

1. Многоатомные молекулы в ультрахолодном газе. Многоатомные молекулы в ультрахолодных газах представляют интерес для применения в устройствах квантовой информации, в исследованиях по неравновесной динамике и как сверхчувствительные сенсоры. Однако получение таких молекул сопряжено с рядом сложностей. Например, использование резонанса Фешбаха [1] позволило создать слабосвязанные трёхатомные молекулы NaK₂ при температуре 100 нК, но для более крупных молекул столкновительные потери разрушают резонанс. Х.-У. Chen (Институт квантовой оптики общества им. М. Планка и Мюнхенский центр квантовой науки и техники, Германия) и соавторы продемонстрировали новый метод получения тетраатомных молекул (NaK)₂ в ультрахолодном газе путём электроассоциации полярных молекул NaK меньшего размера [2]. Для связи пар NaK использовался резонанс рассеяния, вызываемый микроволновым полем. Связь компонент в (NaK)₂ значительно слабее обычных химических связей, но действует она на расстояниях, в сотни раз больших. Около 10³ молекул (NaK)₂ были получены при температуре 134 нК — в 3000 раз ниже той температуры, при которой тетраатомные молекулы получались ранее. А время жизни молекул составило ≈ 8 мс как в свободном состоянии, так и в оптической ловушке, что демонстрирует их устойчивость к столкновениям. Измерения, выполненные в процессе диссоциации молекул, показали анизотропию их волновой функции, совпадающую с ожидаемой анизотропией для r-волновой структуры молекул.

2. Второй звук в ферми-газе. Если в обычных веществах перенос тепла осуществляется диффузионно, то в сверхтекучей жидкости тепло может распространяться волновым путём в виде "второго звука", создаваемого несинфазным движением нормальной и сверхтекучей компонент. Хотя второй звук уже регистрировался в экспериментах, его волновое движение напрямую наблюдать не удавалось. Z. Yan и соавторы (Массачусетский технологический институт, США) продемонстрировали новый способ локального измерения температуры в ферми-газе и впервые наблюдали распространение второго звука в пространстве [3]. Метод основан на температурной чувствительности спектрального отклика молекул. В зависимости от температуры вырожденного газа спектральный максимум в радиочастотном диапазоне имеет различное положение, соответствующее разному соотношению числа фермионных пар и неспаренных атомов. Этот эффект позволил измерять локальную температуру и непосредственно видеть волнообразное распространение тепла, характерное для второго звука. О втором звуке в сверхтекучем гелии см. [4].

3. Магнитное пересоединение и плазмиды. Пересоединение магнитных силовых линий является важным фактором в космической плазме и в лабораторных экспериментах. При пересоединении поле меняет свою топологию, что сопровождается высвобождением магнитной энергии. В современном теоретическом описании этого явления классическая модель Свигт–Паркера дополняется процессом формирования магнитных островков, называемых плазмидами. Их наличие повышает темп пересоединения и выделения энергии. J.A. Peary (Массачусетский технологический институт, США) и соавторы выполнили эксперимент [5], в котором впервые наблюдались плазмиды в плазме

лазерного происхождения при большом отношении теплового давления к магнитному давлению $\beta \sim 10$. Пластиковая фольга подвергалась воздействию лазерных импульсов, и при её испарении возникали два пересекающихся пузыря плазмы. По механизму батареи Бирмана (за счёт смещённых градиентов температуры и плотности) в пузырях генерировалось магнитное поле и в нём происходило магнитное пересоединение, наблюдавшееся с помощью протонной радиографии. В структуре плазмы были видны плазмиды, предсказываемые теоретической моделью. О магнитном пересоединении см. [6, 7].

4. Первичные чёрные дыры как тёмная материя. Ранее коллаборациями MACHO и EROS (EROS-2) были обнаружены 13 событий микролинзирования в направлении Большого Магелланова облака — спутника нашей Галактики. Микролинзирование называется гравитационная фокусировка и усиление света звёзд объектами на луче зрения. По одной из гипотез, обнаруженные объекты представляют собой первичные чёрные дыры (ПЧД), возможность рождения которых в ранней Вселенной была обоснована Я.Б. Зельдовичем и И.Д. Новиковым [8] в 1966 г. Однако расчёты, основанные на плоской кривой вращения Галактики, говорили о том, что наблюдавшиеся объекты микролинзирования могут составлять не более ~ 10% от массы всей тёмной материи (ТМ). Недавно на основе наблюдений миллион звёзд телескопом Gaia были получены новые данные [9], возможно, требующие пересмотра прежних представлений о структуре Галактики. По этим данным, полная масса гало ТМ в несколько раз меньше, чем считалось ранее, а кривая вращения не плоская, а загибается вниз на расстояниях более 20 кпк от центра Галактики. J. Garcia-Bellido (Мадридский автономный университет, Испания) и M. Hawkins (Эдинбургский университет, Великобритания) построили на основе полученных данных 4-компонентную модель Галактики, включающую балдж, звёздный диск, газовое и тёмное гало, и пересмотрели прежние ограничения на ПЧД [10]. Ограничения в новой модели Галактики оказались существенно ослаблены, и ПЧД, если они ответственны за микролинзирование, могут составлять даже всю ТМ в Галактике. Исключением является область их масс вблизи ~ 0,01 M_☉, где ПЧД могут составлять не более ~ 20% или ~ 12% по данным MACHO или EROS-2 соответственно. Если такой вывод верен, то статус ПЧД как возможного кандидата на роль ТМ существенно укрепляется.

Список литературы

1. Питаевский Л П *УФН* **176** 345 (2006); Pitaevskii L P *Phys. Usp.* **49** 333 (2006)
2. Chen X-Y et al. *Nature* **626** 283 (2024) <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06986-6>
3. Yan Z et al. *Science* **383** 629 (2024) <https://doi.org/10.1126/science.adg3430>
4. Ефимов В Б *УФН* **188** 1025 (2018); Efimov V B *Phys. Usp.* **61** 929 (2018)
5. Peary J A et al. *Phys. Rev. Lett.* **132** 035101 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.035101>
6. Леденцов Л С, Сомов Б В *УФН* **185** 113 (2015); Ledentsov L S, Somov B V *Phys. Usp.* **58** 107 (2015)
7. Зелёный Л М, Малова Х В, Григоренко Е Е, Попов В Ю *УФН* **186** 1153 (2016); Zelenyi L M, Malova H V, Grigorenko E E, Popov V Yu *Phys. Usp.* **59** 1057 (2016)
8. Зельдович Я Б, Новиков И Д *Астрономический журнал*. **43** 758 (1966); Zel'dovich Ya B, Novikov I D *Sov. Astron.* **10** 602 (1967)
9. Ou X et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **528** 693 (2024)
10. Garcia-Bellido J, Hawkins M, arXiv:2402.00212, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.00212>