

Ю.Н. Ерошенко

PACS number: 01.10. – m, 01.30. – y, 01.90. + g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UfNr.2020.07.038801>

1. Избыток событий в XENON1T. В эксперименте XENON1T, проводимом в Национальной лаборатории Гран Сассо (Италия) [1], зафиксирован избыток электронов отдачи [2], объяснением которого может быть рассеяние на электронах новых частиц, не описываемых Стандартной моделью. Детектор XENON1T содержит 2 т жидкого ксенона, просматриваемого фотоумножителями. Низкий фон в Лаборатории позволяет выполнять поиски редких частиц и взаимодействий. При энергиях 1–7 кэВ зарегистрировано на 53 рассеяния электронов больше ожидавшегося числа 232 ± 15 фоновых событий. Рассматривается возможность того, что превышение объясняется β -распадами ядер трития, присутствующих как примесь в ксеноне. Это объяснение не требует выхода за пределы Стандартной модели, но пока не удаётся измерить содержание трития в детекторе. Наблюдаемый избыток лучше всего, со статистической достоверностью $3,5\sigma$, объясняется рассеянием аксионов — гипотетических частиц, рождающихся внутри Солнца в различных процессах. Аксионы, предложенные изначально для решения проблемы CP -инвариантности в сильных взаимодействиях, рассматриваются как один из главных кандидатов на роль частиц тёмной материи во Вселенной. С меньшей значимостью, $3,2\sigma$ избыток может объясняться рассеянием нейтрино от Солнца при условии, что нейтрино имеет магнитный момент $\mu_\nu = (1,4 - 2,9) \times 10^{-11}$ магнетонов Бора. Эта величина близка к верхнему пределу, полученному прямым методом в эксперименте Борексина, но противоречит косвенным астрофизическим ограничениям. Не исключено, что избыток событий объясняется другими частицами, например, "тёмными фотонами". Для более надёжных выводов требуется дальнейший набор статистики.

2. Разветвлённый поток света. В неупорядоченной рассеивающей среде возможен эффект распространения волн вдоль отдельных каналов, расходящихся и ветвящихся, подобно ветвям дерева, за счёт дифракции и образования каустик. В оптике разветвлённый поток (branched flow) был обнаружен и исследован в 2002 г. в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАНе) в работах А.В. Старцева и Ю.Ю. Стойлова [3, 4] (см. подробное описание этого явления в [5]). С помощью микроскопа (см. [3–6]) наблюдалась тонкая мыльная плёнка, в которую вводился лазерное излучение оптического или ИК диапазонов. В плёнке присутствовали естественные флуктуации толщины, создающие флуктуации эффективного показателя преломления. Рассеяние света в поперечном направлении позволяло наблюдать распределение интенсивности света в плёнке. Вопреки ожиданиям, отдельные нити света не расплывались хаотично, а оставались коллимированными на протяжении больших участков пути, и затем ветвились на более мелкие волокна. А. Patsyk (Израильский технологический институт — Технион) и соавторы выполнили новый похожий эксперимент по наблюдению разветвлённого лазерного света в мыльной плёнке [7]. Толщина пленки составляла 1–2 длины световой волны, а свет в неё направлялся через оптоволоконно. Наблюдалось разветвлённое распространение, аналогичное тому, которое ранее было обнаружено в работах А.В. Старцева и Ю.Ю. Стойлова, и найдены его статистические характеристики. Они имеют универсальный вид и зависят только от длины корреляции неоднородностей и средней вариации показателя преломления. Расстояние, на котором начинает ветвиться поток, также описывается простой универсальной зависимостью. Разветвлённый поток ранее наблюдался также для электронных волн в полупроводниках. Предсказывается, что в трёхмерном случае распространение волн может происходить вдоль разветвляющихся двумерных поверхностей.

3. Каскад фазовых переходов в графене. Исследования двухслойного графена, в котором слои повернуты друг относительно друга на так называемый "магический угол" $\approx 1,1^\circ$, свидетельствовали о том, что при охлаждении в графене должны происходить фазовые переходы, связанные с заполнением электронных зон. U. Zondiner (Институт Вейцмана, Израиль) и соавторы обнаружили [8] каскад подобных фазовых переходов. Исследовался графен на подложке при температуре выше температуры сверхпроводящего перехода. Заполнение зон изучалось путём измерения электронной сжимаемости с помощью одноэлектронного транзистора на основе нанотрубки. Были обнаружены характерные скачки, связанные с заполнением зон, после которых появлялось дисперсионное соотношение дираковского вида. При охлаждении некоторые квантовые степени свободы исчезают, но появляются новые коллективные степени свободы. Результаты измерений интерпретируются как вбирание новой зоной электронов из частично заполненных старых зон. Свойства графена при высокой температуре могут наследовать

ряд низкотемпературных эффектов, что может помочь в понимании механизма сверхпроводимости. О графене и его свойствах см. в [9–11].

4. Суперрадиация в акустике. Я.Б. Зельдович, А.В. Рожанский и А.А. Старобинский [12–14] предсказали теоретически возможность усиления электромагнитных волн при их рассеянии на быстро вращающемся металлическом цилиндре, а также усиление волн и рождение частиц вращающейся чёрной дыры. Этот процесс был назван "суперрадиацией". На его основе С. Хокинг предсказал эффект квантового испарения чёрных дыр. Условие усиления имеет вид $\omega < l\Omega$, где ω — частота падающей волны, Ω — частота вращения, l — порядок угловой моды. Суперрадиация электромагнитных волн в экспериментах не наблюдалась из-за необходимости очень быстрого вращения. Условия усиления проще достичь для звуковых волн, и М. Croom (Университет Глазго, Великобритания) и соавторы впервые наблюдали его в своём акустическом эксперименте [15]. Вместо рассеяния на цилиндрах звук передавался между двумя дисками через поглощающую среду. На неподвижном диске по окружности были установлены 16 громкоговорителей. Каждый из них излучал звук со сдвигом фазы так, что звуковой фронт имел спиральную структуру с разными l . А на вращающемся диске находились два микрофона. Между дисками был помещён тонкий слой поглощающей пены, и звук мог достигать микрофонов, только пройдя через пену. Условие Зельдовича выполнялось начиная с частоты вращения 15 Гц. Выше 25 Гц наблюдалось усиление, достигавшее 30 %, что подтвердило предсказание Я.Б. Зельдовича и его коллег.

5. Гравитационно-волновой всплеск GW190814. Детекторы гравитационных волн LIGO/Virgo зарегистрировали событие GW190814, соответствующее слиянию компактных объектов с рекордно большим отношением масс [16]. Более массивный объект пары, имеющий массу $23,2_{-1,0}^{+1,1} M_\odot$, очевидно, является чёрной дырой, а природа второго объекта с массой $2,59_{-0,09}^{+0,08} M_\odot$ пока не ясна. Он может быть как наиболее массивной нейтронной звездой, так и самой лёгкой чёрной дырой из наблюдавшихся в двойных системах. Указанная масса лёгкого объекта находится вблизи верхней границы допустимых масс нейтронных звёзд или даже превышает её. В то же время, известные астрофизические чёрные дыры имеют массы $\geq 5 M_\odot$. Таким образом, масса лёгкого объекта является нетипичной как для нейтронных звёзд, так и для чёрных дыр. Возможно, это чёрная дыра, образовавшаяся при слиянии двух нейтронных звёзд. Подобная двойная система могла образоваться динамически в молодом скоплении звёзд. Источник всплеска находится на расстоянии ≈ 240 Мпк, и от него не было зарегистрировано сопутствующего электромагнитного излучения. Благодаря большому отношению масс данное событие позволило подтвердить предсказания Общей теории относительности (ОТО) в не исследованной ранее области, когда при слиянии объектов возбуждаются высокие мультиполи. Об обнаружении гравитационных волн см. [17] и об эффектах ОТО см. [18].

1. Беттини А *УФН* **171** 977 (2001); Bettini A *Phys. Usp.* **44** 931 (2001)
2. Aprile E et al., <https://arxiv.org/abs/2006.09721>
3. Старцев А В, Стойлов Ю Ю *Квантовая электроника* **33** 380 (2003); Startsev A V, Stoilov Yu Yu, *Quantum Electron.* **33** 380 (2003)
4. Старцев А В, Стойлов Ю Ю *Квантовая электроника* **34** 569 (2004); Startsev A V, Stoilov Yu Yu *Quantum Electron.* **34** 569 (2004)
5. Стойлов Ю Ю *УФН* **174** 1359 (2004); Stoilov Yu Yu *Phys. Usp.* **47** 1261 (2004)
6. Старцев А В, Стойлов Ю Ю *Квантовая электроника* **42** 750 (2012); Startsev A V, Stoilov Yu Yu *Quantum Electron.* **42** 750 (2012)
7. Patsyk A et al. *Nature* **583** 60 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2376-8>
8. Zondiner U et al. *Nature* **582** 203 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2373-y>
9. Морозов С В, Новоселов К С, Гейм А К *УФН* **178** 776 (2008); Morozov S V, Novoselov K S, Geim A K *Phys. Usp.* **51** 744 (2008)
10. Лозовик Ю Е, Меркулова С П, Соколик А А *УФН* **178** 757 (2008); Lozovik Yu E, Merkulova S P, Sokolik A A *Phys. Usp.* **51** 727 (2008)
11. Ратников П В, Силин А П *УФН* **188** 1249 (2018); Ratnikov P V, Silin A P *Phys. Usp.* **61** 1139 (2018)
12. Зельдович Я Б *Письма в ЖЭТФ* **14** 270 (1971)
13. Зельдович Я Б *ЖЭТФ* **62** 2076 (1972)
14. Зельдович Я Б, Рожанский Л В, Старобинский А А *Изв. вузов. Радиофизика* **29** 1008 (1986)
15. Croom M et al. *Nature Physics*, онлайн-публикация от 22 июня 2020 г., <https://doi.org/10.1038/s41567-020-0944-3>
16. Abbott R et al. *Astrophys. J. Lett.* **896** L44 (2020), <https://arxiv.org/abs/2006.12611>
17. Райтце Д *УФН* **187** 884 (2017); Reitze D H *Phys. Usp.* **60** 823 (2017)
18. Шил М А, Торн К С *УФН* **184** 367 (2014); Sheel M A, Thorne K S *Phys. Usp.* **57** 342 (2014)

Ю.Н. Ерошенко. Институт ядерных исследований РАН,
просп. 60-летия Октября 7а, 117312 Москва, Российская Федерация
E-mail: erosh@ufn.ru