

СЗ22.2  
Л-932



**ЛЕКЦИИ  
ДЛЯ МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ**

А. Л. Любимов

**МГНОВЕНИЯ,  
СПАСШИЕ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ**

**ДУБНА**

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЗ22.2  
Л-932

P1-2006-28

А. Л. Любимов

МГНОВЕНИЯ, СПАСШИЕ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ

19136 бр.

Объединенный институт  
Дубна-2006  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Любимов Александр Львович

Л93 Мгновения, спасшие нашу Вселенную. — Дубна: ОИЯИ, 2006. — 32 с.: ил.

Эта книжка — популярный рассказ о том, как человеческий гений раскрывал тайны первых мгновений нашей Вселенной и как это потребовало проникновения в тайны мира микрочастиц. Для читателей, далеких от обсуждаемого круга вопросов, приложен словарь терминов.

© Объединенный институт ядерных исследований, 2006

## ВВЕДЕНИЕ

Слово «Вселенная» имеет два значения. Согласно первому это весь существующий материальный мир, безграничный и единственный. Согласно второму, принятому в космологии, т. е. науке о Вселенной как целом, и других астрономических науках (а соответственно, и в данной книжке), это слово обозначает область мира, доступную для наблюдения. В таком понимании этого слова не исключена возможность существования и других вселенных кроме «нашей»\*.

В этой книжке рассказано о поразительной воображении ранней истории Вселенной, об ее самых ярких (как в переносном, так и в прямом смысле этого слова) моментах и о том, как она избежала самоуничтожения.

Начнем с масштабов, о которых идет речь.

Размер Вселенной (т. е. расстояние до самых дальних из наблюдаемых космологических объектов) приблизительно 13 миллиардов световых лет\*\*. Представить себе это мы не можем. Укажем лишь для сравнения, что расстояние от Земли до Солнца составляет  $\approx 8$  «световых минут».

И еще о масштабах. В «нашей» Вселенной приблизительно 100 миллиардов гигантских звездных систем, называемых галактиками, каждая из которых имеет до сотен миллиардов звезд (в частности, в нашей галактике, называемой Млечным путем, их  $\approx 100$  миллиардов). При этом, как будет рассказано дальше, Вселенная является неким единым целым, имеющим общую историю развития.

Таким образом, космология — это наука о самом грандиозном творении мироздания.

В то же время, хотя на первый взгляд это может показаться парадоксальным, космология тесно связана с наукой о самых маленьких «объектах» природы, т. е. о частицах микромира.

Эти частицы, раньше называвшиеся элементарными, теперь обычно называют просто частицами, поскольку значительная их доля оказалась не элементарными, а составными. Размеры этих частиц не превышают  $10^{-13}$  см.

\* Свидетельства существования других вселенных не наблюдались (пока?).

\*\* Световой год — расстояние, которое свет проходит за 1 год. Один световой год равен  $9,46 \cdot 10^{12}$  км.

Без знания процессов, происходящих в микромире и исследуемых наукой, называемой физикой частиц, невозможно понять природу многих важнейших явлений, происходивших во Вселенной, особенно в ее первые мгновения. Поэтому в этой книжке будут приведены и некоторые сведения из физики частиц.

Заканчивая это введение, необходимо подчеркнуть, что рассказ о самых ярких моментах в истории нашей Вселенной — это рассказ о некоторых из ярчайших научных идей, которыми был так богат XX век.

## 1. САМОЕ ГРАНДИОЗНОЕ ИЗ ЯВЛЕНИЙ

В 1905 г. 26-летний Альберт Эйнштейн, тогда еще сотрудник швейцарского патентного бюро, создал теорию пространства и времени, впоследствии названную специальной (или частной) теорией относительности. Из этой теории (точной вне гравитационного поля и приближенной, когда этим полем можно пренебречь) вытекало множество важнейших следствий. Укажем некоторые из них:

- Скорость света в вакууме  $c = 300000$  км/с является максимально возможной скоростью движения и распространения сигналов и не зависит от системы отсчета.

- В массе  $m$  заключена энергия  $E_0 = mc^2$  (эта формула стала своего рода символом последовавшей атомной эпохи, ее достижений и угроз).  $E_0$  называют энергией покоя.

- Время — величина не абсолютная, а относительная и течет по-разному в разных системах отсчета, движущихся относительно друг друга.

Все эти предсказания специальной теории относительности были впоследствии проверены с высокой точностью (прежде всего в экспериментальной физике частиц) и полностью подтверждены.

Специальная теория относительности была одной из основ колоссального прогресса физики в XX в.\*.

---

\*В том же 1905 г. Эйнштейн создал также теорию броуновского движения — беспорядочного движения мелких частиц, взвешенных в жидкости или газе, объяснив его как следствие ударов молекул окружающей среды, находящихся в тепловом движении (экспериментальное подтверждение этой теории явилось решающим доказательством существования молекул).

В том же году им была разработана и теория фотоэффекта (испускание веществом электронов под действием электромагнитного излучения), в которой он, в частности, впервые рассматривал свет как поток квантов света, впоследствии названных фотонами, и за которую он получил Нобелевскую премию.

Столетие этого «года удивительных открытий», т.е. 2005 год, по решению ЮНЕСКО отмечалось как Всемирный год физики.



А. Эйнштейн



А. А. Фридман

В 1915 г. Эйнштейн завершил многолетнюю работу по созданию своего главного детища — общей теории относительности (ОТО) — науки о гравитации, пространстве и времени.

Изложение этой теории не входит в задачи данной книжки (к тому же, замечу в скобках, она не может быть изложена достаточно популярно, без использования математического аппарата). Приведу лишь один из выводов ОТО — первый, который был подтвержден экспериментально.

Гравитация определяет геометрию пространства-времени\*, которая может быть и неевклидовой (т. е. отличаться от той, которой нас учили в школе). Это приводит, в частности, к отклонению гравитационным полем Солнца проходящих близко от него лучей света (рис. 1). Наблюдение этого явления в 1919 г. во время полного солнечного затмения явилось первым триумфом ОТО\*\*. Координаты звезд, видимых во время затмения вблизи закрытого Луною Солнца, отличались от координат этих же звезд, измеренных, когда они были видны вдали от Солнца (это различие незаметно для глаза, и его обнаружение потребовало точных измерений).

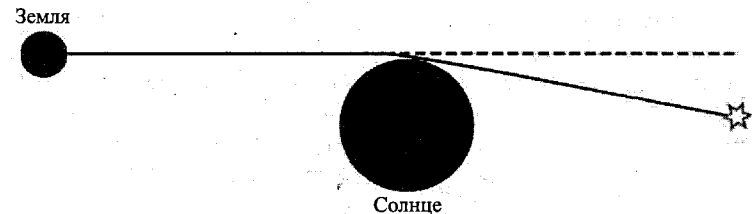


Рис. 1. Отклонение лучей света гравитационным полем Солнца

Но еще за два года до этого Эйнштейн, в соответствии с масштабом своего мышления, начал разрабатывать новую, основанную на ОТО, космологическую модель Вселенной.

В то время считали само собой разумеющимся, что Вселенная всегда была, есть и будет одинаковой. Поэтому Эйнштейн пытался решить уравнения ОТО для Вселенной, рассматривая ее как неизменную во времени, т. е. стационарную. Но задача не решалась и возникшие теоретические трудности казались непреодолимыми.

Проблему решил российский ученый А. А. Фридман. Об этом Сахаров в своих «Воспоминаниях»\*\*\* написал: «Простой и гениальный выход был

\*Время в теории относительности рассматривается как четвертая координата.

\*\*По этому поводу Эйнштейн в письме М. Планку написал: «Судьба оказала мне милость, позволив дожить до этого дня».

\*\*\*А. Сахаров «Воспоминания» (Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990). В российское издание этой книги соответствующая глава («Научная работа в 60-х годах») не была включена.

найден Фридманом в 1922–1924 гг. Он впервые рассмотрел нестационарные решения, в частности расширяющуюся Вселенную, открыв таким образом «на кончике пера» самое грандиозное явление из всех известных сейчас людям.

Первоначально Эйнштейн считал работу Фридмана ошибочной. Лишь несколько месяцев спустя он понял, что ошибался он сам, и опубликовал об этом специальную заметку — еще одно свидетельство человеческой незаурядности и научной честности гения.

Фридман за полтора года до смерти прочитал заметку Эйнштейна, но, к сожалению, не дожидаясь наблюдательного открытия «разбегания» галактик. Он умер в 1925 г. в возрасте 37 лет\*.

Фридман получил действительно поразительный результат, ставший основой космологии: оказалось, что Вселенная обязательно должна эволюционировать. Ее развитие определяется отношением ее средней плотности  $\rho$  и некоторого критического значения  $\rho_c$  и может происходить по одной из моделей, схематически представленных на рис. 2.

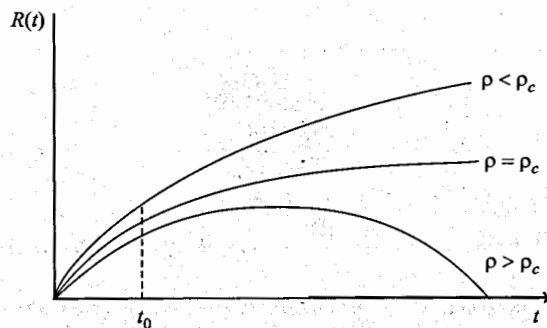


Рис. 2. Варианты развития Вселенной в зависимости от ее средней плотности  $\rho$ .  $R(t)$  — расстояние между произвольными космологическими объектами;  $\rho$  — средняя плотность вещества во Вселенной;  $t$  — время от Большого взрыва;  $\rho_c$  — критическая плотность;  $t_0$  — настоящее время

Если  $\rho < \rho_c$ , то Вселенная должна неограниченно расширяться («открытая Вселенная»); если  $\rho > \rho_c$ , за расширением Вселенной должно последовать

\*Фридману принадлежат также весьма важные работы по динамической метеорологии и гидродинамике. Он же во время первой мировой войны организовал аэронавигационную службу на всех фронтах российской армии, получил звание летчика-наблюдателя, был георгиевским кавалером и награжден золотым оружием. К сожалению, имя этого замечательного ученого и человека известно в России гораздо меньше, чем он заслужил.

ее сжатие («закрытая Вселенная»). Если же  $\rho = \rho_c$ , то расширение Вселенной должно со временем уменьшаться, постепенно приближаясь к стационарному состоянию.

Величины  $\rho$  и  $\rho_c$  меняются в ходе развития Вселенной, но большая из них всегда остается большей, и поэтому судьба Вселенной определяется уже в ее раннем детстве.

В настоящее время, как видно из рис. 2, наша Вселенная находится в стадии расширения.

Через четыре года после смерти Фридмана космологическое расширение Вселенной было открыто американским астрономом Э. Хабблом. Он обнаружил, что галактики удаляются от нас, притом со скоростями, пропорциональными расстоянию до них. Такое «разбегание» галактик во всей видимой Вселенной свидетельствует, что она «разбухает». Это часто поясняют на двумерной модели: если раздувать резиновый шар, на поверхности которого нанесено множество точек, то расстояние между любыми двумя точками будет увеличиваться со скоростью, пропорциональной этому расстоянию.

При этом, если наблюдать это расширение, «находясь» в некоторой произвольной точке на поверхности шара, будет казаться, что эта точка является неподвижным центром, относительно которого и происходит «разбегание» остальных точек. Однако очевидно, что такая же картина будет наблюдаться в любой другой точке на этой поверхности.

Аналогично, наблюдение Хаббла отнюдь не означает, что мы находимся в некотором центре Вселенной: такое наблюдение могло бы быть, в принципе, сделано в любой ее точке.

Свое открытие Хаббл сделал, сопоставляя красное смещение\* в спектрах далеких галактик с расстоянием до них, которое оценивал по их видимой светимости\*\*.

Величина этого смещения, т. е. наблюдаемое изменение длины волны  $\Delta\lambda$ , пропорциональна скорости относительного движения источника в направлении луча зрения. Поэтому скорость удаления галактик может быть довольно точно измерена спектрометрическим методом. Менее точным является определение расстояний до далеких галактик: первоначальная оценка этих величин Хабблом оказалась значительно меньше полученной в более поздних исследованиях.

\*Красное смещение — смещение спектральных линий в сторону красной части спектра — происходит при удалении источника излучения от наблюдателя вследствие эффекта Доплера. Этот эффект заключается в изменении наблюдаемой частоты излучения при удалении или приближении его источника относительно приемника.

\*\*Хаббл экстраполировал для далеких звезд соотношение светимости и расстояния, полученное для близких звезд некоторых типов, расстояния до которых были определены по годовому изменению их видимого положения, обусловленному движением Земли вокруг Солнца.



Э. Хаббл

Таким образом, расстояние  $R$  между любыми двумя удаленными галактиками увеличивается со скоростью

$$v = HR, \quad (1)$$

где  $H$  называют постоянной Хаббла. Ее величина соответствует скорости  $v = 20\text{--}25$  км/с при расстоянии  $R$ , равном миллиону световых лет, и, как видно из рис. 2, должна со временем постепенно меняться\*.

Решение вопроса о том, по какому из вариантов, представленных на рис. 2, развивается наша Вселенная, потребовало многих лет. Масса всех звезд и другой видимой материи оказалась существенно меньше необходимой для того, чтобы средняя плотность Вселенной  $\rho$  достигала критического значения  $\rho_c$ . Поэтому первоначально господствовало представление, что Вселенная неограниченно расширяется. Однако со временем было установлено существование невидимой «темной материи»\*\* и некоторых других факторов, увеличивающих среднюю плотность Вселенной приблизительно до критического значения  $\rho_c$ , что привело к заключению, что наша Вселенная не является открытой и наиболее вероятно ее развитие в соответствии со средней кривой рис. 2.

Отметим, что в этом случае геометрия Вселенной должна быть евклидовой (с локальными отклонениями в областях сильного гравитационного поля, например, в «черных дырах»).

Подведем краткие итоги сказанному в этой главе:

1. Наша Вселенная расширяется.
2. Это грандиозное явление было предсказано на основе общей теории относительности (и, таким образом, является подтверждением основных положений этой теории)\*\*\*.

## 2. НАЧАЛО НАЧАЛ

Итак, наша Вселенная расширяется.

Если проследить ее историю, двигаясь назад во времени, как в фильме, прокручиваемом в обратном направлении, то очевидно, что галактики будут

\*На это глобальное «разбегание» галактик накладываются их локальные перемещения, скорость которых при малых  $R$  может превосходить определяемую соотношением (1), но которые становятся несущественными при больших взаимных расстояниях.

\*\*Природа темной материи до сих пор не вполне ясна.

\*\*\*Создание путем размышлений теории такой глобальности и такой предсказательной силы является одним из высших (а возможно и наивысшим) в истории человечества проявлением научного гения.

сближаться друг с другом, притом с той же скоростью, с какой они разлетались. Поскольку скорость их разлета пропорциональна расстоянию между ними, то время до полного сближения любой пары галактик одинаково и в какой-то момент времени в прошлом все вещество Вселенной должно было находиться в одной и той же «точке». Соответственно и его разлет начался одновременно.

Если бы скорость разлета была неизменной и соответствовала постоянной Хаббла, то это должно было бы произойти около 20 миллиардов лет назад. Но поскольку силы тяготения тормозят этот разлет, его начальная скорость должна была быть больше, чем наблюдаемая теперь, и обычно принимают, что возраст Вселенной около 15 миллиардов лет.

Одновременность начала разлета вещества Вселенной означает, что этот разлет возник в результате некоторого взрывного процесса.

Что же происходило тогда, какой родилась наша Вселенная?

В начальном состоянии она была неким сгустком материи огромной плотности.

А началом разлета этого сгустка, началом начал в истории нашей Вселенной был так называемый Большой взрыв (Big Bang).

Но это еще не все. Согласно гипотезе Гамова, разработанной им в 1946–1948 гг., материя, составлявшая Вселенную в начальном состоянии, была не только сверхплотной, но и сверхгорячей. Поэтому, по Гамову, Большой взрыв должен был сопровождаться излучением колоссальной интенсивности и энергии и это излучение, теряя в процессе остывания Вселенной интенсивность и охлаждаясь, могло сохраниться до нашего времени, равномерно заполняя все пространство Вселенной. Энергия этого излучения в настоящее время должна, согласно теоретическим оценкам Гамова и его коллег, соответствовать температуре около 3–5 К\*. Однако, несмотря на вполне четкие предсказания, целенаправленные поиски этого излучения почему-то не были предприняты.

В 1965 г. американцы А. Пензиас и Р. Вильсон, занимавшиеся радиоастрономическими исследованиями, неожиданно обнаружили слабое излучение в микроволновой области, которое было близко к изотропному (т. е. его интенсивность была приблизительно одинакова, в какой бы участок неба не был направлен их радиотелескоп), а температура соответствовала 2,7 К. Изотропия этого излучения и его температура свидетельствовали, что это то самое излучение, которое, по Гамову, возникло при Большом взрыве и которое называли реликтовым. Теория горячей Вселенной получила прямое экспериментальное подтверждение и стала основой современных представлений о «сотворении мира».

\*Символ К (от Кельвин) означает температуру, отсчитываемую от т. н. абсолютного нуля (–273,2 °С).



Г. Гамов



Пензиас и Вильсон за свое открытие были в 1978 г. удостоены Нобелевской премии. Гамов к тому времени уже умер\*.

Итак, было установлено, что при рождении наша Вселенная была «сверхгорячей»: ее начальная температура не поддается расчету и ее условно характеризуют как «квазибесконечную». Далее происходило остывание, при котором согласно законам термодинамики температура ( $T$ ) уменьшалась обратно пропорционально корню квадратному из времени ( $t$ ), отсчитываемому от момента рождения:  $T \sim t^{-1/2}$ .

Из этой безобидной на вид зависимости следует невероятно быстрый темп развития ранней Вселенной. Например, за время от  $t = 10^{-40}$  с (а применительно к ранней Вселенной рассматриваются и такие времена) до  $t = 10^{-4}$  с (возможно, завершающего те «первые мгновения», о которых рассказывается в этой книжке), т. е. за одну десятитысячную долю секунды, температура Вселенной уменьшилась приблизительно в миллиард миллиардов раз! И за этот промежуток времени в истории Вселенной произошел целый ряд важнейших событий и менялась природа вещества, из которого она тогда состояла.

Представление о том, как менялась температура Вселенной за время ее существования, дает рис. 3. На этом рисунке шкале температур (в кельвинах) сопоставлена шкала соответствующих средних энергий (в электронвольтах) частиц микромира, из которых тогда состояла Вселенная. Это позволяет перекинуть мост от процессов космического масштаба к соответствующим им процессам микромира, что необходимо для понимания ранней истории нашей Вселенной. Дело в том, что процессы, происходившие во Вселенной в ее первую десятитысячную долю секунды, — это процессы, относящиеся в значительной мере к физике частиц. Создавая ускорители все больших энергий, экспериментальная физика частиц последовательно проникает во все более ранние этапы развития Вселенной и в настоящее время «дошла» до

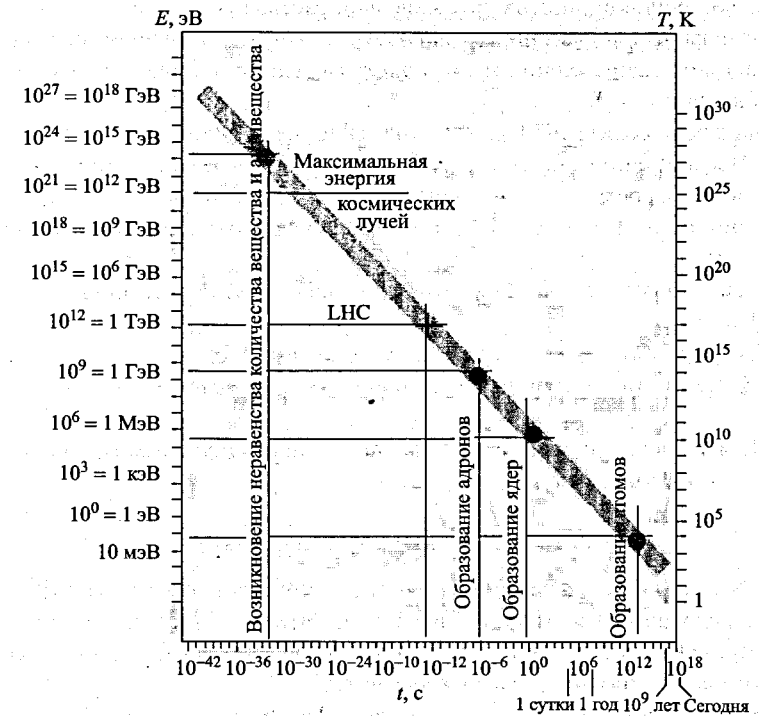


Рис. 3. Как остывала наша Вселенная

времен  $t \sim 10^{-10} - 10^{-11}$  с. Сооружаемый в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) гигантский ускоритель LHC (Large Hadron Collider), который должен начать работать в 2007 г., позволит достичь энергий, соответствующих средней температуре Вселенной ко времени ее существования  $t \approx 10^{-12}$  с.

В существенно более ранние времена проникает мысль физиков-теоретиков. Синтезируя физику частиц и космологию, они исходят из необходимости соответствия гипотез об элементарных процессах при сверхвысоких энергиях важнейшим характеристикам Вселенной, которые определялись явлениями на самой ранней стадии ее развития.

Еще более раннее время, соответствующее энергиям от  $10^{19}$  ГэВ и выше и экстремально большой плотности Вселенной, пока недоступно даже для теоретической мысли.

Естественно, что чем ближе к началу Большого взрыва, тем большую роль при воссоздании картины происходивших событий играют гипотезы и тем менее точными становятся численные оценки.

\*О Гамове следует рассказать подробнее. Гамов Георгий Антонович (1904–1968), талантливый российский физик-теоретик, которого Россия лишилась. Родился в Одессе. Окончил Ленинградский университет (1926). Работал в Физико-техническом институте (Ленинград). В 1928–31 гг. – зарубежная командировка в Европу, где сотрудничал с ведущими учеными, включая Н. Бора. Затем продолжал работу в Ленинграде. Совместно с Л. Ландау предложил создать в Советском Союзе Институт теоретической физики (предложение не было принято). В 1933 г., получив отказ в предоставлении ему второй длительной зарубежной научной командировки (какими теперь пользуется большое количество российских ученых существенно меньшего масштаба), не вернулся из краткой заграничной командировки и в 1934 г. принял американское гражданство (после чего его стали называть американским ученым Джорджем Гамовым даже в российских научных изданиях). Гамов не только выдвинул и разработал идеи о горячем начальном состоянии Вселенной и о возникшем тогда и сохранившемся до нашего времени излучении, названном реликтовым. Он также автор теории  $\alpha$ -распада ядер атомов (т. е. распада их с испусканием ядер гелия) и внес существенный вклад в теорию  $\beta$ -распада (т. е. распада атомными ядрами электронов). Он же сделал первый расчет генетического кода.

Однако основой многих выводов и представлений являются фундаментальные физические законы (в частности, законы термодинамики), которые предполагаются справедливыми и в экстремальных условиях первых мгновений, начиная с  $t = 0$ .

В нашем рассказе мы будем исходить из некоторой стандартной модели ранней Вселенной, являющейся наиболее вероятным ее описанием для области энергий, недоступной для прямого экспериментального исследования, и достаточно достоверной для энергий, исследованных экспериментальной физикой частиц.

Соответствующие сведения, относящиеся к этой науке, приведены в следующей главе.

Подведем краткие итоги сказанному в этой главе:

1. В исходном состоянии *наша Вселенная была сверхплотной и сверхгорячей.*

2. В исследовании «первых мгновений» нашей Вселенной *объединяются космология и физика частиц микромира.*

### 3. ВЕК ЧАСТИЦ МИКРОМИРА

XX век в физике начался досрочно, с открытия в 1897 г. электрона, как бы предвещавшего, что грядет век частиц. Этот век микромира последовательно проникал в глубь материи: сперва появилась физика атома, затем — атомного ядра и, наконец, физика частиц\*.

Отметим лишь некоторые из событий этого века, имеющих отношение к теме данной книжки, и расскажем лишь о некоторых из множества частиц микромира.

В 1911 г. Э. Резерфорд открыл атомное ядро и разработал планетарную модель атома, согласно которой атом состоит из положительно заряженного ядра и окружающих его электронов, имеющих отрицательный электрический заряд, так что общий электрический заряд атома равен нулю. Частица, являющаяся ядром атома водорода и входящая в состав ядер всех других элементов, было впоследствии названа протоном.

В 1932 г. был открыт нейтрон — частица с массой и многими другими свойствами, близкими к протонным, но не имеющая электрического заряда. Для протонов и нейтронов было введено обобщающее понятие — нуклоны\*\*.

\*Ее называли физикой элементарных частиц, но выяснилось, что многие из исследуемых ею частиц не элементарные, а составные, и слово «элементарные» было опущено.

\*\*Указанные выше открытия электрона, протона, нейтрона и целый ряд других были сделаны в Кавендишской лаборатории (Англия), внесшей наибольший вклад в развитие атомной и ядерной физики. Позднее в этой лаборатории был сделан ряд крупнейших открытий в самых разных областях науки, от молекулярной биологии до радиоастрономии и астрофизики. Роль Кавендишской лаборатории в истории науки уникальна.

Первой частицей, существование которой было предсказано теоретически (все тем же Эйнштейном в 1905 г.) и в дальнейшем подтверждено экспериментально, был фотон — квант света, обладающий одновременно и корпускулярными, и волновыми свойствами. (Этим был решен давний спор Ньютона, считавшего свет потоком корпускул, и Гюйгенса, давшего свету волновую интерпретацию, одержавшую, казалось, окончательную победу после обнаружения его интерференции и дифракции.) Но значение предсказания фотона этим далеко не исчерпывается: в дальнейшем была понята двойственная природа (дуализм) волн и частиц микромира, состоящая в том, что эти частицы обладают также волновыми свойствами, а волны проявляются так же, как поток частиц (например, волны света являются одновременно потоком частиц-фотонов). Этот дуализм был развит и лег в основу фундаментальных разделов современной физики — квантовой механики, а затем и квантовой теории поля, являющейся теоретическим аппаратом физики частиц.

Важным этапом на пути открытия частиц микромира явилось исследование космических лучей, приходящих на Землю извне («первичное космическое излучение») и взаимодействующих с веществом атмосферы, создавая вторичное излучение, имеющее более сложный состав. До создания соответствующих ускорителей космические лучи были единственным источником частиц высокой энергии.

Первой частицей, открытой в космических лучах, был позитрон — частица с массой электрона, но с положительным электрическим зарядом.

Это открытие, сделанное в 1932 г., было удивительно своевременным. Дело в том, что в 1928–1931 гг. английский физик П. Дирак вывел уравнение электрона, которое оказалось симметричным относительно знака электрического заряда и из которого следовало существование наряду с электроном также и его античастицы, т. е. частицы с той же массой, но с противоположным электрическим зарядом.

Открытие первой античастицы — позитрона имело фундаментальное значение: оно подтвердило теорию Дирака (которая имеет прямое отношение не только к физике микромира, но и к Вселенной в целом, о чем будет рассказано дальше).

В 1937 г. в космических лучах были открыты заряженные частицы с массой в  $\approx 200$  раз больше, чем масса электрона. Эти частицы, названные мюонами, по многим свойствам являющиеся как бы тяжелыми электронами, оказались нестабильными: средняя продолжительность их жизни  $\approx 2$  микросекунды. За такое время, двигаясь со скоростью света ( $300000$  км/с), можно пролететь  $\approx 0,6$  км. Однако заметная доля мюонов, двигаясь со скоростью заведомо меньшей, пролетает от верхних слоев атмосферы, где они образуются, до Земли, т. е. многие километры! Дело в том, что в соответствии с теорией относительности время в системе отсчета, связанной с мюоном (т. е. в которой он покоится!) и в «нашей» системе отсчета, в которой он дви-

19136 вр

жется со скоростью  $V$ , составляющей заметную долю скорости света, течет по-разному.

И в «нашей» системе отсчета средняя продолжительность жизни мюона составляет уже  $2 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$  с, где  $v$  — скорость полета мюона в нашей системе отсчета, а  $c$  — скорость света.

Недаром теория, созданная Эйнштейном, была названа теорией относительности!

Отметим еще одно открытие из многих, сделанных при исследовании космических лучей. В 1947 г. с помощью специальной фотоэмульсии, экспонированной в горах на высоте до 5500 метров, были открыты частицы, названные  $\pi$ -мезонами (пионами). Эти частицы нестабильны, их среднее время жизни  $\approx 3 \cdot 10^{-8}$  с, они могут иметь как положительный, так и отрицательный электрический заряд\* и обладают не только электромагнитным, но и сильным (т. е. «ядерным») взаимодействием. Поэтому их вместе с нуклонами и целым рядом других частиц, обладающих сильным взаимодействием, объединяют понятием «адроны».

Следующие две частицы, о которых мы расскажем, были предсказаны выдающимися теоретиками, а для их обнаружения потребовались уже крупные экспериментальные установки второй половины XX в.

В 1930 г. швейцарский физик В. Паули выдвинул гипотезу о существовании новой частицы, которая испускается в радиоактивном  $\beta$ -распаде вместе с электроном. Эта частица согласно гипотезе не имеет электрического заряда, очень легкая и способна проникать сквозь огромную толщу вещества.

Сам Паули по поводу своего выступления с этой гипотезой сказал: «Сегодня я совершил страшный поступок, который никак не следовало бы совершать физику-теоретика: я предложил нечто такое, что никогда не сможет быть экспериментально подтверждено».

В 1953 г. американские физики Ф. Рейнес и К. Коуэн начали поиск этих частиц, названных нейтрино (точнее, их античастиц — антинейтрино), на мощных ядерных реакторах. В продолжавшемся шесть лет эксперименте существование нейтрино было доказано\*\*.

Для обнаружения следующей частицы, о которой мы расскажем, потребовалась уже другая крупная установка — ускоритель частиц высокой энергии.

В соответствии с теорией Дирака следовало ожидать, что должны существовать антипротоны — частицы с массой протона и отрицательным электрическим зарядом. Однако обнаружить их в космических лучах не удавалось

\*В дальнейшем было установлено, что их заряд может быть также равен нулю.

\*\*В этом эксперименте была также измерена проникающая способность «реакторных антинейтрино». Оказалось, что эти частицы в среднем поглощаются в слое вещества, в миллиард раз больше количества вещества по диаметру Земли. И существование такого сверхредкого процесса было надежно установлено!

(об этом подробнее рассказывается в следующей главе), и у некоторых физиков возникло даже сомнение в их существовании. Через несколько лет после окончания второй мировой войны в США и Советском Союзе (в Дубне) начали создавать мощные ускорители частиц, энергия которых была достаточной для образования антипротонов. В США такой ускоритель заработал раньше, и там антипротон наблюдался, соответственно, раньше.

Сначала в космических лучах, а затем преимущественно на ускорителях было обнаружено еще много разных частиц, так что их общее число приближалось к числу элементов в таблице Менделеева. Стало ясно, что не все они являются элементарными\*.

И тогда в 1964 г. два теоретика, М. Гелл-Манн и независимо Дж. Цвейг, выдвинули смелую гипотезу, что все адроны (т. е. частицы, обладающие сильным взаимодействием) состоят из более элементарных структурных элементов, названных кварками. Все барионы состоят из трех кварков, мезоны — из кварка и антикварка.

Наиболее необычное в свойствах кварков то, что у них (и только у них!) дробные электрические заряды  $-1/3(e)$  и  $+2/3(e)$ , где  $e$  — единица электрического заряда, равная заряду протона и позитрона.

Чтобы объяснить прочную связь кварков в адронах, был придуман еще один вид частиц, которые как бы склеивают кварки между собой. Эти частицы были названы глюонами (от английского «glue» — клей).

В дальнейшем существование кварков и глюонов было убедительно доказано, и еще до конца XX в. была создана так называемая Стандартная модель, синтезирующая представление обо всех элементарных частицах и их взаимодействиях — сильном, электромагнитном и слабом\*\*.

Укажем некоторые из основных положений этой модели.

Существует всего 6 разных кварков и 6 лептонов (а также соответствующие античастицы).

Механизм сильного взаимодействия заключается в обмене кварков глюонами, электромагнитного — в обмене фотонами, слабого — в обмене тяжелыми нестабильными частицами, обозначаемыми  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ , существо-

\*Отметим, что стабильными (в пределах существующих точностей измерения) являются только протоны, электроны, фотоны и нейтрино, а также нейтроны в связанном состоянии. Все остальные частицы быстро распадаются (для большинства из них средняя продолжительность жизни не превышает стомиллионной доли секунды). Конечные состояния распадов (или цепочки распадов) состоят только из стабильных частиц. Об имеющей принципиальное значение гипотезе о нестабильности протонов, средняя продолжительность жизни которых, по существующим измерениям, больше  $10^{31}$  (или даже  $10^{33}$ ) лет, т. е. на много порядков превышает возраст нашей Вселенной, будет рассказано в пятой главе.

\*\*Четвертое из взаимодействий, гравитационное, модель не рассматривает, поскольку его влияние в процессах, исследуемых физикой частиц, пренебрежимо мало.

вание которых было сначала предсказано теорией, а затем доказано экспериментально.

Сильное и электромагнитное взаимодействия для частиц и античастиц одинаковы по величине, а слабое взаимодействие отлично. Это свойство слабого взаимодействия называют зарядовой асимметрией. В процессах слабого взаимодействия нарушаются также некоторые законы сохранения физических величин, точные для сильных и электромагнитных взаимодействий. Подробнее об этих особенностях слабого взаимодействия будет рассказано в пятой главе. Пока же, забегаая вперед, отметим, что, не будь их, Вселенная была бы совсем другой (наиболее вероятно — совершенно пустой, без звезд и планет и, конечно, без нас с Вами, уважаемый читатель).

Элементарные частицы и их взаимодействия представлены на рис. 4. Как видно из этой схемы, кварки участвуют во взаимодействиях всех видов, заряженные лептоны — в электромагнитном и слабом, нейтрино — только в слабом.

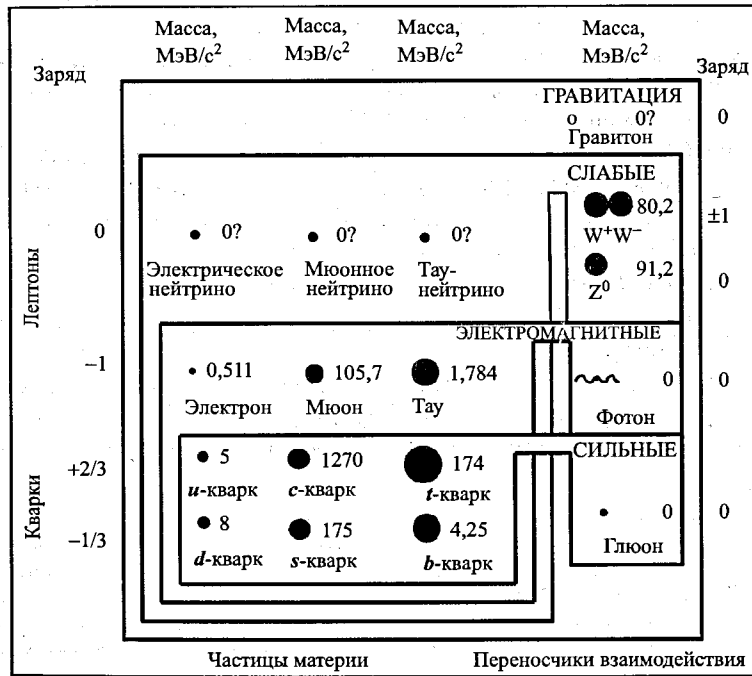


Рис. 4. Элементарные частицы и взаимодействия, в которых они участвуют

Кварки и лептоны составляют три группы («поколения»), каждая из которых содержит по два кварка (с электрическими зарядами  $-1/3$  и  $+2/3$ ) и два лептона (с зарядами  $-1$  и  $0$ ).

Определяющую роль играют частицы первого поколения, в частности, из кварков первого поколения составлены ядра всех элементов, и эти кварки являются основным строительным материалом Вселенной.

Но и существенно более редкие частицы второго и третьего поколений выполняют свои специфические функции.

Однако при сверхвысокой температуре или(и) давлении «поведение» ядерного вещества должно меняться и оно переходит в состояние кварк-глюонной плазмы, т.е. кварки и глюоны перестают быть заключенными внутри адронов и свободно перемещаются и взаимодействуют друг с другом по всему объему плазмы.

В состоянии кварк-глюонной плазмы, по-видимому, находилась наша Вселенная в первые мгновения (малые доли секунды) после Большого взрыва, до того как стали возникать адроны. Вселенная в то время являлась плотным и чрезвычайно горячим месивом из кварков и антикварков, лептонов и антилептонов, глюонов, фотонов и, возможно, некоторых других фундаментальных частиц.

В исходном состоянии число кварков во Вселенной было равно числу антикварков, а число лептонов — числу антилептонов\*.

О том, каково соотношение между числом кварков и антикварков в существующей Вселенной, мы расскажем в следующей главе.

Заканчивая краткий рассказ о частицах микромира, следует подчеркнуть, что задача физики частиц отнюдь не сводится к их «коллекционированию». Это наука о свойствах материи на субъядерном уровне — и в то же время это наука о самых общих принципах и законах нашего мира. Эти два аспекта физики частиц связаны естественным образом, ибо чем проще исследуемые объекты и явления, тем четче проявляются в них наиболее общие законы, поскольку закономерности более сложных систем на них не действуют. На уровне частиц микромира остается действие лишь самых основных законов, более того — свойства этих частиц являются проявлением таких законов. И последнее, что хочется сказать в заключение главы о частицах микромира, — как много открытий в этой области науки было сделано в течение одного XX века!

Подведем краткие итоги сказанному в этой главе:

1. Частицам вещества (кроме фотонов и  $\pi^0$ ) соответствуют античастицы.
2. Адроны состоят из кварков.

\* Отметим, что электрический заряд Вселенной равен нулю.

3. При сверхвысоких температуре или(и) давлении кварки и глюоны находятся в состоянии кварк-глюонной плазмы.

4. В слабом взаимодействии нарушаются некоторые законы сохранения, выполняющиеся в сильном и электромагнитном взаимодействиях.

#### 4. ВСЕЛЕННАЯ НАРУШАЕТ ЗАКОНЫ, УСТАНОВЛЕННЫЕ ФИЗИКАМИ?

Уважаемый читатель!

Вы, должно быть, уже заметили, что в предыдущей главе содержится положение, противоречащее действительности: говорится о симметрии вещества и антивещества, тогда как вокруг все построено только из вещества (а антивещество в ничтожных количествах создают физики в своих лабораториях с помощью специальных и сложных установок).

Вы совершенно правы и Вы не первый, кто заметил несоответствие этого научно аргументированного предсказания и того, что происходит в действительности, как бы иллюстрирующее одно из философских высказываний прежнего времени: «Мир сущего отличается от мира должного».

В самом деле, все вещество на Земле построено только из барионов (и электронов), а вещества, построенного из антибарионов, нет, что явно противоречит теоретически надежно обоснованной симметрии частиц и античастиц. Чтобы спасти теорию, была, на радость писателям-фантастам, придумана гипотеза об антимирах, построенных из антивещества и непонятным образом отделенных от мира вещества (эта гипотеза просочилась из науки даже в поэзию и театр — знаменитый московский Театр на Таганке поставил спектакль «Антимиры», в котором было использовано того же названия стихотворение А. Вознесенского).

Экспериментом, который мог дать важную информацию о существовании антимиров, было измерение знака электрического заряда частиц первичного космического излучения. Естественным анализатором здесь служит магнитное поле Земли, которое отклоняет вертикально падающие положительные частицы к востоку, а отрицательные — к западу.

Первый успешный эксперимент по поиску восточно-западной асимметрии потока первичных космических частиц был осуществлен в 1949 г. советскими физиками под руководством С. Н. Вернова. Измерения проводились в районе геомагнитного экватора, где этот эффект должен быть максимальным. Измерительную аппаратуру, автоматически сохранявшую определенную азимутальную ориентировку, поднимали на значительную высоту с помощью шаров-зондов. В этом эксперименте была установлена восточно-западная асимметрия, доказывающая, что положительных первичных частиц существенно больше, чем отрицательных (если последние вообще существуют).

Дальнейшие исследования уточнили этот результат, установив практическое отсутствие в первичных космических лучах антипротонов и антинейтронов\*.

Таким образом было доказано, что доступная для прямого исследования часть Вселенной содержит только вещество и не содержит антивещества.

Астрономические наблюдения существенно расширили область Вселенной, для которой надежно установлено отсутствие антивещества. Это прежде всего наша Галактика, целиком состоящая из вещества (в противном случае происходила бы аннигиляция вещества и антивещества, которая была бы заметна), а также и по той же причине и некоторые соседние галактики, сталкивающиеся галактики и т. д. Процессов аннигиляции вещества и антивещества во Вселенной не обнаружено. Все это привело к выводу, что во Вселенной антивещество практически отсутствует.

Миф об антимирах рассеялся, но легче от этого не стало: со всей остротой встал вопрос, почему во Вселенной нет антивещества, которого, по существовавшим научно обоснованным представлениям, должно было быть приблизительно столько же, сколько и вещества (этот вопрос называют проблемой барионной асимметрии Вселенной).

Подведем итог сказанному в этой главе: вопреки ожидавшемуся на основе симметрии частиц и античастиц приблизительно равному во Вселенной количеству вещества и антивещества оказалось, что она состоит только из вещества.

#### 5. КАК ВСЕЛЕННАЯ ОЧИСТИЛАСЬ ОТ АНТИВЕЩЕСТВА

Ответ на вопрос, когда и как исчезло антивещество, волновавший физиков и космологов всего мира, дал А. Д. Сахаров в 1967 г. Его статья на эту тему\*\*, объемом всего в 3 страницы, содержала предложенное автором объяснение барионной асимметрии Вселенной, ставшее основополагающим для этой области науки (хотя некоторые из ее деталей были впоследствии уточнены как самим автором, так и другими учеными)\*\*\*.

В этой главе рассказано об основных положениях и идеях указанной работы, бывшей (как считал сам Сахаров) наиболее значительной из всех его чисто научных работ.

\* Более 90 % частиц первичной компоненты составляют протоны, примерно 7% —  $\alpha$ -частицы, около 1% — более тяжелые ядра (вплоть до урана), ~ 1% — электроны и позитроны, а также незначительное количество фотонов и нейтрино высоких энергий (имеются также реликтовые нейтрино, возникшие при Большом взрыве, энергия которых в настоящее время ниже порога чувствительности современной аппаратуры).

\*\* Сахаров А. Д. Нарушение СР-инвариантности, С-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5, вып. 1. С. 32–35.

\*\*\* Позднее по этому вопросу были высказаны и другие гипотезы, которые, однако, представляются автору данной книжки менее убедительными.



А. Д. Сахаров

В начале образования Вселенной вещества и антивещества, барионов и антибарионов было одинаковое количество. При этом «на тех стадиях, когда энергия фотонов превосходила энергию, требуемую для образования пары барион+антибарион»\*, количество фотонов должно было быть близким к количеству этих пар.

Однако «в настоящее время... в наблюдаемой части Вселенной гораздо больше фотонов реликтового излучения (их около 400 в  $1 \text{ см}^3$ ), чем барионов (в среднем  $10^{-5} - 10^{-6}$  в  $1 \text{ см}^3$ ), и... нет антибарионов».

Объяснение, данное Сахаровым происшедшему радикальному изменению состава частиц Вселенной, можно в популярном изложении свести к следующему.

Когда Вселенная была горячей и сверхплотной, в месиве составлявших ее частиц происходило последовательно два процесса:

1. Сначала, при сверхвысокой температуре, за счет процессов слабого взаимодействия начало нарушаться равенство числа барионов и антибарионов (барионов стало несколько больше, чем их античастиц).

2. Затем в плотной и уже менее горячей смеси барионов и антибарионов происходило их тотальное взаимоуничтожение (аннигиляция), в результате чего были уничтожены *все* антибарионы и равное им количество барионов. Уцелела лишь малая часть барионов\*\*, для которых не осталось «партнеров»-антибарионов для аннигиляции. Эти оставшиеся барионы и составляют барионное вещество Вселенной.

Таким образом, если бы не нарушение равенства количества барионов и антибарионов, происшедшее благодаря процессам слабого взаимодействия, все барионы и антибарионы взаимно уничтожили бы друг друга и во Вселенной не осталось бы того, что мы называем веществом. Поэтому можно сказать, что существованием нашего мира, а значит, уважаемый читатель, и тем небезразличным для нас с Вами обстоятельством, что мы живем на белом свете, мы обязаны прежде всего мгновениям, в которые было нарушено равенство количества барионов и антибарионов, мгновениям, спасшим нашу Вселенную.

Однако, как было указано в работе Сахарова, такие процессы должны были произойти только при определенных условиях.

Одним из этих условий являлось нестационарное (т. е. существенно неравновесное) состояние Вселенной в то время, когда происходили обсуждаемые

\*Кавычками выделены цитаты из «Воспоминаний» Сахарова (глава «Научная работа в 60-х годах», см. ссылку на с. 7).

\*\*Приблизительно  $10^{-8} - 10^{-9}$ .

процессы. Это условие, несомненно, выполнялось, поскольку, как следует из анализа совокупности имеющихся данных, Вселенная тогда расширялась с огромной скоростью, несравненно большей скорости ее расширения в последующие времена.

Два других условия, необходимых для осуществления гипотезы Сахарова о происхождении барионной асимметрии Вселенной, относятся, как ни парадоксально это может показаться, к физике частиц микромира.

Одно из этих условий — существование редкого и экспериментально трудно наблюдаемого процесса, называемого CP-несохранением\*.

Другое условие, согласно гипотезе Сахарова необходимое для возникновения барионной асимметрии Вселенной (и, замечу в скобках, свидетельствующее о научной смелости автора гипотезы), — это нестабильность протонов, являющихся своего рода кирпичами мироздания.

Поскольку эти условия, в настоящее время принятые широким кругом специалистов, были определяющими на начальной стадии развития нашей Вселенной, мы расскажем о них более подробно.

Начнем с CP-несохранения.

К характерным свойствам частиц микромира относятся симметрии, которым они удовлетворяют (или не удовлетворяют). Укажем две из этих симметрий, имеющих принципиальное значение для обсуждаемого вопроса. Одна из них — симметрия относительно зеркального отражения всех координат ( $x \rightarrow -x, y \rightarrow -y, z \rightarrow -z$ ), называемая пространственной четностью (или P-четностью). Величины, сохраняющие при этом преобразовании знак, называются P-четными, меняющие знак — P-нечетными. Другая симметрия, относящаяся в основном к частицам, обладающим электрическим зарядом, — это симметрия относительно изменения знака этого заряда (C-четность).

Представления о том, как проявляются эти симметрии, возникли не сразу, а прошли ряд ступеней развития. До 1956 г. считалось, что во всех взаимодействиях — сильном, электромагнитном и слабом — сохраняется пространственная четность (P-четность), т. е. события должны быть одинаковыми для двух систем, являющихся зеркальным отражением друг друга. Однако в 1956 г. было понято, что в процессах слабого (и только слабого!) взаимодействия P-четность нарушается, т. е. в двух системах, являющихся зеркальным отражением друг друга, процессы слабого взаимодействия не идентичны.

Однако в течение ряда лет считалось установленным, что при одновременном изменении пространственной и зарядовой четности (т. е. при зеркальном отражении и изменении знака электрического заряда) их совокупное действие не меняет знака (это называлось CP-сохранением).

\*От английских слов charge (заряд) и parity (четность).

Но в 1964 г. группа американских физиков-экспериментаторов открыла, что вопреки считавшемуся твердо установленным представлению величина CP в слабых взаимодействиях не сохраняется\*.

CP-несохранение — это нарушение симметрии вещества и антивещества, редкое и экспериментально трудно наблюдаемое явление. Однако вскоре после его открытия Сахаров выдвинул гипотезу о возникновении барионной асимметрии Вселенной, одним из необходимых условий которого он считал CP-несохранение.

Гипотеза Сахарова была принята широким кругом ученых.

В то же время дальнейший теоретический анализ показал, что такой процесс CP-несохранения, как открытый в 1964 г., не мог привести к возникновению во Вселенной неравенства количества барионов и антибарионов, что это мог бы сделать другой, еще не обнаруженный процесс («прямое» CP-несохранение), вероятность которого, если он существует, должна быть на несколько порядков меньше.

Поиск прямого CP-несохранения, проявлением которого должно быть отличие от нуля соответствующего параметра, обозначаемого  $\varepsilon'$ , производился одновременно в ЦЕРН в Женеве и в лаборатории ФНАЛ в США.

По данным, полученным в ЦЕРН в 1988 г.,  $\varepsilon' \neq 0$  (что указывало на существование прямого CP-несохранения), однако данные группы ФНАЛ соответствовали  $\varepsilon' = 0$ , и общим результатом двух экспериментов была неопределенность.

Прошло около 10 лет напряженной работы, пока были созданы новые, более совершенные экспериментальные установки и в тех же ЦЕРН\*\* и ФНАЛ были осуществлены эксперименты нового поколения. На этот раз данные, полученные по обе стороны Атлантического океана, засвидетельствовали, что процесс прямого CP-несохранения, являющийся согласно теории Сахарова одним из необходимых условий возникновения барионной асимметрии Вселенной, действительно существует. А тогда не вызывает сомнения, что обнаруженная реакция прямого CP-несохранения не является единственной и что в начальные моменты существования нашей Вселенной возникновение барионной асимметрии определяли и другие реакции.

Поэтому актуальной задачей стало исследование нарушения CP-симметрии в процессах с участием других, более тяжелых кварков.

Заканчивая обсуждение роли CP-несохранения на раннем этапе процесса создания нашей Вселенной, зададимся вопросом: ну а что было бы, если бы

\*Первое сообщение об этом открытии, впоследствии удостоенном Нобелевской премии, было сделано на международной конференции по физике частиц в Дубне летом 1964 г.

\*\*Существенный вклад в создание этой установки и проведение эксперимента внесла Лаборатория физики частиц Объединенного института ядерных исследований (Дубна).

CP-симметрия была точной? Количество кварков и антикварков в ранней Вселенной было бы одинаковым, и они взаимно уничтожались бы в актах аннигиляции до тех пор, пока во Вселенной их совсем не осталось. Так что мир, в котором мы живем, обязан своим существованием небольшому нарушению CP-инвариантности.

Третьим необходимым условием для возникновения во Вселенной асимметрии вещества и антивещества Сахаров считал несохранение барионного числа, которое должно проявляться в распадах протонов\*. Это важнейшее условие противоречило существовавшим представлениям и взглядам и было своего рода вызовом. Впоследствии сам Сахаров написал в своих воспоминаниях: «До недавнего времени считалось, что при всех процессах в природе барионный заряд сохраняется. Закон сохранения энергии и закон сохранения электрического заряда допускают распад протона... Но весь повседневный опыт свидетельствует о том, что этого не происходит (или происходит крайне редко). Экспериментальный предел для вероятности этого процесса очень низок. В тонне вещества содержится примерно  $10^{30}$  барионов. Можно утверждать, что за год в одной тонне распадается меньше одного бариона. (Добавление 1987 г. Теперь этот предел еще уменьшился в десять раз.) Если бы распался ровно один барион в год, то за все время существования Вселенной... в кубе со стороной один километр распалась бы крупинка в 1,4 миллиметра диаметром — еле видимая глазом. Экстраполируя эту потрясающую стабильность, физики сделали вывод, что существует абсолютный закон сохранения барионного заряда.

Именно на этот закон, казавшийся почти незыблемым, и посягнул я в своей работе».

Смелая, можно сказать, революционная гипотеза Сахарова о несохранении барионного заряда, противоречившая существовавшим представлениям, была со временем принята широким кругом специалистов.

Однако распад протонов не наблюдался до настоящего времени, несмотря на целую серию крупномасштабных экспериментов по его поиску. В этих экспериментах, проводившихся глубоко под землей для уменьшения фона, вызванного взаимодействием с детекторами частиц космических лучей, было установлено, что среднее время жизни протонов составляет не менее  $10^{32}$  лет (для сравнения — наша Вселенная существует не более  $2 \cdot 10^{10}$  лет). Возможности дальнейшего продвижения в экспериментах по прямому поиску распада протонов в настоящее время, к сожалению, почти исчерпаны. Тем не менее значительная (и, по-видимому, большая) часть специалистов, как

\*В первые мгновения Вселенной, когда еще не было протонов, этот процесс должен был приводить к распаду существовавших тогда других носителей барионного заряда (кварков? Или иных, гипотетических частиц?).

физиков, так и космологов, склоняется вслед за Сахаровым к тому, что протоны должны (или могут в определенных условиях) распадаться. Поэтому можно надеяться, что существование распада протона будет рано или поздно подтверждено, хотя не исключено, что окончательный вывод о существовании этого процесса придется делать только на основании косвенных данных.

Подведем краткие итоги сказанному в этой главе по поводу гипотезы Сахарова о происхождении барионной асимметрии Вселенной.

1. В начальные моменты своего существования наша Вселенная состояла из одинакового количества вещества и антивещества.

2. Еще на самой ранней стадии развития Вселенной вследствие процессов слабого взаимодействия вещества стало немного больше, чем антивещества.

3. Вслед за этим в процессах взаимной аннигиляции было уничтожено (и превращено в фотоны и пары нейтрино-антинейтрино) *все* антивещество и равное количество вещества. Вещество нашей Вселенной, оставшееся после глобальной аннигиляции, составляет лишь малую долю его начального количества.

4. Согласно гипотезе Сахарова протоны должны быть нестабильными. Поэтому поиск их распадов остается задачей принципиального значения.

## ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Проникновение в тайны первых мгновений нашей Вселенной — одно из великих достижений науки XX века. Оно стало возможным благодаря созданию Эйнштейном общей теории относительности, разработке Фридманом на основе ОТО модели развития Вселенной как целого, открытию Хабблом расширения Вселенной, разработке Гамовым модели горячей Вселенной, созданию плеядой талантливых физиков, теоретиков и экспериментаторов, физики частиц микромира, разработке Сахаровым модели процесса очищения ранней Вселенной от антивещества, а также ряду других менее значительных открытий.

Вообще следует отметить, что наука в XX веке развивалась интенсивно, несмотря на две мировые войны и тормозившие науку режимы в некоторых странах. Пожелаем же наступившему XXI веку внести в развитие науки не меньший вклад, чем ушедший двадцатый.

Автор благодарен академику Л. Б. Окуню и доктору физико-математических наук В. Л. Любошицу за ценные замечания и советы, С. С. Шиманскому за помощь в подборе иллюстраций и подготовке работы к изданию, В. Н. Горбуновой за помощь, без которой эта книжка не увидела бы свет.



## КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Адроны** — частицы, участвующие в сильном взаимодействии и состоящие из кварков. Адроны подразделяются на *барионы*, состоящие из трех кварков, и *мезоны*, состоящие из кварка и антикварка.

**Аннигиляция** — процесс, в котором частица и ее античастица, сталкиваясь, взаимно уничтожают друг друга, рождая при этом другие частицы.

**Античастица** (по отношению к данной частице) — частица, обладающая той же массой, временем жизни и некоторыми другими параметрами, но с электрическим и другими зарядами противоположного знака. Например, античастицей электрона является позитрон, а античастицей позитрона — электрон. Такую же пару образуют протон и антипротон. Все элементарные частицы, кроме абсолютно нейтральных, имеют свои античастицы. При столкновении частицы и античастицы происходит их взаимное уничтожение (аннигиляция).

**Барионы** — см. адроны.

**Глюоны** — безмассовые частицы, обмен которыми между кварками лежит в основе сильного взаимодействия.

**Гравитация** — то же, что и тяготение.

**Кварки** — элементарные частицы с дробными электрическими зарядами ( $-1/3$  и  $+2/3$ ), являющиеся составными элементами адронов.

**Космические лучи** — поток частиц высокой энергии, в основном протонов, падающих на Землю из космического пространства (первичное излучение), а также поток вторичных частиц, рожденных при столкновении первичных частиц с веществом атмосферы. До создания ускорителей космические лучи были единственным источником частиц высокой энергии. В космических лучах были открыты позитроны, мюоны,  $\pi$ -мезоны и ряд других частиц, а также множественное рождение частиц и некоторые другие процессы физики частиц высоких энергий.

**Лептоны** — элементарные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии. Существуют заряженные лептоны трех типов: электроны ( $e$ ), мюоны ( $\mu$ ), тау-лептоны ( $\tau$ ) и соответствующие им три типа нейтрино.

**Мезоны** — адроны, состоящие из кварка и антикварка. Все мезоны не стабильны, их времена жизни меньше  $10^{-9}$  с.

**Нейтрино** — стабильные лептоны, не имеющие электрического заряда. Существует три типа нейтрино — электронное, мюонное и тау-лептонное.

**Нейтроны** — барионы, не имеющие электрического заряда. Нейтроны входят в состав ядер всех элементов, кроме водорода.

**Позитрон** — античастица электрона.

**Протон** — легчайший из барионов, ядро атома водорода. Вместе с нейтронами составляют ядра всех остальных элементов.

**Фотон** — элементарная частица с массой и электрическим зарядом, равными нулю, переносчик электромагнитного взаимодействия между заряженными частицами.

**Электрон** — стабильная элементарная частица с отрицательным электрическим зарядом, относится к лептонам. Электроны составляют оболочки атомов и являются одним из структурных элементов вещества. Поток электронов образует электрический ток.

**Электронвольт** — единица энергии физики частиц. 1 эВ — энергия, которую приобретает электрон, проходя разность потенциалов в 1 В.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Самое грандиозное из явлений .....	4
2. Начало начал .....	11
3. Век частиц микромира .....	16
4. Вселенная нарушает законы, установленные физиками? .....	22
5. Как Вселенная очистилась от антивещества .....	23
Вместо заключения .....	29
Краткий словарь терминов .....	30

Редактор *Е. В. Калининкова*

Подписано в печать 14.06.2006.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,94. Уч.-изд. л. 2,37. Тираж 200 экз. Заказ № 55370.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)