

## О планковской температуре и теории Большого взрыва

**Планковская температура**, названная в честь немецкого ученого-физика Макса Планка, единица температуры, обозначаемая  $T_p$ , в Планковской системе единиц. Это одна из планковских единиц, которая представляет фундаментальный предел в квантовой механике.

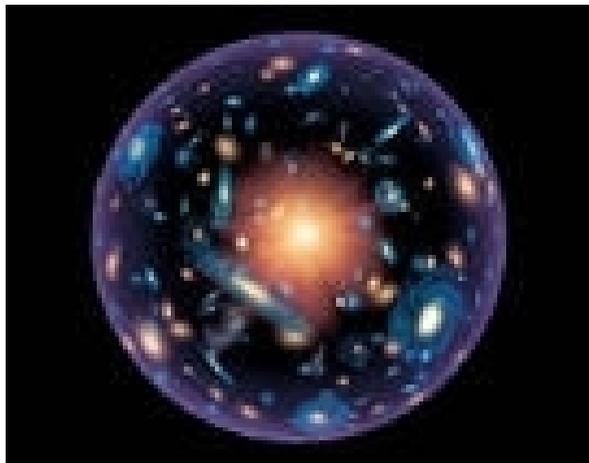
Современная наука полагает, что бессмысленно рассуждать обо всем более горячем, так как планковская температура – **это верхний предел температуры**. Выше этого, все превращается в энергию, так как все субатомарные частицы разрушаются. Это температура Вселенной в первый момент (Планковское время) Большого взрыва в соответствии с текущими представлениями космологии.

$$T_p = \frac{m_p \cdot c^2}{k} = \sqrt{\frac{\hbar \cdot c^5}{G \cdot k^2}} \approx 1,41679(11) \times 10^{32} \text{ K}$$

где:

- $m_p$  – Планковская масса;
- $c$  – скорость света в вакууме;
- $\hbar$  – постоянная Дирака ( $h/2\pi$ );
- $k$  – постоянная Больцмана;
- $G$  – гравитационная постоянная.

Две цифры в скобках обозначают неуверенность (Стандартное отклонение) в последних двух цифрах значения планковской температуры.



**Большой взрыв** (англ. *Big Bang*) – космологическая теория начала расширения Вселенной, перед которым Вселенная находилась в сингулярном состоянии. Обычно сейчас автоматически сочетают теорию Большого взрыва и модель горячей Вселенной, но эти концепции независимы и исторически существовало также представление о холодной начальной Вселенной вблизи Большого взрыва. Именно сочетание теории Большого взрыва с теорией горячей Вселенной, подкрепляемое существованием реликтового излучения, и рассматривается далее.

## Современные представления теории Большого взрыва и теории горячей Вселенной

По современным представлениям, наблюдаемая нами сейчас Вселенная возникла  $13,7 \pm 0,13$  млрд лет назад из некоторого начального «сингулярного» состояния и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается. Согласно известным ограничениям по применимости современных физических теорий, наиболее ранним моментом, допускающим описание, считается момент Планковской эпохи с температурой примерно  $10^{32}$  К (Планковская температура) и плотностью около  $10^{93}$  г/см<sup>3</sup> (Планковская плотность).

Ранняя Вселенная представляла собой высокооднородную и изотропную среду с необычайно высокой плотностью энергии, температурой и давлением. В результате расширения и охлаждения во Вселенной произошли фазовые переходы, аналогичные конденсации жидкости из газа, но применительно к элементарным частицам.

Приблизительно через  $10^{-35}$  секунд после наступления Планковской эпохи (Планковское время –  $10^{-43}$  секунд после Большого взрыва, в это время гравитационное взаимодействие отделилось от остальных фундаментальных взаимодействий) фазовый переход вызвал экспоненциальное расширение Вселенной. Данный период получил название Космической инфляции. После окончания этого периода строительный материал Вселенной представлял собой кварк-глюонную плазму. По прошествии времени температура упала до значений, при которых стал возможен следующий фазовый переход, называемый бариогенезисом. На этом этапе кварки и глюоны объединились в барионы, такие как протоны и нейтроны. При этом одновременно происходило асимметричное образование как материи, которая превалировала, так и антиматерии, которые взаимно аннигилировали, превращаясь в излучение.

Дальнейшее падение температуры привело к следующему фазовому переходу – образованию физических сил и элементарных частиц в их современной форме. После чего наступила эпоха нуклеосинтеза, при которой протоны, объединяясь с нейтронами, образовали ядра дейтерия, гелия-4 и ещё нескольких лёгких изотопов. После дальнейшего падения температуры и расширения Вселенной наступил следующий переходный момент, при котором гравитация стала доминирующей силой. Через 380 тысяч лет после Большого взрыва температура снизилась настолько, что стало возможным существование атомов водорода (до этого процессы ионизации и рекомбинации протонов с электронами находились в равновесии).

После эры рекомбинации материя стала прозрачной для излучения, которое, свободно распространяясь в пространстве, дошло до нас в виде реликтового излучения.

### Начальное состояние Вселенной

Экстраполяция наблюдаемого расширения Вселенной назад во времени приводит при использовании общей теории относительности и некоторых других альтернативных теорий гравитации к *бесконечной* плотности и температуре в *конечный* момент времени в прошлом. Более того, теория не даёт никакой возможности говорить о чём-либо, что предшествовало этому моменту (потому, что наша математическая модель пространства-времени в момент Большого взрыва теряет применимость: при этом теория вовсе не отрицает возможность существования чего-либо до Большого взрыва), а размеры Вселенной тогда равнялись нулю – она была сжата в точку. Это состояние называется космологической сингулярностью и сигнализирует о недостаточности описания Вселенной классической общей теорией относительности. Насколько близко к сингулярности можно экстраполировать известную физику, является предметом научных дебатов, но практически общепринято, что допланковскую эпоху рассматривать известными методами нельзя. Многие учёные полусерьёзно называют космологическую сингулярность «рождением» (или «сотворением»)

Вселенной. Невозможность избежать сингулярности в космологических моделях общей теории относительности была доказана в числе прочих теорем о сингулярностях Р. Пенроузом и С. Хокингом в конце 1960-х годов. Её существование является одним из стимулов построения альтернативных и квантовых теорий гравитации, которые стараются разрешить эту проблему.

### Дальнейшая эволюция Вселенной

Согласно теории Большого взрыва, дальнейшая эволюция зависит от экспериментально измеримого параметра – средней плотности вещества в современной Вселенной. Если плотность не превосходит некоторого (известного из теории) критического значения, Вселенная будет расширяться вечно, если же плотность больше критической, то процесс расширения когда-нибудь остановится и начнётся обратная фаза сжатия, возвращающая к исходному сингулярному состоянию. Современные экспериментальные данные относительно величины средней плотности ещё недостаточно надёжны, чтобы сделать однозначный выбор между двумя вариантами будущего Вселенной.

Есть ряд вопросов, на которые теория Большого взрыва ответить пока не может, однако основные её положения обоснованы надёжными экспериментальными данными, а современный уровень теоретической физики позволяет вполне достоверно описать эволюцию такой системы во времени, за исключением самого начального этапа – порядка сотой доли секунды от «начала мира». Для теории важно, что эта неопределённость на начальном этапе фактически оказывается несущественной, поскольку образуемое после прохождения данного этапа состояние Вселенной и его последующую эволюцию можно описать вполне достоверно.

### История открытия Большого взрыва

- 1916 – вышла в свет работа физика Альберта Эйнштейна **«Основы общей теории относительности»**, которой он завершил создание релятивистской теории гравитации.
- 1917 – Эйнштейн на основе своих уравнений поля развил представление о пространстве с постоянной во времени и пространстве кривизной (модель Вселенной Эйнштейна, знаменующая зарождение космологии), ввёл космологическую постоянную  $\Lambda$ . (Впоследствии Эйнштейн назвал введение космологической постоянной одной из самых больших своих ошибок; уже в наше время выяснилось, что  $\Lambda$ -член играет важнейшую роль в эволюции Вселенной). В. де Ситтер выдвинул космологическую модель Вселенной (модель де Ситтера) в работе «Об эйнштейновской теории гравитации и её астрономических следствиях».
- 1922 – советский математик и геофизик Ал. Ал. Фридман нашёл нестационарные решения гравитационного уравнения Эйнштейна и предсказал расширение Вселенной (нестационарная космологическая модель, известная как решение Фридмана). Если экстраполировать эту ситуацию в прошлое, то придётся заключить, что в самом начале вся материя Вселенной была сосредоточена в компактной области, из которой и начала свой разлёт. Поскольку во Вселенной очень часто происходят процессы взрывного характера, то у Фридмана возникло предположение, что и в самом начале её развития также лежит взрывной процесс – Большой взрыв.
- 1923 – немецкий математик Г. Вейль отметил, что если в модель де Ситтера, которая соответствовала пустой Вселенной, поместить вещество, она должна расширяться. О нестатичности Вселенной де Ситтера говорилось и в книге А. Эддингтона, опубликованной в том же году.
- 1924 – К. Вирц обнаружил слабую корреляцию между угловыми диаметрами и скоростями удаления галактик и предположил, что она может быть связана с космологической

моделью де Ситтера, согласно которой скорость удаления отдалённых объектов должна возрастать с их расстоянием.

- 1925 – К.Э. Лундмарк и затем Штремберг, повторившие работу Вирца, не получили убедительных результатов, а Штремберг даже заявил, что «не существует зависимости лучевых скоростей от расстояния от Солнца». Однако было лишь ясно, что ни диаметр, ни блеск галактик не могут считаться надёжными критериями их расстояния. О расширении непустой Вселенной говорилось и в первой космологической работе бельгийского теоретика Жоржа Леметра, опубликованной в этом же году.
- 1927 – опубликована статья Леметра «Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей». Коэффициент пропорциональности между скоростью и расстоянием, полученный Леметром, был близок к найденному Э.Хабблом в 1929. Леметр был первым, кто чётко заявил, что объекты, населяющие расширяющуюся Вселенную, распределение и скорости движения которых и должны быть предметом космологии – это не звёзды, а гигантские звёздные системы, галактики. Леметр опирался на результаты Хаббла, с которыми он познакомился, будучи в США в 1926 г. на его докладе.
- 1929 – 17 января в Труды Национальной академии наук США поступили статьи Хьюмасона о лучевой скорости NGC 7619 и Хаббла, называвшаяся «Связь между расстоянием и лучевой скоростью внегалактических туманностей». Сопоставление этих расстояний с лучевыми скоростями показало чёткую линейную зависимость скорости от расстояния, по праву называющуюся теперь законом Хаббла.
- 1948 – выходит работа Г.А. Гамова о «горячей вселенной», построенная на теории расширяющейся вселенной Фридмана. По Фридману, вначале был взрыв. Он произошёл одновременно и повсюду во Вселенной, заполнив пространство очень плотным веществом, из которого через миллиарды лет образовались наблюдаемые тела Вселенной – Солнце, звёзды, галактики и планеты, в том числе Земля и всё что на ней. Гамов добавил к этому, что первичное вещество мира было не только очень плотным, но и очень горячим. Идея Гамова состояла в том, что в горячем и плотном веществе ранней Вселенной происходили ядерные реакции, и в этом ядерном котле за несколько минут были синтезированы лёгкие химические элементы. Самым эффективным результатом этой теории стало предсказание космического фона излучения. Электромагнитное излучение должно было, по законам термодинамики, существовать вместе с горячим веществом в «горячую» эпоху ранней Вселенной. Оно не исчезает при общем расширении мира и сохраняется – только сильно охлаждённым – и до сих пор. Гамов и его сотрудники смогли ориентировочно оценить, какова должна быть сегодняшняя температура этого остаточного излучения. У них получалось, что это очень низкая температура, близкая к абсолютному нулю. С учётом возможных неопределённостей, неизбежных при весьма ненадёжных астрономических данных об общих параметрах Вселенной как целого и скудных сведениях о ядерных константах, предсказанная температура должна лежать в пределах от 1 до 10 К. В 1950 году в одной научно-популярной статье (Physics Today, № 8, стр. 76) Гамов объявил, что скорее всего, температура космического излучения составляет примерно 3 К.
- 1955 – Советский радиоастроном Тигран Шмаонов экспериментально обнаружил шумовое СВЧ излучение с температурой около 3 К.
- 1964 – американские радиоастрономы А. Пензиас и Р. Вилсон открыли космический фон излучения и измерили его температуру: и она оказалась равной именно 3 К. Это было самое крупное открытие в космологии со времён открытия Хабблом в 1929 году общего расширения Вселенной. Теория Гамова была полностью подтверждена. В настоящее время это излучение носит название реликтового; термин ввёл советский астрофизик И.С. Шкловский.

2003 – спутник WMAP с высокой степенью точности измеряет анизотропию реликтового излучения. Вместе с данными предшествующих измерений (COBE, Космический телескоп Хаббла и др.), полученная информация подтвердила космологическую модель  $\Lambda$ CDM и инфляционную теорию. С высокой точностью был установлен возраст Вселенной и распределение по массам различных видов материи (барионная материя – 4 %, тёмная материя – 23 %, тёмная энергия – 73 %).

2009 – запущен спутник Планк, который в настоящее время измеряет анизотропию реликтового излучения с ещё более высокой точностью.

### **Критика теории Большого взрыва**

Некоторые противники теории Большого взрыва считают, что Вселенная стационарна, то есть не эволюционирует, и не имеет ни начала, ни конца во времени. Сторонники такой точки зрения отвергают расширение Вселенной, а красное смещение объясняют гипотезой о «старении» света. Однако, как выяснилось, эта гипотеза противоречит наблюдениям, например, наблюдаемой зависимости продолжительности вспышек сверхновых от расстояния до них.

Существует также точка зрения о том, что законы Большого Взрыва действуют лишь в наблюдаемой нами части Вселенной (Метагалактике).

Кроме того, ТБВ не дает удовлетворительного ответа на вопрос о причинах возникновения сингулярности, или материи/энергии для её возникновения, обычно просто постулируя её безначальность.

*По материалам интернет-энциклопедии «Википедия»*