

1. Поиск больших дополнительных измерений

В некоторых работах предполагалось, что проблему дефицита реакторных антинейтрино ($\bar{\nu}_e$) и галлиевую аномалию [1] можно объяснить осцилляцией частиц в дополнительные скрытые пространственные измерения [2]. Исследователи из ряда российских научных организаций, а также Чешского технического университета в Праге в эксперименте [3] с реакторными $\bar{\nu}_e$ выполнили проверку варианта такой модели, когда доминирует одно дополнительное измерение. Применялся стриповый детектор DANSS на основе пластикового сцинтиллятора с покрытием из гадолиния, захватывающего нейтроны. Детектор был расположен на расстоянии ≈ 11 м от активной зоны реактора Калининской АЭС, а сигнал от стрипов через спектросмещающие волокна направлялся в кремниевый фотоумножитель. Регистрировались позитроны и нейтроны (с задержкой 1 – 50 мкс) от реакции обратного бета-распада, вызываемого $\bar{\nu}_e$. При сравнении рассчитанного и наблюдаемого потока $\bar{\nu}_e$ статистически значимого эффекта осцилляций $\bar{\nu}_e$ в дополнительные измерения не обнаружено. Исключена значительная область параметров модели с дополнительными измерениями, допускаемая данными по галлиевой аномалии и дефициту реакторных $\bar{\nu}_e$.

2. Новые результаты в теории струн

Хотя теория струн пока экспериментально не доказана, она часто рассматривается как наиболее перспективный подход к объединению всех фундаментальных взаимодействий и к построению теории квантовой гравитации. Гетеротический вариант теории струн в 10 измерениях включает определённое произведение фермионных и бозонных состояний. Д. Гепнер в рамках такой модели в 1987 г. исследовал связь компактификации 6 из 10 измерений пространства–времени на многообразия Калаби–Яу и компактификации в $N = 2$ самосогласованной квантовой теории поля с общим центральным зарядом $c = 9$. А. Белавин (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау) в своей новой работе [4] предложил важное обобщение этого подхода. Им разработан метод явного построения моделей гетеротической струны, компактифицированной на произведении тора алгебры Ли $E(8) \times SO(10)$ и общих многообразий Калаби–Яу типа Берглюнда–Хюбша. В предложенной конструкции используется комбинаторный подход Батырева–Борисова вместе с вершинной алгеброй свободных бозонных и фермионных операторов. В частно-

сти, показано, что вершинные операторы для частиц заряженного представления 27 из алгебры $E(6)$ соответствуют элементам многогранников Батырева, а общее число синглетов в квинтичном случае равно 326.

3. Квантовые W-состояния

Запутанные измерения сложных квантовых состояний значительно эффективнее одиночных квантовых измерений, однако ранее удавалось осуществить такие измерения только для двух подсистем и для состояний Гринбергера–Хорна–Цайлингера. G. Park (Киотский университет, Япония) и соавторы в своём эксперименте впервые выполнили запутанные измерения тройных W-состояний, включающих оператор циклического сдвига [5]. В ходе эксперимента с помощью интерферометра Саньяка и гибридного сплиттера изучалась запутанная система из трёх фотонных кубитов. Точность распознавания состояния достигала величины $0,871 \pm 0,039$, что говорит об успешной реализации запутанного измерения W-состояний. Полученные результаты могут способствовать применению многокубитных запутанных измерений в фотонных квантовых вычислениях, квантовой коммуникации и в создании сверхчувствительных квантовых сенсоров.

4. Эффекты переноса в графене

Графен (слой углерода атомарной толщины) обладает рядом уникальных свойств. Предсказывалось, что вблизи дираковской критической точки перенос заряда и тепла в графене качественно напоминает перенос в вязкой жидкости. Это должно происходить в условиях, когда длина электрон-электронных столкновений много меньше длины релаксации импульса и температура Ферми много меньше кинетической температуры. Однако продемонстрировать указанный жидкостный характер переноса и измерить величину проводимости в постоянном токе σ_Q в графене в данном режиме ранее не удавалось. А. Majumdar (Индийский научный институт в Бангалоре) и соавторы впервые выполнили надёжные измерения такого рода [6]. Перенос заряда и тепла изучался в образцах сверхчистого монослойного графена, заключённого в hBN-инкапсулированные графеновые гетероструктуры. В результате было получено значение $\sigma_Q = (4 \pm 1)e^2/h$, где ошибка представляет собой вариацию между несколькими образцами. Также обнаружено, что в точке нейтральности заряда при низких температурах электронная теплопроводность превышает ожидаемую по закону Видемана–Франца почти в 300 раз, причём электро- и теплопроводность изменялись разнонаправленно. О перспективах практического применения графена см., например, [7].

5. Фотоиндуцированное разделение зарядов в органическом полупроводнике

Органические радикальные полупроводники, в структуре которых есть неспаренные электроны (радикальные центры), имеют хорошие перспективы для использования в оптоэлектронных устройствах, биомедицинских технологиях и в квантовых информационных системах. Среди таких полупроводников трифенилметильные системы выделяются химической стабильностью и высокой квантовой эффективностью фотолюминесценции. В. Li (Кавендишская лаборатория Кембриджского университета, Великобритания) и соавторы впервые выявили в своём эксперименте квантовый эффект межмолекулярных взаимодействий между радикалами в органическом полупроводнике Трис(2,4,6-трихлорфенил)метил, определяющий механизм его фотолюминесценции [8]. В предшествующих опытах наблюдается полоса фотолюминесценции с сильным красным смещением, и её пытались объяснить излучением эксимеров. Выполненные в [8] спектроскопические измерения показали, что фотолюминесценция с красным смещением в разбавленной плёнке Трис(2,4,6-трихлорфенил)метила на самом деле возникает не благодаря эксимерам, а из-за взаимодействия пары анион–катион с полным разделением зарядов.

6. Особенности Шапиро в асимметричном СКВИДе с наномостом

Сверхпроводящий диодный эффект (зависимость критического тока от направления) в последнее время вызывает большой интерес как в области фундаментальных исследований, так и в связи с его потенциальными практическими применениями. В частности, диодный эффект может возникать в асимметричном джозефсоновском контакте (СКВИДе). Исследователи из МФТИ, ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ИФМ РАН, ВШЭ, МИСИС и ВНИИА в своём эксперименте [9] изучили данный эффект в СКВИДе, содержащем синусоидальный переход сверхпроводник/нормальный металл/сверхпроводник и сверхпроводящий наномост с многозначной зависимостью тока от фазы. Джозефсоновский переход был образован чешуйкой из соединения $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ толщиной около 90 нм, и в его контур был включён наномост из ниобия. При измерениях в переменном токе наблюдалась сильная асимметрия (для разных направлений тока) особенностей в виде ступенек Шапиро на вольт-амперной характеристике СКВИДа. Немонотонное поведение особенностей Шапиро существенно отличается от ожидаемой зависимости по закону Бесселя. Чтобы объяснить наблюдаемые особенности, авторы разработали

теоретическую модель и выполнили численное моделирование с учётом теплового шума. Результаты их расчётов продемонстрировали хорошее соответствие между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными.

7. Звезда с рекордно малой металличностью

Согласно современным представлениям, первые звёзды во Вселенной рождались из газа с первичным составом, содержащим очень мало тяжёлых химических элементов. В их недрах в процессе ядерного синтеза нарабатывались тяжёлые элементы, затем звёзды взрывались как сверхновые, а из выброшенного вещества, обогащённого металлами, образовывались уже звёзды следующих поколений. В частности, наше Солнце могло иметь несколько звёзд-предшественников. Некоторые ранние звёзды могли дожить до наших дней, и их поиск представляет большой интерес для понимания эволюции Вселенной. С помощью телескопов Обсерватории Лас-Кампанас (Чили) в нашей Галактике найдена звезда — холодный красный гигант SDSS J0715-7334 с рекордно малой суммарной металличностью $\log(Z/Z_\odot) < -4,3$ [10]. Ранее была обнаружена звезда с меньшим содержанием железа, но в её составе было значительно больше углерода. Звезда SDSS J0715-7334, вероятно, относится ко второму поколению звёзд, она могла образоваться из вещества взорвавшейся звезды с массой $\sim 30M_\odot$, относящейся к звёздам популяции III с первичным составом, которые напрямую пока не наблюдались. Интересно, что содержание металлов в звезде SDSS J0715-7334 на порядок меньше, чем в самых ранних галактиках из наблюдавшихся телескопом им. Дж. Уэбба.

Список литературы

1. Куденко Ю Г *УФН* **188** 821 (2018); Kudenko Yu G *Phys. Usp.* **61** 739 (2018)
2. Рубаков В А *УФН* **171** 913 (2001); Rubakov V A *Phys. Usp.* **44** 871 (2001)
3. Алексеев И Г и др. *Письма в ЖЭТФ* **122** 3 (2025); Alekseev I G et al. *JETP Lett.* **122** 1 (2025) DOI:10.1134/S0021364025607110
4. Belavin A, arXiv:2506.01068, DOI:10.48550/arXiv.2506.01068
5. Park G et al. *Sci. Adv.* **11** eadx4180 (2025) DOI:10.1126/sciadv.adx4180
6. Majumdar A et al. *Nature Phys.* **21** 1374 (2025) DOI:10.1038/s41567-025-02972-z
7. Елецкий А В, Дао К Л *УФН* **195** 635 (2025); Eletsckii A V, Dao Kh L *Phys. Usp.* **68** 597 (2025)
8. Li B et al. *Nature Mater.* (2025) онлайн-публикация от 30 сентября 2025 г. DOI:10.1038/s41563-025-02362-z
9. Kalashnikov D S et al. *Phys. Rev. B* **112** 144504 (2025) DOI:10.1103/physrevb.112.144504; arXiv:2510.15526, DOI:10.48550/arXiv.2510.15526
10. Ji A P et al., arXiv:2509.21643, DOI:10.48550/arXiv.2509.21643