

1. Поиск безнейтринного двойного бета-распада. Коллаборация CUORE представила новые результаты поиска безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu\beta\beta$) ядер ^{130}Te [1]. Этот тип распада в экспериментах пока не наблюдался [2, 3]. Он возможен при условии, что нейтрино является майорановской частицей, т.е. своей собственной античастицей. Эксперимент CUORE проводится в подземном тоннеле в Национальной лаборатории Гран Сассо (Италия), где уникальная холодильная установка поддерживает $\sim 1,5$ тонн материала при температуре ~ 10 мК в течение нескольких лет. Калориметр, в котором ищутся распады, представляет собой массив из 998 кубических кристаллов ^{130}Te с общей массой 742 кг, снабжённых германиевыми термисторами. Значительная толщина грунта экранирует детектор от адронной компоненты космических лучей и в миллион раз снижает поток мюонов, а защита от локального гамма-излучения выполнена частично из низкофонового свинца, найденного на затонувшем древнеримском корабле. Хотя самих $0\nu\beta\beta$ -распадов не обнаружено, было установлено, что время $0\nu\beta\beta$ -полураспада превышает $2,2 \times 10^{25}$ лет, что на сегодняшний день является лучшим ограничением для ^{130}Te . Отсюда, в свою очередь, следует ограничение на эффективную майорановскую массу нейтрино $< 90 - 305$ мэВ, где интервал значений связан с неопределённостями в теоретических расчётах. Разработанная для эксперимента CUORE методика охлаждения больших объёмов вещества до сверхнизких температур и способ экранирования детектора от фона могут оказаться полезными, в частности, для создания квантовых компьютеров на основе сверхпроводящих элементов.

2. Правила предпочтительных процессов. В отличие от правил отбора, строго ограничивающих конечные состояния ядерных и атомных процессов, существуют менее жёсткие правила предпочтительных процессов (preference rules), которые указывают лишь более вероятные каналы. Одно из них — правило сохранения сверхтонкого спинового состояния (суммы спинов и проекций спинов) при трёхчастичной рекомбинации. Ранее это правило уже подтверждалось в эксперименте с ультрахолодным газом атомов ^{87}Rb , образующих молекулы. Чтобы проверить данное правило в других условиях, S. Haze (Ульмский университет, Германия) и соавторы изучили аналогичный процесс трёхчастичной рекомбинации в газе атомов ^{85}Rb , свойства которых заметно отличаются от соответствующих свойств ^{87}Rb [4]. В частности, темп трёхчастичной рекомбинации ^{85}Rb на четыре порядка выше, чем у ^{87}Rb . Тем не менее в эксперименте обнаружено, что правило предпочтительных процессов для ^{85}Rb в области исследованных энергий связи от нуля до 13 ГГц $\times h$ также выполняется.

3. Проверка квантовой контекстуальности без лазеек. Проверка фундаментальных положений квантовой механики, в частности, об отсутствии скрытых параметров (тест Белла), требует исключения так называемых лазеек (loopholes), которые могли бы имитировать квантовые эффекты классическими при несовершенстве измерительных методов. Дополнением к теореме Белла является теорема Белла–Кохена–Спекера о квантовой контекстуальности, утверждающая, что результат квантового измерения не существует до самого измерения, но зависит от других сопутствующих измерений (от контекста). Возможными лазейками при проверке этой теоремы являются чёткость, эффективность детектирования и согласованность. Эксперименты с одновременным исключением первых двух лазеек уже были выполнены ранее. В новом эксперименте P. Wang (Университет Цинхуа и Пекинская академия квантовых информационных наук, КНР) и соавторов теорема Белла–Кохена–Спекера проверена в условиях, когда исключены все три лазейки [5]. Путём наблюдения флуоресценции исследовались электронные переходы в ионах $^{171}\text{Yb}^+$ и $^{138}\text{Ba}^+$, захваченных в ловушку. Каждый ион наблюдался независимо отдельным фотоумножителем. Измерения показывают максимальную 100%-ную эффективность регистрации фотонов и повторяемость более 98 %, что исключило две лазейки. Использование разных ионов с различным набором уровней позволило исключить также лазейку согласованности. Эксперимент подтвердил теорему Белла–Кохена–Спекера в согласии со стандартной копенгагенской интерпретацией квантовой механики. О принципиальных вопросах квантовой механики см. в [6].

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

4. Тёмные квантовые состояния в волноводе. G. Kirchmair и его коллеги выполнили в Институте квантовой оптики и квантовой информации (Австрия) эксперимент, где изучалась генерация и передача "тёмных" квантовых состояний электромагнитного поля между трансмонными кубитами в микроволновом волноводе [7]. Кубиты играют роль искусственных атомов, переходы в которых могут сопровождаться излучением фотонов. Причём, наряду с обычными "светлыми" состояниями, совместимыми с собственными модами колебаний в волноводе, возбуждались также "тёмные" состояния, имевшие очень слабую связь с волноводом из-за определённой симметрии электрического поля. Ранее коллективные тёмные состояния уже получались в экспериментах, но отсутствовала возможность когерентного управления ими. Две пары кубитов были помещены в волновод с прямоугольным сечением на расстоянии полуволны между парами. Кубиты в каждой паре имели между собой ёмкостную связь. Управление состояниями кубитов осуществлялось дополнительными электродами на боковой поверхности волновода. Время когерентности полученных тёмных состояний 0,6 мкс на три порядка превышало время когерентности светлых состояний благодаря хорошей изоляции тёмных состояний от мод в волноводе, подверженных релаксации. Тёмные состояния интересны тем, что они образуют отдельное подпространство состояний, в котором могут выполняться квантовые вычисления с большим временем когерентности, и в то же время имеется способ когерентного управления такими состояниями, реализованный в новом эксперименте.

5. Рекордно далёкие галактики. К настоящему времени обнаружено множество галактик на красных смещениях $z \sim 9 - 11$, звёзды которых имели в ту эпоху возраст $\sim 300 - 500$ лет и, следовательно, должны были родиться ещё раньше — на $z \sim 14 - 15$. Исходя из этого Y. Harikane (Токийский университет, Япония) и Университетский колледж Лондона, Великобритания) и соавторы предприняли попытки поиска галактик на $z \sim 12 - 16$ в архивных базах данных COSMOS и SXDS в ближнем ИК-диапазоне [8]. Эти базы составлены по наблюдениям на различных телескопах областей неба общей площадью 2,3 кв. град. Применён метод выделения объектов с Лайман-изломом, связанным с поглощением в нейтральном водороде, а также использовался фотометрический критерий селекции по цвету. Обнаружены две яркие галактики, обозначенные HD1 и HD2, с красными смещениями $z \sim 12 - 16,5$ и $z \sim 12 - 13$. Эти галактики имели высокую УФ-светимость и темп образования звёзд, на 1,5–2 порядка больший, чем у нашей Галактики, хотя по массе они значительно меньше. Для более точного определения красного смещения применялся спектроскопический метод. С помощью радиотелескопов ALMA у HD1 с достоверностью $3,8\sigma$ обнаружена линия кислорода [OIII], сдвиг которой соответствует $z = 13,27$, что согласуется с фотометрической оценкой. Для HD2 спектроскопическое подтверждение пока нет, а лучшее фитирование по фотометрии даёт $z = 12,3$. Не исключено, что высокая светимость галактики HD1 частично объясняется аккрецией вещества на сверхмассивную чёрную дыру в её центре. Ещё одна галактика-кандидат HD3 не прошла все критерии отбора, но для неё по фотометрии получается $z \simeq 14,6$. Ожидается, что в ближайшем будущем космический телескоп "Джеймс Уэбб" позволит более детально исследовать ранние галактики на больших z .

Список литературы

1. Adams D Q et al. (The CUORE Collab.) *Nature* **604** 53 (2022)
2. Барабаш А С *УФН* **184** 524 (2014); Barabash A S *Phys. Usp.* **57** 482 (2014)
3. Шимковиц Ф *УФН* **191** 1307 (2021); Šimkovic F *Phys. Usp.* **64** 1238 (2021)
4. Haze S et al. *Phys. Rev. Lett.* **128** 133401 (2022)
5. Wang P et al. *Sci. Adv.* **8** eabk1660 (2022) <https://doi.org/10.1126/sciadv.abk1660>
6. Белинский А В *УФН* **190** 1335 (2020); Belinsky A V *Phys. Usp.* **63** 1256 (2020)
7. Zanner M et al. "Coherent control of a multi-qubit dark state in waveguide quantum electrodynamics" *Nat. Phys.* (2022) <https://doi.org/10.1038/s41567-022-01527-w>
8. Harikane Y et al. *Astrophys. J.* **929** 1 (2022); arXiv:2112.09141