

1. Поиск аксионов. Ультралёгкие аксионоподобные частицы (аксионы) могли бы вести себя как классическое поле, заполняющее Вселенную и взаимодействующее со спинами обычных частиц. Подобное взаимодействие должно быть когерентным и иметь характерную зависимость от времени, связанную с движением Земли. I.M. Bloch (Калифорнийский университет в Беркли и Берклиевская национальная лаборатория, США) и соавторы выполнили новый эксперимент по поиску аксионов на основе указанных признаков [1]. В коагнитометре сравнивались частоты прецессии спинов атомов ^3He и ^{39}K . К настоящему моменту влияния нового взаимодействия на спины не выявлено, но получены новые ограничения на величину константы связи аксионов с протонами и нейтронами в интервале масс аксионов $1,4 \times 10^{-12} - 2 \times 10^{-10}$ эВ. Эти ограничения являются более сильными, чем полученные ранее астрофизические ограничения (по SNO-циклу в Солнце и по охлаждению нейтронных звёзд), и на два порядка улучшают прежние лабораторные ограничения. Изначально аксионы были предложены для объяснения сильного CP -нарушения в Стандартной модели. Хотя состав тёмной материи во Вселенной пока неизвестен, аксионы остаются одним из вероятных кандидатов на роль частиц скрытой массы.

2. Новые квазичастицы — спинароны. В эксперименте F. Friedrich (Вюрцбургский университет, Германия) и соавторов впервые идентифицированы квазичастицы спинароны, предсказанные S. Lounis и др. [2]. Они представляют собой магнитные поляроны, возникающие в результате взаимодействия спиновых возбуждений с электронами проводимости. Ранее для отдельных атомов Co и Se на плоских металлических поверхностях наблюдались интересные спектроскопические аномалии туннельного тока при нулевом потенциале смещения. Хотя для атомов Se было найдено объяснение таких аномалий как колебательных возбуждений атомов водорода, прикрепляющихся к атомам Se, для Co это объяснение оказалось неприменимо. В случае атомов Co аномалии интерпретировались как эффект Кондо (коллективное экранирование спинов примесей электронами проводимости) и резонанс Фано. Новые теоретические вычисления методом функционала плотности и эксперимент F. Friedrich и др. свидетельствуют о том, что для Co более вероятным объяснением аномалий является образование спинаронов. Атомы Co были помещены на поверхность меди при температуре 1,4 К и магнитном поле до 12 Тл, и измерялся текущий через них туннельный ток как со спиновым усреднением, так и с поляризацией. В последнем случае использовались магнитные кластеры из атомов железа на кончике иглы микроскопа. В спектре туннельного тока были обнаружены признаки сразу нескольких спинаронных состояний, а зависимость от магнитного поля оказалась противоположной той, которая была бы в случае эффекта Кондо. Возможно, что и многие другие явления, ранее интерпретировавшиеся на основе эффекта Кондо, на самом деле объясняются спинаронами. Спинароны могут найти полезные применения в нанoeлектронике.

3. Оптический эффект Штарка в паре квантово запутанных фотонов. Генерация пар фотонов в запутанном квантовом состоянии важна для применения в устройствах квантовой информации. В квантовых точках запутанные по поляризации фотоны рождаются в процессе двухфотонного резонансного возбуждения в биэкситонно-экситонном каскаде, однако эффективность описанного метода остаётся пока ниже, чем в методе параметрической вниз-конверсии. F. Basso Basset (Римский университет Сапиенца, Италия) и соавторы исследовали влияние индуцированного лазером эффекта Штарка на спектры излучения квантовых точек и на квантовую запутанность излучаемых фотонных пар [3]. Квантовая точка в GaAs облучалась фемтосекундными лазерными импульсами. Оказалось, что эффективность запутывания зависит от соотношения длительности лазерного импульса и времени жизни верхнего возбуждённого состояния точки, ответственного за генерацию каскада. В новом эксперименте

длительность импульса была доведена до времени жизни указанного уровня и была показана перспективность использования фотонных пар от квантовых точек на частотах выше ГГц, хотя пока остаётся широкое поле для дальнейших исследований и усовершенствований.

4. Спектроскопия на основе таммовских плазмонов. K.V. Sreekanth (Институт материаловедения и инжиниринга (IMRE), Сингапур) и соавторы продемонстрировали в своём эксперименте новый спектрограф для резонансной рамановской спектроскопии с поверхностным усилением в участке ближнего ИК-спектра [4]. Это устройство может применяться для идентификации молекул по частотам их колебательных линий. Использовался перестраиваемый брэгговский отражатель из чередующихся слоёв стибнита Sb_2S_3 , вносящего малые фазовые потери, и слоёв SiO_2 , а также тонкой металлической плёнки. На ней генерировались таммовские плазмоны с длинами волн 738–1504 нм. Непрерывная перестройка по частоте осуществлялась путём изменения структуры слоёв Sb_2S_3 от аморфных до кристаллических при электрическом нагреве. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью линзы, и через ту же линзу наблюдался отклик рамановского рассеяния. Эксперимент показал перспективность данного устройства как масштабируемой биосенсорной платформы для различных применений в клинической диагностике. В частности, устройство может регистрировать молекулы хроматогра на волне 385 нм, и его работа была продемонстрирована для регистрации одного из белков-биомаркеров, важных для кардиологии.

5. Сверхмассивные чёрные дыры в ранней Вселенной. Гравитационное поле массивных объектов, находящихся на луче зрения, фокусирует свет подобно линзе, и данный эффект помогает наблюдать небольшие галактики на значительном расстоянии. Гравитационная линза, создаваемая скоплением галактик Abell 2744 на красном смещении $z = 0,308$, позволила телескопу им. Дж. Уэбба выполнить наблюдение 11 галактик на красных смещениях $z > 9$, оцененных фотометрическим методом. Рентгеновское излучение одной из этих галактик на $z \approx 10,3$ было затем измерено космической обсерваторией Чандра, и сделан вывод о наличии в галактике сверхмассивной чёрной дыры (ЧД) с массой $\sim 10^7 - 10^8 M_\odot$, производящей мощное излучение при аккреции газа [5]. Масса такой ЧД сравнима с суммарной массой всех звёзд галактики, тогда как у современных галактик массы центральных ЧД составляют $\sim 0,1\%$ от массы звёзд. Кроме того, сложно объяснить само наличие столь массивной ЧД в ту эпоху, когда Вселенная имела возраст лишь ~ 500 млн лет. ЧД звёздного происхождения не успели бы нарастить свою массу до указанной величины, а модели с прямым гравитационным коллапсом массивного газового облака пока не исключены, но также сталкиваются с проблемой нехватки динамического времени. Возможно, в ранние эпохи уже существовали ЧД с массами $\sim 10^4 - 10^5 M_\odot$, способные к $z \sim 10$ нарастить массу за счёт аккреции. Одним из вариантов массивных зародышевых ЧД являются первичные ЧД, предсказанные Я.Б. Зельдовичем и И.Д. Новиковым в 1966 г. [6] и обсуждавшиеся позднее в работе С. Хокинга [7].

Список литературы

1. Bloch I M et al. *Nat. Commun.* **14** 5784 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41162-4>
2. Friedrich F et al. "Evidence for spinarons in Co adatoms" *Nat. Phys.* (2023) <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02262-6>, онлайн-публикация от 26 октября 2023 г.
3. Basso Basset F et al. *Phys. Rev. Lett.* **131** 166901 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.166901>
4. Sreekanth K V et al. *Nat. Commun.* **14** 7085 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42854-7>
5. Bogdán A et al. "Evidence for heavy-seed origin of early supermassive black holes from a $z \approx 10$ X-ray quasar" *Nat. Astron.* (2023) <https://doi.org/10.1038/s41550-023-02111-9>, онлайн-публикация от 6 ноября 2023 г.
6. Зельдович Я Б, Новиков И Д *Астрон. журн.* **43** 758 (1966); Zel'dovich Ya B, Novikov I D *Sov. Astron.* **10** 602 (1967)
7. Hawking S *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **152** 75 (1971)