

Да будет свет!

Когда нашей Вселенной была всего доля секунды от роду, а температура ее составляла безжалостные миллиарды градусов тепла и сияние от нее было просто нестерпимым, занималась она в основном расширением. С каждым последующим мгновением Вселенная становилась все шире, охватывая все больше космического пространства (что не очень просто вообразить, но факты говорят сами за себя). Чем дальше расширялась Вселенная, тем прохладнее и темнее она становилась. На протяжении сотни тысячелетий вещество и энергия сосуществовали бок о бок в чем-то вроде густого бульона, в котором электроны стремительно и без усталости разносили по уголкам Вселенной фотоны.

Если бы тогда вам захотелось заглянуть «в глубь» Вселенной, вы бы ничего не увидели. Те фотоны, что пытались бы добраться до сетчатки вашего глаза, за несколько наносекунд или даже пикосекунд до достижения цели отскакивали бы от электронов, мельтешащих перед вашим лицом, в обратном направлении. Куда бы вы ни посмотрели, вы увидели бы только мерцающий туман, и все окружающие вас предметы — сияющие, пронизанные светом, красновато-белые — были бы почти такими же яркими, как поверхность Солнца.

Расширение Вселенной продолжалось, и энергия фотонов постепенно падала. В конце концов, когда Вселенной исполнилось около

380 тысяч лет, ее температура упала ниже 3000 градусов по шкале Кельвина. Тогда протоны и ядра гелия смогли окончательно притянуть к себе электроны, создав, таким образом, первые атомы в нашей Вселенной. В предыдущие эпохи ее существования каждому фотону хватало энергии на то, чтобы разрушать формирующиеся атомы, но расширение Вселенной положило этому конец. Свободных электронов тоже становилось все меньше, и теперь фотоны могли носиться по всей Вселенной, ни с чем не сталкиваясь. Тогда-то Вселенная и стала прозрачной: туман рассеялся, и гипотетическому наблюдателю открылось фоновое космическое излучение.

Это излучение можно наблюдать и сегодня — мы называем его *реликтовым излучением*. По сути, оно представляет собой остатки света той сверкающей раскаленной Вселенной первых лет ее существования. Свойства этой вездесущей массы фотонов во многом соответствуют как волнам, так и частицам. Длина волны каждого фотона равняется расстоянию между двумя соседними «гребнями» его волнообразной траектории — его можно было бы измерить обычной линейкой, если бы довелось заполучить в руки фотон. В вакууме все фотоны движутся с одинаковой скоростью — около $299\,800\text{ км/с}^1$ (собственно, это и есть скорость света), так что фотоны с меньшей длиной волны характеризуются бóльшим количеством волнообразных движений, совершаемых за одну секунду. Такие фотоны успевают совершить больше волнообразных движений за заданный промежуток времени, а значит, отличаются большей частотой. Частота каждого фотона — прямой показатель его «энергичности»: чем она выше, тем больше в нем содержится энергии.

Охлаждение продолжалось, и фотоны утрачивали все больше энергии в пользу все расширяющейся Вселенной. Фотоны, рожденные в частях спектра, приходящихся на рентгеновское и гамма-излуче-

¹ Наиболее точно измеренное значение скорости света в вакууме составляет $299\,792\,458 \pm 1,2\text{ м/с}$.

ние, превратились в ультрафиолетовый свет и в инфракрасные фотоны. Длина их волн увеличивалась, и они становились все прохладнее и энергичнее, но фотонами от этого быть не переставали. Сегодня, через 13,7 миллиарда лет после рождения Вселенной, фотоны реликтового излучения сместились вниз в рамках спектра, превратившись в микроволновое, или сверхвысокочастотное (СВЧ), излучение.

Вот почему астрофизики называют его космическим микроволновым фоном, хотя термин «реликтовое излучение» все же пользуется большей популярностью. Пройдет еще сотня миллиардов лет, Вселенная будет еще больше и прохладнее, и астрофизики будущего назовут наше реликтовое излучение космическим радиоволновым фоном.

Чем шире Вселенная, тем ниже ее температура. Все это соответствует доступной нам физике. Если отдельные части Вселенной все больше удаляются друг от друга, значит, длина волн фотонов реликтового излучения должна увеличиваться: космос растягивает эти волны вдоль эластичной канвы времени и пространства. Из-за того что энергия каждого фотона обратно пропорциональна длине его волны, все свободно перемещающиеся фотоны теряют до половины своей изначальной энергии с каждым двукратным увеличением Вселенной в размере.

Все объекты, температура которых превышает абсолютный нуль, излучают фотоны, приходящиеся на все части спектра. Данное излучение всегда где-то и в какой-то момент достигает своего максимума. Так, максимальная отдача энергии, или выработка, обычной домашней электрической лампочки лежит в инфракрасной части спектра. Это можно заметить по ощущению тепла на коже при приближении к ней источника такого света. Конечно же, лампочки выделяют немалое количество и видимого света (иначе мы бы их вряд ли покупали). Получается, излучение лампы можно не только видеть, но и ощущать — осязать.

В случае с фоновым излучением наибольшая отдача энергии происходит при длине волны около 1 мм — это середина микроволновой части спектра. Источник помех, которые можно услышать во время разговора по радиации, — это внешнее микроволновое излучение, небольшая доля которого идет непосредственно от реликтового излучения. Остальные «помехи» приходят с Солнца, от мобильных телефонов, радаров полицейских нарядов и др. Сила реликтового излучения достигает своего максимума в микроволновом спектре, но оно также частично состоит из радиоволн (именно это и позволяет им «вмешиваться» в радиосигналы с Земли) и ничтожного количества фотонов, обладающих большей энергией, чем СВЧ-волны.

Американский физик украинского происхождения Георгий Гамов и его коллеги предсказали существование реликтового излучения в 1940-х годах, а в 1948 году представили свои выкладки в полноценной статье. Известные на тот момент физические законы использовались в ней, чтобы определить те странные условия, в которых существовала ранняя Вселенная. Их идеи были основаны на вышедшей в 1927 году работе бельгийского астронома и иезуитского священника Жоржа Эдуарда Леметра, который сегодня считается отцом теории Большого взрыва. Однако примерную температуру космического фона — реликтового излучения — первыми предположили два американских физика, ранее работавшие с Гамовым, Ральф Альфер и Роберт Герман.

Альферу, Гамову и Герману пришла в голову относительно простая мысль — мы с вами уже ее озвучивали: вся канва пространства и времени вчера была меньше, чем сегодня, а раз она была меньше, значит, исходя из фундаментальных основ физики, она была горячее. Физики повернули стрелки часов назад и попытались вообразить эпоху, когда Вселенная была настолько горячей, что все ее атомные ядра были сами по себе: от столкновений с фотонами электроны разлетались во все стороны, не имея возможности прикрепиться к чему бы то ни было. В таких условиях, предположили

Альфер и Герман, фотоны не могли бы беспрепятственно путешествовать по Вселенной, как сегодня. Их сегодняшнее свободное перемещение возможно только потому, что в свое время Вселенная достаточно охладилась, чтобы позволить электронам прибиться к атомным ядрам и занять свои позиции на их орбитах. Так были сформированы полноценные атомы, и свет смог перемещаться, не встречая препятствий на своем пути.

Гамов высказал уверенное предположение, что ранняя Вселенная была существенно горячее сегодняшней, но именно Альфер и Герман первыми подсчитали текущую ее температуру: 5 градусов по шкале Кельвина. Да, их подсчет оказался неверным — сегодня мы знаем, что фактическая температура реликтового излучения составляет 2,73 градуса по шкале Кельвина. Но это не умаляет того факта, что эти трое ученых пришли к верному выводу об устройстве мира в столь древнюю космическую эпоху — и это достижение не менее важно, чем любое другое в истории науки. Взять за основу базовые закономерности физики, сидя в уютной лаборатории, и выявить с их помощью крупнейший комплекс данных, когда-либо измеренных, — получить кривую температурной истории Вселенной, — если это не сногшибательно, то тогда вообще неясно, что можно считать таковым. Профессор Джон Ричард Готт III, астрофизик Принстонского университета, дал следующую оценку этому успеху в своей книге «Путешествия во времени в эйнштейновской Вселенной»¹:

«Предсказать существование излучения и затем предположить значение его температуры, ошибившись менее чем в два раза, — это замечательное достижение: это как если бы вы предсказали, что летающая тарелка диаметром 50 футов² приземлится на газон у Белого дома, и затем стали свидетелем того, как именно туда прилетает и садится 27-футовая³ тарелка».

¹ Time Travel in Einstein's Universe, Джон Ричард Готт III, год выхода — 2001.

² 15,24 м.

³ 8,23 м.