

1. Энтропийное соотношение неопределённостей для времени и энергии

Квантовое соотношение неопределённостей для времени и энергии может быть записано в нескольких вариантах и по-разному интерпретируется. Например, ширина энергетического уровня связывается со временем его жизни до распада. Л.И. Мандельштам и И.Е. Тамм в 1945 г., используя уравнение Шрёдингера, установили связь между временем перехода системы из одного состояния в другое и разностью энергий этих состояний. Полученное ими выражение также имеет вид соотношения неопределённостей. Различие интерпретаций связано отчасти с тем, что соотношение неопределённостей время–энергия нельзя записать в виде неравенства Робертсона, так как в общем случае не существует эрмитова оператора, соответствующего времени. Ранее уже предпринимались попытки сформулировать соотношения неопределённостей в энтропийной форме, где вместо самих величин фигурирует энтропия состояний или вероятности переходов. Этот подход был успешно реализован для переменных координата–импульс, но для времени и энергии энтропийное соотношение удавалось записать только для почти периодических процессов. P.J. Coles (Лос-Аламосская национальная лаборатория, США) и соавторы в своей теоретической работе получили энтропийное соотношение неопределённостей время–энергия для общего случая не зависящего от времени гамильтониана, описывающего систему. Новое соотношение имеет вид неравенства, в котором сумма условных энтропий, связанных с состояниями по энергии, больше или равна логарифму от меры времени (дискретного или непрерывного). Энтропийное соотношение неопределённостей время–энергия может найти применения в квантовой криптографии.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **122** 100401 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.100401>

2. Охлаждение путём квантовых измерений

Классическое охлаждение системы может осуществляться за счёт работы внешней силы (как в обычных холодильниках) или путём сортировки молекул (демон Максвелла). В последнем случае требуется петля обратной связи, по которой передаётся информация о скоростях молекул. М. Sampisi (Университет Флоренции, Италия) и его коллеги показали теоретически, что можно охладить систему путём выполнения над ней квантовых измерений даже без петли обратной связи. Была исследована схема с двумя кубитами, соединёнными с тепловыми резервуарами. Охлаждение осуществляется в два этапа. Сначала выполняются определённые измерения состояний кубитов, а затем происходит обмен энергией между кубитами и резервуарами. Авторы показали, что процесс измерений можно выполнить таким образом, что энергия переходит от холодного резервуара к кубитам и одновременно передаётся от кубитов горячему резервуару. То есть имеет место квантовое охлаждение. На практике подобное охлаждающее устройство можно будет реализовать с помощью твердотельных сверхпроводящих кубитов.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **122** 070603 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.070603>

3. Второй звук в графите

Второй звук (волнообразный перенос тепла фононами), возможность которого была предсказана Л. Тиссой и Л.Д. Ландау, наблюдался в жидком гелии и в некоторых твёрдых веществах. Расчёты показывали, что второй звук возможен также в графене и в графите в достаточно широком температурном диапазоне. Группой исследователей из Массачусетского технологического института (США) впервые обнаружен второй звук в поликристаллическом графите с природным изотопным составом при температурах ~ 85 – 150 К. Короткие лазерные импульсы вызывали нагрев образца и создавали пространственно-синусоидальное распределение его температуры за

счёт интерференции света. Для мониторинга распространения тепла наблюдалась дифракция света непрерывного лазера на колебаниях поверхности образца с высоким разрешением по времени. Область нагрева быстро перемещалась вдоль образца, не изменяя своей ширины. Это говорило о том, что тепло передавалось не обычным диффузионным путём, а волновым образом — посредством второго звука. Данные эксперимента хорошо согласуются с вычислениями "из первых принципов" (решение уравнений Больцмана). В частности, подтверждено, что скорость второго звука в графите заключена между скоростями медленной и быстрой поперечных звуковых волн. Второй звук может иметь важное значение для охлаждения микроэлектронных устройств.

Источник: *Science*, онлайн-публикация от 14 марта 2019 г.
<https://doi.org/10.1126/science.aav3548>

4. Когерентное поглощение в неупорядоченной среде

В 2011 г. в эксперименте уже был реализован так называемый "антилазер", в котором происходило полное когерентное поглощение света. Однако он был сконструирован на основе регулярной среды — монокристалла сапфира. К. Pichler (Институт теоретической физики Венского технического университета, Австрия) и соавторы впервые создали "антилазер" в неупорядоченной среде, работающий в микроволновом диапазоне. Среда из цилиндрических тефлоновых элементов помещалась в прямоугольный металлический волновод. На этих расположенных хаотически цилиндрах происходило рассеяние электромагнитных волн. Входящий микроволновый сигнал формировался с помощью набора антенн на входе в волновод, а на выходе из волновода регистрировалось прошедшее излучение. В центре волновода помещалась монополярная антенна (металлический штырь), которая поглощала сигнал. Для получения полного поглощения не требуется знать расположение всех неоднородностей среды, а достаточно найти лишь компоненты матрицы рассеяния, размерность которой в данном эксперименте соответствует восьми каналам волновода. Информация о матрице рассеяния, полученная путём предварительных измерений, позволяет сконфигурировать входящий волновой фронт по фазам и амплитудам таким образом, что вектор Умова–Пойнтинга будет направлен по линиям, которые в конечном итоге входят в центральную антенну, в результате чего почти вся энергия поглощается этой антенной. В эксперименте удалось достичь эффективности поглощения 99,78 %. Об истории теоретического исследования "антилазеров" см. в *УФН* **187** 879 (2017)

Источник: *Nature* **567** 351 (2019)
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-0971-3>

5. Изотропия расширения Вселенной

Наиболее точные тесты изотропии ранней Вселенной выполняются путём наблюдения реликтового излучения, которое отщепилось от вещества в ранние космологические эпохи. Но интересен вопрос об изотропии Вселенной и в более позднее время ($z \leq 1$), когда во Вселенной начала доминировать по плотности тёмная энергия. J. Soltis (Мичиганский университет, США) и соавторы разработали новый непараметрический тест статистической изотропии расширения Вселенной и применили его к примерно тысяче сверхновых типа Ia. Для каждой сверхновой использовалась информация о её звёздной величине в зависимости от красного смещения z с поправкой на пекулярные скорости. По вариациям распределения сверхновых по небесной сфере можно судить об изотропии расширения Вселенной. Получено, что среднеквадратическое пространственное изменение параметра Хаббла не превышает 1 % при $z \leq 1$ на уровне достоверности 99,7%, т.е. современная Вселенная с высокой степенью точности расширяется изотропно.

Источник: <https://arxiv.org/abs/1902.07189>

Подготовил Ю.Н. Ерошенко (e-mail: erosh@ufn.ru)