

Ю.Н. Ерошенко

PACS number: 01.10. – m, 01.30. – y, 01.90. + g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2020.03.038737>**1. Взаимодействие нуклонов в ядре**

В эксперименте [1], выполненном в Лаборатории Джефферсона (США), исследованы парные взаимодействия нуклонов (нейтронов и протонов) в атомных ядрах ^{12}C , ^{27}Al , ^{56}Fe и ^{208}Pb в не исследованной ранее области малых расстояний между нуклонами. Регистрировались выбиваемые из ядер протоны при квазиупругих рассеяниях электронов на ядрах. Отношение числа событий с вылетом двух протонов к числу событий, при которых вылетает один протон, с ростом относительного импульса двух взаимодействующих нуклонов (т.е. при уменьшении расстояния между ними) сначала увеличивается линейно в интервале 400–650 МэВ c^{-1} , а затем выходит на плато вплоть до 1000 МэВ c^{-1} . Взаимодействие между нуклонами обусловлено взаимодействиями кварков и глюонов в рамках квантовой хромодинамики. Но ввиду сложности её уравнений часто применяются упрощённые модели. Данный эксперимент подтвердил, что хорошим приближением для рассеяния электронов на ядрах при большой передаче импульса является модель, в которой нуклоны рассматриваются как точечные частицы с некоторой эффективной силой взаимодействия между ними, а передача импульса от электрона происходит посредством одного виртуального фотона. Указанный выше выход на плато соответствует переходу от притягивающего спин-зависимого (тензорного) парного взаимодействия нуклонов к спин-независимому (скалярному) взаимодействию с отталкиванием. Этот теоретический подход может оказаться полезным, в частности, для расчёта структуры нейтронных звёзд.

2. Охлаждение левитирующих наночастиц

U. Delic (Венский университет, Австрия) и соавторы сумели охладить твёрдую наночастицу, содержащую 10^8 атомов, до низшего квантового состояния, когда в наночастице было возбуждено в среднем менее одного фонона (кванта теплового движения) [2]. Применилось охлаждение с обратной связью, при котором влияние охлаждающих лазерных импульсов зависело от движения частицы. Ранее этим методом удавалось охлаждать макроскопические частицы лишь до состояния с 4 фононами. В новом эксперименте сферические кварцевые наночастицы диаметром 143 ± 4 нм удерживались "оптическим пинцетом" (левитировали) в оптическом поле между двумя вогнутыми зеркалами в вакуумной камере, связанной с резонатором. Рассеянные на частице фотоны уносили тепловую энергию, и происходило охлаждение. Достигнуто среднее число фононов $0,43 \pm 0,03$, что соответствует температуре $12,2 \pm 0,5$ мК и вероятности нахождения наночастицы в основном квантовом состоянии 70 ± 2 %. Охлаждение наночастиц важно для проверки принципиальных положений квантовой механики в "макроквантовой" области, а также может оказаться полезным в создании новых ультрачувствительных сенсоров.

3. Неразрушающее измерение спинового состояния

При квантовых вычислениях бывает необходимо применение так называемых неразрушающих методов считывания (non-demolition readout) состояний квантовых битов — кубитов, когда после считывания кубит остаётся в исходном состоянии. J. Yoneda (Институт физико-химических исследований RIKEN, Япония) и соавторы в своём эксперименте [3] продемонстрировали метод неразрушающего считывания за одну операцию спинового состояния электрона в квантовой точке в кремнии в магнитном поле. Рядом с исследуемой точкой помещалась вторая вспомогательная квантовая точка. Находящийся в ней электрон был связан обменным взаимодействием с электроном в первой точке, что позволяло по состоянию второго электрона определять состояние первого. Подготовка состояния кубитов производилась с помощью импульсов микро-

волнового излучения, а состояние второго кубита измерялось с помощью зарядового сенсора — одноэлектронного транзистора. Удавалось выполнить более 30 последовательных неразрушающих считываний спинового состояния, дающих одинаковые результаты, с квантовой точностью около 99 %, а общая точность измерения, выполняемого в течение 1,2 мс, при этом составила 95 %.

4. Экранирующее облако Кондо

Эффект Кондо заключается в экранировке спина находящегося в металле атома магнитной примеси когерентным спиновым облаком, формируемым электронами проводимости, что приводит к росту электрического сопротивления при уменьшении температуры. Хотя эффект Кондо давно регистрировался в экспериментах, само экранирующее облако напрямую не наблюдалось. I.V. Borzenets (Городской университет Гонконга) и соавторы впервые осуществили регистрацию облака Кондо и измерили его протяжённость [4]. Для этого был создан квазиодномерный канал с тремя электрическими затворами на различных расстояниях от атомов примеси в квантовой точке. Повышая напряжение на определённом затворе, можно было создавать барьеры и наблюдать изменения проводимости в канале. Характерный масштаб облака Кондо, измеренный этим методом, составил несколько мкм. Результаты измерений хорошо согласуются с теоретическими расчётами эффекта Кондо, подтверждая вывод о существовании экранирующего спинового облака. Предполагается, что эффект Кондо может играть важную роль в спиновых стёклах, в высокотемпературной сверхпроводимости и в других процессах, поэтому прямая регистрация облака Кондо может помочь в их исследовании. О проблеме Кондо см. в [5].

5. Рекордно далёкий блазар

Блазарами называются радиояркие активные ядра галактик, у которых релятивистские струи (джеты) направлены в сторону Земли. Джеты формируются вдоль оси вращения аккреционных дисков вокруг сверхмассивных чёрных дыр в центрах галактик. До последнего времени были известны лишь семь блазаров на красных смещениях $z = 5,0–5,5$ (с максимальным $z = 5,47$). На ещё больших z также наблюдались радиояркие галактики и квазары, но среди них не было блазаров. S. Belladitta (Брерская астрономическая обсерватория и Университет Инсубри, Италия) и соавторы при изучении нескольких радиообзоров галактик обнаружили [6] новый блазар PSO J030947.49 + 271757.31 на красном смещении $z \approx 6$, причём этот блазар обладает рекордной яркостью в радиодиапазоне. Наблюдение объекта PSO J030947.49 + 271757.31 с помощью рентгеновской обсерватории Swift показало также, что он обладает наибольшей рентгеновской светимостью среди всех известных активных галактик на $z \geq 6$. Из данных по статистике наблюдений следует, что таких блазаров на $z \sim 6$ должно быть $\sim 10^{-2}$ в кубическом Мпк. Красное смещение $z \sim 6$ соответствует возрасту Вселенной 900 млн лет. Изучение активных объектов в эту эпоху важно для понимания процессов формирования и роста сверхмассивных чёрных дыр. Блазары могут являться источниками нейтрино и космических лучей высоких энергий (см. [7]).

Список литературы

- Schmidt A et al. & The CLAS Collaboration *Nature* **578** 540 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2021-6>
- Delic U et al. *Science* **367** 892 (2020); <https://doi.org/10.1126/science.aba3993>
- Yoneda J et al. *Nature Communications* **11** 1144 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14818-8>
- Borzenets I V et al. *Nature* **579** 210 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2058-6>
- Овчинников Ю Н и Дюгаев А М *УФН* **171** 565 (2001)
- Belladitta S et al. *Astronomy & Astrophysics* **635** L7 (2020); <https://arxiv.org/abs/2002.05178>
- Птицына К В, Троицкий С В *УФН* **180** 723 (2010)