



Лоренс Кросс и Роберт Шеррер

НАСТУПИТ ЛИ КОНЕЦ КОСМОЛОГИИ?

Ускоряющаяся Вселенная уничтожает
следы собственного прошлого

ОДИНОКАЯ ПЛАНЕТА: поскольку пространство становится все более разреженным из-за ускоряющегося космологического расширения, наша Галактика, содержащая Солнечную систему, оказывается погруженной в безграничную пустоту

Сто лет назад статья в журнале *Scientific American* об истории Вселенной и ее крупномасштабной структуре была бы расценена как ошибочная. В 1908 г. ученые считали, что наша Галактика — «островная вселенная», изолированное скопление звезд в окружении бесконечной пустоты. Сегодня нам известно, что Галактика — одна из более 400 млрд подобных объектов в наблюдаемой части всей Вселенной. Тогда же, в начале XX в., по принятому научному соглашению, Вселенная полагалась статичной и вечной, и возможность ее рождения в результате Большого взрыва в то время не рассматривалась. Не был изучен и синтез химических элементов — ни в первые минуты после Большого взрыва, ни в недрах звезд. Даже не предполагалось, что пространство может расширяться и искривляться под воздействием наполняющей его материи.

Трудно представить область интеллектуальной деятельности, которая на протяжении прошлого века подверглась бы изменениям, большим, чем космология. Мы кардинально пересмотрели нашу точку зрения на структуру окружающего мира. Но должна ли наука будущего постоянно требовать больше опытных знаний, чем было доступно ранее? Согласно последним исследованиям, на космологических промежутках времени ответ будет: «Нет, не должна». Возможно, мы живем именно в тот период эволюции Вселенной, когда ученые могут достичь полного понимания ее истинной природы.

Наши исследования были мотивированы эпохальным открытием, совершенным всего десять лет назад. Две независимые группы астрономов обнаружили, что последние 5 млрд лет наша Вселенная расширяется, причем с ускорением. Источником такой «космологической антигравитации» является новая форма материи, называемая «темной энергией», ассоциированной с вакуумом. Некоторые теоретики, включая одного из нас (Кросс), ожидали подобного результата, основанного на косвенных измерениях, но в физике это оказались прямые количественные наблюдения. Для ускоренного расширения Вселенной необходимо, чтобы пустое пространство содержало по крайней мере в три раза больше энергии, чем все наблюдаемые космические структуры и объекты: галактики, скопления и сверхскопления галактик. По иронии судьбы, Альберт Эйнштейн впервые ввел в рассмотрение такую специальную форму материи, чтобы сохранить статичность Вселенной. Он назвал ее «космологической постоянной». Темная энергия окажет значительное влияние на будущее Вселенной. С космологом Гленном Штаркманом (Glenn Starkman) из университета Кливленда в Огайо Кросс исследовал причастность феномена жизни во Вселенной к этой экзотической материи и сделал прогноз: «Наличие космологической постоянной не сулит жизни ничего хорошего». Такая Вселенная будет постепенно становиться все менее гостеприимной. Присутствие

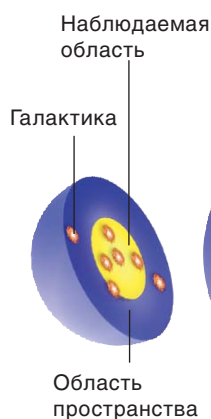
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Десять лет назад астрономы совершили революционное открытие ускоренного расширения нашей Вселенной. Ученые продолжают работать над применением этой теории.
- Ускоряющееся расширение со временем заставит галактики разлетаться от нас с кажущейся сверхсветовой скоростью, что приведет к их полному исчезновению из поля зрения наблюдателей. Этот процесс исключает существование опорных объектов для измерения степени расширения, а также полностью «размывает» все характерные особенности, оставшиеся с эпохи Большого взрыва. Иначе говоря, постепенно сглаживаются все наблюдаемые проявления Большого взрыва, которые когда-либо существовали.
- Для наших далеких потомков Вселенная будет выглядеть как небольшая россыпь звезд среди бесконечной и неизменной пустоты.
- Какую информацию Вселенная уже успела стереть к нынешнему моменту времени?

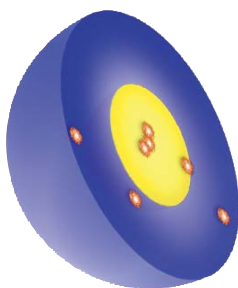
РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ: КРАТКИЙ ВЗГЛЯД

Вселенная может быть бесконечной. Рассмотрим теперь, что происходит с траекторией в пространстве вокруг нас (фиолетовый шар), от которого мы видим только часть (желтый вложенный шар). Если пространство расширяется, то галактики (оранжевые пятна) будут разлетаться в разные стороны. Поскольку свету требуется время

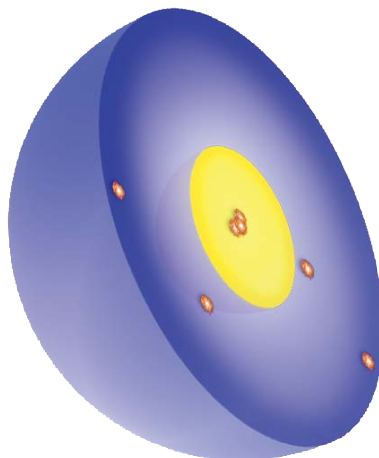
для распространения, то на Земле мы (или наши потомки) будем наблюдать постоянный рост объема пространства. Около 5 млрд лет назад расширение Вселенной стало ускоренным. Процесс привел к тому, что все больше и больше далеких галактик увлекаются от нас с кажущейся сверхсветовой скоростью



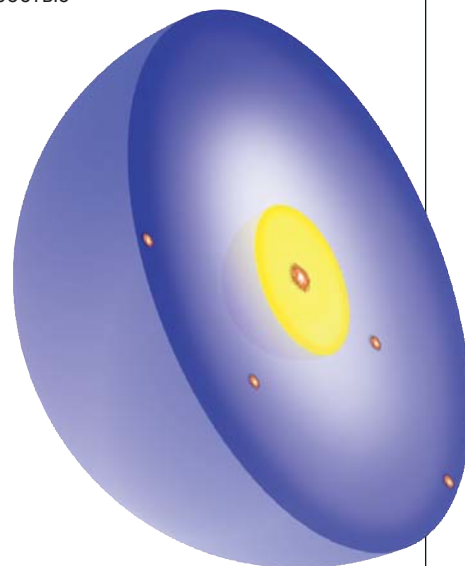
❶ В начале ускоренного расширения мы видим наибольшее число галактик, которое когда-либо будет существовать



❷ Наблюдаемая область пространства растет, но общий объем Вселенной растет быстрее, поэтому мы видим все меньшую часть Вселенной



❸ Удаленные галактики, не связанные с нами силами притяжения, уходят из поля зрения. Между тем эта сила объединяет близкие галактики в гравитационно-связанные системы



❹ Со временем все, что мы будем видеть, окажется одной гигантской галактикой, локализованной в пустоте

космологической постоянной может привести к образованию фиксированного «горизонта событий» — воображаемой сферы, вне которой ни материя, ни излучение никогда не достигнут наблюдателя. В такой модели Вселенная становится чем-то наподобие «внешней черной дыры», когда материя и излучение оказываются запертыми вне горизонта событий, а не внутри него. Это рассуждение приводит к выводу о том, что видимая Вселенная содержит конечное количество информации, и ее передача (следовательно, и зарождение и развитие жизни) не может продолжаться вечно. Задолго до того, как указанный информационный предел станет критическим, вся материя и излучение расширяющейся Вселенной окажутся за горизонтом событий. Этот процесс был изучен в работах Абрахама Лоэба (Abraham Loeb) и Кентаро На-

гамине (Kentaro Nagamine), ученых университета Гарварда, которые обнаружили, что наша так называемая «местная группа» галактик (включающая в себя нашу Галактику, галактику Туманность Андромеды и несколько карликовых галактик-спутников) сольется в единое сверхскопление звезд. Все другие галактики исчезнут из поля зрения наблюдателя. Этот процесс займет 100 млрд лет; по человеческим меркам кажется, что это много, но по сравнению с вечностью — чрезвычайно мало.

Рушащиеся основы теории

Что смогли бы сказать об истории Вселенной астрономы далекого будущего, живущие в сформировавшемся из нескольких галактик едином сверхскоплении звезд? Чтобы ответить на этот вопрос, напомним ключевые моменты современ-

ного понимания теории Большого взрыва.

Первый краеугольный камень — общая теория относительности Эйнштейна. На протяжении примерно трехсот лет теория универсальной гравитации Ньютона служила основой почти всей астрономии. Благодаря теории Ньютона была проделана основательная работа по предсказанию движения объектов в масштабах от земных до галактических. Но эта теория оказалась совершенно не пригодной, в частности, для слишком больших совокупностей массивных объектов. Общая теория относительности преодолела эти ограничения. Вскоре после опубликования Эйнштейном своей теории в 1916 г. датский физик Виллем де Ситтер решил уравнения общей теории относительности для упрощенной модели Вселенной, включающей эйнштейн-

новскую космологическую постоянную. Работа де Ситтера, по-видимому, воспроизвела распространенный в то время взгляд на Вселенную как на изолированную «галактику», погруженную в гигантскую неподвижную пустоту.

Но вскоре космологи поняли, что кажущаяся статичность ошибочна — вселенная де Ситтера бесконечно расширяется. Как позже прояснил бельгийский физик Георг Леметр (George Lemaitre) — один из многих ученых, занимавшихся этой проблемой, — уравнения Эйнштейна предсказывают, что бесконечная, однородная, неподвижная вселенная невозможна. Она должна либо расширяться, либо сжиматься. Из таких рассуждений и родилась так называемая «теория Большого взрыва».

В 20-х гг. прошлого века астрономы установили факт расширения Вселенной, что стало следующим краеугольным камнем современной космологии. Первым астрономом, обнаружившим наблюдательное проявление расширения, был американец Весто Слайфер (Vesto Slipher), который использовал спектры звезд для измерения скоростей ближайших галактик. Свет от звезды, движущейся по направлению к Земле, обладает меньшей длиной волны, смещенной в голубую, высокочастотную, область спектра. Свет же от объекта, движущегося от наблюдателя, обладает большей длиной волны, смещенной в красную область спектра. Измеряя растяжение или сжатие световых волн, Слайфер смог определить направление и скорость движения удаленных галактик, их излучивших. Заметим, что в то время астрономы даже не были уверены, являются ли размытые световые пятнышки, которые мы называем «галактиками», действительно состоящими из множества независимых тел (звезд) или это всего лишь облака газа в нашей собственной Галактике. Слайфер нашел, что практически все галактики удаляются от нас так, как будто мы находимся в центре этого разбегания.

Но честь открытия расширения Вселенной принадлежит не Слайферу, а американскому астроному Эдвину Хаббл (Edwin Hubble), который определил не только скорости галактик, но также и расстояния до них. Его измерения привели к двум основным выводам, которые и сделали его знаменитым. Во-первых, Хаббл показал, что галактики находятся так далеко от нас, что действительно являются самостоятельными совокупностями звезд,

Через 100 млрд лет основополагающее открытие Хабблом расширения Вселенной не удалось бы повторить

подобными нашей Галактике. Во-вторых, он вывел простую связь между расстояниями до галактик и их скоростями. Скорость галактики прямо пропорциональна расстоянию до нее: галактика удаляется от нас вдвое дальше и вдвое быстрее. Такая связь между скоростью и расстоянием и означает расширение Вселенной. Со времен Хаббла его открытие было неоднократно проверено различными методами с большой точностью. Недавние наблюдения удаленных сверхновых звезд, подтвердив хаббловское расширение Вселенной, привели к открытию темной энергии.

Наконец, третий краеугольный камень современной космологии — это слабое свечение космического микроволнового реликтового излучения, случайно открытое в 1965 г. двумя физиками из *Bell Labs* — Арно Пензиасом (Arno Penzias) и Робертом Вильсоном (Robert Wilson), когда они искали источники помех радиоприборов. Найденное излучение было

легко опознано как реликт ранних стадий эволюции Вселенной — оно показало, что Вселенная начала расширяться из горячего и плотного состояния, остывая по мере расширения.

Последнее наблюдательное свидетельство Большого взрыва — ядерные реакции в горячей и плотной Вселенной, идеальном месте для таких процессов. Когда температура Вселенной была от 1 млрд до 10 млрд градусов Кельвина, легкие

ядра могли объединяться в более тяжелые. Этот высокотемпературный процесс ядерного нуклеосинтеза мог протекать только в первые несколько минут после рождения Вселенной, т.к. по мере расширения она остывала. Таким образом, слиянию успели подвергнуться самые легкие элементы. Основная часть гелия во Вселенной сформировалась именно тогда, так же как и дейтерий («тяжелый водород»). Измеренное изобилие гелия и дейтерия подтверждает нуклеосинтез в ранней Вселенной, впервые предлагая точные оценки количества протонов и нейтронов.

Темные небеса

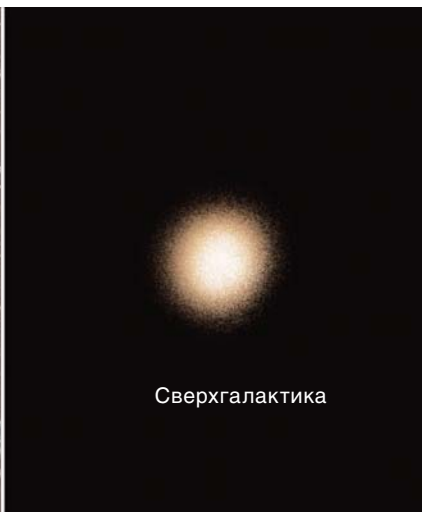
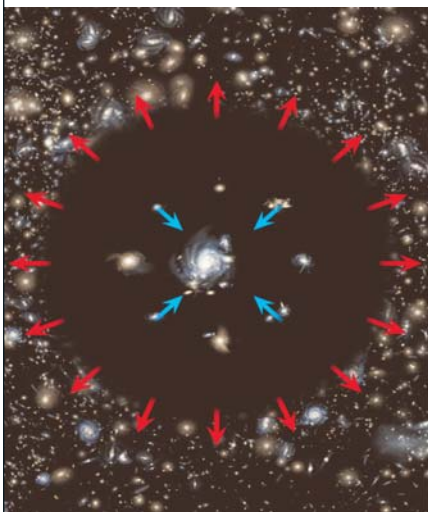
Что увидят ученые будущего, взглянув на небо через 100 млрд лет? Без помощи телескопа они смогут рассмотреть то же, что и сейчас: звезды нашей Галактики. Самые крупные и яркие из них сгорят, исчерпав внутреннюю энергию, но множество более мелких останется сиять на небосклоне. Существенное отличие будет

ОБ АВТОРАХ

Лоуренс Кросс (Lawrence M. Krauss) и **Роберт Шеррер** (Robert J. Scherrer) начали совместную деятельность два года назад. Кросс — космолог из Университета Западного резервного района (Кливленд, штат Огайо) и директор его Центра образования и космологических и астрофизических исследований, автор семи книг и активный популяризатор науки. Шеррер — космолог, профессор кафедры физики и астрономии в университете Вандербилта, а также автор научно-фантастических книг.

АПОКАЛИПСИС ПОЗНАНИЯ

Ускоренное космологическое расширение начало подрывать три важнейшие наблюдательные основы теории Большого взрыва: разбегание галактик, космическое микроволновое фоновое излучение и относительный состав легких элементов, таких как гелий и водород



Сверхгалактика

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ все три пункта являются важнейшими подтверждениями гипотезы Большого взрыва. Мы видим, что далекие галактики удаляются от нас (красные стрелки), а близкие наоборот движутся к нам (голубые стрелки); фоновое излучение распределено по пространству; межзвездный газ долго сохраняет смесь химических элементов, образовавшихся в ранней Вселенной

МИЛЛИАРДЫ ЛЕТ СПУСТЯ близкие к нам галактики сольются с Млечным Путем, а далекие исчезнут из поля зрения. Фоновое излучение рассеется, и его станет невозможным зарегистрировать. Многократное звездообразование исказит первоначальный состав химических элементов межзвездного газа

заметно, когда будущие исследователи построят мощные телескопы, способные проникнуть в другие галактики. Они не увидят ни одной! Ближайшие давно сольются с Млечным Путем, сформировав одну гигантскую галактику, а все другие уйдут слишком далеко, скрывшись за горизонтом событий Вселенной.

Исчезновение из нашего поля зрения далеких галактик будет мгновенным, но постепенным. Их красное смещение будет становиться бесконечно большим по мере их приближения к границе доступной нашим наблюдениям области. Краус и Штаркман грубо оценили, что через 100 млрд лет красное смещение галактик превысит $z = 5000$, достигнув за 10 трлн (10 000 млрд) лет невообразимой величины $z = 1053$. К этому времени спектры космических лучей сверхвысоких энергий бу-

дет смещены в красную область так сильно, что длины их волн окажутся больше размера горизонта событий. Галактики окажутся окончательно и бесповоротно невидимы для нас.

Таким образом, принципиальное для современной космологии открытие Хаббла невозможно совершить в будущем. Вся разлетающаяся материя во Вселенной исчезнет за видимым горизонтом событий, и в распоряжении наблюдателей останется только часть гравитационно-связанного скопления звезд. Для астрономов будущего наблюдаемая Вселенная будет напоминать «островную вселенную» представления 1908 г.: вечно существующее единственное гигантское скопление звезд, окруженное пустым пространством.

Опыт показывает, что даже наличие наблюдательных данных может привести к построению ошибочной

космологической модели. Например, с 1940-х по середину 1960-х гг. на фундаменте наблюдательной космологии, основанной только на открытии Хабблом расширения Вселенной, некоторые астрофизики решили возродить к жизни идею о «вечной вселенной»: устойчивой неподвижной Вселенной, в которой материя рождается за счет расширения пространства, таким образом, вселенная в целом не должна изменяться со временем. Эта идея оказалась интеллектуальным тупиком, но она продемонстрировала, что ошибочные предположения могут развиваться при отсутствии адекватных наблюдательных данных.

А где же астрономам будущего искать проявления Большого взрыва? Сможет ли космическое микроволновое излучение привести их к пониманию динамики Вселенной? Увы, нет. По мере расширения Вселенной длины волн фонового излучения растягиваются, и излучение становится более разреженным. Когда Вселенная станет на 100 млрд лет старше, максимум длин волн микроволнового излучения будет порядка нескольких метров, соответствуя радиоволнам, а не микроволнам. Интенсивность излучения будет уменьшена в триллион раз, и оно никогда не сможет быть обнаружено.

Даже в не столь отдаленном будущем космический фон окажется ненаблюдаемым. Межзвездное пространство в нашей Галактике заполнено ионизованным электронным газом. Низкочастотные радиоволны не могут проникнуть сквозь такую среду — они будут поглощены или отражены. Похожий эффект объясняет, каким образом амплитудно-модулированные радиостанции могут находиться далеко от принимающих их пунктов: радиоизлучение отражается от ионосферы и возвращается к поверхности Земли. Пространство в среднем может быть представлено как гигантская ионосфера, заполненная галактиками. Любые радиоволны с частотами меньше одного килогерца (длины волн больше 300 км) не смогут проникнуть в нашу Галакти-

ку. Когда Вселенная станет старше в 25 раз, микроволновой фон «растянется» за эту длину волны, и наблюдателям нашей Галактики будет невозможно его детектировать. И даже до этого слабые следы фонового излучения, которые обеспечивают столь полезной информацией современных ученых, уже станут слишком «безгласным».

Сожжение

Смогут ли наблюдения избытка химических элементов привести космологов далекого будущего к пониманию механизмов Большого взрыва? Ответ скорее всего будет опять отрицательным. Проблема в том, что наши возможности исследования нуклеосинтеза в эпоху, близкую к Большому взрыву, зависят от того, что избыток дейтерия и гелия не сильно изменился с того времени как сформировался почти 14 млрд лет назад. Гелий, образовавшийся в ранней Вселенной, например, составлял около 24% от всей материи. Несмотря на то что звезды производили гелий в процессе ядерных реакций, они увеличили избыток этого элемента всего на несколько процентов. Астрономы Фред Адамс (Fred Adams) и Грегори Логлин (Gregory Laughlin) из университета Мичи-

измерения этого избытка следуют из наблюдения водородных облаков, подсвеченных квазарами — далекими яркими маяками, предположительно берущими энергию от черных дыр. В далеком будущем Вселенной как водородные облака, так и квазары уйдут за горизонт событий и будут навсегда потеряны для наблюдателей. Только галактический дейтерий может остаться наблюдаемым. Но звезды разрушают дейтерий, которого становится мало. Даже если астрономы будущего его обнаружат, они не смогут однозначно привязать его наличие к Большому взрыву. Ядерные реакции, в которые вовлечены частицы сверхвысоких энергий, изучаемые в настоящее время как возможные источники хотя бы части наблюдаемого дейтерия, могли бы оказаться более подходящими.

Несмотря на то что наблюдаемый избыток легких элементов не дает никаких прямых подтверждений теории Большого взрыва, тем не менее он может обозначить один аспект космологии будущего, отличный от иллюзорной космологии прошлого века. Астрономы и физики, которые развивают понимание ядерной физики, справедливо заключили, что звезды сжигают ядерное топ-

ТЕРЯ «ХИМИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ» К ТЕОРИИ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Вселенная почти полностью состоит из водорода и гелия, образованного в первые три минуты после Большого взрыва. Звезды перерабатывают некоторое количество водорода в гелий, но пока не так много. Наблюдаемые данные об относительном составе этих элементов являлись главным фактором в понимании Большого взрыва. В будущем же, когда звезды продолжат преобразование вещества в своих недрах, эта информация потеряет свою ценность, т.к. перестанет быть характеристикой одного только Большого взрыва

■ Водород ■ Гелий
■ Элементы тяжелее гелия

Большой взрыв (+ несколько минут)

76% 24%

Современность

70% 28%

1 трлн лет

20% 60% 20%

Если статьи о космологии переживут свое время, сохраненные в архивах, то они, возможно, окажутся единственным источником информации о Большом взрыве для цивилизаций будущего. Поверят ли они – другой вопрос

гана предположили, что эта часть могла бы увеличиться до 60% после многократного звездообразования. Наблюдатель в далеком будущем обнаружил бы первичный гелий, «потонувший» в гелии, возникшем в результате звездообразования.

В современную эпоху самая достоверная проверка гипотезы первичного нуклеосинтеза — по избытку дейтерия. Наши лучшие

выводы. Если далее они сделают вывод (ошибочный), что весь гелий, который они наблюдают, был произведен в процессах в ранних звездах, они смогут оценить максимально возможный возраст Вселенной и сделать соответствующий вывод о том, что их галактика не вечна, и у нее есть конкретный возраст. Происхождение же наблюдаемой материи будет окутано тайной.

Какова же судьба идеи, с которой мы начали статью, сказав, что теория относительности Эйнштейна предсказывает расширение Вселенной и начальный Большой взрыв? Жители далекого будущего могли бы открыть общую теорию относительности с помощью высокоточных измерений гравитации в их собственной Солнечной системе. Но использование этой теории для вывода гипотезы Большого взрыва, возможно, остановится в силу отсутствия крупномасштабной структуры — Вселенная будущего будет напоминать «островную вселенную» де Ситтера, погруженную в глубочайшую пустоту. Мы, Кросс и Шеррер, считаем, что наблюдаемую Вселенную в далеком будущем ожидает коллапс в черную дыру, что вначале произойдет и с нашей Галактикой.

ИСЧЕЗАЯ ВО ТЬМЕ

Ночное небо Земли (если считать, что наша планета будет существовать в далеком будущем) кардинально изменится, когда наша Галактика Млечный Путь сольется со своими ближайшими соседями, а далекие галактики уйдут из зоны видимости



СЕЙЧАС

РАССЕЯННАЯ ПОЛОСА, пролегающая по небу, — вид с ребра диска нашей Галактики. Несколько близких галактик-спутников, таких как Туманность Андромеды и Магеллановы Облака, видимы невооруженным глазом. Телескоп обнаружит еще миллиарды галактик



ЧЕРЕЗ 5 МЛРД ЛЕТ

ТУМАННОСТЬ АНДРОМЕДЫ движется по направлению к нам и сейчас почти полностью заполняет собой небо. Солнце превращается в красного гиганта и впоследствии сгорит, оставив Землю безрадостно существовать во тьме

Одни в пустоте

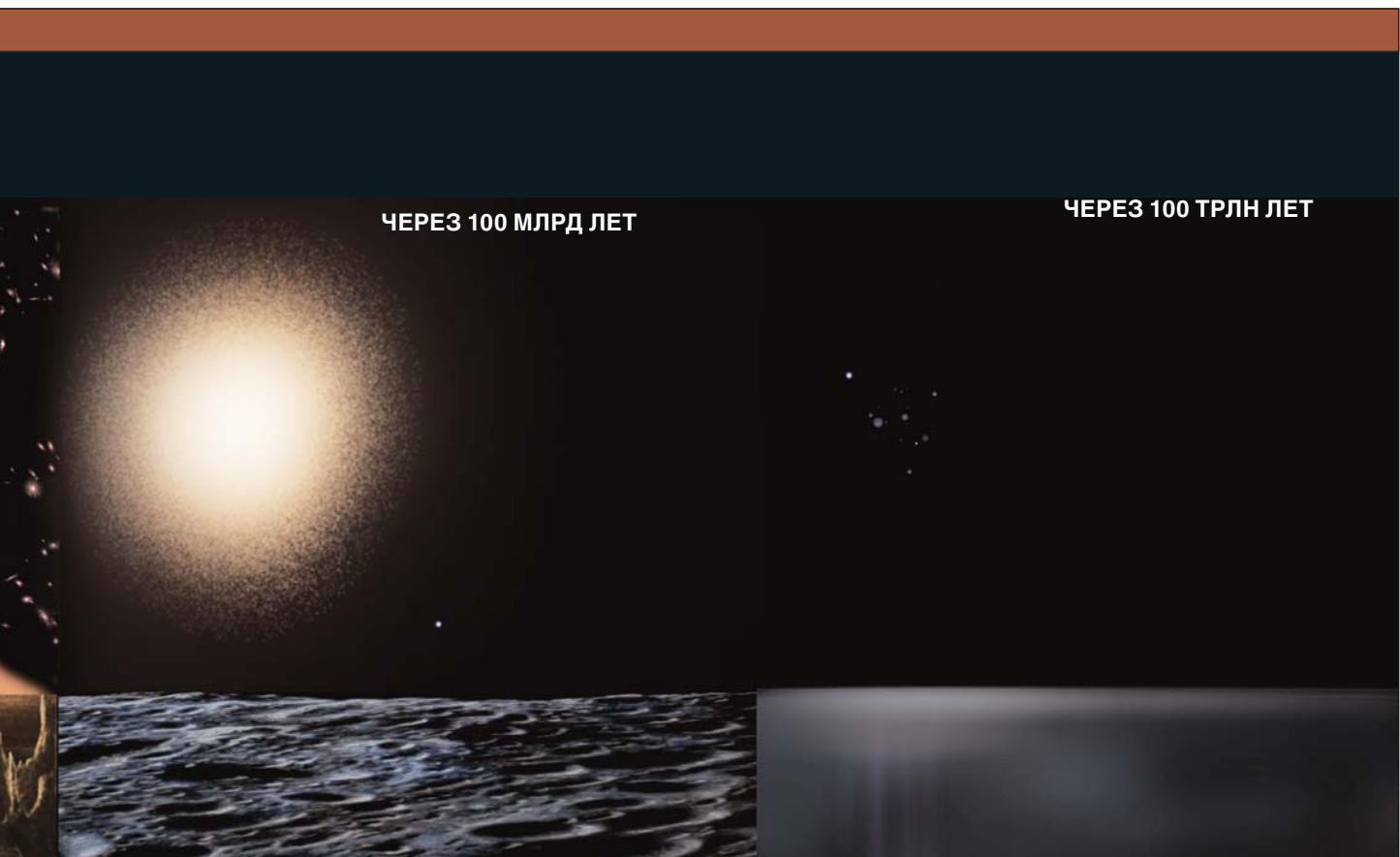
Ускорение Вселенной смогло бы сохранить вещество внутри горизонта событий, по крайней мере, в рамках нашего текущего понимания общей теории относительности. По аналогии с процессом хокинговского излучения вблизи горизонта черной дыры, предполагается, что горизонт Вселенной также может быть подвержен этому излучению. Его температура лежит много ниже порога измеримости — 10—30 градусов Кельвина. Даже если исследователи смогут ее зарегистрировать, они, вероятно, отнесут ее к шумам далеких локальных источников. Астрономы будущего смогли бы посылать зонды, покидающие их «сверхгалактику» и становящиеся точками отсчета для обнаружения возможного космо-

логического расширения. Даже если предполагать удачный исход такого предприятия, потребуются миллиарды лет для того, чтобы зонд достиг той точки пространства, где расширение повлияло бы на его скорость. Кроме того, зонду для возвращения потребовалась бы энергия, сравнимая с той, которая нужна звезде для посылки сообщения назад, к ее создателю, на такое же гигантское расстояние. Таким образом, научные фонды будущего вряд ли поддержали бы такой «выстрел в темноту», по крайней мере, если ориентироваться на современный опыт.

Возможен вариант развития Вселенной, согласно которому она завершит свое существование в локальном Большом хлопке, а не будет вечно расширяться за счет наличия космо-

логической постоянной. Тогда, вопреки прогнозам Т.С. Элиота, мир кончится все-таки не всхлипом, но взрывом.

Наша логика неотвратимо приводит нас к странному выводу. Временной интервал, в течение которого грамотный наблюдатель может выявить истинную природу расширяющейся Вселенной, невелик. Исторические архивы и написанные нашими современниками статьи по космологии могут оказаться единственным источником информации для будущих цивилизаций — если, конечно, эти свидетельства смогут пережить миллиарды лет войн, вспышки сверхновых, черные дыры и другие опасности. Поверят ли они — это другой вопрос. Но даже обладающие этими знаниями люди могут остаться в неведении о Большом взрыве.



ЧЕРЕЗ 100 МЛРД ЛЕТ

ЧЕРЕЗ 100 ТРЛН ЛЕТ

ПРЕЕМНИК Млечного Пути — шарообразная гигантская галактика. Земля поплывет на ее окраине, заброшенная и одинокая. Прочие галактики исчезнут во тьме

БЕЗ СВЕТА: Последняя звезда погасла. Напротив тускло поблескивающих черных дыр и искусственных источников света, созданных сверхцивилизациями, Вселенная канула во мрак. Галактика сжимается в черную дыру

Почему современная Вселенная обладает такими особыми свойствами? Многие исследователи близки к мысли о том, что факт существования жизни обеспечивает некий принцип отбора, который может объяснить совпадения, ассоциированные с современным периодом ее истории. Мы получили несколько уроков от нашей работы.

Во-первых, информация о Вселенной могла неоднократно теряться в результате ускоренного расширения пространства-времени. Если в ранней Вселенной был период инфляции, то быстрое расширение в течение той эры разнесло далеко за пределы нашей наблюдаемой Вселенной практически все свидетельства существовавших тогда материи и энергии. Действительно,

одной из мотиваций к построению инфляционной модели было избавиться Вселенную от докучливых космологических объектов, таких как магнитные монополии, которые иначе должны были существовать в изобилии.

Во-вторых, что еще более важно, — нам повезло жить в ту эпоху, когда существуют наблюдаемые основы Большого взрыва, которые мы можем обнаружить. Мы видим, что другие фундаментальные аспекты Вселенной сегодня принципиально не наблюдаемы. Что мы уже потеряли? Возможно, однажды мы обнаружим, что наше кажущееся таким полным понимание Вселенной оставляет серьезно желать лучшего. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- MLife, the Universe and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe. Lawrence Krauss and Glenn Starkman in *Astrophysical Journal*, Vol. 531, No. 22, pages 22–30; March 2000. Доступна по адресу: www.arxiv.org/abs/astro-ph/9902189
- The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. Fred C. Adams and Greg Laughlin. Free Press, 2000.
- Atom: A Single Oxygen Atom's Journey from the Big Bang to Life on Earth ... and Beyond. Lawrence M. Krauss. Back Bay Books, 2002.
- The Return of a Static Universe and the End of Cosmology. Lawrence M. Krauss and Robert J. Scherrer in *Journal of General Relativity and Gravitation*, Vol. 39, No. 10, pages 1545–1550; October 2007. www.arxiv.org/abs/0704.0221