

1. Резонансное событие на IceCube. С помощью нейтринного телескопа IceCube впервые зарегистрировано резонансное взаимодействие электронного антинейтрино $\bar{\nu}_e$ с электроном посредством W^- -бозона [1]. Этот процесс называется резонансом Глэшоу, который предложил регистрировать мюоны, возникающие в реакции $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow W^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \mu^-$, полагая, что масса бозона — переносчика взаимодействия составляет ~ 1 ГэВ [2]. Позже В.С. Березинский и А.З. Газизов разработали теорию распада W^- с массой 30–100 ГэВ в адронном канале, ориентируясь на модель Вайнберга–Салама, которая ещё не была подтверждена экспериментально. Данный процесс является аналогом резонанса Глэшоу, но отличается от него по конечным продуктам. В том числе рассматривались распады на кварк-антикварковые пары с учётом цвета. В [3, 4] было показано, что ширина резонанса, а значит и ожидаемое число каскадов, значительно больше, чем считалось ранее. При этом резонансный пик должен быть заметен на фоне нерезонансных процессов рассеяния нейтрино на нуклонах. В.С. Березинский и А.З. Газизов предлагали искать резонансный W^- -бозон в глубоководном эксперименте типа DUMAND. В настоящее время телескопом IceCube просматривается кубический километр льда Антарктиды на глубинах 1,45–2,45 км. Фотоумножители регистрируют излучение Вавилова–Черенкова, производимое вторичными заряженными частицами, и в поиске нейтринных событий задействованы алгоритмы машинного обучения. Частица $\bar{\nu}_e$ вызвала каскад частиц с полной измеренной энергией $6,05 \pm 0,72$ ПэВ, что соответствует предсказываемой величине 6,32 ПэВ и с достоверностью 5σ классифицируется как астрофизическое антинейтрино. Зарегистрированное на IceCube событие с учётом известной в настоящее время массы W^- -бозона согласуется с расчётами [3, 4]. Нейтрино высоких и сверхвысоких энергий могли бы рождаться в активных ядрах галактик [5], в догалактических звёздах [6] или же быть космогенными [7]. Наблюдение $\bar{\nu}_e$ ограничивает модели возможных космических источников этих частиц, так как в некоторых моделях рождение антинейтрино, в отличие от нейтрино, маловероятно. Наблюдение ПэВ-ных (10^{15} эВ) астрофизических нейтрино даёт возможность исследовать взаимодействия частиц при энергиях, недоступных пока на ускорителях. Об экспериментах в нейтринной астрофизике см. [8–10].

2. Квантовая запутанность в двойном волноводе. E. Borselli (Венский центр квантовой науки и технологии, Австрия) и соавторы реализовали в своём эксперименте новый тип квантовой запутанности — квантовую запутанность атомов по состоянию их движения в двойных пучках [11]. В поперечном направлении квазиодномерной атомной ловушки создавался потенциал в виде двух потенциальных ям, разделённых барьером. В этот двойной волновод помещался бозе-эйнштейновский конденсат из 600–2000 атомов. При парном столкновении два возбуждённых атома могли приобрести противоположно направленные импульсы вдоль волноводов и попасть в один из них. Таким образом, для атомов возникала альтернатива из четырёх состояний, между которыми могла происходить квантовая интерференция. В эксперименте атомы наблюдались методом флуоресценции, а также измерялось их распределение по импульсам после выключения потенциала ловушки. Корреляционные функции второго порядка показали наличие ожидаемой интерференционной картины.

3. Стратегия демона Максвелла. G. Manzano (Международный центр теоретической физики ICTP, Италия и Институт квантовой оптики и квантовой информации, Австрия) и соавторы создали устройство, близкое по функциям к "демону Максвелла", но работающее по заданной игровой стратегии без знания информации о скоростях частиц [12]. Стратегия направлена на получение максимального выигрыша по энергии при работе со стохастической системой в течение фиксированного интервала времени. Работа устройства останавливается в тот момент, когда достигнут заданный выигрыш, либо продолжается до конца интервала. Эта концепция была продемонстрирована в эксперименте с одноэлектронной квантовой ямой. Эксперимент с точностью $\sim 99,5\%$ подтвердил полученные авторами флуктуационные математические соотношения, характеризующие работу устройства. Также было показано, что подобная система может функционировать и в квантовом режиме. Данное исследование может оказаться важным при создании микроскопических тепловых машин.

Ю.Н. Ерошенко. Институт ядерных исследований РАН, просп. 60-летия Октября 7а, 117312 Москва, Российская Федерация
E-mail: erosh@ufn.ru

4. Турбулентное динамо в эксперименте. A.F.A. Bott (Оксфордский университет, Великобритания и Принстонский университет, США) и соавторы впервые получили и исследовали в эксперименте турбулентную плазму с магнитным числом Прандтля $P_m \geq 1$ и подтвердили эффект усиления магнитного поля посредством "флуктуационного динамо" [13]. При флуктуационном динамо стохастические движения плазмы вызывают растяжение и сложение магнитных силовых линий, что ведёт к экспоненциальному по времени усилению магнитного поля. Ранее лабораторные исследования ограничивались режимом $P_m < 1$, когда усиление происходило по другому закону. Изучение случая $P_m \geq 1$ важно для понимания эволюции магнитных полей в космических объектах [14]. На установке Omega Laser Facility в Рочестерском университете мощные лазерные импульсы испаряли углеродородную фольгу, и два образующихся при этом пучка плазмы сталкивались между собой. Затравочные магнитные поля генерировались механизмом "батареи Бирмана" и затем усиливались турбулентным динамо. С высоким разрешением по времени было измерено магнитное поле, температура, плотность и скорость плазмы. Магнитное поле увеличивалось на три порядка, причём темп его усиления был значительно больше, чем ожидалось.

5. Поиск нейтронной звезды в остатке сверхновой SN 1987A. При взрыве сверхновой SN 1987A, произошедшем в Большом Магеллановом облаке и наблюдавшемся на Земле 23 февраля 1987 г., был зарегистрирован поток нейтрино, что свидетельствует о рождении при взрыве нейтронной звезды [15]. Однако обнаружить эту нейтронную звезду пока достоверно не удалось. Детектором ALMA ранее были получены лишь некоторые неоднозначные данные о наличии компактного объекта. E. Greco (Университет Палермо и Астрономическая обсерватория Палермо, Италия) и соавторы получили новые убедительные свидетельства присутствия нейтронной звезды в остатке сверхновой [16]. Анализ данных рентгеновских телескопов Chandra и NuSTAR выявил нетепловую компоненту при 10–20 кэВ, соответствующую синхротронному излучению, а магнитогидродинамическое моделирование показало, что с большой вероятностью эта компонента связана с излучением туманности пульсарного ветра (плериона), окружающей нейтронную звезду, хотя модель генерации излучения в ударной волне пока тоже нельзя полностью исключить. О магнитосфере пульсаров и аккреции на нейтронные звёзды см. в [17, 18].

Список литературы

1. Aartsen M G et al. *Nature* **591** 220 (2021); <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03256-1>
2. Glashow S L *Phys. Rev.* **118** 316 (1960)
3. Березинский В С, Газизов А З *Письма в ЖЭТФ* **25** 276 (1977)
4. Березинский В С, Газизов А З *Ядерная физика* **29** 1589 (1979); **33** 230 (1981)
5. Березинский В С, Зацепин Г Т *УФН* **122** 3 (1977); Berezinskii V S, Zatsepin G T *Sov. Phys. Usp.* **20** 361 (1977)
6. Berezinsky V, P. Blasi P *Phys. Rev. D* **85** 123003 (2012)
7. Beresinsky V S, Zatsepin G T *Phys. Lett. B* **28** 423 (1969)
8. Шпиринг К *УФН* **184** 510 (2014); Spiering Ch *Phys. Usp.* **57** 470 (2014)
9. Петрухин А А *УФН* **185** 521 (2015); Petrukhin A A *Phys. Usp.* **58** 486 (2015)
10. Джилкибаев Ж-А М, Домогацкий Г В, Суворова О В *УФН* **185** 531 (2015); Dzhilkibaev Ja-A M, Domogatsky G V, Suvorova O V *Phys. Usp.* **58** 495 (2015)
11. Borselli E et al. *Phys. Rev. Lett.* **126** 083603 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.083603>
12. Manzano G *Phys. Rev. Lett.* **126** 080603 (2021); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.080603>
13. Bott A F A et al. *PNAS* **118** e2015729118 (2021); <https://doi.org/10.1073/pnas.2015729118>
14. Соколов Д Д, Степанов Р А, Фрик П Г *УФН* **184** 313 (2014); Sokoloff D D, Stepanov R A, Frick P G *Phys. Usp.* **57** 292 (2014)
15. Имшенник В С *УФН* **180** 1121 (2010); Imshennik V S *Phys. Usp.* **53** 1081 (2010)
16. Greco E et al., <https://arxiv.org/abs/2101.09029>
17. Бескин В С *УФН* **188** 377 (2018); Beskin V S *Phys. Usp.* **61** 353 (2018)
18. Шакура Н И и др. *УФН* **189** 1202 (2019); Shakura N I et al. *Phys. Usp.* **62** 1126 (2019)