

Оглавление

Благодарности	5
Предисловие	7
1. Наше представление о Вселенной	9
2. Пространство и время	20
3. Расширяющаяся Вселенная	37
4. Принцип неопределенности	52
5. Элементарные частицы и силы в природе	60
6. Черные дыры	75
7. Черные дыры не так уж черны	90
8. Рождение и гибель Вселенной	102
9. Стрела времени	124
10. Объединение физики	132
11. Заключение	144
Альберт Эйнштейн	148
Галилео Галилей	150
Исаак Ньютон	152
Словарь терминов	154
Послесловие (Сморodinский Я. А.)	159

1

Наше представление о Вселенной

Как-то один известный ученый (говорят, это был Бертран Рассел) читал публичную лекцию об астрономии. Он рассказывал, как Земля обращается вокруг Солнца, а Солнце в свою очередь обращается вокруг центра огромного скопления звезд, которое называют нашей Галактикой. Когда лекция подошла к концу, из последних рядов зала поднялась маленькая пожилая леди и сказала: «Все, что Вы нам говорили — чепуха. На самом деле наш мир — это плоская тарелка, которая стоит на спине гигантской черепахи». Снисходительно улыбнувшись, ученый спросил: «А на чем держится черепаха?» — «Вы очень, очень умны, молодой человек, — ответила пожилая леди. — Черепаха — на другой черепахе, та — тоже на черепахе, и так все ниже и ниже».

Такое представление о Вселенной как о бесконечной башне из черепашек большинству из нас покажется смешным, но почему мы думаем, что сами знаем лучше? Что нам известно о Вселенной, и как мы это узнали? Откуда взялась Вселенная, и что с ней станет? Было ли у Вселенной начало, а если было, то что происходило *до начала*? Какова сущность времени? Кончится ли оно когда-нибудь? Достижения физики последних лет, которыми мы частично обязаны фантастической новой технике, позволяют, наконец, получить ответы хотя бы на отдельные из таких давно поставленных вопросов. Пройдет время, и эти ответы, может быть, станут столь же очевидными, как то, что Земля вращается вокруг Солнца, а может быть, столь же нелепыми, как башня из черепашек. Только время (чем бы оно ни было) решит это.

Еще в 340 г. до н. э. греческий философ Аристотель в своей книге «О небе» привел два веских довода в пользу того, что Земля не плоская тарелка, а круглый шар. Во-первых, Аристотель догадался, что лунные затмения происходят тогда, когда Земля оказывается между Луной и Солнцем. Земля всегда отбрасывает на Луну круглую тень, а это может быть лишь в том случае, если Земля имеет форму шара. Будь Земля плоским диском, ее тень имела бы форму вытянутого эллипса, если только затмение не происходит всегда именно в тот момент, когда Солнце находится точно на оси диска. Во-вторых, по опыту своих путешествий греки знали, что в южных районах Полярная звезда не небе располагается ниже, чем в северных. (Поскольку Полярная звезда находится над Северным

полюсом, она будет прямо над головой наблюдателя, стоящего на Северном полюсе, а человеку на экваторе покажется, что она на линии горизонта.) Зная разницу в кажущемся положении Полярной звезды в Египте и Греции, Аристотель сумел даже вычислить, что длина экватора равна 400 000 стадиев. Что такое стадий, точно неизвестно, но он близок к 200 метрам, и, стало быть, оценка Аристотеля примерно в 2 раза больше значения, принятого сейчас. У греков был еще и третий довод в пользу шарообразной формы Земли: если Земля не круглая, то почему же мы сначала видим паруса корабля, поднимающиеся над горизонтом, и только потом сам корабль?

Аристотель думал, что Земля неподвижна, а Солнце, Луна, планеты и звезды обращаются вокруг нее по круговым орбитам. Он так полагал, ибо в соответствии со своими мистическими воззрениями Землю считал центром Вселенной, а круговое движение — самым совершенным. Птолемей во II веке развил идею Аристотеля в полную космологическую модель. Земля стоит в центре, окруженная восемью сферами, несущими на себе Луну, Солнце и пять известных тогда планет: Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн (рис. 1.1). Сами планеты, считал Птолемей, движутся по меньшим кругам, скрепленным с соответствующими сферами. Это объясняло тот весьма сложный путь, который, как мы видим, совершают планеты. На самой последней сфере располагаются неподвижные звезды, которые, оставаясь в одном и том же положении друг относительно друга, движутся по небу все вместе как единое целое. Что лежит за последней сферой, не объяснялось, но во всяком случае это уже не было частью той Вселенной, которую наблюдает человечество.

Модель Птолемея позволяла неплохо предсказывать положение небесных тел на небосводе, но для точного предсказания ему пришлось принять, что траектория Луны в одних местах подходит к Земле в 2 раза ближе, чем в других! Это означает, что в одном положении Луна должна казаться в 2 раза большей, чем в другом! Птолемей знал об этом недостатке, но тем не менее его теория была признана, хотя и не везде. Христианская церковь приняла птолемею модель Вселенной как не противоречащую Библии, ибо эта модель была очень хороша тем, что оставляла за пределами сферы неподвижных звезд много места для ада и рая. Однако в 1514 г. польский священник Николай Коперник предложил еще более простую модель. (Вначале, опасаясь, наверно, того, что церковь объявит его еретиком, Коперник пропагандировал свою модель анонимно.) Его идея состояла в том, что Солнце стоит неподвижно в центре, а Земля и другие планеты обращаются вокруг него по круговым орбитам. Прошло почти столетие, прежде чем идею Коперника восприняли серьезно. Два астронома — немец Иоганн Кеплер и итальянец Галилео Галилей — публично выступили в под-

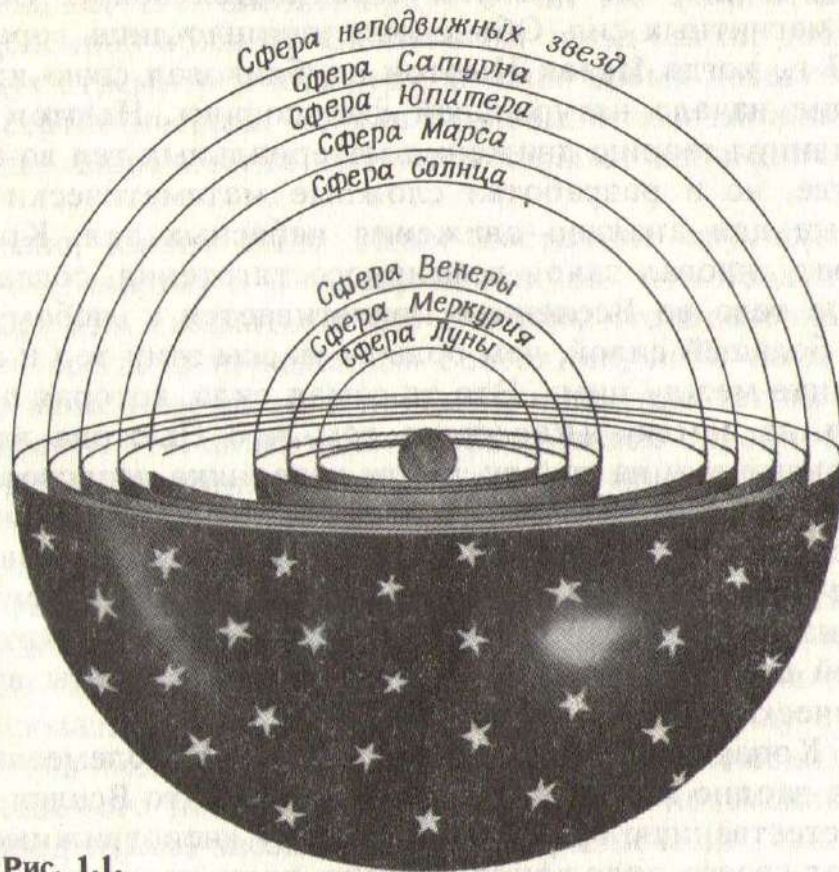


Рис. 1.1.

держку теории Коперника, несмотря на то что предсказанные Коперником орбиты не совсем совпадали с наблюдаемыми. Теории Аристотеля — Птолемея пришел конец в 1609 г., когда Галилей начал наблюдать ночное небо с помощью только что изобретенного телескопа. Направив телескоп на планету Юпитер, Галилей обнаружил несколько маленьких спутников, или лун, которые обращаются вокруг Юпитера. Это означало, что не все небесные тела должны обязательно обращаться непосредственно вокруг Земли, как считали Аристотель и Птолемей. (Разумеется, можно было по-прежнему считать, что Земля покоится в центре Вселенной, а луны Юпитера движутся по очень сложному пути вокруг Земли, так что лишь *кажется*, будто они обращаются вокруг Юпитера. Однако теория Коперника была значительно проще.) В то же время Иоганн Кеплер модифицировал теорию Коперника, исходя из предположения, что планеты движутся не по окружностям, а по эллипсам (эллипс — это вытянутая окружность). Наконец-то теперь предсказания совпали с результатами наблюдений.

Что касается Кеплера, то его эллиптические орбиты были искусственной (*ad hoc*) гипотезой, и притом «неизящной», так как эллипс гораздо менее совершенная фигура, чем круг. Почти случайно обнаружив, что эллиптические орбиты хорошо согласуются с наблюдениями, Кеплер так и не сумел примирить этот факт со

своей идеей о том, что планеты обращаются вокруг Солнца под действием магнитных сил. Объяснение пришло лишь гораздо позднее, в 1687 г., когда Исаак Ньютон опубликовал свою книгу «Математические начала натуральной философии». Ньютон в ней не только выдвинул теорию движения материальных тел во времени и пространстве, но и разработал сложные математические методы, необходимые для анализа движения небесных тел. Кроме того, Ньютон постулировал закон всемирного тяготения, согласно которому всякое тело во Вселенной притягивается к любому другому телу с тем большей силой, чем больше массы этих тел и чем меньше расстояние между ними. Это та самая сила, которая заставляет тела падать на землю. (Рассказ о том, что Ньютона вдохновило яблоко, упавшее ему на голову, почти наверняка недостоверен. Сам Ньютон сказал об этом лишь то, что мысль о тяготении пришла, когда он сидел в «созерцательном настроении», и «поводом было падение яблока».) Далее Ньютон показал, что, согласно его закону, Луна под действием гравитационных сил движется по эллиптической орбите вокруг Земли, а Земля и планеты вращаются по эллиптическим орбитам вокруг Солнца.

Модель Коперника помогла избавиться от птолемеевых небесных сфер, а заодно и от представления о том, что Вселенная имеет какую-то естественную границу. Поскольку «неподвижные звезды» не изменяют своего положения на небе, если не считать их кругового движения, связанного с вращением Земли вокруг своей оси, естественно было предположить, что неподвижные звезды — это объекты, подобные нашему Солнцу, только гораздо более удаленные.

Ньютон понимал, что по его теории тяготения звезды должны притягиваться друг к другу и поэтому, казалось бы, не могут оставаться совсем неподвижными. Не должны ли они упасть друг на друга, сблизившись в какой-то точке? В 1691 г. в письме Ричарду Бентли, еще одному выдающемуся мыслителю того времени, Ньютон говорил, что так действительно должно было бы произойти, если бы у нас было лишь конечное число звезд в конечной области пространства. Но, рассуждал Ньютон, если число звезд бесконечно и они более или менее равномерно распределены по бесконечному пространству, то этого никогда не произойдет, так как нет центральной точки, куда им нужно было бы падать.

Эти рассуждения — пример того, как легко попасть впросак, ведя разговоры о бесконечности. В бесконечной Вселенной любую точку можно считать центром, так как по обе стороны от нее число звезд бесконечно. Лишь гораздо позже поняли, что более правильный подход — взять конечную систему, в которой все звезды падают друг на друга, стремясь к центру, и посмотреть, какие будут изменения, если добавлять еще и еще звезд, распределенных приблизительно равномерно вне рассматриваемой области. По закону Ньютона дополнительные звезды в среднем никак не повлияют на

первоначальные, т. е. звезды будут с той же скоростью падать в центр выделенной области. Сколько бы звезд мы ни добавили, они всегда будут стремиться к центру. В наше время известно, что бесконечная статистическая модель Вселенной невозможна, если гравитационные силы всегда остаются силами взаимного притяжения.

Интересно, каким было общее состояние научной мысли до начала XX в.: никому и в голову не пришло, что Вселенная может расширяться или сжиматься. Все считали, что Вселенная либо существовала всегда в неизменном состоянии, либо была сотворена в какой-то момент времени в прошлом примерно такой, какова она сейчас. Отчасти это, может быть, объясняется склонностью людей верить в вечные истины, а также особой притягательностью той мысли, что, пусть сами они состарятся и умрут, Вселенная останется вечной и неизменной.

Даже тем ученым, которые поняли, что ньютоновская теория тяготения делает невозможной статическую Вселенную, не приходила в голову гипотеза расширяющейся Вселенной. Они попытались модифицировать теорию, сделав гравитационную силу отталкивающей на очень больших расстояниях. Это практически не меняло предсказываемого движения планет, но зато позволяло бесконечному распределению звезд оставаться в равновесии, так как притяжение близких звезд компенсировалось отталкиванием от далеких. Но сейчас мы считаем, что такое равновесие оказалось бы неустойчивым. В самом деле, если в какой-то области звезды чуть-чуть сблизятся, то силы притяжения между ними возрастут и станут больше сил отталкивания, так что звезды будут и дальше сближаться. Если же расстояние между звездами чуть-чуть увеличится, то перевесят силы отталкивания и расстояние будет нарастать.

Еще одно возражение против модели бесконечной статической Вселенной обычно приписывается немецкому философу Генриху Олберсу, который в 1823 г. опубликовал работу, посвященную этой модели. На самом деле многие современники Ньютона занимались той же задачей, и статья Олберса была даже не первой среди работ, в которых высказывались серьезные возражения. Ее лишь первой стали широко цитировать. Возражение таково: в бесконечной статической Вселенной любой луч зрения должен упираться в какую-нибудь звезду. Но тогда небо даже ночью должно ярко светиться, как Солнце. Контраргумент Олберса состоял в том, что свет, идущий к нам от далеких звезд, должен ослабляться из-за поглощения в находящемся на его пути веществе. Но в таком случае само это вещество должно нагреться и ярко светиться, как звезды. Единственная возможность избежать вывода о ярко, как Солнце, светящемся ночном небе — предположить, что звезды сияли не всегда, а загорелись в какой-то определенный момент времени в прошлом. Тогда поглощающее вещество, возможно, еще не успело

разогреться или же свет далеких звезд еще не дошел до нас. Но возникает вопрос: почему зажглись звезды?

Конечно, проблема возникновения Вселенной занимала умы людей уже очень давно. Согласно ряду ранних космогоний и иудейско-христианско-мусульманским мифам, наша Вселенная возникла в какой-то определенный и не очень отдаленный момент времени в прошлом. Одним из оснований таких верований была потребность найти «первопричину» существования Вселенной. Любое событие во Вселенной объясняют, указывая его причину, т. е. другое событие, произошедшее раньше; подобное объяснение существования самой Вселенной возможно лишь в том случае, если у нее было начало. Другое основание выдвинул Блаженный Августин¹ в книге «Град божий». Он указал на то, что цивилизация прогрессирует, а мы помним, кто совершил то или иное деяние и кто что изобрел. Поэтому человечество, а значит, вероятно, и Вселенная, вряд ли очень долго существуют. Блаженный Августин считал приемлемой дату сотворения Вселенной, соответствующую книге «Бытия»: приблизительно 5000-й год до нашей эры. (Интересно, что эта дата не так уж далека от конца последнего ледникового периода — 10 000 лет до н. э., который археологи считают началом цивилизации.)

Аристотелю же и большинству других греческих философов не нравилась идея сотворения Вселенной, так как она связывалась с божественным вмешательством. Поэтому они считали, что люди и окружающий их мир существовали и будут существовать вечно. Довод относительно прогресса цивилизации ученые древности рассматривали и решили, что в мире периодически происходили потопаы и другие катаклизмы, которые все время возвращали человечество к исходной точке цивилизации.

Вопросы о том, возникла ли Вселенная в какой-то начальный момент времени и ограничена ли она в пространстве, позднее весьма пристально рассматривал философ Иммануил Кант в своем монументальном (и очень темном) труде «Критика чистого разума», который был издан в 1781 г. Он назвал эти вопросы антиномиями (т. е. противоречиями) чистого разума, так как видел, что в равной мере нельзя ни доказать, ни опровергнуть ни тезис о необходимости начала Вселенной, ни антитезис о ее вечном существовании. Тезис Кант аргументировал тем, что если бы у Вселенной не было начала, то всякому событию предшествовал бы бесконечный период времени, а это Кант считал абсурдом. В поддержку антитезиса Кант говорил, что если бы Вселенная имела начало, то ему предшествовал бы бесконечный период времени, а тогда спрашивается, почему Вселенная вдруг возникла в тот, а не другой момент времени? На самом деле аргументы Канта фактически одинаковы и для тезиса, и для антитезиса. Он исходит из молчаливого предположения, что время

¹ Православная церковь считает Августина блаженным, а католическая — святым. — *Прим. ред.*

бесконечно в прошлом независимо от того, существовала или не существовала вечно Вселенная. Как мы увидим ниже, до возникновения Вселенной понятие времени лишено смысла. На это впервые указал Блаженный Августин. Когда его спрашивали, чем занимался Бог до того, как создал Вселенную, Августин никогда не отвечал в том духе, что, мол, Бог готовил ад для тех, кто задает подобные вопросы. Нет, он говорил, что время — неотъемлемое свойство созданной Богом Вселенной и поэтому до возникновения Вселенной времени не было.

Когда большинство людей верили в статическую и неизменную Вселенную, вопрос о том, имела она начало или нет, относился в сущности к области метафизики и теологии. Все наблюдаемые явления можно было объяснить как с помощью теории, в которой Вселенная существует вечно, так и с помощью теории, согласно которой Вселенную сотворили в какой-то определенный момент времени таким образом, чтобы все выглядело, как если бы она существовала вечно. Но в 1929 г. Эдвин Хаббл сделал эпохальное открытие: оказалось, что в какой бы части неба ни вести наблюдения, все далекие галактики быстро удаляются от нас. Иными словами, Вселенная расширяется. Это означает, что в более ранние времена все объекты были ближе друг к другу, чем сейчас. Значит, было, по-видимому, время, около десяти или двадцати тысяч миллионов лет назад, когда они все находились в одном месте, так что плотность Вселенной была бесконечно большой. Сделанное Хабблом открытие перевело вопрос о том, как возникла Вселенная, в область компетенции науки.

Наблюдения Хаббла говорили о том, что было время — так называемый большой взрыв, когда Вселенная была бесконечно малой и бесконечно плотной. При таких условиях все законы науки теряют смысл и не позволяют предсказывать будущее. Если в еще более ранние времена и происходили какие-либо события, они все равно никак не смогли бы повлиять на то, что происходит сейчас. Из-за отсутствия же наблюдаемых следствий ими можно просто пренебречь. Большой взрыв можно считать началом отсчета времени в том смысле, что более ранние времена были бы просто не определены. Подчеркнем, что такое начало отсчета времени очень сильно отличается от всего того, что предлагалось до Хаббла. Начало времени в неизменяющейся Вселенной есть нечто, что должно определяться чем-то существующим вне Вселенной; для начала Вселенной нет физической необходимости. Сотворение Богом Вселенной можно в своем представлении относить к любому моменту времени в прошлом. Если же Вселенная расширяется, то могут существовать физические причины для того, чтобы она имела начало. Можно по-прежнему представлять себе, что именно Бог создал Вселенную — в момент большого взрыва или даже позднее (но так, как если бы произошел большой взрыв). Однако было бы абсурдно утверждать, что Вселенная возникла раньше большого взрыва. Представление о

расширяющейся Вселенной не исключает создателя, но налагает ограничения на возможную дату его трудов!

Чтобы можно было говорить о сущности Вселенной и о том, было ли у нее начало и будет ли конец, нужно хорошо представлять себе, что такое научная теория вообще. Я буду придерживаться простейшей точки зрения: теория — это теоретическая модель Вселенной или какой-нибудь ее части, дополненная набором правил, связывающих теоретические величины с нашими наблюдениями. Эта модель существует лишь у нас в голове и не имеет другой реальности (какой бы смысл мы ни вкладывали в это слово). Теория считается хорошей, если она удовлетворяет двум требованиям: во-первых, она должна точно описывать широкий класс наблюдений в рамках модели, содержащей лишь несколько произвольных элементов, и, во-вторых, теория должна давать вполне определенные предсказания относительно результатов будущих наблюдений. Например, теория Аристотеля, согласно которой все состоит из четырех элементов — земли, воздуха, огня и воды — была достаточно простой, чтобы называться теорией, но с ее помощью нельзя было получить никаких определенных предсказаний. Теория же тяготения Ньютона исходила из еще более простой модели, в которой тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной некоторой величине, называемой их массой, и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Но теория Ньютона весьма точно предсказывает движение Солнца, Луны и планет.

Любая физическая теория всегда носит временный характер в том смысле, что является всего лишь гипотезой, которую нельзя доказать. Сколько бы раз ни констатировалось согласие теории с экспериментальными данными, нельзя быть уверенным в том, что в следующий раз эксперимент не войдет в противоречие с теорией. В то же время любую теорию можно опровергнуть, сославшись на одно-единственное наблюдение, которое не согласуется с ее предсказаниями. Как указывал философ Карл Поппер, специалист в области философии науки, необходимым признаком хорошей теории является то, что она позволяет сделать предсказания, которые в принципе могут быть экспериментально опровергнуты. Всякий раз, когда новые эксперименты подтверждают предсказания теории, теория демонстрирует свою жизненность, и наша вера в нее крепнет. Но если хоть одно новое наблюдение не согласуется с теорией, нам приходится либо отказаться от нее, либо переделать. Такова по крайней мере логика, хотя, конечно, вы всегда вправе усомниться в компетентности того, кто проводил наблюдения.

На практике часто оказывается, что новая теория на самом деле является расширением предыдущей теории. Например, чрезвычайно точные наблюдения за планетой Меркурий выявили небольшие расхождения между ее движением и предсказаниями ньютоновской теории тяготения. Согласно общей теории относительности Эйн-

штейна, Меркурий должен двигаться немного иначе, чем получается в теории Ньютона. Тот факт, что предсказания Эйнштейна совпадают с результатами наблюдений, а предсказания Ньютона не совпадают, стал одним из решающих подтверждений новой теории. Правда, на практике мы до сих пор пользуемся теорией Ньютона, так как в тех случаях, с которыми мы обычно сталкиваемся, ее предсказания очень мало отличаются от предсказаний общей теории относительности. (Теория Ньютона имеет еще и то огромное преимущество, что с ней гораздо проще работать, чем с теорией Эйнштейна.)

Конечной целью науки является создание единой теории, которая описывала бы всю Вселенную. Решая эту задачу, большинство ученых делят ее на две части. Первая часть — это законы, которые дают нам возможность узнать, как Вселенная изменяется со временем. (Зная, как выглядит Вселенная в какой-то один момент времени, мы с помощью этих законов можем узнать, что с ней произойдет в любой более поздний момент времени.) Вторая часть — проблема начального состояния Вселенной. Некоторые полагают, что наука должна заниматься только первой частью, а вопрос о том, что было вначале, считают делом метафизики и религии. Сторонники такого мнения говорят, что, поскольку Бог всемогущ, в его воле было «запустить» Вселенную как угодно. Если они правы, то у Бога была возможность сделать так, чтобы Вселенная развивалась совершенно произвольно. Бог же, по-видимому, предпочел, чтобы она развивалась весьма регулярно, по определенным законам. Но тогда столь же логично предположить, что существуют еще и законы, управляющие начальным состоянием Вселенной.

Оказывается, очень трудно сразу создавать теорию, которая описывала бы всю Вселенную. Вместо этого мы делим задачу на части и строим частные теории. Каждая из них описывает один ограниченный класс наблюдений и делает относительно него предсказания, пренебрегая влиянием всех остальных величин или представляя последние простыми наборами чисел. Возможно, что такой подход совершенно неправилен. Если все во Вселенной фундаментальным образом зависит от всего другого, то возможно, что, исследуя отдельные части задачи изолированно, нельзя приблизиться к полному ее решению. Тем не менее в прошлом наш прогресс шел именно таким путем. Классическим примером опять может служить ньютоновская теория тяготения, согласно которой гравитационная сила, действующая между двумя телами, зависит только от одной характеристики каждого тела, а именно от его массы, но не зависит от того, из какого вещества состоит тела. Следовательно, для вычисления орбит, по которым движутся Солнце и планеты, не нужна теория их структуры и состава.

Сейчас есть две основные частные теории для описания Вселенной — общая теория относительности и квантовая механика.

Конец ознакомительного фрагмента

Уважаемый читатель!

Размещение полного текста данного произведения
невозможно в связи с ограничениями по IV части ГК РФ

Эту книгу вы можете прочитать
в Оренбургской областной универсальной
научной библиотеке им. Н. К. Крупской
по адресу: г. Оренбург, ул. Советская, 20
тел. для справок: (3532) 77-08-50

