

Глава 2

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ И ЕЕ ПЕРВЫЕ СОТНИ ТЫСЯЧ ЛЕТ: ЭРА ГОСПОДСТВА ДОАТОМНЫХ ЧАСТИЦ³¹

В данной главе я частично использовал периодизацию процессов по таблице М. В. Сажина (2002: 37), однако ее пришлось сильно переработать с учетом того, что сказано о последовательности инфляции и горячего Большого взрыва, и коррекции датировок по Д. С. Горбунову и С. А. Рубакову (2012; см. также Рис. 4, который взят из этой книги). В связи с тем, что о времени длительности инфляции и постинфляционного разогрева трудно что-либо сказать, можем условно считать, что время 10^{-43} – 10^{-36} покрывает обе стадии.

Таблица 1. Основные эпохи эры господства элементарных частиц

| Название эпохи и физические процессы в то время | Время от начала Вселенной | Температура |
|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Стадия инфляции и рождение классического пространства-времени | 10^{-43} – 10^{-36} с, возможно, дольше | Считается, что это холодная стадия ³² |
| Стадия постинфляционного разогрева и начало формирования вещества | Определить сложно | Быстро растет до очень высоких значений |
| Собственно горячий Большой взрыв и рождение вещества | 10^{-36} с | 10^{32} – 10^{29} К (см. сн. 33) |
| Рождение барионного избытка | 10^{-35} с | 10^{29} К |
| Электрослабый фазовый переход | 10^{-10} | 10^{17} – 10^{16} К |
| Образование протонов и нейтронов | 10^{-4} | 10^{12} – 10^{13} К |

³¹ Под доатомными частицами имеются в виду элементарные, субатомные и ядра легких элементов (то, что выше в § 1.3.1 названо частицами элементарной структуры).

³² Скорее, речь в этой фазе может идти даже не о температуре, а о плотности энергии вакуума, пересчитанной в температуру.

³³ В теориях, в которых Вселенная начиналась Большим взрывом, предполагалось такое состояние сингулярности, при которой величины неизмеряемы. В теориях, где горячий Большой взрыв лишь одна из фаз, также, конечно, всякого рода предположения о величине температуры, давления и других величин очень гипотетичны, но все же они принципиально измеряемы. Скорее всего, температура могла быть ниже 10^{32} К.

Окончание Табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| Первичный нуклеосинтез (синтез атомных ядер) | Начиная с первой секунды до 5–15 минут | 10^9 – 10^{10} К |
| Гравитационное доминирование темной материи и ее кластеризация в гравитационных ямах | Начались после нуклеосинтеза до процесса рекомбинации | 3×10^5 К (период 700 лет после БВ) |
| Рекомбинация атомов водорода | Процесс активно шел в период приблизительно 240–270 тыс. лет | 3×10^3 К |

2.1. Предварительные замечания. Загадочные субстанции

1. Особенности периодизации эры господства элементарных частиц. Распространенная в сегодняшней популярной литературе последовательность эпох Ранней Вселенной присутствовала уже в работе С. Вайнберга (изложенной в его популярной книге «Первые три минуты»)³⁴ и в еще более ранних, начиная с работ Дж. Гамова. Конечно, с течением времени последовательность процессов претерпела значительные изменения, в том числе добавились фазы (при этом температуры стали на много порядков выше, а время – короче³⁵). Теория Большого взрыва, как мы видели выше (в § 1.2), многое не могла объяснить в характеристиках современной Вселенной. В частности, почему Вселенная большая, горячая, изотропная, однородная, пространственно плоская.

В больших масштабах наша Вселенная выглядит одинаково. Это так называемый космологический принцип, согласно которому каждый наблюдатель в один и тот же момент **времени**, независимо от места и направления наблюдения, обнаруживает во **Вселенной** в среднем одну и ту же картину. То есть в ней нет каких-то особых точек, где бы эта

³⁴ Она возникла из лекции 1973 г., а ее первое издание вышло из печати в 1977 г.

³⁵ Так, например, Вайнберг (2000) пишет: «Примерно через одну сотую долю секунды (то есть 10^{-2} с. – Л. Г.), самое раннее время, относительно которого мы можем говорить с какой-то определенностью, температура Вселенной была равна примерно ста тысячам миллионов (10^{11}) градусов Цельсия». Сравните с температурами, приведенными в Таблице 1.

одинаковость пропадала. Взрыв не мог бы дать изотропии³⁶. Температура фотонов реликтового излучения хотя и в очень небольшой мере, но неодинакова в зависимости от направления, это называется анизотропией реликтового излучения.

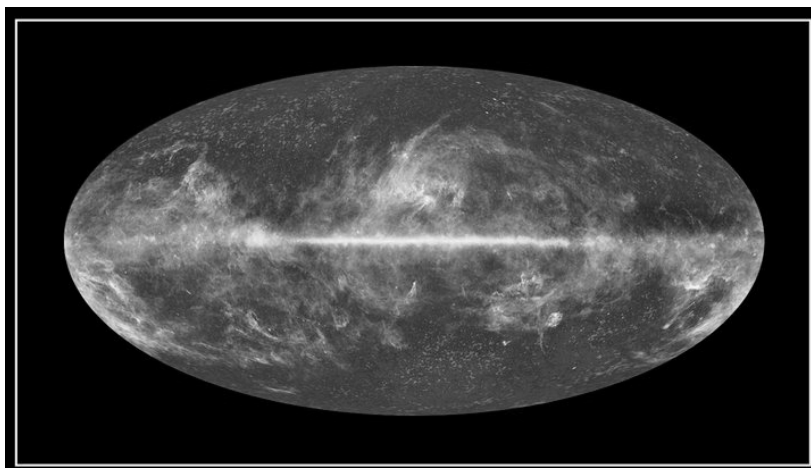


Рис. 2. Карта Вселенной в микроволновом диапазоне, которая также позволяет представить картину реликтового излучения – «эха» Большого взрыва. Карта создана на основе съемки небосвода космической обсерваторией «Планк»

Источник: http://www.nasa.gov/mission_pages/planck/index.html

Введенная в конце 1970 – начале 1980-х гг. очень короткая, но теоретически крайне важная эпоха инфляции (то есть расширения) Вселенной объясняет, как уже было отмечено, сложные моменты, которые не объяснялись теорией Большого взрыва. Эпоха инфляции является очень важной для современных космологических и космофизических концепций. Как уже сказано, в ней сходятся (или с ней связаны) многие современные очень сложные и важные для понимания мироздания теории, в частности и возможность превышения количества частиц вещества над антивеществом, превращения безмассовых частиц в частицы, имеющие массы³⁷, и ряд других. Разумеется, и теория инфляции не разрешила все трудно-

³⁶ Независимость от места наблюдений, то есть равноправие всех точек **пространства**, носит название **однородности**; независимость от направления, то есть отсутствие выделенного направления в пространстве – **изотропии** Вселенной.

³⁷ Это связано с существованием так называемого бозона Хиггса (см. Рис. 3), который будто бы открыли в 2012 г. на Большом адронном коллайдере.

сти. Естественно, что в трансформациях этой стадии также много неясного и спорного.

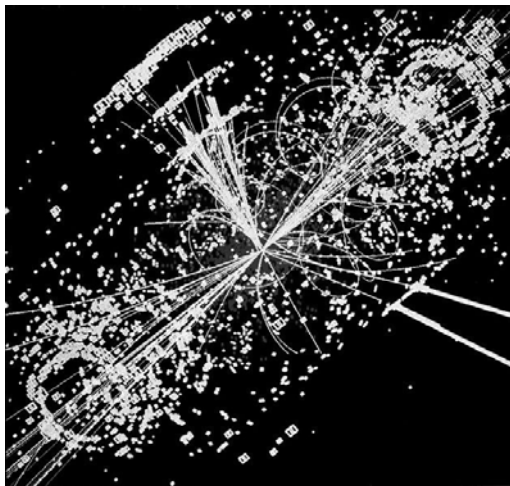


Рис. 3. Моделирование процесса рождения бозона Хиггса в детекторе CMS (одном из детекторов элементарных частиц на Большом адронном коллайдере)

Источник: http://www.nsf.gov/mobile/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=119404&org=NSF

2. Темная материя и темная энергия – загадочные субстанции.

Очень важным дополнением к вайнберговской последовательности и характеристикам процессов являются так называемая темная материя (масса) и темная энергия (или космический вакуум с отрицательным давлением). С темной материей очень многое неясно. Прежде всего, очень сложно судить о том, какие частицы составляют темную материю, хотя различные довольно правдоподобные гипотезы имеются (ниже мы о них скажем). Неясно также, когда она сформировалась, возможно, не позже первых 10 мкс после Большого взрыва, а, возможно, уже до него в период постинфляционного разогрева. Фактически, как мы будем говорить ниже, уже в самые первые миллисекунды после БВ в результате остывания Вселенной началось формирование вещества. По-видимому, оно стало возникать в виде разных частиц, которые далее образовали разные эволюционные виды материи (темной и привычной нам светлой, или барионной). Если посмотреть на Рис. 4, то видно, что на нем возникновение темной материи идет параллельно с возник-

новением барионной (светлой) материи. Иными словами, перед нами два типа процесса, вероятно, вызванных одной причиной: остыванием и разбуханием Вселенной. Энергия трансформируется в вещество в виде как известных нам, так и неизвестных элементарных частиц. При этом поведение разных типов материи существенно различалось на разных стадиях эволюции Вселенной. В частности, в настоящий момент более или менее общепризнано, что темная материя сыграла важную роль в структурировании Вселенной. Ниже мы подробнее остановимся на механизмах этого феномена.

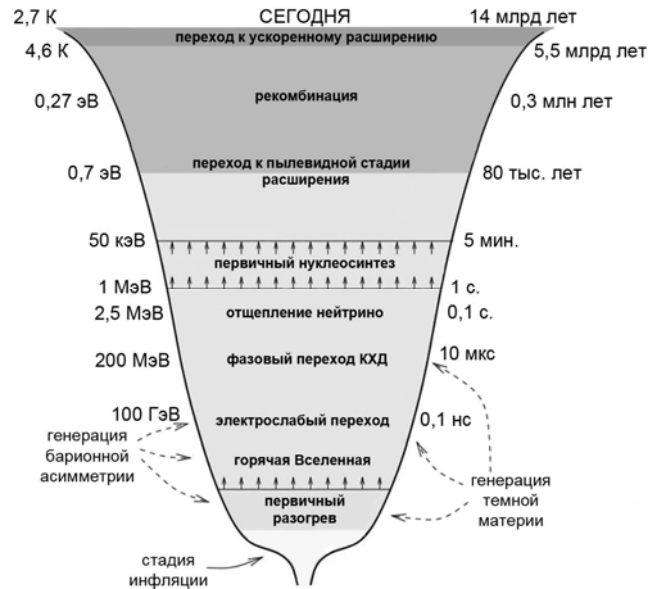


Рис. 4. Этапы эволюции Вселенной

Источник: Горбунов, Рубаков 2012: Рис. 1.10

Забегая вперед, скажем, что в скором времени после нуклеосинтеза (образования ядер водорода и гелия), который завершился в течение первых 15 минут после БВ, начинается процесс роста первичных гравитационных неоднородностей из темной материи, которые станут потом затравками для возникновения галактик из обычного вещества. Обычная материя в это время не может сгущаться в галактики из-за радиационного давления на ионизированное вещество. Без гравитационных ям темной материи, возникших в это время, галактики никогда не появились бы. Поэтому имеет смысл го-

ворить о периоде гравитационного доминирования темной материи, которое продолжалось в течение первых 270 тыс. лет.

Есть еще одна, даже более мощная сила – темная энергия или космический вакуум (вакуумоподобная субстанция с отрицательной силой притяжения или, иными словами, силой отталкивания), который был открыт в конце XX в. Было установлено, что расширение Вселенной происходит с ускорением, а это, согласно известным законам, может быть только в случае, если за это ускорение отвечает какая-то сила, например вакуум с отрицательным давлением, то есть с антигравитацией. Формирование этой силы пока нашло слабое отражение в схеме эволюционных последовательностей Ранней Вселенной, хотя отдельные идеи о том, как темная энергия влияла на крупномасштабную структуру Вселенной, высказываются (см., например: Конселис 2007; в § 1.2 мы уже касались этого вопроса). Темная энергия, по современным данным, составляет от двух третей до трех четвертей всей энергии Вселенной³⁸. Повторим, что именно она, будучи противоположной по знаку гравитации, ответственна, как полагают сегодня, за ускорение, с которым галактики разбегаются (если бы ускорения не было, то скорость разбегания падала бы, а сейчас она ускоряется по экспоненте). Поэтому иногда говорят, что мы живем в эпоху вторичной инфляции (см. также Рис. 5).

Однако когда возник этот космический вакуум? И какая энергия сформировала эту силу? Может быть, та, что возникла из аннигиляции вещества? Хотя сама эта аннигиляция (о которой мы еще скажем ниже) также есть гипотеза. Или темная энергия, согласно логике теории Лямбда, появилась еще в период инфляции? И темная материя, и темная энергия являются пока теоретическими конструктами, которые введены для того, чтобы объяснить некоторые наблюдения и эксперименты, в частности несоответствие наблюдаемой массы в космосе и движений галактик законам гравитации, а также величине красного смещения при наблюдении далеких сверхновых. Тем не менее, это несоответствие может иметь и иные объяснения, вплоть до того, что законы гравитации придется пересматривать.

³⁸ По самым последним данным, полученным в результате исследований космической обсерватории «Планк», мир состоит на 4,8 % из обычного (барионного) вещества (предыдущая оценка, по данным WMAP, – 4,6 %), на 25,4 % – из темной материи (против 22,7 %) и на 70 % (против 73 %) – из темной энергии.

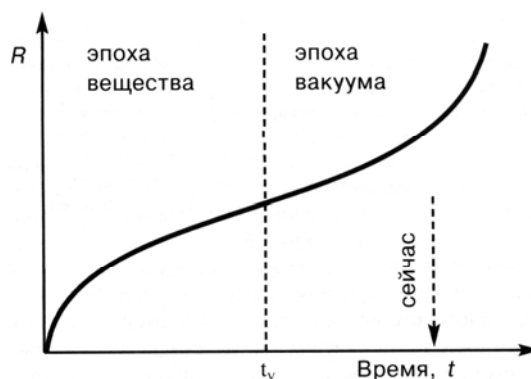


Рис. 5. Изменение расстояний в реальном мире. Сейчас расширение происходит с ускорением по (почти) экспоненциальному закону. Раньше оно происходило с замедлением. Переход к ускоренному расширению произошел при возрасте мира $t_v \sim 6-8$ млрд лет. На Рис. 4 (выше) мы видим другую датировку этого события – 5,5 млрд лет после БВ

Источник: Чернин 2005: 51

Сегодня стало уже достаточно общепринятым утверждение, что в истории Вселенной был такой момент, после которого сила общей гравитации во Вселенной стала слабее отталкивания. В результате во Вселенной силы отталкивания, созданные темной энергией, начинают преобладать, а расширение становится бесконечным³⁹. Приходится этот момент примерно на половину времени существования Вселенной. Этот момент пока не нашел окончательного места в существующих периодизациях. Правда, в некоторых случаях он послужил основанием для периодизаций истории Вселенной с двумя эпохами: эпохой вещества и эпохой вакуума (см. Рис. 5).

2.2. Стадия инфляции и горячий Большой взрыв: рождение пространства, времени и вещества

1. Фаза инфляции. Пространство и время. Момент начала в некоторых случаях позволяет объяснить, почему сложилась именно

³⁹ Выглядит такое утверждение достаточно пессимистично и с точки зрения эволюциониста даже абсурдно, поэтому в дальнейшем (после соответствующих открытий) этот момент может быть пересмотрен (и даже иногда появляются слабые указания на то, что экспоненциальное ускорение затухает).

такая структура. Это относится и к характеристикам Вселенной. «Как многие свойства характера человека закладываются в раннем детстве, так и основные свойства нашей Вселенной являются следствием “младенческой стадии” ее развития» (Сажин 2002: 37). Однако, как мы уже говорили выше, теория Большого взрыва не могла объяснить очень многого, что удалось объяснить именно с помощью теории инфляции. В настоящий момент теория Большого взрыва прочно объединена с теорией инфляции.

В настоящем контексте главное для понимания заключается в том, что именно фаза инфляции сегодня многими (но далеко не всеми) рассматривается как первая фаза жизни Вселенной (хотя часть физиков по-прежнему считают, что первая фаза – это Большой взрыв, а инфляция наступает после него). Было ли что-то до нее и что это было, абсолютно неясно (этот момент мы рассматривали выше). Но то, что горячий Большой взрыв имел место после фазы инфляции, – распространенное среди физиков и космологов представление. Расширение Вселенной на этой фазе происходило за счет другой силы (*инфлатона*), поэтому Вселенная не была изначально очень горячей.

Стадия инфляции продолжалась ничтожнейшие доли секунды. Мы видели, что разброс мнений здесь велик. Иногда говорится об интервале 10^{-34} (Guth 2002), иногда – о большем, от 10^{-42} до 10^{-36} секунды (Сажин 2002: 37; кстати сказать, на графике, приведенном Гусом в более ранней работе, дается примерно такое же время [Guth 1997: 20]). Для физиков, как мы уже подчеркивали, важно определиться с минимально возможным интервалом, хотя время инфляции могло быть существенно большим. Во время этой стадии, как и последующей фазы, объем Вселенной увеличивается на много порядков (во много миллиардов раз)⁴⁰.

О классическом пространстве-времени можно говорить с инфляционной фазы. В теории Большого взрыва как начала всего, возникшего из сингулярности, считалось, что классическое пространство-время стало формироваться сразу же в процессе взрыва, поскольку Вселенная вышла из гипотетического состояния сингу-

⁴⁰ Вселенная подверглась колоссальному расширению минимум в 10^{30} раз. За этот мизерный отрезок времени после Большого взрыва размер Вселенной увеличился больше, чем за все последующие 15 млрд лет (Грин 2005: 201). Однако Грин исходил еще из представлений о взрыве как начальной точке. Реально же значительная часть указанного расширения пришлась уже на фазу инфляции.

лярности и стала приобретать объем, а также связанные с ним характеристики. Как писал Хокинг (2001), в общей теории относительности Эйнштейна делается вывод, что пространство-время возникло в сингулярной точке Большого взрыва. Однако мы исходим из того, что горячему Большому взрыву предшествовала фаза инфляции, во время которой объем Вселенной стал уже очень большим. Гиперстремительное расширение Вселенной в данный период, таким образом, одновременно с этим приводит к рождению классического пространства и времени.

Для своего объяснения инфляция требует введения какой-то мощной отталкивающей силы, природа которой во многом неясна (см.: Мэй и др. 2007: 38–39). Как мы видели, согласно наиболее распространенной точке зрения, такой силой, ведущей к расширению Вселенной, является формирование отрицательного давления (так называемого фальшивого, или ложного вакуума – *инфлатона*), при котором меняются сами законы обычной гравитационной физики, поскольку «вещество становится не источником притяжения, а источником отталкивания» (Сажин 2002: 38). Как бы то ни было, стадия инфляции быстро заканчивается, и с окончанием инфляционной эпохи появляется обычное вещество.

2. Горячий Большой взрыв, рождение вещества и скорость эволюции. Датировки времени Большого взрыва в зависимости от того, какой точно показатель постоянной Хаббла (скорости разбегания галактик) избирался, длительное время довольно сильно колебались в интервале от 10 до 20 млрд лет. Но хотя в научно-популярной литературе могут фигурировать разные датировки, сегодня исследователи пришли к консенсусу, что Большой взрыв имел место где-то 13,8 млрд лет назад⁴¹.

Несмотря на то что горячий Большой взрыв признается только одной из фаз истории ранней Вселенной, его последствия были огромны: повышение температуры до невероятных уровней, приобретение родившимися частицами колоссальных энергий, сверхстремительное расширение уже и без того большой Вселенной. Далее в связи с быстрым падением температуры происходит целый ряд важнейших фазовых переходов и трансформаций с частицами, материей в целом и основными физическими силами.

⁴¹ Точнее, 13,75 млрд плюс-минус 0,11 млрд лет назад. См., в частности: Lambda-CDM-model... n.d. Самые последние данные, полученные телескопом «Планк», определили возраст 13,82 млрд (Телескоп... 2013).

Постинфляционный разогрев Вселенной, горячий Большой взрыв и связанная с ним энергия означали возможность появления вещества из этой энергии. Перед нами самое грандиозное представление возможностей перехода энергии в вещество и обратно. Однако существующие температуры таковы, что эти трансформации происходят постоянно, а появившееся вещество могло состоять только из различных типов элементарных частиц, находившихся в состоянии горячей плазмы. Причем эти элементарные частицы (как, например, кварки) благодаря огромным энергиям могли существовать в свободном виде, чего уже после остывания Вселенной до определенного порогового состояния более не наблюдалось (об этом см. ниже).

Уже на первых стадиях (инфляция, разогрев, взрыв) хаос, вызванный стремительным расширением и громадными энергиями, начинает перерастать в потенциальные возможности нового порядка, так как закладывается ряд важных свойств Вселенной и материи, которые в том или ином виде можно увидеть на разных стадиях эволюции.

Первое. Устанавливается инерция расширения, продолжающаяся в течение всего дальнейшего периода жизни Вселенной. При всей уникальности быстрого расширения Вселенной все же можно найти некоторые, хотя и далеко не полные аналогии с быстрым расширением новых форм материи и занятием ими новых ниш. Так, в сравнительно короткие сроки создается множество галактик, очень быстро распространяется жизнь на Земле, периодами – новые более прогрессивные ее формы, позже в исторически кратчайшие сроки движение тех или иных народов приводит к возникновению громадных империй; в современный период новые технологии распространяются по всей Земле с невероятной скоростью и т. п.

Второе. Формирование Вселенной как системы, находящейся в одной причинно-связанной области. Таким образом, формируются действующие физические законы. Фактически, можно говорить о начале становления физической формы движения материи, которая, кстати сказать, вопреки мнению Ф. Энгельса, возникла раньше механической (так как макротела во Вселенной возникли много позже элементарных частиц) (Ахлибинский, Сидоренко 1983: 22–25).

Третье. Возможности флуктуаций и концентраций материи, благодаря ничтожным по размерам квантовым флуктуациям, в результате чего в будущем рождаются галактики как макроскопические проявления квантовых флуктуаций (о чем мы еще будем подробно говорить). Таким образом, возможно, что предпосылки (преадаптации) формирования крупномасштабной структуры Вселенной были заложены уже в первую миллисекунду ее жизни (хотя о таком физическом фатализме мы уже вели речь). Так или иначе, мы видим появление в их единстве и противоположности важнейших парных принципов эволюции, о которых далее еще будет идти речь: равномерности и неравномерности, усредненности (нормы) и отклонения от нормы, диссипации и концентрации (последняя пара обеспечивает постоянный круговорот энергии и вещества на всех уровнях эволюции).

Едва ли не самое удивительное в теории горячей Вселенной, что громаднейшие изменения, в результате которой родилась Вселенная и вещество, произошли в фантастически короткие сроки, по Вайнбергу, фактически в первые три минуты (точнее, в первые 15 минут, когда завершился процесс образования ядер легких элементов). А несколько эпох (фазовых переходов) произошли в первую же секунду (см. Табл. 1 и Рис. 4).

С одной стороны, согласно эволюционным принципам, скорость эволюции увеличивается вместе с ростом сложности ее систем: биологическая эволюция быстрее космической, а социальная – быстрее биологической (см., например: Панов 2008а). С другой – скорость эволюции непостоянна. Периодами (которые можно назвать революционными и постреволюционными, то есть формирующими новый порядок) она ускоряется, причем ускоряется многократно. Но потом она может замедляться, так как требуется длительное время для освоения новых ниш, упорядочения структур, вызревания новых качеств и т. п. Таким образом, *величина скорости эволюции меняется в разных направлениях, но ее средний темп все же имеет тенденцию к ускорению*⁴².

Однако условность начала Вселенной вносит существенные коррективы в понимание скорости эволюции. В самом деле, *никогда скорость эволюции не была так велика, как в первый же момент после Большого взрыва (и никогда она не сможет быть*

⁴² Эта особенность скорости эволюции удачно обобщена в названии статьи С. В. Циреля «Скорость эволюции: ускоряющаяся, замедляющаяся, пульсирующая» (Цирель 2009).

вновь такой же). А далее скорость замедляется на порядки: для следующей стадии требуются уже сотни тысяч лет, а потом – сотни миллионов и миллиарды лет. И только с конца звездно-галактической эры (после появления жизни на Земле) можно вновь говорить о тенденции скорости эволюции к убыстрению.

3. Кварк-глюонная плазма и переход к возникновению протонов и нейтронов (адронизация). Как известно, в природе не обнаружено истинно элементарных частиц, то есть таких, из которых бы состояли остальные. Элементарность этих частиц заключается в том, что они могут превращаться при определенных условиях друг в друга. Однако выше мы указывали, что элементарные частицы делятся на неделимые фундаментальные и составные, состоящие из других. Так, ядерные частицы протоны и нейтроны, которые образуют ядра атомов, состоят из кварков (по три в каждом). В известном нам веществе кварки не могут существовать свободно, а только в составе протонов и нейтронов.

Дело в том, что кварки связаны так называемым сильным ядерным взаимодействием, которое в отличие от гравитации не ослабевает, а наоборот, увеличивается с расстоянием (конечно, только в рамках небольшого интервала 10^{-15} – 10^{-13} см, в котором имеется сильное взаимодействие). Поэтому при попытке «разорвать» частицу силы их связи возрастают в миллионы раз. Следовательно, освободить кварки и глюоны (частицы, которыми обмениваются кварки для удержания своего связанного состояния) можно только затратой колоссальной энергии. Растащить протоны на кварки даже на мощных ускорителях непросто, однако это все же делается, в частности на ускорителях тяжелых ионов (см., например: Шишлова 2000). В результате получается новая форма материи: кварк-глюонная плазма, похожая на вязкую жидкость. Правда, это состояние крайне неустойчивое и скоро превращается в обычные частицы.

Однако предполагается, что в первые мгновения (10 миллисекунд) после Большого взрыва кварки были в свободном состоянии, поскольку обладали большой энергией, и в целом температура была слишком высока для слияния кварков в протоны и нейтроны⁴³.

⁴³ Энергия, которой обладали частицы, была исключительно велика. Как пишут Мэй и др. (2007: 33), «энергия, которой каждая частица обладала в ранней Вселенной, остается далеко вне пределов досягаемости наших ускорителей частиц; даже ускоритель размером с Солнечную систему не был бы способен к созданию частиц с такой огромной энергией».

То есть несколько миллисекунд материя существовала в форме кварк-глюонной плазмы. А затем (через 10 мкс) из нее начали возникать адроны, то есть барионы и мезоны⁴⁴. Поэтому иногда говорят об эре кварк-глюонной плазмы и эре адронизации, хотя первая «эра» длилась какие-то микросекунды, а вторая – чуть дольше.

Но переход к эре адронизации сопровождался весьма сложными и во многом неясными процессами аннигиляции вещества.

4. Аннигиляция и рождение избытка вещества над антивеществом: первая бифуркация? Вся физика, по сути, заключена в рамки ряда законов сохранения (энергии, импульса, углового момента и т. д.), которые выступают также методом проверки различных гипотез. Даже самые смелые из них не должны преступать границы законов сохранения. Тем не менее, некоторые гипотезы, касающиеся начального периода жизни Вселенной, все-таки пытаются перешагнуть этот эпистемологический барьер (что, может быть, исходя из идеи «других законов» в момент рождения Вселенной, не столь уж и опрометчиво).

В физике элементарных частиц одним из фундаментальных признан закон сохранения «тяжелых» частиц – **барионов** (протонов, нейтронов и других), согласно которому барионное число (барионный заряд) всех закрытых систем (в том числе и Вселенной) должен сохраняться постоянным⁴⁵. Наряду с существованием данного закона также предполагается, что частицы и античастицы (кварки и антикварки) должны были родиться из первичного океана энергии в одинаковом количестве. В то же время, согласно многократно подтвержденному опытом правилу, частицы и античастицы должны аннигилировать при столкновениях. В итоге, по идее, все частицы и античастицы Вселенной в конце концов должны были бы превратиться опять в энергию. Как известно, этого не произошло, но в то же время античастицы в массовом количестве не сохранились, а сохранились лишь нормальные частицы.

⁴⁴ В Стандартной модели мезоны – это частицы, отвечающие за устойчивость взаимосвязей внутри атомных ядер (обеспечивающие реализацию так называемого сильного взаимодействия, о котором будет сказано далее). Они состоят из четного числа кварков и антикварков. Напомним, что барионы, наиболее распространенными из которых являются протоны и нейтроны, состоят из нечетного количества кварков – точнее, из трех.

⁴⁵ В физике элементарных частиц *барионное число* – это приблизительно сохраняемое квантовое число системы. *Квантовое число* в квантовой механике – численное значение какой-либо квантованной переменной микроскопического объекта (элементарной частицы, ядра, атома и т. д.), характеризующее состояние частицы. Задание квантовых чисел полностью характеризует состояние частицы.

Для того чтобы найти объяснение этому феномену и сохранить теорию, необходимо отказаться от универсальности закона сохранения барионного заряда. Тогда можно предположить, что частиц родилось не точно такое же количество, как античастиц, но чуть больше. Вот почему имеются некоторые теории и модели (выводы которых противоречат Стандартной модели физики элементарных частиц), согласно которым при уровне температуры $T \approx 10^{28}$ К наступает стадия так называемого горячего барионсинтеза, при котором некоторые частицы (тяжелые лептокварки) могут взаимодействовать таким образом, что меняется барионное число (хотя такая возможность несохранения барионного числа ни в одном эксперименте не подтвердилась). Как мы уже упоминали выше, существуют идеи, что барионная асимметрия произошла на стадии постинфляционного разогрева Вселенной.

Если признать, что в некоторых случаях барионное число может не сохраняться, тогда можно предположить некоторый избыток частиц в сравнении с античастицами⁴⁶. Соответственно, этот избыток и составил весь объем ныне существующей светлой барионной материи. Ниже мы еще вернемся к этому процессу. Громадная энергия, появившаяся в результате аннигиляции, как предполагают, трансформировалась в образование фотонов, вот почему теперь на каждый протон Вселенной приходится один миллиард фотонов. «Нарушение» одного из важнейших законов сохранения, естественно, по душе далеко не всем физикам, поскольку вопрос этот достаточно принципиальный. Если может быть опровергнут один запрет, то не исключено, что не являются абсолютными и все остальные.

С точки зрения же эволюционистики стоит сказать о следующем. Революционные или хаотические периоды эволюции в какой-то мере описываются теорией синергетики (Пригожин, Стенгерс 2000; 2005; Гленсдорф, Пригожин 2003 и др.), согласно которой при исчезновении одной структуры (ее разрушении, диссипации) в период возникновения хаоса появляются и так называемые состояния бифуркации, когда система может либо коллапсировать, либо создать новый порядок (порядок из хаоса), то есть подтянуться к более высокому или низкому аттрактору, а также избрать тот или иной вариант нового порядка.

⁴⁶ Это также означает, что устойчивость протона не абсолютна.

Эта теория, созданная первоначально для особого рода химических реакций, в определенной мере подходит к другим, в том числе даже к некоторым общественным процессам (см., например: Гринин 2011б). Насколько, однако, она подходит к теории горячего Большого взрыва и космологии в целом? Это требует дополнительного обсуждения. С одной стороны, состояние хаоса (да еще какого, вселенского!) после взрыва имеет место. Но с другой – все стадии, по крайней мере в первые секунды, строго определяются законами физики (правда, может быть, иной физики, чем известная нам). Тем не менее даже здесь бифуркации возможны⁴⁷. На мой взгляд, соотношение вещества и антивещества (когда последнего оказывается несколько меньше и в результате антивещество исчезает полностью, а вещество в каком-то объеме все-таки остается) также можно считать такой развилкой эволюции – одной из первых в истории Вселенной. В противном случае Вселенная состояла бы из антивещества.

Другой бифуркацией можно было бы считать формирование разных типов материи: темной и барионной в первые же миллисекунды после БВ (мы можем условно говорить о развилке в процессе формирования материи на БВ с учетом того, что весь этот процесс, особенно в отношении темной материи, во многом неясен). Впрочем, много исследователей относят появление темной материи к стадии инфляции. В этом случае можно говорить о важнейшей развилке эволюции в момент колебаний инфлатонного поля, когда появлялись самые разные частицы.

Уже говорилось, что темная материя оказалась почти неспособной к эволюции, а светлая обладала эволюционными потенциалами⁴⁸. Однако хотя темная материя не эволюционная, но без нее никакой другой сложной эволюции не получилось бы: скорее всего, так как не смогли бы образоваться галактики. Вещество осталось бы рассеянным. Таким образом, мы видим подтверждение эволюционного правила, о котором ниже еще скажем, что *удача в плане перехода каких-либо форм на более высокие уровни развития*

⁴⁷ В частности, в результате спонтанного нарушения симметрии, когда из нескольких (или даже из континуума) возможностей система должна случайно выбрать только одну.

⁴⁸ Синергетика иногда называется также наукой о взаимодействии (см., например: Хакен 2003; см. также: Ильин и др. 2012: 62). В этом плане темная материя, образовавшаяся в момент одной из самых ранних развилки эволюции, не может рассматриваться как объект синергетики. О темной материи и о философских проблемах, связанных с ней, см. также: Урсул 2012.

всегда обеспечивается эволюционными неудачами других форм и направлений, которые создают необходимую базу, среду, дают нужный толчок, сужают спектр выбора и т. п. для проходных эволюционных форм. Тут кстати будет отметить, что кластеризация темной материи происходит и по сей день. Следовательно, полностью неэволюционной материи, по-видимому, все же не бывает.

Проблема перехода энергии и вещества в разные состояния – одна из важнейших в эволюционистике, а поскольку такие переходы наблюдаются на всех стадиях эволюции, мы обратимся к этой проблеме в будущем.

2.3. От рождения вещества до гравитационного доминирования темной материи: цепочка фундаментальных фазовых переходов

1. Общие сверхнеобычные условия и многообразие потенциальных свойств. Многообразные процессы, происходящие в первые секунды и минуты, в ничтожное по длительности время, но очень важные для будущей Вселенной, были крайне сложны и пока очень далеки от полного понимания. В целом важно помнить, что все процессы после Большого взрыва идут в состоянии, когда температура и давление во Вселенной быстро падают. Они падают из-за расширения на многие порядки Вселенной, вызванного горячим взрывом. Расширение Вселенной ведет к падению температуры по известным законам физики. Каждому порогу охлаждения соответствуют возможности появления на сцене тех или иных сил, проявления законов в той или иной форме. Идет как бы разворачивание потенциалов вещества, сил и законов.

История эволюции показывает, что новое качество формируется только при совпадении целого ряда редко совпадающих (а потому уникальных) условий. Далее мы еще не раз будем говорить об этом правиле. Однако в отношении первых фаз эволюции Вселенной его применение ограничено. Ведь в этот период новое качество формировалось прежде всего за счет перехода вещества в новые агрегатные состояния. Однако и каждый переход в новое агрегатное состояние был реально крайне важным (хотя и очень коротким по времени) шагом в развитии Вселенной, который вел к реальному переходу на новый уровень сложности. И естественно, каждый такой шаг требовал собственных уникальных физических параметров, более в полном виде не реализующихся. Следовательно, можно говорить об эволюционном *принципе уникальных параметров*,

благодаря чему эволюция и делает свои редкие, но столь продуктивные шаги вперед⁴⁹. Ряд уникальных параметров (особенно в отношении температуры), никогда более не повторяющихся в масштабах Вселенной, и являют нам первые фазы эволюции после Большого взрыва.

Вселенная остывала очень быстро. Но даже через 200 секунд после Большого взрыва температура, упав с невероятной цифры 10^{32} К (и выше) до уже понятных и воспринимаемых разумом цифр, все равно оставалась очень высокой, составляя где-то 1 млрд градусов. Это значит, что никаких звезд, планет, галактик при такой температуре не могло существовать. Температура в центральных областях самых больших и горячих звезд достигает только нескольких десятков миллионов градусов⁵⁰. Не было атомов, так как вещество было полностью ионизированным, электроны существовали отдельно от ядер атомов, не могли существовать и сложные ядра (см.: Чернин 2005: 31). Забегая вперед, скажем, что здесь налицо закон отрицания отрицания, то есть повторения некоторых черт после их исчезновения. Сначала Вселенная должна была остыть, сформировать атомы, чтобы потом создались скопления галактик и звезд, в недрах которых уже вторично были достигнуты очень высокие температуры.

Вариативность и соответствие. Первые секунды и минуты после Большого взрыва демонстрируют важнейшее общее свойство материи, характерное для любого ее уровня, огромную вариативность ее потенциальных свойств, из которых становятся реальностью лишь некоторые. Почему обретают жизнь именно такие, а не другие свойства, – один из самых сложных вопросов. Но конечный выбор тех или иных параметров, форм и т. п. оказывает огромное, где-то даже определяющее влияние на все последующее развитие. Глядя на развитие с этой точки зрения, нельзя не отме-

⁴⁹ Ф. Спир (2012) в качестве универсального для эволюции принципа вводит *принцип Златовласки*. Златовласка (в русском варианте Машенька из сказки «Три медведя») в домике медведей обнаруживает по три предмета разного размера – тарелки, стулья, кровати – и использует их (при этом два предмета из каждого набора для нее оказываются по тем или иным причинам неприемлемыми, а третий – «в самый раз»). Таким образом, по мысли Спира, некоторые процессы происходят только в случае, когда параметры оказываются «в самый раз». Однако представляется, что речь должна идти не столько о подходящих, сколько именно об уникальных параметрах, при которых только и могут возникнуть некоторые процессы и явления.

⁵⁰ Правда, считается, что в так называемых нейтронных звездах температура в ядре может достигать миллиардов градусов (см.: Черепашук, Чернин 2004: 135), но таких звезд немного, и это уже последняя стадия активной жизни отдельных звезд.

тить удивительное соответствие ряда параметров, которое порой ставит под сомнение то, что до Большого взрыва ничего не было (хотя сегодня немало физиков, которые так не считают). Почему, например, сильное взаимодействие, которое определяет возможность создания протонов, нейтронов и ядер атомов – важнейшей структуры – оказывается самым сильным из четырех взаимодействий?⁵¹ Ведь если бы оно оказалось равным или слабее электромагнитного взаимодействия, протоны в ядрах атомов сложных элементов не смогли бы объединиться (обладая одинаковым зарядом, такие протоны отталкивают друг друга). Значит, ничего сложнее атома водорода возникнуть бы не могло! Вряд ли это, как и масса других подобных вещей, может быть случайностью. Возможно, должен быть какой-то механизм, определяющий в конечном счете наиболее удачные параметры и формы, тем более в фундаментальных моментах.

Ли Смолин, активно обсуждающий проблему удивительно подходящих для развития ключевых параметров в книге «Жизнь космоса» (*The Life of the Cosmos*, 1999), предлагал возможное ее решение в виде теории «космологического естественного отбора» или «размножения вселенных» (*fecund universes*). Согласно этой гипотезе, существует много вселенных (связанных через черные дыры), «настройки» параметров которых немного отличаются, подобно тому, как подхватываются мутации в ходе естественного биологического отбора. Соответственно, жизнь и разум могут появиться только в тех вселенных, где значения фундаментальных постоянных благоприятствуют появлению жизни. Конечно, это достаточно экзотическое решение. Однако какой-то отбор параметров должен был быть. Тут кстати вспомнить, что едва ли не раньше барионной материи образовалась темная, неэволюционная материя. Не связана ли ее неэволюционность именно с отсутствием нужных параметров? Не могла аннигиляция или иные неизвестные нам события служить таким ситом для параметров?

Проблема тонких настроек многих параметров, благодаря которым может существовать жизнь, активно обсуждалась в связи с так называемым антропным принципом (см., например, об этом: Ильин и др. 2012: 145–147)⁵². Если

⁵¹ Оно сильнее электромагнитного в 100 раз, хотя действует на очень коротких расстояниях, поэтому его порой называют «великан с короткими ручками».

⁵² Антропный принцип, не имеющий общепринятой формулировки, фиксирует наличие связи между крупномасштабными свойствами расширяющейся Вселенной и возникновени-

бы масса протона была на 0,2 % больше, он был бы неустойчивым, а атомы нестабильными, таким образом, параметр массы протона – удача для нас, состоящих из протонов, электронов и нейтронов (Черепашук, Чернин 2004: 235). Если бы электромагнитные колебания были на 4 % слабее, не существовало бы водорода и обычных звезд (Архангельская и др. 2006: 200–204).

Хотелось бы упомянуть в связи со сказанным и о таком свойстве материи, которое активно использует эволюция, как наличие вариаций даже в совершенно одинаковых объектах. На любом уровне эволюции объекты одного класса и вида и похожи, и неповторимы. Особи одного биологического вида похожи и взаимозаменяемы, поэтому они могут давать потомство и жить коллективами, но они и уникальны. Солдаты или работники взаимозаменяемы и тем самым одинаковы, но, естественно, они различаются в еще большей степени, чем животные одного вида. Это качество можно заметить даже на уровне микромира. Так, с одной стороны, все частицы одного класса одинаковы (и именно с этим связано существование квантовых статистик), а с другой – параметры, которыми обладают частицы, допускают очень большие вариации. Поэтому две одинаковые частицы в зависимости от места в системе (например, атома), пространства, среды, температуры и многого другого в каждый данный момент обладают и уникальными характеристиками. При том что имеются миллионы, миллиарды, триллионы одинаковых и взаимозаменяемых тел, частиц и т. п., ни одна элементарная частица полностью во всех конкретных параметрах и количественных характеристиках не повторяет другую, чем-то они отличаются друг от друга, так же как отличаются от себя самих в разное время (прежде всего количеством имеющейся энергии). Недаром ведь все законы квантовой физики – вероятностные. В самом деле, если только один протон на миллиард в каждый момент способен вступить в протон-протонную реакцию, которая и дает термоядерную энергию в звездах, если в среднем фотону нужен миллион лет, чтобы выбраться из глубин Солнца и отправиться в космос, какая же неимоверная амплитуда различий в энергии и активности существует между однотипными частицами! Мы можем наблюдать это каждый день в отношении молекул воды, среди которых некото-

ем в ней жизни, разума, космических цивилизаций (см.: Хокинг 2001; Казютинский 1994; см. также: Панов 2008б; Розенталь 1984; 1985): иногда его трактуют как принцип, объясняющий «невероятно тонкую подстройку Вселенной» (Девис 1989: 133).

рые, наделенные энергией и активностью, могут оторваться и от холодной воды, а другие требуют для этого длительного кипячения. Словом, неравенство существует и среди мириад элементарных частиц всех уровней. Эти зачатки индивидуальности и удачи в отношении макротел на новых уровнях эволюции становятся крайне важными. Вот почему даже при определенной повторяемости общих условий всегда появляются уже новые формы звезд и небесных тел, тем более форм жизни и социальной организации.

Итак, уже первые стадии послезврывной эволюции показывают нам огромное количество потенциальных состояний вещества в зависимости от уровня температуры, энергии, давления и объема, соответственно тех или иных аттракторов состояний, которые формируют важнейшие эволюционные стадии. Большое количество потенциальных состояний и форм резко усложняет теоретические предсказания.

Закон потенциальных свойств систем, которые открываются только в определенных случаях, в первые минуты Вселенной проявлялся в полном блеске. Новые свойства форм, систем и материи в целом реализуют себя в экстремальных условиях, режимах, таких как сверхдавление и сверхплотность, или, напротив, разреженность, сверхвысокая или сверхнизкая температура и т. п., а также в ходе особо длительных процессов. В результате проявляются совсем новые свойства или старые реализуются по-новому. То же касается и более высоких уровней эволюции. Сверхмутагенная среда ведет к новой генетике; особые вызовы среды – к новым решениям как в биологии, так и в социологии; общества в экстремальных условиях или, наоборот, в сверхудачных, в изоляции или плотном окружении, при редком населении или высоком демографическом давлении ведут себя абсолютно различно, соответственно в них формируются разные институты, отношения, формы.

2. Электрослабый фазовый переход как потенциальная возможность энергии звезд. В результате стремительного падения давления и температуры были пройдены новые фазовые переходы, а также реализовались новые силы и свойства материи. Фазовые переходы – важнейшая характеристика эволюции в целом, поскольку для качественного рывка нужно достичь каких-то новых параметровых уровней. Правда, рассуждая об эволюции и ее развитии, мы обычно думаем о повышении уровней параметров, предполагая, что понижение их может вести к дегенерации. В данном случае фазовые

переходы шли по линии понижения параметров, достигших апогея в момент горячего Большого взрыва и сразу за ним.

Одним из важнейших фазовых переходов был так называемый электрослабый переход, высвободивший силу, благодаря которой в будущем могли осуществляться термоядерные реакции в звездах. Как известно, в физике элементарных частиц выделяют четыре фундаментальных (то есть непереводаемых друг в друга) взаимодействия: гравитация, сильное взаимодействие, слабое взаимодействие и электромагнитное взаимодействие. Одним из крупных (на пути к Великому объединению физической теории) достижений являлось открытие в 1970-х гг., согласно которому слабое и электромагнитное взаимодействия могут при высоких энергиях объединяться в единое электрослабое взаимодействие. Однако на обычных низких энергиях они предстают как две очень разные силы, подобно тому как при низких скоростях время и пространство не образуют неразрывное четырехмерное пространство.

В тот короткий период, пока температура была очень высокой, электрослабые силы действовали как единое взаимодействие, поскольку на порядки возрастала возможность столкновения частиц, а на очень коротких расстояниях сила слабых взаимодействий сравнивается с электромагнитными.

Впрочем, есть предположения (не являющиеся общепринятыми), что в самом начале существования Вселенной сразу после Большого взрыва, когда температура превышала 10^{28} К (точнее, при энергии, равной 16 ГэВ и выше), объединены были все три взаимодействия: сильное, слабое и электромагнитное (см.: Грин 2004: 104, 198; Горбунов, Рубаков 2010). В этом случае первый фазовый переход, отделивший сильное взаимодействие, произошел вместе с процессами аннигиляции и образования существующего ныне вещества, и образованием адронов из кварк-глюонной плазмы.

Но с падением температуры начинается так называемый электрослабый переход, который означал расщепление этой силы на две: слабые⁵³ и электромагнитные (основным квантом и переносчиком энергии которых является фотон – частица света). Особенно

⁵³ Они действуют на очень коротких расстояниях, намного меньше внутриядерных, и при определенных условиях, допускаемых законами сохранения, могут вызвать распад любой частицы, обладающей массой покоя (то есть кроме фотона и нейтрино). Таким образом, слабое взаимодействие имеет универсальный характер, но наглядно проявляется только в некоторых процессах, в частности, ответственно за **бета-распад** ядра (см. сн. 87).

важно отметить, что слабое взаимодействие играет ключевую роль в процессах энерговыделения звезд. «Если бы можно было “выключить” слабое взаимодействие, то погасли бы как наше Солнце, так и другие звезды» (Владимиров 2012: 23)⁵⁴.

В процессе разделения электрослабой силы на две фундаментальные силы, помимо важнейшего фазового перехода, возможно, проявился важный принцип эволюции, сформулированный Г. Спенсером: процесс дифференциации форм и явлений (см. выше). В этом процессе появляются новые важные формы из синкретичных элементов. Мы хорошо видим это в процессе возникновения новых типов и классов в биологии, новых политических и иных форм в человеческой истории. Очень значим он и в космологии.

3. Рождение протонов и нейтронов из состояния кварк-глюонной плазмы означало переход на новый уровень организации вещества – субъядерный. Ведь основа ядерной материи, протоны и нейтроны, как уже было сказано, являются составными частицами, они состоят из более простых частиц – кварков.

Выше мы говорили о начале после первых 10 мкс после БВ «эры адронизации». Но адронизация, то есть создание таких групп частиц, как барионы и мезоны, являлась хотя и быстрым, но все же не одномоментным процессом. В частности, барионсинтез (возникновение протонов и нейтронов), описанный выше, являлся высокотемпературным (происходящим при температуре 10^{28} К). Другой вид барионсинтеза – низкотемпературный. Протоны и нейтроны могли образоваться при температуре $T \sim 10^{11}$ К или меньшей (см.: Сажин 2002: 40–41). После достижения указанной температуры кварки стали соединяться, образуя протоны и нейтроны. Эта температура также означала рубеж, при котором кварки не могли покидать протоны, нейтроны и мезоны, то есть достижение еще одного, крайне важного, фазового перехода. Спенсеровский процесс дифференциации пошел дальше.

4. Эпоха нуклеосинтеза: рождение важнейшей модели эволюционного структурирования началось спустя 1 секунду после БВ и закончилось в течение 5–15 минут. Нуклеосинтез – это формирование ядер, то есть достижение веществом нового уровня

⁵⁴ Благодаря слабому взаимодействию происходит процесс образования ядра дейтерия (изотопа водорода). Оно образуется из двух протонов, но один из протонов (положительно заряженная частица) превращается в нейтрон (нейтральный заряд) и позитрон (положительно заряженный электрон) плюс электронное нейтрино. Позитрон и нейтрино покидают звезды. Вылет позитрона (или, в других случаях, электрона) и есть так называемый бета-распад, несущий от звезд огромное количество энергии.

сложности, так как ядра состоят из протонов и нейтронов (в свою очередь составленных из кварков). Здесь «работает» сильное взаимодействие, отвечающее за прочную связь так называемых нуклонов, то есть ядерных элементов (протонов и нейтронов).

Нельзя не отметить, что ядра – это важнейший элемент атомной структуры. Структурирование – один из главных процессов эволюции, проявляющий себя практически на всех ее фазах и уровнях. Мало того, формирование ядер – это основа структуры в эволюции. Этот образец, который был создан уже в первые секунды и минуты эволюции, далее воспроизводится едва ли не повсюду. В ядрах звезд и планет, в ядрах живой клетки (а с некоторыми модификациями ядерная структура имеет место в модели «центр – периферия» в глобальных политических системах), словом, в самых разных системах: в галактиках, скоплениях галактик и мегагалактиках, в общественных и надобщественных системах и т. д.

Почему складывается именно такая структурная модель? Видимо, она оптимальна и наиболее экономична. *Экономичность (в смысле минимума/оптимума энергетических или иных затрат) – тот критерий, согласно которому формируются многие структуры и выбираются направления взаимодействия всеми объектами, от фотона до государства.* Ядро – это концентрация энергии и ресурсов. Преобладание центра и центростремительных сил (или их равенство с центробежными) является основой для весьма крепкой и прочной структуры, позволяющей некоторым системам существовать неограниченно долго. Такая структура соответствует и кибернетическому принципу, согласно которому между уровнями системы должна иметь место обратная связь.

Неизвестно, какая структура существует в темной материи, но почти наверняка она безъядерная. Не поэтому ли в светлой материи оказалось возможным создать элементы вплоть до урана, тогда как темная материя застыла? Нечто подобное имеет место и в эволюции жизни и общества. Прокариотическая клетка не имеет ядра, а потому не может эволюционировать. Общества, которые не имеют центра, не в состоянии пойти дальше племен без вожда. Таким образом, возможно, модель выбора кандидата в следующую по сложности трансформацию повторяется в некотором отношении на всех уровнях эволюции: ядерные структуры приобретают эволюционное преимущество, в то время как безъядерные эволюционируют слабо.

Период нуклеогенеза хотя и был очень коротким, однако по сравнению с несколькими предшествующими эпохами, уложившимися в первую же секунду, выглядит сверхдлительным. Что же

происходит в течение этого процесса? В период нуклеогенеза синтезируются ядра легких элементов (до веса ядра, меньшего, чем 5), но в основном это ядра обычного водорода и до четверти других элементов, прежде всего гелия (и в небольших количествах лития и бериллия, а также изотопа водорода дейтерия). Но последовательность процессов была довольно сложной.

Примерно через сто секунд после Большого взрыва температура упала до тысячи миллионов градусов... При такой температуре энергии протонов и нейтронов уже недостаточно для сопротивления сильному ядерному притяжению, и они начинают объединяться друг с другом, образуя ядра дейтерия (тяжелого водорода), которые состоят из протона и нейтрона. Затем ядра дейтерия присоединяют к себе еще протоны и нейтроны и превращаются в ядра гелия, содержащие два протона и два нейтрона, а также образуют небольшие количества более тяжелых элементов – лития и бериллия. Вычисления показывают, что, согласно горячей модели Большого взрыва, около четвертой части протонов и нейтронов должно было превратиться в атомы гелия и небольшое количество тяжелого водорода и других элементов. Оставшиеся нейтроны распались на протоны, представляющие собой ядра обычных атомов водорода (Хокинг 2001: 62)⁵⁵.

Образование ядер тяжелых элементов – процесс более поздний. Последовательность образования ядер (сначала легких и только много позже – тяжелых) напоминает по эволюционному типу процесс образования сначала одноклеточных, а уже потом многоклеточных животных. Ведь в обоих случаях первичные элементы становились элементами более сложной структуры, естественно, трансформируясь под задачи этой крупной и сложной системы. То же можно сказать и об образовании сложных обществ из простых (многообщинных племен, вожеств и государств из однообщинных структур). Таким образом, принципы структурирования «массы» составляющих эволюцию единиц (сначала простейшие, потом на их основе более сложные и т. д.) также закладывались очень рано. Основную массу везде составляют наиболее простые единицы.

⁵⁵ По поводу последовательности и сущности указанных процессов, разумеется, есть много разных мнений. Согласно одному из них, сначала из ядер обычного водорода, которые состоят из одного только протона, образовались ядра тяжелого водорода – дейтерия (состоящего уже не из одного, а из двух протонов). Затем в течение очень короткого времени из дейтерия образовался тритий, еще один сверхтяжелый изотоп водорода, состоящий из одного протона и двух нейтронов. А вместе дейтерий и тритий образовали гелий (гелий-4), второй после водорода по распространенности элемент во Вселенной (см., например: Панасюк 2005: 13–14). Ядро гелия имеет два протона и два нейтрона.

Но не будем забывать, что пока речь идет еще не о целых системах и структурах, а только о создании их будущих центров – ядер атомов.

5. Альтернативная (скрытая) материя – материя, которая не «захотела» эволюционировать? Мы уже несколько раз обсуждали ситуацию разделения возникшей материи на два типа: эволюционную (светлую) и неэволюционную (темную, которую также называют скрытой массой, так как с помощью обычных наблюдений ее невозможно обнаружить). Теперь подошло время более подробно поговорить о темной материи.

Что происходит между процессом образования ядер водорода и других легких элементов (нуклеосинтезом) и образованием уже атомов водорода (рекомбинацией)? Ведь это огромный по сравнению с предшествующими период почти в три сотни тысяч лет. Правы ли С. Вайнберг и другие, что «Вселенная будет продолжать расширяться и охлаждаться, но в течение 700 000 лет⁵⁶ не произойдет ничего особенно интересного» (Вайнберг 2000 [1979]; см. также: Грин 2004: 196)? Нет, они неправы. В этот период, по сути, создаются некоторые возможности будущего крупномасштабного структурирования Вселенной⁵⁷.

В периодизации М. В. Сажина (2002: 37, 42) указанный период, который идет за образованием ядер легких элементов до процесса образования атомов водорода, назван эпохой доминирования темной материи. Это не общепринятое название данной эпохи (хотя встречается выражение «стадия доминирования нерелятивистского вещества» у Горбунова и Рубакова [2010: 25])⁵⁸, но его удобно использовать. Фактически речь идет о *гравитационном* доминировании темной материи, поскольку ни в каком ином смысле она не доминировала. Рассмотрим это подробнее, но предварительно поговорим о том, что, собственно, известно о темной материи.

⁵⁶ Во времена, когда Вайнберг писал эти строки, полагали, что период от нуклеосинтеза до рекомбинации длился 700 тыс. лет, а не 270 тыс., как было уточнено позже (см. сн. ниже).

⁵⁷ Кстати отметим, что введение в процесс развития ранней Вселенной образования и кластеризования темной материи довольно заметно изменило саму периодизацию истории ранней Вселенной с периода 1960–1970-х гг., особенно в определении времени эпохи рекомбинации водорода. Как пишут Насельский и др. (2003: 95–96), в этот период роль скрытой массы в кинематике и динамике эволюции Вселенной недооценивалась. Поэтому все результаты теории рекомбинации водорода в барионной Вселенной нуждались в определенной корректировке, учитывающей простой факт, что скрытая масса по плотности преобладает над плотностью барионной материи и, следовательно, при неучете этого и рекомбинация водорода протекала бы еще на радиационно-доминированной фазе.

⁵⁸ Впрочем, общепринятое отсутствует.

Что известно о темной материи? О существовании скрытой массы астрономы начали догадываться еще в 1930-х гг., когда обнаружили, что наблюдаемой массы галактик не хватает для объяснения гравитационных явлений. Однако до сих пор о ней известно немного, прежде всего, что она может существовать, но не взаимодействует с электромагнитным полем (Смолин 2007) и не проявляет себя другими способами, которые позволили бы ее обнаружить, кроме как силой гравитации (но даже и это воздействие пока только расчетное и теоретическое [см.: Горбунов, Рубаков 2012: гл. 9]). В этом смысле темная материя оказывается лишенной и такого качества, как информация, то есть она неинформативна (см. подробнее: Ильин и др. 2012).

Правда, участники итальянского эксперимента DAMA/LIBRA в подземной лаборатории, принадлежащей итальянскому Национальному институту ядерной физики, объявили о детектировании частиц темной материи. Однако общего признания, что зафиксированы именно частицы темной материи, пока нет.

В любом случае их эксперимент показывает, что в природе нет качеств, которые были бы абсолютными (так сложность детектирования темной материи не означает абсолютно отсутствующее взаимодействие с ней). Абсолютные свойства – это абстракция, которую создает человеческое познание. Суть дела в том, что частицы темной материи образуют огромное облако вокруг каждой галактики (об этом будет сказано ниже), в том числе и вокруг нашего Млечного Пути. Солнечная система, двигаясь по своей галактической орбите сквозь их газ, должна чувствовать встречный «ветер» этого газа темной материи, а в связи с тем, что Земля движется вокруг Солнца, в отношении нее этот «ветер» будет периодами сильнее, а периодами слабее, соответственно период колебаний составляет один год. Обычно частицы темной материи проходят сквозь Землю без задержки, но иногда они сталкиваются с ядрами атомов в глубине Земли. И такие столкновения возможно детектировать. Эксперимент показал предсказанные колебания в количестве таких столкновений. Однако о природе таких сезонных колебаний единого мнения пока нет.

Частицы темной массы – это в любом случае не протоны, нейтроны или электроны, из которых состоит обычное (или барионное светлое) вещество звезд, либо этих частиц в ней очень мало. По не-

которым предположениям, темная материя – это скорее всего газ элементарных частиц, которые еще предстоит открыть в физическом эксперименте (Чернин 2005: 7). Сейчас такие пока неизвестной природы частицы нередко называют *вимпами* (от англ. WIMP – *weakly interacting massive particles*⁵⁹). Предположение о газообразном состоянии, в котором находятся частицы темной материи, с точки зрения эволюции весьма правдоподобно, поскольку эти частицы никак (кроме гравитации) не проявляют себя, а значит, неспособны создавать какие-то структуры.

Говорят о двух типах темной (скрытой) массы: горячей и холодной, которые в теории различаются некоторыми параметрами, в том числе скоростью отклонения движения **галактик** от **закона Хаббла**. Соответственно, различаются и частицы-кандидаты, которые, по предположениям, могли бы образовывать разные типы темной материи (массивное нейтрино для горячей материи и гипотетические аксионы для холодной). Скорее всего, все же распространена именно холодная темная материя, либо горячая составляет только небольшую часть. Предполагается, что частицы темной материи почти не взаимодействуют между собой, в противном случае их концентрация приводила бы к образованию шаровых структур в гало, но этого не наблюдается, наблюдаемые гало скоплений существенно эллипсоидальные (Горбунов, Рубаков 2012: 189). Очень интересное добавление к вопросу об экономичности структурирования эволюционирующей материи. Эволюционирующая материя образовала бы шаровые скопления.

Стоит отметить, что в отношении темной массы – в смысле ее скрытости от наблюдения и одновременно преобладания по количеству – нелегко подобрать какие-то аналогии в других уровнях эволюции. Микроорганизмы, преобладающие в биомассе, были долгое время скрыты от человеческого глаза, но они давали о себе знать многими другими способами, причем весьма жестокими. Недра Земли напоминали о себе землетрясениями и извержениями. Правда, основная масса звезд обнаружила себя перед человеком только сравнительно недавно. Поэтому остается надеяться, что и к скрытой материи все же подберут «ключик» (если вышеопи-

⁵⁹ Слабо взаимодействующие массивные частицы.

санный итальянский эксперимент не подтвердится), благодаря которому она обнаружится в тех или иных наблюдениях.

Возможно, что темная материя стала образовываться одновременно со светлой и находилась с ней какое-то время в термодинамическом равновесии (Горбунов, Рубаков 2012: 190), но затем пути разных видов материи разошлись. Это, как сказано выше, явилось одной из первых эволюционных бифуркаций, на которой формируются эволюционный и не(мало-)эволюционный типы материи.

Гравитационное доминирование скрытой массы и переход от радиационно-доминирующей к пылевидно-доминирующей стадии Вселенной. Что представляло собою вещество после завершения нуклеосинтеза? В это время при температуре в сотни тысяч градусов материя находилась в состоянии горячей плазмы, которую, кстати сказать, иногда именуют четвертым (после твердого, жидкого и газообразного) состоянием вещества. В этой плазме «варились» элементы темной, а также светлой материи: протоны, электроны, фотоны и сформировавшиеся легкие ядра. Таким образом, ни вещества в привычном, каким-либо образом структурированном виде еще не было, ни свет не был отделен от вещества, так как излучение фотонов и других частиц была затруднено. Это одновременно поддерживало бесструктурность и препятствовало распаду перемешанного вещества на отдельные фракции. Словом, перед нами пример хаоса, из которого несколько позже начнет образовываться космический и эволюционный порядок. Это пример бесструктурной спенсеровской исходной материи, которая скоро начнет дифференцироваться и структурироваться. И если частицы темной материи «варились» в общем котле первичной плазмы, то именно они первыми собрались в крупные агрегации (газа элементарных частиц неизвестной пока природы) и заняли свое место в структуре галактик (см. об этом ниже). Поскольку частицы темной материи имели гораздо меньшую способность к взаимодействию, они оказались способными к кластеризации гораздо раньше частиц светлой материи (связанной разными силами в плазме). Но и для полноценного развития процессов сгущения темной материи, возможно, все же требовалось достижение определенной температуры и ослабление радиации. Не все ясно, конечно, в отношении того, насколько быстро шел такой процесс ее кластеризации и какие параметры для этого требовались. Однако есть дата, которая упоминается рядом исследователей как достаточно рубежная в эволюции ранней Вселенной: это переход от господства радиаци-

онной стадии расширения Вселенной (а Вселенная продолжала, как мы помним, расширяться) к ее пылевидной стадии расширения, то есть к господству вещественной формы материи в пылевидной форме, так как материя не была еще сконцентрирована в макротела (см. Рис. 4; Горбунов, Рубаков 2012: 34). «Быстрый рост возмущений плотности начался на том этапе эволюции Вселенной, когда она уже настолько остыла, что плотность энергии в ней в основном стала определяться нерелятивистским веществом. *Это произошло через 80 тыс. лет после Большого взрыва* (курсив мой. – Л. Г.)» (Горбунов, Рубаков 2012: 41).

Таким образом, когда сила радиации ослабла, наступает эпоха доминирования вещества. Однако еще не светлого вещества, а именно темной материи⁶⁰. К этому времени ее температура была приблизительно в районе 10 000 К, несколько выше температуры на поверхности Солнца (то есть Вселенная колоссально остыла, но все еще была слишком горяча для формирования атомов и тем более молекул).

Первые 50 тыс. лет (фактически 80 тыс. – Л. Г., см. выше) во Вселенной доминировало излучение: плотность его энергии превышала плотность энергии вещества. Но так как первая зависит от размеров Вселенной в четвертой степени, а вторая – лишь в кубе, то рано или поздно должен был наступить момент доминирования вещества (когда расширение Вселенной достигло порогового объема – Л. Г.). Он и наступил – пока, впрочем, лишь для темной материи, не взаимодействующей с излучением. Казалось бы, что нам за дело до нее? Но именно темная материя, стекая в первичные, случайно возникшие и пока еще незначительные гравитационные «ямы», начала «углублять» последние, подготавливая их для барионной материи. Лишь спустя 300 тыс. лет после Большого взрыва излучение «отклеилось» от барионного вещества и получило возможность распространяться свободно. Температура Вселенной упала до 3000 К, и ядра получили возможность захватывать электроны. Барионная материя начала «сползать» в подготовленные темной материей гравитационные «ямы», подготавливая рождение крупномасштабной структуры Вселенной. Надо сказать, что каждая та-

⁶⁰ После образования атомов светлого вещества можно говорить о новой пылевидной стадии, по крайней мере, до образования первых звезд (хотя фактически пылегазовые облака всегда сосуществовали со звездами и галактиками). Соответственно на Рис. 4 можно видеть длительность этой стадии до начала ускоренного расширения.

кая «яма» дала начало скоплению, а то и сверхскоплению галактик (Громов 2012).

Концепция, что темная материя стала кластеризоваться (собираться в сгущения) намного раньше, чем светлая, что сыграло важную роль при образовании галактик, стала сегодня доминирующей (см., например: Конселлис 2007: 24–25). Рост малых возмущений плотности, как мы помним, в микроскопических масштабах стал проявлять себя еще на стадии инфляции (см.: Сажин 2002: 38; Вайнберг 1975; Зельдович, Новиков 1975; Горбунов, Рубаков 2010). Естественно, при расширении в гигантских масштабах Вселенной эти флуктуации стали принимать уже иные, крупные масштабы. В эпоху доминирования темной материи флуктуации стали крупнее и начали уже формироваться возможности макроскопических проявлений флуктуаций, то есть возникали зародыши неоднородностей, сыгравших в дальнейшем важную роль в формировании крупномасштабных скоплений материи: протогалактик, скоплений галактик (см., например: Силк и др. 1983). Таким образом, перед нами один из первых в эволюции примеров, когда малые, крошечные различия могут вырастать в громадные. Мы видим это далее в любом процессе дивергенции и дифференциации (в расхождении популяций и видов, языков и культур, политических течений и т. п.).

Эпоха доминирования темной материи длилась около трех сотен тысяч лет, это огромное время по сравнению с секундами и минутами. То есть скорость эволюции явно замедляется. И это связано с тем, что если на первых этапах (в течение первой секунды) эволюция шла за счет остывания, расширения и снижения давления, то есть перехода к новым фазовым уровням, в то время как структуры еще не было, то теперь наметился процесс образования структуры из бесструктурности. А на это требуется значимое время. И обычно еще больше времени требуется для окончательного оформления новой структуры.