

**1. Адронный вклад в аномальный магнитный момент мюона.**

Результаты последних измерений аномального магнитного момента мюона  $a_\mu = (g_\mu - 2)/2$  расходятся с теоретическими расчётами на уровне  $5\sigma$ . Основная неопределённость связана с адронным вкладом — адронной поляризацией вакуума [1]. Адронный вклад измеряется по эффекту рождения пионов при электрон-позитронных столкновениях  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ , однако между данными различных экспериментов имеется заметное расхождение. Новые измерения сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  выполнены с помощью детектора CMD-3 на электрон-позитронном коллайдере VEPP-2000 в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) при энергии в системе центра масс  $0,32-2,0$  ГэВ [2]. Благодаря уникальной круговой оптике пучка в эксперименте достигаются светимости в пучке на уровне максимальных мировых значений. CMD-3 включает дрейфовую камеру, сверхпроводящий соленоид и калориметры. Результаты регистрации 209 событий представлены в терминах пионного фактора, содержащего адронный вклад в  $a_\mu$ . Полученная величина  $a_\mu$  согласуется с расчётами в рамках Стандартной модели на уровне  $0,9\sigma$ . Пока неясно, в чём причина расхождения с другими измерениями, в том числе на детекторе CMD-2 — предшественнике CMD-3.

**2. Фононный эффект Штарка.**

Обычный эффект Штарка, открытый в атомах водорода в 1913 г., заключается в сдвиге или расщеплении спектральных линий под влиянием внешнего электрического поля. В физике твёрдого тела аналог эффекта Штарка ранее наблюдался только для экситонов (связанных систем электронов и дырок). Z. Huang (Институт физики Китайской академии наук) и соавторы впервые обнаружили эффект Штарка для фононов — квазичастиц, соответствующих акустическим осцилляциям кристаллической решётки твёрдого тела [3]. Двухслойное соединение  $\text{MoS}_2$  в фазе  $2H$  было заключено между слоями гексагонального нитрида бора  $h\text{-BN}$ , и к образцу подключались электроды из многослойного графена. Измерялась фотолуминесценция в зависимости от величины электрического поля. В результате был обнаружен гигантский линейный эффект Штарка для фононов, в котором сдвиг частоты достигал  $\sim 1$  ТГц. Выполненные авторами теоретические расчёты объясняют гигантский эффект Штарка сильной связью между фононами и межслойными экситонами. Эффект Штарка для фононов имеет широкие перспективы практического применения, например, для сверхбыстрого переключения магнитных и других свойств веществ и для создания фононных лазеров.

**3. Регистрация вращения Земли с помощью квантово-запутанных фотонов.**

Интерферометры, использующие свойство квантовой запутанности частиц, представляют большой интерес для фундаментальных исследований, так как они могут давать высокое разрешение сдвига фазы. R. Silvestri (Венский университет, Австрия) и соавторы продемонстрировали новый квантовый фотонный интерферометр Саньяка, с помощью которого можно регистрировать даже суточное вращение Земли [4]. Интерферометр включал оптоволоконно длиной 2 км на алюминевом 1,5-м каркасе. Эффективная площадь интерферометра составляла  $700 \text{ м}^2$ . В оптоволоконке в противоположных направлениях распространялись запутанные фотоны в состояниях  $N00N$ , полученные по механизму параметрической вниз-конверсии. При  $N = 2$  получена рекордная для оптических квантовых интерферометров чувствительность к вращению  $5 \text{ мкрад с}^{-1}$ , что на три порядка превышает чувствительность прежних квантовых интерферометров Саньяка. При дальнейшем совершенствовании данной методики может быть достигнута чувствительность, требуемая для регистрации эффектов общей теории относительности и, возможно, квантово-гравитационных эффектов.

Ю.Н. Ерошенко. Институт ядерных исследований РАН, просп. 60-летия Октября 7а, 117312 Москва, Российская Федерация  
E-mail: [erosh@ufn.ru](mailto:erosh@ufn.ru)

**4. Новые наблюдения телескопа им. Дж. Уэбба**

**4.1. Галактики на  $z \sim 14$ .** Ранее космическим телескопом им. Дж. Уэбба (JWST) были обнаружены три галактики-кандидата на красных смещениях  $z > 14$ , однако их  $z$  были оценены лишь фотометрическим способом. В новых наблюдениях JWST с использованием спектрографа NIRSpec подтверждены спектроскопически красные смещения  $z = 14,32_{-0,20}^{+0,08}$  и  $z = 13,90 \pm 0,17$  для двух из трёх указанных галактик [5]. Хотя линии в их спектрах не видны, в УФ-континууме имеется чёткий Луман- $\alpha$ -завал спектра. Радиусы галактик составляют 260 и 160 пк, а звёздная масса первой из них оценивается на уровне 1 % от звёздной массы нашей Галактики. Для третьей галактики из-за слабости её излучения определить  $z$  пока не удаётся. Красному смещению  $z \sim 14$  соответствует возраст Вселенной всего 300 млн лет. По существующим теориям в эту эпоху галактик должно быть на порядок меньше, чем наблюдается, и данное расхождение пока не имеет надёжного объяснения.

**4.2. Избыток спиральных галактик на  $z = 0,5-4$ .** Ещё одно наблюдение JWST выявило неожиданно большое число спиральных галактик на красных смещениях  $0,5 \leq z \leq 4$ , примерно в два раза больше, чем получено в наблюдениях космического телескопа им. Э. Хаббла [6]. Из 873 наблюдавшихся JWST галактик 216 были отнесены визуальным методом к спиральным. Для оценки эффективности выделения спиралей каталоги современных спиральных галактик были преобразованы в модельный набор галактик в ранней Вселенной, и производился их подсчёт. С учётом найденной таким способом эффективности выделения спиралей получено, что на всех исследуемых  $z$  доля спиральных галактик составляет  $\sim 40\%$ , а на  $z \sim 3$  их не менее  $\sim 20\%$ . Данные наблюдения свидетельствуют в пользу эволюционной картины формирования галактик, в которой дисковые галактики образуются при  $z > 4-5$ , и до  $z \sim 3$  их диски становятся динамически холодными и тонкими.

**4.3. Быстро растущая чёрная дыра.** Также телескопом JWST выполнено наблюдение уникального объекта LID-568 на  $z = 3,965$ , представляющего собой чёрную дыру (ЧД) с массой  $7,2 \times 10^6 M_\odot$  [7]. Это сильно затенённое пылью активное галактическое ядро ранее было обнаружено в рентгеновских наблюдениях телескопом Chandra, но в оптическом диапазоне вокруг LID-568 звёздной галактики не видно. С помощью телескопа JWST удалось обнаружить истечение газа от ЧД в ИК-диапазоне и измерить ИК-спектр. Характеристики излучения свидетельствуют о том, что ЧД аккрецирует газ с темпом, на два порядка величины превышающим эддингтоновский предел аккреции. То есть LID-568 представляет собой экстремально быстро аккрецирующую и растущую ЧД. Образование звёзд, вероятно, было подавлено обратным влиянием излучения от аккреции. ЧД могла набрать большую часть своей массы в режиме суперэддингтоновской аккреции за  $\sim 10^7$  лет, поэтому наблюдение объекта LID-568, возможно, даёт ключ к разгадке появления и быстрого роста сверхмассивных ЧД, если похожие объекты существовали в более ранние эпохи.

**Список литературы**

1. Логашенко И Б, Эйдельман С И *УФН* **188** 540 (2018); Logashenko I B, Eidelman S I *Phys. Usp.* **61** 480 (2018)
2. Ignatov F V et al. (CMD-3 Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **132** 231903 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.231903>
3. Huang Z et al. *Nat. Commun.* **15** 4586 (2024) <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48992-w>
4. Silvestri R et al. *Sci. Adv.* **10** eado0215 (2024) <https://doi.org/10.1126/sciadv.ado0215>
5. Carniani S et al., arXiv:2405.18485, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.18485>
6. Kuhn V et al. *Astrophys. J. Lett.* **968** L15 (2024) <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ad43eb>
7. Suh H et al., arXiv:2405.05333, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.05333>