

## Предисловие

В основу этого учебного пособия был положен курс физики компактных объектов, который преподавался авторами в Корнеллском университете начиная с 1975 г. Компактные объекты включают белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры. Они представляют собой конечные стадии эволюции звезд и являются, таким образом, одной из основных составляющих физической Вселенной.

Данная книга, как и предшествовавший ей курс лекций, появилась в результате резкого подъема научных исследований компактных объектов, начавшегося в 60-х годах. В течение этого периода в нашей Галактике были открыты пульсары и двойные рентгеновские источники, и эти открытия стали важными вехами в развитии астрофизики. Существование нейтронных звезд, которые прежде существовали лишь в умах нескольких теоретиков, было с определенностью доказано. Стала вполне реальной возможность существования черных дыр, и даже обнаружилось несколько кандидатов на эту роль на звездном небе. Однако еще более важно, пожалуй, то, что эти открытия послужили толчком к новым теоретическим исследованиям и программам наблюдений, направленным на изучение физической природы компактных звезд. Выросло целое поколение физиков, как экспериментаторов, так и теоретиков, а также астрономов, принимающих участие в этой увлекательной исследовательской работе, которая продолжается по сей день.

Изучение компактных объектов, ставшее предметом большого внимания со стороны общественности, еще очень далеко от своего завершения. Далеко не все вопросы, относящиеся к структуре и эволюции компактных объектов, разрешены полностью, и тем не менее ответы на эти вопросы вовсе не кажутся недостижимыми. В настоящее время наука о компактных объектах вполне сформировалась как отрасль физики, в которой проводятся как наблюдения, так и строгие теоретические исследования. Новые данные и новые идеи возникают здесь постоянно. Более того, некоторые из этих идей должны оказывать большое влияние на другие отрасли физики, поскольку в компактных объектах происходят взаимодействия всех четырех типов. Кто, например, мог предвидеть, что вопрос о том, претерпевает ли ядерная материя фазовый переход в кварковое состояние при высокой плотности, будет решаться путем наблюдений с рентгеновского спутника!

Настоящая книга предназначена для аспирантов первого года или студентов старших курсов, изучающих физику и астрономию. Для ее чтения не требуется никаких предварительных знаний в астрофизике или в общей

теории относительности. Все необходимые понятия и математические методы вводятся по мере надобности. Предполагается, однако, что читатель знаком с теорией электромагнетизма, статистической физикой и термодинамикой, классической и квантовой механикой и специальной теорией относительности в пределах университетского курса.

Поскольку здесь даны лишь элементы общей теории относительности, необходимые для нашего изложения, подготовленные читатели могут обратиться к одному из прекрасных курсов общей теории относительности, вышедших в последние годы, чтобы углубить и расширить свои знания. Мы рекомендуем для этой цели «Гравитацию» Мизнера, Торна и Уилера [411] или «Гравитацию и космологию» Вейнберга [606]. Читатели, у которых возникнет желание изучить физику «обычных» звезд, горение в которых поддерживается ядерными реакциями и которые еще не сжаты силами тяготения до состояния компактных объектов, могут воспользоваться монографиями Клейтона [135] или Кокса и Джули [152]. Подчеркнем, однако, что мы пытались сделать нашу книгу полностью независимой от других источников.

Изложенный в ней материал располагается в естественном порядке. Для компактных объектов каждого типа (белых карликов, нейтронных звезд или черных дыр) вначале анализируются физические свойства в «основном» состоянии. Например, прежде всего рассматривается сферически-симметричная невращающаяся конфигурация при нулевой температуре. Затем анализируется действие на эти объекты различных «возмущений», например вращения, магнитных полей, тепловых потоков, аккреции и т.п. Как и для большинства физических систем, структура компактных звезд лучше всего проявляется в том случае, когда они подвергаются воздействию каких-либо возмущающих факторов. (В самом деле, невозмущенные компактные звезды в космосе просто ненаблюдаемы!) Где это возможно, мы привлекаем данные наблюдений, чтобы обосновать и пояснить теоретическое обсуждение.

Авторы попытались предложить простые (например, «одномерные») модели аналитических вычислений вместо слишком сложных выводов или не всегда доступных численных расчетов. Такие аналитические модели служат для выявления основных физических принципов, хотя, может быть, и не обеспечивают высокой точности. В случаях когда такого рода оценки предлагаются вместо более точных вычислений, результаты последних всегда четко сформулированы, разумеется, если они существуют вообще.

Чтобы удержать объем книги в разумных пределах, авторам пришлось придирчиво отбирать материал. Кое в чем этот выбор произволен и основан на субъективных симпатиях. В других случаях при отборе материала авторы руководствовались стремлением, чтобы книга не слишком скоро устарела. Например, политропные модели звезд или уравнение состояния идеального ферми-газа, по-видимому, никогда не утратят своей ценности. Другой пример: хотя точная теория остывания нейтронной звезды еще не построена, уже теперь ясно, каковы ее основные физические принципы и как будет проведен расчет. Поэтому мы предлагаем подробный «типич-

ный» расчет; в нем можно изменить числа, но идеи останутся неизменными. С другой стороны, мы еще не знаем детального механизма излучения пульсара. До сих пор остается неясным, какие физические концепции, лежащие в основе современных моделей, окажутся правильными. Исходя из этого, авторы ограничились в указанном случае более коротким обсуждением. Лет через десять читатель сможет увидеть, насколько оправданным оказался подход, избранный авторами.

Чтобы сделать книгу полезной в качестве учебника, авторы включили в нее свыше 250 упражнений, предназначенных для проработки студентами. Эти упражнения разбросаны по всему тексту. В некоторых из них предлагается довести до конца выводы, начатые или намеченные в тексте; другие представляют собой несколько более сложные задачи. Ко многим упражнениям даны ответы. Поскольку большинство результатов, содержащихся в упражнениях, является неотъемлемой частью изложения и используется в дальнейшем, студенту рекомендуется по крайней мере прочитать упражнение, даже если он не собирается его решать. Разумеется, как и в любом разделе физики, по-настоящему овладеть предметом можно, только основательно поработав с ним, а в данном случае работа — это решение задач. Чтобы придать этому делу больший интерес, в книгу включен ряд «вычислительных упражнений». Это несколько более длинные числовые примеры, которые можно решить на настольном программируемом калькуляторе или на любой малой ЭВМ. Такие упражнения полезны не только для пояснения физических аспектов, но и для обучения численным методам.

Имеется немало прекрасных книг и обзорных статей, в которых обсуждается целый ряд вопросов, затронутых в настоящей книге. Мы часто ссылаемся на эти источники. Наряду с другими книгами, упомянутыми в данном предисловии, для изучающих предмет исключительно полезна книга Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика», т. 1 [636].

Не удивительно, что в подготовку этой книги внесли вклад многие люди, работающие в самых различных учреждениях. Мы просто не в состоянии перечислить все случаи, когда студенты и наши коллеги оказывали нам неоценимую помощь своими критическими замечаниями, советами и указаниями. Однако мы особенно благодарны некоторым из своих коллег за внимательное чтение отдельных разделов предварительного варианта этой книги и за столь важные для нас отзывы. Благодарим за внимание, бескорыстную трату времени и многочисленные советы К. Олкока, Дж. Аронса, Дж. Бакала, Дж. Бардина, Г. Бете, Р. Бландфорда, С. Чандрасекара, Дж. Кордеса, Т. Голда, К. Готтфрида, П. Джосса, Д. Лэмба, Ф. Лэмба, А. Лайтмана, Ч. Мизнера, Дж. Острайкера, Ф. Пачини, Д. Пайнса, С. Раппапорта, Э. Солпитера, С. Сталера, Дж. Тейлора, И. Терзиана, К. Торна, Х. Ван Хорна, Р. Вагонера и И. Вассермана. Кроме того, многие коллеги помогали нам во время работы над книгой своим ободрением и поддержкой. Среди прочих нам хотелось бы выразить свою признательность У. Арнетту, Дж. Бейму, Дж. Кларку, Д. Эрдли, У. Фаулеру, Р. Джаакони, Дж. Хартлу, С. Хокингу, М. Милгрому, К. Петиду, У. Прессу,

Р. Прайсу, М. Рису, М. Рудерману, Д. Шрамму, Б. Шутцу, Д. Шаме, П. Шапиро, Л. Смарру, С. Вейнбергу и Дж. Уилеру. Мы благодарим Р. Дункана, П. Шиндера, Х. Скотта и Дж. Уонга за тщательную проверку окончательного варианта рукописи, включая упражнения. Наконец, мы бесконечно признательны Д. Стюарт и Дж. Уитакр за перепечатку рукописи и внесение бесчисленных исправлений, предшествовавших окончательному тексту.

Благодарим Национальный научный фонд за помощь в проведении исследовательских работ, которые представлены в этой книге, и за финансовую поддержку Корнеллского университета. Авторы выражают признательность за предоставление им стипендий от Фонда А. П. Слоана (С.Л.Ш) и Фонда Дж. С. Гуггенгейма (С. А. Т.).

*Стюарт Л. Шапиро  
Саул А. Тьюколски*

*Итака, шт. Нью-Йорк  
Январь 1983 г.*