

1. Поиск миллизаряженных частиц. По одной из гипотез, частицы тёмной материи могли бы иметь электрический заряд, на несколько порядков меньший заряда электрона. Несмотря на электромагнитное взаимодействие миллизаряженных частиц (МЗЧ) и возможность их накопления у Земли, существенно ограничить модель МЗЧ пока не удаётся. Эксперименты по прямой регистрации и рождению МЗЧ на ускорителях, а также ограничения по свойствам сверхновой SN 1987A оставляют широкий диапазон возможных параметров МЗЧ. Таким образом, эти частицы, отсутствующие в Стандартной модели, остаются допустимым вариантом тёмной материи. А. Берлин (Национальная ускорительная лаборатория им. Э. Ферми, США) и соавторы показали принципиальную возможность регистрации МЗЧ в экспериментах типа эксперимента Кавендиша, где измерялось электрическое поле внутри металлической полости [1]. МЗЧ, в отличие от обычных атомных ионов, могли бы проникать внутрь таких полостей и создавать там объёмный электрический заряд. Из имеющихся исторических данных подобных экспериментов, выполнявшихся с переменным электрическим полем, А. Берлин и др. получили новые ограничения на МЗЧ, расширив исключённую область параметров в диапазоне масс от МэВ до ГэВ. Кроме того, авторы [1] предложили объединить эксперимент Кавендиша с генератором Ван де Граафа. Под воздействием поля величиной в несколько миллионов вольт концентрация МЗЧ должна возрасти на ~ 12 порядков. Это открыло бы возможность для регистрации МЗЧ, рождаемых космическими лучами в атмосфере, независимо от модели тёмной материи. Причём, такой эксперимент мог бы дать более сильные ограничения, чем ожидается в планируемых ускорительных экспериментах.

2. Возникновение когерентности в бозе-эйнштейновском конденсате. М. Костер (Университет Кайзерслаутерн–Ландау (RPTU), Германия) и соавторы впервые детально проследили изменение когерентности системы магновов в процессе их бозе-эйнштейновской конденсации (БЭК) в ферромагнитной плёнке железо-иттриевого граната $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в магнитном поле [2]. Параметрическая накачка и детектирование магнитного отклика (сигнала свободной прецессии) осуществлялись с помощью микрополосковой антенны. В процессе накачки концентрация магновов увеличивалась и происходил спонтанный переход в когерентное квантовое состояние БЭК. При этом наблюдалось линейное изменение фазы во времени, доказывающее когерентность, причём начальное значение фазы возникало случайно от опыта к опыту и не коррелировало с фазой накачки или внешнего опорного генератора. Данный метод открывает возможности для управления когерентными магновыми потоками в спинтронных устройствах.

3. Квантовое запутывание через нелокальный резервуар. Квантовая запутанность систем — одно из базовых понятий квантовой механики — обычно достигается путём создания запутанных пар частиц в одном источнике или с помощью пересылки частиц. Однако В. Клаус и J.I. Сигас в 2004 г. предложили другой способ запутывания — посредством взаимодействия пространственно разнесённых частиц с нелокальным резервуаром, содержащим фотоны в сжатых состояниях. А. Андрес-Хуанес (Австрийский институт науки и технологий (ISTA)) и соавторы впервые реализовали этот метод распределения запутанности в своём эксперименте [3]. Параметрический преобразователь Джозефсона создавал запутанное состояние распростра-

няющихся микроволновых полей, которые приводили два пространственно разделённых сверхпроводящих кубита в стационарное запутанное состояние. При этом не требовался активный контроль или постселекция, и запутывание происходило автономно. Измерение запутанности методом квантовой томографии показало полное согласие с теоретической моделью.

4. Эффект Казимира в нелинейном режиме. Эффект Казимира интересен с фундаментальной точки зрения для поиска новых взаимодействий, а также он может иметь практические приложения в микромеханике [4]. При измерении силы Казимира между сверхпроводниками проблема точного позиционирования поверхностей решается с помощью наблюдения нелинейных колебаний, связанных с негармонической формой потенциала силы Казимира. М.Н.Д. де Жонг (Университет Аалто, Финляндия) и др. выполнили в рамках этого подхода новые сверхточные измерения силы Казимира [5]. Исследовались колебания сверхпроводящей алюминиевой мембраны, интегрированной в микроволновый резонатор, при температуре 10 мК. Из-за указанной нелинейности резонансная частота колебаний уменьшается с увеличением их амплитуды. Тщательный анализ исключил заметный вклад других нелинейных эффектов, которые служили препятствием в предшествующих экспериментах. Благодаря малым поперечным масштабам, сила Казимира имела значительную величину — её влияние было эквивалентно давлению величиной 1/10 атм. В будущем с помощью аналогичной методики можно будет исследовать квантовые уровни колеблющейся мембраны.

5. Определение порядка массовых состояний нейтрино из космологических наблюдений. В экспериментах по изучению нейтринных осцилляций пока не удаётся определить иерархию масс нейтрино, хотя эксперименты уже вплотную приблизились к этой цели. В то же время независимую информацию об иерархии можно получать из космологических данных. Лёгкие нейтрино подвержены эффекту свободного разлёта (free streaming). В результате этого кластеризация галактик чувствительна к сумме масс трёх состояний: $\sum m_\nu = m_1 + m_2 + m_3$. Из данных обзора галактик DESI DR2 и телескопа Планк следует $\sum m_\nu < 0,0642$ эВ. Одновременно наблюдения нейтринных осцилляций дают ограничения снизу $\sum m_\nu \simeq 0,059$ эВ для прямой иерархии и $\sum m_\nu \simeq 0,099$ эВ для обратной. Таким образом, космологические данные уже плохо согласуются с вариантом обратного упорядочения, но допускают прямую иерархию. Данный вывод в значительной мере зависит от метода анализа достоверности и байесовских моделей. В работе [6] разработана детальная методика такого анализа и получено, что байесовский фактор в пользу прямой иерархии по сравнению с обратной составляет $K > 460$ в достаточно консервативном случае, хотя результат ослабляется до $K > 40$ в моделях с переменным уравнением состояния тёмной энергии. Тем самым вариант прямого упорядочения масс с точки зрения космологии намного более вероятен. Определение характера иерархии может существенно ограничить возможные механизмы возникновения массы нейтрино.

Список литературы

- Berlin A et al. *Phys. Rev. D* **114** 015016 (2026) DOI:10.1103/gj7k-9wkr
- Koster M et al. *Nature Phys.* (2026) DOI:10.1038/s41567-026-03373-6, онлайн-публикация от 13 июля 2026 г.
- Andrés-Juanes A et al. *Phys. Rev. X* **16** 031005 (2026) DOI:10.1103/r4jt-j39w
- Мостепаненко В М, Трунов Н Н *УФН* **156** 385 (1988); Mostepanenko V M, Trunov N N *Sov. Phys. Usp.* **31** 965 (1988)
- de Jong M H J et al. *Nature Commun.* (2026) DOI:10.1038/s41467-026-75261-9, онлайн-публикация от 16 июля 2026 г.
- Jimenez R et al., arXiv:2606.18987, DOI:10.48550/arXiv.2606.18987