью, прекрасно описывает практически все явления, наблюдаемые в экспериментах, проводимых в лабораториях. Но по целому ряду причин физики уверены, что Стандартная модель не является полной, окончательной теорией. Например, множество независимых астрофизических наблюдений указывает на то, что значительную долю Вселенной составляет «темная материя», а в Стандартной модели для нее нет места. Поэтому поиск явлений «новой физики», не описанных Стандартной моделью, стал основным направлением исследований в физике элементарных частиц. Прямыми поисками новой физики занимаются ученые в экспериментах на Большом адронном коллайдере – они надеются зарегистрировать новые частицы, которые вылетели в результате столкновения протонов. Мы же работаем над получением косвенных указаний о существовании взаимодействий за рамками Стандартной модели.

В наших экспериментах используются интенсивные мюонные пучки. Мюон – давно открытая, хорошо известная частица. Мюоны стали для физиков популярным лабораторным объектом благодаря тому, что их научились производить в больших количествах. Для этого необходим интенсивный протонный ускоритель – пучок протонов после удара о мишень порождает в том числе пи-мезоны (пионы), которые в свою очередь распадаются на мюоны. Мюон живет очень долго в масштабах микромира – более двух микросекунд, этого времени хватает, чтобы провести очень точные измерения. Мюоны довольно тяжелые, более чем в 200 раз тяжелее электрона, это делает их особенно чувствительными к проявлениям новой физики.



Коллектив коллаборации g-2 на кольце

Производство мюонного пучка на ускорительном комплексе Фермилаб





Национальная ускорительная лаборатория им. Энрико Ферми (США). Ускорительный комплекс Фермилаб формирует пучки протонов, нейтрино, мюонов и других частиц для множества экспериментов. В частности, на трехкилометровом Главном инжекторе производится самый интенсивный в мире пучок высокоэнергичных нейтрино. *Credit: Fermilab*

С вероятностью 10^{-17}

Мюон распадается на электрон и два нейтрино (мюонное нейтрино и электронное антинейтрино) – это самый обычный, полностью разрешенный в Стандартной модели процесс. На сегодняшний день надежно установлено, что многие элементарные частицы существуют в трех так называемых поколениях. Например, электрон – частица первого поколения, мюон тяжелый аналог электрона – частица второго поколения, тау-лептон – еще более тяжелый «близнец» электрона третьего поколения. У каждого поколения лептонов есть свое лептонное число, которое равно единице. Для античастиц лептонное число равно минус единице. В распаде мюона лептонные числа сохраняются. Действительно, мюон при распаде рождает электрон (частица из первого поколения) и электронное антинейтрино (античастица из первого поколения), суммарное лептонное число первого поколения которых равно нулю ($0 = 1 + \leftarrow -1$). Кроме того, появляется еще мюонное нейтрино – частица из второго поколения, которая имеет такое же лептонное число второго поколения, а именно, единицу, как первоначальный мюон. Этот

В мире не так много лабораторий, в которых есть интенсивные протонные пучки. Два эксперимента, в которых участвует наша лаборатория, Mu2e и g-2, составляют мюонную программу Национальной ускорительной лаборатории им. Энрико Ферми, или, как ее сокращенно называют, Фермилаб. Другая лаборатория, которая также входит в СAE «Новая физика», лаборатория по поиску процессов с нарушением закона сохранения лептонного числа (заведующий лабораторией к. ф.-м. н. Д. Н. Григорьев), участвует в эксперименте COMET, «близнеце» американского Mu2e, который будет проводиться на ускорительном комплексе J-PARK в Японии, и в экспериментах MEG и MEG-II, которые проводятся в ускорительной лаборатории PSI в Швейцарии.

ЭКСПЕРИМЕНТ MU2E

Импульсный пучок протонов попадает на первичную мишень, при этом рождается множество мюонов. Интересующие нас мюоны доставляются на вторичную мишень, где они останавливаются. В течение приблизительно одной микросекунды (время жизни мюона в мишени) мы регистрируем частицы, вылетающие из вторичной мишени. Мюон либо распадается обычным образом, с рождением двух нейтрино (около 40 % событий), либо захватывается атомом алюминия (около 60 % событий), либо произойдет событие, которое мы ищем (но, как мы помним, вероятность его очень мала).

Схема эксперимента довольно необычна. Первая особенность заключается в установке магнитного транспортного канала S-образной формы длиной несколько десятков метров между первой и второй мишенью. Пучок протонов, попадая в первую мишень, рождает различные частицы, в основном пионы. Они, в свою очередь, распадаются на мюоны. Огромный поток частиц вылетает из мишени и движется в сторону магнитного канала. В основном все эти частицы для нас являются фоном, «шумом» – нужных нам мюонов лишь около одной тысячной от всего количества частиц. Попадая в магнитный канал, в котором частицы движутся достаточно долго (по меркам времени жизни пионов), почти все фоновые пионы распадаются. Благодаря этому ко второй мишени прилетает уже чистый пучок мюонов. Это очень важно, потому что пионный фон, оставшийся в пучке мюонов, может дать сигнал, похожий на тот, что мы ищем.

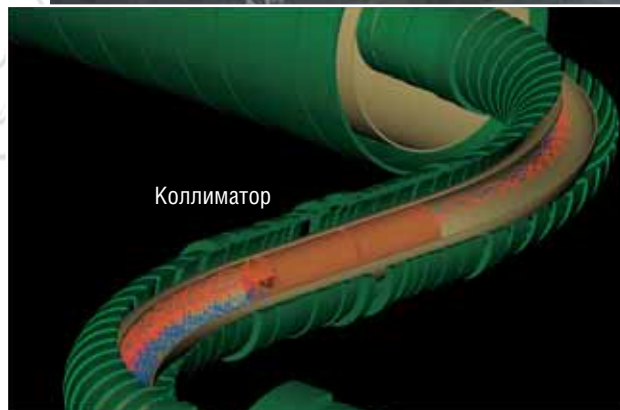
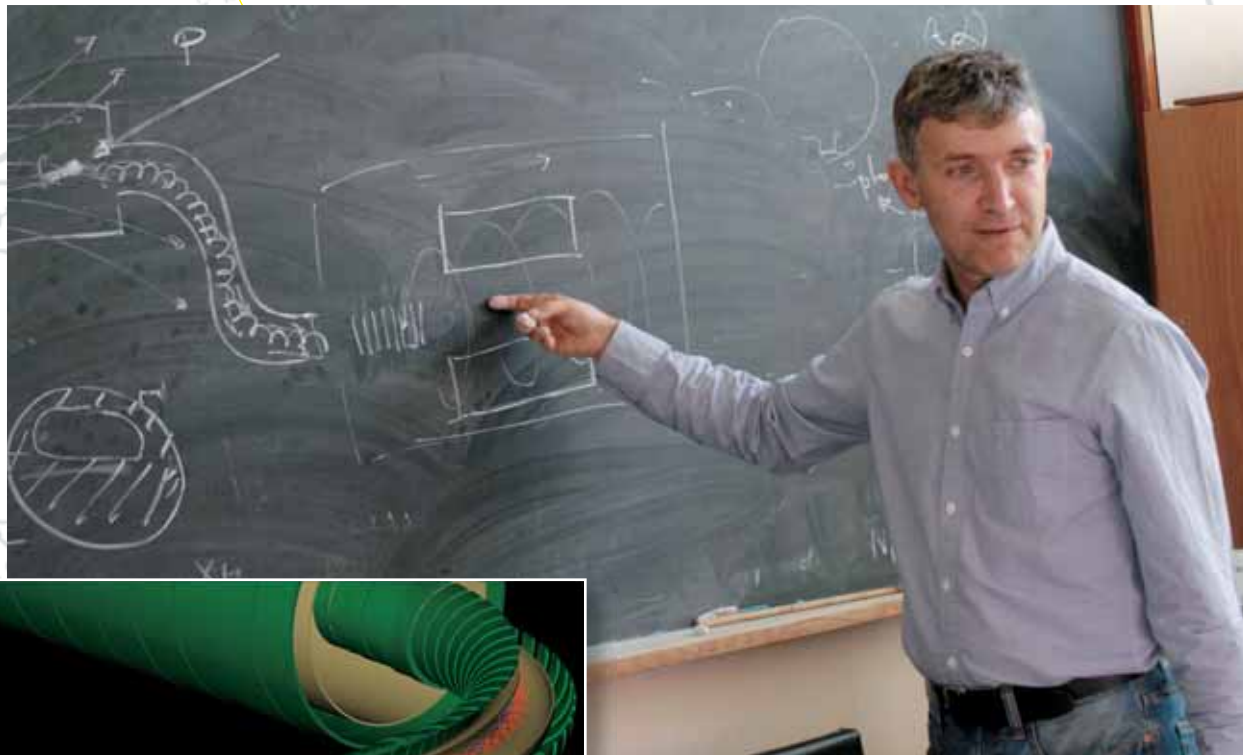
Значительная часть рожденных частиц летит из первичной мишени «вперед», вдоль направления протонного

пучка. В дизайне эксперимента применяется остроумный прием, который заставляет мюоны и пионы повернуть назад – магнитное поле вдоль мишени растет, что создает магнитное зеркало. Частицы, попадая в такое поле, оказываются в магнитной пробке. Они летят по спирали, отражаются от зеркала и летят назад. Так делают только частицы с не очень большой энергией, именно такие нужны для проведения эксперимента, а энергичные мюоны и пионы пролетают сквозь магнитную ловушку. Такая схема позволяет с большей эффективностью захватить нужные нам мюоны, отразив их назад. Далее для проведения эксперимента нам нужны отрицательно заряженные мюоны, а на мишени рождаются мюоны обоих зарядов. Магнитный канал устроен так, что положительно и отрицательно заряженные мюоны разводятся по вертикали, и на пути положительно заряженных фоновых мюонов устанавливается коллиматор-поглотитель. Используются и другие методы формирования пучка мюонов, но описанные – основные. В эксперименте используется импульсный пучок протонов. Пока протоны попадают на мишень, сформированный чистый пучок мюонов летит ко вторичной мишени, там мюоны останавливаются и накапливаются. Потом протонный пучок выключается, и мы начинаем наблюдать частицы, вылетающие из вторичной мишени, в частности, распадные электроны, которые летят по направлению детекторов. Энергия электронов, рожденных в фоновых процессах (например, при обычном распаде мюона), меньше энергии электронов, рожденных при конверсии мюона. Если мы в детекторе обнаружим электрон с энергией, приблизительно равной массе мюона, это будет означать, что мы зарегистрировали процесс безнейтринной конверсии мюона в электрон. Мы ищем очень редкое событие, поэтому ключевое требование эксперимента – подавление фона. Дизайн эксперимента специально оптимизирован так, чтобы все известные источники фона не производили события, которые можно было бы спутать с событиями искомого сигнала.

Эксперимент Mu2e направлен на проверку фундаментальной симметрии квантового мира. Физики наблюдали превращение одного типа кварка в другой, переход одного типа нейтрино в другой. Возникает вопрос, может ли мюон, заряженный лептон, перейти в другой тип заряженных лептонов? В частности, может ли мюон превратиться в электрон?



Ivan Logash
137



Коллиматор

Моделирование мюонного пучка в эксперименте Mu2e. Мюоны с отрицательным зарядом пролетают сквозь коллиматор, мюоны с положительным зарядом застревают

результат не случаен – во всех известных процессах Стандартной модели соблюдаются законы сохранения лептонных чисел поколений.

За последние два десятилетия были открыты нейтринные осцилляции – процесс превращения нейтрино одного поколения в нейтрино другого поколения. А значит, закон сохранения лептонных чисел оказался только приближительным – переходы между поколениями без сохранения индивидуальных лептонных чисел существуют. Однако их вероятность исчезающе мала. Например, теперь мы знаем, что в Стандартной модели существуют механизмы, которые позволяют мюону распасться только на электрон и фотон, не родив больше ничего. Частица из второго поколения исчезнет, и не будет никакой компенсации ее лептонного числа, появится только частица из первого поколения. Но в Стандартной модели это очень сильно подавленный процесс. А именно: вероятность, что это произойдет, меньше чем 10^{-54} – это практически невероятно, можно сказать, что практически запрещено. Цель экс-

периментов Mu2e и COMET заключается в том, чтобы обнаружить подобное превращение мюона в электрон в поле ядра алюминия, без испускания нейтрино. В таком превращении произойдет нарушение закона сохранения лептонного числа.

Зачем же искать что-то запрещенное? Оказывается, что многие теории расширения Стандартной модели (теория струн, суперсимметричные модели, теории с большими дополнительными измерениями) предполагают, что такой переход может случиться с гораздо большей вероятностью. В экспериментах планируется измерить вероятность порядка 10^{-17} . Конечно, это тоже маленькая вероятность, но она на много порядков больше, чем разрешено Стандартной моделью. Вероятность конверсии на уровне 10^{-17} предсказывается в некоторых теориях расширения Стандартной модели. Поэтому к этим двум экспериментам такой большой интерес – они уникальны. Любое наблюдение безнейтринного перехода мюона в электрон будет однозначно доказывать существование «новой физики».

Только представьте, что такое 10^{-17} . Все влияние процессов «нормальной» физики вам нужно подавить на 17 порядков, подавить весь фон нормальной физики, чтобы найти тот один случай из 10^{17} . Это очень сложно!

Подобные эксперименты проводились и раньше. Существовавшая тогда техника эксперимента позволила достичь до уровня чувствительности $7 \cdot 10^{-13}$. Если бы мюон переходил в электрон с вероятностью порядка 10^{-12} , то это бы увидели в предыдущих экспериментах. А раз этого не произошло, значит, вероятность этого события меньше – это все, что мы знаем сегодня. Новое поколение экспериментов повысит чувствительность в 10 000 раз. Если процесс конверсии мюона в электрон происходит с вероятностью, скажем, 10^{-16} , мы его обнаружим. Если мы не обнаружим подобных событий, можно будет утверждать, что вероятность конверсии меньше $7 \cdot 10^{-17}$. И еще раз повторю, эта область интересна тем, что целым рядом моделей она предсказывается, а вероятность 10^{-13} никакими моделями не предсказывалась, она слишком большая.

Ключевой момент эксперимента – получить интенсивный и чистый мюонный пучок. Идея была предложена в России для Московской мезонной фабрики физиками-ядерщиками академиком В. М. Лобашевым и Р. М. Джилкибаевым в 1989 г. Реализовать ее не удалось – для экономики страны в тот момент это была неподъемная задача. Ее подхватили американские ученые, которые в 2000-х гг. развивали проект МЕСО (Muon Electron Conversion) на базе Брукхейвенской национальной лаборатории (США). Но и американское правительство тогда не было готово поддерживать такие эксперименты. И вот теперь, по прошествии двадцати пяти лет этот эксперимент реализуется сразу в двух странах. В Японии накопление данных начнется в 2018 г., в США чуть позже – в начале 2020-х гг.

Как я уже говорил, до появления СAE в эксперименте Mu2e я участвовал как сотрудник ИЯФа. Сейчас НГУ и ИЯФ являются полноценными участниками эксперимента. До текущего года Mu2e был на стадии проектирования. Мы занимались анализом дизайна эксперимента, оценивали различные источники фона.

В частности, необходимо было оценить, сколько мюонов на каждый протон, попавший на первичную мишень, дойдет до вторичной мишени, т. е. какая производительность будет у эксперимента. От этого зависит, сколько времени нужно работать, чтобы получить требуемую чувствительность. Для этого надо было понять, сколько пионов нужной энергии выйдет из мишени после попадания в нее протонов. Имеется много данных по экспериментам с энергичными частицами, а нас интересуют пионы достаточно малой энергии. Но хороших экспериментальных данных для нужных нам энергий нет. Нужно было понять, какие программы правильно оценивают их количество, сопоставить результаты расчетов с существующими экспериментальными данными.

Еще одна задача, которую нужно было решить на стадии проектирования, – оценить влияние локальных

минимумов магнитного поля. Так как установка большая, сделать магнитное поле везде однородным сложно. Дизайн эксперимента продуман так, чтобы магнитное поле равномерно снижалось вдоль магнитного канала, это выталкивает частицы в область низких полей. Но если где-то возникает локальный минимум магнитного поля, то там будут накапливаться частицы, которые потом могут создать фон в сигнальной области. Мы занимались оценкой того, в каких частях установки возникают такие «ямки» и к какому эффекту они могут привести.

Мы проводили и другие расчеты такого рода. Все эти задачи важны на этапе уточнения дизайна эксперимента. Сейчас начался этап строительства Mu2e, а в ближайшие два-три года основные работы лаборатории будут связаны с экспериментом g-2, сбор данных на котором начнется в 2017 г.

Элемент магнита транспортного канала. Транспортный канал будет состоять из 27 сверхпроводящих магнитов. Credit: Fermilab





ЭКСПЕРИМЕНТ MUON (G-2)

Ключевой элемент всего эксперимента – накопительное кольцо радиусом около 7 м с очень однородным магнитным полем внутри. Размеры установки не самые большие, но создать настолько однородное магнитное поле – сложнейшая задача. Но только в таких условиях можно точно измерить аномальный магнитный момент. Когда мюон попадает в однородное магнитное поле, он начинает двигаться по окружности, – другими словами, импульс мюона (направление его движения) вращается с частотой оборота по окружности. Аналогично собственный момент импульса мюона (спин) тоже вращается с некой частотой, которая немного отличается от частоты обращения. Оказывается, что частота прецессии (частота, с которой вектор спина вращается относительно направления импульса) строго пропорциональна аномальному магнитному моменту и величине магнитного поля. Поэтому в эксперименте мы измеряем частоту прецессии и величину магнитного поля и получаем величину аномального магнитного момента мюона.

Идея проста, но чтобы гарантировать точность эксперимента, необходимо создать очень однородное магнитное поле. Запуская мюон в неоднородное магнитное поле, мы не сможем отследить, где и при каких значениях магнитного поля пролетал мюон. Как же измерить магнитное поле в установке, ведь если на пути мюонов установить датчики, мюоны просто погибнут? Используется довольно сложная схема, когда периодически измеряется магнитное поле на пути мюонов, затем датчики убираются и проводятся измерения с мюонами, а поле при этом отслеживается с помощью датчиков, расположенных вокруг.

Мюон летает, спин прецессирует. Но откуда мы знаем, куда именно сейчас направлен спин у мюона? Здесь ученым помогает природа. Нормальный распад мюона – это электрон и два нейтрино. Электрон мы видим. Оказывается, что больше электронов летит туда, куда направлен спин мюонов. Установив на внутренней стороне кольца калориметры, мы можем детектировать количество электронов, которые в них попадают. И это количество будет периодически изменяться с частотой, равной частоте прецессии.

Мюонное накопительное кольцо, центральный элемент эксперимента g-2, было перевезено в Фермилаб из Брукхейвенской национальной лаборатории. Сложнейшая инженерная задача, перевозка 15-метровых сверхпроводящих обмоток, была успешно решена в 2013 г. Credit: Brookhaven National Laboratory.

Внизу: Прибытие обмоток в Фермилаб. Credit: Fermilab

Аномальный магнитный момент мюона

Muon (g-2) – еще один мюонный эксперимент, который, как мы надеемся, косвенным образом укажет нам на новую физику. Этот эксперимент также проводится в Фермилаб, он уже на последней стадии подготовки, набор данных начнется в 2017 г.

В этом эксперименте с высокой точностью измеряется аномальный магнитный момент мюона, который обозначается g-2. Первое измерение этой величины было сделано в конце 1950-х гг. Это будет уже шестое измерение. В каждом эксперименте точность измерения увеличивалась в несколько раз по сравнению с предыдущим результатом. Эксперимент в Фермилаб не является исключением. Предыдущий эксперимент проходил в Брукхейвенской лаборатории (БНЛ), и тогда величину g-2 измерили с относительной точностью $0,54 \cdot 10^{-6}$. Эксперимент в Фермилаб увеличит точность в четыре раза, и она будет близка к $0,14 \cdot 10^{-6}$.

Почему нам так интересна эта величина? Сама по себе она не является чем-то необыкновенным и уже тем более «аномальным» – это просто исторически сложившееся название. Оказывается, что в величину g-2 вносят вклад все существующие в природе взаимодействия. Главная особенность аномального магнитного момента мюона состоит в том, что эту величину можно очень точно рассчитать в рамках Стандартной модели. Так же точно ее можно измерить и экспериментально. Если мы увидим разницу между теоретическим и экспериментальным результатом, это будет означать,

что Стандартной модели не хватает для объяснения величины $g-2$. Другими словами, разница будет вкладом новой физики.

Предыдущий эксперимент показал наличие расхождения на 3–4 стандартных отклонения. Каждый результат, будь то теоретический расчет или экспериментальное измерение – это число с погрешностью, измерение, как и большинство расчетов, не могут быть бесконечно точными. Чем больше разница между двумя точками относительно их ошибок, тем с большей уверенностью мы можем утверждать, что разница действительно существует. Разница в 3–4 стандартных отклонения (другими словами, в 3–4 суммарной ошибки измерения и расчета) – это не так много, чтобы мы могли уверенно говорить, что видим именно проявление новой физики, а не случайный выброс. И все-таки, те данные, что получили в Брукхейвенской лаборатории, очень интригующие, вероятность, что мы видим вклад новой физики, весьма значительна.

Чтобы двигаться дальше, нужен новый эксперимент, более точный. Схема эксперимента в Фермилаб в целом та же, что и в предыдущем. Более того, дизайн эксперимента был придуман в ЦЕРНе в 1970-х гг. XX в. Основная идея с тех пор не изменилась, но благодаря развитию технологий мы можем лучше реализовать эту идею и выполнить более точное измерение – в четыре раза по – сравнению с Брукхейвенской лабораторией.

В эксперименте сделано много улучшений по сравнению с экспериментом в Брукхейвене. Например, уже получено магнитное поле, однородность которого в 3 раза лучше, чем было в БНЛ, а это напрямую влияет на точность измерения. В течение последних

трех лет строилось, устанавливалось и настраивалось оборудование. В 2017 г. начнется предварительный сбор данных, а через год эксперимент войдет в рабочий режим. Для многих наших экспериментов характерен долгий этап запуска (здесь предполагается это сделать за несколько месяцев), и потом 2–3 года уйдет на сбор данных. Чем больше данных наберет эксперимент – тем лучше, тем выше точность измерения.

Сравнив измеренный аномальный магнитный момент мюона с расчетным, мы определим вклад новой физики в него. Как я уже говорил, мюон – прекрасная частица с точки зрения поиска новой физики. Вклад новой физики в аномальный магнитный момент уже сейчас лучше измерен именно для мюонов, а не для электронов. Отношение возможного вклада новой физики в аномальные магнитные моменты мюона и электрона равно отношению квадратов масс мюона и электрона. Аномальный магнитный момент электрона измерен с очень высокой относительной точностью – 10^{-12} . Аномальный магнитный момент мюона измерен в 1000 раз хуже, но мюон в 200 раз тяжелее электрона. Значит, вклад новой физики для мюона будет в 40 000 раз больше, поэтому именно мюон лучше использовать для поиска новой физики.

Как и большинство лабораторий СAE «Новая физика», наша лаборатория – результат коллаборации между НГУ и Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Удивительным образом эксперименты, которые проводятся в ИЯФе, самым тесным образом связаны с экспериментом $g-2$ в Фермилаб. Фактически то, что мы делаем в ИЯФе, а именно, измерение адронных сечений на ускорительном комплексе

ВЭПП-2000, позволит улучшить точность теоретического вычисления аномального магнитного момента мюона в рамках Стандартной модели.

Точность теоретического вычисления $g-2$ на сегодняшний день составляет $0,42 \cdot 10^{-6}$, это приблизительно соответствует точности измерения в БНЛ. Эксперимент в Фермилабе улучшит точность измерения в 4 раза, а значит, надо улучшать и точность расчета, ведь искомый вклад новой физики – это разница между измерением и расчетом. Самая сложная и неопределенная часть теоретических расчетов для эксперимента $g-2$ связана с вычислением вклада сильных взаимодействий.

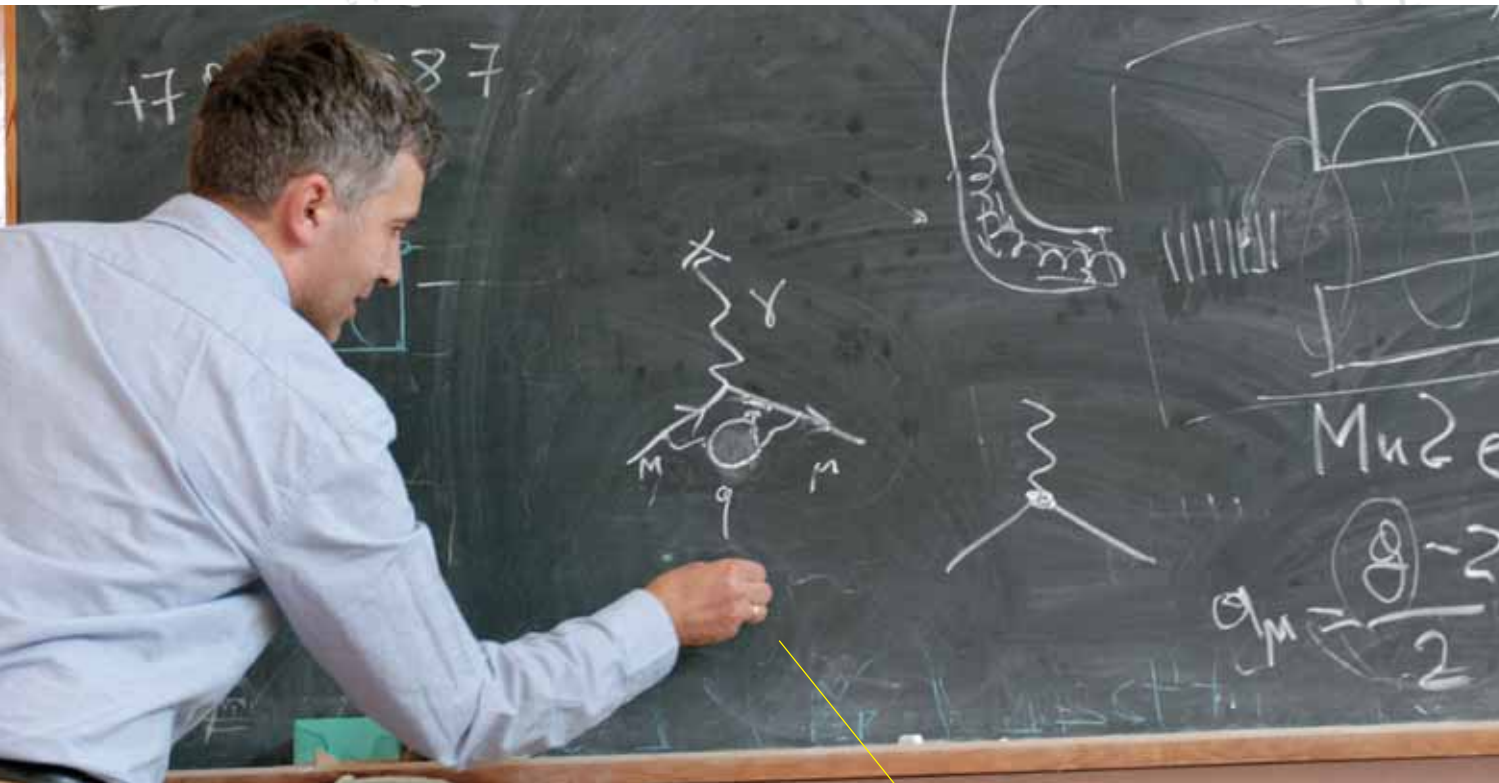
На языке квантовой теории все взаимодействия мы рисуем с помощью диаграмм Фейнмана. И когда мы говорим, что мюон взаимодействует с магнитным полем – это значит, что мюон испускает или поглощает фотон. Испускание/поглощение и есть классическое взаимодействие с электрическим и магнитным полем. Но в квантовой теории возможны процессы, когда мюон испускает фотон и тут же «съедает» его.

Перевозка сверхпроводящих обмоток по шоссе проводилась в ночное время (слева).

Погрузка обмоток на баржу, на которой они были доставлены из порта около Нью Йорка в порт, неподалеку от Чикаго (справа)

Для перевозки обмоток была создана специальная конструкция, сохраняющая форму обмоток с необходимой точностью (порядка 1 мм) на протяжении всего пути (внизу). Credit: Brookhaven National Laboratory





Это называется петлевые поправки, потому что на диаграммах они выглядят как петли. Именно наличие таких процессов приводит к ненулевому значению аномального магнитного момента.

Хорошо развитая техника вычислений, так называемая теория возмущений позволяет произвести расчет вклада электромагнитных и слабых взаимодействий в аномальный магнитный момент мюона с очень высокой точностью. К сожалению, для вычисления вклада сильных взаимодействий, когда в петлях появляются сильновзаимодействующие частицы (адроны), эта техника неприменима. Но 1960-х гг. был придуман изящный теоретический «трюк», который связывает вклад адронов при аннигиляции электрона и позитрона. Если мы знаем вероятность рождения адронов как функцию энергии, то эту функцию можно хитрым способом проинтегрировать и получить искомый вклад сильных взаимодействий (он еще называется адронной поляризацией вакуума) в аномальный магнитный момент мюона.

В области энергий до нескольких ГэВ эту вероятность нельзя вычислить, ее можно определить только в эксперименте. Измерить вероятность рождения адронов в области энергий до 2 ГэВ можно на ускорителе ВЭПП-2000 (ИЯФ СО РАН, Новосибирск). Интересно, что именно эта область энергий важна для определения вклада сильных взаимодействий в $g-2$ мюона.

Диаграмма Фейнмана, иллюстрирующая вклад сильных взаимодействий

Для получения результата нам необходимо провести ряд экспериментов. Когда электрон и позитрон аннигилируют, рождается много различных комбинаций сильно взаимодействующих частиц. Мы изучаем каждую комбинацию по отдельности, что в итоге позволяет нам получить суммарную вероятность рождения адронов в этом процессе. Возможность напрямую измерить сечения аннигиляции электронов и позитронов в адроны при низких энергиях есть только у нас, потому что больше ни у кого нет такого ускорителя – ВЭПП-2000 обладает самой высокой производительностью в области энергии до 2 ГэВ. Но в мире существуют другие эксперименты, которые используют косвенные методы для измерения вероятности рождения адронов. В целом это очень активная область исследований, и у нас есть возможность получить наиболее точные результаты.

Стандартная модель очень многое предсказала. Бозон Хиггса стал последним недостающим звеном, которое было открыто совсем недавно. Но при этом мы знаем, что эта теория неполная. К сожалению, пока неизвестно, что находится «за пределами» Стандартной модели, «где» и «что» надо искать. Мы знаем, что при планковских энергиях ($\sim 10^{19}$ ГэВ) теория совсем другая. И если новая физика начинается

только там, то, увы, об этом мы никогда не узнаем. Но если вдруг новая физика проявляется уже при энергиях несколько ТэВ, то мы увидим это на Большом адронном коллайдере.

Мы пытаемся увидеть косвенные доказательства проявления новой физики, и это позволит нам «заглянуть» в область энергий, не доступных на БАК. Если, например, мы поймем мюон, родившийся в поле ядра с вероятностью 10^{-16} только электрон, это будет огромная новость. Тогда теоретики сразу начнут подбирать модели, которые предсказывают такую величину сигнала. И мы узнаем, в каком направлении надо будет продолжать поиски. Таким образом, эксперименты, в которых мы участвуем, это часть большой программы по поиску новой физики. А результаты, ожидаемые в ближайшее десятилетие, должны значительно расширить горизонт наших поисков новой физики.

Результаты экспериментов, которые проводятся на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в ИЯФ СО РАН, помогут улучшить точность вычисления теоретического значения аномального магнитного момента мюона в рамках Стандартной модели. Фото С. Карпова



Установка сверхпроводящих обмоток мюонного накопительного кольца, привезенных из Брукхейвенской лаборатории, в Фермилаб. Credit: Fermilab

Литература
 Bennett G.W. et al. Final Report of the Muon E821 Anomalous Magnetic Moment Measurement at BNL // Phys. Rev. D. 2006. V. 73. 072003
 Grange J., Guarino V., Winter P. et al. Muon ($g-2$) Technical Design Report. 2015.
 L. Bartoszek et al. Mu2e Technical Design Report. 2015.

