

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: ИЮЛЬ 2023
(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

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

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2023.06.039372>

1. Поиск спин-гравитационного взаимодействия. В отличие от других фундаментальных взаимодействий, сила гравитации, насколько известно из эксперимента, не зависит напрямую от спина элементарных частиц. Однако нельзя исключать, что константа связи спина и силы гравитации хотя и мала, но не равна точно нулю. Наличие такой связи вызывало бы зависящее от спина локальное гравитационное ускорение с нарушением принципа эквивалентности. S.-B. Zhang (Научно-технический университет Китая) и соавторы выполнили новый эксперимент по поиску спин-гравитационных взаимодействий [1]. С помощью комагнетометра сравнивались отношения частот спиновой прецессии в ядрах ^{129}Xe и ^{131}Xe в зависимости от ориентации относительно направления гравитационного поля. Использование двух типов ядер было необходимо, чтобы исключить вклад магнитного поля. Наличие дополнительной немагнитной прецессии стало бы свидетельством спин-гравитационного взаимодействия. На достигнутом уровне точности этого взаимодействия не обнаружено, но были в 17 раз улучшены ограничения на соответствующую константу связи и на величину взаимодействий, опосредуемых аксиоподобными бозонами.

2. Парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена для двух конденсатов Бозе – Эйнштейна. Парадоксом Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР) называют возможность одновременного измерения двух некоммутирующих квантовых величин, характеризующих удалённую систему, с большей точностью, чем позволяет принцип неопределённости Гейзенберга в локальных измерениях. Как сейчас известно, указанный парадокс полностью укладывается в рамки стандартной квантовой механики, и для малых систем он был показан в ряде экспериментов. Для больших атомных ансамблей, таких как механические осцилляторы, уже демонстрировалась квантовая запутанность, но точность предшествующих измерений была недостаточна для проверки неравенства Гейзенберга. P. Colciaghi (Базельский университет, Швейцария) и соавторы впервые продемонстрировали ЭПР-парадокс для двух макроскопических конденсатов Бозе – Эйнштейна [2]. Это удалось осуществить благодаря применению новой техники расщепления конденсата на две части и нового метода высокоточных когерентных вращений спиновых состояний. С помощью микроволновых импульсов создавалась запутанность между спинами 1400 атомов ^{87}Rb в магнитной ловушке. Затем облачко конденсата высвобождалось из ловушки, и часть атомов переводилась в состояния с нулевым магнитным моментом, что позволяло с помощью градиента магнитного поля разделить конденсат на две части, разнесённые на ≈ 100 мкм. Измерения спиновых состояний показали квантовую запутанность двух частей и нарушение соотношения Гейзенберга (ЭПР-парадокс).

3. Диссипация в сверхтекучих вихревых кольцах. В двухкомпонентной модели сверхтекучая жидкость представляется нормальной и сверхтекучей компонентами. В сверхтекучей компоненте возможно появление квантованных вихрей [3], на которых, согласно теоретическому предсказанию K.W. Schwarz 1977 года, рассеиваются квазичастицы нормальной компоненты, что должно вести к диссипации энергии вихрей. Однако прямые экспериментальные наблюдения предсказанного эффекта до сих пор отсутствовали, а теоретические расчёты различных групп давали разные прогнозы относительно точного механизма и величины диссипации. Y. Tang (Национальная лаборатория сильных магнитных полей и Университет штата Флорида, США) и соавторы выполнили новый эксперимент, где впервые наблюдался эффект диссипации в вихрях [4]. Для этого в жидкий гелий-4 в качестве маркеров добавлялись частицы твёрдого дейтерия. Их движение вместе с вихрями наблюдалось по рассеянию лазерного света. По измеренной скорости сжатия вихревых колец вычислялись коэффициенты дисси-

пации. Из предложенных теорий лучше всего описывает результаты эксперимента модель, разработанная L. Galantucci и соавторами в 2020 г. Также в эксперименте впервые наблюдалось явление опрокидывания вихрей. Авторы объясняют его совместным влиянием силы тяжести и диссипации.

4. Магнитный скирмионный транзистор. Топологически устойчивые конфигурации полей, которые Т. Скирм в 1961 году предложил в качестве модели нуклонов, были обнаружены в 2009 г. в виде квазичастиц — скирмионов [5]. Эти вихревые структуры из спинов атомов рассматривались как перспективные элементы для спинтроники, и в 2019 г. I. Hong и K. Lee предложили идею скирмионного полевого транзистора [6]. S. Yang (Корейский научно-исследовательский институт стандартов и науки) и соавторы впервые продемонстрировали прототип магнитного скирмионного транзистора, работающего при комнатной температуре [7]. В многослойной системе $\text{MgO}/\text{CoFeB}/\text{W}/\text{TaO}_x$ возбуждались магнитные скирмионы с фиксированной хиральностью спинов. С помощью электрического поля осуществлялось управление магнитной анизотропией, и удалось получить транзисторный эффект, когда скирмионы проходили через контролируемую область или блокировались.

5. Космологическое замедление времени в излучении квазаров. Эффект космологического замедления времени до сих пор был надёжно зарегистрирован только для сверхновых, а для других объектов данные оставались неоднозначными. Более того, в некоторых работах делался вывод об отсутствии такого эффекта для переменного излучения квазаров. Эффект должен был бы проявляться как уширение по времени всех вариаций в зависимости от красного смещения z по закону $1+z$. Быстрая переменность излучения квазаров обычно ассоциируется с процессами в аккреционных дисках вблизи центральных чёрных дыр. Отсутствие эффекта говорило бы о том, что излучение становится переменным не в самих источниках, а по пути к наблюдателю, например, за счёт гравитационного линзирования на чёрных дырах. Также не исключалась специальная форма эволюции популяции квазаров во времени, которая компенсировала бы закон $1+z$, но такое совпадение представляется маловероятным. G.F. Lewis (Сиднейский университет, Австралия) и B.J. Brewer (Оклендский университет, Новая Зеландия) выполнили новый поиск космологического замедления времени в излучении квазаров и впервые достоверно зарегистрировали этот эффект, показав также, что отрицательный результат предшествующих исследований объясняется недостаточной статистикой [8]. В новом исследовании изучались 190 квазаров из обзора Sloan Digital Sky Survey, наблюдавшихся фотометрическими методами с 1998 по 2020 гг. Гипотеза о растяжении времени по закону $1+z$ оказалась значительно вероятнее, чем предположение о его отсутствии. Если закон растяжения представить в виде $(1+z)^n$, то статистический анализ даёт величину $n = 1,28^{+0,28}_{-0,29}$, согласующуюся с $1+z$, хотя не исключён вклад космологической эволюции квазаров.

Список литературы

1. Zhang S-B et al. *Phys. Rev. Lett.* **130** 201401 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.201401>
2. Colciaghi P et al. *Phys. Rev. X* **13** 021031 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.13.021031>
3. Абрикосов А А *УФН* **174** 1234 (2004); Abrikosov A A *Rev. Mod. Phys.* **76** 975 (2004)
4. Tang Y et al. *Nature Commun.* **14** 2941 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38787-w>
5. Борисов А Б *УФН* **190** 291 (2020); Borisov A B *Phys. Usp.* **63** 269 (2020)
6. Hong I-S, Lee K-J *Appl. Phys. Lett.* **115** 072406 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5110752>
7. Yang S et al. *Adv. Mater.* **35** 2208881 (2023) <https://doi.org/10.1002/adma.202208881>
8. Lewis G F, Brewer B J, arXiv:2306.04053, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.04053>