

1. Возможная регистрация частицы тёмной материи. Природа тёмной материи остаётся одной из главных загадок космологии. Среди вероятных кандидатов — слабовазаимодействующие массивные частицы (вимпы), отсутствующие в Стандартной модели, однако попытки их прямой регистрации пока не дали убедительных результатов. В эксперименте LUX-ZEPLIN, проводимом в Подземном исследовательском комплексе Сэнфорда (США), выполнен поиск рассеяния вимпов на атомных ядрах с энергией отдачи ядер 5,4–270 кэВ, тогда как ранее исследовалась лишь область ≤ 100 кэВ [1]. Внутренняя камера установки, расположенной на глубине 1,6 км, содержит 7 т жидкого ксенона, просматриваемого фотоумножителями. События-кандидаты выделяются по прямому сцинтилляционному излучению от места рассеяния и по задержанному электролюминесцентному сигналу от вылетающих электронов. В данных, полученных за 220 дней, было зарегистрировано одно событие-кандидат с энергией отдачи ядра 248 ± 23 (стат.) ± 23 (сист.) кэВ, чему соответствует масса частицы тёмной материи ≥ 200 ГэВ. Статистическая значимость данного результата при проверке всех гипотез составляет 2,6 σ и достигает 3,4 σ для одной гипотезы (локальная значимость). Это потенциально интересное событие, скорее всего, не связано с фоновыми процессами, и взаимодействие вимпа с ядром является пока единственным его объяснением. Тем не менее для надёжных выводов единичного события недостаточно и необходимы дальнейшие исследования.

2. Квантовая фаза в гравитационном поле. Используя принцип эквивалентности, можно показать, что волновая функция частицы, покоящейся в гравитационном поле, приобретает дополнительный сдвиг фазы по сравнению со случаем свободно падающей частицы. В эксперименте, проведённом в Университете имени Бен Гурциона в Негеве (Израиль) с участием нобелевского лауреата Р. Пенроуза, впервые напрямую измерен указанный сдвиг фазы [2]. Сравнивались фазы неподвижных относительно Земли атомов ^{87}Rb , захваченных в магнитную ловушку, и атомов, которые подбрасывались магнитно-градиентным импульсом вверх, свободно падали в течение некоторого времени и после магнитного замедления интерферировали с неподвижными атомами. Управлять движением ультрахолодных атомов удавалось путём перевода их в суперпозицию спиновых состояний, поразному взаимодействующих с магнитным полем. Построенный на этом принципе новый интерферометр авторы эксперимента предлагают называть "квантовым интерферометром Галилея", в честь Г. Галилея, исследовавшего свободное падение тел. С достигнутой в эксперименте точностью 2,5 % подтверждена теоретически рассчитанная величина дополнительного сдвига фазы. Данный результат важен для исследований по проблеме квантовой гравитации.

3. Влияние квантовых флуктуаций в резонаторе на сверхпроводимость. Одним из направлений в исследовании сверхпроводимости является изучение влияния нулевых квантовых флуктуаций электромагнитного поля в резонаторах на критическую температуру сверхпроводящего перехода T_c за счёт изменения электрон-фононной связи и других эффектов. Н. Zhang (Центр квантовых технологий, Сингапур) и соавторы обнаружили увеличение T_c в слоистом образце NbSe_2 в резонаторе и исследовали зависимость величины эффекта от числа слоёв [3]. Образцы NbSe_2 были помещены в резонатор с расщеплённым кольцом. Для резонансной частоты 0,92 ТГц величина T_c в двухслойном материале повышается на $\sim 10\%$, тогда как в идентично подготовленном десятислойном материале сдвиг значительно меньше. Эффект усиления наблюдался в пределах одного устройства, что позволило исключить фактор различия образцов. Увеличение T_c в многослойном образце NbSe_2 в резонаторе было независимо обнаружено в работе [4], в которой также предложена теоретическая модель, объясняющая сдвиг T_c в рамках теории Гинзбурга–Ландау. По этой модели, сверхпроводник обменивается виртуальными фотонами с резонатором, вызывая резонансное усиление сверхпроводимости.

4. Наблюдение единичных вихрей в сверхпроводящем резонаторе. Существование квантовых вихрей в сверхпроводниках второго рода при проникновении в них внешнего магнитного поля было предсказано А.А. Абрикосовым в 1957 г. в рамках теории Гинзбурга–Ландау [5]. Исследование вихрей и поиск возможностей управления их поведением важны для применений в сверхпроводящей квантовой электронике. К. Shulga (Токийский университет, Япония) и соавторы продемонстрировали в своём эксперименте новый метод регистрации отдельных вихрей [6]. Плоский сверхпроводящий резонатор был изготовлен из плёнки ниобия на кремниевой подложке. Часть сверхпроводника, входящая в резонатор, имела конусообразное сужение, через которое движущиеся вихри проникали в резонатор по одному. Каждое появление вихря в резонаторе сопровождалось скачком резонансной частоты и добротности. Эти изменения оказывали влияние на микроволновое излучение в резонаторе, что позволяло регистрировать отдельные вихри. Входящие единичные вихри независимо регистрировались также магнитометром на основе азотной вакансии в алмазе (NV-центра).

5. Двойное лучепреломление в поляризованном рентгеновском излучении магнитаров. Магнитары представляют собой класс изолированных нейтронных звёзд с магнитными полями величиной $\sim 10^{14} - 10^{15}$ Гс. Они считаются перспективными объектами для изучения нелинейных эффектов в квантовой электродинамике. Один из таких эффектов — двойное лучепреломление в вакууме, когда для волн с разной поляризацией показатель преломления вакуума имеет разную величину. Двойное лучепреломление является прямым следствием поляризации квантового вакуума (рождения виртуальных e^+e^- пар), но ранее его обнаружить не удавалось. Эффекты поляризации излучения в замагниченной плазме рассматривались В.Л. Гинзбургом и соавторами [7, 8], а в квантовом случае их теория была разработана Ю.Н. Гнединым и Г.Г. Павловым [9, 10]. Ожидалось, что поляризация вакуума окажет влияние на распространение фотонов мягкого рентгеновского излучения в магнитоферах магнитаров. R.E. Stewart (Университет Джорджа Вашингтона, США) и соавторы с помощью наблюдений на телескопах IXPE, NICER и Parkes/Murriyang исследовали магнитар 1E 1547.0-5408 с периодом вращения 2,09 с и магнитным полем $\simeq 2,2 \times 10^{14}$ Гс [11]. Магнитная ось нейтронной звезды почти совпадает с осью вращения, а земной наблюдатель видит объект со стороны полюса. Благодаря этим особенностям 1E 1547.0-5408 хорошо подходит для поиска вакуумного двойного лучепреломления. Была обнаружена сильная поляризация рентгеновского излучения, достигающая $65 \pm 8\%$ при 2 кэВ и по направлению коррелирующая с магнитным полем. Эти свойства естественно объясняются в модели с поляризацией вакуума и двойным лучепреломлением [12]. Тем самым впервые напрямую подтверждён эффект двойного лучепреломления в магнитном поле. О нейтронных звёздах, обладающих сильными магнитными полями, см. в обзоре [13].

Список литературы

1. Akerib D S et al., arXiv:2609.02823, DOI:10.48550/arXiv.2609.02823
2. Dobkowski O et al. *Sci. Adv.* **12** eaec8045 (2026) DOI:10.1126/sciadv.aec8045
3. Zhang H et al., arXiv:2606.19171, DOI:10.48550/arXiv.2606.19171
4. Wang Z et al. *Nature* **657** 912 (2026) DOI:10.1038/s41586-026-11037-x
5. Абрикосов А А *УФН* **174** 1234 (2004); Abrikosov A A *Rev. Mod. Phys.* **76** 975 (2004)
6. Shulga K et al. *Phys. Rev. Lett.* **137** 116001 (2026) DOI:10.1103/4zw3-hm6t
7. Гершман Б Н, Гинзбург В Л, Денисов Н Г *УФН* **61** 561 (1957)
8. Гинзбург В Л *Распространение электромагнитных волн в плазме* (М.: Наука, 1967); Пер. на англ. яз.: Ginzburg V L *The Propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas* (Oxford: Pergamon Press, 1970)
9. Гнедин Ю Н, Павлов Г Г *ЖЭТФ* **65** 1806 (1973); Gnedin Yu N, Pavlov G G *Sov. Phys. JETP* **38** 903 (1974)
10. Pavlov G G, Gnedin Yu N *Astrophys. Space Phys. Res.* **3** 197 (1984)
11. Stewart R E et al. *Nature* **656** 590 (2026) DOI:10.1038/s41586-026-10859-z
12. Markozov I D et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **551** stg1517 (2026) DOI:10.1093/mnras/stg1517
13. Потехин А Ю *УФН* **184** 793 (2014); Potekhin A Y *Phys. Usp.* **57** 735 (2014)