

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: СЕНТЯБРЬ 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.2025.08.040016>

1. Поиск частиц тёмной материи (ТМ). В эксперименте DAMA/LIBRA (Национальная лаборатория Гран Сассо, Италия) ведётся поиск рассеяния частиц ТМ на сцинтилляционных кристаллах NaI(Tl) с общей массой ≈ 250 кг и в течение 20 лет сообщается о наблюдении сезонных вариаций сигнала, соответствующих изменению потока ТМ через детектор при движении Земли по орбите [1, 2]. Но в других экспериментах с отличающимися методами детектирования или с меньшей набранной статистикой наличие подобных сезонных вариаций не подтверждалось. В эксперименте ANAIS-112 (Подземная научная лаборатория в Канфранке, Испания) применяются такие же кристаллы NaI(Tl) с общей массой $\approx 112,5$ кг, и за шесть лет получен объём статистических данных, достаточный для проверки результата DAMA/LIBRA о сезонных вариациях [3]. Однако на уровне достоверности 4σ сезонных вариаций также не обнаружено. Таким образом, весьма вероятно, что в данных эксперимента DAMA/LIBRA имеется неучтённая погрешность, имитирующая сезонные вариации потока ТМ. Природа ТМ, составляющей примерно 27 % массы Вселенной, до настоящего времени остаётся невыясненной. ТМ, если она состоит, например, из аксионов [4], может быть не детектируемой в экспериментах подобного типа.

2. Спин-триплетный экситонный диэлектрик. Экситонный диэлектрик представляет собой конденсат экситонов — связанных состояний электронов и дырок [5]. Фаза экситонного диэлектрика ранее уже наблюдалась в ряде материалов, но только в синглетном состоянии с одинаково направленными спинами электрона и дырки. J. Liu (Калифорнийский университет в Ирвайне, США) и соавторы в эксперименте с соединением NiTe_2 в магнитном поле впервые получили свидетельства спин-триплетного состояния [6]. С увеличением магнитного поля B происходил топологический переход Лифшица [7] в одномерную фазу Вейля и переход полуметалла в диэлектрик. Сохранение диэлектрического состояния до $B = 72$ Тл позволяет предположить образование коррелированной фазы, соответствующей спин-триплетному состоянию экситонного диэлектрика, а численное моделирование подтверждает эту интерпретацию. Спин-триплетная фаза интересна, в частности, тем, что она может проявлять необычные магнитные свойства, такие как спиновая сверхтекучесть.

3. Поперечный эффект Томсона. А. Takahagi (Нагойский университет, Япония) и соавторы впервые наблюдали в эксперименте поперечную версию известного термоэлектрического эффекта Томсона [8]. В обычном эффекте Томсона, обнаруженном ещё в XIX веке, скорость выделения тепла в единице объёма $\dot{q}$ пропорциональна вектору плотности электрического тока и градиенту температуры T в том же направлении. В поперечном эффекте Томсона, как показано в [8], $\dot{q}$ зависит от взаимно перпендикулярных плотности тока, градиента T и направления магнитного поля. Эксперимент проводился с поликристаллами $\text{Bi}_{88}\text{Sb}_{12}$, синтезированными методом искрового плазменного спекания. Для выделения термоэлектрического эффекта приложенное электрическое поле было промодулировано. Термография с помощью ИК-камеры в магнитном поле подтвердила переменное выделение тепла, соответствующее поперечному эффекту Томсона.

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

4. Мнимая часть задержки по времени. Во многих физических процессах переход из начального состояния в конечное происходит с задержкой по времени. Её математическое выражение через матрицу рассеяния имеет в общем случае комплексную форму. Действительная часть интерпретируется напрямую как время нахождения сигнала внутри рассеивающей системы, но смысл мнимой добавки оставался неясным. М. Asano и др. в 2016 г. показали теоретически, что комплексная часть должна описывать сдвиг центральной частоты волнового пакета в фурье-разложении сигнала. Исследователи из Мэрилендского университета в Колледж-Парке (США) I.L. Giovannelli и S.M. Anlage в своём эксперименте подтвердили эту интерпретацию [9]. С помощью осциллографа и сетевого анализатора наблюдалось прохождение микроволновых импульсов гауссовой формы через петлю, состоящую из двух неравных по длине коаксиальных кабелей. Зарегистрирован сдвиг на 0,48 МГц центральной частоты пакетов в фурье-разложении, выражаемый через мнимую часть задержки по времени в соответствии с теорией М. Asano и др.

5. Гравитационно-волновой всплеск GW231123. Среди событий слияния чёрных дыр (ЧД), зарегистрированных гравитационно-волновыми детекторами LIGO/Virgo/KAGRA, до последнего времени рекордно большой массой ЧД, образовавшейся в результате слияния, была $\sim 140 M_\odot$. В работе [10] представлены результаты наблюдений двумя детекторами LIGO события GW231123, в котором итоговая масса ЧД составляет уже $(190 - 265) M_\odot$, массы слившихся ЧД оцениваются как $137^{+22}_{-17} M_\odot$ и $103^{+20}_{-52} M_\odot$, а их безразмерные спины $\sim 0,9$ и $\sim 0,8$. Необычным свойством события GW231123 является то, что одна или обе слившиеся ЧД имели массы, попадающие в так называемый массовый зазор $(60 - 130) M_\odot$. В пределах данного интервала ЧД не могут формироваться из-за образования пар e^+e^- в ядре звезды и потери ею массы. Однако границы зазора известны неточно из-за теоретических неопределённостей. Наличие ЧД в пределах запрещённого зазора может объясняться слиянием звёзд перед гравитационным коллапсом или слиянием уже образовавшихся ЧД в плотном скоплении. Предшествующие слияния ЧД способны объяснить большую величину их угловых моментов, но сложностью этого механизма является вылет ЧД из скопления после слияния за счёт скорости отдачи. Также рассматривалась модель с первичными ЧД, имеющими массы внутри массового зазора и нарастившими спин в процессе аккреции [11]. Гипотеза о существовании первичных ЧД была предложена в 1965 г. Я.Б. Зельдовичем и И.Д. Новиковым [12].

Список литературы

1. Рябов В. А., Царев В. А., Цховребов А. М. *УФН* **178** 1129 (2008); Ryabov V. A., Tsarev V. A., Tskhovrebov A. M. *Phys. Usp.* **51** 1091 (2008).
2. Александров А. Б. и др. *УФН* **191** 905 (2021); Aleksandrov A. B. et al. *Phys. Usp.* **64** 861 (2021).
3. Amaré J. et al. *Phys. Rev. Lett.* **135** 051001 (2025) <https://doi.org/10.1103/ntnl-zrn9>.
4. Матвеев В. А. *УФН* **194** 1250 (2024); Matveev V. A. *Phys. Usp.* **67** 1180 (2024).
5. Келдыш Л. В. *УФН* **187** 1273 (2017); Keldysh L. V. *Phys. Usp.* **60** 1180 (2017).
6. Liu J. et al. *Phys. Rev. Lett.* **135** 046601 (2025) <https://doi.org/10.1103/bj2n-4k2w>.
7. Воловик Г. Е. *УФН* **188** 95 (2018); Volovik G. E. *Phys. Usp.* **61** 89 (2018).
8. Takahagi A. et al. *Nat. Phys.* **21** 1283 (2025) <https://doi.org/10.1038/s41567-025-02936-3>.
9. Giovannelli I. L., Anlage S. M. *Phys. Rev. Lett.* **135** 043801 (2025) <https://doi.org/10.1103/nnk7-xy4v>.
10. Abac A. G. et al. (The LIGO Scientific Collab., the Virgo Collab., the KAGRA Collab.), arXiv:2507.08219, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.08219>.
11. De Luca V., Franciolini G., Riotto A., arXiv:2508.09965, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.09965>.
12. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. *Астрон. журн.* **43** 758 (1966); Zel'dovich Ya. B., Novikov I. D. *Sov. Astron.* **10** 602 (1967).