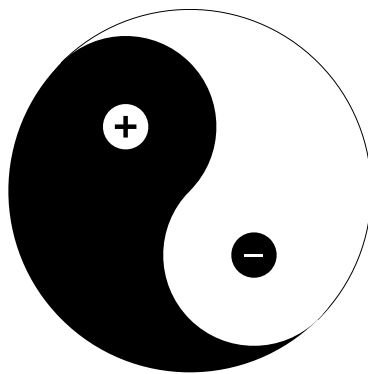


А. В. Клименко, В. А. Клименко

ДВУЗНАКОВАЯ

ГРАВИТАЦИЯ



2014 г.

## Аннотация

Современная теория гравитации (ОТО) не различает частицы и античастицы. Возможно, что в реальности это не так и между частицами и античастицами существует не тяготение, а антитяготение. Авторы приводят аргументы в пользу этой идеи. Излагается суть предлагаемой двузнаковой гравитации, различающей частицы и античастицы.

Предполагается, что главной компонентой космической среды является электро- и гравитационно-нейтральный физический вакуум, однородно заполняющий Вселенную. Кроме физического вакуума в состав космической среды входят частицы и античастицы. Считается, что они являются возбуждёнными состояниями вакуума. Частицы — состояниями с положительной энергией, античастицы — состояниями с отрицательной энергией.

Как и в ОТО, источником гравитационного поля в двузнаковой гравитации является тензор энергии-импульса космической среды. В ОТО, не различающей частицы и античастицы, их вклады в этот тензор суммируются. В двузнаковой гравитации частицы и античастицы отличаются знаком энергии и поэтому их вклады в тензор энергии-импульса не суммируются, а вычитаются.

Согласно двузнаковой гравитации Вселенная симметрична по частицам и античастицам и поэтому, как и вакуум, является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной. Показано, что ещё в ранней Вселенной произошёл её распад на области состоящие из вещества (миры) и области состоящие из антивещества (антимирры). Характерный размер современных миров и антимиров  $14 \cdot 10^9$  световых лет.

Показано, что в рамках двузнаковой гравитации значительно проще и убедительнее, чем в ОТО, описывается наблюдаемая динамика Вселенной. Учёт антитяготения между частицами и античастицами приводит к кардинальному изменению существующих представлений о гравитации и инерции, о составе и динамике Вселенной, о барионной асимметрии окружающего нас мира и о механизме зарождения структур во Вселенной, о релятивистских стадиях эволюции космической среды и некоторых других.

*Ключевые слова: гравитация, вакуум, частицы, античастицы, тяготение, антитяготение, антифотоны, инерция, миры, антимирры.*

# Оглавление

Предисловие	8
<b>I Качественное изложение двузнаковой гравитации</b>	<b>17</b>
<b>1 Частицы и античастицы во Вселенной</b>	<b>18</b>
1.1 Частицы и античастицы . . . . .	18
1.2 Идея «симметричной» Вселенной . . . . .	19
1.3 Барионная асимметрия . . . . .	20
1.4 «Лишние» барионы . . . . .	21
1.5 «Второстепенные факты» . . . . .	22
<b>2 Гравитация, тяготение и антитяготение</b>	<b>24</b>
2.1 Ньютоновская гравитация . . . . .	24
2.2 Эйнштейновская гравитация . . . . .	25
2.3 Двузнаковая гравитация . . . . .	29
2.4 Гравидинамика . . . . .	32
<b>3 Геометрические и физические свойства вакуума</b>	<b>34</b>
3.1 Вакуум-пространство-время . . . . .	34
3.2 Геометрические свойства однородного вакуума . . . . .	35
3.3 Физические свойства вакуума-пространства-времени . . . . .	38
3.4 О проблеме космологической постоянной . . . . .	40
<b>4 Динамика Вселенной</b>	<b>42</b>
4.1 Однородность и изотропность Вселенной . . . . .	42
4.2 Хаббловское расширение Вселенной . . . . .	43
4.3 Космологические уравнения Фридмана . . . . .	46
4.4 Обычные формы материи . . . . .	48
4.5 Эйнштейновские силы отталкивания . . . . .	49
4.6 Стандартная космологическая модель . . . . .	51
4.7 Модель Вселенной в двузнаковой гравитации . . . . .	53
4.8 Динамика Вселенной согласно $S$ -модели . . . . .	54
4.9 Объяснение важных для космологии наблюдений . . . . .	56
4.10 $S$ - и $\Lambda$ CDM-модели. Сравнение . . . . .	58

<b>5</b>	<b>Миры и антимир</b>	<b>61</b>
5.1	Общие замечания . . . . .	61
5.2	Распад Вселенной на миры и антимир . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Фотоны и антифотоны</b>	<b>68</b>
6.1	Антифотоны . . . . .	68
6.2	Антифотоны в гравитационном поле Земли . . . . .	69
6.3	Антифотоны в сильном гравитационном поле . . . . .	69
6.4	О расщеплении спектра аннигиляционных $\gamma$ -квантов . . . . .	70
6.5	Релятивистские объекты на фоне гравитационных линз . . . . .	71
6.6	Гравитационные линзы на реликтовом фоне . . . . .	71
6.7	Фотоны и антифотоны. Ожидания . . . . .	72
<b>7</b>	<b>Заключение</b>	<b>73</b>
7.1	Двузнаковая гравитация . . . . .	73
7.2	Физический вакуум и гравитация . . . . .	74
7.3	Гравитационная нейтральность Вселенной . . . . .	74
7.4	Структуры во Вселенной. Миры и антимир . . . . .	75
7.5	Антифотоны . . . . .	75
7.6	Резюме . . . . .	76
<b>II</b>	<b>Гравитационно-нейтральная Вселенная</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Состав Вселенной и её динамика</b>	<b>81</b>
8.1	Представления прошлого века . . . . .	81
8.2	Современные представления . . . . .	84
8.3	Космическая среда гравитационно-нейтральной Вселенной . . . . .	87
<b>9</b>	<b>Космологические модели Вселенной</b>	<b>89</b>
<b>10</b>	<b>Уравнения Эйнштейна</b>	<b>91</b>
<b>11</b>	<b>Геометрия однородной изотропной Вселенной</b>	<b>92</b>
11.1	Однородные изотропные гиперповерхности . . . . .	92
11.2	Сферическая Вселенная ( $k = +1$ ) . . . . .	92
11.3	Пространство отрицательной кривизны ( $k = -1$ ) . . . . .	94
11.4	Плоское (евклидово) пространство ( $k = 0$ ) . . . . .	95
<b>12</b>	<b>Космологические уравнения Фридмана</b>	<b>96</b>
<b>13</b>	<b>Уравнения Эйнштейна с <math>\Lambda</math>-членом</b>	<b>100</b>
<b>14</b>	<b>Стандартная модель Вселенной (<math>\Lambda</math>CDM-модель)</b>	<b>102</b>
14.1	Исходные предположения . . . . .	102
14.2	Исходные уравнения . . . . .	103
14.3	Параметры $\Lambda$ CDM-модели . . . . .	104
14.4	Качественный анализ эволюции Вселенной . . . . .	105
14.5	Эпохи эволюции Вселенной в $\Lambda$ CDM-модели . . . . .	107
14.5.1	Принцип выделения эпох . . . . .	107

14.5.2	<i>RD</i> -эпоха . . . . .	108
14.5.3	<i>CDM</i> -эпоха . . . . .	108
14.5.4	$\Lambda$ -эпоха . . . . .	108
<b>15</b>	<b>Проблемы <math>\Lambda</math>CDM-модели</b>	<b>110</b>
<b>16</b>	<b>Уравнения двузнаковой гравитации</b>	<b>112</b>
16.1	Частицы, античастицы и гравитация . . . . .	112
16.2	Двузнаковая гравитация . . . . .	113
16.3	Случай слабых гравитационных полей . . . . .	116
16.4	Поле точечной массы . . . . .	117
16.5	Частицы и античастицы в гравитационном поле . . . . .	120
16.6	Различия ОТО и двузнаковой гравитации . . . . .	123
<b>17</b>	<b>Модель гравитационно-нейтральной Вселенной</b>	<b>124</b>
17.1	Предположения . . . . .	124
17.2	Исходные уравнения . . . . .	124
17.3	Гравитационное поле Вселенной . . . . .	125
<b>18</b>	<b>Интерпретация наблюдений</b>	<b>128</b>
18.1	Цель исследования . . . . .	128
18.2	Возраст Вселенной . . . . .	128
18.3	Зависимость «звёздная величина — красное смещение» . . . . .	129
18.3.1	Формула зависимости $(m - M)(z)$ . . . . .	129
18.3.2	Зависимость $(m - M)(z)$ в $\Lambda$ CDM-модели . . . . .	132
18.3.3	Зависимость $(m - M)(z)$ в <i>S</i> -модели . . . . .	132
18.4	Анизотропия реликтового излучения . . . . .	134
18.4.1	Неоднородности в ранней Вселенной . . . . .	134
18.4.2	Угловые размеры удаленных объектов . . . . .	137
18.5	О первичном нуклеосинтезе . . . . .	138
<b>III</b>	<b>Вакуум, частицы, античастицы и гравитация</b>	<b>144</b>
<b>19</b>	<b>Геометрия однородного изотропного Вакуума</b>	<b>145</b>
19.1	Введение . . . . .	145
19.2	Исходные уравнения . . . . .	147
19.3	Плоские трёхмерные пространства . . . . .	148
19.4	Искривлённые трёхмерные пространства . . . . .	149
19.5	Заключение . . . . .	151
<b>20</b>	<b>Вакуумные формы материи</b>	<b>154</b>
20.1	Введение . . . . .	154
20.2	Тёмная энергия . . . . .	156
20.3	Гравитационно-нейтральная материя . . . . .	158
20.4	Обсуждение . . . . .	160

<b>21 Вакуум и анизотропия параметров частиц и античастиц</b>	<b>167</b>
21.1 Введение . . . . .	167
21.2 Космическая среда современной Вселенной . . . . .	168
21.3 Привилегированная локально-инерциальная система отсчёта . . . . .	169
21.4 СТО и привилегированные системы отсчёта . . . . .	170
21.5 Анизотропия вакуума и реликтового излучения . . . . .	170
21.6 Анизотропия параметров частиц и античастиц . . . . .	171
<b>22 О природе сил инерции</b>	<b>175</b>
22.1 Введение . . . . .	175
22.2 Эйнштейн о природе сил инерции . . . . .	176
22.3 Материальная природа сил инерции . . . . .	177
22.4 Принцип эквивалентности гравитации и инерции . . . . .	178
22.5 Мысленные эксперименты Эйнштейна в лифте . . . . .	179
22.6 Силы инерции, частицы и античастицы . . . . .	182
22.6.1 Силы инерции в нерелятивистском приближении . . . . .	183
22.7 Пространство-время и вакуум . . . . .	184
<b>23 Фотоны и антифотоны в гравитационном поле</b>	<b>186</b>
23.1 Гравитационные заряды фотонов и антифотонов . . . . .	186
23.2 Фотоны и антифотоны в постоянном гравитационном поле . . . . .	189
23.3 Расщепление изображений релятивистских объектов . . . . .	190
23.4 Искажение наблюдаемых форм гравитационных линз . . . . .	190
23.5 Фотоны, антифотоны и поляризация . . . . .	191
23.6 Гамма-всплески и антифотоны . . . . .	191
<b>24 Гравитационное расщепление спектральных линий</b>	<b>196</b>
24.1 Наблюдаемое явление . . . . .	196
24.2 Существующее объяснение расщепления . . . . .	196
24.3 Альтернативное объяснение расщепления . . . . .	198
24.4 Заключение . . . . .	203
<b>25 Миры и антимир</b>	<b>205</b>
25.1 Введение . . . . .	205
25.2 О распаде Вселенной на миры и антимир . . . . .	207
25.3 Уравнения, описывающие малые возмущения . . . . .	208
25.4 Рост возмущений в ранней Вселенной . . . . .	211
25.5 Обсуждение результатов . . . . .	214
25.6 Заключение . . . . .	215
<b>26 Гравитационная динамика</b>	<b>218</b>
26.1 Введение . . . . .	218
26.2 Гравитационные заряды и принцип эквивалентности . . . . .	219
26.3 Состав космической среды . . . . .	219
26.4 Уравнения гравитационной динамики . . . . .	220
26.5 Слабые гравитационные поля . . . . .	221
26.6 Динамика однородной изотропной Вселенной . . . . .	222
26.6.1 Общие замечания . . . . .	222
26.6.2 Космологические уравнения Фридмана . . . . .	222



# Предисловие

«Это, конечно, сумасшедшая теория. Однако она мне кажется недостаточно сумасшедшей, чтобы быть правильной новой теорией.»

Нильс Бор

В основе современной теории гравитации общей теории относительности (ОТО) лежит гипотеза о том, что гравитация не различает частицы и античастицы. В настоящее время в нескольких ведущих научных центрах мира предпринимаются попытки доказать справедливость этой гипотезы в прямом эксперименте. К сожалению, пока убедительного ответа на вопрос о различии или неразличии частиц и античастиц в гравитации не найдено.

Сложность получения надёжных экспериментальных данных для решения этого вопроса связана со слабостью влияния гравитации на отдельные элементарные частицы, а также с отсутствием в окружающем нас мире макроскопических тел состоящих из антивещества.

В отсутствие экспериментальных запретов существует возможность гипотетически предполагать, что в реальности гравитация различает частицы и античастицы, а обратное утверждение, содержащееся в ОТО, не является правильным. В монографии приводятся аргументы в пользу этого предположения. Излагается суть предлагаемой авторами двузнаковой гравитации, различающей частицы и античастицы. Показано, что в рамках этой теории значительно проще и убедительнее, чем в ОТО объясняется наблюдаемая динамика Вселенной.

Главное отличие двузнаковой гравитации от ОТО заключается в описании источников гравитационного поля. В ОТО источником гравитационного поля является тензор энергии-импульса материи. ОТО не различает частицы и античастицы и это выражается в том, что однотипные вклады любых форм материи в тензор энергии-импульса суммируются.

В двузнаковой гравитации источником гравитационного поля так же является тензор энергии-импульса. Его отличие от тензора энергии-импульса ОТО лишь в одном: однотипные вклады в этот тензор частиц и античастиц, реальных и вакуумных, не суммируются, а вычитаются. Это означает, что в двузнаковой гравитации, при определении источника гравитационного поля, учитывается важное положение релятивистской квантовой теории: энергии частиц и античастиц отличаются знаками.

В ОТО нет античастиц квантовой теории, соответствующих состояниям с отрицательной энергией. В этой теории считается, что частицы и античастицы имеют энергию одного знака. Это находится в противоречии с фундаментальным положением квантовой теории, согласно которому энергии частиц и античастиц отличаются знаком, если считать, что во времени они движутся в одном направлении. Можно,



конечно, считать, что знаки энергий частиц и античастиц совпадают, но тогда они движутся по времени в противоположных направлениях. В ОТО это не учитывается.

В отличие от ОТО, где все гравитационные заряды имеют одинаковый знак и притягиваются, в двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды противоположного знака и отталкиваются. В предельном случае, когда материя состоит лишь из частиц (в мирах) или античастиц (антимирах), двузнаковая гравитация переходит в ОТО.

В двузнаковой гравитации ковариантная дивергенция от тензора энергии-импульса равна нулю. Это означает, что имеет место закон сохранения гравитационного заряда. В этой теории законы сохранения гравитационного заряда и энергии совпадают. Необходимо лишь иметь ввиду, что энергии частиц и античастиц, как и их гравитационные заряды, отличаются знаком. В двузнаковой гравитации энергия и гравитационный заряд это тождественные понятия.

В двузнаковой гравитации считается, что Вселенная симметрична по частицам и античастицам, её полный гравитационный заряд равен нулю и она не только электро-нейтральна, но и гравитационно-нейтральна. В этой теории, как и гравитационный заряд, полная энергия Вселенной равна нулю и сохраняется. Она всегда поровну распределена между частицами и античастицами. Соответствующие этим энергиям гравитационные заряды равны друг другу по величине, но имеют противоположные знаки. В отличие от электрических зарядов, не может происходить их рождение/уничтожение, они могут лишь дробиться/сливаться и перераспределяться.

Для того, чтобы в двузнаковой гравитации законы сохранения гравитационного заряда и энергии согласованно выполнялись не только для Вселенной в целом, но и для любых элементарных процессов, как и в квантовой теории, учитывается, что античастицу следует рассматривать как частицу с положительной энергией, но движущуюся во времени вспять.

Двузнаковая гравитация, как и ОТО, является макроскопической теорией. В этих теориях описание гравитационного поля и его источников проводится в рамках механики сплошных сред.

В двузнаковой гравитации, чтобы согласовать идею о том, что гравитация различает частицы и античастицы, с существующими представлениями, что все компоненты космической среды являются источниками гравитационного поля, высказывается следующая гипотеза. У любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица.

ОТО в корне изменила понимание сущности гравитации. В этой теории гравитация является проявлением искривлённости пространства-времени. Считается, что пространство-время является римановым многообразием. Его локальные геометрические свойства определяются симметричным метрическим тензором. Кратчайшими линиями в искривлённом пространстве-времени являются геодезические. Тела в пространстве-времени движутся по ним. При одинаковых начальных условиях они попадают на одну и ту же геодезическую и движутся одинаково.

В двузнаковой гравитации античастицы, как и частицы, движутся в искривлённом пространстве-времени по геодезическим. Но геодезические для частиц и античастиц не совпадают.

Как и в ОТО, в двузнаковой гравитации считается, что гравитационное поле является тем, что определяется отклонением метрики пространства-времени от псевдоевклидовой метрики инерциальных систем отсчёта. В ОТО при наличии материи, всегда существует гравитационное поле. В двузнаковой гравитации материя, содер-

жащая равные количества равномерно перемешанных вещества и антивещества, макроскопического гравитационного поля не создаёт.

В ОТО существует проблема физического вакуума. Она заключается в следующем. Если вклады вакуумных частиц и античастиц в плотность энергии физического вакуума брать с одинаковым знаком, то она окажется несоизмеримо больше, чем плотность обычных форм материи. В ОТО, чтобы не получить практически мгновенное схлапывание ранней Вселенной за счёт гравитации такого вакуума, его просто игнорируют. Совершенно непонятно, почему в ОТО вакуум, имеющий огромную плотность энергии не проявляется, а другие формы материи, имеющие несравненно меньшую плотность энергии проявляются? Это нелогично для теории, утверждающей, что любые формы материи являются равноправными источниками гравитационного поля и их вклады в его создание суммируются.

В двузнаковой гравитации проблема физического вакуума естественным образом решается. Учитывается, что физический вакуум состоит из вакуумных (виртуальных) частиц и античастиц, а их вклады в тензор энергии-импульса, являющийся источником гравитационного поля, берутся с противоположными знаками. Предполагается, что вакуум является симметричным по вакуумным частицам и античастицам и их вклады в искривление пространства-время взаимно компенсируются. В двузнаковой гравитации предположение о том, что главной компонентой космической среды является физический вакуум, не приводит к внутренним противоречиям теории и находится в согласии с основополагающими идеями квантовой теории.

В рамках двузнаковой гравитации можно пояснить смысл  $\Lambda$ -члена уравнений Эйнштейна, как связанного с нарушением симметрии физического вакуума по частицам и античастицам. В этой теории предположение о том, что значение космологической постоянной  $\Lambda \simeq 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ , как это считается в современной космологии, означает существование различия концентраций вакуумных частиц и античастиц на уровне значительно меньшем, чем  $10^{-31}$ . Предполагать столь малые нарушения гравитационной нейтральности вакуума нет необходимости. Теория хорошо объясняет наблюдаемую динамику Вселенной и без учёта  $\Lambda$ -члена (тёмной энергии). В двузнаковой гравитации предполагать наличие гравитационного заряда у Вселенной столь же неестественно, как и наличие у неё электрического заряда отличного от нуля.

Гравитационные поля можно создать переходом в неинерциальные системы отсчёта. Считается, что такие поля, вообще говоря, отличаются от полей, источником которых является материя. Первые из них могут быть уничтожены переходом в инерциальную систему отсчёта, тогда как для вторых такое уничтожение невозможно. Вследствие присутствия такого различия в поведении этих полей, часто о гравитационных полях, связанных с неинерциальностью систем отсчёта, говорят как о фиктивных, а о порождаемых материей, как истинных. В существовании различия в поведении этих типов гравитационных полей видится некоторый теоретико-познавательный недостаток ОТО. Полагаем, что он связан с неточностью интерпретации природы сил инерции, понимаемых как искусственно порождаемых неинерциальностью системы отсчёта, а не связанных с взаимодействием тел, как это имеет место для «истинных» гравитационных полей. Рассматривая силы инерции действующие на тело, в ОТО не указывают второе тело, участвующее во взаимодействии и являющееся причиной их возникновения.

При создании ОТО Эйнштейн, следуя Маху, предполагал, что наличие сил инерции связано с влиянием на любое тело всех отдалённых масс Вселенной. Эта идея о природе сил инерции (принцип Маха) не является удовлетворительной по следую-

щей причине. Силы инерции, действующие внутри некоторой системы, могут быть изменены за счёт внутренних процессов. Любое тело в этой системе можно заставить двигаться и вращаться быстрее или медленнее. При этом, в соответствии с происходящими изменениями параметров движения, будут меняться и силы инерции, действующие на это тело. Очевидно, что эти изменения сил инерции, если оставаться на позиции о конечности максимальной скорости распространения взаимодействий, вовсе не связаны с «отдалёнными массами», как это утверждается в принципе Маха, содержащем в неявной форме предположение о бесконечной скорости распространения взаимодействия. Этого в ОТО нет, поэтому в этой теории и нет принципа Маха.

Согласно двузнаковой гравитации действие сил инерции на тело связано не с удалёнными телами, а с тем во что оно погружено. Тело находится не в пустоте, а в физическом вакууме, который является средой, обладающей определёнными физическими свойствами. Эта среда влияет на все, что в неё погружено. При этом это взаимодействие определяется характером движения, по отношению к этой среде, погруженных в неё тел. В такой трактовке — силы инерции это не фикция, а то, что связано с реальным взаимодействием тел с вакуумом. Электро- и гравитационно-нейтральный вакуум является выделенным телом отсчёта, см. раздел 21. Тела, движущиеся относительно вакуума неравномерно и не прямолинейно испытывают с его стороны реакцию на изменение их скорости. Эта реакция и является тем, что определяется как силы инерции. В двузнаковой гравитации гравитационные поля связаны с изменениями параметров физического вакуума. В этой теории пространство-время и физический вакуум тесно связанные сущности. По-существу, вакуум является материальной компонентой единого физического объекта вакуум-пространство-время, см. разделы 3 и 20.

Согласно двузнаковой гравитации вакуум различает частицы и античастицы и его влияние на них не является одинаковым. Вследствие этого, нет оснований считать, что влияние сил инерции на вещество и антивещество, при одинаковых условиях, например, в мысленных экспериментах Эйнштейна в лифте, будет одинаковым, см. раздел 22.

Влияние вакуума (пространства-времени) на обычную материю является существенным фактором, определяющим динамику космической среды. В свою очередь, обычная материя оказывает влияние на вакуум (пространство-время). С учётом этого влияния, в двузнаковой гравитации совершено по другому, чем в ОТО, видится решение проблемы тёмной материи. Согласно двузнаковой гравитации, значительное усиление гравитационных полей на периферии больших неоднородностей барионной компоненты космической среды (галактик и их скоплений), может быть связано не с существованием неизвестных гипотетических массивных частиц, а с гравитационной поляризацией вакуума (пространства-времени). Качественное описание такого объяснения усиления гравитационных полей содержится в разделе 27.

Согласно двузнаковой гравитации, на космологических расстояниях имеет место равновесие сил притяжения и отталкивания. На этих масштабах пространство является псевдосферическим и Вселенная расширяется равномерно. Космологические уравнения Фридмана, описывающие это расширение не содержат свободных параметров и имеют предельно простой вид. В рамках этих уравнений, без каких либо дополнительных предположений, объясняются надёжно установленные наблюдательные данные для которых существенны космологические эффекты, см. разделы 17 и 18.

Интерпретация этих наблюдательных данных в рамках ОТО значительно слож-

нее. Она содержит ряд сомнительных гипотез. Не учитывается различие частиц и античастиц. Вместо гравитационно-нейтрального физического вакуума квантовой теории используется гипотетическая гравитационно-заряженная тёмная энергия. Для объяснения наблюдаемой динамики Вселенной предполагается «плоскостность» пространства, хотя для теории, в которой Вселенная «гравитационно-заряженная», это предположение не является корректным.

Современная космологическая модель Вселенной, основанная на ОТО (ΛCDM-модель) содержит пять свободных параметров, три из которых непосредственно не измеряются и являются подгоночными, см. разделы 14 и 18. Согласно двузнаковой гравитации, применять ОТО для описания динамики Вселенной нельзя, так как она неправильно описывает свойства вакуума и гравитационное взаимодействие материи с антиматерией.

В двузнаковой гравитации, гравитационная нейтральность Вселенной вовсе не означает, что она гравитационно-нейтральна на любых масштабах. Согласно этой теории, существует естественный и регулярный механизм возникновения и роста гравитационно-связанных структур в симметричной Вселенной, состоящей из частиц и античастиц. Показано, что ещё в ранней Вселенной произошёл её распад на миры и антимирры. Миры — области не содержащие антивещества, а антимирры — вещества. Распад был обусловлен наличием антитяготения между частицами и античастицами и тяготения между частицами и частицами, античастицами и античастицами, см. раздел 25.

Проблема начальных возмущений в рамках двузнаковой гравитации рассматривается без каких-либо произвольных предположений. Считается, что начальными возмущениями являются тепловые флуктуации. Флуктуации повышенной плотности частиц создавали локальные гравитационные поля. Они втягивали в эти флуктуации частицы и выталкивали из них античастицы. Это создавало их регулярный рост. Симметричный процесс имел место в флуктуациях повышенной плотности античастиц.

В разделе 25 описан рост флуктуаций, размер которых совпадает с размером причинно-связанных областей. Чтобы получить согласие с наблюдениями, считается, что первоначально они содержали  $\approx 10^{88}$  барионов/антибарионов. Показано, что к началу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов, амплитуда возмущений плотности вещества/антивещества в этих флуктуациях достигла значений  $\sim 10^{-9} \div 10^{-10}$ . После завершения аннигиляции в рассматриваемых флуктуациях «выжила» приблизительно  $10^{-9} \div 10^{-10}$  часть барионов/антибарионов. Именно это и определило величину барион-фотонного соотношения, наблюдаемого в окружающем нас Мире и являющегося одним из главных параметров в космологии. К концу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов возникли зародыши миров и антимиров. Они содержали приблизительно по  $10^{79} \div 10^{80}$  барионов/антибарионов. Распад Вселенной на миры и антимирры завершился к концу эпохи аннигиляции электрон-позитронных пар. Наш Мир является лишь одним из миров.

Согласно двузнаковой гравитации, миры и антимирры отталкиваются. Они вовсе не стремятся сближаться и сталкиваться и вследствие этого на границах их раздела процессы аннигиляции вещества и антивещества практически не протекают. Предположительно, миры и антимирры распределены в пространстве регулярно. Они «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство гравитационно-нейтральной Вселенной. Их характерный современный размер приблизительно  $14 \cdot 10^9$  световых лет. Имеются основания предполагать, что миры и антимирры наблюдаются,

как относительно яркие пятна на почти однородном фоне реликтового излучения, имеющие характерный угловой размер около одного градуса см. разделы 18 и 25.

Миры и антимиры являются самыми крупными неоднородностями в распределении барионной компоненты космической среды во Вселенной. В процессе её расширения каждый из миров и антимиров распался на множество более мелких фрагментов (звёзды, галактики, скопления галактик, межгалактические облака горячей плазмы и другие). Согласно двузнаковой гравитации, миры и антимиры, а также структуры из которых они состоят, являются лишь «мелкой рябью» в однородном море электро- и гравитационно-нейтрального физического вакуума.

Согласно двузнаковой гравитации, должны наблюдаться особенности, связанные с различием миров и антимиров. Например, следует ожидать различия круговых поляризаций излучения приходящего из соседних пятен на реликтовом фоне. По-видимому, мы не находимся в центре Мира и можно ожидать, что это также проявится в наблюдениях. Должна существовать дипольная компонента анизотропии в распределении яркости миров и антимиров на равномерном фоне реликтового излучения, а также и их угловых размеров.

В книге подробно обсуждается вариант двузнаковой гравитации, согласно которому все частицы являются источниками гравитационного поля. В этом варианте должны существовать антифотоны. Они отличаются от фотонов знаком гравитационного заряда и спиральностью, см. раздел 23. Идея об антифотонах кажется фантастической. В то же время не видно теоретических запретов на их существование. Обычно фотоны и антифотоны присутствуют в излучении в равных количествах и оно не является поляризованным. Например, таковым является чернотельное излучение. Существование в нём равного количества фотонов левой и правой спиральностей отражено в формуле, определяющей планковское распределение фотонов по энергиям, наличием в ней множителя равного двойке. В электродинамике нет оснований рассматривать антифотоны как некоторую новую неизвестную ранее частицу. В то же время в двузнаковой гравитации существует вопрос: одинаково ли действует гравитационное поле на фотоны левой и правой спиральностей? Ответ на него можно получить из наблюдений.

Различие поведения фотонов и антифотонов в слабых гравитационных полях Земли и Солнца является столь малым, что могло быть не замечено наблюдателями. Оно может быть выявлено лишь в специальных исследованиях, которые не проводились, поскольку не существовало и самой идеи о возможности различия влияния гравитации на фотоны левой и правой спиральностей.

Различие поведения фотонов и антифотонов должно явно проявляться в сильных гравитационных полях, например, в окрестности нейтронных звёзд, квазаров и других релятивистских объектов. В разделе 24 показано, что наблюдаемое расщепление эмиссионных спектральных линий источника SS 433, возможно, является явным указанием на существование антифотонов. В разделе 23 приведено описание и других случаев, в которых различие в поведении фотонов и антифотонов в гравитационном поле может четко проявиться.

Если существование антифотонов будет доказано, то они могут стать эффективным инструментом для изучения процессов, протекающих в окрестности релятивистских объектов. Фотоны и антифотоны можно будет сепарировать, принимать с огромных расстояний и с высочайшей степенью точности измерять и генерировать нужные их параметры. Это может иметь не только научное значение, но и найти широкое практическое применение.

Теоретически допустим вариант теории гравитации, различающей частицы и античастицы, без антифотонов. В этом варианте сохранена идея Эйнштейна о взаимосвязи гравитации с геометрическими свойствами пространства-времени. Считается, что источниками гравитационного поля являются инвариантные гравитационные заряды — аналоги электрических зарядов. Сохранения, по отдельности, гравитационных зарядов частиц и античастиц не предполагается. Сохраняется лишь полный гравитационный заряд Вселенной и он полагается равным нулю. Некоторые частицы могут совпадать со своими античастицами и не иметь гравитационного заряда. Примером таких частиц являются фотоны. Этот вариант двузнаковой гравитации, вследствие его идейной близости к электродинамике, назван гравидинамикой. Он в настоящей книге кратко рассмотрен в разделе 26. Вариант теории, в котором у любой частицы существует отличная от неё античастица, а энергия и гравитационный заряд являются тождественными понятиями, в настоящее время рассматривается нами как предпочтительный.

Предположение о том, что гравитация различает частицы и античастицы приводит к кардинальным изменениям современной физической теории. Переосмыслению подлежат существующие представления о составе и динамике Вселенной, о барионной асимметрии окружающего мира и о механизмах зарождения структур во Вселенной, о релятивистских стадиях эволюции космической среды и многие другие.

В двузнаковой гравитации содержится важное предположение. Считается, что физический вакуум квантовой теории является основой всех компонент космической среды. Частицы и античастицы являются возмущенными состояниями вакуума. Они отличаются друг от друга знаком гравитационного заряда и между ними действует антитяготение. Вселенная в целом симметрична по частицам и античастицам и на космологических масштабах гравитационно-нейтральна. В предлагаемой теории вакуум рассматривается как идеальная сплошная гравитационно-нейтральная среда, обладающая плотностью энергии, давлением и гравитационной поляризуемостью. Микроскопическая теория вакуума (пространства-времени) не обсуждается.

Предполагается, что уравнение состояния физического вакуума таково, что он, как и реликтовое излучение, в любом месте Вселенной, выделяет привилегированную локально-инерциальную систему отсчёта. Лишь в этой системе отсчёта вакуум не только однороден, но и изотропен, подробности в разделе 21.

С учётом этого предположения и гипотезы о зависимости параметров частиц и античастиц от скорости их движения в вакууме, показано, что такие величины как масса покоя и время жизни частиц и античастиц, которые в современной физике считаются универсальными константами во всех инерциальных системах отсчёта, в реальности таковыми не являются. Абсолютный смысл они имеют лишь в привилегированной системе отсчёта связанной с вакуумом.

В инерциальных системах отсчёта, движущихся относительно вакуума, должна наблюдаться анизотропия параметров частиц и античастиц. Показано, что вследствие движения солнечной системы в вакууме со скоростью приблизительно 390 км/с в направлении созвездия Девы, должна наблюдаться дипольная компонента анизотропии массы и времени жизни частиц и античастиц на уровне  $3,8 \cdot 10^{-6}$  от их средних значений.

Вследствие распада ранней Вселенной на миры и антимиры и дальнейшей их фрагментации, возникло огромное множество областей с нарушенной гравитационной нейтральностью и соответствующих им неоднородных гравитационных полей. Неравномерное движение космической среды в вакууме сопровождается возникнове-

нием инерционных полей, являющихся разновидностью гравитационных полей. Существенное влияние на гравитационные поля оказывает гравитационная поляризация вакуума. Эта поляризация связана с различием поведения вакуумных частиц и античастиц в гравитационном поле. Вследствие малости гравитационных сил, действующих между элементарными частицами, по сравнению с электрическими, пространственно-временные масштабы гравитационной поляризации вакуума на много порядков больше, чем соответствующие масштабы дебаевского экранирования, связанные с электрической поляризацией вакуума. Проявления электрической и гравитационной поляризуемости вакуума отличаются кардинально. Электрическая поляризация вакуума приводит к уменьшению поля электрических зарядов. Эффект влияния гравитационной поляризации вакуума на поле гравитационного заряда сложнее. Кардинально меняется радиальная структура этого поля. Возможно, учёт этого факта позволит понять природу тёмной материи, подробности см. в разделе 27.

Ниже приведено краткое описание содержания книги. В её первой части содержится качественное изложение идей, лежащих в основе двузнаковой гравитации. Приведено описание наблюдений и экспериментов, в которых эти идеи могут найти подтверждение. Эта часть книги рассчитана на широкий круг читателей и является популярным изложением двузнаковой гравитации.

Исследование динамики Вселенной проводится во второй части книги. Дано описание двух космологических моделей Вселенной. В основе первой из них лежит ОТО, а второй — двузнаковая гравитация. На нашем сайте [www.cosmoway.ru](http://www.cosmoway.ru) содержатся компьютерные варианты этих моделей. Читатель в режиме online может в рамках этих моделей изучать важные детали динамики Вселенной, проводить сравнительный анализ получаемых результатов и их соответствие наблюдениям. Практический опыт использования моделей для объяснения широкого круга наблюдений позволит, как мы полагаем, доказать правильность одной из них.

В третьей части книги содержатся уточнённые и расширенные версии наших статей, в которых проводится обсуждение идей двузнаковой гравитации и рассматриваются её приложения. Приведены аргументы в защиту этих идей, а также ответы на известную нам их критику. Обращается внимание на возможность проведения наблюдений, относительно которых предсказания ОТО и двузнаковой гравитации отличаются кардинально. Описаны наблюдения, в которых различие частиц и античастиц в гравитации может быть установлено.

Настоящая книга — это рассказ авторов о красивой, как нам кажется, возможности развития теории гравитации и космологии, учитывающей важную роль физического вакуума, а также различие частиц и античастиц и симметрию Вселенной по ним. Впечатлением об этой возможности мы и хотели поделиться с читателями.

Авторы благодарны И. Г. Шухману, А. Г. Жилкину, М. Л. Миллеру, Д. С. Горбунову, Н. Г. Мигранову, А. В. Лаппе, А. Е. Дудорову, а также С. В. Клименко за полезные обсуждения и ценные советы, способствовавшие появлению настоящей книги.

Выражаем глубокую благодарность А. Д. Долгову и В. А. Рубакову за критические замечания, существенно повлиявшие на наше осмысление двузнаковой гравитации.

Выражаем благодарность В. Д. Бучельникову, А. В. Мельникову и А. Г. Пашнину за содействие в публикации наших работ, лежащих в основе настоящей книги.

Авторы благодарны Р. А. Фроловой за помощь при подготовке рукописи к печати.

Большое влияние на наше видение обсуждаемых в настоящей книге проблем, оказал наш Учитель академик РАН А. М. Фридман. Он поддерживал наши исследования

и активно в них участвовал. Прекрасные человеческие качества Алексея Максимо-  
вича, его беззаветная преданность физике были и остаются для нас вдохновляющим  
примером.

Особую благодарность выражаем нашим близким, прежде всего, Т. И. Клименко.  
В значительной степени, благодаря их внимательному отношению к нам, эта работа  
была выполнена.



## Часть I

# Качественное изложение двузнаковой гравитации

# Глава 1

## Частицы и античастицы во Вселенной

«Природа не может не воспользоваться красивой, математически элегантной возможностью»

П. А. М. Дирак

### 1.1 Частицы и античастицы

В 1928 г. П. А. М. Дирак нашёл релятивистское квантовое волновое уравнение для точечных частиц со спином  $S = 1/2$ . Из анализа решений, найденного им уравнения, в 1931 г. Дирак делает вывод о том, что оно, наряду с описанием известных в то время электрона и протона, описывает также подобные им, но с противоположными по знаку электрическим зарядом и магнитным моментом частицы. Он предполагает, что в природе такие частицы должны реально существовать. Для их обозначения он использует приставку «анти» (антиэлектрон, антипротон). Его выводы оказались пророческими. Уже в 1932 г. была открыта первая античастица — позитрон (антиэлектрон).

Позже было установлено, что античастицы существуют и у частиц с целым спином. Было показано, что кроме электронов и протонов существует множество других частиц и соответствующих им античастиц. В подавляющем большинстве они нестабильны. Конечными продуктами их распада являются стабильные частицы: электроны ( $e$ ), протоны ( $p$ ), связанные в ядрах нейтроны ( $n$ ), нейтрино ( $\nu$ ) трёх сортов, фотоны ( $\gamma$ ), а также их античастицы:  $\bar{e}$ ,  $\bar{p}$ ,  $\bar{n}$ ,  $\bar{\nu}$  и  $\bar{\gamma} \equiv \gamma$ . Сейчас существование для любой частицы, соответствующей ей античастицы полагается саморазумеющим-



П. А. М. Дирак  
(1902 г. — 1984 г.)

ся. Считается, что некоторые частицы, например, фотоны,  $\pi^0$ ,  $K^0$ -мезоны, совпадают со своими античастицами, см., например, в [1].

Концепция «элементарных частиц» как неизменных, неуничтожимых составляющих материи оказалась не состоятельной. Частицы и античастицы могут рождаться и уничтожаться. В современной физике утвердилась концепция «вечных зарядов» и законов их сохранения. Ими являются: электрический, барионный и лептонный заряды Вселенной [1].

Главная отличительная черта частиц-античастиц — их способность к аннигиляции. Аннигиляция — процесс превращения пар частица-античастица в другие элементарные частицы, рождение которых разрешено законами сохранения зарядов. Конечными продуктами аннигиляции являются: фотоны, нейтрино и их античастицы, но, возможно, и другие слабо взаимодействующие, массивные частицы и их античастицы. Из последних, предположительно, состоит так называемая «тёмная материя», природа которой, в настоящее время, ясна не вполне, см., например, [2]. В литературе, для слабо взаимодействующих массивных частиц тёмной материи используется обозначение в виде аббревиатуры WIMPs (W — Weakly, I — Interacting, M — Massive, P — Particles). Эти гипотетические частицы часто называют вимпами.

Для рождения пары частица/античастица необходима энергия не меньшая, чем  $2mc^2$ , где  $m$  — их масса. Рождение пар частица/античастица может происходить за счёт кинетической энергии сталкивающихся частиц. Если космическая среда находится в термодинамическом равновесии и имеет температуру  $T$ , то, в среднем, на каждую её частицу приходится кинетическая энергия порядка  $k_B T$ , где  $k_B$  — постоянная Больцмана. Чтобы в результате столкновения двух частиц произошло рождение пары частица/античастица, кинетическая энергия сталкивающихся частиц должна быть достаточно большой. Это имеет место, если температура среды  $T$  заметно выше пороговой температуры  $T_{\text{п}}$ . Значение этой температуры находится из равенства:  $k_B T_{\text{п}} = mc^2$ , где  $m$  — масса частиц/античастиц, условия для рождения которых рассматриваются в [1; 2; 6].

Скорость рождения/уничтожения частиц/античастиц тем выше, чем значительнее превышение температуры космической среды над пороговой для рассматриваемой пары. В ранней Вселенной, при температурах космической среды заметно больших чем, пороговая для частиц/античастиц рассматриваемого сорта, с высокой скоростью шли процессы их рождения/уничтожения. Достигалось равенство скоростей их рождения и уничтожения, устанавливалось кинетическое равновесие между рассматриваемыми частицами/античастицами и продуктами их аннигиляции. Для электрон-позитронных пар  $T_{\text{п}} \simeq 6 \cdot 10^9 \text{ K}$ , а для протонов/антипротонов  $T_{\text{п}} \simeq 1.2 \cdot 10^{13} \text{ K}$ . В космической среде при температурах больших  $6 \cdot 10^9 \text{ K}$  много электрон-позитронных пар, при температурах больших  $1.2 \cdot 10^{13} \text{ K}$  в ней много протон-антипротонных пар. Аналогичные суждения могут быть высказаны и для других пар частиц/античастиц.

При температурах заметно меньших пороговой, для рассматриваемых частиц/античастиц, их рождение не происходит и они могут лишь аннигилировать.

## 1.2 Идея «симметричной» Вселенной

Из частиц построено всё многообразие веществ окружающего нас Мира. В теории нет запретов на существование антивещества и антимиров. В теорию частицы и ан-

тичастицы входят равноправно. Учитывая это, естественно думать, что во Вселенной частицы и античастицы должны присутствовать в равных количествах.

Впервые предположение о симметрии Вселенной относительно частиц и античастиц высказал Дирак в 1933 г. в Нобелевской лекции.

«Если мы станем на точку зрения, что полная симметрия между положительными и отрицательными электрическими зарядами является фундаментальным законом природы, то мы должны рассматривать как своего рода случайность, что Земля и, вероятно, вся Солнечная система содержит избыток обычных электронов и положительных протонов. Вполне возможно, что некоторые звезды построены иным путём, именно, главным образом, из позитронов и отрицательных протонов. Конечно, в мире должно быть одинаковое число звёзд каждого сорта. Оба сорта звёзд будут иметь в точности одинаковые спектры, и в настоящее время нет возможности различить их каким-либо астрономическим методом.»

П. А. М. Дирак. Нобелевская лекция 1933 г.

Красивая идея симметричной по веществу и антивеществу Вселенной имела многочисленных сторонников. Применительно к различным явлениям во Вселенной она уже давно обсуждалась и изучалась. Приведём лишь несколько мнений, высказывавшихся по этому поводу.

*Лауреат нобелевской премии Х. Альфвен:* половина звёзд и комет в Галактике состоит из антивещества [3].

*Академик АН СССР Константинов Б. П.:* некоторые метеоры состоят из антивещества. Имеется корреляция между появлением отдельных метеоров и повышением интенсивности потоков высокоэнергичных гамма-квантов ( $E > 100 \text{ МэВ}$ ) [4].

*Известный английский астрофизик Омнес Р.:* разделение вещества и антивещества произошло в ранней Вселенной. Области вещества и антивещества разошлись на космологические расстояния [5].

### 1.3 Барионная асимметрия

Фундаментальная физическая теория не отдаёт предпочтения частицам перед античастицами, веществу перед антивеществом. Естественно было ожидать, что во Вселенной вещество и антивещество присутствует в равных количествах. Предпринимались многочисленные попытки обнаружения антивещества. Идеи его обнаружения основываются на регистрации продуктов аннигиляции частиц и античастиц [6; 7]. Приведём лишь две из них.

1. Предполагают, что миры и антимирры могут сближаться и сталкиваться. Считают, что области интенсивной аннигиляции, на границе вещество-антивещество, должны быть мощными источниками  $\gamma$ -излучения. Их пытаются обнаружить, но они, по-видимому, не наблюдаются.

2. Ведётся поиск мощных точечных источников антинейтрино. Например, учитывается, что при вспышках антисверхновых типа  $Ia$  с огромной скоростью идут реакции:

$$\bar{e} + \bar{p} \rightarrow \bar{n} + \bar{\nu}_e.$$

Количество выделяющихся антинейтрино  $\bar{\nu}_e$  при вспышке  $\approx 10^{57}$ . Чувствительности нейтринных датчиков уже сейчас достаточно для наблюдения взрывов антисверхновых. Но их пока также не наблюдают.

На основании этих, а также множества других наблюдений утвердилось широко распространённое мнение: антивещества в современной Вселенной, в заметных количествах, нет.

Объяснение наблюдаемого «перекоса» окружающего нас мира в сторону частиц (вещества), является одной из фундаментальных проблем современной физической науки. В теории «перекос» наблюдаемой части Вселенной в сторону частиц определяют термином «барионная асимметрия». Широко распространено следующее мнение: барионная асимметрия показывает, что современная Вселенная состоит лишь из вещества [6; 7].

## 1.4 «Лишние» барионы

Наблюдения показывают, что в современной Вселенной количество фотонов на девять-десять порядков больше, чем барионов. В то же время, в ранней Вселенной в эпохи до барион-антибарионной аннигиляции, их количества были приблизительно одинаковыми [6; 2]. Считают, что в процессе аннигиляции количество барионов/антибарионов уменьшилось приблизительно в миллиард раз. При этом количество фотонов, нейтрино и их античастиц возросло приблизительно вдвое. Все антибарионы проаннигилировали. Остались лишь «лишние» барионы, для которых не нашлось партнёров, а их в эпоху аннигиляции было приблизительно одна миллиардная часть от общего количества барионов. Параметр  $\eta_B \approx 10^{-9} \div 10^{-10}$ , определяющий соотношение между количествами барионов и фотонов в современной Вселенной, является одним из важнейших параметров в космологии. Считают, что он определяет долю «лишних барионов» во Вселенной на начало эпохи их аннигиляции.

Считается, что во Вселенной, на всех этапах её эволюции, отсутствовал регулярный механизм разделения частиц и античастиц и в ранней Вселенной они были равномерно перемешаны. С учётом этого показано, что если бы Вселенная была зарядово-симметричной, то к настоящему времени все частицы и античастицы, по крайней мере,  $e$ ,  $\bar{e}$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ ,  $n$  и  $\bar{n}$ , должны были проаннигилировать. При снижении температуры космической среды ниже пороговой, для рождения этих частиц, падение их концентраций происходило по экспоненциальному закону, с характерным временем значительно меньшим возраста Вселенной. В стандартной современной космологической модели Вселенной ( $\Lambda$ CDM) совершенно исключена возможность «выживания», позже чем  $10^{-3}$  секунды после начала её расширения, какого-либо заметного количества антибарионов. В «симметричной» Вселенной отсутствовали бы не только антимирры, но и миры [6].

Согласно существующим представлениям современная Вселенная не является симметричной по частицам и античастицам. Считается, что она состоит из «лишних» барионов, возникших в ранней Вселенной и сохранившихся после эпохи аннигиляции барионов и антибарионов. Предполагают, что ещё в ранней Вселенной на

каждый миллиард пар барионов и антибарионов возник приблизительно один «лишний» барион. В конце 60-х годов был придуман механизм создания «лишних» барионов в экстремальных условиях характерных для ранней Вселенной, см., например, [7]. Его связывают с нарушением симметрии в реакциях рождения/уничтожения частиц/античастиц. Считается, что в процессе расширения Вселенной и её остывания весь симметричный мир пар частиц-античастиц проаннигилировал. Остались лишь те барионы (а также, необходимое для электронейтральности Вселенной количество электронов), для которых не нашлось партнёров.

## 1.5 «Второстепенные факты»

Чтобы объяснить наличие «лишних» барионов усложняют квантовую теорию, допуская возможность нарушения при высоких энергиях симметрии в процессах рождения/уничтожения частиц/античастиц, что фактически означает сознательное нарушение красоты (простоты) этой теории.

Это настораживает, поскольку объясняя наблюдения жертвуют красотой квантовой теории, отказываясь от идеи симметричности Вселенной по частицам и античастицам. Неужели Дирак был не прав, когда утверждал: «Красивая теория не может быть неверной»? Предвидя такую возможность, в защиту этого тезиса, он высказал следующее соображение: «Если в каком-то случае применения красивой и логически замкнутой теории появляются расхождения с наблюдениями, то их причиной, видимо, являются *второстепенные факты*, которые относятся к этому применению и которые не были должным образом учтены, но никак не неправильность общих принципов теории».

Спросим себя: возможно ли, не вступая в противоречие с наблюдениями, сохранить красивую идею о симметрии Вселенной по частицам и античастицам? Полагаем, что это возможно, если предположить следующее. Во Вселенной существовали условия её распада на миры и антимирры. Этот распад произошёл ещё в ранние эпохи её эволюции. «Вмороженные» в расширяющееся пространство Вселенной миры и антимирры разошлись на космологические расстояния. Современная Вселенная состоит из бесконечного множества миров и антимиров, каждый из них имеет характерный размер около четырнадцати миллиардов световых лет и содержит приблизительно по  $10^{79} \div 10^{80}$  штук барионов/антибарионов. В рамках такого объяснения наблюдаемый «перекос» Вселенной в сторону частиц является кажущимся. В этом случае, прав был Омнес [5], утверждавший, что ещё в ранней симметричной Вселенной произошёл её распад на миры и антимирры. Мы живём в Мире, который является лишь одним из них.

Красивая идея Омнеса в последнее время обсуждается редко. При всей красоте замысла, она встречается с такими трудностями, которые заставляют отказаться от предлагаемой им картины эволюции Вселенной. Главная трудность теории Омнеса заключается в отсутствии естественного механизма зарождения и регулярного роста миров и антимиров в ранней Вселенной.

В современной космологии считается, что фактором, определяющим динамику Вселенной, является гравитация. Идея Омнеса обсуждалась в рамках эйнштейновской теории гравитации (ОТО), которая не различает частицы и античастицы и поэтому не содержит регулярного механизма их разделения. Предлагаемое Омнесом объяснение того, как, по его мнению, это разделение происходило, не выдерживает

критики [6].

Предполагаем, что если хотеть сохранить красивую идею симметричной по частицам и античастицам Вселенной, не усложняя квантовую теорию, то учитывая замечание Дирака, следует понять в чём может заключаться *«второстепенный факт»*, относящийся к применению этой красивой идеи и который ранее не учитывался. Этим фактом, по нашему мнению, является неточность стандартной ОТО. Эта теория не различает частицы и античастицы, а вследствие этого не содержит в себе естественного и регулярного механизма их разделения. Если не считать, что это представление современной теории гравитации является правильным, то можно не только «спасти» красивую идею зарядово-симметричной Вселенной, но и уточнив ОТО сделать теорию гравитации более красивой и содержательной. Для этого необходимо предположить, что как и другие фундаментальные взаимодействия, гравитация различает частицы и античастицы. В следующем разделе даётся качественное описание теории гравитации, основанной на этом предположении. Эта теория определена авторами как двузнаковая гравитация.

## Глава 2

# Гравитация, тяготение и антитяготение

«В отсутствие экспериментальных запретов, существует возможность гипотетически предполагать, что в реальности гравитация различает частицы и античастицы, а обратное утверждение, содержащееся в ОТО, не является правильным.»<sup>1</sup>

Клименко А.В. и Клименко В.А.

### 2.1 Ньютонская гравитация

Динамику космической среды на больших масштабах определяет гравитация.

Теория гравитации начиналась с закона всемирного тяготения Ньютона. Согласно этому закону между любыми точечными массами  $m_1$  и  $m_2$  действует сила притяжения, пропорциональная их массам и обратно пропорциональная квадрату расстояния  $r_{12}$  между ними:

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}. \quad (2.1)$$

Знак минус в этой формуле означает, что действует сила притяжения, а не отталкивания. Считается, что массы любых объектов всегда положительны. Универсальная константа  $G$  называется гравитационной постоянной. Её численное значение:

$$G \simeq 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ г см/сек}^2. \quad (2.2)$$

В ньютоновской гравитации пространство является евклидовым, а время одинаково текущим во всех его частях. Считается, что инертная и тяжелая массы любых



И. Ньютон  
(1643 г. — 1727 г.)

---

<sup>1</sup>см. [8]



тел совпадают и все тела, при одинаковых условиях, независимо от их массы и состава движутся в гравитационных полях одинаково.

## 2.2 Эйнштейновская гравитация

Развитие физической теории показало ограниченность закона всемирного тяготения (2.1). Согласно этому закону гравитационное взаимодействие распространяется мгновенно. Это означает, что сдвинув массы, мы должны в тот же миг почувствовать изменение силы  $F$ ; стало быть, таким способом можно посылать сигналы с бесконечной скоростью. В то же время экспериментально доказано, что существует максимальная скорость распространения взаимодействий и она имеет одно и то же значение во всех инерциальных системах отсчёта. Эта скорость не зависит от того движется ли излучатель или нет и совпадает со скоростью распространения света в пустоте; поэтому её называют скоростью света. Она обозначается обычно буквой  $c$ , а её численное значение

$$c \simeq 2,998 \cdot 10^{10} \text{ см/с.} \quad (2.3)$$

Современной теорией гравитационного поля, учитывающей конечность скорости распространения гравитационных взаимодействий, а так же фундаментальное свойство гравитационных полей: все тела, вне зависимости от их массы и состава, движутся в них, при заданных начальных условиях, одинаковым образом, является эйнштейновская общая теория относительности (ОТО), см., например, [2; 6].

ОТО в корне изменила понимание сущности гравитации. В этой теории гравитация является проявлением искривлённости пространства-времени. Кратчайшими линиями в искривлённом пространстве-времени являются геодезические. Любое тело присутствующее в искривлённом пространстве-времени «чувствует» его и движется по геодезической. Форма геодезической определяется не массой и составом этого тела, а является отражением геометрических свойств пространства-времени. Согласно ОТО, при одинаковых начальных условиях тела попадают на одну и ту же геодезическую и движутся одинаково.

Гравитация в рамках ОТО описывается уравнениями Эйнштейна, см раздел 10. Левая часть этих уравнений описывает геометрические свойства пространства-времени. Считается, что пространство-время является четырёхмерным римановым многообразием непрерывным, дифференцируемым, описываемым метрическим тензором второго ранга  $g_{\mu\nu}$ . Зависимость компонент этого тензора от пространственно-временных координат описывает геометрию риманова многообразия, в частности определяет в нём геодезические, являющиеся аналогами прямых в евклидовом пространстве. Геометрическая часть уравнений Эйнштейна является сравнительно простой геометрической конструкцией, включающей в себя тензор  $g_{\mu\nu}$  и его производные по пространственно-



А. Эйнштейн  
(1879 г. — 1955 г.)

временным координатам. Подробности см., например, в [6; 14].

Правая — материальная часть уравнений Эйнштейна описывает источники искривлённости пространства-времени (гравитационного поля). Считается, что ими являются все компоненты космической среды Вселенной. В ОТО величиной, определяющей распределение в пространстве и времени источников гравитационного поля, является тензор энергии-импульса космической среды. Важная особенность гравитации — её универсальность. Любая частица участвует в гравитационном взаимодействии. Вклады всех компонент космической среды в тензор энергии-импульса суммируются.

Для макроскопических тел, движущихся со скоростями много меньшими скорости света, ОТО переходит в ньютоновскую теорию гравитации. Теория Ньютона широко используется на практике. Она становится непригодной в тех случаях, когда гравитационные поля достигают большой величины, например, в окрестности нейтронных звёзд и чёрных дыр.

Влияние искривлённости пространства-времени проявляется, как малая поправка к ньютоновской гравитации, и в слабых гравитационных полях. Например, в рамках ОТО удалось объяснить, не проявляющуюся в рамках ньютоновской гравитации, часть прецессии орбиты Меркурия (приблизительно на  $43''$  за столетие) как обусловленную искривленностью пространства-времени создаваемой Солнцем. Очень чувствительные часы могут обнаружить замедление времени связанного с влиянием гравитационного поля Земли. Для того, чтобы обеспечить необходимую точность в навигационных системах «ГЛОНАС» и «GPS» это влияние учитывается.

Успешное применение ОТО для объяснения наблюдательных данных в солнечной системе, которые в рамках ньютоновской теории не находили простого и убедительного объяснения, создало имидж ОТО как идеальной теории. Например, утверждалось, что ОТО являются самой красивой из существующих физических теорий [14]. В то же время анализ эффективности ОТО в объяснении некоторых явлений в галактиках и их скоплениях, в окрестности релятивистских объектов, а также наблюдаемой динамики Вселенной, показывает, что, возможно, нет оснований для такого оптимизма. Выявились ряд проблем, предлагаемое решение которых в рамках ОТО не является красивым и убедительным. Дадим краткое описание двух из них.

### **Проблема барионной асимметрии**

Суть этой проблемы заключается в следующем. Согласно простому и красивому варианту квантовой теории существует симметрия между частицами и античастицами. Нет причины думать, что во Вселенной одних из них должно быть больше, чем других.

В то же время наблюдения показывают, что окружающий нас Мир состоит из вещества (частиц), а антивещество (античастицы) в заметных количествах не обнаруживаются.

Возможно, что наблюдаемая барионная симметрия не является глобальной и на космологических масштабах Вселенная симметрична по частицам и античастицам. В природе существовал эффективный механизм распада ранней Вселенной на миры и антимирры. Есть основание предполагать, что он был связан с различием в гравитации частиц и античастиц, см. разделы 5 и 25. В ОТО механизма разделения космической среды на миры и антимирры не содержится. В этой теории гравитация не различает частицы и античастицы и вследствие этого отсутствует реальный механизм их разделения.

Чтобы объяснить наблюдаемую барионную асимметрию нашего Мира, идут не

на уточнение ОТО, а на усложнение квантовой теории. Считается, что в ранней Вселенной имело место нарушение симметрии в процессах рождения/уничтожения барионов/антибарионов и к началу эпохи их интенсивной аннигиляции количество барионов было приблизительно на одну миллиардную часть больше, чем антибарионов, см., например, [2; 7].

В современной космологии считается, что в ранней Вселенной барионы и антибарионы были равномерно перемешаны и находились в тесном контакте. Вследствие этого, к началу эпохи аннигиляции, те из них, для которых были «партнёры» проаннигилировали, «выжили» только «лишние» барионы [6; 7]. Считается, что в последующие эпохи во Вселенной антивещества, состоящего из антипротонов, антинейтронов и позитронов, нет.

Предположение о сохранении равномерной перемешанности барионов и антибарионов во Вселенной основывается на фундаментальном принципе ОТО, согласно которому любые материальные объекты, в том числе частицы и античастицы, при одинаковых начальных условиях, в гравитационном поле движутся одинаково. Вследствие этого, нет причин к их разделению. Если вначале они были равномерно перемешаны, то и в дальнейшем это сохранялось.

Можно, конечно, предположить, что изначально ранняя Вселенная, по какой-то причине, была разделена на области содержащие только вещества и области содержащие лишь антивещество. Если это так, то в этом случае должны были бы наблюдаться процессы аннигиляции вещества и антивещества на границах раздела этих областей (миров и антимиров), см., например, [9].

«Пятнистость» в распределении материи во Вселенной четко проявляется. Наблюдаются неоднородности различных масштабов. Некоторые из них соприкасаются и сталкиваются. В тоже время наблюдения не указывают на то, что на границах каких либо соприкасающихся неоднородностей идут процессы аннигиляции вещества и антивещества. Например, широко распространена точка зрения, что наблюдаемую «пятнистость» почти равномерного фона реликтового излучения не следует рассматривать как свидетельство существования в эпоху рекомбинации миров и антимиров. Считается, что чётко проявляющиеся на реликтовом фоне пятна не являются мирами и антимирами. Утверждается, что если бы это было не так, то на границах пятен происходила бы аннигиляция вещества и антивещества и они были бы источниками  $\gamma$ -излучения, имеющего характерный энергетический спектр. Но его не наблюдают. В рамках ОТО объяснить отсутствие наблюдаемых эффектов аннигиляции на границах раздела миров и антимиров невозможно. В этой теории, в отличие от двузнаковой гравитации, не содержится идеи отталкивания миров и антимиров. Считается, что антивещество исчезло ещё в эпоху аннигиляции вещества-антивещества. Сохранились лишь «лишние» барионы [6; 7].

Приведённые выше аргументы, в поддержку идеи «лишних» барионов, как причины наблюдаемой барионной асимметрии, являются убедительными, если верна гипотеза ОТО о том, что гравитация не различает вещество и антивещество. В этом случае, в гравитационном поле, при одинаковых начальных условиях, любые объекты, в том числе частицы и античастицы, движутся одинаково и вследствие этого отсутствует регулярный механизм их разделения.

Насколько надёжно проверена эта гипотеза? Имеются ли основания считать, что неразличимость частиц и античастиц в гравитации является строго установленным и надёжно проверенным в наблюдениях и экспериментах фактом?

Часто утверждают, что неразличимость частиц и античастиц в гравитации дока-

зана с высокой степенью точности. При этом ссылаются на эксперименты относящиеся к доказательству тождественности тяжёлой и инертной масс макроскопических тел различного химического состава, движущихся в гравитационном поле с нерелятивистскими скоростями (Ролл, Кротков и Дике, 1965 г; Брагинский и Панов, 1972 г.) [10; 11]. Полагаем, что к решению проблемы о том различает ли гравитация частицы и античастицы или нет, эти эксперименты имеют слабое отношение. В них нет, в явном виде, ни античастиц, ни антивещества.

ОТО надёжно подтверждена экспериментально для нерелятивистских макроскопических тел, состоящих из вещества. Что касается описания в ОТО влияния гравитационного поля на элементарные частицы и античастицы, то его пока следует рассматривать как гипотетическое. Гравитационные силы, действующие на отдельные элементарные частицы слишком слабы, чтобы их можно было измерить непосредственно. Ещё недавно считалось, см., например, [1], что экспериментально изучать влияние гравитационных полей в микромире, в силу его слабости, невозможно. В последнее время наметился прогресс в экспериментальных исследованиях влияния гравитации на отдельные элементарные частицы и их античастицы, см., например, [12]. Эти исследования могут оказать огромное влияние на развитие физики, если в них подтвердится идея согласно которой между частицами и античастицами действует антитяготение [13; 8]. Отметим также, что вследствие отсутствия макроскопических тел, состоящих из антивещества, экспериментальное исследование влияния на них гравитации не могло быть проведено.

### **Проблема источников гравитации**

В ОТО, чтобы объяснить наблюдаемую динамику галактик и их скоплений, а также динамику Вселенной, предполагают, что приблизительно на девяносто шесть процентов энергия космической среды в современной Вселенной содержится в компонентах материи явно не наблюдаемых и проявляющихся лишь косвенно в гравитации. Считается, что этими компонентами являются тёмная материя ( $\approx 24\%$ ) и тёмная энергия ( $\approx 72\%$ ). Предполагается, что видимая (барионная компонента материи), состоящая из электронов, протонов и нейтронов, содержит в себе лишь приблизительно четыре процента энергии Вселенной. Подробно о составе космической среды в ОТО и в двузнаковой гравитации см. в разделах 8, 14 и 16.

Идея о существовании тёмной материи возникла при объяснении наблюдаемой динамики галактик и их скоплений, см., например, [2; 6]. Чтобы в рамках ОТО стало возможным объяснение этих наблюдений, стали предполагать, что на периферии этих структур существует тёмная, невидимая, холодная материя в количестве приблизительно в пять-шесть раз большем, чем то, что в них явно наблюдается. В течение многих десятилетий предпринимались многочисленные, но безуспешные попытки найти источники тёмной материи среди слабо-светящихся гравитирующих объектов. Последнее время их пытаются найти среди слабо взаимодействующих массивных еще не открытых стабильных частиц, но пока так же без результата, см. [2; 7]. Возможно, что ищут не то, что надо искать в реальности, см. раздел 27.

Идея о существовании тёмной энергии, в значительной степени, связана с объяснением наблюдаемой динамики Вселенной. Чтобы в рамках ОТО стало возможным её объяснить, стали предполагать, что кроме компонент космической среды, создающих гравитационные поля притяжения, существует ещё и компонента космической среды, которая создаёт не притяжение, а отталкивание и её влияние явно проявляется на космологических масштабах. Эту компоненту в современной космологии определяют термином тёмная энергия. Считается, что она является вакуумной формой

материи, однородно заполняет Вселенную и её параметры остаются постоянными в пространстве и времени. Подробности о тёмной энергии см. в разделах 3 и 20.

Тёмная материя и тёмная энергия являются гипотетическими средами. Они непосредственно не наблюдаются и используются лишь как теоретически допустимые конструкции, которые позволяют объяснить наблюдения в рамках ОТО. Предполагаемые свойства этих сред существенно отличаются от свойств обычных сред, хорошо изученных экспериментально и теоретически. Объяснение физической природы тёмной материи и тёмной энергии, в предположении правильности основополагающих принципов ОТО, требует значительного усложнения существующей теории, см., например, [2; 7].

В современной физике считается, что ОТО позволяет правильно описывать динамику галактик и их скоплений, а так же динамику Вселенной в целом. Полагают, что существующие трудности этого описания являются временными и связаны с неполнотой знаний физических свойств космической среды. Возможно, что это не так и главная причина трудностей не в полноте знаний о космической среде, а в ограниченности принципов ОТО и связанных с этим ошибок в понимании свойств важнейших компонент космической среды и их роли в динамике Вселенной и её структур.

В следующем пункте приведём аргументы в поддержку разумности этой точки зрения.

## 2.3 Двухзнаковая гравитация

Предполагаем, что причиной фундаментальных проблем современной космологии, в частности описанных в пункте 2.2, является ограниченность ОТО. Имеются веские основания сомневаться в правильности гипотез, лежащих в её основе. Ими, на наш взгляд, являются следующие.

- 1а** Гравитация не различает частицы и античастицы. Между любыми частицами и античастицами существует тяготение. Современная Вселенная состоит лишь из частиц.
- 2а** Главное влияние на динамику современной Вселенной оказывает вакуумная форма материи, называемая тёмной энергией.

В квантовой теории различие частиц и античастиц является доказанным фактом. В то же время эйнштейновская гравитация их не различает, хотя в прямом эксперименте это не доказано. В силу сложности экспериментальной проверки гипотезы о неразличии частиц и античастиц в гравитации, соответствующие исследования пока находятся лишь в зачаточном состоянии, см., например, [12].

В квантовой теории основополагающей сущностью мира является физический вакуум. В ОТО считается, что тёмная энергия является вакуумной формой материи. В то же время, оставаясь в рамках этой теории установить связь между тёмной энергией и физическим вакуумом не удаётся, см. разделы 3 и 20.

В отсутствие убедительных теоретических и экспериментальных доказательств приведенных выше гипотез нами предложена теория гравитации основанная на альтернативных им гипотезах [8; 13; 15].

- 1б** Реальная гравитация различает частицы и античастицы и между ними существует антитяготение. Вселенная симметрична по частицам и античастицам и является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной.

**26** Главной компонентой космической среды является физический вакуум. Он однородно заполняет Вселенную. Частицы и античастицы являются возбуждёнными состояниями вакуума. Частицы — состояниями с положительной энергией, а античастицы — состояниями с отрицательной энергией. Энергия и гравитационный заряд являются тождественными понятиями.

Чтобы согласовать идею о «гравитационных зарядах» с существующими представлениями о том, что все компоненты космической среды являются источниками гравитационного поля, считается, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица. В двузнаковой гравитации энергия частиц и античастиц и их гравитационные заряды — тождественные понятия. Частицы и античастицы имеют противоположные по знаку энергии, а следовательно и противоположные по знаку гравитационные заряды. При этом, одноимённые заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются и поэтому кроме тяготения существует и антитяготение. Предложенный вариант теории гравитации назван авторами двузнаковой гравитацией. Более подробно об исходных положениях этой теории см. в разделе 16.

Идейно двузнаковая гравитация близка к ОТО. В обеих теориях, величинами описывающими гравитационное поле являются компоненты метрического тензора, определяющие геометрические свойства пространства-времени. Как и в эйнштейновской гравитации, в двузнаковой гравитации источником гравитационного поля («гравитационным зарядом») является тензор энергии-импульса частиц и античастиц. Принципиальное отличие двузнаковой гравитации от эйнштейновской заключается в том, что вклады частиц и античастиц в искривление пространства-времени не суммируются, а вычитаются. Эйнштейновская гравитация не различает частицы и античастицы, а двузнаковая гравитация их различает.

В двузнаковой гравитации считается, что полная энергия Вселенной равна нулю и она гравитационно-нейтральна. При этом энергия Вселенной разбивается на две равные части: энергию частиц и энергию античастиц. Полные энергии, связанные с частицами и античастицами раны друг другу и в ходе эволюции Вселенной не меняются. Имеет место не просто сохранение полной энергии, но и сохранение полных энергий связанных с частицами и античастицами по отдельности. В процессе эволюции Вселенной эти энергии не перепутываются. Полный гравитационный заряд Вселенной всегда равен нулю.

Согласно эйнштейновской теории в гравитационном поле, при одинаковых начальных условиях, любые частицы и античастицы приобретают одинаковые по величине и знаку ускорения и движутся по одинаковым траекториям. Другая ситуация в двузнаковой гравитации. При одинаковых начальных условиях частицы и античастицы приобретают одинаковые по величине, но противоположные по знаку ускорения и движутся по различным траекториям. При этом, все частицы движутся одинаково, тоже самое имеет место и для античастиц. Частицы и античастицы воспринимают гравитационное поле по-разному. Геодезические для частиц и античастиц не совпадают, см. раздел 16.

Идея двузнаковости источников гравитационного поля может быть согласована с законами сохранения энергии, импульса и вращательного момента в элементарных процессах, если считать, что при одинаковых условиях гравитационные заряды частиц и соответствующих им античастиц равны по величине, но противоположны по знаку. Чтобы это учесть, в двузнаковой гравитации античастицы формально рассматриваются как частицы, но движущееся во времени вспять. Такое же представ-

ление о соотношении между частицами и античастицами содержится и в квантовой теории.

Как и в эйнштейновской гравитации, в двузнаковой гравитации считается, что гравитационное поле является тем, что определяется отклонением геометрии пространства-времени от геометрии локально-инерциальных систем отсчёта специальной теории относительности (СТО). Пространство-время, соответствующее гравитационному полю, является искривлённым. Его геометрические свойства определяются распределением материи, её движением и физическими параметрами [7; 6]. При этом, кроме реальных частиц и античастиц, необходимо учитывать ещё и вакуумную материю. В двузнаковой гравитации считается, что именно эта материя и является главной компонентой космической среды. Более того показано, что вакуум — пространство и время целесообразно рассматривать как единый физический объект, см. разделы 3 и 20.

Искривлённость пространства-времени и деформация связанного с ним вакуума взаимосвязанные вещи. Согласно двузнаковой гравитации, вакуум в окрестности любой точки Вселенной выделяет привилегированную локально-инерциальную систему отсчёта, см. раздел 21. С учётом этого, в двузнаковой гравитации несколько по-другому, чем в ОТО, видится объяснение природы сил инерции и гравитации. Они имеют материальную природу. Частицы и античастицы являются возмущёнными состояниями вакуума. Частицы — состояния с положительной энергией, а античастицы — состояния с отрицательной энергией, см. раздел 16. В классическом приближении движение возмущений в вакууме происходит по геодезическим, которые для частиц и античастиц не совпадают, см. раздел 16.

Длительность между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке гравитационного поля, и воспринимаемых удалённым наблюдателем, зависит от того приносят ли ему информацию об этих событиях — фотоны или антифотоны. У них по-разному в гравитационном поле изменяются длины волн, см. разделы 6 и 23.

Например, в ОТО считается, что для внешнего наблюдателя скорость падения излучателя на чёрные дыры, уменьшается до нуля, при его приближении к горизонту событий. При этом уменьшаются до нуля, воспринимаемые внешним наблюдателем частота излучения и видимая яркость излучателя. В двузнаковой гравитации этот процесс будет выглядеть так только в фотонной части излучения. В антифотонной части излучения падение излучателя будет так же сопровождаться уменьшением его скорости падения, но нарастанием частоты излучения и «вспышкой» его яркости в момент приближения «излучателя» к центру чёрной дыры. Возможно, что наблюдаемые  $\gamma$ -всплески связаны с падением «комков» вещества на релятивистские объекты и с наличием в излучении антифотонной компоненты, см. разделы 6 и 23.

Согласно двузнаковой гравитации в гравитационном поле по разному изменяются и длины волн частиц и античастиц [8; 13]. Они его воспринимают по-разному и поэтому описание гравитационного поля в представлениях частиц и античастиц не совпадают, хотя и являются взаимосвязанными. В двузнаковой гравитации свойства гравитационного поля зависят не только от выбора тел отсчёта, но и от того из чего они состоят: из частиц или античастиц.

В двузнаковой гравитации удобными являются понятия, определяемые терминами миры и антимирры. Они обозначают области Вселенной, содержащие только барионы или только антибарионы, соответственно. В предельных случаях миров и антимиров уравнения двузнаковой гравитации переходят в уравнения эйнштейновской гравитации. Окружающая нас часть Вселенной является Миром и поэтому

здесь влияние антиматерии на динамику космической среды, в явном виде обычно не проявляется и расчёты в рамках стандартной ОТО с высокой степенью точности подтверждаются наблюдениями.

В тоже время отметим, что антиматерия может рождаться в Мире. На релятивистских стадиях эволюции массивных тел (нейтронных звёзд, чёрных дыр) в их окрестности с высокой скоростью могут идти процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц. При этом, вследствие различия знаков гравитационных зарядов, может происходить эффективное разделение частиц и античастиц и образование из последних антивещества. Рожденное в окрестности этих объектов антивещество может выбрасываться в окружающее их пространство. Это может оказывать существенное влияние на их эволюцию, а также на свойства излучения, приходящего от них. Возможно, что с учётом эффектов антитяготения между веществом и антивеществом можно будет значительно проще, чем в рамках ОТО, понять и объяснить то, что происходит и наблюдается в окрестности активных ядер галактик и квазаров: выбросы материи с огромными скоростями,  $\gamma$ -излучение, спектр которого соответствует аннигиляции электрон-позитронных пар и многое другое [31; 32].

С учётом антитяготения между частицами и античастицами существенно по-другому, чем в ОТО, видится решение проблемы сингулярностей в гравитации.

## 2.4 Гравидинамика

Теоретически возможен вариант теории гравитации, различающей частицы и античастицы, но отличающийся от описанного в пункте 2.3 определением источников гравитационного поля. Считается, что ими являются инвариантные гравитационные заряды и их токи. Предполагается, что у частиц и соответствующих им античастиц, гравитационные заряды равны по величине, но противоположны по знаку. Величина гравитационного заряда частиц/античастиц определяется их массой покоя, см. раздел 26.

Идея о гравитационных зарядах и их токах, как источниках гравитационного поля, является аналогичной идее об электрических зарядах и их токах, как источниках электро-магнитного поля. Учитывая это, этот вариант двузнаковой гравитации, по аналогии с электродинамикой, называем гравидинамикой.

В гравидинамике сохранена идея Эйнштейна о взаимосвязи гравитации с геометрическими свойствами пространства-времени. «Геометрические» части уравнений ОТО и гравидинамики имеют одинаковый вид. Различие этих уравнений в описании источников гравитационного поля.

В гравидинамике, в отличие от электродинамики, одноимённые заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Другое их кардинальное отличие в величине констант взаимодействия. Константа взаимодействия гравитационных зарядов на много порядков меньше, чем электрических зарядов. В области масштабов, где применяется квантовая электродинамика, влияние гравитационного взаимодействия частиц/античастиц является несущественным.

В гравидинамике считается, что Вселенная является симметричной по частицам и античастицам, а вакуумной формой материи заполняющей её, является гравитационно-нейтральная материя [15]. Полный гравитационный заряд Вселенной равен нулю и она является гравитационно-нейтральной. Имеет место закон сохранения полного гравитационного заряда Вселенной. Сколько положительного гравитационного



заряда, связанного с частицами, рождается/уничтожается, столько же одновременно рождается/уничтожается отрицательного гравитационного заряда, связанного с античастицами. В отличие от двузнаковой гравитации, в гравидинамике сохранение, по отдельности, гравитационных зарядов частиц и античастиц не имеет места. Некоторые частицы могут совпадать со своими античастицами и в этом случае их гравитационный заряд равен нулю. Примером такой частицы в гравидинамике является фотон.

В нерелятивистском пределе гравитационные заряды частиц/античастиц определяются их тяжёлыми массами. В этом случае нерелятивистские тела, при одинаковых начальных условиях, движутся одинаково и это для макроскопических тел, состоящих из вещества, подтверждается в наблюдениях [10; 11].

В связи с идеей об инвариантных гравитационных зарядах важной является задача их определения для отдельных частиц и античастиц. Предполагая инвариантность гравитационных зарядов в гравидинамике, в релятивистском случае, как и в нерелятивистском, следует считать, что величины этих зарядов определяются их тяжёлыми массами. У частиц и античастиц они имеют разный знак. Так как масса фотонов равна нулю, то в гравидинамике естественно считать, что они являются гравитационно-нейтральными. То что они в гравитационном поле движутся не по прямой, это вовсе не означает, что это противоречит идее об их гравитационной нейтральности. В искривлённом пространстве-времени других «прямых», кроме геодезических, нет. В этом случае, следует аккуратно обращаться с законами сохранения энергии и импульса и не применять их там, где они не работают.

Теория гравитации, основанная на идее о гравитационных зарядах, имеющих разный знак у частиц и античастиц, применялась к описанию глобальной динамики Вселенной [13]. Это описание проводилось в рамках механики сплошных сред. В этом приближении знания величин гравитационных зарядов отдельных частиц/античастиц не требовалось. Достаточно было лишь предположения о гравитационной нейтральности Вселенной.

В двузнаковой гравитации считается, что не обычные формы материи, а вакуумная форма материи является главным фактором, определяющим динамику Вселенной. В следующем разделе даётся пояснение этого основополагающего утверждения двузнаковой гравитации.

## Глава 3

# Геометрические и физические свойства вакуума

«Мысль Эйнштейна ясна. Согласно ОТО, пространство-время само есть среда. Отказаться от эфира, значит предположить, что пустое пространство не обладает никакими физическими свойствами. ОТО не только возвращает динамические свойства пустому пространству, но также приписывает ему энергию, импульс и момент количества движения.»<sup>1</sup>

Де Витт Б.

### 3.1 Вакуум-пространство-время

В двузнаковой гравитации пространство-время является непрерывной, идеальной, сжимаемой средой, состоящей из вакуумной материи. Пространство-время обладает не только геометрическими свойствами, но и физическими. Искривление пространства-времени связано с деформациями и поляризацией вакуума. Физические и геометрические свойства вакуума и пространства-времени неразрывно связаны. Пространство-время — это геометрическая, а вакуум — материальная составляющая единого физического объекта: вакуума-пространства-времени.

Реальные частицы и античастицы являются возмущёнными состояниями вакуума. Частицы — соответствуют состояниям с положительной энергией, античастицы — состояниям с отрицательной энергией, см. раздел 16.

Вакуумная материя состоит из виртуальных частиц и античастиц и является квантовым объектом. Квантовые эффекты проявляются в ней на пространственно-временных масштабах

$$l \lesssim l_h = \hbar/mc, \quad t \lesssim t_h = \hbar/mc^2, \quad (3.1)$$

где  $\hbar$  — постоянная Планка,  $m$  — масса электрона,  $c$  — скорость света,  $l_h \approx 3,87 \cdot 10^{-11}$  см,  $t_h \approx 1,3 \cdot 10^{-21}$  с.

---

<sup>1</sup>см. [23]

Концентрации виртуальных частиц/античастиц

$$n_{\hbar} \simeq l_{\hbar}^{-3} = (mc/\hbar)^3. \quad (3.2)$$

Соответствующие им плотности энергий вакуумных материй и антиматерий

$$\varepsilon_+ \simeq mc^2 \cdot n_{\hbar}, \varepsilon_- \simeq -mc^2 \cdot n_{\hbar} \quad (3.3)$$

огромны. Приведена упрощённая оценка параметров вакуума. Предполагается, что он состоит из виртуальных электроно-позитронных пар. Цель оценки лишь в одном: показать, что не обычная, а вакуумная форма материи является главной компонентой космической среды.

В вакууме содержится подавляющая часть энергии частиц и античастиц космической среды. На масштабах заметно больших, чем  $l_{\hbar}$  вакуумная материя является однородной во всех частях Вселенной, за исключением, возможно, лишь областей экстремальных параметров барионной компоненты (окрестности нейтронных звёзд и других релятивистских объектов). Средняя плотность энергии и электрического заряда в ней на масштабах много больших  $l_{\hbar}$  равна нулю.

Если вместо массы электрона в формулах (3.1)–(3.3) подставить массу протона, то соответствующие оценки будут определять параметры вакуума на пространственно-временных масштабах  $l \lesssim 10^{-14}$  см и  $t \lesssim 10^{-24}$  с.

Согласно двузнаковой гравитации обычная материя является малым возмущением электро- и гравитационно-нейтрального вакуума, однородно заполняющего Вселенную. В то же время, в этой теории именно обычная материя, с существующим в ней регулярным механизмом разделения её на миры и антимир, является первичным источником гравитационных полей во Вселенной, см. разделы 5 и 25.

В настоящем разделе опишем на качественном уровне геометрические и физические свойства вакуума-пространства-времени на масштабах  $l \gg l_{\hbar}$  и  $t \gg t_{\hbar}$ , пренебрегая влиянием обычной материи. Описание проводим в приближении механики сплошной среды. Считается, что объект вакуум-пространство-время является безграничной идеальной средой, однородно заполняющей Вселенную

## 3.2 Геометрические свойства однородного вакуума

В двузнаковой гравитации геометрические свойства однородного безграничного вакуума определяют геометрические свойства Вселенной на космологических масштабах. На этих масштабах Вселенная является безграничной однородной и изотропной.

Изучая геометрию однородной изотропной Вселенной, её трёхмерное пространство удобно рассматривать как однородную изотропную и безграничную трёхмерную гиперповерхность в фиктивном четырёхмерном евклидовом пространстве [14]. Возможны три типа таких гиперповерхностей. Им соответствуют различные значения некоторого параметра  $k$ , который может принимать три значения:  $-1, 0, 1$ . При этих значениях реализуются случаи трёхмерных пространств отрицательной, нулевой и положительной кривизны, соответственно. Величиной описывающей геометрические свойства этих поверхностей является их кривизна. В нестационарных однородных пространствах кривизна, оставаясь одинаковой во всех точках однородного трёхмерного пространства, изменяется во времени.

Пространства отрицательной ( $k = -1$ ) и нулевой ( $k = 0$ ) кривизны имеют бесконечный объём, а пространство положительной ( $k = 1$ ) кривизны имеют конечный

объём. Часто первое из этих пространств называют псевдосферическим, второе плоским, а третье сферическим [2; 6; 14]. Двумерные аналогии рассматриваемых трёхмерных однородных гиперповерхностей схематично изображены на рис. 3.1.

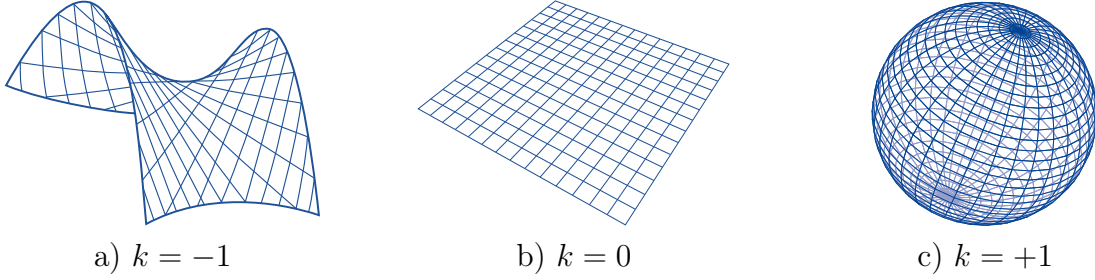


Рис. 3.1: Схематичное изображение однородных поверхностей отрицательной а), нулевой б) и положительной с) кривизны.

Величиной, описывающей изменение геометрических размеров Вселенной (безграничного однородного изотропного вакуума), является её масштаб  $a(t)$ . Часто эту величину называют радиусом кривизны Вселенной, см. [6; 14]. В силу однородности вакуума, радиус кривизны имеет одинаковое значение во всех его точках.

В реальной Вселенной существует обычная материя и неравномерности в её пространственном распределении. Они приводят к локальным нарушениям искривлённости вакуума-пространства-времени. Эти нарушения проявляются в виде локальных гравитационных полей. В настоящем разделе нас интересуют геометрические и физические свойства вакуума-пространства-времени на космологических масштабах и поэтому локальные гравитационные поля не рассматриваются.

Космологические уравнения Фридмана, описывающие в рамках двузнаковой гравитации изменение геометрических свойств вакуума (Вселенной) на космологических масштабах, записаны в разделе 19. Они имеют вид:

$$3 \left( \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} \right) = \Lambda c^2, \quad (3.4)$$

$$2 \frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} = \Lambda c^2. \quad (3.5)$$

Показано, что существует семь типов решений этих уравнений. Они описываются функциями:

- 1)  $a(t) = a_0 = \text{const}$ ,  $\Lambda = 0$ ;
- 2)  $a(t) = a_0 \exp(t/t_0)$ ,  $t_0 = a_0/c$ ,  $\Lambda = 3/a_0^2$ ;
- 3)  $a(t) = a_0 \exp(-t/t_0)$ ,  $\Lambda = 3/a_0^2$ ;
- 4)  $a(t) = a_{\max} |\sin(t/t_1)|$ ,  $t_1 = a_{\max}/c$ ,  $\Lambda = -3/a_{\max}^2$ ;
- 5)  $a(t) = |ct|$ ,  $\Lambda = 0$ ;
- 6)  $a(t) = a_2 |\text{sh}(t/t_2)|$ ,  $t_2 = a_2/c$ ,  $\Lambda = 3/a_2^2$ ;
- 7)  $a(t) = a_{\min} \text{ch}(t/t_3)$ ,  $t_3 = a_{\min}/c$ ,  $\Lambda = 3/a_{\min}^2$ .

Схематично графики этих решений приведены на рис. 3.2. Константа  $\Lambda$  играет фундаментальную роль в теории и называется космологической постоянной, см., например, [6; 7]. Она однозначно связана с скалярной кривизной пространства-времени

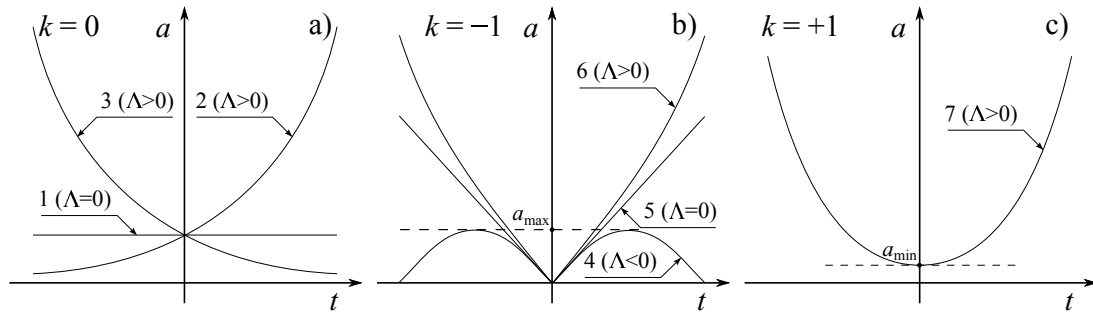


Рис. 3.2: Схематичное изображение графиков, определяющих динамику плоских ( $k = 0$ ) (а), псевдосферических ( $k = -1$ ) (б) и сферических ( $k = +1$ ) (с) трёхмерных пространств однородного изотропного вакуума [24].

$R_4(\Lambda = -R_4/4)$ , см. раздел 19. В этом разделе подробно обсуждаются решения (3.6) и методика их получения.

Согласно этим решениям теоретически возможно существование семи различных семейств однородных изотропных Вселенных, отличающихся характером изменения во времени их радиусов кривизны, а так же типов соответствующих им трёхмерных пространств. Возможны плоские  $k = 0$ , псевдосферические  $k = -1$  и сферические  $k = +1$  трёхмерные пространства однородного изотропного безграничного вакуума. Подробно о геометрических свойствах этих пространств, см. в разделе 11.

Решения с  $\Lambda \neq 0$  можно интерпретировать, как описывающее геометрические свойства вселенных, у которых скалярная кривизна четырёхмерного пространства-времени  $R_4$  отлична от нуля и имеет постоянное значение. При этом космологическая постоянная  $\Lambda = -R_4/4$ . Решения с  $\Lambda > 0$  обладают неприятной особенностью: при  $t \rightarrow \infty$  имеет место экспоненциальный рост скорости расширения описываемых ими вселенных. Решения с  $\Lambda < 0$  описывают осциллирующие вселенные.

Решение с  $\Lambda = 0, k = 0$  описывает плоское стационарное пространство. Оно не представляет интереса поскольку реальная Вселенная, как показывают наблюдения, не является стационарной, она расширяется, см. раздел 4.

Интересным, как мы считаем, является решение для которого  $\Lambda = 0, k = -1$ . Оно описывает равномерное расширение псевдосферического трёхмерного пространства. Есть основание считать, что именно это решение и описывает геометрические свойства реальной Вселенной, см. разделы 17 и 18.

Решения 2)–7), см. формулы (3.6) можно рассматривать как описывающие глобальные нестационарные гравитационные поля теоретически возможных однородных изотропных вселенных. С геометрической точки зрения эти поля связаны с искривлённостями двух типов: с кривизной четырёхмерного пространства-времени, (если  $\Lambda \neq 0$ ), а так же с кривизной трёхмерного пространства (при  $\Lambda = 0$  и  $k = -1$ ). Эти искривлённости можно рассматривать как две вакуумные формы материи, которые могут присутствовать в плоском пространстве. Такая точка зрения допустима и является продуктивной. Покажем это.

### 3.3 Физические свойства вакуума-пространства-времени

В двузнаковой гравитации объект вакуум-пространство-время обладает не только геометрическими свойствами, но физическими. Изменение масштаба Вселенной, описанное в предыдущем пункте, можно интерпретировать не только геометрически, но и как связанное с нестационарностью физических параметров вакуума. Чтобы это пояснить, перепишем космологические уравнения Фридмана (3.4), (3.5) в виде:

$$3 \left( \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{0 \cdot c^2}{a^2} \right) = \frac{8\pi G}{c^2} (\varepsilon_N + \varepsilon_\Lambda), \quad (3.7)$$

$$2 \frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{0 \cdot c^2}{a^2} = -\frac{8\pi G}{c^2} (P_N + P_\Lambda). \quad (3.8)$$

Формулы, определяющие величины  $\varepsilon_N, \varepsilon_\Lambda, P_N, P_\Lambda$  определим ниже.

Уравнения (3.7), (3.8) описывают динамику физических свойств вакуума в плоском трёхмерном пространстве. В этом описании кривизна четырёхмерного пространства-времени и кривизна трёхмерного пространства рассматривается как величины, определяющие физические свойства двух видов вакуумных материй. Первой из них является тёмная энергия, её параметры определяются кривизной четырёхмерного пространства-времени. Вторая, названа авторами гравитационно-нейтральной вакуумной формой материи, её параметры определяются кривизной трёхмерного пространства Вселенной. Первая из этих материй хорошо известна в современной космологии. Введение второй из них, и её интерпретация как физического вакуума квантовой теории, позволяет существенно по-другому, чем это принято сейчас, осознать смысл гравитации.

Тёмная энергия и гравитационно-нейтральная материи являются идеальными средами, а их термодинамические свойства описываются формулами:

$$\varepsilon_\Lambda = \frac{c^4 \Lambda}{8\pi G}, \quad P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda, \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_N = \frac{3c^4}{8\pi G} \frac{1}{a^2}, \quad P_N = -\frac{1}{3} \varepsilon_N, \quad (3.10)$$

где  $\varepsilon$  и  $P$  плотность энергии и давление этих сред,  $c$  — скорость света,  $G$  — гравитационная постоянная,  $\Lambda$  — универсальная постоянная, называемая космологической постоянной. Значками  $\Lambda$  и  $N$  обозначаются величины описывающие тёмную энергию и гравитационно-нейтральную вакуумную материю, соответственно.

В процессе расширения/сжатия вакуума меняется его масштаб  $a(t)$ . Космологическое ускорение  $\ddot{a}$  с которым происходит расширение/сжатие Вселенной однородно заполненного вакуумной формой материи плотность энергии которой  $\varepsilon$ , а давление  $P$ , определяется формулой

$$\ddot{a} = -\frac{4}{3} \pi G \frac{a}{c^2} (\varepsilon + 3P), \quad (3.11)$$

см. раздел 14.

Применим формулу (3.11) для описания динамики вакуума.

#### Тёмная энергия

Учитывая (3.9) и (3.11), заключаем, что вакуум, состоящий из тёмной энергии, расширяется ускоренно. Соответствующее ускорение

$$\ddot{a}_\Lambda = \frac{1}{3}\Lambda c^2 a_\Lambda. \quad (3.12)$$

Тёмная энергия, для которой космологическая постоянная  $\Lambda > 0$  ( $\varepsilon_\Lambda > 0$ ,  $P_\Lambda < 0$ ), оказывает расталкивающее влияние на пространство вакуума. Это влияние тем больше, чем сильнее оно растянуто. Решения, описывающие динамику вакуума заполненного тёмной энергией с  $\Lambda > 0$ , изображены на рис. 3.2 (решения 2, 3, 6, 7). При  $\Lambda > 0$  трёхмерное пространство вакуума может быть как плоским, так и искривлённым. (Последнее может быть истолковано, как присутствие в плоском пространстве, кроме тёмной энергии, ещё и другой вакуумной материи — гравитационно-нейтральной). При расширении вакуума заполненного тёмной энергией с  $\Lambda > 0$  при  $t \rightarrow \infty$  имеет место экспоненциальный рост его масштаба.

В современной космологии считается, что в настоящее время пространство Вселенной сильно растянуто и более чем на семьдесят процентов заполнено тёмной энергией у которой  $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ . Полагают, что, в основном, она и определяет глобальную динамику современной Вселенной. Считается, что со временем влияние тёмной энергии будет нарастать и Вселенная перейдёт в режим экспоненциального роста её масштаба [2]. На наш взгляд, этот нефизичный теоретический результат указывает на необходимость уточнения существующей теории гравитации. Считаем, что для понимания природы тёмной энергии необходимо учитывать различие в гравитации частиц и античастиц, а так же симметрию Вселенной по ним, см. раздел 20.

Наличие в Вакууме тёмной энергии с  $\Lambda < 0$  ( $\varepsilon_\Lambda < 0$ ,  $P_\Lambda > 0$ ) придаёт пространству упругие свойства. В этом случае вакуум ведёт себя подобно идеальной упругой пружине и совершает гармонические колебания, см. решения 4 на рис. 3.2. Тёмная энергия с  $\Lambda < 0$  в современной космологии обычно не рассматривается, хотя формально такой тип вакуумной формы материи в теоретическом плане предпочтительнее тёмной энергии с  $\Lambda > 0$ . Он, по крайней мере, не приводит к расходимости скорости расширения Вселенной при  $t \rightarrow \infty$ .

#### **Гравитационно-нейтральная вакуумная материя**

При значении космологической постоянной равной нулю, возможны два типа решений, описывающих динамику вакуума, см. 1 и 5 на рис. 3.2. Решения 1 описывают стационарный вакуум расстояние между любыми точками которого остаются постоянными. Этот вакуум является истинно пустым. Решения 5 описывают динамику вакуума заполненного гравитационно-нейтральной вакуумной материей. Её термодинамические свойства описываются формулами (3.9).

Как видно из (3.10) и (3.11), в отличие от тёмной энергии, гравитационно-нейтральная вакуумная форма материи не создаёт ускоренного космологического расширения Вселенной. Из (3.11) видно, что среда, для которой уравнение состояния  $P = -\frac{1}{3}\varepsilon$ , является уникальной. В отличие от любых других сред она не меняет скорости расширения Вселенной. Однородно распределённая гравитационно-нейтральная материя не искривляет четырёхмерного пространства-времени, но именно она и определяет скорость расширения трёхмерного пространства. Согласно двузначковой гравитации масштаб Вселенной, заполненной гравитационно-нейтральной материей, увеличивается со скоростью света. Идеальную космическую среду уравнение состояния для которой  $P = -\frac{1}{3}\varepsilon$ , часто называют квинтэссенцией, см., например, [2].

В двузнаковой гравитации показано, что глобальную динамику Вселенной определяет гравитационно-нейтральная вакуумная форма материи и при этом использовать тёмную энергию для интерпретации наблюдательных данных, для которых существенны космологические эффекты, нет необходимости. Возможен более простой и естественный способ их объяснения и он связан с правильным учётом влияния гравитационно-нейтральной материи на динамику Вселенной, см. раздел 18.

В рамках двузнаковой гравитации астрономические наблюдения могут быть объяснены без использования тёмной энергии. Имеются также и веские теоретические соображения указывающие на целесообразность теории, в которой  $\Lambda \equiv 0$ . Поясним смысл этих соображений.

### 3.4 О проблеме космологической постоянной

В ОТО существует проблема космологической постоянной. Она заключается в следующем. Значение плотности энергии физического вакуума  $\varepsilon_V$  квантовой теории, если следуя представлениям ОТО вклады всех компонент космической среды в полную плотность энергии суммировать, на много порядков превышает плотность энергии  $\varepsilon_\Lambda$  тёмной энергии. Эта оценка получена следующим образом. Считаем, что

$$\varepsilon_V = mc^2/(h/mc)^3, \quad \varepsilon_\Lambda = c^4\Lambda/8\pi G. \quad (3.13)$$

Учитывая лишь электронно-позитронный вклад в плотность энергии вакуума и полагая  $\Lambda = 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ , находим:  $\varepsilon_V/\varepsilon_\Lambda \sim 10^{31}$ , см. например, [1; 33; 37].

В современной физической теории считают, что вследствие огромного различия в плотностях энергий  $\varepsilon_V$  и  $\varepsilon_\Lambda$ , физический вакуум — это одно, а тёмная энергия — другое. При этом остаётся совершенно не понятным, почему в гравитации физический вакуум, имеющий огромную плотность энергии не проявляется, а тёмная энергия, имеющая несравненно меньшую плотность энергии, является главным фактором, определяющим динамику современной Вселенной?

В двузнаковой гравитации эта проблема естественным образом решается. Учитывается, что физический вакуум состоит из виртуальных частиц и античастиц, а их вклады в тензор энергии-импульса, являющийся источником гравитационного поля, не складываются, а вычитаются. Считается, что физический вакуум является симметричным по виртуальным частицам и античастицам, а их огромные вклады в то, что описывается  $\Lambda$ -членом Эйнштейна, сокращаются и космологическая постоянная оказывается равной нулю. В этой теории физический вакуум не только электро-, но и гравитационно-нейтрален.

В двузнаковой гравитации предположение о том, что  $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ , означает существование различия в концентрациях виртуальных частиц и античастиц в физическом вакууме на уровне меньшем, чем  $10^{-31}$ . Как показано в разделе 18, предполагать даже столь малые нарушения гравитационной нейтральности физического вакуума нет необходимости. Теория хорошо объясняет наблюдаемую динамику Вселенной и в предположении  $\Lambda = 0$ . В двузнаковой гравитации предполагать наличие гравитационного заряда у Вселенной столь же неестественно, как и наличие у неё полного электрического заряда, отличного от нуля.

**Резюме** В двузнаковой гравитации считается, что главной компонентой космической среды является вакуум. Он состоит из гравитационно-нейтральной материи, однородно заполняет Вселенную и является материальной частью объекта вакуум-



пространство-время. В нём содержится подавляющая часть энергии частиц и античастиц. Реальные частицы и античастицы являются возмущенными состояниями вакуума. Частицы — состояния с положительной энергией, а античастицы — состояния с отрицательной энергией, см. раздел 16. Вакуум и Вселенная в целом являются электро- и гравитационно-нейтральными.

Гравитационная-нейтральность Вселенной в целом не означает, что гравитационная-нейтральность космической среды имеет место на любых масштабах. В реальности существуют нарушения её гравитационной нейтральности на различных масштабах и связанные с ними макроскопические гравитационные поля. Они существенно влияют на эволюцию структур Вселенной, см. раздел 25.

## Глава 4

# Динамика Вселенной

«Нет никаких наблюдательных данных, указывающих на ограниченность применения ОТО к масштабам Вселенной.»<sup>1</sup>

Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков

«Вообще любая физическая теория — пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна — имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать её нельзя.»<sup>2</sup>

В.А. Фок

В настоящем разделе книги приведено качественное описание наблюдаемой динамики Вселенной. Показано, что она значительно проще и убедительнее объясняется в рамках двузнаковой гравитации, чем в ОТО.

### 4.1 Однородность и изотропность Вселенной

Существование во Вселенной различных объектов (планет, звёзд, галактик и многих других) указывает на разнообразие и сложность протекающих в ней процессов. При изучении глобальной динамики Вселенной учитываются её наиболее важные свойства: состав космической среды, её пространственное распределение, а также силы, которые определяют её движение.

Структурными элементами Вселенной, удобными для изучения распределения материи в ней и её динамики, являются галактики. Галактики — гравитационно связанные образования, состоящие из огромного количества звёзд, облаков плазмы и газо-пылевой материи. Их размеры достигают сотен килопарсек. Парсек (пс) — единица длины применяемая в астрономии. С расстояния в один парсек большая полуось орбиты Земли будет видна под углом в одну угловую секунду. Часто используемая в космологии единица длины мегапарсек.

$$1\text{Мпс} = 10^6\text{пс} \simeq 3,1 \cdot 10^{24}\text{см.}$$

---

<sup>1</sup>см. [6]

<sup>2</sup>см. [28]

При изучении динамики Вселенной галактики рассматривают как материальные точки. Наблюдаемое их пространственное распределение, а так же распределение скоростей их относительного движения позволяет судить о глобальных свойствах Вселенной.

Галактики образуют группы и скопления, содержащие десятки, сотни и тысячи членов. Скопления галактик имеют характерные размеры  $\lesssim 2 \div 3$  Мпс. Наблюдения показывают, что распределение скоплений галактик на масштабах  $\gtrsim 100$  Мпс является почти однородным. С учётом этого в космологии считается, что Вселенная на масштабах превышающих  $(100 \div 300)$  Мпс является однородной [2; 6].

Из наблюдений следует, что на таких масштабах Вселенная является не только однородной, но и изотропной. На небесной сфере нет выделенных направлений, в которых распределение наблюдаемых объектов отличалось бы от других. Однородность и изотропность распределения материи на космологических масштабах являются одним из фундаментальных свойств Вселенной.

Предположение об однородности и изотропности Вселенной лежит в основе её современной космологической модели [2; 35].

## 4.2 Хаббловское расширение Вселенной

Кроме глобальной однородности и изотропности, другим фундаментальным свойством Вселенной является её нестационарность. В период между 1910-1920 годами В. Слайфер обнаружил, что спектральные линии наблюдаемых галактик слегка сдвинуты в красную или голубую сторону. Эти сдвиги были интерпретированы как обусловленные эффектом Доплера. Это означает, что галактики, спектры которых изучали, двигались либо к Земле, либо от Земли. Дальнейшие исследования показали, что за исключением лишь некоторых близких к нам галактик, все другие удаляются от нас. При этом, чем дальше находятся наблюдаемые галактики, тем с большей скоростью они удаляются.

Учитывая Космологический Принцип, предполагают, что это имеет место для любого типичного наблюдателя. Наблюдения и их теоретический анализ убедительно доказывают, что Вселенная находится в состоянии однородного расширения, при котором расстояние между типичными наблюдателями непрерывно растёт.

Обычно предполагается, что Вселенная порождена в результате «Большого взрыва» [2; 6]. Считается, что расширение Вселенной началось приблизительно четырнадцать миллиардов лет назад из сингулярного состояния колоссальной плотности, давления и температуры.

Космологический Принцип требует, чтобы расширение сопутствующей системы отсчёта происходило одинаково по отношению к любому типичному наблюдателю.

В 1929 г. Хаббл объявил об открытии закона, согласно которому скорости удаления галактик растут пропорционально расстоянию до них. Дальнейшие исследования лучевых скоростей, с которыми удаляются типичные, не слишком далекие галактики, находящиеся на расстоянии  $R$ , подтвердили закон Хаббла:

$$\frac{dR}{dt} = H(t) \cdot R, \quad (4.1)$$

где  $H(t)$  — параметр Хаббла. Современное значение параметра Хаббла  $H(t_0) = H_0$  называется постоянной Хаббла. Лучевые скорости движения видимых объектов во

Вселенной измеряются, с использованием эффекта Доплера, с высокой степенью точности. Ошибки в определении постоянной Хаббла связаны, в основном, с погрешностью измерения расстояний. Типичная хаббловская диаграмма приведена на рис. 4.1.

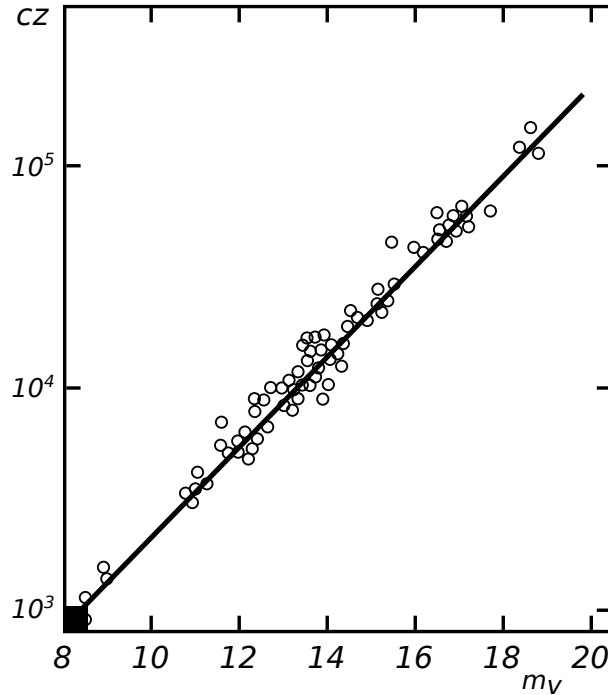


Рис. 4.1: Зависимость видимая звёздная величина — красное смещение для ярчайших галактик скоплений согласно работе Сэндиджа и его сотрудников [36]. В левом нижнем углу диаграммы изображён чёрный прямоугольник. Он соответствует области данных, которыми располагал Хаббл в 1929 г, когда открывал свой закон.

В расширяющейся Вселенной длина волны  $\lambda$  фотона испущенного в момент времени  $t$  и его длина волны  $\lambda_0$ , регистрируемая наблюдателем в момент времени  $t_0$ , связаны соотношением:

$$\lambda_0/\lambda = a_0/a. \quad (4.2)$$

Величины  $a$  и  $a_0$  определяют масштаб Вселенной в момент времени  $t$  и  $t_0$ , соответственно, см. разделы 3 и 11.

Красное смещение наблюдаемого объекта  $z$  определяется формулой:

$$z = (\lambda_0 - \lambda)/\lambda = (a_0/a) - 1. \quad (4.3)$$

Чем дальше находился объект, излучивший фотоны, тем больше отношение  $a_0/a(t)$  и тем больше его красное смещение  $z$  ( $a_0/a = 1 + z$ ), см., например, [6].

Красное смещение  $z$  объекта — непосредственно измеряемая величина, по крайней мере для эпох, когда во Вселенной уже могли существовать атомы и когда длина свободного пробега фотонов стала достаточно большой. [6; 7]. Измерение  $z$  сводится к идентификации линий или системы линий излучения (или поглощения) атомов и определению того, насколько они смещены в область длинных волн. Для однородной изотропной Вселенной формулы (4.2) и (4.3) имеют общий характер и справедливы при любых  $z$ . Красное смещение  $z$  является удобной величиной для определения эпох эволюции Вселенной.

Закон Хаббла (4.1), для галактик, имеющих  $z \ll 1$  имеет вид:

$$z = H_0 r / c = v / c, \quad (4.4)$$

где  $R$  — расстояние до галактики,  $v$  — скорость её удаления,  $c$  — скорость света,  $H_0$  — постоянная Хаббла, не зависящая ни от  $R$ , ни от направления на галактику [2; 6].

В космологии исследуется зависимость красное смещение  $z$  — звёздная величина  $m$  «стандартных свеч» [32]. Обычно для проверки закона Хаббла, строится зависимость между красным смещением  $z$  скоплений галактик и блеском ярчайшей галактики скопления  $m$ . В астрономии блеск небесных светил измеряются в звёздных величинах. Выбор таких единиц историчен. Средний блеск двенадцати наиболее ярких звезд неба принят за соответствующий 1-й звёздной величине; звезды 2-й величины в 2,512 раз слабее, 3-й ещё в 2,512 раз слабее и т. д. На рис 4.1 приведена зависимость  $z(m_v)$  для ярчайших галактик скоплений, взятая из работы [36]. Из диаграммы рис. 4.1 видно, что закон Хаббла выполняется вплоть до самых далёких наблюдаемых галактик.

Чтобы от диаграммы  $z(m_v)$  перейти к зависимости  $dR/dt = H_0 \cdot R$ , где  $R$  — расстояние до ярчайшей галактики, а  $dR/dt$  — её лучевая скорость, надо определить светимость этой галактики хотя бы для одного скопления. Оставляя в стороне технические детали, отметим только, что эта чрезвычайно трудная задача решена. Используется метод определения расстояний до всё более и более далёких объектов и, наконец, до скопления, в котором находится ярчайшая галактика, см., рис 4.2, [38].

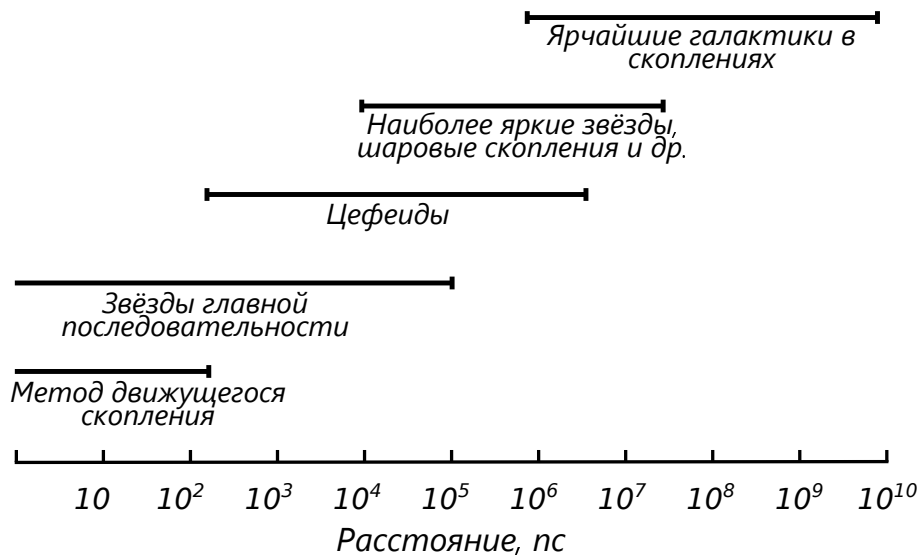


Рис. 4.2: «Лестница» различных методов определения космических расстояний. Каждая черта указывает диапазон расстояний, которые могут быть измерены данным методом (по Вайнбергу С. [38]).

Очевидно, что на каждой ступени «лестницы» различных методов определения расстояний до все более далёких объектов возможны ошибки. Поэтому постоянная Хаббла  $H_0$  считается известной, даже сейчас, с точностью вряд ли лучшей, чем пятьдесят процентов.

Хаббловское распределение по скоростям в расширяющейся Вселенной является единственным, которое совместимо с космологическим принципом её однородности

и изотропности. Только в случае выполнения закона Хаббла (4.1), для любого типичного наблюдателя, однородность и изотропность Вселенной будет сохраняться в процессе её расширения [6; 7].

Из обработки огромных массивов наблюдательных данных о взаимосвязи лучевых скоростей далёких галактик и расстояний до них было найдено [36], что

$$H_0 = (65 \pm 5) \text{ км/с Мпк.}$$

Постоянную Хаббла обычно записывают в виде  $H_0 = h \cdot 100 \text{ км/с Мпк.}$

Хаббловское расширение Вселенной, вовсе не означает, что по Хабблу расширяется все её объекты. В современной космологии считается, что согласно этому закону изменяются размеры лишь достаточно больших объёмов пространства и они значительно больше, чем характерный объём скоплений галактик [6; 7]. Возможно, что это не так и закон Хаббла выполняется, начиная с расстояний  $\gtrsim (2 \div 10) \text{ Мпс}$ , см. [35; 36].

### 4.3 Космологические уравнения Фридмана

Еще недавно считали, что глобальную динамику Вселенной определяют лишь силы гравитации. В однородной изотропной Вселенной нет перепадов давления и нет её вращения как целого, вследствие этого на космологических масштабах нет ни сил давления, ни центробежных сил, которые могли бы противодействовать тяготению. С учётом этого, считали, что расширение Вселенной происходит с замедлением. Что касается причин возникновения расширения, то полагали, что оно является следствием начальных условий, природа которых не является ясной [6; 14].

Применение ньютоновской теории гравитации для описания динамики Вселенной является внутренне противоречивым, см., например, [6]. После создания Эйнштейном релятивистской теории гравитации (ОТО) стали считать, что появилась возможность ставить и решать задачу описания динамики Вселенной в целом [20].

Описание Вселенной в рамках ОТО основано на решениях уравнений Эйнштейна, в правую «материальную» часть которых подставляется тензор энергии-импульса всех компонент материи мира [2; 6], подробности в разделах 14, 18.

Обычно рассматривается космологическая модель Вселенной, в которой делаются следующие предположения.

- Вселенная является однородной, изотропной, безграничной и нестационарной.
- Космическая среда рассматривается как сплошная, идеальная, однородная материя непрерывно заполняющая Вселенную. Её термодинамическими параметрами является плотность энергии  $\varepsilon$  и давление  $P$ . Они связаны уравнением состояния:  $P = f(\varepsilon)$ . Вид этого уравнения определяется составом и физическими свойствами компонент космической среды. Вклады всех компонент в  $\varepsilon$  и  $P$  суммируются.
- Описание динамики Вселенной проводится в сопутствующей системе отчёта, в которую космическая среда «вморожена». В этой системе отчёта имеет место глобальное расщепление 4-мерного искривленного пространства-времени на 3-мерное пространство и ортогональное ему время (собственное время).

- Описывая динамику Вселенной, её пространство рассматривают как однородную изотропную трёхмерную гиперповерхность. Возможны три типа таких гиперповерхностей. Им соответствуют различные значения некоторого параметра  $k$ , которые могут быть равными:  $-1, 0, +1$ . При этих значениях реализуются трёхмерные пространства отрицательной, нулевой и положительной кривизны, соответственно, см. раздел 3. Величиной, определяющей кривизну  $R_3$  этих пространств является скалярная величина  $a$  ( $R_3 = 3k/a^2$ ), одинаковая во всех точках пространства и являющаяся функцией лишь собственного времени. В космологии эту величину называют масштабным фактором Вселенной, или просто её масштабом, часто его называют радиусом кривизны [2; 6].

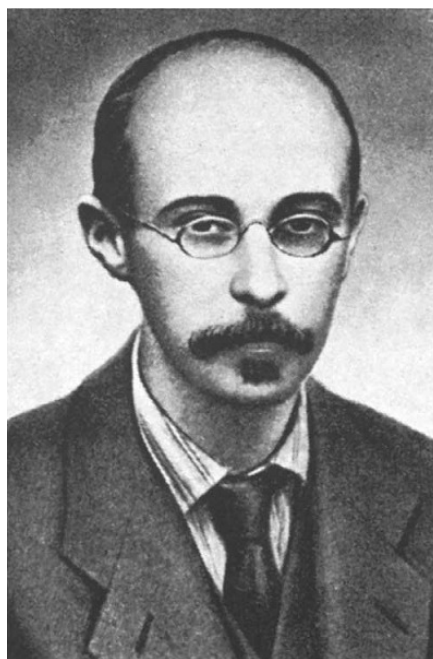
В однородной изотропной Вселенной величиной, характеризующей её динамику, является радиус кривизны  $a$ . Уравнениями, описывающими изменение во времени радиуса кривизны  $a(t)$  являются космологические уравнения А. А. Фридмана. Эти уравнения являются следствием уравнений Эйнштейна в предположении однородности и изотропности Вселенной. Они были получены А. А. Фридманом в 1922–24 г и являются основой современной космологии, см., например, [2; 6]. Подробности о космологических уравнениях Фридмана содержатся в разделе 12.

Из космологических уравнений Фридмана следует, что изменение масштаба Вселенной  $a$ , заполненной однородной космической средой, плотность энергии которой  $\varepsilon$  а давление  $P$ , описываются уравнением, см., например, гл. 2, [6]:

$$\ddot{a} = \frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(\varepsilon + 3P)a. \quad (4.5)$$

Это уравнение определяет космологическое ускорение, с которым происходит расширение Вселенной. Чтобы решать это уравнение необходимо знать каким является состав космической среды и как, при изменении масштаба Вселенной  $a(t)$ , меняется плотность энергии и давление каждой из её компонент. Для того, чтобы в рамках уравнений Фридмана стало возможным интерпретировать наблюдения, для которых существенными являются космологическое расширение Вселенной, в современной космологии делаются определённые предположения о компонентном составе космической среды. Частично они основаны на прямых наблюдательных данных и безусловно являются правильными, но в значительной степени эти предположения являются гипотетическими. Введение в теорию гипотетических компонент космической среды (тёмной материи и тёмной энергии) обусловлено, как полагают, невозможностью без них объяснить, в рамках существующей теории наблюдения.

Приведём краткие сведения о широко распространённом представлении о составе космической среды современной Вселенной. Более подробно об этом в разделах 8 и 20.



А. А. Фридман  
(1888 г. — 1925 г.)

## 4.4 Обычные формы материи

Звёзды в галактиках, облака горячего газа в галактиках и в межгалактическом пространстве, являются главными составляющими видимой компоненты космической среды. Она состоит из протонов, ядер и электронов и называется барионной компонентой. Согласно астрономическим наблюдениям, а также существующим представлениям о составе космической среды, вклад барионной компоненты в полную плотность энергии составляет примерно 4% [2; 35].

Значительно больший вклад в полную плотность энергии космической среды даёт тёмная материя. Эта компонента космической среды непосредственно не наблюдается. В тоже время, без предположения о её существовании, в рамках современной теории гравитации (ОТО) невозможно правильно описать наблюдаемую динамику галактик и их скоплений. Чтобы это стало возможным, предполагают, что в них присутствует невидимая компонента космической среды в количестве в пять-шесть раз большем, чем барионной компоненты [2; 6]. Распределение тёмной материи на масштабах галактик и их скоплений не является однородным. Её много на их периферии и мало в их центрах. Вклад тёмной материи в полную плотность энергии космической среды оценивается на уровне 23%. Установление её природы является одной из фундаментальных проблем современной физики [2; 7].

В 1965 г Пензиасом и Вилсоном открыто микроволновое электромагнитное излучение принимаемое со всех направлений. Это открытие является одним из фундаментальных в космологии. Всесторонние исследования этого излучения, названного реликтовым, убедительно доказали, что Вселенная однородно заполнена чернотельным планковским излучением, имеющим температуру приблизительно  $2,7^\circ\text{K}$ . С учётом свойств этого излучения, а также наблюдательных данных о барионной компоненте материи, доказан следующий важный факт: полное количество фотонов во Вселенной  $N_\gamma$  приблизительно в  $10^9$  раз больше, чем количество в ней барионов  $N_B$  [2; 6]. Параметр  $\eta_B = N_B/N_\gamma \sim 10^{-9}$ , определяющий барион/фотонное соотношение во Вселенной, является одним из важнейших в космологии. Считается, что температура реликтового излучения в ходе космологического расширения Вселенной падала как  $a^{-1}$ , где  $a$  — её масштабный фактор. Наблюдаемое равновесное излучение представляет собой реликт оставшийся от ранних эпох эволюции Вселенной. Есть основания предполагать, что в ранней Вселенной космическая среда имела высокую температуру и все её компоненты находились в локальном термодинамическом равновесии. Считается, что ранняя Вселенная была горячей и плотной и её начало связано с горячим Большим взрывом [2; 6].

По мере расширения и остывания космической среды, происходил «отрыв» её отдельных компонент от других. В современной космологии считается, что первой выделилась тёмная материя и это произошло в эпоху  $z \simeq 10^{12} \div 10^{13}$ . В эпоху  $z \simeq 10^{10}$  произошёл отрыв нейтринной компоненты. Отрыв излучения от барионной компоненты имел место в эпоху  $z \simeq 10^3$ . Условия выхода компонент космической среды из кинетического равновесия друг с другом определяются характером их взаимодействия. Условия отрыва нейтринной и фотонной компонент от барионной компоненты рассчитывается достаточно точно, что касается условий отрыва тёмной материи, то здесь пока существует значительная неопределённость и она связана с отсутствием реальных знаний о природе этой компоненты.

Реликтовое излучение и нейтринная компонента космической среды составляют её релятивистскую компоненту. Современная температура нейтринной компоненты



приблизительно равна  $2^\circ\text{K}$ . Считается, что её вклад в полную плотность энергии составляет приблизительно 0,68 от вклада реликтового излучения [2; 7]. Вклад релятивистской компоненты космической среды, состоящей из реликтового излучения и нейтринной компоненты, в полную плотность энергии современной Вселенной значительно меньше (в тысячи раз), чем вклад барионной компоненты.

С учётом вышеизложенного, вклад всех компонент обычной материи (барионной компоненты  $\simeq 4\%$ , тёмной материи  $\simeq 23\%$ , релятивистской компоненты  $\simeq 4 \cdot 10^{-2}\%$ ), в полную плотность космической среды составляет приблизительно 27%. Чем же тогда является то, что обеспечивает наличие во Вселенной ещё приблизительно 73% энергии?

## 4.5 Эйнштейновские силы отталкивания

В настоящее время считается, что динамику Вселенной определяют не только силы тяготения, но и в не меньшей степени силы отталкивания. По-видимому, первым чётким указанием на это были наблюдательные данные о зависимости между звёздной величиной  $m$  и красным смещением  $z$  для сверхновых типа  $Ia$ , подробности об этой зависимости см. в разделе 18. Эти сверхновые имеют огромную и предположительно определённую светимость в максимуме блеска, могут быть видны на огромных расстояниях, вплоть до  $z \simeq 2$ . Это означает, что принимаемое сейчас от них излучение было порождено ещё в эпоху, когда масштаб Вселенной был в два-три раза меньше современного. Это излучение очень долго распространялось в расширяющейся Вселенной (например, для сверхновых с  $z = 1$ , около семи миллиардов лет). В случае не малых  $z$ , фотометрическое расстояние до излучающего объекта, заметным образом зависит от закона изменения масштаба Вселенной  $a(t)$ , см. раздел 18. Расчёты показали, см. [16; 17], что если считать, что её расширение последние шесть-семь миллиардов лет происходило с замедлением, то невозможно объяснить наблюдаемую зависимость видимой звёздной величины  $m$  сверхновых типа  $Ia$  от красного смещения  $z$  (точнее зависимость  $(m - M)(z)$ , где  $M$  соответствует  $m$  при условии, что источник находится на расстоянии 10пс от наблюдателя), подробности об этой зависимости см. в разделе 18.

Было показано, что для объяснения наблюдаемой зависимости  $(m - M)(z)$  для сверхновых типа  $Ia$  в рамках ОТО, необходимо считать, что расширение Вселенной, последние шесть-семь миллиардов лет происходило с ускорением. Это означает, что в это время, кроме сил тяготения, во Вселенной действовали силы отталкивания и их влияние было большим, чем сил притяжения.

Наблюдаемую зависимость  $(m - M)(z)$  нельзя объяснить, если предполагать, что ОТО является правильной теорией, а Вселенная заполнена лишь обычными формами материи, описанными в предыдущем пункте. Вклады всех компонент этой материи (барионной компоненты, тёмной материи и релятивистской компоненты) в полную плотность энергии  $\varepsilon$  и давление  $P$  являются положительными. При этом, согласно ОТО, см. формулу (4.5), космологическое ускорение отрицательно и следовательно Вселенная расширяется с замедлением. В современной космологии не предполагают неточность ОТО, но чтобы объяснить наблюдаемую зависимость  $(m - M)(z)$  считают, что кроме обычных форм материи, для которых  $\varepsilon > 0$  и  $P > 0$ , во Вселенной существуют и другие необычные материи, для которых  $\varepsilon > 0$ , но  $P < 0$ , которые и являются источником космологических сил отталкивания.

О возможности описания в рамках ОТО космологических сил отталкивания известно давно. Ещё в 1917 г [20], Эйнштейн, применяя уравнения ОТО для описания Вселенной понял, что если считать, что источником сил, определяющих её динамику, являются обычные массы однородно заполняющие пространство, то они создают лишь притяжение друг к другу и получить разумное, как ему казалось, стационарное решение, описывающее Вселенную невозможно. Чтобы получить такое решение для однородной безграничной космической среды, Эйнштейн, не нарушая основополагающих идей ОТО, ввел в уравнения для гравитационного поля дополнительное слагаемое, так называемый  $\Lambda$ -член. Это слагаемое имеет предельно простой вид и зависит лишь от одной универсальной константы  $\Lambda$ , называемой космологической постоянной, см. раздел 13. Оно может описывать силы отталкивания между любыми частицами Вселенной. Эти силы пропорциональны величине космологической постоянной  $\Lambda$  и линейно растут с увеличением расстояния между частицами. Наличие этих сил Эйнштейн связывал с существованием постоянной и неустранимой кривизны четырёхмерного пространства-времени [20], подробности в разделах 19 и 20.

Связать  $\Lambda$ -член со свойствами некоторой неизвестной материи Эйнштейн не пытался, более того, после того как было установлено хаббловское расширение Вселенной и идея о её стационарности оказалось ложной, он считал введение  $\Lambda$ -члена в ОТО самой большой своей ошибкой. Зачем вводить в теорию дополнительную сущность, если нестационарность Вселенной можно объяснить и без неё.

Возможно, Эйнштейн был не прав, утверждая, что  $\Lambda$ -член является «ошибкой». Наблюдения последних двух десятилетий (не только зависимости  $(m - M)(z)$  для сверхновых типа Ia, но и некоторых других) убедительно показывают, что динамику Вселенной определяют не только силы тяготения, но и в не меньшей степени силы отталкивания. В настоящее время значительная часть космологов считает, что ими, как раз, и являются эйнштейновские силы отталкивания, описываемые  $\Lambda$ -членом, см., например, [2; 35].

Космологическая постоянная  $\Lambda$  определяется скалярной кривизной  $R_4$  четырёхмерного пространства-времени ( $\Lambda = -R_4/4$ ), см. раздел 19. В разделе 3 (подробнее в разделе 20) показано, что неустранимую кривизну пространства-времени Вселенной можно трактовать как вакуумную форму материи и считать, что она и является источником эйнштейновских сил отталкивания. Эту вакуумную форму материи обычно называют тёмной энергией.  $\Lambda$ -член в уравнениях ОТО даёт описание её макроскопических свойств.

Согласно материальной трактовке, тёмная энергия является идеальной средой. Её термодинамические свойства определяются формулами:

$$\rho_\Lambda = \Lambda c^2 / 8\pi G, \quad P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda = -\rho_\Lambda c^2, \quad (4.6)$$

где  $\rho_\Lambda$  и  $P_\Lambda$  — плотность и давление тёмной энергии, см. раздел 20.

Тёмная энергия обладает уникальными свойствами. Она является однородной изотропной средой. Её параметры  $\varepsilon_\Lambda$  и  $P_\Lambda$  не меняются в процессе расширения Вселенной и они одинаковы во всех локально-инерциальных системах отсчёта, см. пункт 20.4.

В современной физике, чтобы согласовать теорию и наблюдения, полагают, что значение космологической постоянной  $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ см}^{-2}$  [2; 6; 13]. При этом, согласно (4.5),  $\varepsilon_\Lambda > 0, P_\Lambda < 0$ . Это означает, что тёмная энергия является средой с отрицательным давлением. В этом её кардинальное отличие от обычных форм материи.

Учитывая (4.5), (4.6) заключают, что космологическое ускорение  $\ddot{a}_\Lambda$ , обусловленное тёмной энергией, определяется формулой:

$$\ddot{a}_\Lambda = \frac{1}{3}\Lambda c^2 a_\Lambda. \quad (4.7)$$

При  $\Lambda > 0$ ,  $\ddot{a}_\Lambda > 0$ . Это означает, что тёмная энергия с  $\Lambda > 0$  является источником сил отталкивания. При  $\Lambda \approx 10^{-56} \text{см}^{-2}$ , вклад тёмной энергии в современную полную плотность энергии составляет приблизительно 73%. Остальные 27% связаны с вкладом обычных форм материи, см. пункт 4.4.

## 4.6 Стандартная космологическая модель

Современная космологическая модель, описывающая динамику Вселенной, основана на уравнениях Эйнштейна с  $\Lambda$ -членом. Она называется стандартной, её часто определяют как  $\Lambda$ CDM-модель. В этой модели считается, что космическая среда состоит из трёх компонент: нерелятивистской, релятивистской и тёмной энергии. (Нерелятивистская компонента содержит в себе барионную компоненту и тёмную материю). Параметры этих компонент обычно обозначают значками  $M, rad, \Lambda$ , соответственно [2]. Считается, что уравнения состояния этих компонент имеют вид:

$$P_M = 0, P_{rad} = \frac{1}{3}\varepsilon_{rad}, P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda, \quad (4.8)$$

а их плотности энергий  $\varepsilon_M = \rho_M c^2$ ,  $\varepsilon_{rad} = \rho_{rad} c^2$  и  $\varepsilon_\Lambda = \rho_\Lambda c^2$  связаны с масштабом Вселенной  $a(t)$  соотношениями:

$$\varepsilon_M a^3 = \varepsilon_{M,0} a_0^3, \varepsilon_{rad} a^4 = \varepsilon_{rad,0} a_0^4, \varepsilon_\Lambda = const. \quad (4.9)$$

Значок ноль используется для обозначения параметров современной Вселенной.

Современные плотности компонент космической среды в  $\Lambda$ CDM-модели определяются безразмерными параметрами:

$$\Omega_M = \rho_{M,0}/\rho_c, \Omega_{rad} = \rho_{rad,0}/\rho_c, \Omega_\Lambda = \rho_\Lambda/\rho_c, \quad (4.10)$$

где  $\rho_c = 3H_0^2/8\pi G$ , так называемая критическая плотность. Подробности о параметрах этой модели см. в разделе 14.

Согласно  $\Lambda$ CDM-модели пространство Вселенной является однородной изотропной трёхмерной гиперповерхностью. Параметр  $k$ , определяющий тип этой поверхности, может принимать три значения:  $-1, 0, +1$ . При  $k = -1$  пространство Вселенной искривлённое и имеет бесконечный объём; при  $k = 0$  оно плоское и безграничное; при  $k = +1$  замкнутое и имеет конечный объём.

Параметрами, определяющими эволюцию Вселенной в рамках  $\Lambda$ CDM-модели являются:

$$\Omega_M, \Omega_{rad}, \Omega_{curv} = c^2/a_0^2 H_0^2, \Omega_\Lambda, H_0, k. \quad (4.11)$$

Практика использования  $\Lambda$ CDM-модели для интерпретации наблюдений привела к следующим выводам о значениях параметров (4.11), см., например, [2; 35]:

- пространственная кривизна Вселенной или точно равна нулю или весьма мала ( $k = 0, \Omega_{curv} \lesssim 0,02$ );

- значение постоянной Хаббла  $H_0 = (65 \pm 5) \text{ км/сМпс}$ ;
- значения  $\Omega_M = (0,27 \pm 0,03)$ ,  $\Omega_\Lambda \simeq (0,73 \pm 0,03)$ ;
- значение  $\Omega_{rad} \simeq 4,2 \cdot 10^{-5}/h^2$ ,  $H_0 = 100 \cdot h \text{ км/сМпс}$ .

Приведённые выше значения, в значительной степени, являются не результатом прямых измерений, а следствием подгонки параметров  $\Lambda\text{CDM}$ -модели с целью наилучшего объяснения наблюдательных данных.

В  $\Lambda\text{CDM}$ -модели динамику Вселенной определяет влияние трёх компонент космической среды: релятивистской, нерелятивистской и тёмной энергии. В зависимости от того, влияние какой из них является главным, выделяют три эпохи её эволюции.

В эпоху доминирования радиации ( $RD$ -эпоха) главное влияние на динамику Вселенной имела релятивистская компонента.

Влияние нерелятивистской компоненты было главным в эпоху, которую часто называют пылевидной ( $CDM$ -эпоха,  $C$ -Cold,  $D$ -Dark,  $M$ -Matter).

В эпоху доминирования тёмной энергии, главное влияние имеют космологические силы отталкивания ( $\Lambda$ -эпоха). Подробно о  $\Lambda\text{CDM}$ -модели и формулах описывающих её, см. в разделе 14.

Согласно расчётам в рамках  $\Lambda\text{CDM}$ -модели,  $RD$ -эпоха продолжалась примерно триста-четыреста тысяч лет после Большого взрыва [2; 6]. В течение этой эпохи были приближенно справедливы следующие зависимости:

$$a(t) = \text{const} \cdot t^{1/2}, \quad \varepsilon \sim P \sim T^4 \sim a^{-4}. \quad (4.12)$$

После  $RD$ -эпохи началась  $CDM$ -эпоха, продолжавшаяся приблизительно шесть-семь миллиардов лет. В течение этой эпохи приближенно выполнялись зависимости:

$$a(t) = \text{const} \cdot t^{2/3}, \quad \varepsilon \sim P \sim a^{-3}. \quad (4.13)$$

Согласно  $\Lambda\text{CDM}$ -модели, последние шесть-семь миллиардов лет главное влияние на динамику Вселенной оказывала тёмная энергия и имело место ускоренное расширение мира. В современной Вселенной космологические силы отталкивания в пять-шесть раз больше, чем силы притяжения. Считается, что со временем влияние сил притяжения будет становиться все меньшим, а влияние сил отталкивания все большим, масштаб Вселенной будет расти по экспоненциальному закону. Безграничное увеличение скорости расширения Вселенной при  $t \rightarrow \infty$  и наличие в ней сингулярности при  $t \rightarrow 0$ , указывает на то, что  $\Lambda\text{CDM}$ -модель является, как мы полагаем, внутренне противоречивой и это связано с ограниченностью ОТО.

$\Lambda\text{CDM}$ -модель является эмпирической. Она содержит пять независимых параметров. Значения четырёх из них:  $\Omega_M$ ,  $\Omega_{curv}$ ,  $\Omega_\Lambda$  и  $k$ , пока не могут быть определены непосредственно из наблюдений и являются подгоночными. Не ясен физический смысл важнейших для этой модели компонент космической среды: тёмной материи и тёмной энергии. В рамках ОТО не просматривается взаимосвязь тёмной энергии с физическим вакуумом квантовой теории, см. разделы 3 и 20. Возможно, что и идея о тёмной материи, как о некоторой неизвестной компоненте космической среды, является ложной. Альтернативное объяснение в рамках двузнаковой гравитации эффекта усиления гравитационного поля, как связанного с поляризацией вакуума, содержится в разделе 27.

Выводы об ускоренном расширении современной Вселенной и о её «плоскостности» вовсе не следуют из прямых наблюдений, а являются лишь следствием применения ОТО с  $\Lambda$ -членом для объяснения наблюдений.

В следующем пункте приведено описание космологической модели Вселенной основанной на двузнаковой гравитации.

## 4.7 Модель Вселенной в двузнаковой гравитации

Согласно двузнаковой гравитации ОТО является ограниченной теорией и её нельзя применять к описанию динамики Вселенной и объяснению наблюдаемой барионной асимметрии. Она неправильно описывает гравитационные свойства вакуума и гравитационное взаимодействие материи с антиматерией. Объяснение в рамках ОТО наблюдаемой динамики Вселенной содержит большое количество предположений и подгоночных параметров. Оно создаёт лишь иллюзию понимания реальности.

В двузнаковой гравитации предполагается, что Вселенная симметрична по частицам и античастицам. Они имеют «гравитационные заряды» противоположных знаков и между ними существует антитяготение. Считается, что главной компонентой космической среды во Вселенной является физический вакуум. Он однородно её заполняет. Вакуум не только электро-, но и гравитационно-нейтрален. Частицы и античастицы являются возмущенными состояниями вакуума. Частицы состояниями с положительной энергией, а античастицы состояниями с отрицательной энергией, см. раздел 16. Вселенная в целом является гравитационно-нейтральной, см. разделы 16 и 17.

На космологических масштабах гравитационно-нейтральная Вселенная является однородной и изотропной и в ней имеет место равновесие сил тяготения и антитяготения. Это означает, что на таких масштабах усреднённое гравитационное поле отсутствует. Глобальное трёхмерное пространство Вселенной является плоским и расширяется равномерно. Космологические уравнения Фридмана для гравитационно-нейтральной Вселенной имеют предельно простой вид:

$$\dot{a}^2 = c^2, \quad \ddot{a} = 0. \quad (4.14)$$

Из этих уравнений следует, что расстояние между любыми достаточно удалёнными точками в гравитационно-нейтральной Вселенной линейно растут во времени. Изменение масштаба  $a(t)$  однородной гравитационно-нейтральной Вселенной описывается формулой:

$$a(t) = ct, \quad (4.15)$$

где  $c$  — скорость света,  $t$  — время.

Космологическая модель Вселенной, описываемая уравнениями (4.14), в силу их простоты, названа авторами [8]  $S$ -моделью ( $S$  — Simple). Уравнение (4.15) не содержит свободных параметров. В этом уравнении скорость света определяет скорость роста размеров причинно-связанных областей во Вселенной. Подробно об  $S$ -модели и её применении для объяснения наблюдений см. в разделах 17 и 18.

**Замечание.** Космологическая модель равномерно расширяющейся Вселенной впервые была предложена в работе [34]. Излагаемый в настоящей книге вариант  $S$ -модели, как мы полагаем, отличается от предложенного в [34] более убедительным

обоснованием утверждения о равновесии сил притяжения и отталкивания на космологических масштабах.

Как видно из (4.15), в  $S$ -модели, как и в  $\Lambda$ CDM-модели, существовал момент времени ( $t = 0$ ), когда размер Вселенной был нулевым. Его рассматривают как момент её рождения и определяют термином «Большой взрыв». В этот момент физические параметры космической среды были бесконечными. Считаем это недостатком, как  $\Lambda$ CDM- так и  $S$ -модели. Полагаем, что устранение сингулярностей из космологии является одной из актуальных задач. Об этом кратко в пункте 19.5.

## 4.8 Динамика Вселенной согласно $S$ -модели

Согласно  $S$ -модели во Вселенной на космологических масштабах имеет место точное равновесие сил притяжения и отталкивания и вследствие этого она расширяется равномерно. Изменение масштаба Вселенной описывается формулой (4.15). Справедлив закон Хаббла:

$$da/dt = aH(t). \quad (4.16)$$

Согласно  $S$ -модели, параметр Хаббла  $H(t) = t^{-1}$ . Учитывая это заключаем, что возраст Вселенной  $t_0$  и постоянная Хаббла  $H_0$  связаны соотношением:

$$t_0 = H_0^{-1}. \quad (4.17)$$

При  $H_0 \simeq 70$  км/с Мпк,  $t_0 \simeq 14 \cdot 10^9$  лет, а при  $H_0 \simeq 65$  км/с Мпк  $t_0 \simeq 15 \cdot 10^9$  лет. Эти оценки согласуются с современными данными о возрасте Вселенной.

Уравнения, определяющие изменение масштаба  $a(t)$  в  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделях, отличаются кардинально. В тоже время, уравнения, описывающие взаимосвязь масштаба  $a(t)$  и параметров, определяющих термодинамические свойства космической среды не зависят от вида функции  $a(t)$  и в этих моделях одинаковы.

Температура излучения  $T(t)$  и масштаб Вселенной  $a(t)$  связаны соотношением

$$T(t) \cdot a(t) = T_0 a_0 = const. \quad (4.18)$$

Учитывая, что в  $S$ -модели  $t_0 = H_0^{-1}$ ,  $a(t) = ct$  из (4.18) находим момент времени, в который достигается температура  $T$ :

$$t = t_0(T_0/T). \quad (4.19)$$

Согласно современным данным  $T_0 \simeq 2,725$  К,  $t_0 \simeq 14 \cdot 10^9$  лет [2].

Используя формулу (4.19) можно в рамках  $S$ -модели определить датировку событий, имевших место в процессе эволюции Вселенной и происходивших в известном интервале температур. Используя формулы (4.3), (4.18) можно определить красные смещения эпох, в которые эти события имели место.

Например, эпоха аннигиляции барионов и антибарионов имела место при  $T \lesssim 3 \cdot 10^{12}$  К. Это, согласно (4.19), имело место при  $t \gtrsim 4.4 \cdot 10^5$  с после Большого взрыва. Соответствующее красное смещение  $z$  этой эпохи:  $z \simeq 10^{12}$ .

Эпоха аннигиляции электрон-позитронных пар имела место при  $T \lesssim 3 \cdot 10^9$ . Это происходило при  $t \gtrsim 14$  лет после Большого взрыва. Соответствующие значения  $z \lesssim 10^9$ .

Переход барионной компоненты космической среды из состояния плазмы в газообразное состояние, определяемый в космологии термином «рекомбинация», имел место при  $t \gtrsim 14 \cdot 10^6$  лет после Большого взрыва, в эпоху  $z \lesssim 10^3$ .

На рис. 4.3 приведено сравнение датировок важнейших событий рассчитанных в рамках  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделей.

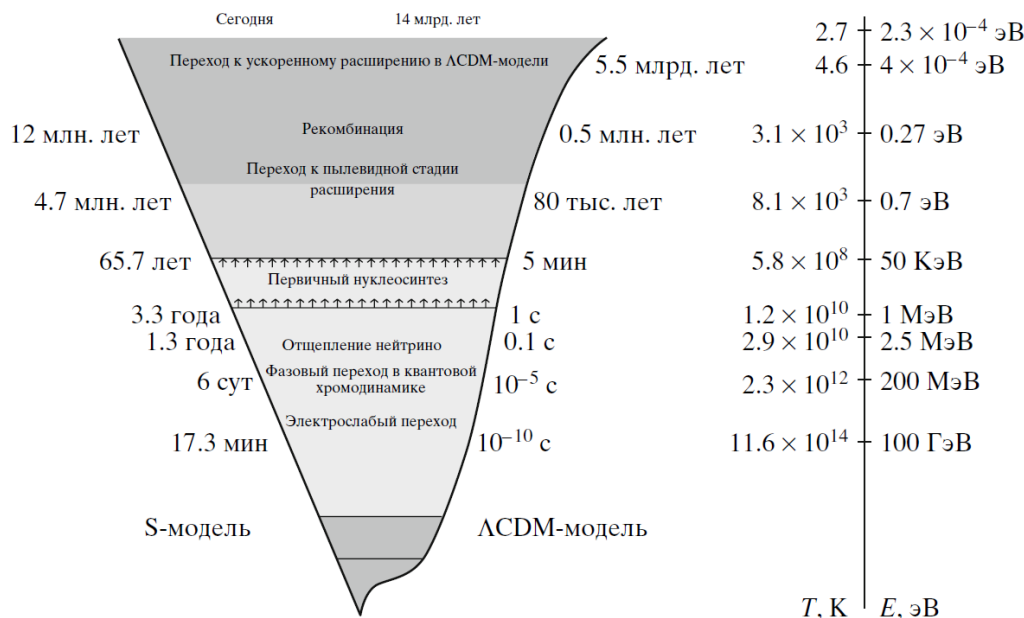


Рис. 4.3: Схематическое изображение важнейших эпох эволюции Вселенной и сравнение их датировок в  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделях.

Основополагающие идеи  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделей о факторах, определяющих динамику Вселенной, являются совершенно разными. Вследствие этого существует кардинальное отличие законов изменения масштабов Вселенной  $a(t)$  в этих моделях. Это наглядно видно из рис. 4.3. Например, согласно  $S$ -модели, длительность интервалов времени протекания «реперных» процессов в ранней Вселенной на много порядков больше, чем это предсказывается  $\Lambda$ CDM-моделью. Существенные отличия в изменениях  $a(t)$  в этих моделях имеют место не только в ранней Вселенной, но и во все другие времена. Это приводит к различию интерпретаций в рамках этих моделей наблюдений, для которых существенны космологические эффекты.

Динамика расширения гравитационно-нейтральной Вселенной кардинально отличается от предсказываемой в рамках стандартной ОТО.  $S$ -модель является моделью зарядово-симметричной Вселенной, а  $\Lambda$ CDM-модель зарядово-асимметричной Вселенной. Первая значительно проще второй. В  $S$ -модели содержится значительно меньше произвольных допущений, чем в  $\Lambda$ CDM-модели.

Выбор между  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделями может быть сделан на основе сравнения расчетных данных, полученных в рамках этих моделей с наблюдательными данными.

В разделе 18 эти модели использованы для интерпретации трёх групп, важнейших для космологии, наблюдательных данных. Они тесно связаны с динамикой Вселенной. Их результат существенным образом зависит от закона изменения масштаба Вселенной  $a(t)$ . Показано, что эти наблюдения могут быть просто и убедительно объяснены в рамках  $S$ -модели и это достигается за счёт выбора лишь одного хорошо измеряемого параметра — постоянной Хаббла. Объяснение этих наблюдений в рам-

ках  $\Lambda$ CDM-модели достигается за счёт подбора пяти параметров, три из которых являются чисто подгоночными.

## 4.9 Объяснение важных для космологии наблюдений

### Время жизни Вселенной

В  $S$ -модели время жизни Вселенной  $t_0$  определяется значением постоянной Хаббла  $H_0$ . Оно в точности равно  $H_0^{-1}$ . При  $H_0 = 70$  км/с Мпк,  $t_0 \simeq 14 \cdot 10^9$  лет, а при  $H_0 = 65$  км/с Мпк,  $t_0 \simeq 15 \cdot 10^9$  лет. Эти оценки находятся в согласии с современными представлениями о времени жизни Вселенной [2; 6]. Предлагаемое в рамках  $\Lambda$ CDM-модели объяснение времени жизни Вселенной является значительно более сложным, см. раздел 18.

### Зависимость «звёздная величина – красное смещение»

Одним из эффективных способов проверки правильности космологической модели считается способ, основанный на сравнении теоретически рассчитанной в рамках модели и наблюдаемой зависимости «видимая звёздная величина – красное смещение» для объектов (стандартных свеч), имеющих определённую абсолютную светимость, [2; 6].

Стандартными свечами, которые видны на больших расстояниях и для которых наблюдаемые красные смещения оказываются значительными: ( $z \lesssim 2$ ), являются сверхновые типа  $Ia$ . Считается, что в максимуме блеска они имеют вполне определённую абсолютную светимость и поэтому могут быть использованы для установления зависимости  $(M - m)(z)$ . Величина  $m$  определяет звёздную величину наблюдаемого объекта. Величина  $M$  называется абсолютной звёздной величиной. По определению  $M$  это есть  $m$  при условии, что наблюдаемый объект находится на расстоянии 10 пк от наблюдателя. Впервые для сверхновых типа  $Ia$  зависимость  $(M - m)(z)$  была найдена в работах [16; 17]. Анализируя полученные результаты, авторы этих работ получили следующий важный результат: динамику Вселенной определяют не только силы притяжения, но и силы отталкивания. В связи с этим, отметим следующее. Установление зависимости  $(M - m)(z)$  из наблюдений — это одно, а её интерпретация — это несколько другое. Авторы [16; 17] показали, что объяснить наблюдаемую зависимость  $(M - m)(z)$  для сверхновых типа  $Ia$  без использования  $\Lambda$ -члена уравнений Эйнштейна, а также без тонкой подгонки параметров, определяющих состав космической среды, невозможно.

С учётом этих предположений, кроме объяснения наблюдаемой зависимости  $(M - m)(z)$ , авторы [16; 17] и их последователи получили ряд «попутных» фундаментальных «результатов». Был сделан вывод об ускоренном расширении современной Вселенной, стали также утверждать, что на космологических масштабах трёхмерное пространство Вселенной является плоским см., например, [2; 35].

Эти выводы не являются результатом непосредственных измерений или наблюдений. Они получены теоретически при применении  $\Lambda$ CDM-модели для объяснения наблюдений. Возможно, эта модель не является правильной. Для правильной модели наличие пяти свободных параметров, физический смысл главных из которых не



вполне ясен, по-видимому, не лучшая характеристика.

Это замечание нам кажется тем более уместным, что зависимость  $(M - m)(z)$  для сверхновых типа *Ia* легко объясняется в рамках *S*-модели, содержащей лишь один хорошо измеряемый параметр, см. раздел 18.

В рамках *S*-модели даётся совершенно другое, чем в  $\Lambda$ CDM-модели, объяснение наблюдаемой динамики Вселенной. Значительно более простое и ясное. Согласно *S*-модели, для этого объяснения не надо предполагать наличие тёмной энергии, более того, вообще, нет необходимости учитывать состав космической среды. В задаче о глобальной динамике гравитационно-нейтральной Вселенной это оказывается не важным. Учитывая, что закон расширения описывается формулой (4.14) и считая, что  $H_0 \approx 65$  км/с Мпс, находим, что теоретически рассчитанная в рамках *S*-модели формула зависимости  $(M - m)(z)$  очень хорошо описывает наблюдаемую. Об этом подробно в разделе 18.

Согласно *S*-модели, Вселенная расширяется равномерно. Вывод об ускоренном расширении современной Вселенной является лишь следствием применения  $\Lambda$ CDM-модели для объяснения наблюдений и веры в её правильность. Это широко декларируемое утверждение современной космологии не является результатом прямых измерений, как многие об этом думают. В двузнаковой гравитации утверждение об ускоренном расширении Вселенной не является правильным. Вселенная, согласно этой теории, за исключением самых ранних эпох её эволюции, расширяется равномерно.

## Анизотропия реликтового излучения

В ранней Вселенной, при температурах заметно больших, чем 3000 К, барионная компонента космической среды находилась в состоянии плазмы. Длина свободного пробега фотонов в плазме определяется их взаимодействием с заряженными частицами, главным образом, с электронами, см., например, [2; 6]. Пока степень ионизации водород-гелиевой плазмы в расширяющейся Вселенной была заметной, длина свободного пробега фотонов была значительно меньше, чем масштаб Вселенной и излучение, и барионная компонента космической среды находились в термодинамическом равновесии. Когда температура космической среды в расширяющейся Вселенной упала приблизительно до 3000 К, степень ионизации плазмы стала столь малой, что длина свободного пробега фотонов стала соизмеримой с масштабом Вселенной. Произошёл «отрыв» излучения от вещества. Эпохе, когда это произошло соответствуют красные смещения  $z \approx (1000 \div 1100)$ . Её в космологии называют эпохой рекомбинации см. [2; 6]. В эту эпоху  $z = z_{rec} \approx (1000 \div 1100)$ . Масштаб Вселенной был приблизительно в тысячу раз меньшим, а температура излучения была во столько же раз больше, чем их современные значения.

Оторвавшееся от вещества в эпоху рекомбинации излучение, в настоящее время регистрируется как однородное изотропное чёрнотельное излучение, имеющее температуру  $T_0 \approx 2,725$  К. Его называют реликтовым [2; 6].

Наблюдения тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения (см., например, [30]). Они являются свидетельством существования неоднородностей в распределении барионной компоненты материи в эпоху рекомбинации. В современной космологии считается, что эти неоднородности явились зародышами скоплений галактик [2; 6; 7]. В рамках двузнаковой гравитации есть основания считать, что наблюдаемые при  $z \approx 1000$  яркие пятна на фоне реликтового излучения, имеющие угловые размеры

$\lesssim 1^\circ$ , являются выделившимися ещё раньше (при  $z \approx 10^9$ ) мирами и антимирами (подробности в разделе 25).

Моменту рекомбинации в  $S$ -модели соответствует возраст Вселенной:

$$t_{rec} = H_0^{-1} / (1 + z_{rec}) \quad (4.20)$$

Так как  $H_0^{-1} \approx 14 \cdot 10^9$  лет, а  $z_{rec} \approx 1000$ , то  $t_{rec} \approx 14 \cdot 10^6$  лет.

Предполагая, что миры и антимирры выделились в расширяющейся Вселенной ещё при  $z \approx 10^9$  и «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство, заключаем, что их линейный размер при  $z = z_{rec}$  был равным

$$d = 2ct_{rec}. \quad (4.21)$$

Учитывая (4.21), в рамках  $S$ -модели можно рассчитать угловые размеры  $\Delta\theta$  ярких пятен на реликтовом фоне. Согласно  $S$ -модели, в которой  $a(t)$  определяется формулой ((4.15)), а  $z_{rec} \simeq 1000$ ,  $\Delta\theta \simeq 0,25^\circ$ . Возможно, что применение  $S$ -модели для объяснения наблюдаемой анизотропии реликтового излучения указывает на необходимость введения в  $S$ -модель дополнительного параметра, см. пункт 18.4.2.

Полагаем, что опыт применения двузнаковой теории гравитации для объяснения широкого спектра наблюдательных данных, позволит высказать более точные суждения о значениях параметров  $H_0$ ,  $z_{rec}$  и законе расширения Вселенной, при которых наблюдения и расчёты окажутся согласованными. Расчёты углов  $\Delta\theta$  в рамках  $\Lambda$ CDM-модели и  $S$ -моделей доступны в режиме online на нашем сайте [www.cosmoway.ru](http://www.cosmoway.ru).

## 4.10 $S$ - и $\Lambda$ CDM-модели. Сравнение

Успешное применение  $S$ -модели для объяснения важных космологических наблюдений является серьёзным аргументом в пользу правильности предположений, лежащих в её основе.

Трудно согласиться, что  $\Lambda$ CDM-модель, содержащая множество подгоночных параметров, правильно описывает наблюдаемую динамику Вселенной, поскольку её можно объяснить в рамках значительно более простой  $S$ -модели, содержащей лишь один хорошо измеряемый параметр — постоянную Хаббла. В силу важности вопроса, ещё раз отметим в чём состоит главное различие  $S$ - и  $\Lambda$ CDM-моделей.

В этих моделях источником гравитационного поля является космическая среда. Считается, что она состоит из обычных и вакуумных форм материи. Обычные формы материи состоят из частиц/античастиц Стандартной модели элементарных частиц, но, возможно, и её расширений см., например, [1; 2; 7].

В  $\Lambda$ CDM-модели гравитация не различает частицы и античастицы. Их вклады в искривление пространства-времени суммируются и сложным образом меняются в процессе эволюции Вселенной. В этой модели Вселенная является гравитационно-заряженной.

В  $S$ -модели гравитация различает частицы и античастицы. Считается, что Вселенная является симметричной по ним. Их вклады в искривление пространства-времени берутся с разными знаками и взаимно сокращаются. В этой модели Вселенная гравитационно-нейтральна.

В  $\Lambda$ CDM-модели вакуумной формой материи является тёмная энергия. Убедительное описание её физических свойств в квантовой теории отсутствует.

В *S*-модели предполагается, что главной компонентой космической среды является физический вакуум квантовой теории. Считается, что частицы и античастицы являются его возбуждёнными состояниями. Вакуум является не только электро-, но и гравитационно-нейтральным. Он однородно заполняет Вселенную.

Представления о составе космической среды, лежащие в основе *S*-модели, можно понять в рамках существующей квантовой теории. В тоже время, представления о составе космической среды, лежащие в основе  $\Lambda$ CDM-модели, без усложнения квантовой теории, объяснить невозможно. Квантовая теория различает частицы и античастицы, ОТО — нет. Согласно квантовой теории физический вакуум является важнейшим компонентом материи, но разумных способов, его включения в ОТО не существует.

Идейно двузначковая гравитация и квантовая теория близки. ОТО и квантовая теория, в этом смысле, значительно дальше друг от друга.

В связи с вакуумными формами материи отметим также следующее. Если Вселенная заполнена тёмной энергией, то её четырёхмерное пространство-время является искривлённым. При наличии обычных форм материи, искривлённым является и соответствующее трёхмерное пространство. В тоже время, для того, чтобы в рамках  $\Lambda$ CDM-модели стало возможным объяснение наблюдений, приходится предполагать, что пространство является плоским, см., например, [2]. Это требование вводится руками и противоречит представлению о том, что Вселенная заполнена гравитационно-заряженной материей.

Согласно *S*-модели Вселенная заполнена гравитационно-нейтральной материей, её четырёхмерное пространство-время не искривлено, а трёхмерное пространство можно рассматривать как плоское. Этот вывод является следствием уравнений, описывающих гравитационно-нейтральную Вселенную, и его не надо вводить руками, см. разделы 3 и 20. О доказательстве «плоскостности» глобального трёхмерного пространства Вселенной говорят как о выдающемся достижении современной космологии [22]. В реальности, «доказательство» сводится к подгонке многих параметров  $\Lambda$ CDM-модели под наблюдения.

Главное различие  $\Lambda$ CDM- и *S*-моделей видим в следующем: в первой из них Вселенная гравитационно-заряжена, а во второй гравитационно-нейтральна. Существуют наблюдения, которые, в рамках эйнштейновской теории тяготения, трактуются как явно противоречащие идее о гравитационной нейтральности Вселенной. Считается, что в окружающем нас пространстве антивещества в заметных количествах нет. Этот вывод делается на основании того, что не наблюдаются эффекты, которые можно было бы интерпретировать как обусловленные аннигиляцией вещества и антивещества на границах их раздела. В рамках эйнштейновской теории гравитации, не различающей частицы и античастицы, невозможно вразумительно объяснить, каким образом в ранней Вселенной мог произойти её распад на миры и антимир. Даже если предположить, что он имел место, по какой-то неизвестной причине, то сложно понять почему не наблюдаются границы раздела миров и антимиров, «расщеченные»  $\gamma$ -излучением имеющим специфический для процессов аннигиляции энергетический спектр. В рамках ОТО отсутствие наблюдаемых эффектов аннигиляции трактуют как свидетельство того, что наблюдаемая космическая среда состоит лишь из вещества. Считается, что оно образовалось из «лишних» барионов, возникших в ранней Вселенной в результате нарушения симметрии в процессах рождения/уничтожения барионов/антибарионов [1; 2; 7].

Приведённые выше аргументы, в пользу отсутствия антивещества в современной

Вселенной, основаны на анализе наблюдений в рамках эйнштейновской теории гравитации. Согласно двузнаковой гравитации, ОТО является ограниченной теорией и её нельзя применять для объяснения динамики Вселенной и наблюдаемой барионной асимметрии. Простое и ясное объяснение наблюдаемой барионной асимметрии, без усложнения квантовой теории, может быть дано в рамках двузнаковой гравитации, см. раздел 25.

Согласно этой теории, вследствие антитяготения между частицами и античастицами, ещё в эпоху предшествующую аннигиляции барионов/антибарионов, шёл регулярный рост флуктуаций, содержащих избытки частиц /античастиц. К началу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов амплитуда этих флуктуаций, на масштабах причинно связанных областей, достигла значений  $10^{-10} \div 10^{-9}$ . После аннигиляции барионов/антибарионов выжили лишь их избытки, нарушавшие гравитационную нейтральность Вселенной. Во Вселенной возникли зародыши миров и антимиров. Они окончательно превратились в миры и антимирры в конце эпохи аннигиляции электрон-позитронных пар. Их характерный масштаб определялся размером причинно-связанных областей в эту эпоху. Они были самыми крупномасштабными структурами во Вселенной.

Миры и антимирры, «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство гравитационно-нейтральной Вселенной. В эпоху рекомбинации они достигли размеров приблизительно четырнадцать миллионов световых лет. В настоящее время миры и антимирры наблюдаются как «грануляция» на почти однородном фоне реликтового излучения. Так в рамках двузнаковой гравитации может быть интерпретирована наблюдаемая анизотропия реликтового излучения.

Согласно этой теории миры и антимирры отталкиваются. Вследствие этого, процессы аннигиляции вещества/антивещества на границах их раздела практически не происходят, поэтому и не наблюдается  $\gamma$ -излучение с характерным для этих процессов спектром.

## Заключение

Согласно двузнаковой гравитации, Вселенная является однородной изотропной и гравитационно-нейтральной. Размеры её причинно-связанных областей увеличиваются со скоростью света. На космологических масштабах имеет место равновесие сил притяжения и отталкивания, гравитация отсутствует и пространство является плоским. Самыми крупными структурными элементами Вселенной являются миры и антимирры. Их характерный современный размер приблизительно четырнадцать миллиардов световых лет. В мирах и антимирах существуют гравитационные поля, но их влияние на общую динамику Вселенной является слабым.

Динамику Вселенной определяет гравитационно-нейтральная материя. Основной её компонентой является физический вакуум. Он не только электро-, но и гравитационно-нейтрален. Частицы и античастицы являются его возбужденными состояниями. Частицы — состояния с положительной энергией, а античастицы — состояния с отрицательной энергией. Между ними существует антитяготение. В любом месте Вселенной вакуум выделяет локально-инерциальную систему отсчёта.

Отсутствие антивещества в Мире связано не с реальной барионной асимметрией, а с процессами разделения вещества и антивещества в ранней Вселенной и её динамикой. Эта точка зрения качественно изложена в следующем разделе, а более подробно в разделе 25.

## Глава 5

# Миры и антимирры

«Сохраняют ли свою силу законы ОТО в космологических масштабах или для крупномасштабной структуры Вселенной существенны какие-то явления, о которых мы сейчас даже и не догадываемся, — всё это нельзя выяснить ни путём «чистого мышления», ни путём чисто эмпирических наблюдений. Проблема может быть решена только сочетанием непрекращающихся усилий по накоплению данных наблюдений и разработке теоретических вопросов.»<sup>1</sup>

Бергман П.

### 5.1 Общие замечания

В современной физической теории существование для любой элементарной частицы соответствующей ей античастицы является доказанным. Считается, что некоторые частицы совпадают со своими античастицами [1]. В теорию частицы и античастицы входят равноправно. Учитывая это, естественно думать, что во Вселенной частицы и античастицы должны присутствовать в равных количествах. Впервые эта идея была высказана Дираком в его нобелевской лекции (1933г) и имела многочисленных сторонников см., например, [3; 4; 5].

В тоже время считается, что вся совокупность наблюдательных данных позволяет уверенно говорить об обратном. В достаточно большой области окружающего нас пространства вещество присутствует, а антивещества нет. Масштаб этой области составляет миллиарды световых лет [2; 6; 7].

В теории «перекося» состава наблюдаемой части Вселенной в сторону частиц определяют термином «барионная асимметрия». Широко распространено мнение, что барионная асимметрия является свойством всей Вселенной и она состоит лишь из вещества [2; 6].

Фактором, определяющим динамику космической среды на космологических масштабах, является гравитационное поле. Современной теорией этого поля является эйнштейновская общая теория относительности (ОТО). В этой теории гравитация

---

<sup>1</sup>см. [25]

не различает частицы и античастицы и вследствие этого в ней не содержится регулярного механизма обеспечивающего их пространственное разделение. Считают, что во Вселенной, на всех этапах её эволюции, разделения частиц и античастиц на космологических масштабах не происходило.

В рамках стандартной ОТО, не различающей частицы и античастицы, показано, что если бы Вселенная была строго симметричной по частицам и античастицам, то в процессе её расширения и остывания все равномерно перемешанные барионы и антибарионы должны были проаннигилировать и не только антимирры но и миры не должны были бы существовать [2; 6; 7]. Наблюдения говорят о другом: видимая, причинно-связанная с наблюдателем часть Вселенной содержит приблизительно  $10^{79} \div 10^{80}$  протонов и нейтронов, при этом заметных количеств антипротонов и антинейтронов в ней нет.

Согласно современным представлениям, Вселенная не является симметричной по частицам и античастицам. Чтобы объяснить наблюдаемый факт отсутствия антибарионов в окружающем нас пространстве, предполагают возможность спонтанного нарушения симметрии в реакциях рождения/уничтожения частиц/античастиц. Считается, что Мир состоит из «лишних» барионов, возникших в ранней Вселенной и сохранившихся после эпохи аннигиляции барионов и антибарионов [7]. В рамках эйнштейновской теории гравитации, в отсутствие регулярного механизма разделения частиц и античастиц, такое объяснение наблюдаемой барионной асимметрии представляется, пожалуй, единственно разумным.

Возможность принципиально другого объяснения наблюдаемой барионной асимметрии возникает, если предположить, что в реальности гравитация различает частицы и античастицы. В связи с этим отметим следующее.

Большинство учёных считает, что гравитация не различает частицы и античастицы и они притягиваются. Отметим лишь, что это широко распространённое мнение не является строго доказанным. В силу слабости гравитационного взаимодействия между элементарными частицами и в отсутствие тел состоящих из античастиц, лабораторные исследования гравитационного взаимодействия вещества с антивеществом до сих пор не были осуществлены. Лишь в последнее время такие попытки предпринимаются. Коллаборация АЛЬФА в Церне проводит эксперименты, которые, возможно, позволят понять существует ли антитяготение между частицами и античастицами [12]. Если антитяготение между частицами и античастицами будет установлено, то это окажет огромное влияние на существующие представления о составе Вселенной и её динамике. При этом принципиально по другому, чем сейчас, можно будет объяснить наблюдаемую барионную асимметрию [21]. Поясним это качественно.

Предположим, что реальная гравитация различает частицы и античастицы. В рамках этого предположения можно, не вступая в противоречие с наблюдениями, считать, что источником гравитационного поля являются «гравитационные заряды» и они у частиц и античастиц отличаются знаками, см. разделы 3 и 16. Чтобы согласовать идею о «гравитационных зарядах» с существующими представлениями о том, что любые компоненты космической среды являются источниками гравитационного поля, следует считать, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица. При одинаковых энергиях частица и её античастица имеют равные по величине, но противоположные по знаку гравитационные заряды, при этом одноимённые гравитационные заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. С учётом этой гипотезы предложена теория, учитывающая различие знаков гра-

витационных зарядов частиц и античастиц. Она названа двузнаковой гравитацией [8]. Источником гравитационного поля в двузнаковой гравитации является тензор в котором, в отличие от тензора энергии-импульса, являющегося источником эйнштейновской гравитации, однотипные вклады частиц и античастиц не суммируются, а вычитаются. Теоретически возможен и другой вариант теории гравитации, различающей частицы и античастицы [13], в котором некоторые из частиц имеют нулевой гравитационный заряд, см. раздел 26. Полагаем, что выбор правильного варианта теории гравитации, различающей частицы и античастицы будет сделан на основе экспериментальных исследований, а также наблюдательных астрономических данных.

В двузнаковой гравитации, различающей вещество и антивещество, считается, что Вселенная симметрична по частицам и античастицам и является гравитационно-нейтральной. Во Вселенной на космологических масштабах имеет место равновесие гравитационных сил притяжения и отталкивания и она расширяется равномерно. В отличие от этого, согласно ОТО Вселенная «гравитационно-заряжена» и её расширение является существенно неравномерным [2; 6]

Совершенно по разному, согласно расчётам в рамках двузнаковой гравитации и в рамках ОТО, протекают процессы роста возмущений плотности частиц и античастиц в расширяющейся Вселенной. В эйнштейновской гравитации, не различающей частицы и античастицы, нет причин для различия в росте этих возмущений. Другая ситуация в двузнаковой гравитации. Расчёты показывают, что вследствие наличия антитяготения между частицами и античастицами ещё в ранней Вселенной эффективно шёл процесс в результате которого она распалась на миры и антимир — области, содержащие лишь барионы и антибарионы, соответственно, см. раздел 25. Распад Вселенной на миры и антимир имел место в нерелятивистской (барионной) компоненте космической среды. Такого распада в релятивистской компоненте космической среды, состоящей из фотонов и нейтрино, а также их античастиц, не происходило.

Зародыши миров и антимиров возникли в эпоху аннигиляции барионов и антибарионов, а окончательно они выделились к концу эпохи аннигиляции электрон-позитронных пар. Оставаясь «вмороженными» в равномерно растягивающееся пространство Вселенной, миры и антимир продолжали расширяться и к настоящему времени, области ими занимаемые, имеют характерные размеры приблизительно четырнадцать миллиардов световых лет. Мы находимся в одном из множества миров. Отсутствие антибарионов в нашем Мире, согласно двузнаковой гравитации, связано не с нарушением симметрии в реакциях рождения/уничтожения барионов/антибарионов, а с процессами их разделения в ранней Вселенной и её динамикой.

Миры и антимир отталкиваются. Вследствие этого, практически отсутствует аннигиляция вещества-антивещества на границах их раздела. Процессы аннигиляции завершились ещё задолго до эпохи рекомбинации. Родившееся при аннигиляции частиц/античастиц излучение к началу эпохи рекомбинации успело термализоваться.

Распад Вселенной на миры и антимир был неизбежен вследствие внутренней природы двузнаковой гравитации. В этой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды разных знаков, при этом одноимённые заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Вследствие этого, в двузнаковой гравитации, в отличие от стандартной ОТО, не различающей частицы и античастицы, существует регулярный механизм их разделения. Его действие проявилось ещё в самой ранней

Вселенной, в результате чего она и распалась на миры и антимирры. Опишем качественно детали этого распада более подробно.

## 5.2 Распад Вселенной на миры и антимирры

В космической среде изначально существовали тепловые флуктуации плотности частиц и античастиц. При этом, вследствие различия знаков гравитационных зарядов у частиц и античастиц, в расширяющейся Вселенной действовал механизм, обеспечивающий регулярный рост этих флуктуаций. Он был обусловлен притяжением одноимённых гравитационных зарядов и отталкиванием разноимённых.

Механизм расслоения, первоначально равномерно перемешанных в ранней гравитационно-нейтральной Вселенной частиц и античастиц, состоял в следующем. Начальные флуктуации повышенной плотности частиц создавали локальные гравитационные поля. Они втягивали в эти флуктуации частицы и выталкивали из них античастицы. Это создавало регулярный рост этих флуктуаций. Симметричный процесс имел место в флуктуациях с повышенной плотностью античастиц. Имела место нетривиальная гравитационная неустойчивость, отличающаяся от джинсовской наличием гравитационных зарядов двух знаков. Скорость роста возмущений в этой неустойчивости определялась равновесием сил гравитации и сил трения в противоположных направлениях вещества и антивещества, подробности в разделе 25.

Условия развития гравитационной неустойчивости в ранней Вселенной, согласно эйнштейновской и двузнаковой гравитациям, отличаются кардинально. В первом случае, на масштабах причинно-связанных областей, они не выполнялись [6; 7], тогда как во втором выполнялись с большим запасом см. раздел 25. Различие в условиях развития гравитационной неустойчивости в этих теориях обусловлено двумя причинами. Первая из них связана с совершенно разным темпом расширения ранней Вселенной, предсказываемым этими теориями. Согласно двузнаковой гравитации ранняя Вселенная расширяется значительно медленнее, чем это предсказывает ОТО, см. рис. 4.3. В ней нет сверхсветовых скоростей расширения. Вторая причина: в двузнаковой гравитации существует регулярный механизм пространственного разделения частиц и античастиц, в эйнштейновской гравитации его нет.

Согласно расчётам, в рамках двузнаковой гравитации характерное время роста возмущений плотности частиц и античастиц, обусловленного гравитационной неустойчивостью, много меньше, чем текущий возраст Вселенной. Вследствие этого, в ранней Вселенной длительное время имел место экспоненциальный рост возмущений плотности частиц и античастиц. С учётом этого, в двузнаковой гравитации проблема начальных возмущений рассматривается без каких-либо произвольных предположений. Считается, что начальными возмущениями являются тепловые флуктуации космической среды и они, к началу эпохи интенсивной аннигиляции барион/антибарионных пар, успевают вырасти до заметного уровня, см. раздел 25.

Рассматривались флуктуации характерный масштаб которых равен текущему размеру причинно-связанных областей Вселенной. Они содержали приблизительно по  $10^{88}$  барионов/антибарионов. Выбор флуктуаций такого масштаба связан с идеей рассматривать наблюдаемую часть современной Вселенной, как следствие развития одной из флуктуаций. Согласно статистической теории, для рассматриваемых тепловых флуктуаций, начальные амплитуды возмущений плотности частиц/античастиц были на уровне  $10^{-44}$  от их равновесных значений.



Рост флуктуаций в гравитационно-нейтральной равномерно расширяющейся Вселенной происходил до тех пор, пока в результате её охлаждения не началась интенсивная аннигиляция барионов и антибарионов. Расчёты показывают, см. раздел 25., что к началу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов амплитуда флуктуаций плотности вещества и антивещества в объёмах, содержавших приблизительно по  $10^{88}$  частиц и античастиц, успела достичь значений  $\delta n/n \sim 10^{-10} \div 10^{-9}$ . Она была относительно малой, но на много порядков большей, чем начальная амплитуда. После завершения аннигиляции в флуктуациях «выжила» лишь «избыточная» часть барионов и антибарионов, для которых не нашлось партнёров. Их количество определялось амплитудой возмущений плотности барионов и антибарионов в эпоху их аннигиляции. В расширяющейся Вселенной образовались области, содержащие лишь барионы (миры) и области, содержащие лишь антибарионы (антимир). Подавляющая часть барионов и антибарионов, имевшихся до аннигиляции, проаннигилировала и превратилась в излучение и слабо взаимодействующие частицы. Так как амплитуда возмущений плотности вещества/антивещества, для рассматриваемых флуктуаций, к началу эпохи аннигиляции барионов-антибарионных пар достигла значений  $10^{-10} \div 10^{-9}$ , то к окончанию этой эпохи барион-фотонное соотношение установилось на уровне  $10^{-10} \div 10^{-9}$  и в дальнейшем сохранялось. Согласно наблюдениям именно таким оно и является в настоящее время [6; 7].

Вселенная расширяется, увеличивается её масштаб. Прошлые эпохи эволюции Вселенной удобно характеризовать величиной их красных смещений  $z$ . По определению, эпохе, имеющей красное смещение  $z$ , соответствовал текущий масштаб Вселенной в  $(z + 1)$  раз меньший, чем современный. Например, эпохе интенсивной аннигиляции барионов/антибарионов соответствует красное смещение  $z \simeq 10^{12}$ , эпохе аннигиляции электрон-позитронных пар:  $z \simeq 10^9$ , эпохе рекомбинации:  $z \simeq 10^3$  [2; 6].

Расчёты в рамках модели равномерно расширяющейся Вселенной показывают, что в конце эпохи барион/антибарионной аннигиляции, при  $z \lesssim 10^{12}$ , характерный размер, образовавшихся зародышей миров и антимиров, был приблизительно  $10^6$  световых секунд. Плотность массы барионов/антибарионов к концу эпохи их аннигиляции в космической среде упала приблизительно на девять-десять порядков и стала приблизительно равной  $10^5 \div 10^6$  г/см<sup>3</sup>. Зародыши миров и антимиров содержали приблизительно по  $10^{79} \div 10^{80}$  барионов и антибарионов. Считается, что именно такое количество барионов и содержится в наблюдаемой части современной Вселенной, см., например, [2; 6].

При  $z \lesssim 10^{12}$  ( $T \lesssim 3 \cdot 10^{12}$  К) зародыши миров и антимиров были заморожены в релятивистскую расширяющуюся космическую среду, состоявшую, в основном, из электронов, нейтрино, фотонов и их античастиц. В эту эпоху подавляющая часть энергии космической среды была заключена в её релятивистской компоненте.

При  $z \lesssim 10^9$  ( $T \lesssim 3 \cdot 10^9$  К) произошла аннигиляция электрон-позитронных пар и Вселенная окончательно распалась на миры и антимир. Их масштаб в это время был приблизительно  $10^9$  световых секунд. Подробности об этом распаде, см. в разделе 25.

Барионы ( $p, n$ ) и электроны в мирах и антибарионы ( $\bar{p}, \bar{n}$ ) и позитроны в антимирах ещё долго, приблизительно до  $z \simeq 10^3$  ( $T \approx 3 \cdot 10^3$  К) находились в термодинамическом равновесии с излучением. Закон расширения миров и антимиров в эпоху от  $z \simeq 10^9$  до  $z \simeq 10^3$  мало отличался от закона расширения Вселенной в целом. Различие скоростей расширения Вселенной и её структурных элементов (миров и антимиров) было связано с возмущающим влиянием гравитационных полей

последних на их динамику. Оно привело к тому, что при  $z \simeq 10^3$  средняя плотность материи в мирах и антимирах стала на  $10^{-4} \div 10^{-5}$  больше, чем средняя плотность космической среды во Вселенной.

Согласно расчетам в рамках модели равномерно расширяющейся Вселенной, размер миров и антимиров в эпоху рекомбинации ( $z \simeq 10^3$ ), когда барионы и антибарионы стали термодинамически независимыми от излучения, составлял приблизительно  $14 \cdot 10^6$  световых лет ( $\simeq 4.2$  Мпк). При таких линейных размерах они в настоящее время должны наблюдаться как объекты имеющие угловой размер  $\Delta\theta$  около градуса. Расчёты можно провести, используя удобное средство компьютерного моделирования динамики Вселенной в режиме online на нашем сайте [www.cosmoway.ru](http://www.cosmoway.ru).

Наблюдение тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения см., например, [2; 7; 30]. Они являются свидетельством существования неоднородностей в распределении видимой барионной компоненты материи. Во многих местах реликтового фона, чётко наблюдаются пятна, имеющие угловые размеры около одного градуса. Учитывая оценки, приведённые выше, предполагаем, что эти пятна являются мирами и антимирами. По-видимому, они распределены в пространстве регулярно и являются наиболее крупными структурными элементами Вселенной. Мы живём в одном из миров. Полагаем, что невозможность чётко видеть в полном объёме периодичность в пространственном распределении миров и антимиров связана с «загораживающим» влиянием неоднородностей, возникших в нашем Мире значительно позже, чем он сам появился.

Миры и антимирры имеют гравитационные заряды противоположных знаков и вследствие этого не стремятся сблизиться и сталкиваться. Процессы аннигиляции вещества и антивещества на границах их раздела практически выключены. Миры и антимирры «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство гравитационно-нейтральной Вселенной. Их современный размер приблизительно  $14 \cdot 10^9$  световых лет.

Различие в скорости расширения гравитационно-нейтральной Вселенной и гравитирующих миров и антимиров, связано с влиянием гравитационных полей последних на их динамику. Приблизённо можно считать, что при  $z \lesssim 10^9$  миры и антимирры расширяются как независимые хаббловские шары с практически однородным начальным распределением в них вещества/антивещества.

Всё что наблюдают астрономы, кроме реликтового излучения, приходит в основном из нашего Мира, а он состоит из вещества. Отсутствие антивещества в наблюдаемой части Вселенной, согласно предлагаемому объяснению в рамках двузнаковой гравитации, связано не с реальной барионной асимметрией, а с процессами разделения вещества и антивещества в ранней Вселенной и её общей динамикой. Согласно изложенной выше точке зрения, в ранней Вселенной в огромных количествах присутствовали барионы и антибарионы. Подавляющая их часть проаннигилировала в эпоху их аннигиляции. Выжила лишь приблизительно одна миллиардная часть из них. Выжившие барионы и антибарионы образовали миры и антимирры. Распад Вселенной на миры и антимирры был обусловлен тем, что между частицами и античастицами действует антитяготение.

Полагаем, что уже более пятнадцати лет, как астрономы наблюдают ранние миры и антимирры. Есть основания считать, что ими являются относительно яркие пятна на почти однородном фоне реликтового излучения, имеющие угловой размер приблизительно равный градусу.

Впервые идея о зарядово-симметричной Вселенной высказана П. Дираком в 1933 г. в его нобелевской лекции. Согласовать эту идею с наблюдениями в рамках ОТО оказалось невозможным. В тоже время в рамках двузнаковой гравитации это согласование легко достигается. При этом может сохраняться простой и красивый вариант квантовой теории, не предполагающий возможности спонтанного нарушения симметрии в процессах рождения/уничтожения частиц/античастиц, но проводится уточнение ОТО. Учитывается, что согласно основополагающим идеям квантовой теории естественно предполагать, что гравитация различает частицы и античастицы.

По-видимому, Дирак был прав, утверждая, что во Вселенной частицы и античастицы должны присутствовать в равных количествах. Он верил в правильность красивой теории!

В следующем разделе обсуждается гипотеза о существовании антифотонов и связанные с ней возможные способы их наблюдения. Предположение о существовании антифотонов не является обязательным для теории гравитации, различающей частицы и античастицы. В тоже время, изучение этой возможности является оправданным, так как если идея об антифотонах окажется верной, то это будет иметь серьёзные последствия для развития физики. В противном случае, необходимо будет изучать более сложный вариант двузнаковой гравитации, в котором не все частицы являются источниками гравитационного поля.

## Глава 6

# ФОТОНЫ И АНТИФОТОНЫ

«Свет — рука левая тьмы  
Тьма — рука правая света.  
Двое — в одном, жизнь и смерть,  
И лежат они вместе.  
Сплелись неразрывно  
Как руки любимых,  
Как путь и конец.»  
Урсула Ле Гуин «Левая рука тьмы»

### 6.1 Антифотоны

В астоящее время предполагается, что гравитация не различает частицы и античастицы см, например, [2; 7; 14]. Возможно, что это предположение не является правильным. В [8; 13] высказана гипотеза о том, что источником гравитационного поля являются «гравитационные заряды» и они у частиц и античастиц отличаются знаком. С учётом этого, предложена теория гравитации, в которой считается, что между частицами и античастицами существует антитяготение. В этой теории источником гравитационного поля является тензор, отличие которого от тензора энергии-импульса ОТО лишь в одном, однотипные вклады частиц и античастиц не суммируются, а вычитаются [8], см. подробно в разделе 16.

Чтобы согласовать идею о «гравитационных зарядах» с существующим представлением о том, что все компоненты космической среды являются источниками гравитационного поля, высказана следующая гипотеза: у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица. Частицы и античастицы имеют противоположные по знаку гравитационные заряды. Величины этих зарядов определяются энергией частиц и античастиц. При определении гравитационных зарядов, учитывается вывод квантовой теории о том, что античастица отличается от соответствующей ей частицы знаком энергии, см. раздел 16.

Предположенная теория, названна двузнаковой гравитацией. В этой теории гравитация различает частицы и античастицы. Между ними существует антитяготение и они все являются источниками гравитационного поля.

Идея об антифотонах кажется фантастической. В тоже время, не видно теоретических запретов на их существование. Явно, различие в поведении фотонов и антифотонов может проявляться лишь в сильных гравитационных полях. В обычных

условиях оно является столь малым, что, возможно, могло «ускользнуть» от наблюдателей, поскольку его специально никто не искал.

В двузнаковой гравитации гравитационные заряды фотонов/антифотонов определяются их энергией и имеют противоположные знаки. Фотоны и антифотоны отличаются друг от друга не только знаком гравитационного заряда, но и спиральностями, см. раздел 23.

Различие поведения фотонов и антифотонов в гравитационном поле может проявиться в наблюдениях. Доказательство существования такого различия имело бы огромное значение для развития физики.

В двузнаковой гравитации фотоны и антифотоны имеют гравитационные заряды противоположных знаков и вследствие этого воспринимают отклонение метрики пространства-времени от псевдоевклидовой (гравитационное поле), как имеющее разный знак. Одно и то же гравитационное поле фотоны и антифотоны воспринимают по-разному. Вследствие этого, при одинаковых начальных условиях, они движутся не одинаково. Для фотонов и антифотонов изменение частоты, при их движении в гравитационном поле, происходит различным образом. Гравитационные поля тел, состоящих из частиц является полями тяготения (притяжения) для фотонов и полями антитяготения (отталкивания) для антифотонов. Обратная ситуация, будет в случае гравитационных полей тел, состоящих из античастиц, см. раздел 16.

Рассмотрим наблюдения, в которых, согласно двузнаковой гравитации, присутствие антифотонов должно проявиться.

## 6.2 Антифотоны в гравитационном поле Земли

Согласно двузнаковой гравитации, при подъёме фотонов и антифотонов в гравитационном поле Земли их частота должна меняться по-разному. Для фотонов она должна уменьшаться, а для антифотонов увеличиваться. Формулы, определяющие изменение частоты  $\nu$  фотонов и  $\bar{\nu}$  антифотонов, при их вертикальном подъёме в поле тяжести Земли на высоту  $h$  ( $h \ll R$ ,  $R$  — радиус Земли), имеют вид:

$$\nu(h) = \nu_0 \left(1 - \frac{gh}{c^2}\right), \quad \bar{\nu}(h) = \nu_0 \left(1 + \frac{gh}{c^2}\right),$$

где  $g \simeq 9,8$  м/сек,  $c$  — скорость света, см. раздел 23.

Экспериментальные методы, позволяют измерять очень малые смещения частоты фотонов. Ещё в 1959 г американским физикам Р. Паунду и Д. Ребке удалось наблюдать, с использованием эффекта Мёссбауэра, гравитационное смещение спектральных линий  $\gamma$ -излучения при его распространении в поле тяжести Земли. Проходимый путь составлял, по вертикали, приблизительно 22 м. В этом случае ожидаемое смещение для фотонов  $\Delta\nu/\nu_0 \approx 2 \cdot 10^{-14}$ . Измерения дали именно этот результат. В этом сложном эксперименте было найдено то, что искали — красное гравитационное смещение  $\gamma$ -квантов. Повторение аналогичных измерений для антифотонов, в предположении, что они существуют, являются актуальной задачей.

## 6.3 Антифотоны в сильном гравитационном поле

В спектрах источника SS 433, проявляются яркие эмиссионные линии водорода, гелия и некоторых других элементов, имеющих следующие особенности. Около каж-

дой основной линии  $\lambda_i$  существует две дополнительные:  $\lambda_{iB}$  — смещённая в синюю и  $\lambda_{iR}$  — смещённая в красную сторону относительно  $\lambda_i$ , см., например, [27]. Считается, что расщепление эмиссионных линий на три связано с доплеровским сдвигом длин волн. Предполагается что в излучающем объекте имеются три области, движущиеся по отношению к наблюдателю с различной скоростью. Чтобы объяснить наблюдения, предполагают, что линии  $\lambda_{iB}$  и  $\lambda_{iR}$  излучаются атомами, двух «холодных» газовых струй, бьющих вдоль одной линии в противоположных направлениях со скоростями приблизительно 0,27 скорости света. Чтобы происходило излучение эмиссионных линий и они проявлялись, струи должны быть не только «холодными» ( $T \lesssim (1 \div 2)10^4\text{K}$ ), но и узкими (угловое расхождение струй  $\lesssim 1 \div 2$ ).

Альтернативное объяснение расщеплений эмиссионных линий источника SS 433 основано на идее о существовании антифотонов. Считается, что это расщепление связано с различием влияния гравитации на фотоны и антифотоны, см. раздел 24.

Наблюдаемое расщепление эмиссионных спектральных линий на две, источника SS 433, возможно, уже подтверждает идею двузнаковой гравитации с антифотонами. Полагаем, что, возможно, для установления факта существования антифотонов, достаточно показать, что фотоны в линиях  $\lambda_{iR}$  и  $\lambda_{iB}$  источника SS 433 отличаются знаком спиральности.

## 6.4 О расщеплении спектра аннигиляционных $\gamma$ -квантов

В окрестности релятивистских объектов (нейтронных звёзд, чёрных дыр и других) могут происходить процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц, см., например, [2; 6]. При этом, учитывая идею о «гравитационных зарядах» и их сохранении, естественно считать, что при аннигиляции частиц/античастиц, кроме фотонов, рождаются и антифотоны.

Если с поверхности этих объектов, имеющих массу  $M$  и радиус  $R$ , излучаются фотоны и антифотоны с частотой  $\nu_0$ , то вдалеке от них, согласно двузнаковой гравитации, должно наблюдаться расщепление этой линии на две. Оно обусловлено различием влияния гравитационного поля на фотоны и антифотоны. Предполагаемое смещение расщеплённых линий относительно  $\nu_0$ , см. раздел 23:

$$\Delta\nu = \pm \frac{1}{2} \frac{r_g}{R} \nu_0,$$

где  $r_g = 2GM/c^2$  — гравитационный радиус этих объектов. Для нейтронных звёзд  $r_g \approx 5 \cdot 10^5$  см,  $R \lesssim 4r_g$  см,  $\Delta\nu/\nu_0 \lesssim 0,12$  расщепление является значительным и должно чётко проявляться в наблюдениях. В расщеплённых линиях должно наблюдаться различие спиральностей фотонов/антифотонов. В случае аннигиляции электрон-позитронных пар  $\nu_0 \simeq mc^2/h$ , где  $m$  — масса электрона.

На рис. 6.1 схематично показаны предполагаемые спектры  $\gamma$  – квантов, рождающихся в окрестности релятивистских объектов в процессах аннигиляции электрон – позитронных пар. В случае а) считается, что рождаются только фотоны, тогда как в случае б) предполагается, что в равных количествах рождаются и фотоны и антифотоны.

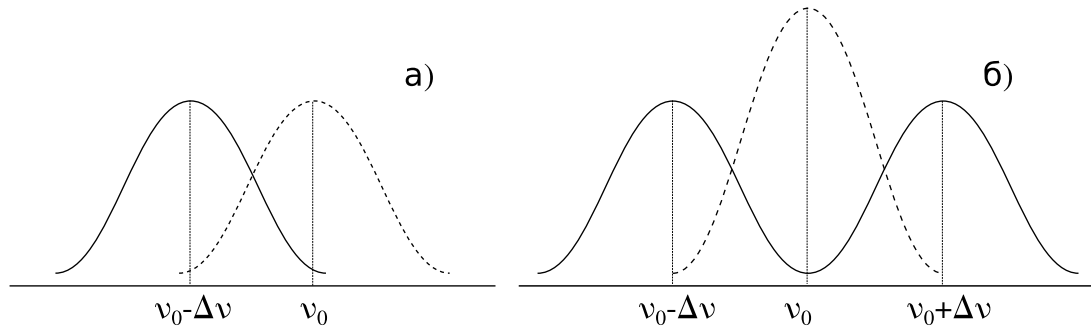


Рис. 6.1: Схематичное изображение предполагаемого спектра  $\gamma$ -квантов, рождающихся на поверхности релятивистской звезды при аннигиляции электрон-позитронных пар. а) — рождаются только фотоны; б) — рождаются фотоны и антифотоны.  $\nu_0 \simeq mc^2/h$ ,  $m$  — масса электрона.

## 6.5 Релятивистские объекты на фоне гравитационных линз

Согласно двузнаковой гравитации, можно ожидать, что в окрестности релятивистских объектов в реакциях аннигиляции в равных количествах рождаются  $\gamma$ -кванты и анти $\gamma$ -кванты. Если это так, то при наблюдении этих объектов на фоне гравитационных линз, должны наблюдаться особенности в их  $\gamma$ -изображениях, обусловленные различием отклонений фотонов и антифотонов в гравитационном поле линзы. Гравитационные линзы, состоящие из вещества, являются притягивающими для фотонов и отталкивающими для антифотонов. Влияние гравитационных линз, состоящих из антивещества, является противоположным. Учитывая это, можно ожидать, что луч света, идущий от релятивистского объекта в поле гравитационной линзы расщепится на два луча — фотонный и антифотонный. Вследствие этого должно наблюдаться расщепление изображения релятивистских объектов на фоне гравитационных линз. В зависимости от взаимного положения излучающего объекта, гравитационной линзы и приёмника будут различными карты изображений наблюдаемого объекта. Эти карты, кроме изображения, предсказываемого ОТО, должны содержать ещё и «смещенное» изображение этого же объекта, создаваемое антифотонами. Излучения расщеплённых изображений должны иметь круговые поляризации разных знаков.

## 6.6 Гравитационные линзы на реликтовом фоне

Вселенная практически однородно заполнена реликтовым излучением. Оно является чернотельным и его современная температура приблизительно  $2,725^\circ\text{K}$  [2; 6]. В рамках двузнаковой гравитации естественно считать, что реликтовое излучение содержит одинаковые количества фотонов и антифотонов.

Наблюдения тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения яркости.

Возможны две главные причины их возникновения. Первая из них связана с неоднородностью «поверхности» отрыва реликтового излучения от вещества/антивещества в эпоху рекомбинации. Вторая связана с неоднородностью среды, через которую распространяется реликтовое излучение.

Неоднородности в распределении вещества/антивещества в эпоху рекомбинации, интерпретируется в двузнаковой гравитации как зародыши миров и антимиров, см. раздел 25. Они должны проявляться не только в наблюдаемой анизотропии температуры реликтового излучения, проходящего из этих областей, но и в анизотропии круговой поляризации. Анизотропию поляризации реликтового излучения в рамках двузнаковой гравитации можно трактовать как являющуюся следствием различия условий распространения фотонов и антифотонов в зародышах миров и антимиров и различием их спиральностей, см. пункт 23.1.

Неоднородности космической среды являются для проходящего через них реликтового излучения, гравитационными линзами. Есть основание предполагать, что наблюдаемая часть Вселенной состоит из вещества [2; 6]. Если это так, то в рамках двузнаковой гравитации, наблюдаемые гравитационные линзы для фотонов являются собирающими, а для антифотонов рассеивающими. Если линза сферически симметричная, то в реликтовом излучении она будет наблюдаться как имеющая более яркую центральную часть (фотоны) и более слабое кольцо, охватывающее её (антифотоны). Поскольку фотоны и антифотоны различаются спиральностью, то должно наблюдаться различие в круговой поляризации центральной части и периферии. У центральной части и у кольца направления поляризаций должны быть противоположными. В случае линз более сложной геометрической конфигурации, отмеченные особенности должны проявляться в изображениях отдельных её элементов.

## 6.7 Фотоны и антифотоны. Ожидания

Физическим параметром, который, кроме знака гравитационного заряда, отличает фотоны от антифотонов, возможно, является их спиральность см. пункт 23.1. Если это так, то они легко могут быть разделены. Для этого следует воспользоваться отличием законов распространения фотонов различной спиральности в анизотропных средах, см., например, [26].

Если гравитация различает фотоны различных спиральностей, то это может стать эффективным инструментом в изучении антитяготения. Фотоны и антифотоны можно будет сепарировать, принимать с огромных расстояний и с высочайшей степенью точности измерять их параметры.

Различие в поведении фотонов и антифотонов в гравитационном поле может найти широкое применение на практике. Приведем лишь некоторые возможные варианты такого применения.

- Различие в гравитации фотонов и антифотонов может быть использовано для изучения процессов, протекающих в окрестности релятивистских объектов.
- Отделяя антифотоны и поглощая их можно пытаться создать объекты, на которые будет действовать антитяготение.
- Различие в траекториях движения фотонов и антифотонов может быть использовано для регистрации возмущений пространства-времени во Вселенной (гравитационных волн).

В заключение первой части книги приведём краткий перечень обсуждавшихся в ней проблем и предложенных способов их решения.



# Глава 7

## Заключение

«Этого не может быть, потому что этого не может  
быть никогда»

А. П. Чехов “Письмо к учёному соседу”

### 7.1 Двухзнаковая гравитация

- Предложен вариант теории, в котором гравитация различает частицы и античастицы. Считается, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует отличающаяся от неё античастица. Высказана гипотеза о том, что гравитационные заряды у частиц и античастиц, определяющиеся их энергией, отличаются знаками. Считается, что энергии античастиц и частиц отличаются знаком. Это находится в соответствии с представлениями релятивистской квантовой теории. Предлагаемая теория названа двухзнаковой гравитацией. В этой теории имеет место закон сохранения гравитационного заряда, согласно которому полные энергии частиц и античастиц Вселенной равны друг другу и в ходе её эволюции не меняются. В отличие от электрических зарядов нет элементарных гравитационных зарядов, не может происходить их рождение/уничтожение, они могут лишь перераспределяться. В двухзнаковой гравитации законы сохранения энергии и гравитационного заряда совпадают, так как энергия и гравитационный заряд это одно и то же, см. раздел 16.
- В двухзнаковой гравитации сохранена эйнштейновская идея о взаимосвязи гравитации с геометрическими свойствами пространства-времени. Считается, что источником гравитационного поля (искривления пространства-времени) является тензор энергии-импульса, в котором, в отличие от тензора энергии-импульса ОТО, однотипные вклады частиц и античастиц не суммируются, а вычитаются. При таком описании источников гравитационного поля между частицами и античастицами существует антитяготение. Вклады частиц и античастиц в искривление пространства-времени берутся с противоположными знаками.
- В двухзнаковой гравитации частицы и античастицы по-разному воспринимают одно и то же гравитационное поле. Античастицы можно рассматривать как частицы с положительной энергией, но движущиеся во времени вспять. В искривлённом пространстве-времени они движутся по геодезическим, но они не

совпадают с геодезическими для частиц. Изменения длин волн у частиц и античастиц, переходящих из одной точки гравитационного поля в другую, имеют различные значения и знаки. Темп хода часов и античасов в гравитационном поле является различным.

## 7.2 Физический вакуум и гравитация

- В современной теории гравитации совершенно не понятно, почему физический вакуум, заключающий в себе подавляющую часть энергии Вселенной, не проявляется, а другие формы материи, заключающие в себе несравненно меньше энергии проявляются? В двузнаковой гравитации эта проблема физического вакуума естественным образом решается. Считается, что вакуум является однородной, электро- и гравитационно-нейтральной сплошной средой, однородно заполняющей Вселенную. Частицы и античастицы являются возбуждёнными состояниями вакуума. Предполагается, что уравнение состояния вакуумной материи таково, что как и реликтовое излучение в любой части Вселенной, вакуум выделяет привилегированную систему отсчёта. В локально-инерциальных системах отсчёта, движущихся относительно вакуума, должна проявляться анизотропия параметров частиц и античастиц. Высказана идея о материальной природе сил инерции. Показано, что они определяются взаимодействием частиц и античастиц с вакуумом, см. разделы 21 и 22.

## 7.3 Гравитационная нейтральность Вселенной

- Высказана гипотеза о гравитационной нейтральности Вселенной в целом. Приведены аргументы в её защиту. Модель гравитационно-нейтральной Вселенной является наиболее простой и красивой среди теоретически допустимых космологических моделей.
- Описана космологическая модель однородной изотропной гравитационно-нейтральной Вселенной (*S*-модель). В гравитационно-нейтральной Вселенной имеет место равновесие сил тяготения и антитяготения и вследствие этого она расширяется равномерно. Её трёхмерное пространство на космологических масштабах является плоским. *S*-модель имеет ясный физический смысл. Она содержит лишь один свободный параметр — постоянную Хаббла. Он определяет возраст современной Вселенной. Параметр Хаббла определяет текущий возраст Вселенной, см. раздел 17.
- Показано, что в рамках модели равномерно расширяющейся Вселенной, значительно проще и убедительнее, чем в рамках стандартной модели, основанной на ОТО, объясняется наблюдаемая динамика Вселенной. Это является важным аргументом в пользу правильности идей, лежащих в основе двузнаковой гравитации, см. раздел 18.

## 7.4 Структуры во Вселенной. Миры и антимир

Вопрос о структурах Вселенной, их зарождении и эволюции является одним из центральных в космологии. В существующих теориях, описывающих развитие структур, рассчитывается их эволюция при заданных начальных условиях. В их основе лежит теория гравитации, не различающая частицы и античастицы. Отличие известных теорий эволюции структур заключается в выборе начальных условий. Этот выбор в значительной степени является произвольным. В фундаментальной монографии [6, гл. 14] отмечается следующее: «Чем обусловлено возникновение первичных возмущений, каков их характер — об этом существуют только смутные догадки». В связи с неопределённостью в знании начальных возмущений, рассматриваются различные гипотезы о них.

В двузнаковой гравитации существует естественный механизм возникновения и роста гравитационно связанных структур. Вследствие наличия антитяготения между частицами и античастицами, ещё в эпоху, когда все компоненты космической среды находились в локальном кинетическом равновесии, существовали условия роста тепловых флуктуаций. В результате этого ещё в ранней Вселенной произошёл её естественный распад на области содержащие лишь барионы (миры) и области содержащие антибарионы (антимир). Приведены соображения в пользу гипотезы о том, что уже более пятнадцати лет, как астрономы наблюдают миры и антимир. Ими, по мнению авторов, являются объекты, наблюдаемые как относительно яркие пятна на почти однородном фоне реликтового излучения, имеющие характерный угловой размер около одного градуса, см. раздел 25.

## 7.5 Антифотоны

В рассматриваемом в настоящей книге варианте двузнаковой гравитации у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица, отличающаяся знаком гравитационного заряда. В работе описаны наблюдения, в которых различие в поведении фотонов и антифотонов в гравитационном поле может быть установлено.

Согласно двузнаковой гравитации, реликтовое излучение состоит из фотонов и антифотонов. Высказана гипотеза о том, что фотоны и антифотоны отличаются спиральностью. Вследствие различия влияния гравитации на фотоны и антифотоны в течение приблизительно  $14 \cdot 10^6$  лет (до начала эпохи рекомбинации) в мирах и антимирах происходило их расслоение. В мирах фотоны шли к их центрам, а в антимирах к периферии. В антимирах этот процесс шёл в обратном направлении. Учитывая это, можно предположить, что в эпоху рекомбинации миры излучали больше антифотонов, чем фотонов, а антимир, наоборот, излучали больше фотонов, чем антифотонов. Различие потоков фотонов и антифотонов из миров и антимиров может проявиться в наблюдениях. Излучение, приходящее из миров и антимиров должно иметь круговые поляризации противоположных знаков. Должна наблюдаться анизотропия круговой поляризации реликтового излучения с характерным угловым размером один градус (возможно,  $0, 25^\circ$ , см. раздел 18).

Согласно двузнаковой гравитации, в гравитационном поле должно иметь место расщепление эмиссионных спектральных линий на две. Эти линии должны иметь круговые поляризации разных знаков. В книге указано на ряд случаев, в которых различие в поведении фотонов и антифотонов в гравитационных полях может чётко

проявиться, см. разделы 23 и 24.

Нет оснований рассматривать антифотоны как новую неизвестную частицу. Ранее поведение фотонов и антифотонов экспериментально детально изучалось в процессах, для которых существенно электромагнитное взаимодействие. В этих процессах гравитационное взаимодействие на столько порядков меньше последнего:  $((e^2/Gm^2) \sim 10^{39-42})$ , что про гравитацию, кажется, можно забыть. Но это не так. И в этих процессах различие фотонов и антифотонов учитывалось, как имеющих различные поляризации. В любых процессах должен выполняться закон сохранения гравитационного заряда. В электродинамике он проявляется как регулирующий соотношения между фотонами различных спиральностей. В фейнмановских диаграммах необходимо учитывать, что антифотоны — это фотоны, но движущиеся во времени вспять.

## 7.6 Резюме

В настоящее время, очевидно, что подавляющая часть физического сообщества идею о различии в гравитации частиц и античастиц воспримет отрицательно. Предлагаемая авторами двузнаковая гравитация слишком сильно меняет существующие представления о пространстве-времени, о составе космической среды и динамике Вселенной и о многом другом. Приведенный к настоящему разделу эпиграф — это не утверждение о некомпетентности большинства, а скорее об ожидаемой реакции «здорового смысла».

Авторы показывают, что гипотеза о неразличии частиц и античастиц в гравитации требует тщательной проверки. Показано, что альтернативная гипотеза, в теоретическом плане, обладает явным преимуществом. Зачем нарушать симметрию физической теории там, где можно обойтись без этого? Согласно двузнаковой гравитации Вселенная не только электро-, но и гравитационно-нейтральна, а гравитация, как и другие фундаментальные взаимодействия, различает частицы и античастицы и является материальной по своей природе. Главной компонентой космической среды является физический вакуум квантовой теории. Он однородно заполняет Вселенную. Частицы и античастицы являются возбужденными состояниями вакуума. Частицы состояниями с положительной энергией, а античастицы состояниями с отрицательной энергией. В двузнаковой гравитации энергия и гравитационный заряд являются тождественными понятиями. В рамках таких представлений наблюдаемая динамика Вселенной объясняется значительно проще и убедительнее, чем в рамках ОТО.

В настоящее время отсутствуют наблюдения, которые можно было бы интерпретировать как прямое доказательство существования антитяготения между частицами и античастицами. Лишь в самое последнее время предпринимаются попытки решить эту фундаментальную задачу в прямом эксперименте [12].

Если будет подтверждено наличие антитяготения между частицами и античастицами, то это повлечёт за собой пересмотр существующих представлений о барионной асимметрии, о динамике Вселенной и зарождении в ней структур, о динамике космической среды в окрестности релятивистских объектов и проблеме сингулярностей в гравитации, а также многих других. Физика гравитации станет красивее, богаче и идейно ближе к квантовой теории.

# Список литературы

- [1] Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. — М.: Наука, 1988.
- [2] Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва. — М.: ЛКИ, 2008.
- [3] Alfven, H. // A. Elius Proc IAU Supl. — 1973. — № 63.
- [4] Б. П. Константинов, М. М. Бредов, А. И. Белявский, И. А. Соколов // Космические исследования. — 1966. — № 4. — С. 66.
- [5] Omnes, R. // Astron. & Astrophys. — 1971. — Vol. 10. — P. 228.
- [6] Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной — М.: Наука, 1975.
- [7] Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория. — М.: КРАСАНД, 2010.
- [8] Клименко А. В., Клименко, В. А. Частицы, античастицы и гравитация. Антитяготение // Вестн. ЧелГУ. — 2013. — № 17.
- [9] Cohen A. G., Rujula A. De, Glashow S. L. A Matter-Antimatter Universe? — URL: <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9707087>
- [10] Roll P. G., Krotkov R., Dicke R. H. The equivalence of inertial and passive gravitational mass // Annals of Physics. — 1964. — № 26. — P. 442–517.
- [11] Брагинский В. Б., Панов В. И. Эквивалентность инертной и гравитационной масс // УФН. — 1971. — Т. 105, № 4.
- [12] The ALPHA Collaboration, Charman A. E. Description and first application of a new technique to measure the gravitational mass of antihydrogen. // Nature communications. — 2013. — URL: <http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n4/full/ncomms2787.html>.
- [13] Клименко А. В., Клименко, В. А. Частицы, античастицы и гравитация. Гравитационно-нейтральная Вселенная // Вестн. ЧелГУ. — 2013. — № 17.
- [14] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория Поля — М.: Наука, 1988.
- [15] Клименко А. В., Клименко, В. А. Вакуумные формы материи // Вестн. ЧелГУ. — 2013. — № 17.

- [16] Measurements of  $\omega$  and  $\lambda$  from 42 High-Redshift Supernovae / Perlmutter S., Aldering G., Goldhaber G. et al. // *Astroph. J.* — 1999. — Vol. 517, № 2, — P. 565–586.
- [17] Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant / Riess A. G., Filippenko A. V., Challis P. et al. // *Astron. J.* — 1998. — Vol. 116. № 3. — P. 1009.
- [18] The Supernova Legacy Survey: measurement of  $\omega_M$ ,  $\omega_\lambda$  and  $w$  from the first year data set / Astier P., Guy J., Regnault N. et al. // *Astron. and Astrophys.* — 2006. — Vol. 447, № 1. — P. 31–48.
- [19] New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae at  $z \geq 1$ : Narrowing Constraints on the Early Behavior of Dark Energy / Riess A. G., Strolger L.-G., Casertano S. et al. // *Astrophys. J.* — 2007. — Vol. 659. № 1. — P. 98.
- [20] Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. 1.
- [21] Клименко А. В., Клименко, В. А. Миры и Антимир // *Вестн. ЧелГУ.* — 2013. — № 17.
- [22] Черепашук А. М., Чернин А. Д. Современная космология — наука об эволюции Вселенной // *Бюллетень РАН «В защиту науки».* — 2008. — № 4.
- [23] Де Витт Б. // *Общая теория относительности.* М.: Мир, 1983. — С. 296–297.
- [24] Клименко А. В., Клименко, В. А. Геометрические свойства однородного изотропного вакуума // *Вестн. ЧелГУ.* — 2013. — № 17.
- [25] Бергман П. Загадка гравитации. М.: Мир, 1969. — С. 10.
- [26] Матвеев А. Н. Оптика. М.: Высш. шк. 1985.
- [27] Черепашук А. М. Тесные двойные звёзды Часть I и II // М.: Физматлит. 2013.
- [28] Фок В. А. Квантовая физика и современные проблемы // Ленин и современное естествознание. М.: Мысль. 1969.
- [29] Арцимович Л. А. Управляемые термоядерные реакции. М.: Физматгиз. 1963.
- [30] Hinshaw, G. Three-year wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: implication for cosmology / G. Hinshaw, M.R. Nolte, C.L. Bennet et al. // *Astrophys. J. Suppl.* 2007. Vol.170., № 2, P. 377–408.
- [31] Постнов, К. А. Гиперновые и гамма-всплески. // *Физика* Т. 8, № 2, 2004.
- [32] Постнов, К. А. Лекции по Общей Астрофизике для физиков. сайт МГУ.
- [33] Зельдович, Я. Б. Космологическая постоянная и теория элементарных частиц, // *УФН.* Т. 95, вып.1, 1968.
- [34] Клименко, А. В. О равномерном расширении Вселенной / А. В. Клименко, В. А. Клименко, А. М. Фридман // *Астрон. журн.* 2010. Т. 87, № 10. С. 947–966.

- [35] Чернин, А. Д. Тёмная материя и всемирное антитяготение // УФН. 2008. Т. 178, №3. С. 267–300.
- [36] Sandage, A. G. et al., Astro-pf/0603647; Astrophys. J. 653 843. 2006.
- [37] Зельдович, Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает задачу космологии. // УФН. Т. 133, вып.3, 1981.
- [38] Вайнберг, С. Первые три минуты. М.: Энергоиздат, 1981.