



К. Шарф

Двигатели гравитации



ИЗДАТЕЛЬСТВО

БИНОМ

ДВИГАТЕЛИ ГРАВИТАЦИИ

GRAVITY'S ENGINES >>> HOW BUBBLE-BLOWING
BLACK HOLES RULE GALAXIES, STARS, AND LIFE IN THE COSMOS >>>
CALEB SCHARF



SCIENTIFIC AMERICAN / FARRAR, STRAUS AND GIROUX
NEW YORK

К. Шарф

Двигатели гравитации

Как черные дыры управляют галактиками,
звездами и жизнью в космосе

Перевод с английского
кандидата физ.-мат. наук Т.Ю. Лисовской

Под общей редакцией
профессора, д-ра физ.-мат. наук
М.А. Смондырева



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний

УДК 524.8
ББК 22.68
Ш26

Шарф К.

Ш26 Двигатели гравитации. Как черные дыры управляют галактиками, звездами и жизнью в космосе / К. Шарф ; пер. с англ. Т. Ю. Лисовской, под ред. М. А. Смондырева. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 262 с. : ил.

ISBN 978-5-9963-0518-6

Книга посвящена актуальным проблемам современной астрофизики. Особое внимание уделяется сверхмассивным черным дырам, которые как невидимые монстры возможно поглощают все, что к ним приближается. Автор (директор астробиологической обсерватории при Колумбийском университете в Нью-Йорке, непосредственно участвовавший в исследованиях галактики с черной дырой на расстоянии 12 млрд световых лет от нас) образно рассказывает о том, как загадочные черные дыры по существу управляют космосом, выдувая пузыри материи, формируя звезды и планеты. Из этой книги, вошедшей, по версии *New Scientist*, в список топ-10 за 2012 г., читатель узнает о замечательных открытиях в космологии, в частности о поразительном предсказании черных дыр Мичеллом еще в XVIII в., о точном решении уравнения Эйнштейна Шварцшильдом или, например, о том, какой была Вселенная 12 млрд лет назад. В книге почти нет формул и много иллюстраций, а также аналогий из самых различных областей, что делает рассказ о сложнейших проблемах современной науки доступным для понимания неспециалистов.

**УДК 524.8
ББК 22.68**

18+

Научно-популярное издание

Шарф Калеб

**ДВИГАТЕЛИ ГРАВИТАЦИИ.
КАК ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ УПРАВЛЯЮТ ГАЛАКТИКАМИ,
ЗВЕЗДАМИ И ЖИЗНЬЮ В КОСМОСЕ**

Ведущий редактор *И. Я. Ицхоки*

Художники *И. Е. Марев, Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*. Корректор *Е. Н. Клитина*
Компьютерная верстка: *В. А. Носенко*

Подписано в печать 22.04.14. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 16,5. Тираж 1500 экз. Заказ

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

Copyright © 2012 by Caleb A. Scharf
Published by arrangement with
Scientific American, an imprint
of Farrar, Straus and Giroux, LLC,
New York

© БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014

ISBN 978-5-9963-0518-6

Оглавление

Предисловие	6
Глава 1. Темная звезда	9
Глава 2. Карта вечности	46
Глава 3. Сто миллиардов способов добраться до дна	74
Глава 4. Гастрономические пристрастия бандитов весом нониллион килограммов	105
Глава 5. Пузыри	134
Глава 6. Далекая сирена	158
Глава 7. Как все начиналось: часть 1	185
Глава 8. Как все начиналось: часть 2	203
Глава 9. Величие сущего	225
Примечания	241

Предисловие

Эта книга о замечательной науке, в арсенале которой есть и сложнейшие теории, описывающие природные явления, и созданные высокой человеческой мыслью, а также развитой интуицией способы получения и интерпретации наглядных изображений глубинных областей реальной Вселенной. Это история о физиках и астрономах, охотящихся за черными дырами, и о нашем стремлении понять, что в действительности происходит в космосе со звездами, галактиками, экзопланетами, и даже как обстоят дела с жизнью в других мирах. С тех пор как черные дыры в 1960–1970-е годы попали на страницы популярных изданий, они приковывают к себе особое внимание. Враждебные, разрушительные, искажающие течение времени, чрезвычайно странные — они подкидывают нам не только задачи для научных исследований, но и сюжеты для научно-фантастических книг и фильмов. По мере того как астрономы получали и обрабатывали потоки новых данных и составляли более полное представление о Вселенной и ее содержимом, они стали понимать, что черные дыры являются важными и, более того, ключевыми элементами Вселенной. Кроме того, выяснилось, что многие из них ведут себя устрашающе шумно и по своему характеру — буяны. Эти сумасшедшие, захватывающие и революционные открытия последних лет — готовый сюжет для настоящего блокбастера.

Эта книга как раз и рассказывает о той важной роли, которую, как я думаю, играют эти космические объекты. Черные дыры — настоящие гравитационные генераторы, причем самые эффективные генераторы энергии во всем космосе. И именно из-за этого своего качества они сыграли

ключевую роль в формировании той Вселенной, которую мы видим сегодня. И, мне кажется, самое странное и причудливое свойство природы, на которое мы натолкнулись случайно, состоит в том, что наиболее разрушительные и недоступные для изучения элементы Вселенной являются одновременно и самыми важными. Про это стоит поговорить, и я надеюсь, что рассказ будет чрезвычайно увлекательным.

Конечно, вся эта история основывается на серьезных работах массы выдающихся ученых. Их коллективный труд вдохновлял меня и повлиял на мое собственное мышление. И мне хотелось бы, прежде всего, чтобы и у вас при прочтении этой книги возникло ощущение открывшегося нам космического величия, чтобы вы смогли оценить масштабы и гениальность идей, вложенных в его познание. Если все же вы почувствуете желание узнать больше, то в примечаниях найдете небольшое количество ссылок из огромного моря литературы, откуда я выловил наиболее лакомые кусочки. А если нет — просто пролистайте книгу до конца, чтобы оценить непостижимую глубину человеческой мысли.

Я обнаружил, что писать о науке — занятие увлекательное. Потратив изрядную часть своей жизни на занятия самой наукой, я решил, что стоит попробовать подойти с другой стороны и написать рассказ о достижениях этой науки, который был бы достаточно популярным, но при этом позволил бы разъяснить ее суть. Многие факты и вдохновляющие идеи я почерпнул из разных источников. Отдельного упоминания заслуживают книги Кипа Торна, Митча Бегельмана и Мартина Риса. Эти и другие работы были весьма полезными на всем пути написания моего рассказа, ссылки на них приводятся в примечаниях в конце книги.

Многим другим людям я приношу благодарность по самым различным причинам. Что касается написания книги: она никогда не увидела бы свет, если бы не усилия моего замечательного и проникательного литературного агента Дирдры Маллейн из литературного агентства «Маллейн» и огромной работы и необычайного мастерства Аманды Мун из *Scientific American* и издательства *Farrar, Straus and Giroux*, терпеливо руководивших мной в течение всего процесса издания.

Если говорить о научной части книги, то вся эта история в действительности зародилась двадцать лет назад, когда я начал работать под руководством двух видных ученых — Офера Лахава и Дональда Линден-Белла, которые щедро делились со мной своей мудростью и помогли мне стать профессиональным астрономом. На протяжении долгого последующего пути многие люди повлияли на меня и, сами того не ведая, вдохновили на написание этой книги. Назову лишь некоторых из них, тех, кого мне хотелось бы особо поблагодарить: это Кейт Джэхода, Ричард Машоцкий, Лоуренс Джонс, Эрик Перлман, Хэральд Эбелинг, Дональд Хорнер, Меган Донахью, Марк Войт, Энди Фабиан, Кейт Джендро, Эрик Готтхелф, Колин Норман, Виль ван Брейгель, Айэн Смэйл, Дэвид Хелфанд, Марк Бауц, Фриц Паерелс, Стив Кан, Фернандо Камило, Франциско Феличиано, Нельсон Ривера, Эрлин Кроттс, Золтан Хейман, Джоан Бэйкер, Михаэль Сторри-Ломбарди, Дэвид Шпигель, Кристен Мену, Бен Оппенгеймер, Адам Блэк, Мбамбу Миллер, Грег Барретт, Джейн Розенман, а также многие другие, которые поддерживали и воодушевляли меня.

За всю остальную помощь я в вечном долгу перед своей персональной группой поддержки — долготерпеливой семьей: матриархом Мариной Шарф, женой Бонни Скарбороу и дочерьми Лайлой и Амелией.

И наконец, небольшое замечание перед тем, как вы начнете читать эту книгу. Как вид мы возникли в результате жестокой эволюции, продолжающейся уже 4 млрд лет и заставляющей нас работать, работать и еще раз работать. Мы делаем это для того, чтобы выжить, но для слишком многих из нас даже выживание все еще не гарантировано. Для других работа — это средство достижения цели, способ обеспечить себе комфортную жизнь, доставить удовольствие и даже некоторый покой. И тем не менее мы все должны время от времени улучшать момент и останавливаться, чтобы взглянуть в звездное небо. Ведь мы такие крохотные, и наша жизнь тесно связана с удивительным и величественным космосом. Он — наше наследие. Мы должны быть горды своей ролью в нем и никогда не переставать испытывать интерес к нему.

Темная звезда

Мой компьютер стоит на рабочем столе среди разбросанных бумаг, заляпанных кофе. Все утро его экран оставался темным. Неожиданно он загорается, на нем появляется изображение. Откуда-то приходит послание.

За несколько дней до этого высоко-высоко над Землей гигантская орбитальная обсерватория в течение сорока часов рассматривала рукава галактики Млечный Путь. Беспристрастными глазами своих камер она упорно всматривалась в крошечную область космоса вблизи созвездия Возничего (*Auriga*). Это направление — лучшее для обзора глубин космоса, где можно надеяться найти сокровище.

Замечательная конструкция, с помощью которой производились измерения, — космическая обсерватория «Чандра» — была названа в честь Чандрасекара¹. На создание «Чандры» ушло несколько десятилетий, над ней работали сотни людей из разных стран. Кровь, пот, слезы, любовь конструкторов и лучшие технологии современной цивилизации воплотились в совершенных поверхностях и сверхточных устройствах, установленных внутри этого потрясающего сооружения. За то время, что обсерватория постепенно превращалась из мечты в реальность, многие участники проек-

¹ Субраманьян Чандрасекар (1910–1995) — американский физик и астрофизик индийского происхождения, был известен в основном своими работами о белых карликах (предел Чандрасекара), получил (совместно с Уильямом Фаулером) Нобелевскую премию по физике 1983 г. «за теоретические исследования физических процессов, играющих важную роль в строении и эволюции звезд», с 1937 г. до конца своей жизни преподавал в Чикагском университете. — *Прим. ред.*

та сделали карьеры, у других они успели закончиться. Наконец станцию отправили в космическое пространство на шаттле «Колумбия», сконструированном и построенном в NASA, где на заданной орбите, со всеми предосторожностями, она была выпущена на волю из «брюха» межпланетного корабля, явив миру яркий пример бесконечного человеческого любопытства.

И вот станция поймала какое-то дуновение из глубин космоса. Прилетевшие фотоны — частицы света — проделали свой путь через фильтры, отразившись в многочисленных зеркалах, и сформировали изображение на кремниевом сенсоре цифровой камеры. Затем это изображение, закодированное и превращенное в поток данных, было послано сначала в виде СВЧ-волн на наземную станцию, а с нее переслано в разные точки Земли. Обработанное и переданное на другой конец континента, оно проделало еще один отрезок пути в сотни миль по проводам и оптическим волокнам и, наконец, сформировало черно-белое изображение на экране моего маленького компьютера, установленного в неряшливом офисе, расположенном на десятом этаже дома на одной из улиц Манхэттена. Вот что такое технологии XXI в.!

Естественно, мы не можем рассчитывать найти в любой заданный момент что-либо особо примечательное в огромном потоке приходящих данных, с которыми имеет дело современная наука. Ученые научились терпению, и этот урок дался им непросто. Однако в данном изображении на фоне шума угадывалась структура. Она была неясной и небольшой, но без сомнений — она была. Я смог разглядеть яркую точку, справа и слева от которой были заметны какие-то размытые светлые полосы. Все это напоминало стрекозу, распластанную на куске картона. Было в этом изображении нечто любопытное. Возникло ощущение чего-то необычного.

Уличный шум эхом отдавался в каньоне, образованном высокими зданиями за моим окном, но на мгновение он стих. В этот момент я как бы покинул Землю и оказался в очень отдаленном уголке Вселенной.

Фотоны, образовавшие это изображение, начали свое путешествие 12 млрд лет назад. Это были рентгеновские лучи, невидимые человеческому глазу, но способные проходить сквозь мягкие ткани тела. За 12 млрд лет они беспрепятственно пересекли космос. Но пока они путешествовали, Вселенная изменилась, пространство само расширилось, а с ним удлинились и электромагнитные волны, фотоны охладились, а их энергия уменьшилась.

Когда они отправились в путешествие, не существовало звезды, называемой Солнцем, не было и планеты под названием Земля. И только когда фотоны уже пролетели две трети своего пути, в этой еще невозможно далекой от них галактике из части распадающейся туманности — облака межзвездного газа и пыли — возникли новые звезды и множество новых планет, одна из которых стала впоследствии нашим домом.

Когда Земля сформировалась, эти фотоны были уже древними частицами семи миллиардов лет от рода, пересекшими огромные просторы космоса. Прошло время. Где-то на Земле комплекс молекулярных структур начал воспроизводить сам себя — возникла жизнь. Еще через два миллиарда лет фотоны подлетели к тем отдаленным областям пространства, которые мы сейчас могли бы назвать знакомой нам Вселенной. Здесь расположены огромные суперкластеры и структуры галактик, похожие на сети, которые мы смогли нанести на карту. Простираясь на десятки или сотни миллионов световых лет, они образуют подобие скелетов, те обрастают галактиками и звездами, стягиваемыми гравитационными силами. Миллионы галактик и квинтильоны звезд протянулись сквозь космос. А на Земле тем временем эволюция уже привела к появлению первых клеток нового вида жизни — микроорганизмов — эукариотов, наших прямых предков. Эти неутомимые микроскопические существа выплыли в поисках пищи.

Прошел еще один миллиард лет, и фотоны влетели в действительно хорошо знакомый нам уголок пространства, где сейчас уже с помощью наших приборов мы нанесли на карту границы галактик и огромные пустые лакуны. Здесь помещаются структуры со знакомыми именами вро-

де *Abell 2218* и *Zwicky 3146* — огромные гравитационные скопления галактик, называемые кластерами. А на Земле возникли самые первые по-настоящему многоклеточные организмы, и воздух заполнился кислородом. Воздействие этого элемента таково, что оно приводит к появлению нового типа метаболизма, в результате произошла революция: уже через 500 млн лет земная суша покрылась экзотической растительностью, использующей молекулярный механизм фотосинтеза. Суперконтинент Гондвана, самая большая часть суши на планете, приобрел странный зеленоватый оттенок.

Фотоны упорно продолжали свое путешествие, пролетая регионы, которые станут впоследствии постепенно изучаться еще неродившимися астрономами. По соседству находятся огромные кластеры галактик, которые мы будем называть по именам созвездий, в которых их видим: Кома, Центавр, Гидра. Из этих краев Вселенной впереди — по ходу полета фотонов — в небе видны тысячи световых пятнышек, одно из которых — наша галактика.

Потребовалось 490 млн лет, чтобы фотоны достигли нашей Местной группы галактик. Некоторые из этих галактик огромны, например, Туманность Андромеды и Млечный Путь, а некоторые — малы, такие как карликовые галактики Кит, Пегас, Форнакс, Феникс. Эти места в космосе ничем не примечательны, там, возможно, в сумме насчитывается всего несколько триллионов звезд или что-то около того.

На Земле многие важнейшие эпохи пришли и ушли. Почти 60 млн лет как не видно динозавров. Континенты и океаны радикально изменились, уже четко проявились контуры нашего современного мира. Расплодились птицы и млекопитающие. Черное, Каспийское и Аральское моря начали отделяться от океана Тетис и моря, которое в будущем станет Средиземным.

В последующие несколько миллионов лет фотоны попадают в гравитационное поле в окрестностях нашей галактики. Теперь Млечный Путь им видится как отчетливое светящееся пятно, простирающееся по мере приближения через все небо. На третьей по дальности планете от скромной звез-

ды класса *G* (желтого карлика), чья орбита расположена во внешнем рукаве этой спиральной галактики, появился новый тип прямоходящих животных, передвигающихся на двух ногах. Когда они оставили свои следы на остывшей вулканической лаве в ущелье Олдувай (*Olduvai Gorge*), фотоны подлетели еще ближе. Почти 12 млрд лет они летели без остановки, даже не замедлившись — ведь они частицы света, движущиеся в пространстве и времени всегда с той же самой скоростью, которую они имели при рождении.

Еще через два миллиона лет фотоны достигли внешнего края нашей галактики, похожей на огненное колесо фейерверка. А на Земле наступил большой ледниковый период. Огромные ледяные шапки расползлись от полюсов, накрыв всё Северное полушарие. Эти глубокие перемены в окружающей среде изменили поведение и судьбы потомков гоминидов — людей. Их группы начали мигрировать и изучать окрестности. Территории, бывшие когда-то неглубокими морями, теперь стало возможным пересечь пешком. Еще 12 000 лет, и фотоны уже летят сквозь спиральный рукав Персея, состоящий из звезд, газа и пыли. Вот уже и лед на Земле отступил, и ареалы обитания людей стали появляться повсюду. Зародились и исчезли великие культуры, в разных уголках планеты — от Ближнего Востока до Азии, от Африки до Южной Америки и Океании — стали появляться новые цивилизации.

Фотоны вошли в другой рукав нашей галактики — Шпору Ориона — и пролетели сквозь самую Туманность Ориона — большое красивое облако газа и пыли, место рождения новых звезд и кладбище старых. До конца их великого путешествия остается тысяча лет. Китайские и ближневосточные астрономы увидели в небе новый яркий объект. Не зная того, они наблюдали сверхновую — взрыв звезды и ее смерть. Через десятилетие, в 1066 г., герцог Нормандии Вильгельм, с унизительным прозвищем Незаконнорожденный, повел свои войска на завоевание островного королевства, поскольку претендовал на английский трон. Перед его вторжением небо пересекла яркая комета, впоследствии названная кометой Галлея, и это знаменательное событие было запечатлено на эпическом гобелене из Байё. Тогда

многие считали появление кометы знаком свыше. Это было восемнадцатое зафиксированное наблюдение кометы Галлея, которая появляется раз в 75 лет.

Короли и королевы, императоры и императрицы всходили на престол и лишались его. Войны начинались и в конце концов заканчивались. Люди мигрировали и осваивали планету. Эпидемии, извержения вулканов, землетрясения и наводнения мучили Землю, но со временем все успокаивалось. 600 лет пролетело как один космический миг. Фотоны уже находятся от Земли на том же расстоянии, что и звездное скопление Плеяды, известное также под именем Семь Сестер². Отсюда Солнце кажется просто светящейся точкой. В это время Галилей с помощью телескопа изучал спутники Юпитера и понял, что они вращаются вокруг этого небесного тела, а не вокруг Земли. Прошло еще полвека, и Ньютон сформулировал физические законы, которые описывают свойства движения и гравитации.

А фотоны продолжали свое движение сквозь пустое межзвездное пространство, гораздо более пустое, если сравнивать его размеры с размерами звезд, чем межгалактическое пространство по сравнению с размером галактик. Прошло еще несколько сот лет. Две мировые войны — Первая и Вторая — опустошили Северное полушарие. Фотоны пролетели мимо некоторых звезд, входящих в созвездие Возничего, которое можно наблюдать на Земле в местах с хорошим обзором. Вспыхнула Вьетнамская война, из всех окон разносились песни группы *The Beatles*. «Аполлон-8» запущен на орбиту вокруг Луны, и впервые в истории человечества стало возможным увидеть восход Земли над лунным горизонтом.

Через несколько десятилетий фотоны достигли границ Солнечной системы. Продравшись сквозь магнитную оболочку гелиопаузы (границы области, внутри которой солнечное влияние преобладает над влиянием межзвездного пространства), они оказались всего лишь в нескольких часах пути от цели. И наконец, как будто участвуя в некой масштабной космической трагедии, они попадают в плен

² Старинное русское название — Стожары. — *Прим. ред.*

и оказываются в цилиндре диаметром всего четыре фута (~122 см), что составляет всего 0,00000000000000000001% диаметра галактики Млечный Путь, в которой этот цилиндр притаился. Вместо того чтобы улететь в бесконечность, фотоны заканчивают свой путь на далекой земной орбите, в огромной обсерватории «Чандра», где они попадают в систему зеркал в виде встроенных одна в другую стеклянных труб, покрытых иридием. В следующие несколько наносекунд эти древние фотоны рентгеновского диапазона встречают, наконец, на своем пути препятствие — кусочек тщательно отполированного кремния, который сам состоит из атомов, созданных в недрах другой звезды, умершей уже миллиарды лет назад. Когда фотоны падают на пластинку кремния, они, поглощаясь в крошечных пикселях камеры, выбивают электроны. Так фотоны заканчивают свой длинный, 12-миллиардолетний путь через космос. В следующие несколько секунд автоматически включается напряжение, которое гонит электроны по направлению к электродам (подобно тому как крупье сметает фишки на столе для игры в рулетку). Затем эти электрические заряды регистрируются, и в конечном счете наши фотоны превращаются в нечто качественно новое — информацию.

На экране моего компьютера в нью-йоркском офисе эта информация становится изображением — уникальным отпечатком, по которому можно судить об интенсивности и энергии зарегистрированного излучения. Здесь мы обнаруживаем следы молодой и чрезвычайно массивной черной дыры, безжалостно рвущей на части вещество в небе отдаленной и в настоящее время уже древней галактики. У дыры непомерный, неутолимый аппетит. Но обнаруживается и нечто новое и неожиданное. Эта обжора распространяет свое присутствие на огромные расстояния, распахивая, формируя, меняя окружающую Вселенную. Световые пятна в виде крыльев стрекозы тянутся от яркой части изображения, в которой притаилась черная дыра (рис. 1). Их реальные размеры трудно вообразить — они составляют в поперечнике сотни тысяч световых лет. Их истинная яркость огромна — она в триллион раз больше, чем у нашего Солнца. Они

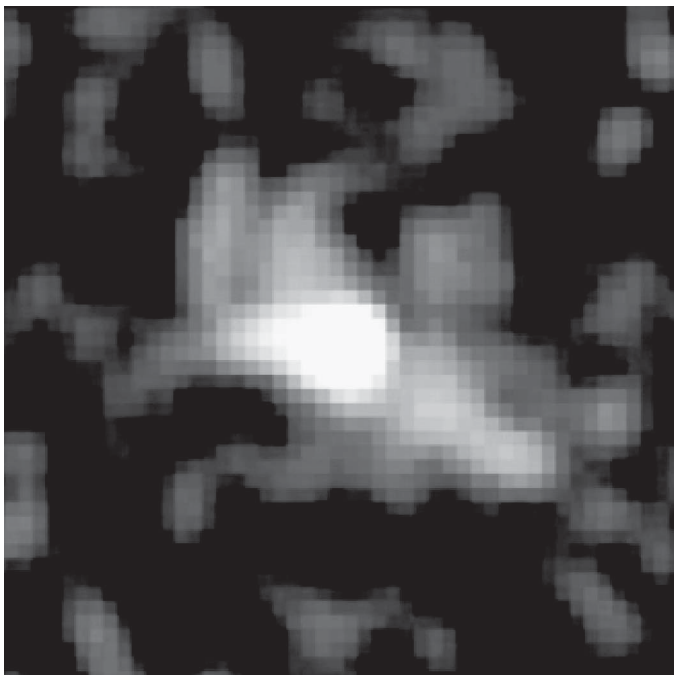


Рис. 1. Изображение, сформированное рентгеновскими фотонами, летевшими к нам 12 млрд лет. Это изображение кажется нам разбитым на пиксели, так как оно получено на пределе разрешения приборов. На изображении видно яркое пятно, а рядом с ним — структура странной формы в виде крыльев стрекозы, протяженность которых составляет сотни тысяч световых лет. Это изображение таинственного колосса, пересланное из космических глубин.

просто заливают древнюю галактику радиацией, каким-то образом генерируемой центральным монстром.

Часть моей книги посвящена рассказу про этот удаленный уголок Вселенной. За последние несколько десятилетий сложилась замечательная и странная картина происходящего, причем она намного шире тех фантастических и понятных лишь посвященным результатов исследований экстремальных областей времени и пространства, которыми и занималась раньше наука о черных дырах. Астрономы в конце XX – начале XXI вв. обнаружили, что черных дыр, во-первых, много, а во-вторых, что они очень разные.

[. . .]

Эта книга посвящена актуальным проблемам современной астрофизики, в частности, компактным массивным объектам — белым карликам, нейтронным звездам и, в особенности, черным дырам — настоящим космическим генераторам энергии, которые наиболее привлекательны читателям в астрономической науке.

Л. М. Зелёный

*директор Института космических исследований РАН,
доктор физ.-мат. наук, академик РАН и НАНУ*

Это история о физиках и астрономах, охотящихся за черными дырами, и о нашем стремлении понять, что в действительности происходит в космосе со звездами, галактиками, экзопланетами, и даже как обстоят дела с жизнью в других мирах. С тех пор как черные дыры в 1960–1970-е годы попали на страницы популярных изданий, они приковывают к себе особое внимание. Враждебные, разрушительные, искажающие течение времени, чрезвычайно странные — они подкидывают нам не только задачи для научных исследований, но и сюжеты для научно-фантастических книг и фильмов.

Калеб Шарф