

1. Генерация энтропии при непрерывном измерении. Исследование связи энтропии и информации важно как с принципиальной точки зрения, так и для приложений в нанотехнологиях. В малых масштабах велика роль флуктуаций и квантовых эффектов, что вносит новые черты в поведение систем. В отличие от разовых измерений, влияние непрерывных квантовых измерений, в каждый момент обуславливающих дальнейшую эволюцию системы, на общий баланс энтропии ранее экспериментально не изучалось. М. Rossi (Копенгагенский университет, Дания) и соавторы впервые выполнили такое исследование [1]. С помощью пробного луча лазера гомодинным методом непрерывно наблюдалось положение колеблющейся мембраны в оптическом резонаторе, что позволило регистрировать индивидуальные квантовые траектории данной оптомеханической системы. По форме квантовых траекторий найдено производство энтропии, обусловленное непрерывным процессом измерения как в стационарном случае, так и при релаксации после короткого воздействия на систему, и было отмечено большое влияние флуктуаций на этот процесс. О квантовых измерениях см. в [2, 3].

2. Взаимодействие двух временных кристаллов. В экспериментах уже были продемонстрированы временные кристаллы, предсказанные Ф. Wilczek [4]. Их свойства повторяются во времени, подобно периодическому расположению атомов в обычном кристалле. S. Autti (Университет Аалто, Финляндия и Ланкастерский университет, Великобритания) и соавторы впервые исследовали взаимодействие двух временных кристаллов между собой [5]. Временные кристаллы были созданы в бозе-эйнштейновском конденсате магнов в сверхтекучей фазе "В" жидкого гелия-3, находящегося при температуре 130 мК в магнитном поле. Один из временных кристаллов возникал в объёме конденсата, а второй — на поверхности. С помощью методики ядерного магнитного резонанса наблюдались характерные периодические движения временных кристаллов, связанные с когерентной спиновой прецессией. Между кристаллами имелся перешеек, по которому происходил обмен магнонами. Это вызывало джозефсоновские колебания с частотой, равной разности частот двух временных кристаллов. Дополнительное взаимодействие кристаллов возникало за счёт того, что объёмный кристалл вносил возмущения в потенциал, удерживающий поверхностный кристалл. Наблюдаемое поведение взаимодействующих временных кристаллов было успешно воспроизведено в численном моделировании. В будущем станет возможным исследовать и более сложные взаимодействия временных кристаллов, включая их столкновения. О бозе-эйнштейновской конденсации магнов см. в [6].

3. Исследования квантовых состояний молекул. К. Najafian (Базельский университет, Швейцария) и соавторы разработали новую методику фазово-чувствительных измерений структуры квантовых уровней в молекулах при их взаимодействии с другими молекулами в оптическом поле [7]. Исследуемые молекулярные ионы $^{14}\text{N}_2^+$ и вспомогательные ионы $^{40}\text{Ca}^+$ были помещены в оптическую решётку, формируемую лучами лазера. На $^{14}\text{N}_2^+$ действовали две переменные силы, разность фаз которых можно было изменять в эксперименте, регистрируя при этом штарковский сдвиг уровней. Исследования, проведённые при различных вращательных состояниях молекул $^{14}\text{N}_2^+$, позволили классифицировать их электронные и колебательные уровни. Новая методика может оказаться полезной для исследования молекул с плотным расположением квантовых уровней, когда применение обычных спектроскопических методов затруднительно. О взаимодействии молекул с лазерным излучением см. в [8].

4. Квантовая астрономия. В последние годы были выполнены эксперименты по квантовой телепортации состояний частиц, в том числе на расстояние в тысячи км со спутника на Землю. А. Berera (Эдинбургский университет, Великобритания) рассмотрел теоретически вопрос о том, какое максимальное расстояние могут преодолевать фотоны в межзвёздной среде, сохраняя квантовую когерентность [9], например, являясь фотонами квантово запутанной пары. По пути в Галактике фотоны взаимодействуют со свободными электронами, с атомами и молекулами, а также с фотонами межзвёздного фона. Рассмотрение этих элементарных процессов приводит к выводу о том, что фотоны радиодиапазона могут без рассеяния преодолевать расстояния от ~ 100 до $\sim 10^6$ пк, превышающее в последнем случае размер Галактики. Дополнительной помехой, приводящей к вращению плоскости поляризации (разрушению когерентности по спиновым состояниям) могут служить межзвёздные магнитные поля. Ещё большие, космологические расстояния могут преодолевать фотоны рентгеновского излучения. Не исключено, что в космосе есть объекты, при наблюдении которых может быть выявлена квантовая когерентность их излучения, например, гипотетические космические струны или испаряющиеся первичные чёрные дыры.

5. Гравитационные волны от слияния рекордно массивных чёрных дыр. Два гравитационно-волновых детектора, LIGO и детектор Virgo, зарегистрировали [10] гравитационный всплеск GW190521, который произошёл от слияния чёрных дыр (ЧД) с массами $85^{+21}_{-14} M_\odot$ и $66^{+17}_{-18} M_\odot$ на красном смещении $z \simeq 0.8$. Отношение сигнал/шум в данном наблюдении составляет 14,7. Масса большей ЧД, а также общая масса двух ЧД $\sim 150 M_\odot$ являются рекордно большими среди всех событий LIGO/Virgo, зарегистрированных до сих пор. По существующей классификации итоговая ЧД с массой $\sim 142 M_\odot$, возникшая в результате слияния и излучения гравитационных волн, является ЧД промежуточной массы — между массами ЧД звёздного происхождения и массами сверхмассивных ЧД в ядрах галактик. Происхождение наиболее массивной из двух слившихся ЧД пока не ясно, так как образование ЧД такой массы при эволюции звезды маловероятно из-за эффекта парной нестабильности. Возможно, сама эта ЧД ранее образовалась в результате слияния двух ЧД с меньшими массами. О свойствах двойных ЧД по данным наблюдений LIGO/Virgo см. в [11].

Список литературы

- Rossi M et al. *Phys. Rev. Lett.* **125** 080601 (2020); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.080601>
- Кадомицев Б Б *УФН* **165** 967 (1995); Kadomtsev B B *Phys. Usp.* **38** 923 (1995)
- Жёлтиков А М *УФН* **188** 1119 (2018); Zheltikov A M *Phys. Usp.* **61** 1016 (2018)
- Wilczek F *Phys. Rev. Lett.* **109** 160401 (2012)
- Autti S, Heikkinen P J, Mäkinen J T, Volovik G E, Zavjalov V V, Eltsov V B, *Nature Materials*, онлайн-публикация от 17 августа 2020 г.; <https://doi.org/10.1038/s41563-020-0780-y>
- Каганов М И, Пустыльник Н Б, Шалаева Т И *УФН* **167** 191 (1997); Kaganov M I, Pustyl'nik N B, Shalaeva T I *Phys. Usp.* **40** 181 (1997)
- Najafian K et al. *Nature Commun.* **11** 4470 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18170-9>
- Исаев Т А *УФН* **190** 313 (2020); Isaev T A *Phys. Usp.* **63** 289 (2020)
- Berera A, arXiv:2009.00356 [hep-ph]; <https://arxiv.org/abs/2009.00356>
- Abbott R et al. *Phys. Rev. Lett.* **125** 101102 (2020); <https://arxiv.org/abs/2009.01075>
- Постнов К А, Куранов А Г, Митичкин Н А *УФН* **189** 1230 (2019); Postnov K A, Kuranov A G, Mitichkin N A *Phys. Usp.* **62** 1153 (2019)