

Валерий  
РУБАКОВ

Борис  
ШТЕРН



# Астрофизика

троицкий  наука  
trv-science.ru вариант

Издательство АСТ  
Москва

УДК 52:53  
ББК 22.63  
Ш90

**Штерн, Борис Евгеньевич,  
Рубаков, Валерий Анатольевич.**

Ш90 Астрофизика. Троицкий вариант / Борис Штерн,  
Валерий Рубаков. — Москва : Издательство АСТ, 2026. —  
368 с. — (Понятная астрофизика).

ISBN 978-5-17-177990-0

Темная энергия, космологическая инфляция, черные дыры, экзопланеты, бозон Хиггса, реликтовое излучение, большой взрыв, барионная асимметрия — всё самое интересное о космосе и микромире частиц. Никаких домыслов, только достоверная информация от двух ученых — Валерия Рубакова и Бориса Штерна.

Валерий Рубаков — физик-теоретик, специалист в области квантовой теории поля, физики элементарных частиц и космологии, академик РАН, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института ядерных исследований РАН.

Борис Штерн — астрофизик, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института ядерных исследований РАН, главный редактор газеты «Троицкий вариант — наука».

УДК 52:53  
ББК 22.63

ISBN 978-5-17-177990-0

© Штерн Б.Е., 2026  
© Рубакова Э.И., 2026  
© ООО «Издательство АСТ», 2026



# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие (Б. Штерн, В. Рубаков).....	8
ЧАСТЬ I. КОСМОЛОГИЯ.....	11
1. Вселенная до горячего Большого взрыва (В. Рубаков).....	12
2. Во славу темной материи (В. Рубаков, Б. Штерн).....	24
Темная материя воочию.....	25
Темная материя на «детском снимке» Вселенной.....	28
Каркас Вселенной.....	31
3. Темная энергия во Вселенной (В. Рубаков).....	34
Немного истории.....	35
Больше не знают о ней ничего.....	40
Почему сейчас?.....	42
Кандидаты.....	43
Темная энергия и будущее Вселенной.....	50
4. Антропный принцип (В. Рубаков, Б. Штерн).....	53
Человек – творец и вершитель?.....	53
Наше хрупкое благополучие.....	55
Бесконечное множество вселенных.....	59
Где Бог играет в кости?.....	61
Когда антропный принцип оказывается капитуляцией.....	63
5. Сахаров и космология. Барионная асимметрия Вселенной (В. Рубаков, Б. Штерн).....	67
Почему наш мир состоит только из вещества (без антивещества) и почему вещества так мало?.....	68
Последующее развитие.....	76
6. Сахаров и космология. Масштабная линейка Вселенной (В. Рубаков, Б. Штерн).....	81
Из физики первых мгновений.....	83
Стоячие волны.....	85
Волны застывают.....	89
Улыбка Мироздания.....	90

7. WMAP: триумф девятилетней службы ( <i>Б. Штерн</i> )	93
Предсказание	94
«Показания стрелок» на карте	96
Вклад в фундаментальную физику	100
Почему это так хорошо получается	102
8. Объявлены космологические результаты	
«Планка» ( <i>Б. Штерн</i> )	105
Они замечательные, но сливки уже съел WMAP	105
9. Премия за сотворение Вселенной ( <i>Б. Штерн</i> )	111
10. Реликтовые гравитационные волны ( <i>Б. Штерн</i> )	116
Последний штрих в картине происхождения Вселенной?	116
Вопросы, поставленные первой космологической революцией	117
Вторая космологическая революция	118
Рябь Вселенной	119
Недостающая деталь	121
Предыдущие данные	124
Есть В-мода?	125
Звон бокалов и сомнения	126
Послесловие	128
11. Столкновение космологов: тридцать три богатыря против банды трех ( <i>Б. Штерн</i> )	132
Апелляция к народу	136
Коллективное письмо	138
О публичных дискуссиях	139
12. Конец темных веков ( <i>Б. Штерн</i> )	141
Темные века и первые звезды	141
Эпоха вторичной ионизации	144
Знаменитая линия 21 см	145
След первых звезд обнаружен?	147
13. Путь в небеса ( <i>Б. Штерн</i> )	149
ЧАСТЬ II. АСТРОФИЗИКА	155
14. Открытые данные ( <i>Б. Штерн</i> )	156
Что понимается под открытыми данными?	157
Коллизия интересов?	160





А тем временем в Европе...	161
А как насчет Большого адронного коллайдера?	163
Just do it	165
Послесловие.	167
15. Первый свет «Радиоастрона» в темное время ( <i>Б. Штерн</i> )	168
История проекта	169
Первый свет.	170
Первые результаты	172
Планы и конкурсы.	175
16. Что увидели детекторы LIGO ( <i>Б. Штерн</i> )	177
Что увидели детекторы LIGO?	177
Как определили расстояние?	178
Что еще увидела LIGO?	180
Что увидели детекторы «Ферми»?	180
Что нам это дает?	182
Какие возможности для астрономии открывают гравитационные волны?	183
Как образуются пары черных дыр?	184
17. Гравитационно-волновая астрофизика на марше ( <i>Б. Штерн</i> )	186
18. Нобелевская гравитация ( <i>Б. Штерн</i> )	188
В чем заключается основное значение эксперимента?	189
Послесловие.	191
19. Первый крик нейтринной астрономии высоких энергий ( <i>Б. Штерн</i> )	193
Что такое Ice Cube	193
Что такое «блазар»	194
Что именно зарегистрировали	197
Послесловие.	198
20. Юбилей «Ферми». Небо в гамма-квантах ( <i>Б. Штерн</i> )	199
Что такое гамма-обсерватория «Ферми»	200
Небо глазами «Ферми».	203
Зоопарк «Ферми»	207
21. Юбилей «Ферми». Блазары ( <i>Б. Штерн</i> )	210
Что такое блазар	210
Рекордсмен.	212

Блазары на голодном пайке .....	215
Источник нейтрино .....	219
22. Хребет Галактики (Б. Штерн) .....	222
Послесловие .....	224
23. Государственная премия через 44 года нашла героев (Б. Штерн) .....	225
Предыстория .....	226
Всюду диски.....	227
Основополагающая статья .....	229
24. Увидеть черную дыру! (Б. Штерн) .....	231
Астрофизический контекст .....	231
Что можно рассмотреть у черной дыры .....	233
Техника наблюдений .....	235
Результаты и их интерпретация .....	237
Значение результата и перспективы .....	239
 ЧАСТЬ III. ЧАСТИЦЫ .....	241
25. Классические эксперименты Лобашёва (Б. Штерн) .....	242
Источник и Маятник .....	243
Нейтринная бочка .....	249
26. Опера о скорости нейтрино (Б. Штерн) .....	255
Чудо на 730-м километре .....	256
Ни в какие ворота! .....	258
Релятивистская дуэль .....	260
И выкрики в зале .....	262
Еще не финал .....	264
Послесловие .....	265
27. Бозон Хиггса. Неужели наконец-то! (Б. Штерн) .....	266
28. Эксперимент с несчастливой судьбой (Б. Штерн) .....	270
Смысл эксперимента SOX .....	271
Экспериментальная установка .....	273
Где взять церий-144? .....	273
Перспективы и проблемы .....	274
29. Бозон Хиггса открыт. Что дальше? (В. Рубаков) .....	276
Что такое бозон Хиггса? .....	277
Почему бозон Хиггса открыли лишь недавно .....	280
Несколько слов про БАК .....	281





Зачем нужен бозон Хиггса .....	283
Что дальше?.....	286
<b>ЧАСТЬ IV. ЭКЗОПЛАНЕТЫ .....</b>	<b>291</b>
30. Экзопланеты: современные факты (Б. Штерн) .....	292
31. Есть ли жизнь на...? (Б. Штерн).....	301
Пересмотр .....	303
Увидеть другую Землю?.....	305
Почти научная фантастика .....	306
32. Экзопланеты: прорыв, еще прорыв! (Б. Штерн) .....	308
33. Двойка по физике Мильнеру с Хокингом (Б. Штерн).....	313
Послесловие. ....	317
34. Ближайшие пригодные для жизни экзопланеты (Б. Штерн).....	319
Где они, как их можно наблюдать и можно ли их достичь?.....	319
Где мы видим планеты, похожие на Землю?.....	319
Где они есть на самом деле?.....	324
Как их наблюдать?.....	326
Как их достичь?.....	328
А может ли на экзопланеты ступить нога человека?.....	330
35. Есть ли жизнь у Проксимы Центавра? (Б. Штерн) .....	332
36. Опять эти красные карлики! (Б. Штерн) .....	336
37. С открытием атмосферы у экзопланеты, похоже, поторопились (Б. Штерн) .....	339
Послесловие. ....	347
38. В далеком созвездии Тау Кита... (Б. Штерн).....	348
Вот, двигаясь по световому лучу....	349
Ужасно повысилось знание. ....	351
На Тау Ките условия не те? .....	354
39. Экзолуны (Б. Штерн).....	356
Для начала, некоторые полезные понятия. ....	357
Как найти спутник экзопланеты .....	358
Поиски экзолун. ....	360
Послесловие. ....	363
 Не бойтесь сказать «Истина» (вместо послесловия) (Б. Штерн, В. Рубаков) .....	 364

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Перед вами сборник научно-популярных статей, опубликованных в «Троицком варианте — наука», двух из многочисленных авторов этого издания. У сборников статей есть свои характерные недостатки: фрагментарность, отсутствие стройной системы, неполный охват темы. Мы попытались компенсировать эти недостатки, написав несколько дополнительных статей, закрывающих очевидные лакуны, и добавили ряд послесловий и комментариев. Конечно, этого недостаточно, чтобы из набора статей сделать обстоятельную книгу, но у подобного издания есть свои достоинства. Книга получилась полемичной и злободневной, и потому полной жизни, даже когда речь идет о злобе вчерашнего дня. В книге отразилось время, причем не в ретроспективе, а в его течении, время довольно бурное: открытие бозона Хиггса, становление «прецизионной космологии» (во многом благодаря микроволновым телескопам WMAP и «Планк»), регистрация гравитационных волн, прорыв в изучении экзопланет. Многие статьи написаны по горячим следам, некоторые через месяцы или годы пришлось дополнять новыми комментариями. В книге есть материалы про рухнувшие сенсации и горячие споры, про ярких людей и красивые заблуждения — в подобных вещах и оживает прошлое. Некоторые главы написаны сов-





местно, некоторые — кем-то одним из нас, причем есть вопросы, в которых наше мнение не совпадает.

Статьи по тематике разбросаны весьма широко. В книге четыре раздела: космология (наука о Вселенной в целом), астрофизика, частицы и экзопланеты, которые тесно связаны между собой. Например, квазары и скопления галактик находятся так далеко, что, наблюдая их, мы изучаем эволюцию Вселенной и динамику ее расширения. Частицы (в основном речь идет о нейтрине и бозоне Хиггса, поскольку именно они стали предметом главных открытий в физике частиц в последние десятилетия) напрямую участвуют в эволюции ранней Вселенной, а экзопланеты тесно связаны с вечным вопросом о месте человека во Вселенной.

Книгу можно читать как с начала, так и с конца или с произвольного места: большинство глав-статей самодостаточны, в противоположном случае даны ссылки на предшествующие статьи. Как заявлено в нашей первой же фразе, книга относится к научно-популярной литературе. Это не простой жанр: авторы всегда сталкиваются с проблемой целевой аудитории. Должен ли данную книгу понимать, например, студент кулинарного техникума? Ответ — да, если таковой студент обладает живым пытливым интеллектом, интересом к космосу, не боится школьной физики и уже немного начитался популярной литературы. Чего должен опасаться автор? Того, что кто-то откроет книгу и захлопнет ее со словами «Какая дичь, ничего не понятно, авторы не уважают читателя!»? Или того, что некто другой, пробежав глазами несколько страниц, воскликнет: «Что за чушь! Сплошная вульгаризация, заигрывание и дешевка! Они не уважают читателя, считая его необразованным и глуповатым!»? Нас больше беспокоит вторая реакция. Обоих читателей удовлетворить невозможно, поэтому мы жертвуем частью аудитории во имя некоей достоверности и честности. Там, где это

возможно, мы стараемся сделать изложение максимально глубоким, считая, что именно глубина — это то, что может заразить читателя интересом к устройству мира. Тем не менее, мы избегаем математики, выходящей за рамки школьной программы, как правило, обходимся без формул и стараемся пояснять термины, которые относятся к отдельным областям науки. Конечно, невозможно разъяснить все термины, да это и не нужно в век Интернета. Ни книгу, ни статью невозможно написать так, чтобы все поняли в ней всё. Важно, чтобы любой наш читатель нашел в ней нечто понятное и интересное для себя.

ЧАСТЬ I

# КОСМОЛОГИЯ

# 1.

# ВСЕЛЕННАЯ ДО ГОРЯЧЕГО БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Все, кто сколько-нибудь интересуется космологией, знают, что на ранних этапах эволюции Вселенной вещество в ней было очень горячим и плотным, а темп расширения Вселенной — огромным. Пожалуй, менее известно, что данные наблюдательной космологии неопровержимо свидетельствуют о том, что эта стадия, которую называют стадией горячего Большого взрыва (ключевое слово здесь — «горячего»), была не самой первой, что до этой стадии была еще какая-то эпоха (а возможно, и не одна) с кардинально иными свойствами.

Сам факт существования эпохи, предшествовавшей горячей стадии, ни у кого из космологов не вызывает сомнения, а вот вопрос, что это была за эпоха, до сих пор однозначно не решен. Наиболее популярна и проработана (в гораздо большей степени, если сравнивать с другими) теория инфляции, но надо подчеркнуть, что это всё еще гипотеза, однозначного подтверждения которой пока нет (хотя многие воспринимают инфляцию как данность).

На самом деле инфляция не единственная гипотеза, есть и другие, речь о которых пойдет ниже. Замеча-





тельная особенность современного этапа развития космологии состоит в том, что есть основания полагать: экспериментальные данные (результаты космологических наблюдений) позволят в обозримом будущем сделать выбор в пользу той или иной гипотезы. С помощью данных о современной Вселенной на огромных масштабах расстояний мы рассчитываем узнать, что представляла собой Вселенная в те мельчайшие доли секунды своего существования, которые предшествовали известной нам горячей стадии и которые, скорее всего, характеризовались гигантскими плотностями энергии!

Ключом к осознанию необходимости эпохи, предшествовавшей горячей стадии, а в будущем — к выяснению, что это была за эпоха, служат неоднородности во Вселенной.

На очень больших масштабах расстояний Вселенная почти однородна: области размером миллиард световых лет и больше выглядят все одинаково. На меньших масштабах в современной Вселенной имеются структуры — галактики, скопления галактик, гигантские пустоты-войды, мы с вами, в конце концов. Значит, материя (обычное вещество и темная материя) распределена в пространстве неоднородно. Так есть сейчас, так было и в прошлом.

Неоднородности в распределении массы материи и связанные с ними гравитационные потенциалы на космологическом жаргоне принято называть *скалярными возмущениями*. Возможны также *тензорные возмущения* — реликтовые гравитационные волны. Подчеркнем, что речь здесь не идет о гравитационных волнах, недавно открытых в эксперименте LIGO: те гравитационные волны были излучены сравнительно недавно в результате слияния черных дыр или нейтронных звезд и несут мало космологической информации.

Реликтовые гравитационные волны, если они существуют, — это сигнал, пришедший к нам как раз из той эпохи, которая предшествовала горячему Большому взрыву. Об их свойствах, предсказываемых инфляционной теорией, мы еще поговорим. Наконец, в принципе могли бы быть так называемые *векторные возмущения*, но даже если они образуются в сверххранной Вселенной, их амплитуда быстро затухает со временем, и надежды на их регистрацию мало. Кстати, классификация космологических возмущений (скалярных, векторных, тензорных) была разработана Евгением Лифшицем в 1940-х годах.

Чтобы пояснить, почему свойства неоднородностей во Вселенной прямо свидетельствуют о том, что горячая стадия не была первой, будем рассуждать от противного. В предположении, что история Вселенной началась непосредственно с горячей стадии, приходится считать, что эволюция началась с настоящего Большой взрыва, в «момент» которого плотность материи и темп расширения пространства были гигантскими — формально бесконечными. Заметим, что темп расширения пространства не имеет прямого отношения к скорости передачи сигналов, поэтому пространство в принципе может расширяться сколь угодно быстро.

Надо думать, правда, что бесконечностей в природе не бывает, что Вселенная стартовала из совершенно непонятого для нас сегодня состояния, где на всю катушку работали эффекты квантовой гравитации, а представления о пространстве, времени и поле не имели привычного для нас смысла (а скорее всего, описание Вселенной в этих терминах было вообще невозможным).

Для нас сейчас это неважно. Важно, что время жизни Вселенной с момента Большого взрыва конечно — сегодня это 13,8 млрд лет. В такой картине сигналы, испущенные в момент Большого взрыва и распростра-





няющиеся с максимально возможной скоростью — скоростью света, пролетели к фиксированному моменту времени  $t$  конечное расстояние. Это расстояние называют *размером космологического горизонта*: области, находящиеся в момент  $t$  на расстоянии, большем этого размера, никак не успели обменяться сигналами, они ничего друг о друге не знают, все физические процессы происходили внутри этих областей независимо.

В современной Вселенной размер горизонта составляет примерно 45 млрд световых лет (за 13,8 млрд лет свет пролетел расстояние 13,8 млрд световых лет, а к тому же Вселенная сама по себе расширилась). Как выглядят или когда-то выглядели области пространства, отделенные от нас сегодня на расстояние больше 45 млрд световых лет, мы не можем знать в принципе (если считать, как мы сейчас делаем, что горячая стадия была первой). И это при том, что мы твердо уверены, что полный размер Вселенной, если он вообще конечен, значительно превышает размер горизонта. Мы видим лишь очень небольшую часть Вселенной (точно не более одного процента ее объема, а скорее всего, намного порядков меньше).

Вернемся теперь к неоднородностям во Вселенной. Их свойства измеряются не только путем построения карты распределения материи в современной и сравнительно поздней Вселенной (на что нацелены глубокие обзоры галактик и квазаров). Важнейшим источником информации служит реликтовое электромагнитное излучение. Оно дает нам фотографию Вселенной (точнее, видимой ее части, размер которой сегодня и составляет 45 млрд световых лет) в возрасте всего 380 тыс. лет, в это время реликтовое излучение «отщепилось» от вещества, его называют временем рекомбинации.

На «снимке» (см. цветную вкладку, рис. 1) желтые области соответствуют более горячим и плотным обла-