

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

(по материалам электронных препринтов)

PACS number: 01.90.+g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.12.038697>**1. Частица X17**

В 2016 г. в эксперименте А.Д. Krasznahorkay (Институт ядерных исследований, Дебрецен, Венгрия) и соавторов была зарегистрирована аномалия в угловых корреляциях электронов и позитронов, рождающихся при внутриядерных переходах в ядрах  ${}^8\text{Be}$  (см. *Phys. Rev. Lett.* **116** 042501 (2016)). Эта аномалия была интерпретирована как рождение и распад новой частицы, названной X17, с массой  $\simeq 17$  МэВ. Данный результат привлёк большое внимание, так как X17 могла бы объяснить, например, тёмную материю или расхождения в измерениях аномального магнитного момента мюона, либо она может являться бозоном-переносчиком новой силы. А.Д. Krasznahorkay и соавторы в усовершенствованном эксперименте с новыми детекторами проверили и уточнили прежние результаты с  ${}^8\text{Be}$ , а также выполнили новые измерения с ядрами  ${}^4\text{He}$ . Исследовался электромагнитно-запрещённый переход  $0^- \rightarrow 0^+$  в ядрах  ${}^4\text{He}$ , рождавшихся при обстреле водородной мишени пучком протонов. Фон, создаваемый преимущественно космическими лучами, измерялся две недели до и две недели после самого эксперимента и был вычен из результатов измерений. Дополнительный пик, соответствующий рождению новой частицы с той же массой  $\simeq 17$  МэВ, что и в случае ядер  ${}^8\text{Be}$ , наблюдался как в энергетическом спектре со статистической значимостью  $7.1\sigma$ , так и в угловых корреляциях  $e^+e^-$  со значимостью  $7.2\sigma$ . В эксперименте NA64, проводимом в ЦЕРНе, недавно был выполнен поиск частиц с предполагаемыми свойствами частицы X17. Новые частицы не зарегистрированы, но был существенно ограничен диапазон величин их взаимодействия с электронами. Тем не менее пока остаётся широкая разрешённая область. Проверка гипотезы о рождении частицы X17 может быть выполнена в нескольких независимых экспериментах, которые будут проведены в ближайшие годы.

Источник: <https://arxiv.org/abs/1910.10459>**2. Спиновая тепловая машина**

Исследование микроскопических и квантовых тепловых машин представляет большой интерес для нанотехнологий. Недавно термодинамический цикл был реализован на единичном ионе в ловушке. Однако тепловая энергия значительно превышала расстояния между квантовыми уровнями энергии, что делало эту тепловую машину в значительной мере классической. В новом эксперименте J.P.S. Peterson (Университет Уотерлу, Канада) и соавторов удалось достичь режима, при котором тепловая машина требует квантового описания. Методом ЯМР-спектроскопии изучалась квантовая версия цикла Отто в растворе  $\text{CHCl}_3$  в ацетоне. Спины 1/2 ядер  ${}^{13}\text{C}$  служили рабочим телом тепловых машин, а ядерные спины  ${}^1\text{H}$  использовались как переносчики тепла. При этом горячий и холодный резервуары были представлены, соответственно, высокочастотным и низкочастотным радиоизлучением. Стадии цикла Отто также запускались с помощью радиоимпульсов. Хотя рабочее тело тепловых машин состояло из  $10^{17}$  молекул, из-за их слабого взаимодействия между собой они вели себя независимо, и в эксперименте изучались усреднённые характеристики. Измерения показали, что тепловая машина действительно работает на квантовом уровне, когда определяющую роль играют квантовые флуктуации. Её КПД равен 42 %, что близко к верхнему пределу 44% для цикла Отто, а производимая в одном цикле на единичном спине работа составляла несколько пэВ.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 240601 (2019)  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.240601>**3. Квантовый аналог неравенства Пенроуза**

В теории гравитации известны несколько важных теорем, для справедливости которых необходимо светоподобное (изотропное) условие энергодоминантности (null energy condition, NEC) (см. *УФН* **184** 137 (2014)), нарушающее некоторыми видами так называемой экзотической материи. Одной из этих теорем является неравенство Пенроуза, связывающее минимальную

массу тела с площадью охватывающей его ловушечной поверхности. Исследователи из США и Испании (R. Bousso, A. Shahbazi-Moghaddam и M. Tomasevic) явно показали, что неравенство Пенроуза также нарушается в присутствии экзотической квантовой материи, и получили его обобщение на квантовый случай. Основной идеей их подхода является замена площади ловушечной поверхности на обобщённую энтропию на световом листе. Поскольку обобщённая энтропия может выражаться в терминах квантовых степеней свободы, этот метод в будущем может оказаться полезным при построении теории теории квантовой гравитации. Также в новой работе был введён квантовый аналог объёмного расхождения, и с его помощью дано новое определение ловушечной поверхности. С помощью этих определений был сформулирован квантовый аналог неравенства Пенроуза и продемонстрирован его применение на простых примерах.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 241301 (2019)  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.241301>**4. Электрический волновод в графене**

Возможности переноса через нанопроволоки информации, заключённой в квантовых состояниях электронов, ограничена малой длиной свободного пробега электронов в нанопроволоках. В графене (слой углерода толщиной в один атом) заряды ведут себя как дираковские безмассовые квазичастицы и могут переноситься на большие расстояния, но проблемой оставалось создание узконаправленного потока этих квазичастиц. A. Cheng (Гарвардский университет, США) и соавторы применили в качестве направляющего устройства углеродную нанотрубку. Графен был заключён между слоями изолятора, и поверх одного из слоёв была помещена нанотрубка. Между нанотрубкой и графеном поддерживалась разность потенциалов, которая создавала вдоль нанотрубки потенциальную яму. По ней в графене могли двигаться дираковские фермионы в режиме единичной моды волновода. Эта конфигурация концептуально похожа на оптоволокно, по которому передаются фотоны. В эксперименте был продемонстрирован перенос фермионов на расстояние в 500 нм, ограниченное размерами устройства. Нанотрубка одновременно служила зарядовым сенсором, с помощью которого выполнялись измерения, подтвердившие работу устройства в качестве волновода. О графеновой электронике см. в обзоре в *УФН* **188** 1249 (2018).

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **123** 216804 (2019)  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.216804>**5. Крутильные альвеновские волны**

Исследователи из Норвегии, Великобритании и Франции впервые напрямую наблюдали крутильные альвеновские волны при вспышке на Солнце. Теоретически предсказывалось, что крутильные альвеновские волны принимают участие в переносе энергии между различными слоями солнечной атмосферы, однако ранее в наблюдениях были получены лишь косвенные данные об их существовании. Наблюдать эти волны сложно из-за того, что плотность плазмы и, соответственно, её светимость в крутильных колебаниях однородна. P. Kohutova, E. Verwichte и C. Froment изучили вспышку, произшедшую 9 декабря 2015 г. с выбросом потока плазмы в короне Солнца (о корональных процессах см. в *УФН* **178** 1165 (2008) и *УФН* **189** 905 (2019)). Высвобождение энергии в магнитной трубке в процессе пересечения магнитных силовых линий возбудило в плазме крутильные движения. Использовались данные спектрографа IRIS, измеряющего доплеровский сдвиг в линиях кремния и магния, что позволило наблюдать как эволюцию скорости плазмы со временем, так и распределение скорости поперёк потока. Полученные данные соответствовали крутильным альвеновским волнам, распространяющимся со скоростью 140 км  $\text{s}^{-1}$ .

Источник: <https://arxiv.org/abs/1912.03954>

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