

1. Закалка сверхпроводника давлением. Обнаруженная недавно комнатнотемпературная сверхпроводимость у гидридов имеет место лишь при гигантском давлении 267 ГПа. В связи с этим актуальной задачей стал поиск путей снижения давления с сохранением сверхпроводимости. L. Deng (Хьюстонский университет, США) и соавторы выполнили эксперимент, в котором на примере другого типа сверхпроводников — монокристаллов селенида железа FeSe — показано, что способом решения этой проблемы может стать закалка давлением — резкое снятие давления при низкой температуре [1]. Температура сверхпроводящего перехода FeSe составляет $T_c \sim 9$ К при атмосферном давлении и $T_c = 37$ К при давлении в несколько ГПа. Образцы FeSe сжимались в алмазной наковальне до 4,15 ГПа, охлаждались до 4,2 К, и затем давление резко снималось. После такой закалки образцы сохраняли $T_c = 37$ К при атмосферном давлении на протяжении 7 дней. Вероятным объяснением влияния закалки на T_c является переход между орторомбической и тетрагональной структурами кристаллической решётки, когда после закалки FeSe остаётся в метастабильной фазе. Полученные для FeSe результаты дают надежду, что закалка давлением может стабилизировать и сверхпроводники-гидриды. О высокотемпературных сверхпроводниках см. [2]. Создание комнатнотемпературных сверхпроводников лауреат Нобелевской премии по физике 2003 г. В.Л. Гинзбург относил к числу наиболее актуальных проблем физики [3].

2. Солитоны Таунса в двумерных системах. Расчёты показывают, что в двумерной системе солитоны устойчивы лишь при определённом соотношении между числом частиц и величиной константы взаимодействия. Такие солитоны, называемые "солитонами Таунса", активно изучались в нелинейной оптике. В. Bakkali-Hassani (Университет Сорбонны, Франция) и соавторы получили и исследовали солитоны Таунса в 2D смеси бозе-эйнштейновских конденсатов [4]. Примерно 10 % атомов конденсата ^{87}Rb , находящихся в состоянии $|F = 1, m_F = 0\rangle$, в пределах небольшой области с помощью лазера было переведено в состояние $|F = 2, m_F = 0\rangle$, и отслеживалось изменение со временем профиля получившегося солитона. При числе атомов 790 ± 40 солитон был наиболее устойчив и масштабно-инвариантен. В другом эксперименте С.-А. Chen и С.-Л. Hung получили набор обособленных солитонов Таунса в газе атомов цезия в 2D ловушке [5]. Нормированный профиль плотности совпадал с универсальным профилем солитона Таунса в широком диапазоне параметров, что подтверждало предсказываемую масштабную инвариантность. О солитонах в ультрахолодных газах см. [6, 7].

3. Дублоны в квантовом метаматериале. И.С. Беседин (НИТУ "МИСиС" и Российский квантовый центр в Сколково) и соавторы исследовали связанные фотонные пары (квазичастицы "дублоны") в квантовом метаматериале, представляющем собой одномерный массив из 11 сверхпроводящих кубитов [8]. В эксперименте впервые наблюдались краевые топологические состояния дублонов. Массив был создан из алюминиевых джозефсоновских контактов на кремниевой подложке методом испарения электронным пучком. Величина связи между кубитами чередовалась между сильной и слабой, что вело к появлению двух зон и краевых топологических состояний. По мере увеличения сигнала накачки сначала в кубитах возбуждались однофотонные моды, а затем двухфотонные. В обоих случаях наблюдалась локализация фотонов на краях цепочки, что соответствует топологическим краевым состояниям. О метаматериалах см. [9–11].

4. Коллективные моды в экситонном изоляторе. Возможность существования экситонных изоляторов была предсказана в 1968 г. Л.В. Келдышем и А.Н. Козловым [12, 13], а также независимо двумя зарубежными группами исследователей. Об экситонах (связанных состояниях электронов и дырок) см. [14, 15]. Некоторые свидетельства появления состояния экситонного изолятора, когда в веществе образуется экситонный конденсат, уже были получены в экспериментах, однако эти результаты оставались неоднозначными. А. Rao (Кавендишская лаборатория Кембриджского университета, Великобритания)

и его коллеги исследовали соединение Ta_2NiSe_5 и с помощью нового метода показали, что при комнатной температуре в нём, вероятно, возникает экситонный конденсат [16]. Применялся метод фемтосекундной спектроскопии с разрешением 10 фс и 10 нм. Импульс лазера накачки освещал на пластине Ta_2NiSe_5 пятно размером 400 нм. Более широкие пробные лучи просвечивали область вокруг пятна, и проходящее излучение регистрировалось CCD-камерой, что позволило наблюдать распространение когерентных осциллирующих волн, возбуждаемых импульсом накачки, в область вне пятна до расстояния 1 мкм со скоростью $1,5 \times 10^5$ м с⁻¹. Эти волны, вероятнее всего, являются результатом гибридизации фононных мод кристаллической решётки и коллективных мод экситонного конденсата, так как другие известные механизмы не способны объяснить наблюдаемую картину.

5. ПЭВ-ные гамма-источники в диске Галактики. Обсерватория LHAASO, расположенная в Китае на высоте 4,4 км над уровнем моря, регистрирует широкие атмосферные ливни (ШАЛ), вызываемые частицами космических лучей и гамма-фотонами. Массивом сцинтилляционных детекторов KM2A, входящим в состав LHAASO, менее чем за год наблюдений зарегистрировано 530 фотонов с энергиями от 100 ТэВ до 1,4 ПэВ. По кластеризации этих фотонов со статистической достоверностью $\geq 7\sigma$ было выявлено 12 гамма-источников, находящихся в плоскости диска Галактики [17] и имеющих угловые размеры до 1°. Один из источников совпадает с хорошо известной Крабовидной туманностью. Механизм генерации гамма-фотонов пока не выяснен, но предполагает наличие мощных ускорителей частиц ("ПэВатронов"). В окрестности каждого источника имеется несколько возможных кандидатов: пульсары, туманности пульсарного ветра, остатки сверхновых и молодые скопления массивных звёзд, однако, за исключением Крабовидной туманности, источники не идентифицированы. Возможно, что для объяснения высокой энергии фотонов потребуется разработка новых теоретических моделей источников. В коллаборации LHAASO принимают участие российские исследователи из ИЯИ РАН и МФТИ. О зарождении гамма-астрономии см. [18, 19].

Список литературы

- Deng L et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **118** e2108938118 (2021); <https://arxiv.org/abs/2104.05662>
- Еремеч М И, Дроздов А П *УФН* **186** 1257 (2016); Eremets M I, Drozdov A P *Phys. Usp.* **59** 1154 (2016)
- Гинзбург В Л *УФН* **172** 213 (2002); Ginzburg V L *Phys. Usp.* **45** 205 (2002)
- Bakkali-Hassani B et al. *Phys. Rev. Lett.* **127** 023603 (2021); <https://arxiv.org/abs/2103.01605>
- Chen C-A, Hung C-L *Phys. Rev. Lett.* **127** 023604 (2021); <https://arxiv.org/abs/2103.03156>
- Питаевский Л П *УФН* **186** 1127 (2016); Pitaevskii L P *Phys. Usp.* **59** 1028 (2016)
- Камчатнов А М *УФН* **191** 52 (2021); Kamchatnov A M *Phys. Usp.* **64** 48 (2021)
- Besedin I S et al. *Phys. Rev. B* **103** 224520 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.224520>
- Рыбин М В, Лимонов М Ф *УФН* **189** 881 (2019); Rybin M V, Limonov M F *Phys. Usp.* **62** 823 (2019)
- 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)
- Келдыш Л В, Козлов А Н *ЖЭТФ* **54** 978 (1968); Keldysh L V, Kozlov A N *Sov. Phys. JETP* **27** 521 (1968)
- Келдыш Л В *УФН* **187** 1273 (2017); Keldysh L V *Phys. Usp.* **60** 1180 (2017)
- Дурнев М В, Глазов М М *УФН* **188** 913 (2018); Durnev M V, Glazov M M *Phys. Usp.* **61** 825 (2018)
- Глазов М М, Сурис Р А *УФН* **190** 1121 (2020); Glazov M M, Suris R A *Phys. Usp.* **63** 1051 (2020)
- Bretschger H M et al. *Sci. Adv.* **7** eab6147 (2021); <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd6147>
- Cao Z et al. *Nature* **594** 33 (2021); <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03498-z>
- Лидванский А С *УФН* **188** 1019 (2018); Lidvansky A S *Phys. Usp.* **61** 921 (2018)
- Шпиринг К *УФН* **191** (12) (2021); <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.038998>; Spiering Ch *Phys. Usp.* DOI:10.3367/UFNe.2021.06.038998