

**1. Возможное обнаружение глобола.** В теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамике предсказывается существование экзотического адрона — глобола, отличающегося от обычных мезонов и барионов отсутствием в его составе кварков. Рождение таких частиц, состоящих только из глюонов (переносчиков сильного взаимодействия), возможно за счёт нелинейного самовзадействия глюонного поля, несущего цветовой заряд. Но из-за малого времени жизни и смешивания глоболов с мезонами их не удаётся надёжно зарегистрировать в эксперименте, хотя некоторые свидетельства рождения глоболов были получены на Большом адронном коллайдере в 2021 г. Радиационный распад  $J/\psi$ -мезона является процессом, богатым глюонами, поэтому он считается перспективным для изучения глоболов. Среди продуктов распада должен присутствовать адрон  $X(2370)$ , известный также как  $\pi^+\pi^-\eta'$ -резонанс, который может быть легчайшим псевдоскалярным глоболом. В эксперименте BESIII на Пекинском электрон-позитронном коллайдере выполнены новые измерения вероятности различных каналов распада  $J/\psi$ -мезона, а также масса и ширина распада  $X(2370)$  [1]. На основе изучения  $10^{10}$  распадов  $J/\psi$  статистическая значимость регистрации  $X(2370)$  оценивается как  $11,7\sigma$ . Кроме того, впервые измерена спин-чётность этой частицы —  $0^{++}$ , как и должно быть у глобола. Измеренная масса  $2395 \pm 11$  (стат.) $_{-94}^{+26}$  (сист.) МэВ частицы  $X(2370)$  также хорошо соответствует массе  $2395 \pm 14$  МэВ, предсказываемой для глобола методом "КХД на решётке".

**2. Квантовое измерение без коллапса волновой функции.** В квантовой механике процесс измерения часто описывается как коллапс волновой функции, когда при взаимодействии с классическим измерительным прибором происходит переход квантовой системы в одно из собственных состояний [2–4]. Тем не менее Н.Е. Дюте (Шеффилдский университет, Великобритания) и соавторы продемонстрировали в своём эксперименте пример квантового измерения без коллапса волновой функции [5]. Исследовался кубит на основе спина электрона в квантовой точке GaAs/AlGaAs в магнитном поле. С помощью связи, далёкой от резонанса, кубит взаимодействовал с системой из  $\sim 10^4 - 10^5$  ядерных спинов, имеющих длительное время когерентности. Благодаря столь большому числу спинов система могла рассматриваться как классический объект. Состояние спина электрона копировалось на состояния сразу многих ядерных спинов, и эта избыточность позволяла измерять состояние электрона с квантовой точностью 99,85 %, причём измерение не приводило к коллапсу волновой функции, а допускало описание процесса измерения в рамках её линейной эволюции. Измерение без коллапса волновой функции напоминает концепцию "квантового дарвинизма", описывающую переход от квантового состояния к классическому.

**3. Нестационарный эффект Капицы–Дирака.** П.Л. Капица и П. Дирак в 1933 г. показали теоретически возможность дифракции пучка электронов на стоячей электромагнитной волне за счёт вынужденного комптоновского рассеяния [6]. Эффект Капицы–Дирака исследуется в экспериментах с 1965 г. [7, 8], но лишь в 2001 г. удалось наблюдать его в чистом виде с проверкой брэгговского условия отражения на стоячей волне. Изначально эффект Капицы–Дирака рассматривался в стационарном случае с монохроматическим спектром электронов. R. Dognen (Университет Гёте, Германия) и его коллеги впервые выполнили наблюдение нестационарного сверхбыстрого эффекта Капицы–Дирака для коротких электронных импульсов с широким спектром [9]. Электроны выбивались при туннельной ионизации атомов ксенона [10] под действием 60-фемтосекундных лазерных вспышек. Часть лазерного света, не производящая ионизацию, служила пробным пучком, на котором происходила интерференция в виде набора дополнительных колебаний в распределении электронов по импульсам. При этом спектральные сдвиги были обратно пропорциональны задержке по времени между электронами и пробным лазерным импульсом. Расчёты показали, что именно такая зависимость должна возникать благодаря эффекту Капицы–Дирака.

**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. Сверхбыстрая оптическая микроскопия вне дифракционного предела.** Применение в оптических наблюдениях эванесцентных полей позволило преодолеть дифракционный предел, но лишь для медленных процессов. С другой стороны, использование сверхкоротких оптических импульсов делает возможным наблюдение быстрых процессов, но с плохим пространственным разрешением — много больше размера атома. T. Siday (Регенсбургский университет, Германия) и соавторы разработали комбинированную методику, впервые достигнув в одном оптическом наблюдении субдифракционного разрешения на масштабе одного атома и разрешения по времени на уровне одного колебания электромагнитной волны [11]. Использовалась вольфрамовая игла у поверхности монослоя  $WSe_2$  на золотой подложке, освещаемая световыми импульсами. Под действием света происходило туннелирование электронов между иглой и поверхностью с частотой световой волны, и наблюдалось электромагнитное излучение туннельного тока. Пространственное разрешение в наблюдении таким способом поверхностных дефектов составило  $\sim$  пм с разрешением по времени  $\sim$  фс. Об использовании металлиз для получения изображений с субволновым разрешением см. [12].

**5. Излучение вблизи чёрной дыры.** Вокруг чёрных дыр (ЧД), как правило, образуется аккреционный газовый диск, имеющий высокую температуру и испускающий рентгеновское излучение. Диск имеет внутреннюю границу вблизи последней устойчивой орбиты. Излучением вещества в пространстве между горизонтом ЧД и внутренней границей диска обычно пренебрегали, полагая, что диск резко обрывается. Однако И.Д. Новиков и К. Торн ещё в 1973 г. указали на то, что магнитное поле может модифицировать данное граничное условие, и, согласно результатам современного численного моделирования, излучение из указанной внутренней области может давать заметный вклад в общий поток. А. Mummery и S. Balbus в серии работ создали аналитическую модель, позволяющую описать генерацию излучения во внутренней области. В новой работе А. Mummery (Оксфордский университет, Великобритания) и соавторов [13] с помощью новой модели выполнено моделирование спектра ЧД в рентгеновской двойной системе MAXI J1820+070, состоящей из звезды и ЧД с массой  $(7-8)M_{\odot}$ . Использовались данные наблюдений на космических телескопах NuSTAR и NICER. Впервые достоверно выявлена компонента излучения, которая генерировалась между последней устойчивой орбитой и горизонтом ЧД, причём при 6–10 кэВ такая компонента является доминирующей и без её учёта форму спектра излучения воспроизвести не удаётся. Найденный параметр углового момента ЧД при этом оказался достаточно малым:  $a_* < 0,5$ . Проведённое исследование подтверждает предсказываемое в рамках Общей теории относительности поведение вещества вблизи ЧД.

## Список литературы

1. Ablikim M et al. (BESIII Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **132** 181901 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.181901>
2. Кадомцев Б Б, Кадомцев М Б *УФН* **166** 651 (1996); Kadomtsev B B, Kadomtsev M B *Phys. Usp.* **39** 609 (1996)
3. Белинский А В *УФН* **190** 1335 (2020); Belinsky A V *Phys. Usp.* **63** 1256 (2020)
4. Федоров А К и др. *УФН* **193** 1162 (2023); Fedorov A K et al. *Phys. Usp.* **66** 1095 (2023)
5. Dute H E et al. *Phys. Rev. Lett.* **132** 160804 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.160804>
6. Kapitzin P L, Dirac P A M *Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.* **29** 297 (1933) <https://doi.org/10.1017/S0305004100011105>
7. Летохов В С *УФН* **88** 396 (1966); Letokhov V S *Sov. Phys. Usp.* **9** 178 (1966)
8. Смородинский Я А *УФН* **153** 187 (1987); Smorodinskii Ya A *Sov. Phys. Usp.* **30** 823 (1987)
9. Lin K et al. *Science* **383** 1467 (2024) <https://doi.org/10.1126/science.adn1555>
10. Келдыш Л В *УФН* **187** 1280 (2017); Keldysh L V *Phys. Usp.* **60** 1187 (2017)
11. Siday T et al. *Nature* **629** 329 (2024) <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07355-7>
12. Барышникова К В и др. *УФН* **192** 386 (2022); Baryshnikova K V et al. *Phys. Usp.* **65** 355 (2022)
13. Mummery A et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **531** 366 (2024) <https://doi.org/10.1093/mnras/stae1160>