

1. Аномальный магнитный момент мюона. В 1948 г. Дж.С. Швингером в рамках квантовой электродинамики была рассчитана поправка $a_\mu = (g_\mu - 2)/2$ к гиромагнитному отношению мюона g_μ . Затем эта величина уточнялась с учётом слабого и сильного взаимодействий и диаграмм высших порядков в Стандартной модели. Однако a_μ , измеренная 20 лет назад в Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL), превышает предсказываемое значение (расхождение на уровне $3,7\sigma$) [1]. С целью проверки этого результата в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (Фермилабе) проводится новый независимый эксперимент [2]. Он аналогичен эксперименту BNL, но имеет ряд усовершенствований. Поправка a_μ измеряется по разности частоты прецессии спинов антимюонов μ^+ в магнитном поле в накопительном кольце и циклотронной частоты, а величина магнитного поля с высокой точностью измеряется по эффекту ядерного магнитного резонанса для протонов. Частота спиновой прецессии μ^+ определяется путём наблюдения модуляции спектра позитронов, образующихся при распадах μ^+ . Измерения в Фермилабе в настоящее время дают величину $a_\mu = 116592040(54) \times 10^{-11}$, которая в пределах погрешности измерений совпадает с результатом BNL, но на уровне $3,3\sigma$ расходится с предсказаниями Стандартной модели. Комбинация результатов BNL и Фермилаба даёт расхождение со Стандартной моделью на уровне $4,2\sigma$. Если это расхождение не является редкой статистической флуктуацией, то её объяснением может быть новая физика за пределами Стандартной модели. В эксперименте в Фермилабе принимают участие российские исследователи из Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ) и Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

2. Возможное нарушение лептонной универсальности. Лептонной универсальностью называется положение Стандартной модели о том, что взаимодействия всех полей, за исключением поля Хиггса, с различными лептонами (электронами, мюонами и тау-лептонами) одинаково. В эксперименте LHCb на Большом адронном коллайдере выполнена новая проверка лептонной универсальности [3]. Сравнились вероятности двух типов распадов B^+ -мезонов на каоны: $B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ e^-$ и $B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-$. В них происходит превращение кварков $b \rightarrow s$ посредством виртуальных частиц Стандартной модели. Однако выдвигались гипотезы, что посредниками могут быть и новые частицы, например, гипотетический лептокварк, по-разному взаимодействующий с различными типами лептонов. Измеренная LHCb величина отношения $0,846_{-0,041}^{+0,044}$ вероятностей указанных распадов является самой точной на сегодняшний день. Это значение на уровне $3,1\sigma$ отличается от предсказываемой в рамках Стандартной модели. Если данное расхождение, которое впервые было отмечено LHCb в 2014 г., подтвердится, то оно будет свидетельствовать о нарушении лептонной универсальности и новых эффектах за пределами Стандартной модели [4].

3. О возможности косвенной регистрации гравитонов. Предполагается, что гравитационное поле состоит из квантов — гравитонов. Впервые квантование гравитационных волн выполнил М.П. Бронштейн ещё в 1935 г. (см. [5]), однако до сих пор не ясно, как должна строиться последовательная теория квантовой гравитации. Напрямую зарегистрировать отдельные гравитоны в экспериментах пока не представляется возможным. Исследователи из Университета Кюсю (Япония) S. Kanno, J. Soda и J. Tokuda предложили идею косвенной регистрации гравитонов [6], которые, как было показано теоретически [7], должны рождаться на стадии космологической инфляции и в настоящее время входить в состав космологического гравитационно-волнового фона. Предлагается построить интерферометр с длиной плеч 40 км и массой зеркал 40 кг. В связи с экспериментом LIGO/Virgo было показано, что создать квантовую запутанность таких зеркал технически возможно. Это позволит регистрировать декогеренцию света, вызываемую гравитонами от инфляционного фона, если удастся изолировать установку от иных источников декогеренции. Наряду с проверкой теорий квантовой гравитации, такой эксперимент позволил бы проверить предсказания инфляционных моделей [8] и, возможно, прояснить другие загадки космологии [9].

4. Инвариантные моды рассеяния. Группа исследователей из Нидерландов и Австрии предложили теоретически и реализовали в своём эксперименте новый метод оптического наблюдения объектов сквозь неупорядоченную рассеивающую среду [10]. Хорошее изображение обычно дают только "баллистические" фотоны, проходящие без рассеяния, однако таких фотонов экспоненциально мало. Новый метод P. Pai и соавторов основан на регистрации рассеянного света, но предварительно выделяется набор оптических состояний, названных "инвариантными модами рассеяния", которые позволяют восстановить изображение. Инвариантные моды математически определяются тем, что поле электромагнитной волны после рассеяния в среде совпадает с полем, прошедшим через пустое пространство, с точностью до глобальной фазы. В эксперименте рассеивающая среда представляла собой нанопорошок оксида цинка на стекле. С помощью специально сконфигурированных световых волн были измерены передаточные матрицы и найдены инвариантные моды рассеяния. Качество изображения, полученного с помощью этих инвариантных мод, близко к тому, что получается без рассеяния, но имеет меньшую яркость.

5. Магнитные поля у горизонта чёрной дыры. Телескоп горизонта событий состоит из нескольких радиотелескопов в различных точках Земли, объединённых в интерферометрическую сеть. С его помощью было получено изображение тени чёрной дыры (ЧД) в галактике M87 (см. обзор [11]). Кольцеобразное свечение вокруг тени можно объяснить синхротронным излучением электронов, движущихся в магнитных полях во внутренней части аккреционного диска, однако конфигурация этих полей оставалась неясной. Телескоп горизонта событий в 2021 г. представил новые данные по поляризации радиоизлучения вблизи горизонта событий ЧД. Эти данные позволили выявить структуру магнитных полей и свойства плазмы [12]. Было выполнено численное моделирование в рамках общерелятивистской магнитной гидродинамики и найдены классы моделей, согласующиеся с наблюдениями. Эти расчёты показали, что магнитное поле вблизи ЧД имеет величину 1–30 Гс и полоидальную упорядоченную структуру. Оно должно давать заметный вклад в динамику аккреционного диска вокруг ЧД. Низкий уровень линейной поляризации $\sim 10\%$ может объясняться эффектом деполаризации за счёт фарадеевского вращения непосредственно вблизи области излучения. Знание структуры магнитных полей у горизонта событий может прояснить механизм формирования релятивистского джета, выбрасываемого из центра галактики. О наблюдении физических процессов вблизи сверхмассивных ЧД см. [13, 14].

Список литературы

1. Логашенко И Б, Эйдельман С И *УФН* **188** 540 (2018); Logashenko I B, Eidel'man S I *Phys. Usp.* **61** 480 (2018)
2. Abi B et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 141801 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.141801>
3. Aaij R et al. <https://arxiv.org/abs/2103.11769>
4. Казаков Д И *УФН* **189** 387 (2019); Kazakov D I *Phys. Usp.* **62** 364 (2019)
5. Горелик Г Е *УФН* **175** 1093 (2005); Gorelik G E *Phys. Usp.* **48** 1039 (2005)
6. Kanno S, Soda J, Tokuda J <https://arxiv.org/abs/2103.17053>
7. Старобинский А А *Письма в ЖЭТФ* **30** 719 (1979); Starobinsky A A *JETP Lett.* **30** 682 (1979)
8. Муханов В Ф *УФН* **186** 1117 (2016); Mukhanov V F *Phys. Usp.* **59** 1021 (2016)
9. Блинников С И, Долгов А Д *УФН* **189** 561 (2019); Blinnikov S I, Dolgov A D *Phys. Usp.* **62** 529 (2019)
10. Pai P et al. *Nat. Photon.*, онлайн-публикация от 8 апреля 2021 г.; <https://doi.org/10.1038/s41566-021-00789-9>
11. Докучаев В И, Назарова Н О *УФН* **190** 627 (2020); Dokuchaev V I, Nazarova N O *Phys. Usp.* **63** 583 (2020)
12. Akiyama K et al. *Astrophys. J. Lett.* **910** L13 (2021); <https://doi.org/10.3847/2041-8213/abe4de>
13. Черепашук А М *УФН* **186** 778 (2016); Cherepashchuk A M *Phys. Usp.* **59** 702 (2016)
14. Иванов П Б и др. *УФН* **189** 449 (2019); Ivanov P B *Phys. Usp.* **62** 423 (2019)