

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET
(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

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

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.038988>

1. Проверка закона площадей для чёрных дыр. В 1971 г. С. Хокинг показал, что сумма площадей горизонтов событий чёрных дыр (ЧД) в ходе любых классических процессов не убывает со временем. Это утверждение является следствием основных принципов Общей теории относительности. Из теоремы Хокинга следует, что после слияния двух ЧД площадь горизонта образовавшейся ЧД будет не меньше суммы площадей горизонтов исходных ЧД. М. Isi (Массачусетский технологический институт, США) и соавторы, используя характеристики первого гравитационно-волнового сигнала GW150914, зарегистрированного интерферометром LIGO в 2015 г. [1], получили первое наблюдательное подтверждение закона площадей [2]. Наблюдавшаяся форма сигнала GW150914 была сопоставлена с теоретически рассчитанными кривыми пульсаций сигнала перед слиянием двух ЧД и после него. Отсюда удалось определить массы, угловые моменты и площади горизонтов ЧД до и после слияния. Получено, что сумма начальных площадей горизонтов меньше конечной площади с вероятностью 95–97%. Этот вывод является ещё одной успешной проверкой Общей теории относительности. О ЧД в двойных системах см. [3].

2. Интерферометр Штерна–Герлаха. Опыт Штерна–Герлаха, выполненный в 1922 г., показал, что проекции магнитных моментов атомов на направление магнитного поля принимают дискретные величины [4]. С тех пор неоднократно обсуждалась идея создания интерферометра на основе эффекта Штерна–Герлаха, но делался вывод о том, что создать его чрезвычайно сложно из-за необходимости сверхточного контроля над магнитным полем. Тем не менее интерферометр Штерна–Герлаха был реализован У. Margalit (Университет им. Бен-Гуриона, Израиль) и соавторами сначала в полупетлевом варианте, а затем с полной петлёй. Эксперимент [5] проводился "на чипе" с атомами бозе-эйнштейновского конденсата, переводимыми в суперпозицию двух спиновых состояний. Атомы подвергались импульсным воздействиям градиента магнитного поля, в результате которых волновые пакеты атомов в различных состояниях сначала разделялись, а затем снова сходились вместе, что создавало полную петлю интерферометра на пространственно-временной диаграмме. На выходе абсорбционным методом изучались населённости спиновых уровней, в которых была отчетливо видна интерференция. Новый интерферометр может найти применения в фундаментальных исследованиях. Его реализация с использованием макроскопических объектов, например наночастиц алмаза, позволила бы тестировать даже эффекты квантовой гравитации.

3. Андреевское отражение и дробный квантовый эффект Холла. Электрон, падающий на сверхпроводник из нормального металла, может отразиться в виде дырки (эффект андреевского отражения, предсказанный А.Ф. Андреевым в 1964 г.), а в сверхпроводнике при этом возникает куперовская пара электронов [6]. Теоретически предсказывалось, что подобный эффект должен наблюдаться и на границе между веществами, в которых имеет место дробный квантовый

эффект Холла, при условии, что коэффициенты заполнения уровней Ландау ν у веществ различны. М. Hashisaka (Лаборатория фундаментальных исследований корпорации NTT, Япония) и соавторы впервые подтвердили это предсказание в своём эксперименте с квантовой стенкой GaAs в магнитном поле [7]. Андреевское отражение проявлялось в осцилляциях проводимости узкого перешейка между областями $\nu = 1/3$ и $\nu = 1$ при изменении его ширины, вызываемом изменением потенциала электрода. Таким образом, андреевское отражение впервые было обнаружено в топологической системе без сверхпроводимости.

4. Экситон-поляритонный конденсат Бозе–Эйнштейна при комнатной температуре. Экситон-поляритоны (ЭП) представляют собой сильно связанные системы экситонов и фотонов (см., например, [8]). Получение ЭП конденсатов Бозе–Эйнштейна важно для создания лазеров с уникальными свойствами и оптических логических элементов. ЭП конденсаты при комнатной температуре ранее уже были продемонстрированы с использованием органических систем, заключённых между двумя плоскими отражателями. J. Tang (Институт химии и Университет Китайской академии наук, Китай) и соавторы получили ЭП конденсат Бозе–Эйнштейна при комнатной температуре новым способом — в вытянутых микрополостях внутри органического кристалла [9]. Микрополости используются в качестве резонаторов Фабри–Перо, в которых сильная связь между экситонами Френкеля и фотонами приводит к генерации ЭП конденсата. При этом малая добротность микрорезонаторов компенсируется большой плотностью экситонов. Был продемонстрирован управляемый поток когерентного света, генерируемого в данном устройстве. Результаты измерений хорошо соответствуют расчётам, выполненным с помощью уравнения Гросса–Питаевского. О конденсации экситонов см. [10].

5. Поправка Ли–Хуанга–Янга. Поправка Ли–Хуанга–Янга к энергии основного состояния бозонного газа описывает эффект квантовых флуктуаций. Влияние этой поправки наблюдалось в ряде экспериментов. T.G. Skov (Орхусский университет, Дания) и соавторы выполнили новый эксперимент со смесью конденсатов Бозе–Эйнштейна в условиях, когда влияние взаимодействия среднего поля точно компенсировалось и поправка Ли–Хуанга–Янга становилась определяющей [11]. Она создавала силу, под действием которой происходили монополярные колебания конденсатов. Изучался двухкомпонентный конденсат атомов ^{39}K в спиновых состояниях гипертонкого расщепления $|F = 1, m_F = -1\rangle$ и $|F = 1, m_F = 0\rangle$. Конденсат удерживался в сферически-симметричном гармоническом потенциале, создаваемом лучами лазера. Колебания конденсата наблюдались абсорбционным методом на стадии свободного разлёта после выключения потенциала. Получено хорошее согласие с численным моделированием динамики конденсата с учётом ведущей роли поправки Ли–Хуанга–Янга.

6. Лазер на топологическом изоляторе. В лазерах на топологических изоляторах используется возбуждение краевых оптических мод. Благодаря топологической устойчивости этих мод по отношению к дефектам и возмущениям такие лазеры обладают высокой надёжностью и эффективностью, но для их работы обычно требуются криогенные температуры

или оптическая накачка. J.-H. Choi (Университет Южной Калифорнии, США) и соавторы впервые продемонстрировали лазер на топологическом изоляторе с электрической накачкой, работающий при комнатной температуре [12]. Устройство представляет собой периодический массив микрокольцевых резонаторов на полупроводниковой подложке, связанных непериодическим набором вспомогательных элементов. Синтетические калибровочные поля имитировали квантовый спиновый эффект Холла для фотонов. Электрическое поле возбуждало в массиве когерентные краевые оптические моды с генерацией лазерного излучения телекоммуникационного диапазона при комнатной температуре.

7. Спиновый гироскоп. А.В. Акимов (ФИАН им. П.Н. Лебедева) и его коллеги создали гироскоп на основе гиперполяризованного ансамбля ядерных спинов ^{14}N в NV-центрах (азото-замещённых вакансиях в алмазе) [13]. Гироскопический эффект возник благодаря стабильности направления спинов, не подвергающихся внешним воздействиям. Поляризация и считывание состояний ядерных спинов производились стандартным методом посредством электронных спинов NV-центров. С помощью нового гироскопа удалось отслеживать повороты с угловой скоростью в несколько десятков градусов в секунду, а его работа проверялась с помощью существующих микроэлектромеханических гироскопов. Идея ядерных гироскопов обсуждалась ещё в 1960-х годах, и тогда же были созданы первые прототипы [14]. Спиновый гироскоп может быть намного компактнее круговых лазерных гироскопов, основанных на эффекте Саньяка, так как точность последних зависит от площади кольца. Поэтому гироскоп на основе NV-центров имеет хорошие перспективы для практического использования в различных навигационных устройствах.

8. Когерентность рассеянных фотонов. Исследователи из Университета Уотерлу (Канада) S. Sajeed и T. Jennewein разработали метод передачи квантово-когерентных фотонных пар между источником и детектором, не находящимися в прямой видимости друг от друга [15]. При рассеянии фотонов часто теряется состояние их поляризации, которое обычно используется для создания квантовой запутанности. Для преодоления этой проблемы авторы использовали квантовую когерентность, закодированную во временных интервалах, которая устойчива к рассеянию. В эксперименте применялся многомодовый интерферометр и массив однофотонных детекторов, имеющих разрешение по времени ≈ 120 пс. Фазовый конвертер на основе интерферометра Майкельсона преобразовывал лазерные импульсы в пары последовательных когерентных импульсов, и исследовалось их отражение от листов белой бумаги. Анализ рассеянных импульсов производился с помощью второго интерферометра. Хотя угол рассеяния достигал значений от -45° до $+45^\circ$, видимость фотонов оставалась на уровне 95 % и благодаря квантовой когерентности удавалось выделять сигнал над уровнем некогерентных шумов. Квантовая когерентность фотонов важна для устройств квантовой коммуникации и для квантового зондирования, в том числе в биомикроскопии [16].

9. Рекуррентный источник быстрых радиовсплесков в шаровом звёздном скоплении. F. Kirsten (Технический университет Чалмерса, Швеция) и соавторы с помощью наблюдений на радиотелескопах-интерферометрах с очень длинной базой установили, что источник повторяющихся быстрых радиовсплесков (БРВ) FRB 20200120E расположен в шаровом скоплении, находящемся в приливном мосте между галактиками M81 и NGC 3077 [17]. Вероятность случайной ассоциации с шаровым скоплением $< 1,7 \times 10^{-4}$. Необычность этого наблюдения связана с тем, что согласно наиболее популярной модели БРВ генерируются в магнетарах (молодых замагниченных нейтронных звёздах), что подтверждается недавним наблюдением ярких всплесков от галактического магнетара. А эти объекты обычно находятся среди молодых звёзд в дисках галактик. В старых шаровых скоплениях их обнаружить не ожидали. FRB 20200120E находится значительно ближе, чем

другие известные источники внегалактических БРВ. Благодаря этому удалось получить ограничения на поток постоянного радио-, рентгеновского и гамма-излучения от этого объекта, что сужает возможные классы моделей генерации БРВ. Авторы работы предполагают, что магнетар FRB 20200120E образовался в результате коллапса аккрецирующего белого карлика либо в результате слияния белых карликов и/или нейтронных звёзд в двойной системе, а его рождение в результате взрыва сверхновой с коллапсирующим ядром в шаровом скоплении маловероятно. О БРВ см. [18].

10. Обзор пульсаров FAST. Исследование пульсаров важно для изучения состояния материи в экстремальных условиях, для исследования эволюции звёзд и для проверки теорий гравитации. В новом обзоре, составленном радиотелескопом FAST, представлены данные по пульсарам на угловом расстоянии $\pm 10^\circ$ от плоскости галактического диска [19]. FAST, имея апертуру 300 м, является самым чувствительным радиотелескопом, предназначенным для изучения пульсаров. Был обнаружен двойной миллисекундный пульсар в шаровом скоплении M13 и затменный миллисекундный пульсар в M92, исследованы несколько пульсаров с большой мерой дисперсии, в том числе пульсар PSR J1901 + 0435 с инвертированным спектром. Наблюдались несколько пульсаров, совпадающих с остатками сверхновых, 40 миллисекундных пульсаров, 16 двойных пульсаров и пульсары — вращающиеся радиотранзиенты. Составленный обзор пульсаров позволит в будущем выполнить более детальное исследование обнаруженных интересных объектов с помощью других инструментов. О нейтронных звёздах см. [20–22].

Список литературы

1. Райтце Д *УФН* **187** 884 (2017); Reitze D H *Phys. Usp.* **60** 823 (2017)
2. Isi M. et al. *Phys. Rev. Lett.*, в печати; <https://arxiv.org/abs/2012.04486>
3. Постнов К А, Куранов А Г, Митичкин Н А *УФН* **189** 1230 (2019); Postnov K A, Kuranov A G, Mitichkin N A *Phys. Usp.* **62** 1153 (2019)
4. Ландсберг Г С *УФН* **7** 494 (1927)
5. Margalit Y et al. *Scie. Adv.* **7** eabg2879 (2021); <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg2879>
6. Андреев А Ф *ЖЭТФ* **46** 1823 (1964); Andreev A F *Sov. Phys. JETP* **19** 1228 (1964)
7. Hashisaka M et al. *Nat. Commun.* **12** 2794 (2021); <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23160-6>
8. Гаврилов С С *УФН* **190** 137 (2020); Gavrilov S S *Phys. Usp.* **63** 123 (2020)
9. Tang J et al. *Nat. Commun.* **12** 3265 (2021); <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23524-y>
10. Глазов М М, Сурис Р А *УФН* **190** 1121 (2020); Glazov M M, Suris R A *Phys. Usp.* **63** 1051 (2020)
11. Skov T. G. et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 230404 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.230404>
12. Choi J-H et al. *Nat. Commun.* **12** 3434 (2021); <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23718-4>
13. Soshenko V V et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 197702 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.197702>
14. Колпаков Н М *УФН* **87** 732 (1965)
15. Sajeed S, Jennewein T *Light Sci. Appl.* **10** 121 (2021); <https://arxiv.org/abs/2103.00298>
16. Жёлтиков А М, Скалли М О *УФН* **190** 749 (2020); Zheltikov A M, Scully M O *Phys. Usp.* **63** 698 (2020)
17. Kirsten F et al., <https://arxiv.org/abs/2105.11445>
18. Попов С Б, Постнов К А, Пширков М С *УФН* **188** 1063 (2018); Popov S B, Postnov K A, Pshirkov M S *Phys. Usp.* **61** 965 (2018)
19. Han J L et al. *Res. Astron. Astrophys.* **21** 107 (2021); <https://arxiv.org/abs/2105.08460>
20. Бескин В С *УФН* **188** 377 (2018); Beskin V S *Phys. Usp.* **61** 353 (2018)
21. Шакура Н И и др. *УФН* **189** 1202 (2019); Shakura N I et al. *Phys. Usp.* **62** 1126 (2019)
22. Тутуков А В, Черепашук А М *УФН* **190** 225 (2020); Tutukov A V, Cherepashchuk A M *Phys. Usp.* **63** 209 (2020)