

1. Треугольная сингулярность. Взаимодействие между кварками усиливается при уменьшении энергии, что затрудняет расчёт их связанных состояний. В экспериментах действительно наблюдалось несколько состояний, не предсказываемых теорией и называемых экзотическими [1, 2]. Изучение таких состояний важно тем, что может прояснить свойства сильного взаимодействия. Недавно в эксперименте COMPASS, проводимом в ЦЕРНе, при изучении столкновений пучка π^- -мезонов с протонной мишенью был обнаружен резонансоподобный пик при энергии 1,4 ГэВ, названный $a_1(1420)$. Этот пик не может быть классифицирован как обычный мезонный резонанс, так как он имеет малую ширину и находится близко к основному состоянию. Высказывались предположения, что это новая частица — тетракварк или дикварк-антикварковая молекула. Исследователи из Боннского университета (Германия) и Курчатовского института М. Михасенко, В. Ketzer и А. Саранцев выдвинули гипотезу, что пик $a_1(1420)$ может объясняться так называемой треугольной сингулярностью (треугольник на диаграмме), когда происходит распад основного состояния на K^* и \bar{K} с последующими распадами $K^* \rightarrow K\pi$, $\bar{K} \rightarrow f_0(980)$. Но перед распадом каоны обмениваются кварками, что создаёт имитацию новых частиц. Г.Д. Алексеев (ОИЯИ) и соавторы выполнили новые детальные вычисления [3], в которых были учтены спиновые эффекты и процессы рассеяния более высоких порядков. Расчёты показали, что модель треугольной сингулярности хорошо описывает экспериментальные данные без необходимости в новых частицах. Таким образом, треугольная сингулярность, предсказанная Л.Д. Ландау в 1959 г. [4], возможно, впервые выявлена в секторе низкоэнергетических мезонов.

2. Призрачные гиперболические поляритоны. W. Ma (Хуачжунский университет науки и технологии, Китай) и соавторы предсказали теоретически и продемонстрировали в эксперименте новый тип гиперболических поляритонов (с гиперболическим законом дисперсии) [5]. Поляритонами называются квазичастицы, возникающие при взаимодействии фотонов с возбуждениями среды [6, 7]. Ранее были известны только объёмные и поверхностные гиперболические поляритоны (поляритоны Дьяконова). Новые поляритоны, названные "призрачными" (ghost polaritons), распространяются по поверхности, но при этом имеют неисчезающие волновые фронты в объёме. Они являются решением уравнений Максвелла в случае, когда оптическая ось наклонена к поверхности, и создаются взаимодействием ИК-фотонов с фононами в анизотропных средах. Эксперимент был выполнен с минералом кальцитом, у которого элементы тензора диэлектрической проницаемости вдоль и перпендикулярно поверхности имеют разные знаки. Использовалась сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля рассеивающего типа. Наблюдалось направленное (лучевое) распространение призрачных гиперболических поляритонов на расстояние более 20 мкм без дифракции — рекордное расстояние для поляритонов при комнатной температуре. Поляритоны могут найти практические применения в субдифракционной микроскопии и др.

3. Квантованные вихри при нарушенной симметрии. При непрерывных фазовых переходах случайный локальный выбор параметра порядка, нарушающего симметрию, может приводить к образованию топологических дефектов, таких как квантованные вихри. Этот процесс известен как механизм Киббля–Зурека. Исследователи из Университета Аалто (Финляндия), Ланкастерского университета (Великобритания) и Института теоретической физики (ИТФ) им. Л.Д. Ландау (Россия) исследовали в своём эксперименте [8] процесс формирования вихрей с целой и полужелой величиной потока при переходе в полярную фазу ^3He в присутствии магнитного поля, нарушающего симметрию. В результате нарушения симметрии выбор параметра порядка в различных областях уже не

полностью случаен. Было установлено, что в том случае, когда масштаб длины, связанный с полем смещения, становится меньше длины Киббля–Зурека, механизм Киббля–Зурека сменяется адiabатическим режимом и образование вихрей экспоненциально подавляется. (О работах ИТФ см. [9].)

4. Квантовая дополнительность "волна-частица". Квантовый принцип дополнительности представляет особый интерес в применении к корпускулярно-волновому дуализму, так как затрагивает наиболее фундаментальные аспекты квантовой механики. Сотрудники Института фундаментальных исследований и Университета Республики Корея Т.Н. Yoon и М. Cho выполнили эксперимент [10], в котором проверены новые соотношения дополнительности, полученные X.-F. Qian, G.S. Agarwal в 2020 г. Они характеризуют переход от волнового описания к корпускулярному. Применялся интерферометр с двумя нелинейными кристаллами, в которых рождались квантово-запутанные фотоны. Входные сигналы в плечах генерируются синхронизированными оптическими лазерами и, изменяя интенсивность одного из лучей, можно изменять степень корпускулярности. В эксперименте проверены соотношения дополнительности и подтверждена полученная авторами работы связь между квантовой чистотой источника и запутанностью. Также было продемонстрировано, что экспериментальная схема с двумя процессами вниз-конверсии наиболее подходит для исследования принципа дополнительности при корпускулярно-волновом дуализме.

5. Глобальная структура Вселенной. Исследование анизотропии реликтового излучения позволяет получать важную информацию о процессах в ранней Вселенной, а также делать некоторые выводы о её глобальной структуре. Пока остаётся открытым вопрос о топологии Вселенной — о том, как пространство уходит на бесконечность или замыкается на себя в больших масштабах. В обычных космологических моделях с бесконечным трёхмерным евклидовым пространством на всех масштабах должны присутствовать двухточечные корреляции флуктуаций реликтового излучения. Однако наблюдения спутников WMAP и Планк показали, что в масштабах, разделённых углами более 60° , эти корреляции подавлены. Для объяснения данного факта рассматривались модели Вселенной с конечными пространственными масштабами, например, модель с топологией трёхмерного тора. В работе R. Aurich (Ульмский университет, Германия) и соавторов [11] предложен новый наблюдательный критерий на основе статистики градиента температуры реликтового излучения, чувствительный к масштабам пространственных сечений Вселенной. Применение этого критерия показало, что модель тора с длиной окружности примерно в три хаббловских масштаба хорошо согласуется с имеющимися данными наблюдений и решает указанную проблему подавления двухточечных корреляций. Однако для достоверных выводов о глобальной структуре нашей Вселенной требуются дальнейшие исследования. О наблюдении реликтового излучения см. [12].

Список литературы

1. Калашникова Ю С, Нефедьев А В *УФН* **189** 603 (2019); Kalashnikova Yu S, Nefediev A V *Phys. Usp.* **62** 568 (2019)
2. Жукова В И и др. *УФН* **191** 492 (2021); Zhukova V I et al. *Phys. Usp.* **64** 468 (2021)
3. Alexeev G D et al. *Phys. Rev. Lett.* **127** 082501 (2021)
4. Ландау Л Д *ЖЭТФ* **37** 62 (1959); Landau L D *Sov. Phys. JETP* **10** 45 (1960); Landau L D *Nucl. Phys.* **13** 181 (1959)
5. Ma W et al. *Nature* **596** 362 (2021)
6. Гуляев Ю В, Тарасенко С В, Шавров В Г *УФН* **190** 933 (2020); Gulyaev Yu V, Tarasenko S V, Shavrov V G *Phys. Usp.* **63** 872 (2020)
7. Гаврилов С С *УФН* **190** 137 (2020); Gavrilov S S *Phys. Usp.* **63** 123 (2020)
8. Rysti J et al. *Phys. Rev. Lett.* **127** 115702 (2021)
9. Воловик Г Е *УФН* **189** 1104 (2019); Volovik G E *Phys. Usp.* **62** 1031 (2019)
10. Yoon T H, Cho M *Sci. Adv.* **7** eabi9268 (2021)
11. Aurich R et al., arXiv:2106.13205
12. Верходанов О В *УФН* **186** 3 (2016); Verkhodanov O V *Phys. Usp.* **59** 3 (2016)