

**Издание подготовлено в партнерстве
с Фондом некоммерческих инициатив «Траектория»
(при финансовой поддержке Н.В. Каторжнова).**



ТРАЕКТОРИЯ

Фонд поддержки научных, образовательных и культурных инициатив «Траектория» (www.traektoriafdn.ru) создан в 2015 году. Программы фонда направлены на стимулирование интереса к науке и научным исследованиям, реализацию образовательных программ, повышение интеллектуального уровня и творческого потенциала молодежи, повышение конкурентоспособности отечественных науки и образования, популяризацию науки и культуры, продвижение идей сохранения культурного наследия. Фонд организует образовательные и научно-популярные мероприятия по всей России, способствует созданию успешных практик взаимодействия внутри образовательного и научного сообщества.

В рамках издательского проекта Фонд «Траектория» поддерживает издание лучших образцов российской и зарубежной научно-популярной литературы.

Оглавление

Предисловие	9
-------------------	---

ЧАСТЬ I. ВСЕ О БЕЛЫХ КАРЛИКАХ

1 Три революции в астрономии	17
2 Наука о космосе на новом витке: пришествие ММА... ..	25
3 Астроликбез первого уровня.....	32
4 Горячие светлячки космоса	35
5 Изобретение великой диаграммы.....	43
6 От триады к тысячам.....	54
7 Вся сила в спектрах.....	57
8 Пульсации и магнетизм	64
9 Белые карлики и фундаментальная физика.....	69
10 Вырождение в физическом смысле.....	73
11 Вмешательство теории относительности.....	81
12 Справедливость и ирония истории	89
13 Как светят звезды?.....	93
14 Пришествие квантовой механики.....	95

15	Углеродная проблема	98
16	Белые карлики и возраст Галактики	101
17	Кое-что о полостях Роша.....	106
18	Взрывы и сверхвзрывы	109
19	Кристалл величиной с Землю.....	112
20	Другие вместители выроденного газа	118
21	От теории к открытию	123
22	Один хорошо, а два лучше.....	126
23	Кое-что о волновой гравитации.....	128
24	Совсем тесная пара	132
25	Послесолнечный карлик.....	138
26	Сага о двух Сириусах в настоящем... ..	141
27	...А также в прошлом и в будущем.....	144
28	Первые звезды	147
29	Белые карлики и конец света	155

ЧАСТЬ II. КАК БЕЛЫЕ КАРЛИКИ ПОМОГЛИ КОСМОЛОГИИ

30	Темная энергия: deus ex machina	167
31	Вселенные-экзоты.....	180

ЧАСТЬ III. АСТРОФИЗИКА ПОСЛЕ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ, ИЛИ РАДИОАСТРОНОМИЯ ШЕСТИДЕСЯТНИКОВ

32	История двух великих открытий	191
33	Как открывали реликтовое излучение	217
Примечания		263

Предисловие

Предмет этой монографии обозначен в названии. Автор в моем лице намерен подробно (разумеется, в границах научно-популярного жанра) рассказать о чрезвычайно интересном семействе звезд, именуемых «белыми карликами». Этот термин отнюдь не нов — ему почти сотня лет. О его происхождении говорить рано, на это еще будут и время, и место. А пока попытаюсь ответить на вполне законный вопрос, который, возможно, возникнет у читателей и уж точно у потенциальных издателей: имеет ли смысл рассказывать неспециалистам об этих звездах, да еще писать целую книгу? Иначе говоря, заслуживают ли они такого внимания?

Вот несколько аргументов в пользу утвердительного ответа. Начну с того, что белые карлики чрезвычайно многочисленны. Более того, за ними будущее. Согласно данным звездной статистики, свыше 90% всех когда-либо загоревшихся звезд либо уже превратились в белые карлики, либо станут ими спустя миллионы или миллиарды лет. Это справедливо и для светил, которым еще только суждено воссиять как в нашей Галактике, так и в других звездных системах. Поэтому о них стоит рассказывать хотя бы из уважения к принципам демократии. К тому же белым карликом в будущем (по счастью, весьма отдаленном) станет и наше собственное Солнце, чья судьба нам отнюдь не безразлична.

Конечно, есть и другие причины. История открытия и исследования белых карликов очень богата и поучительна. Она

содержит множество любопытных случайностей, маловероятных совпадений и даже анекдотов. Она помогает понять, как делается реальная наука, а не ее приглашенная и спрямленная версия, которую приводят в учебниках, что уже немало.

Проникновение в эту историю также может стать хорошим интеллектуальным упражнением. В прошлом для понимания природы и свойств белых карликов ученым нередко приходилось адаптировать для нужд астрономии инструменты фундаментальной физики, в том числе совершенно новые для своего времени. Эта тенденция сохраняется и поныне — тем более что наблюдение белых карликов средствами современной астрономии по-прежнему преподносит интересные сюрпризы. Поэтому я постарался как можно полнее погрузить читателя не только в астрономию белых карликов, но и в астрофизические и космологические аспекты их исследования. А таких много, и они весьма нетривиальны.

И наконец, немаловажная причина — дефицит доступной на русском языке литературы. Я не видел ни единой отечественной или же переводной научно-популярной книги, посвященной белым карликам. Честно говоря, я даже не знаю русскоязычных монографий по этой теме, предназначенных для специалистов. И это как-то обидно. Если есть книги о звездах вообще, о нейтронных звездах и о черных дырах, то не пора ли отдать запоздалую дань уважения белым карликам? Повторяю, они того стоят!

Существующая литература по белым карликам очень обширна. Как и положено, она включает и оригинальные публикации, и обзорные статьи, и монографии. Я не стремился, да и физически не мог включить в книгу весь огромный архив знаний, накопленных о белых карликах. Поэтому мой выбор вошедших в нее вопросов оказался — и не мог не быть — в какой-то мере произвольным и, безусловно, отражающим мои личные научные интересы. Однако я льщу себя надеждой, что большинство из них все же нашло в книге достаточно полное отражение.

Сказанное относится и к цитированной литературе. Некоторые авторы и редакторы (правда, сейчас их стало меньше) уверены, что в научно-популярных книгах таковая вообще неуместна. Есть и другая крайность — текст, до предела нашпигованный разнообразными библиографическими указаниями. Будучи сторонником золотой середины, я снабдил книгу лишь ссылками на основополагающие публикации, посвященные не только непосредственно белым карликам, но и другим сторонам астрономии, связанным с их открытием и исследованием. Поступить иначе было бы нечестно по отношению к десяткам замечательных ученых, которым мы обязаны сегодняшним пониманием ключевых проблем науки о Вселенной.

Книга неформально делится на несколько блоков. В первой главе я представил собственную картину становления и развития астрономии — от публикации великой книги Коперника «Об обращениях небесных сфер» (*De revolutionibus orbium coelestium*) нюрнбергским издателем Иоганном Петреусом в 1543 г. Вторая глава содержит краткое описание новейших тенденций в развитии науки о космосе, которые символически описывает термин «многоканальная астрономия». Третья глава — свод минимально необходимых знаний по звездной астрономии, без которых читать книгу о белых карликах было бы затруднительно. В общем, это историческое и концептуальное введение к основной теме.

В четвертой главе подробно описана история открытия первых белых карликов, позже названных классическими. Пятая посвящена созданию замечательной системы классификации звезд, которая позволила включить сведения о белых карликах в общий интеллектуальный багаж астрономии. Все эти события имели место в теперь уже незапамятные времена — до 1918 г. Шестая глава повествует о последующем поиске белых карликов вплоть до второго десятилетия XXI в.

Следующие три раздела отданы астрофизике белых карликов. В седьмой главе говорится об особенностях и классификации их спектров, в восьмой — о пульсациях и магнитных свойствах. Девятая глава несколько выходит за эти

рамки — там рассказано, как исследование белых карликов связано с поиском ответов на некоторые фундаментальные вопросы физики элементарных частиц.

Десятая, одиннадцатая и двенадцатая главы возвращают читателя к истории теоретических поисков, которые позволили понять природу белых карликов. Они начались во второй половине XIX в. и принесли не нуждающиеся в пересмотре (как говорят науковеды, финализированные) результаты в 1920–1930-е гг. Отсюда рукой подать до экскурсии в физику звезд, которой посвящены следующие три главы — с тринадцатой по пятнадцатую.

Затем идут вещи разнообразные. В шестнадцатой главе рассказано об определении возраста Вселенной с помощью наблюдений белых карликов, в семнадцатой и восемнадцатой — о механизмах их превращения в сверхновые звезды. Потом следуют три главы о кристаллизации белых карликов и их довольно близких родственниках — карликах коричневых, или, в другом переводе, бурых. Следующие главы с двадцать второй по двадцать четвертую повествуют о белых карликах в двойных системах, о гравитационной астрономии и о недавно открытой чрезвычайно тесной паре этих звезд. Из главы под номером двадцать пять читатель узнает о предстоящем превращении Солнца в белый карлик, а из двадцать шестой — о том, как такую же эволюцию когда-то претерпел спутник Сириуса, а также, как и когда самая яркая звезда земного небосвода последует его примеру. Ближе к завершению моего рассказа о белых карликах появится глава о самых первых звездах, которые никак не могли стать белыми карликами, но, так сказать, подготовили для них почву. А в заключение, по логике вещей, поговорим о финальной стадии Вселенной, где немалая роль опять-таки отведена белым карликам.

Последние четыре главы не совсем о белых карликах, но тесно с ними связаны. Я решил добавить еще несколько тем, пришедших в науку о космосе во второй половине прошлого века. Тридцатая глава посвящена самому блестящему достижению конца столетия — открытию темной энергии

и его значению для астрономии и космологии. Глава за номером тридцать один повествует о нескольких экстравагантных космологических моделях, изобретенных высокоумными математиками. В тридцать второй главе детально рассмотрена история открытия в 1960-е гг. квазаров и пульсаров средствами тогда еще относительно новой науки — радиоастрономии. Из последней, тридцать третьей главы читатель узнает еще об одном великом достижении радиоастрономии этого славного десятилетия — открытии реликтового излучения. И не только о самом открытии, но также о физических свойствах этого излучения, механизмах его генерации и информационном потенциале. В ней будет несколько больше физики, чем в других частях книги, но, надеюсь, она не покажется читателям скучной.

В конце предисловия принято выражать признательность коллегам, которые помогли автору советами, информацией и критическими замечаниями. Однако эта книга — плод индивидуальной работы, так что за ее погрешности отвечаю я один. Но хотел бы выразить безмерную благодарность моей любимой жене, которая отредактировала книгу куда лучше, чем смог бы это сделать я сам.

ЧАСТЬ I
ВСЕ О БЕЛЫХ
КАРЛИКАХ

1

Три революции в астрономии

Открытие белых карликов случилось отнюдь не одномоментно. Оно стало следствием цепочки событий, растянувшейся до второго десятилетия прошлого века, когда новый этап развития астрономии привел к революционной перестройке ее теоретических и технических ресурсов. Чтобы понять эту перестройку, надо сначала разобраться, что ей предшествовало и что за ней последовало.

Как известно, знания о небесных телах собирались, копировались и обобщались с незапамятных времен весьма разными культурами. В частности, в древнегреческом культурном ареале в IV в. до н. э. были созданы математические модели планетных движений, на базе которых в эллинистическую эпоху появились классические труды Аристарха Самосского, Архимеда, Аполлония из Перге и Гиппарха. Венцом эллинистической астрономии стала геоцентрическая модель движений Солнца, Луны и планет, изложенная в великом труде александрийского астронома II в. н. э. Клавдия Птолемея «Альмагест». Эта модель безраздельно господствовала на протяжении тринадцати с лишним столетий в арабской и западноевропейской науке.

Отказ от птолемеевского геоцентризма и постепенный переход к гелиоцентрическому описанию Солнечной системы

обычно называют Коперниканской революцией. Однако этот радикальный пересмотр теоретического фундамента наблюдательной астрономии стал лишь начальным этапом гораздо более глубокой и всеобъемлющей трансформации науки о Вселенной, которая заслуживает титула Посткоперниканской революции. Николай Коперник лишил Землю статуса центра мироздания и низверг до уровня обыкновенной околосолнечной планеты. Однако еще несколько десятилетий его гелиоцентрическая модель (кстати, весьма несовершенная) практически не использовалась тогдашними астрономами. Только в начале XVII в. Иоганн Кеплер на основе прецизионных наблюдений датского астронома Тихо Браге определил истинную (эллиптическую, а не круговую, как у Коперника) форму планетных орбит и установил математическую связь между их геометрическими параметрами и временем обращения вокруг Солнца.

Но это было только началом Посткоперниканской революции. Астрономам потребовалось еще 100 лет для того, чтобы освоить телескопическую технику и опыт ее использования в обсерваториях. Хотя первые великие результаты оптической астрономии (открытие Галилеем спутников Юпитера и фаз Венеры, демонстрация многозвездности Млечного Пути, наблюдение солнечных пятен) были получены в первые годы применения телескопов, следующим поколениям ученых предстояло узнать еще очень многое. На этом пути были открыты спутники и кольца Сатурна, выполнено первое, хотя и очень неточное, измерение скорости света, обнаружены собственные движения звезд, определен период вращения Юпитера. Астрономии еще нужно было дожидаться открытия Ньютоном закона всемирного тяготения и создания тремя поколениями блестящих математиков дифференциального и интегрального исчисления и способов решения дифференциальных уравнений. Так был постепенно накоплен арсенал математических приемов, только на основе которых и могли появиться эффективные вычислительные методы ньютоновской небесной механики.

Синтез этих нововведений завершился лишь в первой половине XVIII в., и именно он ознаменовал окончание (как говорят науковеды, финализацию) Посткоперниканской революции. Затем на протяжении целого столетия астрономия в основном развивала и совершенствовала созданные революцией ресурсы. На этом пути еще до конца XVIII в. и в первые годы XIX в. было получено немало замечательных результатов. Была обнаружена атмосфера Венеры, открыт Уран, а затем и первые астероиды, составлены каталоги космических туманностей, многие из которых сегодня называют галактиками, и даже, хотя и в сильно условном смысле, предсказано существование черных дыр. В середине XIX в. астрономия вновь блеснула великолепными открытиями. В 1841 г. директор Берлинской обсерватории Иоганн Франц Энке вычислил массу Меркурия по возмущениям движения кометы, которая сейчас носит его имя. Тогда же было доказано, что орбита Меркурия поворачивается относительно Солнца, из-за чего эта планета описывает не замкнутый эллипс, а розетку. Скорость этого вращения очень невелика (за столетие меркурианский перигелий смещается всего на 575 угловых секунд), так что ее измерение продемонстрировало высокую точность телескопических наблюдений.

В принципе, в аномальном поведении ближайшей к Солнцу планеты не было ничего особенного. Из уравнений ньютоновской механики следует, что строго по эллипсу может двигаться лишь одиночная планета, не имеющая соседей. Однако на Меркурий влияют своим притяжением не только Солнце, но и прочие планеты, главным образом гигант Юпитер. В 1859 г. директор Парижской обсерватории Урбен Жан Жозеф Леверье доказал, что под действием гравитации Юпитера, Венеры, Земли и Марса и с учетом прецессии земной оси наблюдаемая с Земли орбита Меркурия должна поворачиваться чуть медленней, чем это происходит в действительности. Расхождение было ничтожным, около $2/3$ угловой минуты в столетие, но объяснить его никак не получалось. Причину дополнительного поворота обнаружил в конце 1915 г. Альберт

Эйнштейн — на базе только что созданной общей теории относительности (ОТО). А пока что блестящие вычисления Леверье убедительно демонстрировали силу математических методов небесной механики.

Самым известным достижением посткоперниканской астрономии стало теоретическое предсказание и последующее наблюдение восьмой планеты Солнечной системы. Первым ее траекторию и даже массу в 1845 г. на основе анализа наблюдаемых аномалий движения Урана вычислил Кембриджский математик Джон Адамс. Годом позже это независимо сделал и Леверье, который тогда преподавал в Политехнической школе. Он поделился своими выводами с ассистентом Берлинской обсерватории Иоганном Галле. Галле с разрешения Энке сразу же приступил к наблюдениям и в ночь с 23 на 24 сентября 1846 г. обнаружил новую планету, которую Леверье назвал Нептуном. Правда, уже через год выяснилось, что 10 мая 1795 г. Нептун наблюдал французский астроном Мишель Лаланд, который, к несчастью для себя, счел его малоинтересной тусклой звездой (более того, не исключено, что его в 1612 г. и 1613 г. видел и Галилей). Очень важно, что Нептун был замечен не в ходе рутинных телескопических наблюдений (именно так 13 марта 1781 г. великий британский астроном немецкого происхождения Уильям — до переезда в Британию Фридрих Вильгельм — Гершель обнаружил Уран), а, как часто говорят, открыт на кончике пера. Это стало международной сенсацией, которая как нельзя более убедительно продемонстрировала мощь астрономической науки.

Как нередко случается, именно на время высшего торжества этой зрелой научной парадигмы пришлось начало очередного радикального обновления технических ресурсов и концепций той области знания, где она безраздельно господствовала. Я бы назвал его Революцией счастливого союза — или, не столь экспрессивно, Астрофизической революцией. С середины XIX в. в астрономию начали проникать методы экспериментальной физики, которые к концу столетия превратили ее едва ли не в новую науку. Такая интеграция (Счастливый

Союз!) астрономических и физических исследований повлекла за собой появление астрофизики как научной дисциплины, которая фактически стала не просто компаньоном классической астрономии, но ее естественной и даже стержневой частью. Институциональным оформлением этого процесса стало учреждение в 1895 г. в США специализированного журнала с международной редколлегией (*The Astrophysical Journal: An International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics*) и последующее проникновение астрофизики в университетские программы и исследовательские планы астрономических обсерваторий по всему миру.

Самым очевидным признаком начала Астрофизической революции стало систематическое получение и изучение звездных спектров. Правда, солнечные спектры и спектры отдельных звезд наблюдались уже в первые десятилетия XIX в. — прежде всего феноменально одаренным немецким оптиком-самоучкой Йозефом Фраунгофером. Однако эти исследования если и затрагивали тогдашнюю астрономию, то разве что по касательной. Спектроскопия (включая и спектрофотографию) звездного света как отдельный и быстро прогрессирующий раздел астрономии ведет свое начало с 1860-х гг. Не берусь излагать ее историю — это увело бы нас слишком далеко от основной темы этой главы. Однако нельзя не отметить, что идентификация белых карликов во втором десятилетии XX в. стала возможной только благодаря хорошо развитым к тому времени методам звездной спектроскопии.

В истории Астрофизической революции это открытие занимает совершенно особенное место. Оно *впервые* выявило небесные тела (поначалу всего три), чье существование противоречило тогдашним представлениям о природе вещества. Фактически это был первый вклад астрофизики в фундаментальную физику.

Это стало ясным не сразу, но и без большой задержки. Понимание природы белых карликов пришло во второй половине 1920-х гг., когда были созданы основы квантовой механики и квантовой статистической физики. Доквантовая, она же

классическая, физика эту задачу решить не могла и не решила. Поэтому открытие белых карликов можно считать предтечей близкой зрелости Астрофизической революции. Уместно отметить, что за время между идентификацией первого и второго белого карликов сотрудник венского Радиового института Виктор Франц Гесс обнаружил проникающие в атмосферу Земли заряженные частицы внеземного происхождения, которые назвали космическими лучами. И это можно считать вторым великим открытием астрофизики XX в.

Финализация Астрофизической революции произошла в начале четвертого десятилетия XX в. К этому времени влияние астрофизики на прогресс астрономии стало воистину всеобъемлющим. В концептуальном плане оно дало астрономии возможность адаптировать такие величайшие достижения теоретической физики, как специальная и общая теория относительности и квантовая механика. В 1920-е гг. астрофизические методы позволили окончательно доказать, что космос не исчерпывается Млечным Путем, а заполнен множеством галактик, удаленных от нас на миллионы и, как вскоре выяснилось, миллиарды световых лет. Тогда же Эдвин Хаббл с помощью этих методов доказал, что галактики разбегаются по всем направлениям, причем скорость их разлета пропорциональна расстоянию до Солнечной системы. Математическая формулировка этого утверждения составляет знаменитый закон, который теперь носит его имя. Открытие расширения Вселенной, которое описывается законом Хаббла, стало началом космологии как новой научной дисциплины, основанной на астрономических и астрофизических наблюдениях.

Феноменальный прогресс науки о космосе в 1930–1990-е гг. (и особенно во второй половине прошлого века) непосредственно развивал возможности, заложенные Астрофизической революцией. Достижения этого времени настолько многочисленны и знамениты, что перечислять их нет ни возможности, ни даже смысла. Вот всего лишь несколько примеров. В дополнение к оптической астрономии появились радиоастрономия, инфракрасная и ультрафиолетовая астрономия,

рентгеновская астрономия и гамма-астрономия. Астрономия стала использовать весь электромагнитный спектр — как часто говорят, сделалась всеволновой. Была создана (и убедительно подтверждена наблюдением микроволнового реликтового излучения) горячая модель рождения Вселенной в результате Большого взрыва, открыты активные ядра галактик, нейтронные звезды и черные дыры, обнаружены первые внесолнечные планеты. В 1997–1999 гг. было доказано, что наша Вселенная не просто расширяется, как следует из закона Хаббла, но расширяется с ускорением (иначе говоря, скорость ее расширения возрастает). Стадия ускоренного расширения началась около 5 млрд лет назад, незадолго до рождения Солнечной системы. Это замечательное открытие опять — таки было сделано благодаря постоянной модернизации технических и интеллектуальных ресурсов, восходящих к Астрофизической революции. Его прямым следствием и венцом стало создание Стандартной космологической модели Вселенной (Λ CDM cosmological model).

А теперь к нам в дверь стучится новая астрономическая революция — третья по счету. Для нее уже готово название. В последние годы в англоязычной литературе все чаще фигурирует словосочетание *multimessenger astronomy* (ММА). В отечественной литературе применяется несколько вольный перевод этого термина — многоканальная астрономия. Оно начало мелькать в научных статьях с конца первого десятилетия нашего века. Если говорить о монографиях, то, насколько я знаю, впервые оно появилось в книге «Усовершенствованные детекторы гравитационных волн»¹.

Что вызвало его к жизни? Многоканальность означает переход астрономии (и, естественно, астрофизики) к комплексной — как аппаратной, так и теоретической — обработке сигналов о космических событиях, порожденных самыми разными физическими процессами и потому приходящих по множеству каналов. Эти каналы (например, радиосигналы, оптические и рентгеновские фотоны, а в самые последние годы также гравитационные волны и потоки нейтрино) принято называть мессенджерами.

Сейчас наблюдения посредством широкого набора мессенджеров вышли на передний край астрономии и астрофизики. Они обещают особенно богатый урожай при изучении самых высокоэнергетичных космических процессов и событий, который может принести уточнение и даже пересмотр как астрофизических моделей, так и фундаментальных физических законов. Всего за несколько лет на этом пути получено немало замечательных результатов — например, зарегистрировано слияние черных дыр и нейтронных звезд. Это только первые плоды третьей астрономической революции, Революции многоканальности. Она разворачивается на наших глазах, и наблюдать за ней чрезвычайно интересно. Возможно, кому-то из читателей этой книги захочется в ней поучаствовать.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru