

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET**
(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

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

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2020.11.038864>

1. Фермионы Брауна–Зака в графене. J. Barrier (Манчестерский университет, Великобритания) и соавторы обнаружили новый вид квазичастиц, названных фермионами Брауна–Зака, в слое графена, помещённого между двумя слоями изолятора — гексагонального нитрида бора [1]. Возникающая при этом сверхрешётка имеет вид муарового узора с периодом ~ 14 нм. Согласно расчётом, при некоторых величинах магнитного поля восстанавливается трансляционная симметрия и фермионы должны двигаться прямолинейно (как при нулевом поле). Путём измерения продольной и холловской проводимости образца был детально исследован электронный спектр фермионов. В спектре видны множественные уровни Ландау, расходящиеся в виде вееров. Было обнаружено предсказанное баллистическое распространение фермионов Брауна–Зака с подвижностью более $10^6 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$. При нулевом магнитном поле длина свободного пробега носителей заряда превышает 20 мкм и ограничена шириной канала. Эти данные свидетельствуют, что фермионы Брауна–Зака являются блоховскими квазичастицами. Однако при низкой температуре некоторые мини-вееры показывают аномальное поведение, которое пока не объяснено теоретически. Возможно, что на основе фермионов Брауна–Зака будут созданы сверхбыстрые транзисторы и другие электронные компоненты. О графике и графеновой электронике см. в [2, 3].

2. Амплитуда рассеяния в квантовой гравитации. Построение теории квантовой гравитации сталкивается с проблемами неперенормируемости. T. Draper (Университет Неймегена, Нидерланды) и соавторы в своей теоретической работе [4] предложили новый вид эффективного квантового действия, при котором амплитуда рассеяния двух различных скалярных частиц посредством гравитационного поля остаётся конечной при больших энергиях. Действие включает пропагаторы специального вида, а в амплитуде возникает бесконечный массив взаимодействующих состояний с нулевым спином и полюсом со спином 2. Построенная теория удовлетворяет требованиям унитарности и микропрincipиности, а также становится масштабно-инвариантной при приближении к планковской энергии. В ней не требуется введения нелокальностей, характерных для теории струн. Пока была исследована только высокозергетическая область рассеяния, а инфракрасные расходимости, связанные с безмассостью гравитонов, не рассматривались. Предложенный новый вид действия может стать основой для построения теории различных элементарных процессов в квантовой гравитации. Об истории разработки теории квантовой гравитации см. в [5], а о нерешённых проблемах см. в [6].

3. Нарушение принципа эквивалентности для квантовых частиц. Слабый принцип эквивалентности утверждает, что движение свободной частицы в гравитационном поле не зависит от величины её массы. Его справедливость в квантовой области ставилась под сомнение из-за квантовых неопределённостей, не позволяющих говорить о траекториях частиц. Принцип эквивалентности мог бы нарушаться также из-за различия в эволюции волновых пакетов частиц с разными массами. J.Q. Quach (Аделаидский университет, Австралия) применил [7] для исследования данного аспекта принципа эквивалентности теорию Р. Фишера, в которой информация выражается интегральным образом через волновую функцию частицы, составляющую волновой пакет. Оказалось, что в статической метрике Шварцшильда квантовый принцип эквивалентности не нарушается. Однако в переменном поле гравитационной волны информация Фишера зависит от массы частицы. Это означает нарушение слабого принципа эквивалентности для квантовой частицы. Гравитационные волны излучаются, например, при слиянии двух чёрных дыр. Для единичных частиц экспериментально обнаружить нарушение пока не представляется возможным, однако J.Q. Quach указывает, что эффект может быть сильнее для конденсата куперовских пар в сверхпроводниках.

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

4. Металинзы. Металинзы, состоящие из периодического массива элементов на плоском основании, могут во многих случаях успешно заменять обычные выпуклые линзы. B. Xu (Нанкинский университет, Китай) и соавторы смонтировали металинзу непосредственно на сенсоре излучения (в данном случае на светочувствительной CMOS-матрице) и показали, что такая конструкция обладает рядом уникальных свойств [8]. По разрешению, отношению сигнал/шум и ширине поля зрения она может значительно превосходить другие аналоги. Достигнуто разрешение $\sim 1,74$ мкм при размере линзы порядка см. Также исследована двухфазная матрица из металинз, имеющая широкое поле зрения. Поскольку металинза изготовлена из кремния, она может быть легко интегрирована с CMOS-матрицами. Новая методика использования металинз может найти приложения, в частности, для микроскопии широкого поля. Об оптических метаматериалах см. в [9, 10, 11].

5. Газ в космических нитях. На масштабах сверхскоплений галактик вещество распределено в виде стенок, нитей и узлов, разделённых большими участками пустого пространства. Предполагается, что в этих структурах содержится значительная часть горячего газа во Вселенной. Этот газ уже был зарегистрирован по тепловому эффекту Сюняева–Зельдовича, но полученные данные не позволяли независимо определить его плотность и температуру из-за вырождения по наблюдательным параметрам. Некоторые свидетельства наличия газа ранее были получены и в рентгеновских наблюдениях. H. Tanigura (Институт космической астрофизики, Университет Париж-Сакле, Франция) и соавторы впервые с высокой достоверностью зарегистрировали [12] горячий газ в нитях по его рентгеновскому излучению. Статистическая выборка включает 15165 нитей из оптического обзора SDSS длиной 30–100 Мпк, находящихся на красных смещениях $0,2 < z < 0,6$. Исследовалась корреляция этих нитей с данными рентгеновских наблюдений обсерватории ROSAT. При этом исключались точечные источники и массивные скопления галактик. Таким путём со статистической значимостью $4,2\sigma$ было обнаружено излучение газа в диапазоне $0,56–1,21$ кэВ. Плотность газа на осиях нитей в 30 ± 15 раз превышает среднюю космологическую плотность газа, что согласуется с данными по тепловому эффекту Сюняева–Зельдовича. Однако измеренная температура газа $0,9_{-0,6}^{+1,0}$ кэВ в несколько раз выше. Для выявления источника этого расхождения требуются дальнейшие исследования. О межгалактическом газе см. в [13].

Список литературы

- Barrier J et al. *Nat. Commun.* **11** 5756 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19604-0>
- Шека Е Ф, Попова Н А, Попова В А *УФН* **188** 720 (2018); Sheka E F, Popova N A, Popova V A *Phys. Usp.* **61** 645 (2018)
- Ратников П В, Силин А П *УФН* **188** 1249 (2018); Ratnikov P V, Silin A P *Phys. Usp.* **61** 1139 (2018)
- Draper T et al. *Phys. Rev. Lett.* **125** 181301 (2020); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.181301>
- Горелик Г Е *УФН* **175** 1093 (2005); Gorelik G E *Phys. Usp.* **48** 1039 (2005)
- Казаков Д И *УФН* **189** 387 (2019); Kazakov D I *Phys. Usp.* **62** 364 (2019)
- Quach J Q *Eur. Phys. J. C* **80** 987 (2020); <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-08530-6>
- Xu B et al *Adv. Photon.* **2** 066004 (2020); <https://doi.org/10.1117/1.AP.2.6.066004>
- Кильдишев А В, Шалаев В М *УФН* **181** 59 (2011); Kildishev A V, Shalaev V M *Phys. Usp.* **54** 53 (2011)
- Давидович М В *УФН* **189** 1249 (2019); Davidovich M V *Phys. Usp.* **62** 1173 (2019)
- Ремнев М А, Климов В В *УФН* **188** 169 (2018); Remnev M A, Klimov V V *Phys. Usp.* **61** 157 (2018)
- Tanigura H et al *Astron. Astrophys.* **643** L2 (2020); <https://arxiv.org/abs/2011.05343>
- Иванов П Б и др. *УФН* **189** 449 (2019); Ivanov P B et al. *Phys. Usp.* **62** 423 (2019)