

1. Масса нейтрино. Наблюдение нейтринных осцилляций свидетельствует о наличии у нейтрино ν массы m_ν . Хотя разности квадратов масс различных массовых состояний ν измеряются со всё возрастающей точностью [1], абсолютный масштаб m_ν пока остаётся неизвестным. Космология и эксперименты по поиску безнейтринного двойного β -распада дают лишь косвенное ограничение на сумму масс ν . Прямым способом измерения m_ν является изучение β -распада вблизи кинематической конечной точки энергетического спектра с помощью спектрометра высокого разрешения [2, 3]. Измерения такого рода проводились в Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) под руководством В.М. Лобашёва и в эксперименте в Майнце (Германия) и были продолжены в международном эксперименте KATRIN (Германия) с участием исследователей из ИЯИ РАН. Коллаборацией KATRIN представлены результаты регистрации 36 млн электронов от распадов $T_2 \rightarrow {}^3\text{He T}^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ [4]. Ограничение на массу электронного $\bar{\nu}$ улучшено в два раза по сравнению с предшествующим результатом и на данный момент составляет $m_\nu < 0,45$ эВ. Измерение m_ν важно для прояснения фундаментальных вопросов в физике элементарных частиц. Нейтрино примерно на шесть порядков легче других фермионов, что может указывать на новый механизм генерации массы, включающий стерильные ν .

2. Регистрация солнечных нейтрино в экспериментах по поиску частиц тёмной материи (ТМ). В настоящее время в нескольких подземных лабораториях ведутся поиски частиц ТМ (скрытой массы Вселенной) по эффекту их возможного рассеяния на атомных ядрах. Однако в тех же экспериментах на ядрах должно происходить упругое когерентное рассеяние ν [5], рождающийся в Солнце и в других источниках. Эти ν создают фон, названный "нейтринным туманом" ("neutrino fog"), но ранее данный фон зарегистрировать не удавалось. Z. Во (Шанхайский университет Цзяотун, Китай) и соавторы сообщили, что им впервые удалось зарегистрировать "нейтринный туман" в эксперименте PandaX-4T, выполняемом в Китайской подземной лаборатории Цзиньпин [6]. Детектор PandaX-4T содержит 3,7 т жидкого ксенона и предназначен для поиска частиц ТМ. Измеренный поток ν , испытывавших упругое когерентное рассеяние на ядрах Хе, на уровне достоверности 2,6 σ соответствует ожидаемому потоку солнечных ν , производимых в реакциях с ядрами ${}^8\text{B}$ в рр-цикле. Похожий результат со статистической значимостью 2,7 σ получен также в эксперименте XENONnT в Национальной лаборатории Гран Сассо (Италия). Хотя детекторы ТМ изначально не проектировались для регистрации ν , возможность такой регистрации открывает новые полезные каналы исследования.

3. Кластерная структура GaTa₄Se₈. Лакунарная шпинель GaTa₄Se₈ интересна тем, что она имеет свойства изолятора Мотта при комнатной температуре и становится сверхпроводником при 5,8 К, причём её сверхпроводимость, возможно, носит экзотический топологический характер. М. Magnaterra (Кёльнский университет, Германия) и соавторы методом резонансного неупругого рассеяния рентгеновских лучей на таллиевой границе доказали, что GaTa₄Se₈ имеет кластерную квазимолекулярную структуру [7]. Электроны в ней делокализованы по тетраэдру Ta₄, создавая квазимолекулярные спин-орбитальные моменты $J_{\text{тет}} = 3/2$. Внутрикластерные взаимодействия смешивают электронные орбитали, уменьшая на треть эффективную константу спин-орбитальной связи. Благодаря смешиванию волновая функция кластера чувствительна к структурным изменениям, вызванным, например, внешним давлением или химическим замещением. Это свойство GaTa₄Se₈, как и других соединений данного семейства, может найти полезные технические применения.

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

4. Квантовый эффект Мпембы. Эффектом Мпембы, наблюдавшимся в ряде экспериментов, называют ситуацию, когда изначально более горячая система охлаждается быстрее, чем холодная. В коллоидных системах наблюдался также обратный эффект Мпембы с ускоренным нагревом из более холодного начального состояния. Теоретически рассматривались квантовые аналоги эффекта Мпембы, возникающие за счёт квантовой запутанности и флуктуаций. Группой исследователей из Института им. Вейцмана (Израиль) впервые продемонстрирован обратный квантовый эффект Мпембы для единичного кубита на основе иона ${}^{88}\text{Sr}^+$ в тепловой фотонной бане [8]. Ион с большей степенью когерентности испытывал декогеренцию (нагревался) и приходил в равновесие с окружением быстрее, чем ион с меньшей изначальной когерентностью. Более того, холодный кубит мог нагреваться экспоненциально быстрее тёплого кубита, что демонстрирует сильную версию эффекта Мпембы. Прямой квантовый эффект Мпембы обнаружен также в другом эксперименте [9] в цепочке из 12 ионов, где исследовалось время восстановления симметрии при более или менее сильном начальном отклонении от симметричного состояния.

5. Лебедь X-3. Рентгеновский источник Лебедь X-3 уже около 50 лет привлекает большое внимание из-за своих необычных свойств, в частности, мощных вспышек в радиодиапазоне и наличия гамма-излучения [10]. Источник, предположительно, представляет собой двойную систему из звезды Вольфа–Райе и компактного объекта (чёрной дыры или нейтронной звезды) на расстоянии $\approx 9,7$ кпк от Земли. В наблюдениях космического телескопа IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) впервые удалось обнаружить поляризацию рентгеновского излучения Лебеда X-3 [11] и прояснить механизм излучения. Во время активной рентгеновской фазы в диапазоне 2–8 кэВ степень линейной поляризации достигает $20,6 \pm 0,3\%$, она ортогональна к направлению радиоизлучения и при 3,5–6 кэВ почти не зависит от энергии. Эти свойства указывают на наличие коллимации потока рентгеновского излучения с углом полураскрытия $\leq 15^\circ$, определяемым, вероятно, воронкой в оптически толстой среде. В поляризационном сигнале доминирует часть излучения аккреционного диска, отражённая от внутренней области воронки. Коллимация, в свою очередь, свидетельствует об аккреции газа в сверхкритическом режиме, когда поток излучения превышает предел Эддингтона. С учётом величины угла раскрытия, светимость объекта в диапазоне 2–8 кэВ составляет $\geq 5,5 \times 10^{39}$ эрг с⁻¹, и тем самым Лебедь X-3 может быть отнесён к классу ультраярких рентгеновских источников.

Список литературы

1. Колупаева Л.Д., Гончар М.О., Ольшевский А.Г., Самойлов О.Б. *УФН* **193** 801 (2023); Kolupaeva L. D., Gonchar M. O., Ol'shevskii A. G., Samoylov O. B. *Phys. Usp.* **66** 753 (2023)
2. Биленький С.М. *УФН* **173** 1171 (2003); Bilen'kii S. M. *Phys. Usp.* **46** 1137 (2003)
3. Шимкович Ф. *УФН* **191** 1307 (2021); Šimkovič F. *Phys. Usp.* **64** 1238 (2021)
4. Aker M et al. (KATRIN Collab.), arXiv:2406.13516, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.13516>
5. Акимов Д.Ю. и др. *УФН* **189** 173 (2019); Akimov D. Yu et al. *Phys. Usp.* **62** 166 (2019)
6. Во Z et al. (PandaX Collab.), arXiv:2407.10892, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.10892>
7. Magnaterra M et al. *Phys. Rev. Lett.* **133** 046501 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.046501>
8. Shapira S A et al. *Phys. Rev. Lett.* **133** 010403 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.010403>
9. Joshi L Kh et al. *Phys. Rev. Lett.* **133** 010402 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.010402>
10. Владимирский Б.М., Гальпер А.М., Лучков Б.И., Степанян А.А. *УФН* **145** 255 (1985); Vladimirskii B. M., Gal'per A. M., Luchkov B. I., Stepanyan A. A. *Sov. Phys. Usp.* **28** 153 (1985)
11. Velledina A et al. *Nat. Astron.* **8** 1031 (2024) <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02294-9>