

1. Рассеяние фотонов на фотонах

В эксперименте ATLAS, проводимом в ЦЕРНе на Большом адронном коллайдере, получено первое прямое свидетельство рассеяния фотонов на фотонах $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$. Этот процесс невозможен в рамках классической электродинамики из-за линейности уравнений Максвелла, однако в квантовой электродинамике взаимодействие фотонов осуществляется путём рождения пар виртуальных заряженных частиц в промежуточных состояниях, как было предсказано В. Гейзенбергом и Г. Эйлером в 1936 г. Рассеяние $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ ранее уже наблюдалось, но лишь косвенным путём в измерениях аномального магнитного момента лптонов и в некоторых других процессах. Коллаборацией ATLAS изучались "ультра-периферийные" столкновения ядер свинца, когда прицельный параметр движущихся навстречу друг другу ядер превышает диаметр ядра. При этом ядра пролетают мимо друг друга, переходя в возбуждённое состояние, но не разрушаясь. Вблизи движущегося ядра имеется сильное электромагнитное поле, которое при ультрарелятивистских скоростях ядер представляет собой облако "квазиреальных" фотонов, находящихся почти на массовой поверхности. Эти фотоны после их взаимодействия между собой детектируются уже как реальные фотоны. Зарегистрировано 13 событий-кандидатов процесса $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$, в то время как предсказываемое значение составляло 7,3, а ожидаемое фоновое значение равно $2,6 \pm 0,7$, т.е. статистическая значимость результата 4,4 σ . Измеренное сечение взаимодействия ионов свинца с хорошей точностью согласуется с вычислениями в рамках Стандартной модели.

Источник: *Nature Physics*, онлайн-публикация от 14 августа 2017 г.
<https://doi.org/10.1038/nphys4208>

2. Поиск "субгравитационных" сил

М. Jaffe (Калифорнийский университет в Беркли, США) и др. измерили гравитационное притяжение атомов цезия к цилиндру из вольфрама, имеющему размер в несколько см и массу всего 190 г., тогда как в предшествующих экспериментах массы источников составляли десятки и сотни кг. Газ охлаждался в ловушке (световой решётке) до температуры ~ 300 нК и подбрасывался вверх путём сдвига решётки. С помощью лазерных импульсов атомы переводились в состояние движения по двум вертикальным траекториям с запаздыванием друг относительно друга. Эти траектории представляют два плеча интерферометра. Притяжение к цилиндру вызывает дополнительную разность фаз атомов на траекториях, которая измерялась по интерференционной картине, наблюдаемой с помощью флуоресцентного излучения атомов. Рассчитанное в рамках теории Ньютона гравитационное ускорение, производимое цилиндром, составляет 65 ± 5 нм с⁻², а полученное в эксперименте ограничение на возможное дополнительное ускорение < 49 нм с⁻². Таким образом, эксперимент с малой массой источника позволил выполнить поиск "субгравитационных" сил, более слабых, чем силы гравитации. Существование таких сил на малых масштабах предсказывается в некоторых моделях космологической тёмной энергии. Полученные в описываемом эксперименте ограничения на параметры теории "хамелеонного поля" на два порядка улучшают прежние ограничения и оставляют лишь небольшую область допустимых параметров. Уже в ближайшее время с повышением точности измерений можно будет подтвердить или полностью "закрыть" эту теорию. Также на два порядка величины улучшены ограничения на параметр самодействия скалярного поля в теории "симметрона". В будущем в подобном эксперименте планируется исследовать гравитационный эффект Ааронова–Бома и выполнить точные измерения постоянной тяготения G .

Источник: *Nature Physics*, онлайн-публикация от 3 июля 2017 г.
<https://doi.org/10.1038/nphys4189>

3. Квантовый радиочастотный магнитометр

Использование в измерительных устройствах квантовых эффектов значительно повышает их возможности, так как квантовая когерентность очень чувствительна к внешним воздействиям. Ф.М. Ciurana (Барселонский институт науки и технологии, Испания) и его коллеги

продемонстрировали новый метод измерения формы сверхслабых радиочастотных импульсов с помощью комбинации стробоскопического метода и квантовых измерений. Применялся ансамбль из $1,5 \times 10^6$ атомов ⁸⁷Rb при температуре 16 мкК в оптической ловушке в постоянном магнитном поле. Исследуемый сигнал — слабое переменное магнитное поле радиочастотного диапазона — прилагался в перпендикулярном к постоянному магнитному полю направлении. Регистрировалось фарадеевское вращение плоскости поляризации лазерного света, проходящего через облачко атомов. Эти измерения являлись так называемыми "квантовыми неразрушающими измерениями", которые не нарушают квантовую когерентность исследуемой системы. В начальный момент спины атомов были направлены вдоль постоянного магнитного поля, а между измерениями когерентно прецессировали. Производилась серия последовательных измерений по методу стробоскопа, что позволяло исследовать форму сигналов. Таким способом были исследованы синусоидальные сигналы и сигналы с линейно возрастающей частотой. За счёт того, что атомы находились в квантово-запутанном состоянии, шум был подавлен на 25 %, и была достигнута чувствительность, сравнимая с чувствительностью лучших магнитометров того же частотного диапазона, но работающих на других принципах.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **119** 043603 (2017)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.043603>

4. Поляризатор терагерцевого излучения

Излучение диапазона ТГц, расположенного между микроволновым и ИК-диапазонами, имеет ряд полезных применений, но требует специального оборудования. R. Mendis (Брауновский университет, США) и др. создали новый материал, который позволяет выделить из пучка терагерцевого излучения линейно поляризованные компоненты. Материал представляет собой набор параллельных металлических пластин толщиной 30 мкм, расположенных через каждые 300 мкм. Массив пластин имеет размеры 20×22 мм², толщину 2 мм и с электромагнитной точки зрения эквивалентен решётке параллельных плоских волноводов. Пучок излучения направляется под углом 45° к плоскости массива. Если вектор электрического поля волны параллелен металлическим пластинам, то излучение почти полностью отражается, а если перпендикулярно, то излучение практически свободно проходит. С помощью двух подобных поляризаторов был создан также изолятор терагерцевого излучения (материал с очень малым обратным отражением), эффективность которого превосходит эффективность ферритовых изоляторов.

Источник: *Scientific Reports* **7** 5909 (2017)

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-06297-7>

5. Двухэтапное магнитное пересоединение в солнечной вспышке

Т. Gou (Научно-технический университет Китая и Грацский университет имени Карла и Франца, Австрия) и др. исследовали эффект двухэтапного пересоединения магнитных силовых линий во время вспышки на Солнце, произошедшей 13 мая 2013 г. Наблюдения велись с помощью космической Обсерватории солнечной динамики (SDO). Вспышка имела два отдельных эпизода энерговыделения. Первый эпизод относится к типичным событиям и характеризуется выбросом трубки магнитного поля. Второй эпизод, напротив, довольно необычный. Он был сильнее первого и показал повышенные рентгеновское и даже гамма-излучение. Во время второго эпизода длинная ножка магнитной петли начала резко ускоряться до скорости 130 км с⁻¹ и через некоторое время исчезла, что сопровождалось диффузным выбросом плазмы в перпендикулярном направлении. Вероятной интерпретацией этих процессов является пересоединение магнитных силовых линий петли после её выброса.

Источник: *Astrophys. J. Lett.* **845** L1 (2017)

<https://arxiv.org/abs/1707.06198>

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