

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: ДЕКАБРЬ 2025
(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.2025.12.040065>

1. Первые результаты эксперимента JUNO. Коллаборация JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), включающая российских исследователей из ОИЯИ, ИЯИ РАН и МГУ, представила первые результаты измерения в эксперименте JUNO параметров, ответственных за осцилляции нейтрино [1]. Построенный в Китае детектор JUNO регистрирует нейтрино от ядерных реакторов. Расстояние до группы реакторов 52,5 км оптимально для наблюдений первого максимума осцилляций. Детектор расположен под толщей грунта, экранирующего от космического излучения, и содержит 20 кг жидкого сцинтиллятора, просматриваемого фотоумножителями. Благодаря уникальным возможностям детектора и его тщательной калибровке уже за первые 59,1 дней наблюдений точность определения двух параметров осцилляций в 1,6 раз превысила совокупную точность, достигнутую во всех предшествующих экспериментах. Путём сравнения наблюдаемого в детекторе потока нейтрино с известными потоками от реакторов получены величины $\sin^2 \theta_{12} = 0,3092 \pm 0,0087$ и $\Delta m_{21}^2 = (7,50 \pm 0,12) \times 10^{-5} \text{ эВ}^2$ для случая прямой иерархии масс. По мере накопления статистики ожидаются новые важные результаты, в том числе может быть прояснена упорядоченность (прямая или обратная) массовых состояний нейтрино.

2. Связь со спиновыми кубитами. Одно из направлений в квантовых вычислениях — спиновые кубиты на основе атомов примесей в полупроводниках. Высокое качество кристаллической решётки, состоящей из атомов с нулевыми спинами, способствует большому времени когерентности кубитов — до нескольких секунд. Однако хорошая изоляция одновременно создаёт проблему установления взаимодействия кубитов друг с другом и с внешними управляющими системами. Т. Chang (Университет Бар-Илан, Израиль) и соавторы продемонстрировали новый эффективный метод взаимодействия с кубитом на основе атома висмута в решётке кремния [2]. Сильная магнитная связь устанавливалась посредством дополнительных сверхпроводящих кубитов. С помощью микроволновых импульсов в резонаторе производилась инициализация спинового кубита и передача с него квантовой информации на сверхпроводящие кубиты, т.е. спиновый кубит в данном случае представлял собой элемент квантовой памяти.

3. Сверхпроводимость в муаровом графене и эффект Воловика. J.M. Park (Массачусетский технологический институт и Принстонский университет, США) и соавторы в своём эксперименте исследовали трёхслойный муаровый графен, у которого атомные слои повернуты друг относительно друга на определённый ("магический") угол, что кардинально меняет форму поверхности Ферми [3]. Изучение материалов с повернутыми атомными слоями представляет собой новое перспективное направление, называемое "твистроникой". Спектры туннелирования электронов между слоями показали сосуществование двух V-образных щелей с разными энергетическими масштабами. По различной реакции щелей на температуру и магнитное поле удалось однозначно идентифицировать одну из них как щель с узловым параметром сверхпроводящего порядка. Зависимость плотности состояний от магнитного поля соответствует теоретическим предсказаниям, сделанным Г.Е. Воловиком (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН) в 1993 г. [4]. Таким образом, в муаровом графене, вероятно, имеет место нетрадиционный тип

сверхпроводимости, когда спаривание электронов возникает в результате их сильных взаимодействий, а не посредством фононов.

4. Излучение Аскарьяна во льду. В 1961 г. Г.А. Аскарьян (Физический институт им. П.Н. Лебедева) предсказал эффект генерации излучения Вавилова–Черенкова избытком отрицательного заряда в каскаде, производимом космическими лучами [5, 6]. Эффект Аскарьяна ранее уже наблюдался в диэлектриках на ускорителях, а также для ливней космических лучей в воздухе. Коллаборация ARA (Askaryan Radio Array) сообщила о первом наблюдении излучения Аскарьяна под поверхностью льда [7]. Эксперимент, целью которого является регистрация нейтрино сверхвысоких энергий, выполняется в Антарктиде вблизи Южного полюса. Он включает пять независимых станций, содержащих антенны в виде вертикальных и горизонтальных струн на глубине до 200 м во льду. За 208 дней наблюдения зарегистрированы 13 всплесков радиоволн в приповерхностном слое льда, по своему спектру, направлению и форме сигналов соответствующих излучению Аскарьяна от каскадных событий, производимых космическими лучами.

5. Возможное обнаружение звёзд населения III. Первыми звёздами во Вселенной могли быть звёзды так называемого населения III, рождавшиеся из газа с первичным химическим составом. Известно несколько кандидатов, но убедительного подтверждения того, что это звёзды населения III, ранее получено не было. Один из кандидатов — объект LAP1-B на красном смещении $z \simeq 6,6$ — найден в 2025 г. телескопом им. Дж. Уэбба в области гравитационной линзы на луче зрения. Ввиду большого расстояния разрешить LAP1-B на отдельные звёзды невозможно, поэтому изучаются его усреднённые характеристики. Как показал новый анализ [8], данный объект удовлетворяет основным ожидаемым характеристикам звёзд населения III. А именно, его спектр соответствует экстремально малой металличности и предсказываемой функции масс звёзд, а совокупная масса звёзд в нём составляет несколько тысяч масс Солнца. С высокой вероятностью этот объект представляет собой группу звёзд населения III в гало тёмной материи с массой $\sim 5 \times 10^7 M_\odot$. Содержание кислорода соответствует взрыву одной сверхновой с выбросом тяжёлых элементов. Хотя LAP1-B наблюдается при $z \simeq 6,6$ (возраст Вселенной 840 млн лет), находящиеся в нём звёзды должны были образоваться ещё раньше. В изображении гравитационной линзы как раз ожидается наблюдение примерно одного такого объекта при $z \simeq 6,6$, а обнаружить их в более ранние эпохи пока затруднительно.

Список литературы

1. Abusleme A et al., arXiv:2511.14593, DOI:10.48550/arXiv.2511.14593
2. Chang T et al. *Nature Commun.* **16** 9832 (2025) DOI:10.1038/s41467-025-64757-5
3. Park J M et al. *Science* eadv8376 (2025) DOI:10.1126/science.adv8376, онлайн-публикация от 6 ноября 2025 г.
4. Volovik G E *Письма в ЖЭТФ* **58** 457 (1993); *JETP Lett.* **58** 469 (1993)
5. Аскарьян Г А *ЖЭТФ* **41** 616 (1961); Askar'yan G A *Sov. Phys. JETP* **14** 441 (1962)
6. Аскарьян Г А *УФН* **144** 523 (1984); Askar'yan G A *Sov. Phys. Usp.* **27** 896 (1984)
7. Alden N et al. (ARA Collab.), arXiv:2510.21104, DOI:10.48550/arXiv.2510.21104
8. Visbal E, Hazlett R, Bryan G L *Astrophys. J. Lett.* **993** L17 (2025) DOI:10.3847/2041-8213/ae122f

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