

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET**

(по материалам электронных препринтов)

PACS number: 01.90.+g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.07.038627>**1. Квантовая стрела времени**

Несмотря на то что уравнение Шредингера обратимо по времени, измерения делают квантовые процессы необратимыми, и пока в квантовой теории не удается объяснить эту необратимость исчерпывающим образом. Одним из подходов является введение квантовой энтропии. K.W. Murch (Институт материаловедения и инженерии и Университет Вашингтона в Сент-Луисе, США) и его коллеги выполнили эксперимент, в котором показано существование квантовой стрелы времени для открытой системы, испытывающей обратное влияние процесса измерений. Система представляла собой сверхпроводящий трансмонный кубит, связанный с электромагнитной модой в микроволновом волноводе. Квантовые состояния кубита измерялись по сдвигу фазы отраженного сигнала, а импульс с противоположным сдвигом фазы приводил к обратной эволюции состояния кубита. Серия последовательных измерений задавала квантовую траекторию кубита. Было измерено 280 тыс. квантовых траекторий, и вычислена энтропия, связанная с вероятностью траекторий. Это позволило охарактеризовать стрелу времени как направление наиболее вероятных процессов, а именно преобладание прямых траекторий над обратными. С увеличением продолжительности цепочки измерений необратимость (преобладание прямых траекторий) нарастала, что также подтверждало наличие квантовой стрелы времени. О классической и квантовой необратимости см. в книге *Динамика и информация* Б.Б. Кадомцева, а также в его обзорах и статьях в УФН **173** 1221 (2003); **166** 651 (1996); **165** 967 (1995) и **164** 449 (1994).

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 020502 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.020502>

2. Телепортация кутрита

К настоящему времени выполнено множество экспериментов по квантовой телепортации состояний частиц без перемещения их самих. Однако эксперименты были выполнены лишь с двумерными подпространствами квантованных уровней, представляемых кубитами. Y.-H. Luo (Научно-технический университет Китая и Центр передового опыта в области квантовой информации и квантовой физики, Китай) и соавторы предложили схему телепортации фотонных квантовых состояний любой размерности и продемонстрировали её в эксперименте на примере телепортации кутрита, соответствующего трёхмерному подпространству. В этой схеме отправитель и получатель сначала обмениваются фотонами в трёхмерном запутанном состоянии. Затем отправитель производит измерения, создавая интерференцию между ранее распределённым состоянием фотонов, состоянием телепортируемого и вспомогательного фотонов. Получателю направляется информация о результатах измерений по классическому каналу, и он, выполнив унитарное преобразование над своей частью запутанного состояния, воспроизводит телепортируемое квантовое состояние. В эксперименте запутанные по траекториям трёхмерные состояния фотонных пар получались с помощью лазеров, сплиттеров и нелинейных кристаллов. Была достигнута квантовая точность 0,75 и подтверждено наличие трёхмерной телепортации. Телепортация с большими размерностями более устойчива к шумам в линии передачи по сравнению с кубитной связью.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 070505 (2019)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.070505>

3. Высокоселективный полосовой фильтр

Микроволновые полосовые фильтры находят широкое применение в средствах связи, радиоизмерениях и в других областях радиоэлектроники. Полосовые фильтры непрерывно совершенствуются. Одним из направлений является разработка эффективных фильтров на основе проводящих полосок с различной конфигурацией. Исследо-

ватели из Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН и Сибирского федерального университета (г. Красноярск) сконструировали фильтр с уникальными характеристиками и продемонстрировали его работу. Фильтр смонтирован на диэлектрической подложке. На одной стороне подложки помещается ленточный проводник с заглушкой, а на другой стороне — ленточные проводники, соединённые с экраном. В формировании узкой полосы пропускания участвуют две из трёх первых резонансных мод, а третья мода формирует минимум коэффициента передачи рядом с полосой пропускания. Б.А. Беляев с соавторами с помощью компьютерного моделирования подобрали оптимальные размеры и расположение ленточных проводников. Затем было изготовлено устройство-прототип из четырёх таких фильтров. Устройство имеет характеристику высокоселективного полосового фильтра восьмого порядка с центральной частотой $f_0 = 0,52$ ГГц и относительной шириной полосы 14 %, а полоса затухания продолжается до $\sim 5f_0$. Тем самым по своим избирательным свойствам новый фильтр превосходит имеющиеся аналоги.

Источник: *Tech. Phys. Lett.* **45** 485 (2019)
<https://doi.org/10.1134/S1063785019050225>

4. Эффект Аскарьяна**и поиск нейтрино сверхвысоких энергий**

В 1961 г. выдающийся советский физик Г.А. Аскарьян предсказал теоретически эффект генерации вспышек когерентного радиоизлучения Вавилова–Черенкова при прохождении высокоэнергетических фотонов через вещество (ЖЭТФ **41** 616 (1961); УФН **144** 523 (1984)). Фотоны вызывают электромагнитные ливни, которые на своём пути ионизируют атомы, выбивая из них дополнительные электроны в направлении ливня. Одновременно с этим позитроны выбывают из состава ливня в результате аннигиляции. В результате избыток отрицательного заряда в ливне может достигать $\sim 10\%$, и нескомпенсированные заряды генерируют излучение Вавилова–Черенкова. Коротковолновое (по сравнению с размерами ливня) излучение гасится интерференцией, а длинноволновое даёт когерентный импульс. Впервые этот эффект наблюдался экспериментально на ускорителе SLAC. Эффект Аскарьяна является перспективным методом регистрации частиц космических лучей в области больших энергий. Поиск нейтрино в сверхвысоких энергиях по методу Аскарьяна в настоящее время выполняется детекторами ARA (Ascaryan Radio Array) на Южном полюсе. Идея использовать для этой цели антарктический лёд принадлежит сотрудникам ИЯИ РАН В.А. Гусеву, И.М. Железных и М.А. Маркову. Массив ARA включает пять радиоантенн, расположенных во льду на глубине 200 м. Согласно расчётам, в сверхвысоких энергиях могут как генерироваться непосредственно в астрофизических объектах, так и быть космогенными, т.е. возникать при взаимодействии космических лучей с фоновыми излучениями (космогенные в были предсказаны В.С. Березинским и Г.Т. Зацепиным в 1969 г.). На конференции по космическим лучам в Мэдисоне коллаборация ARA представила результаты поиска в 2013–2016 гг. ливней, производимых в. Сигналы над уровнем фона зарегистрированы не были, но были улучшены в два раза полученные ранее ARA ограничения сверху на диффузный поток v . По своей чувствительности при энергиях $> 10^{10}$ ГэВ ARA уже начинает конкурировать с другими нейтринными телескопами, и в течение следующих трёх лет ARA может дать самые лучшие ограничения либо зарегистрировать в сверхвысоких энергиях. В качестве мишени для генерации радиоимпульсов Г.А. Аскарьян рассматривал также вещество Луны (см. УФН **182** 793 (2012)).

Источник: <https://arxiv.org/abs/1907.11125>
 Подготовил Ю.Н. Ерошенко
 (e-mail: erosh@ufn.ru)