

1. Конденсат Бозе–Эйнштейна в космосе. D.C. Aveline (Лаборатория реактивного движения — JPL, США) и соавторы впервые получили бозе-эйнштейновский конденсат в условиях микрогравитации на борту Международной космической станции [1]. Конденсатом Бозе–Эйнштейна называют атомы-бозоны, накапливающиеся в состоянии с нулевой энергией при низких температурах. В экспериментах, выполняемых на Земле, сила тяготения затрудняет исследование конденсата. Для её компенсации опыты проводились в падающих установках, а также на самолётах и суборбитальных ракетах. Но оптимальные условия имеются на орбите Земли. В компактной установке, доставленной на МКС в 2018 г., атомы ^{87}Rb испытывают испарительное охлаждение в атомной ловушке и переводятся в требуемое начальное состояние. После охлаждения потенциал ловушки выключался и регистрировалось поглощение света на разлетающемся облачке атомов. Эти наблюдения показали, что в состоянии конденсата переходило в три раза больше атомов, чем в этой же установке на Земле, а время свободного разлёта облачка достигало рекордной величины ~ 1 с. Если на Земле основной помехой было гравитационное поле, то в космосе остаточные силовые воздействия на конденсат обусловлены квадратичным эффектом Зеемана. С помощью бозе-эйнштейновского конденсата на орбите планируются исследования фундаментальных эффектов квантовой механики и Общей теории относительности. О конденсатах Бозе–Эйнштейна см. [2–5], а об экспериментах в условиях микрогравитации см. [6].

2. Молекулярный мотор. O. Groning (Швейцарские Федеральные лаборатории материаловедения и технологий и Федеральная политехническая школа Лозанны, Швейцария) и его коллеги продемонстрировали в своём эксперименте [7] непрерывное вращение молекулы под действием квантового туннельного эффекта. В созданном ими "молекулярном моторе" вращающимся ротором служила единичная молекула ацетилена C_2H_2 , а неподвижным стартером — кластер из трёх атомов Pd на поверхности кристалла PdGa с нарушенной вращательной симметрией. Мотор имел размер менее 1 нм, и его составляли всего 16 атомов. Через иглу сканирующего туннельного микроскопа происходило туннелирование электронов в молекулу, которое вызывало её вращение в одном направлении с постоянной скоростью. Движение в противоположном направлении блокировалось атомами кристалла, аналогично действию храпового механизма в часах. При этом однонаправленность вращения превышала 97 %, что является рекордной величиной для созданных до сих пор молекулярных моторов. Вращение наблюдалось даже при температурах ниже 17 K, когда невозможно классическое вращение, что говорило о квантовом характере эффекта. В будущем в подобном эксперименте можно будет исследовать тонкие эффекты диссипации энергии в процессах с квантовым туннелированием. О молекулярных моторах и управлении движением наночастиц см. [8–10].

3. Кристалл Паули. M. Holten (Гейдельбергский университет, Германия) и его коллеги впервые наблюдали [11] кристалл Паули, в котором упорядоченное расположение атомов достигалось за счёт их фермионной природы без участия реальных сил взаимодействия. Утрахоленный газ атомов ^6Li был помещён в квазидвумерную оптическую ловушку с гармоническим потенциалом вдоль радиуса. В поперечном направлении атомы могли свободно перемещаться, взаимодействуя друг с другом как фермионы. Другие остаточные взаимодействия были скомпенсированы с помощью резонанса Фешбаха. Наблюдение атомов выполнялось по их флуоресцентному излучению на стадии свободного разлёта после выключения потенциала ловушки. Такие измерения были выполнены тысячи раз, и в распределении атомов по импульсам были обнаружены упорядоченные структуры. Они соответствовали кристаллам Паули, состоящим из нескольких атомов на трёх уровнях гармонического осциллятора. Также наблюдалось "плавление" кристалла Паули за счёт передачи ему дополнительной энергии при возмущениях потенциала ловушки.

4. Стирание квантовой информации. В 1982 г. M.O. Scully и K. Druhl предложили идею "квантового ластика". Она заключается в том, что если в эксперименте по квантовой интерференции не использовать

("стереть") полученную информацию о траектории частицы, то можно восстановить потерянную интерференционную картину. Эта схема уже была реализована в опытах с оптическими и микроволновыми фотонами. A. Bienfait (Чикагский университет, США) и соавторы впервые выполнили [12] эксперимент "квантового ластика" с поверхностными акустическими фонами (квантами колебательного движения). Применялся интерферометр Фабри–Перо, состоящий из фонованного канала на поверхности пьезоэлектрика с двумя сверхпроводящими кубитами на концах. Электромагнитные сигналы могли трансформироваться в фононы и обратно и регистрироваться кубитами. Для определения пути распространения фононов использовался второй фотон квантово запутанной пары. В случае определения пути интерференция отсутствовала, но поглощение второго фонона приводило к стиранию квантовой информации и восстановлению интерференционной картины. Малая скорость фононов позволила выполнить данные измерения по схеме эксперимента с отложенным выбором Уилера, когда решение о процессе стирания принимается уже после интерференции. О принципиальных положениях квантовой механики см. [13, 14].

5. Регистрация "потерянных барионов" с помощью быстрых радиовсплесков. Свойства реликтового излучения и теория первичного нуклеосинтеза говорят о том, что большая часть обычной барионной материи во Вселенной не излучает свет и поэтому невидима. J.-P. Macquart (Международный центр радиоастрономических исследований, Австралия) и соавторы реализовали [15] новый метод регистрации этих так называемых "потерянных барионов" путём наблюдения быстрых радиовсплесков, имеющих хорошую локализацию на небе. Локализация позволяет идентифицировать родительские галактики всплесков и тем самым определить их красное смещение. Поскольку мера дисперсии быстрых радиовсплесков зависит от количества электронов вдоль луча зрения, то по величине меры дисперсии и красному смещению источника можно найти полное количество ионизированного газа. Используя данные по нескольким быстрым радиовсплескам, авторы определили космологический параметр плотности барионов $\Omega_b \approx 0,051^{+0,021}_{-0,025}$. Таким образом, новый независимый метод подтвердил, что большая часть "потерянных барионов" действительно содержится в ионизированных облаках водорода в межгалактическом пространстве. О быстрых радиовсплесках см. [16], а о наблюдении газа во Вселенной см. [17].

Список литературы

1. Aveline D C et al. *Nature* **582** 193 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2346-1>
2. Кадомцев Б Б, Кадомцев М Б *УФН* **167** 649 (1997); Kadomtsev B B, Kadomtsev M B *Phys. Usp.* **40** 623 (1997)
3. Питаевский Л П *УФН* **176** 345 (2006); Pitaevskii L P *Phys. Usp.* **49** 333 (2006)
4. Каган М Ю, Турлапов А В *УФН* **189** 225 (2019); Kagan M Yu, Turlapov A V *Phys. Usp.* **62** 215 (2019)
5. Исаев Т А *УФН* **190** 313 (2020); Isaev T A *Phys. Usp.* **63** 289 (2020)
6. Фортвов В Е и др. *УФН* **174** 495 (2004); Fortov V E et al. *Phys. Usp.* **47** 447 (2004)
7. Stolza S et al. *PNAS*, онлайн-публикация от 15 июня 2020 г.; <https://doi.org/10.1073/pnas.1918654117>
8. Романовский Ю М, Тихонов А Н *УФН* **180** 931 (2010); Romanovsky Yu M, Tikhonov A N *Phys. Usp.* **53** 893 (2010)
9. Розенбаум В М, Шапочкина И В, Трахтенберг Л И *УФН* **189** 529 (2019); Rozenbaum V M, Shapochkina I V, Trakhtenberg L I *Phys. Usp.* **62** 496 (2019)
10. Гуляев Ю В и др. *УФН* **190** 337 (2020); Gulyaev Yu V et al. *Phys. Usp.* **63** 311 (2020)
11. Holten M et al., <https://arxiv.org/abs/2005.03929>
12. Bienfait A et al. *Phys. Rev. X* **10** 021055 (2020); <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.10.021055>
13. Кадомцев Б Б *УФН* **164** 449 (1994); Kadomtsev B B *Phys. Usp.* **37** 425 (1994)
14. Жёлтиков А М, Скалли М О *УФН* **190** 749 (2020); Zheltikov A M, Scully M O *Phys. Usp.* **63** (7) (2020)
15. Macquart J-P et al. *Nature* **581** 391 (2020); <https://arxiv.org/abs/2005.13161>
16. Попов С Б, Постнов К А, Пширков М С *УФН* **188** 1063 (2018); Popov S B, Postnov K A, Pshirkov M S *Phys. Usp.* **61** 965 (2018)
17. Щекинов Ю А и др. *УФН* **187** 1033 (2017); Shchekinov Yu A et al. *Phys. Usp.* **60** 961 (2017)