

1. Поиск аксионов. Изначально аксионы были предложены для решения проблемы сильного CP -нарушения (см., например, [1]). Эти гипотетические частицы пока не обнаружены, но ведутся их активные поиски. Аксионы и аксиоподобные частицы являются одними из вероятных кандидатов на роль частиц тёмной материи. T.S. Roussy (Колорадский университет, США) и соавторы в течение нескольких лет проводили эксперимент по измерению электрического дипольного момента ионов $^{180}\text{Hf}^{19}\text{F}^+$, в который могут давать вклад эффекты за пределами Стандартной модели. Хотя обнаружить их пока не удалось, из данных эксперимента получено новое ограничение на аксионы [2]. Осциллирующее аксионное поле, составляющее тёмную материю, вызывало бы сдвиг штарковских подуровней в $^{180}\text{Hf}^{19}\text{F}^+$. Из отсутствия подобного сдвига на достигнутом уровне точности найдено ограничение на константу взаимодействия аксионов с глюонами в интервале масс аксиона $10^{-22} - 10^{-15}$ эВ, причём при $10^{-17} - 10^{-15}$ эВ ограничение получено впервые. Также впервые учитывалась стохастичность распределения аксионного поля. Другая группа исследователей, A. Vasu (Обсерватория Карла Шварцшильда и Билефельдский университет, Германия) и соавторы, разработала новый перспективный метод поиска аксионов из наблюдений сильного гравитационного линзирования квазаров [3]. Из-за нарушения чётности при взаимодействии фотонов с аксионным полем волны с разной поляризацией могут распространяться с разными скоростями. Наблюдение нескольких линзированных изображений квазара, имеющих задержку во времени, могло бы выявить осцилляции аксионного поля по различию в угле вращения плоскости поляризации излучения. Новый метод был применён к квазару на красном смещении $z = 1,019$, линзируемому галактикой с $z = 0,439$. Удалось получить новые ограничения на константу взаимодействия аксионов с фотонами $g_{a\gamma}$ в интервале масс аксионов $3,6 \times 10^{-21} - 4,6 \times 10^{-18}$ эВ. Полученные ограничения на 1–2 порядка сильнее имевшихся ранее.

2. Затухание Ландау в ускорительных пучках. Эффект затухания возмущений в бесстолкновительной плазме за счёт коллективного взаимодействия частиц (затухание Ландау) был предсказан Л.Д. Ландау и А.А. Власовым в 1945 г. и впервые подтверждён в эксперименте в 1964 г. [4, 5]. Затухание Ландау играет ключевую роль, в частности, в стабилизации пучков на ускорителях, где также применяются активные методы стабилизации: регистрируется деформация пучка и оказывается воздействие на пучок в обратном направлении. При проектировании и эксплуатации ускорителей важно знать так называемую диаграмму устойчивости (ДУ), характеризующую пределы устойчивости пучка. Ранее ДУ находилась косвенными приближёнными методами. S.A. Antipov (ЦЕРН, Швейцария) и соавторы предложили и продемонстрировали в пробном эксперименте на Большом адронном коллайдере новый прямой метод измерения ДУ [6]. Для этого штатная система обратного воздействия использовалась с противоположной поляризацией для усиления возникающих поперечных отклонений пучка. Отслеживалось поведение пучка протонов малой интенсивности при различной величине и фазе воздействия, что позволило построить ДУ и тем самым измерить затухание Ландау.

3. Осцилляции теплопроводности в $\alpha\text{-RuCl}_3$. В квантовых спиновых жидкостях имеется спиновая квантовая когерентность, но отсутствует дальняя магнитная упорядоченность. Эти состояния привлекают большое внимание из-за их необычных свойств. Эксперименты показали, что в слоистом изоляторе $\alpha\text{-RuCl}_3$ в интервале магнитных полей $H = 7,3 - 11$ Тл, вероятно, реализуется состояние квантовой спиновой жидкости. Указанный интервал H заключён между парамагнитным и zigzagовым состояниями. P. Szajka (Принстонский университет, США) и соавторы выполнили новое исследование $\alpha\text{-RuCl}_3$ и обнаружили неожиданный эффект периодических осцилляций теплопроводности с ростом $1/H$, причём играет роль только компонента H вдоль плоскости слоёв [7]. Эти осцилляции напоминают осцилляции Шубникова – де Гааза в металлах, но здесь они имеют место в диэлектрике и должны вызываться иным механизмом. Осцилляции наиболее сильны как раз при $H = 7,3 - 11$ Тл и подавлены вне этого интервала, поэтому они могут быть связаны с состоянием квантовой спиновой жидкости. Авторы работы предполагают, что осцилляции могут объясняться квантованием спиновой ферми-поверхности. О некоторых актуальных вопросах физики твёрдого тела 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. Квантовая запутанность макроскопических мембран. S. Kotler (Национальный институт науки и технологий и Колорадский университет, США) и соавторы продемонстрировали квантовую запутанность двух алюминиевых мембран с массами 70 пг [11]. При этом квантовые состояния мембран можно было эффективно измерять, что не удавалось в предшествующих экспериментах. Пространство между мембранами образовывало микроволновый резонатор, резонансная частота которого зависела от положения мембран. В данной гибридной системе запутанность осуществляется по механическим степеням свободы, а контроль — по электрическому, что ослабляет требования на изоляцию системы от окружения. С помощью микроволновых импульсов мембраны охлаждались до низших колебательных уровней. Затем импульсы на боковых частотных полосах переводили мембраны в квантово-запутанное состояние. И, наконец, путём регистрации отражённых от резонатора сигналов выполнялась квантовая томография — измерение квантового состояния. Критерий Симоны – Дуана показал, что мембраны находились в состоянии квантовой запутанности даже без процедуры фильтрации шума. Наблюдение квантовой запутанности макроскопических тел важно для исследования фундаментальных основ квантовой механики. О современных квантовых технологиях см. [12, 13].

5. Радиус нейтронной звезды. Измерение радиусов нейтронных звёзд (НЗ) важно для изучения свойств ядерной материи при экстремальных плотностях. Рентгеновский телескоп NICER, установленный на борту МКС, предназначен для наблюдения НЗ и опробования новых технологий космической навигации по пульсарам. С помощью NICER ранее уже был определён радиус относительно лёгкой НЗ с массой $\approx 1,4M_{\odot}$. В более массивных НЗ центральная плотность должна быть выше, поэтому их исследование представляет большой интерес. Путём комбинации новых данных NICER и данных телескопа XMM-Newton измерен радиус НЗ PSR J0740 + 6620, входящей в двойную систему с обычной звездой и имеющей массу $2,08 \pm 0,07M_{\odot}$ [14]. Импульсы НЗ модулируют излучение звезды-компаньона с глубиной модуляции, зависящей от компактности НЗ. На основе этого эффекта получено, что экваториальный радиус НЗ составляет $13,7^{+2,6}_{-1,5}$ км. Если использовать информацию о других НЗ, а также данные об отсутствии наблюдаемой приливной деформации НЗ в гравитационно-волновых событиях LIGO/Virgo, то можно фиксировать радиус PSR J0740 + 6620 в интервале $12,35 \pm 0,75$ км и уточнить уравнение состояния ядерной материи [15]. О НЗ см. [16 – 18].

Список литературы

1. Казаков Д И *УФН* **189** 387 (2019); Kazakov D I *Phys. Usp.* **62** 364 (2019)
2. Roussy T S et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 171301 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.171301>
3. Vasu A et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 191102 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.191102>
4. Кадомцев Б Б *УФН* **95** 111 (1968); Kadomtsev B B *Sov. Phys. Usp.* **11** 328 (1968)
5. Рухадзе А А, Силин В П *УФН* **189** 739 (2019); Rukhadze A A, Silin V P *Phys. Usp.* **62** 691 (2019)
6. Antipov S A et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 164801 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.164801>
7. Czajka P *Nat. Physics*, онлайн-публикация от 13 мая 2021 г.; <https://arxiv.org/abs/2102.11410>
8. Лидер В В *УФН* **190** 971 (2020); Lider V V *Phys. Usp.* **63** 907 (2020)
9. Квон З Д и др. *УФН* **190** 673 (2020); Kwon Z D et al. *Phys. Usp.* **63** 629 (2020)
10. Долгополов В Т *УФН* **189** 673 (2019); Dolgoplov V T *Phys. Usp.* **62** 633 (2019)
11. Kotler S et al. *Science* **372** 622 (2021); <https://doi.org/10.1126/science.abf2998>
12. Трушечкин А С и др. *УФН* **191** 93 (2021); Trushechkin A S et al. *Phys. Usp.* **64** 88 (2021)
13. Арбеков И М, Молотков С Н *УФН* **191** 651 (2021); Arbekov I M, Molotkov S N *Phys. Usp.* **64** (6) (2021)
14. Miller M C et al., <https://arxiv.org/abs/2105.06979>
15. Raaijmakers G et al., <https://arxiv.org/abs/2105.06981>
16. Бескин В С *УФН* **188** 377 (2018); Beskin V S *Phys. Usp.* **61** 353 (2018)
17. Шакура Н И и др. *УФН* **189** 1202 (2019); Shakura N I et al. *Phys. Usp.* **62** 1126 (2019)
18. Тутуков А В, Черепашук А М *УФН* **190** 225 (2020); Tutukov A V, Cherepashchuk A V *Phys. Usp.* **63** 209 (2020)