

1. Наблюдение β -фазы сверхтекучего гелия-3. В.В. Дмитриев (ИФП РАН им. П.Л. Капицы) и соавторы впервые выполнили наблюдение фазы β сверхтекучего ^3He в нематическом аэрогеле в сильном магнитном поле [1]. В обычных условиях сверхтекучий ^3He имеет только две фазы (А и В). Однако в сильном магнитном поле происходит расщепление на новые фазы с различным спиновым составом ансамбля куперовских пар. Если, кроме того, ^3He заключён в нематический аэрогель (рыхлую среду из нитей кремнезёма или другого вещества) с сонаправленными нитями, то может возникнуть сильная анизотропия и полярная фаза. В работах Е.В. Суровцева (ИФП РАН и МФТИ) [2, 3] предсказывалось, что в таких условиях при охлаждении ^3He должен перейти в так называемую β -фазу вместо чисто полярной фазы, а при дальнейшем охлаждении должен произойти переход в деформированную β -фазу. В новом эксперименте использовался нематический аэрогель из мулита (минерала из класса силикатов) с порами вытянутой формы, в котором слой твёрдого ^3He на поверхности нитей были замещены на ^4He . Аэрогель прикреплялся к механическому резонатору, и исследовались резонансные свойства этой системы в зависимости от температуры. Переход ^3He в ту или иную фазу сопровождался изменением плотности сверхтекучей компоненты и тем самым влиял на резонансную частоту и форму резонансной кривой. Этим методом были зарегистрированы предсказанные переходы в сверхтекучую β -фазу и в деформированную β -фазу. Было установлено, что интервал температур, в котором существует фаза β , пропорционален величине магнитного поля. О сверхтекучих фазах ^3He в аэрогеле см. также [4].

2. Эффект Казимира и необратимая передача энергии. Z. Xu (Университет Пёрдью, США) и соавторы выполнили эксперимент, в котором впервые продемонстрирован необратимый процесс передачи энергии посредством эффекта Казимира (см. [5]) от одного микромеханического осциллятора к другому [6]. Осцилляторы представляли собой два стержня с различными резонансными частотами упругих механических вибраций. В области между стержнями имели место нулевые вакуумные флуктуации электромагнитного поля (эффект Казимира), которые создавали силы, воздействующие на стержни. С помощью переменного электрического поля осуществлялась параметрическая модуляция расстояния между стержнями и сил Казимира, и благодаря этому возникла связь между колебаниями стержней. У одного из стержней (получателя энергии) искусственно вызывалась дополнительная диссипация энергии, что вело к появлению особой точки (exceptional point) в пространстве параметров. Эта точка является границей наличия вещественных значений в спектре гамильтониана, который содержит неэрмитовы члены. При обходе петли в пространстве параметров, от одного стержня к другому передавалось больше энергии, чем в обратном направлении, подобно тому как при прохождении электрического тока через диод. Данный эффект может найти полезные применения в микромеханических системах.

3. Квантовая телепортация микроволн. Для построения квантовых компьютеров важную роль играет квантово когерентная передача состояний между разнородными устройствами, такими как квантовые процессоры. В том числе желательно передавать неизвестные квантовые состояния путём квантовой телепортации. Однако, в отличие от оптического диапазона, ранее отсутствовал метод передачи распространяющихся квантовых состояний между сверхпроводящими ячейками, работающими на частотах микроволнового диапазона. К.Г. Федоров (Институт Вальтера Мейснера Баварской академии наук и Мюнхенский технический университет, Германия) в своём эксперименте продемонстрировали квантовую телепортацию распространяющихся микроволновых состояний на расстоянии 42 см через коаксиальный кабель на несущей частоте 5,435 ГГц путём предварительного сжатия и запутывания состояний фотонов в двух джозефсоновских параметрических усилителях [7]. Аналогичная пара усилителей использовалась для измерений на стороне получателя, где осуществлялась вингертовская квантовая томография состояний. Была достигнута квантовая точность (fidelity) телепортации $F = 0,689 \pm 0,004$, что превышает порог $2/3$ отсутствия клонирования квантовых состояний. Также в эксперименте продемонстрирована телепортация последовательности состояний (алфавита). Этот результат открывает принципиальную возможность создания квантовых микроволновых сетей для квантовой коммуникации и распределённых квантовых вычислений. О квантовых компьютерах см. [8–10].

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

4. "Закрученные" N00N состояния фотонов. Состояниями N00N называют суперпозицию N фотонов в двух ортогональных модах $(|N, 0\rangle + |0, N\rangle)/\sqrt{2}$. Изменение фазы N00N при внешнем воздействии в N раз больше, чем у 1-фотонных состояний, поэтому такие состояния интересны в метрологических и других приложениях. Группой исследователей из Финляндии и Канады выполнен новый эксперимент [11], в котором преимущество N00N состояний комбинируется с возможностями "закрученных" (twisted) состояний, имеющих орбитальные угловые моменты. Это позволило, наряду с чувствительностью к изменениям фазы, получить высокую чувствительность в измерении углов. Сначала два квантово запутанных фотона пропускались через разные участки пространственного модулятора. Затем структурированные фотоны снова сходились в сплиттере и попадали во второй модулятор, который имитировал измеряемую систему. В итоге фотоны пропускались через интерферометр Маха–Цандера и регистрировались. Применялись состояния фотонов с $N = 1$ и 2 и с орбитальными угловыми моментами до 100 h . Измерения показали, что увеличение N и орбитального углового момента повышает точность измерения углов и чувствительность детектора в соответствии с теоретическими расчётами.

5. Двойной пульсар и проверка Общей теории относительности. Путём длительного наблюдения двойного радиопульсара пульсара PSR J0737-3039A/B на нескольких телескопах удалось выполнить новую проверку предсказаний Общей теории относительности (ОТО) в области сильных полей [12]. Нейтронные звёзды образуют пару с достаточно коротким орбитальным периодом 2,45 часа, их орбита имеет ненулевую эксцентриситет $e = 0,088$, а плоскость орбиты оптимально ориентирована по отношению к лучу зрения. Это делает двойной пульсар PSR J0737-3039A/B удобной системой для проверки ряда релятивистских эффектов. С помощью атомных часов измерялось время прихода импульсов, в котором содержится информация о свойствах пульсаров и их гравитационного поля. Были измерены семь релятивистских посткеплеровских поправок. Некоторые релятивистские эффекты удалось выявить впервые. Зарегистрировано отклонение импульсов в гравитационном поле компаньона, что позволило определить направление вращения пульсаров. Наблюдалось изменение орбиты за счёт уменьшения эффективной массы пульсара из-за замедления его вращения. Измерена угловая скорость вращения периастра. Достигнутая точность позволяет уже видеть влияние уравнения состояния нейтронной звезды на спин-орбитальную связь в двойной системе. Скорость изменения периода орбиты за счёт излучения гравитационных волн соответствует формулам для квадрупольного приближения с точностью $1,3 \times 10^{-4}$. Таким образом, были ещё раз подтверждены предсказания ОТО и ограничены некоторые альтернативные теории гравитации. О радиопульсарах см. [13, 14].

Список литературы

1. Dmitriev V V, Kutuzov M S, Soldatov A A, Yudin A N *Phys. Rev. Lett.* **127** 265301 (2021)
2. Суровцев Е В *ЖЭТФ* **155** 554 (2019); Surovtsev E V *J. Exp. Theor. Phys.* **128** 477 (2019)
3. Суровцев Е В *ЖЭТФ* **156** 1158 (2019); Surovtsev E V *J. Exp. Theor. Phys.* **129** 1055 (2019)
4. Дмитриев В В, Завьялов В В, Змеев Д Е, Косарев И В, Малдерс Н *УФН* **173** 452 (2003); Dmitriev V V, Zav'yalov V V, Zmeev D E, Kosarev I V, Mulders N *Phys. Usp.* **46** 438 (2003)
5. Мостепаненко В М, Трунов Н Н *УФН* **156** 385 (1988); Mostepanenko V M, Trunov N N *Sov. Phys. Usp.* **31** 965 (1988)
6. Xu Z et al. "Non-reciprocal energy transfer through the Casimir effect", *Nat. Nanotechnol.* (2021) <https://doi.org/10.1038/s41565-021-01026-8>
7. Fedorov K G et al. *Sci. Adv.* **7** eabk0891 (2021) <https://doi.org/10.1126/sciadv.abk0891>
8. Сукачёв Д Д *УФН* **191** 1077 (2021); Sukachev D D *Phys. Usp.* **64** 1021 (2021)
9. Арбеков И М, Молотков С Н *УФН* **191** 651 (2021); Arbekov I M, Molotkov S N *Phys. Usp.* **64** 617 (2021)
10. Трушечкин А С и др. *УФН* **191** 93 (2021); Trushechkin A S et al. *Phys. Usp.* **64** 88 (2021)
11. Hiekkamäki M, Bouchard F, Fickler R *Phys. Rev. Lett.* **127** 263601 (2021)
12. Kramer M et al. *Phys. Rev. X* **11** 041050 (2021); arXiv:2112.06795
13. Бескин В С, Истомин Я Н, Филиппов А А *УФН* **183** 179 (2013); Beskin V S, Istomin Ya N, Philippov A A *Phys. Usp.* **56** 164 (2013)
14. Бескин В С *УФН* **188** 377 (2018); Beskin V S *Phys. Usp.* **61** 353 (2018)