

**1. Радиационный  $\beta$ -распад свободных нейтронов**

В редких случаях при  $\beta$ -распаде свободного нейтрона в дополнение к протону, электрону и антинейтрину могут испускаться фотоны. Главным механизмом их рождения является тормозное излучение электрона, а вклад других процессов составляет менее 1%. Радиационный распад  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e + \gamma$  впервые был надёжно зарегистрирован в эксперименте RDK I в 2006 г. В Национальном институте стандартов и технологий — NIST (США) выполнен новый эксперимент RDK II, в котором с лучшей на сегодняшний день точностью измерена вероятность (branching ratio) радиационных распадов нейтронов, а также впервые измерен энергетический спектр рождающихся фотонов. Прогресса удалось достичь благодаря увеличению объёма статистических данных и совершенствованию методики измерений. Пучок нейтронов от атомного реактора пропускался через сверхпроводящие электромагниты, где рождающиеся при распадах  $p$  и  $e^-$  отклонялись в зарядо-чувствительные детекторы, а фотоны летели прямо и регистрировались двумя фотонными детекторами по методу временного совпадения с заряженными частицами. Один массив лавинных фотодиодов регистрировал фотоны непосредственно (в диапазоне энергий 0,4–14 кэВ), а второй — по вызываемому ими свечению сцинтиллятора (14,1–782 кэВ). В обоих случаях измеренная форма спектра фотонов и вероятность их испускания хорошо согласуются с предсказаниями Стандартной модели. Результаты данного эксперимента важны для проверки Стандартной модели и для поиска эффектов за её пределами.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **116** 242501 (2016)

<http://arxiv.org/abs/1603.00243>

**2. Сжатые квантовые состояния в атомных часах**

Точность работы атомных интерферометров ограничена шумами, связанными с квантово-механическим принципом неопределённости. В работе I. Kruse (Институт квантовой оптики Лейбницкого университета, Германия) и др. предложена и экспериментально продемонстрирована новая конфигурация атомного интерферометра, в котором стандартный квантовый предел обходится путём сжатия вакуума в пустом входном канале интерферометра. Интерферометр основан на принципе Рамзея и действует в режиме атомных часов. Сначала  $10^4$  атомов  $^{87}\text{Rb}$  в состоянии бозе-эйнштейновского конденсата в оптической дипольной ловушке переводились в определённые электронные состояния путём облучения последовательностью микроволновых импульсов. При этом один из каналов интерферометра очищался так, что в нём оставалось в среднем 0,75 атомов. Микроволновые импульсы сжимали вакуум в этом канале, т.е. сужали соответствующую среднеквадратичную величину квадратуры ниже стандартного квантового предела. Благодаря этому чистота квантового состояния  $10^4$  атомов, находящихся в других каналах, и чувствительность интерферометра улучшались на 2 дБ. На основе данного метода сжатия квантовых состояний могут быть созданы следующие поколения атомных часов.

Источник: <http://arxiv.org/abs/1605.07754>

**3. "Кот Шрёдингера" в двух ящиках**

C. Wang (Йельский университет, США) и др. выполнили эксперимент, в котором электромагнитный аналог "кота Шрёдингера" одновременно находился в двух ящиках в суперпозиции состояний "живого" и "мёртвого кота". Эксперимент такого рода был теоретически предложен в 1993 г. Ранее уже было показано, что роль "кота Шрёдингера" может играть гармонический осциллятор, находящийся в суперпозиции двух колебательных состояний с большими числами заполнения. Описываемый эксперимент выполнен с когерентными микроволновыми фотонами в квазиклассических состояниях, возбуждаемыми в двух сверхпроводящих резонаторах, которые были соединены между собой

туннельным контактом. В резонаторах находилось сразу несколько десятков таких фотонов. Состояния "жизни кота" соответствовали одинаковым направлениям электромагнитных колебаний одновременно в двух резонаторах. Измерение состояний и реконструкция функции Вигнера выполнялись по методу квантовой томографии. Было показано, что в эксперименте действительно был реализован "кот Шрёдингера", находящийся одновременно в двух ящиках (в данном случае — в двух резонаторах).

Источник: *Science* **352** 1087 (2016)

<http://dx.doi.org/10.1126/science.aaf2941>

**4. Время туннелирования при ионизации в сильном поле**

Известно, что процесс квантового туннелирования происходит мгновенно, а занимает некоторое время. Однако в вопросе о временной задержке существует проблема определения (дефиниции) величин и их связи с наблюдаемыми характеристиками. Время туннелирования удаётся хорошо определить пока только в бомовском подходе, где оно является просто временем, в течение которого траектория частицы находится внутри потенциального барьера. В работе T. Zimmermann (Швейцарская высшая техническая школа Цюриха) и др. выполнены вычисления времени туннелирования для случая ионизации водорода и гелия в сильном поле. Применялась теория ионизации, сформулированная Л.В. Келдышем в 1964 г. (см., например, обзоры *УФН* **174** 921 (2004) и *УФН* **185** 3 (2015)), в различных моделях туннелирования и полученные результаты сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными. Лучшее согласие результатов измерений временной задержки, выполненных на аттосекундных временных масштабах, получено с лармеровским определением времени туннелирования, а бомовский подход, как оказалось, плохо согласуется с экспериментом. Авторы работы полагают, что бомовское время скорее соответствует не продолжительности туннелирования, а времени жизни связанного состояния.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **116** 233603 (2016)

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.233603>

**5. Сверхмассивные чёрные дыры в ранней Вселенной**

F. Rasucci и его коллеги из Италии и Японии обнаружили два далёких объекта, которые, возможно, являются сверхмассивными чёрными дырами (ЧД), образовавшимися в результате прямого коллапса газовых облаков, т.е. при охлаждении и сжатии газа без его фрагментации и образования звёзд. Механизм происхождения сверхмассивных ЧД на красных смещениях  $z \sim 6$ , где они являются источниками излучения квазаров, пока окончательно не выяснен. Помочь в этом может поиск ЧД на стадии их формирования и начального роста в результате аккреции вещества. Весьма вероятно, что молодые ЧД находятся в газо-пылевых облаках, так что в их спектре преобладает ИК-излучение. Авторы работы построили модель аккреции и предсказали форму спектра и рентгеновскую светимость таких объектов. В объединённом обзоре CANDELS/GOODS-S, в котором содержатся данные наблюдений на телескопах Хаббл, Спитцер и Чандра, обнаружены два подобных объекта-кандидата при  $z > 6$ . Если предположить, что их спектр формируется молодыми звёздами, то получается нереалистично большой темп звездообразования  $> 2000 M_{\odot} \text{ год}^{-1}$ . Поэтому для этих объектов более вероятной является модель аккрецирующих ЧД с массами  $\sim 10^5 M_{\odot}$ , которые образовались в процессе прямого коллапса.

Источник: *MNRAS* **459** 1432 (2016)

<http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stw725>

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