

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: АВГУСТ 2025

(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.2025.07.039970>

1. Зарядовый радиус ядер углерода. При измерении зарядовых радиусов атомных ядер обычно применяются методы рассеяния электронов и спектроскопия обычных и мюонных атомов, в которых электрон заменён на мюон. В случае зарядового радиуса протона в обычных и мюонных атомах результаты расходятся на уровне достоверности 7σ , и данное отличие пока не имеет объяснения [1]. Для ядер тяжелее ядер гелия, за исключением ядер углерода, измерения имеют значительно меньшую точность. Р. Müller (Дармштадтский технический университет, Германия) и соавторы выполнили новые измерения среднеквадратичного зарядового радиуса ядра ^{13}C методом лазерной спектроскопии с точностью, в шесть раз лучшей точности предшествующих экспериментов, проведённых методом электронного рассеяния [2]. Изучались переходы $2^3\text{S} \rightarrow 2^3\text{P}$ между компонентами сверхтонкого расщепления электронных уровней ионов $^{13}\text{C}^{4+}$. Полученная величина на уровне 3σ расходится с результатами предшествующих измерений для мюонных атомов. Причина данного расхождения также пока не выяснена. Она может быть связана со спецификой взаимодействия мюонов в случае нарушения лептонной универсальности или с другими эффектами за пределами Стандартной модели, хотя остаётся вероятность неучтённых экспериментальных погрешностей.

2. Нарушение закона излучения Кирхгофа (ЗИК) в метаматериале. В ряде работ предсказывалась возможность нарушения ЗИК (отношение излучательной и поглощательной способностей вещества равно универсальной функции частоты и температуры) в вейлевских полуметаллах и других системах. До последнего времени указание на слабое нарушение этого закона было получено лишь для соединений основе InAs в узком диапазоне частот. Z. Zhang (Университет штата Пенсильвания, США) и соавторы впервые продемонстрировали сильное нарушение ЗИК в метаматериале [3]. В градиентно-допированном образце, состоящем из пяти слоёв $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ на подложке из золота, наблюдалось распространение ИК-излучения под различными углами в магнитном поле. Нарушение ЗИК зарегистрировано в широком диапазоне углов и частот излучения, причём в некоторых случаях различие излучательной и поглощательной способности на одной и той же частоте достигало рекордной величины 0,43. Авторы работы объясняют наблюдавшееся явление наличием электромагнитных мод Берремана. Данный эффект может найти применения в сенсорах, а также для управления потоками тепла и для преобразования энергии. Метаматериалы, получившие в последнее время широкое применение, впервые были рассмотрены теоретически в работах В.Г. Веселаго (ФИАН им. П.Н. Лебедева) в 1967 г. [4, 5].

3. Топологическое обобщение теории фазовых переходов Ландау. Теория фазовых переходов Ландау успешно описывает множество наблюдаемых явлений. В её основе лежит разложение свободной энергии по степеням величины, называемой параметром порядка. Изменение параметра порядка, который может иметь различную природу, связывается с переходом между фазами. Исследователи из Университета Альберты (Канада) С. Sun и J. Maciejko обобщили теорию фазовых переходов Ландау на случай, когда параметр порядка является многокомпонентной величиной в неприводимом представлении группы симметрии и имеет нетривиальную топологическую структуру [6]. Данный подход С. Sun и J. Maciejko продемонстрировали на примере теории сверхпроводимости с тетрагональной симметрией и притягивающим взаимодействием, включающим две парциальные волны. Исследование уравнения Гинзбурга–Ландау показало, что параметр порядка приобретает фазу Берри после циклической эволюции. Также в [6] предложены пути экспериментальной проверки обобщённой теории.

4. Спектроскопия спинового шума в кристалле галогенидного перовскита. В.О. Козлов (СПбГУ) и соавторы впервые применили метод лазерной спектроскопии спинового шума [7] для исследования анизотропного полупроводникового кристалла — галогенидного

перовскита MAPbI_3 [8]. Посредством наблюдения шумов поляризации фарадеевского вращения детектировались спиновые флуктуации среды (флуктуации намагниченности), обусловленные прецессией магнитных моментов в магнитном поле со случайными фазами. Зондирующий поляризованный световой пучок от лазера проходил через кристалл и регистрировался поляризметрическим приёмником. Двулучепреломляющие монокристаллы MAPbI_3 были выращены методом противодиффузии в геле. Энергия фотонов зондирующего излучения 1,55–1,62 эВ была значительно ниже ширины запрещённой зоны MAPbI_3 . Это обеспечило наблюдение флуктуаций поляризации проходящего света с пренебрежимо малым возмущением среды. В эксперименте наблюдалось рекордно длительное время спиновой когерентности — около 4 нс, была измерена анизотропия g-фактора носителей спина и выявлено спонтанное двойникование кристалла (появление двух различных спиновых подсистем). В работе применялось оборудование ресурсного центра "Нанопотенциала" Научного парка СПбГУ. В последнее время галогенидные перовскитные полупроводники привлекли к себе большое внимание, главным образом из-за перспектив их использования в фотовольтаике и спинтронике.

5. Знак интегрального эффекта Сакса – Вольфа (ИСВ). Согласно эффекту Риса – Шиами, реликтовое излучение (РИ) должно охлаждаться, проходя через объект крупномасштабной структуры Вселенной на нелинейной стадии его эволюции. Но в современной Вселенной должен преобладать по величине ИСВ, связанный с изменением гравитационного потенциала под влиянием тёмной энергии. ИСВ должен приводить к повышению температуры РИ, прошедшего через галактики, и к охлаждению РИ, прошедшего через пустоты (войды). Однако начиная с 2023 г. в ряде наблюдений на уровне достоверности $> 3\sigma$ была выявлена противоположная картина: РИ охлаждается, проходя через гало галактик на малых красных смещениях. В работах [9, 10] получено новое подтверждение данного явления. F.K. Hansen (Университет Осло, Норвегия) и соавторы провели анализ данных спутника Планк, наблюдавшего флуктуации РИ, в сравнении с картой близлежащих войдов из обзора 2MASS [9]. На уровне 2,7–3,6 σ температура РИ, прошедшего через войды, оказалась повышенной, вопреки теоретическим предсказаниям. Как показали J.I.D. Feldman (Национальный университет Кордовы, Аргентина) и соавторы, обнаруженное ранее на красных смещениях $z < 0,02$ понижение температуры РИ, прошедшего через отдельные галактики в филаментах (крупномасштабных нитевидных структурах), имеет место также для филаментов в целом на $z = 0,02 - 0,04$ [10]. Указанные результаты свидетельствуют о том, что в настоящее время ИСВ имеет знак, противоположный ожидаемому. В качестве объяснения рассматривалось взаимодействие РИ с тёмной материей или быстрая эволюция гравитационного потенциала в некоторых моделях тёмной энергии и модифицированной гравитации.

Список литературы

1. Хабарова К Ю, Колачевский Н Н *УФН* **191** 1095 (2021); Khabarova K Yu, Kolachevsky N N *Phys. Usp.* **64** 1038 (2021)
2. Müller P et al. *Nat. Commun.* **16** 6234 (2025) <https://doi.org/10.1038/s41467-025-60280-9>
3. Zhang Z et al. *Phys. Rev. Lett.* **135** 016901 (2025) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.135.016901>
4. Веселаго В Г *УФН* **92** 517 (1967); Veselago V G *Sov. Phys. Usp.* **10** 509 (1968)
5. Веселаго В Г *УФН* **181** 1201 (2011); Veselago V G *Phys. Usp.* **54** 1161 (2011)
6. Sun C, Maciejko J *Phys. Rev. Lett.* **134** 256001 (2025) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.256001>
7. Козлов Г Г и др. *УФН* **194** 268 (2024); Kozlov G G et al. *Phys. Usp.* **67** 251 (2024)
8. Kozlov V O et al. *Phys. Rev. Lett.* **134** 256901 (2025) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.256901>
9. Hansen F K et al., arXiv:2506.08832, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.08832>; *Astron. Astrophys.* (2025) submitted
10. Dominguez Feldman J I et al., arXiv:2506.08833, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.08833>; *Phys. Rev. D* (2025) submitted

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