

# Проблема космологической постоянной: самая большая ошибка в истории физики

Дата публикации: 11.06.2026

Одной из самых серьёзных нерешённых проблем современной физики считается проблема космологической постоянной, которую также часто называют проблемой вакуума. Она возникает на стыке двух величайших теорий XX века — общей теории относительности Эйнштейна и квантовой теории поля. Каждая из них по отдельности прекрасно описывает свою область явлений, однако при попытке объединить их возникает расхождение настолько огромного масштаба, что многие физики называют его крупнейшим провалом теоретических расчётов в истории науки.

Космологическая постоянная появилась в уравнениях общей теории относительности ещё в 1917 году. Эйнштейн ввёл дополнительный член, обозначаемый греческой буквой лямбда, чтобы получить статическую Вселенную, которая в то время казалась наиболее вероятной моделью космоса. После открытия расширения Вселенной необходимость в таком члене, казалось, исчезла, однако в конце XX века космологическая постоянная неожиданно вернулась в физику.

В 1998 году наблюдения далёких сверхновых типа Ia показали, что расширение Вселенной не замедляется под действием гравитации, а наоборот ускоряется. Позднее этот результат был подтверждён исследованиями космического микроволнового фона, крупномасштабной структуры Вселенной и распределения галактик. Наиболее простым объяснением ускоренного расширения оказалась именно космологическая постоянная — энергия самого пустого пространства. Сегодня её наблюдаемое проявление называют тёмной энергией.

На первый взгляд идея энергии пустоты кажется странной. Однако квантовая теория поля утверждает, что абсолютной пустоты не существует. Даже в полном вакууме непрерывно возникают и исчезают виртуальные частицы. Эти кратковременные квантовые флуктуации присутствуют во всех точках пространства и времени. Каждая из них вносит небольшой вклад в энергию вакуума.

Если суммировать вклад всех возможных квантовых колебаний, получается бесконечная величина. Чтобы избежать математических бесконечностей, физики вводят верхний предел расчётов. Обычно таким пределом считается планковский масштаб, на котором известные законы физики перестают работать

в привычном виде. После такого обрезания теория всё равно предсказывает колоссальную плотность энергии вакуума — около  $10$  в  $93$  степени грамма на кубический сантиметр.

Проблема заключается в том, что наблюдения показывают совершенно иной результат. Измерения сверхновых, космического микроволнового фона, гравитационного линзирования, скоплений галактик и других космологических объектов указывают на плотность тёмной энергии порядка  $10$  в минус  $30$  степени грамма на кубический сантиметр.

Разница между этими двумя значениями составляет примерно  $10$  в  $123$  степени. Иначе говоря, теория ошибается на сто двадцать три порядка величины. Для наглядности можно представить себе единицу, за которой следует сто двадцать три нуля. В научной литературе обычно говорят о расхождении на  $120$  порядков. Это настолько огромная разница, что она считается крупнейшим несовпадением между теоретическим предсказанием и экспериментом за всю историю физики.

Подобная ситуация ставит исследователей в затруднительное положение. Согласно научному методу, если теория не совпадает с наблюдениями, теория должна быть пересмотрена. Однако квантовая теория поля остаётся одной из самых успешных научных моделей из когда-либо созданных. Именно на ней основан Стандартный модельный набор элементарных частиц. Её предсказания многократно подтверждались экспериментами с беспрецедентной точностью. Ошибка на  $120$  порядков не означает, что вся теория неверна. Скорее всего, она указывает на существование неизвестного механизма, который каким-то образом почти полностью компенсирует энергию вакуума.

Одной из наиболее известных попыток решения стала суперсимметрия. Эта гипотеза предполагает, что каждой фермионной частице соответствует бозонный суперпартнёр, а каждому бозону — фермионный. Вклад фермионов и бозонов в энергию вакуума имеет противоположные знаки. Если бы суперсимметрия была точной, эти вклады практически полностью уничтожали бы друг друга.

Проблема заключается в том, что суперсимметрия, если она существует, должна быть нарушена при энергиях выше масштаба электрослабого взаимодействия. В результате компенсация оказывается неполной. Даже после учёта суперсимметрии остаётся расхождение примерно в  $60$  порядков величины. Это существенно лучше исходных  $120$  порядков, но всё равно невероятно далеко от наблюдаемой реальности.

Другой популярной идеей является антропный принцип. Согласно этому

подходу, космологическая постоянная может принимать различные значения в разных областях мультивселенной. Большинство таких областей оказываются непригодными для формирования галактик, звёзд и планет. Если бы космологическая постоянная была значительно больше наблюдаемой, ускоренное расширение разорвало бы вещество ещё до образования галактик. Жизнь просто не успела бы возникнуть. Поэтому наблюдатели могут существовать только в тех редких областях, где значение космологической постоянной случайно оказалось очень маленьким.

В последние годы ситуация стала ещё интереснее благодаря новым наблюдениям проекта DESI. Эксперимент Dark Energy Spectroscopic Instrument создаёт трёхмерную карту миллионов галактик и квазаров, позволяя измерять барионные акустические осцилляции — гигантские волны плотности вещества, сохранившиеся со времён ранней Вселенной. Эти структуры служат своеобразной космической линейкой для изучения истории расширения пространства.

Данные DESI, опубликованные в 2025–2026 годах, показали любопытную тенденцию. Хотя стандартная модель с постоянной тёмной энергией по-прежнему хорошо описывает наблюдения, появились намёки на возможное изменение свойств тёмной энергии со временем. Статистическая значимость этих отклонений пока составляет лишь две-три сигмы и не дотягивает до уровня открытия, однако они уже стимулируют активное изучение альтернативных моделей.

Одним из кандидатов выступает квинтэссенция — гипотетическое динамическое поле, энергия которого может медленно изменяться в процессе эволюции Вселенной. В отличие от классической космологической постоянной, квинтэссенция не является неизменной характеристикой пространства и потенциально способна объяснить некоторые наблюдаемые отклонения.

Проблема космологической постоянной остаётся одним из самых ярких свидетельств того, что современная физика ещё далека от завершённости. Квантовая теория поля и общая теория относительности великолепно работают в своих областях применения, но при попытке описать энергию вакуума между ними возникает фундаментальная несовместимость. Решение этой проблемы, вероятно, потребует появления новой физики, будь то полноценная квантовая теория гравитации, более глубокое понимание вакуума или пересмотр некоторых базовых представлений о пространстве и времени. Пока этого не произошло, суперсимметрия, мультивселенная, квинтэссенция и другие гипотезы продолжают конкурировать за право объяснить одну из самых загадочных особенностей нашей Вселенной.