

Исследование предполагает, что возможно заглянуть в эпоху до начала Вселенной.

Примерно 13,8 миллиардов лет назад вся Вселенная представляла собой крошечный, горячий и плотный шар энергии, который внезапно взорвался. Именно так, по стандартной научной теории, известной как Большой взрыв, началась наша Вселенная. Эта теория была впервые сформулирована в 1920-х годах и была уточнена на протяжении десятилетий, особенно в 1980-х, когда многие космологи пришли к выводу, что в первые моменты своего существования Вселенная пережила краткий период чрезвычайно быстрого расширения, называемого инфляцией.

Считается, что этот краткий период был вызван необычной формой высокоэнергетической материи, которая переворачивает гравитацию с ног на голову, "надувая" ткань Вселенной экспоненциально быстро и заставляя её расти в миллион миллиардов миллиардов раз менее чем за миллиардную миллиардную миллиардную долю секунды. Инфляция объясняет, почему Вселенная выглядит такой гладкой и однородной на больших масштабах.

Однако, если инфляция ответственна за всё, что мы видим сегодня, возникает вопрос: что, если вообще что-то, было до этого? Пока не существует эксперимента, который мог бы наблюдать, что происходило до инфляции. Однако математики могут набросать возможные сценарии, применяя общую теорию относительности Эйнштейна — теорию, которая приравнивает гравитацию к кривизне пространства-времени — настолько далеко в прошлое, насколько это возможно.

Этим занимаются три исследователя: Газал Гешнизджани из Института Периметра, Эрик Линг из Копенгагенского университета и Джером Квентин из Университета Ватерлоо. Недавно они опубликовали статью в Журнале физики высоких энергий , где, по словам Линга, "мы математически показали, что может существовать способ увидеть за пределами нашей Вселенной".

Роберт Бранденбергер, физик из Университета Макгилла, не участвовавший в исследовании, отметил, что новая работа "устанавливает новый стандарт строгости для анализа" математики начала времени. В некоторых случаях то, что сначала кажется сингулярностью — точкой в пространстве-времени, где математические описания теряют смысл, — на самом деле может быть иллюзией.

Основной вопрос, с которым сталкиваются Гешнизджани, Линг и Квентин, заключается в том, существует ли точка до инфляции, в которой законы гравитации нарушаются в сингулярности. Самый простой пример математической сингулярности

— это функция  $1/x$  при  $x$ , стремящемся к нулю. Функция принимает число  $x$  в качестве входного значения и выдает другое число. По мере уменьшения  $x$  значение  $1/x$  становится всё больше и больше, приближаясь к бесконечности. При  $x$ , равном нулю, функция больше не определена: на неё нельзя полагаться как на описание реальности.

Иногда, однако, математики могут обойти сингулярность. Например, рассмотрим нулевой меридиан, проходящий через Гринвич, Англия, на долготе ноль. Если бы существовала функция от  $1/\text{долготы}$ , она бы выходила из строя в Гринвиче. Но на самом деле в пригороде Лондона нет ничего физически особенного: можно легко переопределить нулевую долготу, чтобы она проходила через другое место на Земле, и тогда функция будет нормально работать при приближении к Королевской обсерватории в Гринвиче.

Что-то похожее происходит на границе математических моделей черных дыр. Уравнения, описывающие сферические не врачающиеся черные дыры, разработанные физиком Карлом Шварцшильдом в 1916 году, содержат термин, знаменатель которого стремится к нулю на горизонте событий черной дыры — поверхности, за пределами которой ничто не может вырваться. Это привело физиков к убеждению, что горизонт событий является физической сингулярностью. Но восемь лет спустя астроном Артур Эддингтон показал, что если использовать другой набор координат, сингулярность исчезает. Подобно нулевому меридиану, горизонт событий — это иллюзия: математический артефакт, называемый координатной сингулярностью, которая возникает только из-за выбора координат.

Центр черной дыры, напротив, имеет плотность и кривизну, стремящиеся к бесконечности, которые нельзя устранить, используя другую систему координат. Законы общей теории относительности начинают выдавать абсурдные результаты. Это называется кривостной сингулярностью. Это подразумевает, что происходит нечто, что выходит за рамки возможностей современных физических и математических теорий.

Гешниджани, Линг и Квентин исследовали, является ли начало Большого взрыва более похожим на центр черной дыры или на горизонт событий. Их исследование основывается на теореме, доказанной в 2003 году Арвиндом Борде, Аланом Гутом (одним из первых, предложивших идею инфляции) и Александром Виленкиным. Эта теорема, известная как BGV по инициалам авторов, утверждает, что инфляция должна была иметь начало — она не могла длиться вечно в прошлом. Должна была существовать сингулярность, чтобы всё началось. Теорема BGV устанавливает существование этой сингулярности, не уточняя, какого она типа.

Квентин и его коллеги работали над тем, чтобы выяснить, является ли эта сингулярность "кирпичной стеной" — кривостной сингулярностью — или "занавесом", который можно отодвинуть — координатной сингулярностью. Эрик Вулгар, математик из Университета Альберты, не участвовавший в исследовании, отметил, что оно проясняет наше представление о сингулярности Большого взрыва. "Они могут сказать, является ли кривизна бесконечной в начальной сингулярности или же сингулярность более мягкая, что может позволить нам расширить нашу модель Вселенной на времена до Большого взрыва".

Чтобы классифицировать возможные сценарии доинфляционной эры, исследователи использовали параметр, называемый масштабным фактором, который описывает, как расстояние между объектами менялось со временем по мере расширения Вселенной. По определению, Большой взрыв — это момент, когда масштабный фактор был равен нулю — всё было сжато в точку без измерений.

Во время инфляции масштабный фактор увеличивался с экспоненциальной скоростью. До инфляции масштабный фактор мог изменяться любым образом. Новая работа предоставляет таксономию сингулярностей для различных сценариев масштабного фактора. "Мы показываем, что при определенных условиях масштабный фактор создаст кривостную сингулярность, а при других условиях — нет", — сказал Линг.

Исследователи уже знали, что во Вселенной с так называемой темной энергией, но без материи, начало инфляции, определенное теоремой BGV, является координатной сингулярностью, которую можно устраниć. Но реальная Вселенная, конечно же, содержит материю. Могут ли математические трюки также обойти её сингулярность? Исследователи показали, что если количество материи незначительно по сравнению с количеством темной энергии, то сингулярность можно устраниć. "Световые лучи действительно могут проходить через границу", — сказал Квентин. "И в этом смысле можно видеть за пределы границы; это не как кирпичная стена". История Вселенной будет продолжаться за пределы Большого взрыва.

Однако космологи считают, что в ранней Вселенной было больше материи, чем энергии. В этом случае новая работа показывает, что сингулярность BGV будет реальной физической кривостной сингулярностью, в которой законы гравитации перестают иметь смысл.

Сингулярность указывает на то, что общая теория относительности не может быть полным описанием базовых законов физики. Усилия по созданию такого описания, которое потребовало бы примирения общей теории относительности с квантовой

механикой, продолжаются. Линг считает, что новая работа является ступенькой к такой теории. Чтобы понять Вселенную на самых высоких уровнях энергии, "сначала нужно как можно лучше понять классическую физику", — сказал он.