

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET

(по материалам электронных препринтов)

PACS number: 01.90.+g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.08.038661>

1. Квантовое запутывание порядка событий в гравитационном поле

В классической Общей теории относительности порядок следования возможных причин и следствий зависит от распределения массы на начальной пространственно-подобной гиперповерхности из-за эффекта гравитационного замедления времени. Вопрос о том, как согласовать квантовую суперпозицию состояний и влияние гравитации массивных тел на течение времени, пока не имеет полного решения. M. Zych (Квинслендский университет, Австралия) и её соавторы показали возможный подход к этой проблеме. Они рассмотрели мысленный эксперимент с двумя событиями и массивным телом и построили амплитуду вероятности, которая описывает квантовую суперпозицию состояний с различной метрикой (различным расположением массивного тела) и одновременно — квантовую суперпозицию временного порядка событий, разделённых временеподобным интервалом. Показано, что такие системы могут быть квантово запутаны по порядку следования событий. Также авторы сформулировали аналоги неравенств Белла, которые могли бы быть использованы для проверки квантового характера указанного запутывания.

Источник: *Nature Communications* **10** 3772 (2019)
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-11579-x>

2. Квантовая механика в неинерциальной системе отчёта

Экспериментальное исследование квантовых явлений в неинерциальных системах отчёта представляет большой интерес, так как нельзя исключать, что при этом будут обнаружены новые фундаментальные эффекты. M.J. Padgett (Университет Глазго, Великобритания) и его коллеги выполнили эксперимент, в котором изучались оптические квантовые явления на вращающемся лабораторном столе. Исследовалась комбинация эффекта Саньяка и квантово-механической интерференции в интерферометре Хонга – У – Мандела. В отличие от экспериментов с чистым эффектом Саньяка, на входе находился не сплиттер, а нелинейный кристалл, в котором происходила вниз-конверсия фотонов лазерного излучения и рождение пар фотонов в квантово-запутанном состоянии. Один из двух фотонов пары двигался по оптоволокну вдоль окружности по часовой стрелке, а второй фотон — в обратном направлении. На выходе стоял сплиттер и два однофотонных детектора, работающих по схеме совпадения. Как и ожидалось, равномерное вращение приводит лишь к разнице длины пути в двух направлениях. Это уменьшает степень неразличимости фотонов пары и модифицирует картину квантовой интерференции в соответствии с предсказаниями квантовой механики. На достигнутом уровне точности новых эффектов не обнаружено. Авторы предлагают выполнить

подобный эксперимент с использованием спутников, вращающихся по орбите вокруг Земли.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 110401 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.110401>

3. Демонстрация квантового дарванизма в эксперименте

Пока неизвестно, почему квантовое состояние системы переходит в классическое в процессе измерения или декогеренции. Одним из предложенных вариантов является "квантовый дарванизм". Согласно этой концепции, классическими становятся те состояния, которые смогли распространить себя в окружении наиболее широко, что напоминает биологическую эволюцию. T. Uden (Ульмский университет, Германия) и соавторы наблюдали в своём эксперименте подобный переход к классическому описанию по мере распространения квантовой информации. Изучался NV-центр (азото-замещённая вакансия) в алмазе, который был окружён ядрами углерода ^{13}C , присутствующими как примесь среди ядер ^{12}C . Совокупность ядер ^{13}C , имеющих ненулевые спины, моделировала окружающую среду. После воздействия на NV-центр лазерного импульса состояние электрона изменялось, и его магнитное взаимодействие с окружающими ядрами ^{13}C вызывало их излучение в микроволновом диапазоне, регистрируемое детекторами. Таким путём, наблюдая множество ядер ^{13}C , можно было исследовать распространение квантовой информации от NV-центра в окружающую среду, не возмущая саму квантовую систему. Результаты эксперимента соответствуют концепции квантового дарванизма. Действительно, наблюдался процесс, при котором множество измерений с некоторого момента начинали давать один и тот же ответ о состоянии квантовой системы, что соответствовало переходу к классической картине по мере распространения информации в среде.

Источник: <https://arxiv.org/abs/1809.10456>

4. Фермионные возбуждения в YbB_{12}

Топологические изоляторы SmB_6 и YbB_{12} недавно привлекли к себе повышенное внимание, так как в первом из них наблюдались квантовые осцилляции намагниченности (эффект де Гааза – ван Альфена), а во втором были обнаружены квантовые осцилляции проводимости (эффект Шубникова – де Гааза). Эти нетривиальные свойства, свидетельствующие о наличии поверхности Ферми в сильных магнитных полях, вызвали дискуссию и появление ряда теоретических моделей, основанных на различных эффектах. Y. Sato (Киотский университет, Япония) и соавторы выполнили в своём новом эксперименте измерение электрической проводимости, теплоёмкости и теплопроводности кристаллов YbB_{12} при низкой температуре (до $\sim 0,6$ К) без магнитного поля и в магнитных полях. Анализ полученных данных свиде-

тельствует о вероятном наличии в YbB_{12} новых квазичастиц — перемещающихся бесщелевых фермионных возбуждений, которые взаимодействуют с магнитным полем, несмотря на отсутствие у них электрического заряда. Возможно, что именно эти нейтральные фермионы ответственны за необычные свойства SmB_6 и YbB_{12} .

Источник: *Nature Physics* **15** 954 (2019)
<https://doi.org/10.1038/s41567-019-0552-2>

5. Исследование микропроцессов в биофизике

Y. Wang (Нанкинский университет, Китай) и соавторы разработали новый метод биофизических исследований микропроцессов, позволяющий, в том числе, идентифицировать единичные молекулы. В методе, названном ДиффузиоПтоФизиологией (DiffusiOptoPhysiology), процессы исследуются оптическим методом в порах нанометрового масштаба без использования измерительных электродов. Наблюдалось флуоресцентное излучение молекул красителя Fluo-8, который связывался с ионами Ca^{2+} , что позволяло наблюдать поток ионов, движущихся через нанопоры. Электроды в данном методе применяются только для создания эффекта электрофореза — общего потока вещества. Также была продемонстрирована регистрация единичных молекул циклодекстрина, PEG1500 и dsДНК в потоке ионов. Нанопоры широко распространены, они присутствуют в биологических мембрanaх для транспорта веществ. Новым методом можно одновременно наблюдать тысячи нанопор, что обуславливает его высокую эффективность. Устройство для ДиффузиоПтоЦизиологии может быть смонтировано на небольшом чипе и обещает найти широкое применение в различных областях клинической диагностики и в научных исследованиях.

Источник: *Science Advances* **5** eaar3309 (2019)
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aar3309>

6. Генератор электроэнергии на квантовых точках

G. Jaliel (Кембриджский университет, Великобритания) и соавторы сконструировали микроскопический термоэлектрический генератор на основе двух квантовых точек, в котором используется эффект резонансного туннелирования электронов. Для функционирования устройства достаточно лишь наличия градиента температуры. Ранее уже создавались термоэлектрические генераторы на квантовых точках, но их производительность была мала. В новом устройстве, созданном по схеме, которую предложили A.N. Jordan (Рочестерский университет, США) и его соавторы, две квантовые точки, каждая диаметром 310 нм, были реализованы на гетероструктуре GaAs/AlGaAs по обе стороны от резервуара, содержащего горячие электроны. Энергетические уровни квантовых точек были различными, они соответствовали электронам с низкой энергией с одной стороны и электронам с более высокой энергией по другую сторону. Таким образом, имел место выборочный перенос электронов между точками, и разность температур преобразовывалась в электроэнергию. Новое устройство может генерировать мощность 0,13 фВт при разности температур точек 67 мК. Его КПД составляет как минимум 10 % от КПД идеальной тепловой машины Карно.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 117701 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.117701>

7. Неидентифицированные источники гамма-излучения

В гамма-обзоре неба, который был выполнен космическим телескопом Fermi-LAT, имеется множество неидентифицированных источников, природа которых неизвестна. В других диапазонах, в том числе в оптическом, эти объекты не видны. С помощью комплекса черенковских гамма-телескопов Н.Е.С., расположенного в Намибии, проведены новые наблюдения четырёх из неидентифицированных источников при энергиях ≥ 100 ГэВ. Наблюдения наземных черенковских детекторов дополняют наблюдения Fermi-LAT, так как позволяют проследить высокоэнергетическую часть спектра с большим временем экспозиции. Оказалось, что эти источники светят в гамма-лучах стабильно без вариаций, а их жёсткий спектр близок к тому, который должен генерироваться при аннигиляции частиц тёмной материи с массами $\leq 0,4$ ТэВ/ c^2 . По этим свойствам источники очень похожи на сгустки из тёмной материи, в которых происходит аннигиляция. Существование таких сгустков (субгало) предсказывается в иерархической картине формирования галактик, когда мелкие объекты объединяются во всё более крупные, вплоть до образования гало галактик и скоплений галактик. Тем не менее пока нельзя достоверно утверждать, что неидентифицированные источники являются сгустками тёмной материи, и требуются дальнейшие исследования.

Источник: <https://arxiv.org/abs/1909.01072>

8. Новое ограничение на первичные чёрные дыры

Возможность формирования в ранней Вселенной первичных чёрных дыр (ПЧД) была предсказана Я.Б. Зельдовичем и И.Д. Новиковым в 1967 г. В последнее время интерес к ПЧД значительно возрос в связи с тем, что слияния пар ПЧД могли бы объяснить некоторые из всплесков гравитационных волн, наблюдавшихся детекторами LIGO/Virgo. На распространённость ПЧД во Вселенной было получено множество ограничений, которые почти исключили возможность того, что ПЧД составляют всю тёмную материю. Однако часть этих ограничений модельно зависима, и ограничения ослабляются в том случае, когда ПЧД имеют широкое распределение по массам. В частности, остаётся пока не исключённым до конца интервал масс ПЧД $M_{\text{РВН}} \sim \sim 20 - 80 M_\odot$ и область вблизи $\sim 10^{-10} M_\odot$. Группа астрофизиков из Италии и Швейцарии получила новые ограничения на ПЧД. Если ПЧД существуют, то они своей гравитацией создавали бы дополнительные неоднородности в межгалактическом газе, которые должны влиять на "лес Лайман-альфа" — наблюдаемый в спектрах квазаров набор линий поглощения. В работе R. Murgia и соавторов использовались данные спектрографов MIKE и HIRES, а также было выполнено численное моделирование гидродинамики газа с учётом ПЧД. Отсутствие заметного влияния на лес Лайман-альфа даёт ограничение, которое исключает значительную часть интервала $\sim 20 - 80 M_\odot$ со стороны больших масс.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 071102 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.071102>

Подготовил Ю.Н. Ерошенко
(e-mail: erosh@ufn.ru)