

**1. Рождение одиночных t-кварков вместе с фотонами.** В отличие от пар кварков  $t\bar{t}$ , образование одиночного t-кварка вместе с фотоном в одном процессе ранее не наблюдалось из-за малой вероятности такого события и сложности его выделения на фоне более многочисленных событий с  $t\bar{t}$ . В эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере впервые достоверно обнаружено образование одиночного t-кварка вместе с фотоном [1]. В изучаемом процессе начальное состояние представлено глюоном и кварком  $q$  в сталкивающихся протонах. Глюон распадается на пару  $b\bar{b}$ , кварк  $b$  взаимодействует с  $q$ , образуя один t-кварк и кварк другого типа. Кварк  $t$  излучает  $\gamma$  перед своим распадом на b-кварк и W-бозон, который распадается на  $e$  или  $\mu$  и  $\nu$ . Регистрируя заряженные лептоны, коллаборация ATLAS с помощью алгоритмов машинного обучения выделила одиночные t-кварки, родившиеся вместе с фотонами, на уровне достоверности  $9,8\sigma$ . Измеренное сечение этого процесса оказалось немного больше предсказанного теоретически в Стандартной модели (расхождение на уровне  $2\sigma$ ). Процессы, связанные с образованием единичных t-кварков, очень чувствительны к электрослабым взаимодействиям t-кварков, и их исследования могут привести к обнаружению новых частиц и взаимодействий за пределами Стандартной модели.

**2. Новый подход к построению теории квантовой гравитации.** Основы теории квантовой гравитации, объединяющей квантовую механику и Общую теорию относительности, были заложены в работе М.П. Бронштейна в 1935 г. [2], но эта теория до сих пор далека от завершения из-за принципиальных сложностей в квантовании гравитационного поля. Обычно считается, что, как и поля материи, гравитационное поле (геометрия пространства-времени) должно иметь квантовую природу. Одним из аргументов является необходимость квантовой суперпозиции гравитационных полей, создаваемых частицей в состоянии суперпозиции разных пространственных положений. Тем не менее в новой работе Дж. Оппенгейма (Университетский колледж Лондона, Великобритания) [3] сделана попытка построения непротиворечивой теории, где гравитационное поле чисто классическое (не квантовое), и на фоне классического пространства-времени эволюционируют квантовые поля. Для согласия с указанными аргументами полагается, что взаимодействие квантовых полей и геометрии имеет стохастическую природу и описывается матрицей плотности. Процесс декогеренции в данной теории обусловлен взаимодействием квантовых полей с классическим гравитационным полем. Хотя подобный подход выглядит перспективным, в нём остаются серьёзные сложности, которые предстоит преодолеть.

**3. Нефокальное рассеяние Ми.** В 1908 г. Г. Ми разработал теорию рассеяния света на сферических частицах. Теория Ми, хотя она оперирует с плоскими световыми волнами, хорошо описывает множество явлений. Y.-L. Tang (Национальный университет Тайваня) и соавторы показали в своём эксперименте [4], что использование неплоских волновых фронтов и нефокальных конфигураций существенно изменяет процесс рассеяния. Исследовалось рассеяние сфокусированного лазерного света на прямоугольных кремниевых брусках, причём центр светового пятна смещался относительно центра бруска. В случае, когда длина волны света близка к размеру бруска, существуют нефокальные положения, при которых рассеяние максимально. Полученные результаты можно объяснить возбуждением мод рассеяния с высшими мультиполями, отсутствующими в случае плоских волн.

**4. Электрический разряд при контактной электризации.** Контактная электризация — перенос электрического заряда между соприкасающимися поверхностями — изучается уже на протяжении

столетий. После разделения поверхностей в зазор с электрическим полем поступает воздух и происходит электрический пробой, сопровождаемый частичной разрядкой. Однако детали процесса оставались неясными из-за сложности измерений без вмешательства в систему (без дополнительных электродов). Американские исследователи Н. Тао и J. Gibert впервые изучили контактную электризацию с помощью безэлектродного способа измерения электрического напряжения [5]. В камере соприкасались и разводились два диэлектрических диска, и измерялась сила их кулоновского притяжения, зависящая от зарядов. Измерения при различных расстояниях между дисками и при разных давлениях газа в камере подтвердили усреднённый закон Пашена, но в отдельных измерениях соответствующие графики получались ступенчатыми из-за дискретности процесса разряда. Разряд при электризации является весьма распространённым явлением, в том числе он может приводить к возгораниям и взрывам. Напротив, отсутствие газового разряда в космосе ведёт к разрушению деталей спутников из-за накопления большого поверхностного заряда. Подобные явления показывают важность исследования механизмов электризации.

**5. Сохранение чётности в реликтовом излучении.** Известно, что электрослабые взаимодействия нарушают  $P$ -чётность — симметрию процессов относительно зеркального отражения. Как предсказывает теория космологической инфляции, одним из главных создателей которой является выдающийся российский учёный А.А. Старобинский, вся видимая область Вселенной возникла в результате раздувания одного причинно-связанного микроскопического объёма. Поскольку существуют модели нарушения чётности во время инфляции и инфляция привела к появлению неоднородностей, можно ожидать нарушения чётности в распределении галактик и реликтового излучения (РИ). И действительно, слабое указание (на уровне  $2\sigma$ ) на эффект нарушения чётности в обзорах галактик было получено в 2022 г. [6]. С целью проверки сохранения чётности в РИ О.Н.Е. Philcox (Колумбийский университет, США) выполнил новый анализ данных телескопа Планк [7]. Нарушение чётности могло проявиться в триспектре флуктуаций РИ, но на достигнутом уровне точности нарушение не обнаружено. Данный результат в случае инфляционного происхождения неоднородностей ставит под сомнение указанное нарушение в обзорах галактик, так как оно привело бы к намного более сильному нарушению чётности в РИ, что исключается работой О.Н.Е. Philcox. Наблюдение РИ даёт ценную информацию об эволюции ранней Вселенной. Как ожидается, в ближайшем будущем удастся надёжно выделить поляризацию РИ, вызванную гравитационными волнами (тензорной модой возмущений) и тем самым проверить различные теории инфляции. В частности, теория инфляции А.А. Старобинского предсказывает определённую величину тензорной моды. Инфляционная парадигма, в отличие от альтернативных моделей, объясняет сразу многие наблюдаемые свойства Вселенной. Если теория раннего раздувания Вселенной (инфляции) будет окончательно доказана, то она, наряду с моделью космологического расширения А.А. Фридмана, станет одним из величайших достижений человечества в понимании устройства нашей Вселенной.

#### Список литературы

1. Aad G et al. (ATLAS Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **131** 181901 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.181901>
2. Горелик Г Е *УФН* **175** 1093 (2005); Gorelik G E *Phys. Usp.* **48** 1039 (2005)
3. Oppenheim J *Phys. Rev. X* **13** 041040 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.13.041040>
4. Tang Y-L *Nat. Commun.* **14** 7213 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43063-y>
5. Tao H, Gibert J *Nat. Commun.* **14** 8100 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43721-1>
6. Philcox O H E *Phys. Rev. D.* **106** 063501 (2022)
7. Philcox O H E *Phys. Rev. Lett.* **131** 181001 (2023) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.181001>