

1. Подтверждено существование 4-кварковой частицы $Z(4430)^-$

Свидетельства рождения частицы $Z(4430)^-$, состоящей из четырёх кварков $c\bar{c}d\bar{d}$, впервые были получены коллаборацией Belle на ускорителе KEK (Япония) в 2008 г. В эксперименте LHCb на Большом адронном коллайдере её существование подтверждено с достоверностью $13,9\sigma$. Исследовано 25176 ± 174 распадов $B^0 \rightarrow \psi' K^+ \pi^-$, $\psi' \rightarrow \mu^+ \mu^-$ мезонов B^0 , рождавшихся в pp-столкновениях. Измеренные распределения продуктов распада по инвариантной массе моделировались с учётом известных резонансных состояний K^* . Оказалось, что одних лишь K^* для воспроизведения данных недостаточно, и требуется наличие дополнительной компоненты, соответствующей короткоживущей частице-резонансу $Z(4430)^-$ с массой около 4430 МэВ, шириной резонанса ≈ 172 МэВ, отрицательным единичным зарядом и спин-чётностью $J^P = 1^+$. Также были измерены интерференционные свойства в районе резонанса и петля на диаграмме Аргана. К настоящему времени известно уже несколько частиц, которые могут состоять из четырёх кварков, однако лишь в случае $Z(4430)^-$ эксперимент LHCb надёжно показал, что эта частица действительно относится к частицам-резонансам. Природа частицы $Z(4430)^-$ пока полностью не выяснена: она может быть как тетракварком, так и связанной системой двух мезонов.

Источник: <http://arxiv.org/abs/1404.1903>

2. Проверка принципа эквивалентности с помощью нейтрино

Наблюдаемый эффект нейтринных осцилляций свидетельствует о том, что флейворные состояния нейтрино являются суперпозицией массовых состояний, не совпадая с ними. Возникает вопрос, имеет ли взаимодействие каждого из массовых состояний с гравитационным полем тот же вид, что и у неосциллирующих частиц, т.е. выполняется ли для массовых состояний принцип эквивалентности? А. Esmaili (Институт физики им. Г.В. Ватагина, Бразилия) и др. исследовали этот вопрос на основе данных по атмосферным нейтрино высоких энергий $E_\nu = 20$ ГэВ–400 ТэВ, зарегистрированных в эксперименте IceCube, который проводится во льду Антарктиды. Нарушение принципа эквивалентности вело бы к дополнительному сдвигу фазы между состояниями, вызывающему осцилляции. Хотя таких дополнительных осцилляций не обнаружено, получены ограничения на произведения гравитационного потенциала ϕ и разностей параметров γ_i , определённых как множители в гравитационном взаимодействии массовых состояний. Если справедлив принцип эквивалентности, то $\gamma_i = 1$ для $i = 1, 2, 3$. Получено, что $|\phi(\gamma_2 - \gamma_1)| < 9,1 \times 10^{-27}$ и $|\phi(\gamma_3 - \gamma_1)| \leq 6 \times 10^{-27}$. Эти ограничения соответственно на 4 и 1 порядок строже, чем следует из данных других экспериментов. Таким образом, данные IceCube на достигнутом уровне точности подтверждают принцип эквивалентности для массовых состояний нейтрино.

Источник: <http://arxiv.org/abs/1404.3608>

3. Квантовая запутанность трёх фотонов

С. Erven (Университет Ватерлоо, Канада) и др. продемонстрировали эффект квантовой запутанности трёх удалённых друг от друга фотонов в случае, когда события измерения их состояний разделены пространственноподобным интервалом и поэтому не могли иметь причинную связь. Ранее в экспериментах это условие было выполнено только для двух частиц. Три фотона в запутанных по спину состояниях получались методом параметрической вниз-конверсии и смешивания. Два фотона летели к детекторам на расстояниях 700–800 м, а оптический путь третьего фотона был локализован вблизи источника. Детекторы срабатывали в случайные моменты времени по сигналу квантового генератора случайных чисел, который был удалён на 446 м от источника. Измерения состояний трёх фотонов выполнялись во временном интервале, в течение которого фотоны не могли обмениваться сигналами, распространяющимися со скоростью света. Исследовалось нарушение неравенств Мермина — аналога неравенств Белла, но для трёх частиц. Эти неравенства нарушались на уровне 9σ , что с высокой достоверностью свидетельствовало о

квантовой запутанности трёх фотонов. Результаты эксперимента служат как проверке фундаментальных основ квантовой механики, так и могут найти практическое применение в квантовой криптографии и квантовых коммуникациях.

Источник: *Nature Photonics* 8 292 (2014)
<http://arxiv.org/abs/1309.1379>

4. Фаза Берри в полупроводнике

Если проводимость вещества имеет нетривиальные топологические свойства, то волновые функции электронов могут испытывать дополнительный сдвиг фазы (иметь фазу Берри) при почти периодических изменениях состояния системы. Фаза Берри наблюдалась в экспериментах с квантовым эффектом Холла и топологическими изоляторами. Новое наблюдение фазы Берри, на этот раз в полупроводнике BiTeI, свойства которого описываются гамильтонианом со спин-орбитальным взаимодействием в форме Рашибы, выполнили Н. MuraKawa (Центр развития наук о материалах RIKEN, Япония) и его коллеги. Измерялась проводимость тонких слоёв BiTeI в магнитном поле при температуре 1,8 К. Были выявлены две группы осциллирующей, соответствующие двум спиновым состояниям. Фаза Берри для внутренней поверхности Ферми (при малой величине B внешнего магнитного поля) наблюдалась по осцилляциям второй производной проводимости $-d^2\rho_{xx}/dB^2$. А фаза Берри для внешней поверхности Ферми (при больших B) была выявлена по осцилляциям Шубникова–де Гааза, которые наблюдались до $B = 56$ Тл. Измеренный в эксперименте систематический сдвиг фазы осциллирующей согласуется с теоретическими предсказаниями о наличии фазы Берри в полупроводнике BiTeI.

Источник: *Science* 342 1490 (2014)
<http://dx.doi.org/10.1126/science.1242247>

5. Изучение межзвёздной плазмы с помощью Радиоастроны

С помощью 10-метрового космического радиотелескопа Радиоастрон и двух наземных телескопов (Arecibo и Westerbork Synthesis Radio Telescope) на волне 92 см в режиме наземно-космического интерферометра выполнены наблюдения радиоимпульсов пульсара PSR B0950+08 и получена информация о распределении межзвёздной плазмы на луче зрения, которая рассеивает сигнал и вызывает его мерцания. Космический и наземные телескопы образовывали интерферометр с базой 220000 км, что позволило достичь рекордного разрешения в метровом диапазоне. Ожидаемые характеристики сигнала были рассчитаны Т.В. Смирновой и В.И. Шишовым ещё в 2008 г. и с хорошей точностью подтверждены в данных наблюдениях. Мерцания сигнала имеют вид модуляции на уровне $\approx 40\%$ с частотами, которые много меньше несущей частоты. К такой модуляции могла привести конфигурация плазмы на луче зрения в виде двух рассеивающих слоёв и "космической призмы" — достаточно резкого градиента в распределении плазмы, отклоняющего радиоизлучение на углы 1,1–4,4 угловых миллисекунд. Дальний рассеивающий слой находится, скорее всего, на внешней границе Местного пузыря (область разреженного газа внутри галактического рукава) на расстоянии 26–170 пк, а ближний слой (4,4–16,4 пк) находится на ионизированной поверхности молекулярного облака. Спектр турбулентных флуктуаций плотности в обоих слоях следует степенному закону с показателями $\gamma_1 = \gamma_2 = 3,00 \pm 0,08$, что отличается от колмогоровского спектра с $\gamma = 11/3$. Большинство из этих результатов нельзя было получить при наблюдениях только с поверхности Земли, так как зона Френеля при рефракции излучения пульсара превышает диаметр Земли. Радиоастрон был запущен на орбиту в 2011 г. на борту космической обсерватории Спектр-Р. Этот проект осуществляется Астрокосмическим центром ФИАН и НПО им. С.А. Лавочкина с участием других российских и международных организаций.

Источник: *Astrophysical Journal* 786 115 (2014)
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/786/2/115>
<http://arxiv.org/abs/1402.6346>

Подготовил Ю.Н. Ерошенко
(e-mail: erosh@ufn.ru)