Ноябрь 2026 г. *Том 196, № 11*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НАУЧНЫЕ НОВОСТИ

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: НОЯБРЬ 2026

(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

PACS numbers: **01.10.–m**, **01.30.–y**, **01.90.+g** DOI: https://doi.org/10.3367/UFNr.2026.09.040202

1. Экспериментальная проверка фейнмановского метода "интеграла по траекториям"

Формулировка квантовой механики через "интегралы по траекториям", разработанная Р. Фейнманом в 1948 г., широко применяется в теоретических исследованиях и в практических расчётах квантовых процессов. Однако до сих пор отсутствовала прямая экспериментальная проверка основных постулатов, лежащих в основе данного метода. Y.-L. Wen (Южно–Китайский педагогический университет в Гуанчжоу и Центр квантовой науки Большого залива Гуандун – Гонконг – Макао, Китай) и соавторы впервые в своём эксперименте с фотонами подтвердили справедливость этих постулатов [1]. Траектории распространяющихся фотонов были разделены на множество малых участков, на каждом из которых измерялись пропагаторы. Наблюдение 1,4 млн одиночных фотонов продемонстрировало, что квантовые вероятности возникают в результате интерференции траекторий, а амплитуды для разных траекторий равны по модулю, но имеют фазы, зависящие от классического действия. Это свойство амплитуд не вытекает непосредственно из уравнения Шрёдингера, поэтому его проверка в ходе эксперимента представляет большую ценность. Эксперимент также подтвердил, что квантовые траектории — это не просто вычислительный инструмент, а отражение физической реальности.

2. Возможен ли "нейтринный лазер"?

В 2025 г. B.J.P. Jones и J.A. Formaggio предложили способ получения мощного пучка нейтрино при распаде (электронном захвате) ядер атомов ^{83}Rb в ^{83}Kr в бозе-эйнштейновском конденсате. Предполагалось, что за счёт эффекта сверхизлучения время полураспада ядер уменьшится с 86 суток до одной минуты, что вызовет аналог лазерного излучения. Однако исследователи из Массачусетского технологического института и Центра ультрахолодных атомов MIT – Гарвард (США) H. Lin, Y.-K. Lu и W. Ketterle в своих работах [2] и [3] показали невозможность создания "нейтринного лазера", работающего на данном принципе. Этому препятствует сразу несколько обстоятельств. Прежде всего, и нейтрино, и атомы ^{83}Kr являются фермионами, поэтому они не смогут перейти в одно излучательное состояние вследствие принципа исключения Паули. Другая трудность связана с тем, что нейтрино при радиоактивном распаде вылетают с большими энергиями, ~ 1 МэВ, вызывая импульс отдачи ядра. Кроме того, большие импульсы означают малые длины волн и большое число возможных мод излучения. Эти эффекты выводят дочерние ядра из когерентного состояния с исходными ядрами и подавляют сверхизлучение. Данные аргументы ограничивают широкий круг возможных механизмов когерентного излучения при радиоактивном распаде.

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

3. Спиновые флуктуации и сверхпроводимость в купратах

В классической теории сверхпроводимости Бардина – Купера – Шриффера (БКШ) критическая температура сверхпроводящего перехода T_c определяется константой электрон-фононного взаимодействия, и это же взаимодействие приводит к рассеянию электронов в нормальном (несверхпроводящем) состоянии. Поэтому исследование рассеяния в нормальном состоянии может дать полезную информацию о механизме сверхпроводимости, причём не только обычных, но и нестандартных сверхпроводников (купратов и др.). В новом эксперименте C.M. Duffy (Университет Радбода, Нидерланды, и Тулузский университет, Франция) и соавторы исследовали тонкие плёнки купрата $La_{2-x}Ce_xCuO_4$ с малым шагом по легированию во всей области на фазовой диаграмме [4]. Измерялось удельное сопротивление и магнитосопротивление в магнитном поле величиной до 35 Тл. В нормальном состоянии обнаружена анизотропная компонента скорости рассеяния, величина которой уменьшается на порядок с повышением легирования в исследуемом диапазоне. Тем самым в купрате обнаружена зависимость, похожая на связь T_c с величиной электрон-фононного взаимодействия в БКШ-сверхпроводниках. Как показал теоретический анализ данного результата с учётом токовых вершинных поправок, доминирующим рассеивателем, скорее всего, являются когерентные антиферромагнитные спиновые флуктуации в материале. Это может свидетельствовать о том, что низкоэнергетические спиновые флуктуации являются основным механизмом образования пар в купратах, легированных электронами. Кроме того, авторы работы делают вывод, что высокую T_c в дырочных купратах нельзя объяснить одним лишь расширением теории БКШ посредством усиления связи со спиновыми флуктуациями, и требуются новые подходы. О высокотемпературной сверхпроводимости см. [5, 6].

4. Плавление алмаза

Алмазные наковальни широко используются для сжатия веществ до сверхвысоких давлений и исследования их свойств. Однако имело место расхождение на уровне $\sim 20\,\%$ между предсказанием теоретических моделей и данными экспериментов по температуре плавления самого алмаза. M. Millot (Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса, США) и соавторы в своём новом эксперименте прояснили ряд спорных моментов [7]. Для изучения микрокристаллического алмаза при ударном сжатии образца лазерными импульсами использовалась

рентгеновская дифракция и другие методы диагностики. Было обнаружено плавление алмаза при давлении $\simeq 1$ ТПа и температуре 7300 К, что примерно на 1000 К ниже знаменитого результата Дж.Х. Эггерта и др. 2010 г. [8], но хорошо согласуется с расчётами. Тем самым было устранено указанное выше расхождение. Кроме того, установлено, что структура алмаза сохраняется при давлении до 1 ТПа, а указания на переход алмаза в фазу BC8 выше 0,9 ТПа не подтвердились. Полученные результаты важны, в частности, для планирования экспериментов по термоядерному синтезу с инерционным удержанием.

5. Взаимодействие мантии Земли с ядром и продолжительность суток

Процессы в ядре Земли, в том числе генерация магнитного поля (геодинамо), являются одними из наиболее интересных областей исследования в геофизике (см., например, обзоры [9 – 12]). Процессы в ядре влияют также на продолжительность суток. Если на больших масштабах времени имеется устойчивый тренд замедления вращения Земли, связанный с приливным влиянием Луны, то на интервалах в десятки лет наблюдаются отклонения на уровне нескольких миллисекунд в ту или другую сторону. Причиной является перераспределение углового момента между внутренним ядром и мантией, однако детали этого процесса известны ещё недостаточно точно. Исследователи из Университета Альберты (Канада) H. Zhang и M. Dumberry показали, что наблюдаемое в последние годы уменьшение продолжительности суток лучше всего объясняется гравитационным взаимодействием между неосесимметричными компонентами в распределении массы ядра и мантии [13]. В нижней мантии имеются аномалии плотности, а внутреннее твёрдое ядро несферично и имеет сложную топографию границы (неровности). Наличие таких структурных особенностей следует из большого массива данных по распространению внутри Земли сейсмических волн. Резонансное взаимодействие гравитационных сил (крутящего момента) и альвеновских волн в жидком ядре, теория которого была развита С.И. Брагинским (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта) в работе [14] (см. также [15 – 17]), приводит к 70-летним колебаниям внутреннего ядра и хорошо объясняет наблюдаемые вариации длительности суток. Эти колебания поддерживаются конвекцией внешнего жидкого ядра Земли, энергия которой черпается из тепловой энергии, выделяемой при распаде радиоактивных элементов в ядре и оседании более тяжёлых фракций к центру. Другие факторы (магнитное взаимодействие и трение неровностей) действуют сейчас в противофазе к гравитационному влиянию, но в сумме имеют меньшую величину.

6. Почти тёмная галактика в скоплении Дева

В последние годы в Местной группе галактик были обнаружены две необычные галактики, имеющие размер $\sim$1 кпк, но обладающие поверхностной яркостью, значительно меньшей, чем даже у известного класса ультрадиффузных галактик. Наблюдение таких галактик на больших расстояниях крайне затруднено. M.N. Le (Канарский институт астрофизики и Университет Ла-Лагуна, Испания; Гронингенский университет, Нидерланды) и соавторы обнаружили похожую галактику в скоплении галактик Дева с помощью 2-метрового телескопа Обсерватории Тейде (Испания) [18]. Она имеет радиус ~ 1 кпк, центральную поверхностную плотность $0{,}8 M_\odot$ пк$^{-2}$, а общая масса звёзд в ней составляет $2 \times 10^6 M_\odot$, хотя из-за большого расстояния на отдельные звёзды галактика не разрешается. Поверхностная яркость галактики в 100 раз меньше, чем у типичных ультрадиффузных галактик. Данные наблюдения говорят о том, что подобный класс объектов может быть весьма распространённым, и требуется дальнейшее развитие теории формирования галактик для объяснения их образования.

7. Вакуумное излучение Вавилова – Черенкова в пульсарах

Когерентное радиоизлучение пульсаров может объясняться взаимодействием высокоэнергетических фотонов с магнитным полем нейтронной звезды и каскадами электрон-позитронных пар. В расчётах обычно учитывается изгибное излучение и резонансное обратное комптоновское рассеяние. T.A.O. Gomes (Федеральный университет Эспириту – Санту, Бразилия) и соавторы обнаружили дополнительный эффект — квантовое вакуумное излучение Вавилова – Черенкова в вакуумном зазоре у поверхности нейтронной звезды [19]. Данный эффект основан на поляризации вакуума в сильном поле, когда его показатель преломления становится больше единицы. В результате ультрарелятивистские электроны являются сверхсветовыми даже в вакууме и могут излучать фотоны за счёт эффекта Вавилова – Черенкова. Эти фотоны, в свою очередь, порождают каскады e^+e^-. Новый канал рождения пар сдвигает границу так называемой "долины смерти" на диаграмме $P-\dot{P}$ (период пульсара и темп его замедления), где, как считалось, излучение пульсаров должно отсутствовать. Это обстоятельство объясняет наблюдения пульсаров внутри и ниже долины смерти. Таким образом, нейтронные звёзды предоставляют уникальную возможность для проверки нелинейных эффектов квантовой электродинамики в реальных астрофизических условиях. Квантовая теория эффекта Вавилова – Черенкова была построена В.Л. Гинзбургом в 1940 г. [20] (см. также обзор [21] и статьи [22, 23]).

Список литературы

1. Wen Y-L et al. *Sci. Adv.* **12** eaeh1011 (2026) DOI:10.1126/sciadv.aeh1011
2. Lu Y-K, Lin H, Ketterle W *Phys. Rev. Lett.* **137** 101804 (2026) DOI:10.1103/8x7k-rwx2
3. Lin H, Lu Y-K, Ketterle W *Phys. Rev. Lett.* **137** 101805 (2026) DOI:10.1103/rnx6-wqpf
4. Duffy C M *Nature Phys.* (2026) DOI:10.1038/s41567-026-03454-6, онлайн-публикация от 19 октября 2026 г.
5. Гинзбург В Л, Киржниц Д А *УФН* **152** 575 (1987); Ginzburg V L, Kirzhnits D A *Sov. Phys. Usp.* **30** 671 (1987)
6. Гинзбург В Л *УФН* **170** 619 (2000); Ginzburg V L *Phys. Usp.* **43** 573 (2000)
7. Millot M et al. *Nature Phys.* (2026) DOI:10.1038/s41567-026-03413-1, онлайн-публикация от 13 августа 2026 г.
8. Eggert J H et al. *Nature Phys.* **6** 40 (2010)
9. Зельдович Я Б, Рузмайкин А А *УФН* **152** 263 (1987); Zeldovich Ya B, Ruzmaikin A A *Sov. Phys. Usp.* **30** 494 (1987)
10. Соколов Д Д, Степанов Р А, Фрик П Г *УФН* **184** 313 (2014); Sokoloff D D, Stepanov R A, Frick P G *Phys. Usp.* **57** 292 (2014)
11. Соколов Д Д *УФН* **185** 643 (2015); Sokoloff D D *Phys. Usp.* **58** 601 (2015)
12. Смайли Д Е, Бражкин В В, Палмер А *УФН* **179** 91 (2009); Smylie D E, Brazhkin V V, Palmer A *Phys. Usp.* **52** 79 (2009)
13. Zhang H, Dumberry M *Nature* **658** 119 (2026) DOI:10.1038/s41586-026-10999-2
14. Брагинский С И *Геомагнетизм и аэрономия* **10** 3 (1970); Braginskii S I *Geomagn. Aeronomy* **10** 1 (1970)
15. Брагинский С И *Геомагнетизм и аэрономия* **4** 898 (1964); Braginsky S I *Geomagn. Aeronomy* **4** 698 (1964)
16. Брагинский С И *ЖЭТФ* **47** 2178 (1964); Braginskii S I *Sov. Phys. JETP* **20** 1462 (1965)
17. Braginskiy S I *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* **14** 189 (1979)
18. Le M N et al. *Astron. Astrophys.* **713** L8 (2026) DOI:10.1051/0004-6361/202661968
19. Gomes T A O et al., arXiv:2610.02429, DOI:10.48550/arXiv.2610.02429; *Nature Commun. Phys.* (2026) accepted
20. Гинзбург В Л *ЖЭТФ* **10** 589 (1940); Ginzburg V L *J. Phys. USSR* **2** 441 (1940)
21. Гинзбург В Л *УФН* **166** 1033 (1996); Ginzburg V L *Phys. Usp.* **39** 973 (1996)
22. Гинзбург В Л *ДАН СССР* **24** 130 (1939)
23. Гинзбург В Л *ЖЭТФ* **10** 608 (1940); Ginzburg V L *J. Phys. USSR* **3** 101 (1940)