

С.Э. Хайкин

Что такое силы инерции

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
С11

С11 **С.Э. Хайкин**
Что такое силы инерции / С.Э. Хайкин – М.: Книга по Требованию, 2022. –
120 с.

ISBN 978-5-458-58203-2

ISBN 978-5-458-58203-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Это введение в виде целой книги может показаться чересчур длинным. Вопросы, которые излагаются в нашей книге, т. е. представление о силах, законы Ньютона, происхождение деформаций и т. д., в курсах механики занимают обычно лишь несколько страниц. Такой краткости удается достигнуть благодаря тому, что в механике вместо подробного рассмотрения применяются упрощенные схемы, в которых целый ряд промежуточных этапов рассмотрения просто выпущен. Эти схемы, конечно, нужны и законны, но если, приступая к изучению механики, сразу начать пользоваться такими краткими схематическими рассуждениями, то трудно бывает разглядеть ту физическую картину, которая этим схематическим рассуждениям соответствует. Возникает опасность, что основные понятия и законы механики хотя и будут формально усвоены, но их физическое содержание останется нераскрытым. Чтобы избежать этой опасности, следует начинать не с сокращенных механических схем, а с подробной физической картины. Конечно, это не значит, что длинные рассуждения, рисующие подробную физическую картину, нужно повторять при решении каждой новой задачи. После того как физическая картина, соответствующая той или иной схеме рассуждений, будет выяснена, ее можно не повторять снова и снова, а прямо пользоваться схематическими рассуждениями, которые дают огромные преимущества в смысле краткости. Если физическая картина однажды была выяснена, то в случае надобности мы всегда сумеем к ней вернуться. Если же мы начнем сразу со схематических рассуждений, то создать заново физическую картину будет гораздо труднее.

Настоящая книга и представляет собой попытку нарисовать ту физическую картину, которая содержится в основных представлениях и законах механики. Как видно из только что сказанного, мы отнюдь не имеем в виду рекомендовать механикам и инженерам при решении конкретных задач повторять длинные рассуждения, которые содержатся в нашей книге. Для решения конкретных задач гораздо больше подходят те абстрактные представления и схематические рассуждения, которыми обычно пользуются механики. Но мы глубоко убеждены, что не только физик, но и механик и инженер должны совершенно ясно представлять себе физическое содержание всех основных понятий и законов механики. Это понимание не только даст удовлетворение, сделав понятия и законы механики физически содержательными, конкретными; оно также избавит механика и инженера от многих затруднений и недоразумений, возникающих потому, что за механической схемой не видят истинной физической картины, в частности, от затруднений и недоразумений, возникающих вокруг вопроса о силах инерции.

В заключение я пользуюсь случаем еще раз выразить свою глубокую благодарность акад. Л. И. Мандельштаму, советами которого я широко пользовался при составлении настоящей книги. Я весьма признателен также академикам В. А. Фоку и С. Л. Соболеву, просмотревшим рукопись и сделавшим мне несколько ценных замечаний.

С. Хайкин

Оглавление

От издательства	3
Предисловие	3
1. Выбор системы отсчета	7
2. Основные положения механики Ньютона	13
3. Силы в механике Ньютона	17
4. Законы движения	27
5. Силы трения	39
6. Происхождение деформаций	44
7. Силы и деформации	59
8. Силы инерции в смысле Ньютона	67
9. Силы инерции в движущихся системах координат	74
10. Силы инерции во вращающихся системах координат	83
11. Силы инерции и третий закон Ньютона	92
12. Законы сохранения и силы инерции	96
13. Абсолютно жесткие связи и принцип Даламбера	111
Заключение	117

1. Выбор системы отсчета.

Приступая к формулировке основных законов механики — законов движения, — мы должны прежде всего установить систему отсчета, т. е. выбрать те тела, относительно которых будет фиксироваться положение движущегося тела. Без этого самое понятие механического движения не имеет смысла, ибо под движением в механике мы понимаем изменение положения данного тела относительно каких-либо других тел. Движение же „вообще“, безотносительно к каким-либо другим телам, не имеет, конечно, никакого содержания.

Выбрав те тела, которые будут служить для отсчета, мы можем мысленно жестко связать с этими „опорными“ телами систему координат и фиксировать положение движущегося тела, задавая координаты одной или нескольких его точек. Само собой разумеется, что в качестве системы отсчета мы можем выбрать различные тела, можем связать систему координат с землей, солнцем, с какими-либо звездами и т. д. Но во всяком случае мы должны заранее произвести этот выбор, т. е. заранее условиться, относительно каких тел мы будем отсчитывать положение интересующего нас движущегося тела.

Описание движения тела сведется к установлению значений координат тела в различные моменты времени. При этом мы должны будем фиксировать моменты прохождения различных точек тела через какие-то определенные точки нашей системы координат, т. е. регистрировать моменты времени, в которые в различных точках пространства происходят некоторые события, именно прохождение точки через определенное положение. Таким образом в механике необходимо не только выбрать систему координат, но и установить способ определения моментов времени, в которые определенные события происходят в разных точках пространства. Мы подчеркиваем, что речь идет именно об установлении какого-то одного способа отсчета времени, ибо способов этих можно было бы предложить много, и поэтому нужно заранее условиться, каким именно из них мы будем пользоваться. Мы могли бы, например, пользоваться таким способом отсчета времени в разных точках пространства: взять много одинаковых часов, тщательно их выверить, затем расставить в разных местах, и время прохождения тела мимо каких-либо часов отсчитывать по этим часам. Можно было бы поступить иначе: пользоваться одними только часами, находящимися неподвижно в какой-либо точке; о событии же, происшедшем в какой-либо другой точке, по радио сообщать туда, где находятся наши единственные часы; время, которое показывают часы в момент получения радиосигнала, мы будем считать моментом, в ко-

торый произошло событие. Можно видоизменить этот способ отсчета времени, вводя поправку на время, потребное для прохождения радиосигнала от точки, где произошло событие, до точки, где находится часы. Можно было бы установить и другие способы отсчета времени, но для нас важны не самые методы отсчета времени, а лишь тот факт, что не существует единственного, очевидного и само собой разумеющегося метода отсчета времени в разных точках и что нужно заранее условиться, как производить отсчет времени событий, происходящих в разных точках пространства.

Только условившись заранее о том, относительно каких тел мы будем отсчитывать положение движущегося тела и каким способом мы будем отсчитывать время, соответствующее данному положению тела, мы можем приступить к описанию и изучению механических движений.



Рис. 1.

Если мы этого не сделаем, то это значит лишь, что мы неявно пользуемся одним из возможных методов отсчета координат и времени. Но поскольку мы заранее не оговорили этого, всегда существует опасность, что в различных случаях мы будем пользоваться различными системами координат и различными методами отсчета времени, а это может привести к глубоким проти-

воречиям и трудностям и прежде всего затруднить установление общих закономерностей, которые были бы в одинаковой мере применимы ко всем наблюдаемым явлениям.

Действительно, как устанавливаются законы механики? Наблюдая разнообразные движения и сопоставляя эти различные случаи между собой, мы подмечаем общие черты этих движений, устанавливаем одинаковые факты, наблюдаемые во всех разнообразных случаях, и путем соответствующих обобщений приходим к законам механики. Но сами факты выглядят, вообще говоря, иначе, когда мы изменяем способ отсчета координат и времени. Наблюдаемые нами явления могут иметь совершенно различный вид, если мы будем пользоваться различными системами координат (а некоторые явления и в случае различных способов отсчета времени). Для пояснения сказанного достаточно привести такой пример. Допустим, мы наблюдаем из окна поезда покоящийся на земле предмет. Отмечать положение этого предмета мы можем как по отношению к земле, так и по отношению к поезду (мы вправе выбрать любую из этих двух или вовсе какую-либо иную систему координат). Пока поезд стоит на месте, наши наблюдения над движением предмета как в той, так и в другой системе координат дадут одинаковые результаты — предмет покоится как по отношению к земле, так и по отношению к поезду. Но если поезд начнет двигаться, то движение предмета будет совершенно различным по отношению к системе координат, связанной с землей, или по отношению к системе координат, связанной с поездом. По отношению к первой

предмет покоится, а по отношению ко второй движется и притом с ускорением (пока поезд движется с ускорением). Вообще движения одних и тех же тел в разных системах координат могут выглядеть, конечно, по-разному. Очень убедительным примером этого могут служить фотографии, приведенные на рис. 1 и 2. Эти фотографии изображают движение одной и той же жидкости, сфотографированной при помощи двух фотоаппаратов, движущихся в том же направлении, что и жидкость, но с различной скоростью. Два фотоаппарата это и есть две „системы координат“, к которым мы относим движение одних и тех же тел. Как видно из сравнения фотографий, движение одной и той же жидкости в различных системах координат имеет совершенно разный характер.

Итак, характер движений, совершаемых каким-либо телом, зависит, таким образом, от выбора системы координат. Явления могут потерять свои общие черты уже толь-

ко потому, что мы будем одно из явлений относить к одной системе координат, а другое — к другой. Движения будут выглядеть по-разному при применении различных систем координат, и если, относя некоторые движения к одной и той же системе координат, мы наблюдали одинаковые явления, то, относя эти движения к различным системам координат, мы будем наблюдать уже, вообще говоря, различные явления. Общность явлений будет нарушена, и тем самым будет затруднено установление общих закономерностей и формулировка законов механики.

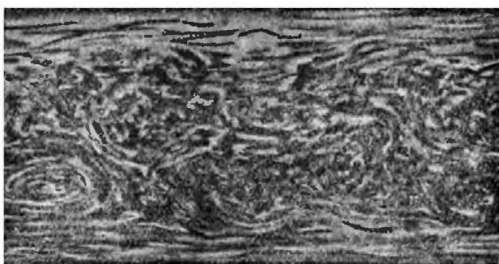


Рис. 2.

Для иллюстрации вернемся к приведенному выше примеру. Допустим, что мы наблюдаем движения тел, относя их к системе координат, связанной с землей, и нам удалось подметить такой общий для всех этих движений факт: всякий раз, когда материальное тело испытывает ускорение, мы обнаруживаем какое-либо другое материальное тело (или другие материальные тела), присутствием которого и объясняется наблюдаемое ускорение. За исключением некоторых специальных случаев (о которых у нас еще будет идти речь) этот факт наблюдается всегда, пока мы относим все движения к системе координат, связанной с землей. И на основании этих наблюдений легко сделать заключение о том, что ускорения материальному телу могут сообщаться только другими материальными телами¹⁾. Но если мы часть движений относим к земле, а часть к системе координат, связанной с поездом, то мы в этом втором случае можем наблюдать ускорения и не обнаружить никаких материальных тел, присутствием которых можно

¹⁾ Это утверждение составляет одно из основных положений механики Ньютона. В дальнейшем мы об этом положении будем говорить весьма подробно.

было бы наблюдаемые ускорения объяснить. Действительно, когда поезд начинает ускоренно двигаться, то предмет, покоящийся относительно земли, приобретает ускорение относительно поезда, но никаких действующих на этот предмет материальных тел, появлением которых можно было бы объяснить возникновение этого ускорения, мы не обнаружим. Наблюдаемый нами факт тернет свою общность; он наблюдается в одних случаях и не наблюдается в других, и мы уже не смогли бы утверждать, что ускорения материального тела всегда являются результатом действия каких-то других материальных тел. Это важное положение, справедливое в одних случаях, было бы несправедливо в других. В этом, конечно, нет ничего удивительного. Так как в разных системах координат одно и то же тело одновременно (т. е. при одних и тех же условиях) совершает различные движения, то и законы, определяющие эти движения, также могут быть различны.

Таким образом, пользуясь различными системами координат, мы будем наблюдать различные движения и устанавливать различные законы движения, т. е., пользуясь различными системами координат, мы будем каждый раз получать, вообще говоря, какие-то новые законы движения, какую-то новую механику.

Принципиально такую же существенную роль, как и выбор системы координат, играет и выбор способа отсчета времени. Пользуясь различными способами определения момента времени, в который произошло какое-либо событие, мы будем наблюдать, вообще говоря, различные движения и будем устанавливать различные законы движения. Другими словами, пользуясь различными способами отсчета времени, мы будем получать каждый раз также какую-то новую механику. Механика теории относительности получилась как раз в результате применения вполне определенного способа отсчета времени (этот способ выбран хотя и вполне рационально, но все же произвольно, ибо можно было бы предложить и другие способы отсчета времени). В классической же механике способ отсчета времени не был заранее установлен, и поэтому в различных случаях применялись в сущности различные способы определения момента времени, в которое произошло событие. Этот произвол в выборе способа отсчета времени никак не сказывался при рассмотрении большинства задач механики. Но именно он в некоторых специальных случаях приводил классическую механику к тем трудностям, справиться с которыми смогла только теория относительности.

Однако хотя принципиально выбор системы координат и способа отсчета времени играет одинаково существенную роль, но практическое их значение для интересующих нас вопросов совершенно различно. В то время как переход к другой системе координат (движущейся относительно исходной системы координат) сразу изменяет характер почти всех наблюдаемых движений, применение того или другого способа отсчета времени (из тех, которыми фактически пользовались в физике) сказывается только в некоторых специальных случаях, выходящих за пределы обычной нашей механики. Выбор способа отсчета времени играет роль, например, в некоторых задачах небесной механики. При рассмотрении же движений макроскопических тел на земле выбор того или другого из применяемых способов отсчета времени, а

также и все остальные различия между классической механикой и механикой теории относительности не играют существенной роли. Классическая механика по отношению к механике теории относительности представляет собой первое приближение, которое дает достаточно точные результаты до тех пор, пока скорости, с которыми нам приходится иметь дело, малы по сравнению со скоростью света (т. е. скоростью в $300\,000\text{ км/сек}$). Поэтому при рассмотрении движений макроскопических тел на земле, скорости которых всегда гораздо меньше $300\,000\text{ км/сек}$, и, в частности, при рассмотрении движений во всех без исключения механизмах мы можем пользоваться классической механикой и не обращать внимания на вопрос о применяемом способе отсчета времени.

Вопрос же о выборе системы координат, как мы видели, играет существенную роль при рассмотрении всякого движения. Прежде чем приступать к рассмотрению движения какого-либо тела, нужно выбрать систему координат, т. е. выбрать другое тело или другие тела, относительно которых мы будем отмечать положение движущегося тела. При этом принципиально мы могли бы для каждого случая выбрать новую систему координат, например, для движений тел на поверхности земли выбрать систему координат, связанную с землей, для движений тел в вагоне поезда — систему координат, связанную с вагоном, и т. д. Однако при применении различных систем координат, как мы убедились, многие факты теряют свою общность и затрудняется установление общих закономерностей, справедливых для всех наблюдаемых явлений.

Применяя несколько различных систем координат и пытаясь установить для движений относительно этих систем координат определенные закономерности, мы, в сущности, пытаемся построить одновременно несколько различных механик. Ясно, насколько нецелесообразен такой путь. Гораздо целесообразнее, выбрав одну определенную систему координат, относиться к ней все движения и попытаться подметить закономерности, общие для всех этих движений, т. е. развивать только одну механику, справедливую в одной определенной системе координат. Построив какую-то одну механику, можно поставить вопрос о том, как следовало бы видоизменить эту механику, чтобы она была справедлива не в выбранной нами ранее, а в какой-либо другой системе координат. Таким образом, приступая к изучению движений и формулировке законов механики, нужно не только выбрать систему отсчета, но выбрать ее раз навсегда и к ней относить все без исключения изучаемые движения. Тогда гораздо легче будет подметать общие черты у всех изучаемых движений и сформулировать общие для них законы движения. Именно так поступал Ньютон.

Введенное Ньютоном понятие об „абсолютном пространстве“ в сущности и определяет ту систему координат, которой Ньютон пользовался при установлении законов движения. Правда, Ньютон пытался в понятие об „абсолютном пространстве“ вложить нечто большее, чем просто выбор системы отсчета, но мы сейчас в ньютоновом абсолютном пространстве можем видеть только выбор определенной системы координат. Отказываясь от представления об „абсолютном пространстве“, мы могли бы рассуждать так: предположим, что существует такая система координат (или даже много таких систем координат), в которых

законы Ньютона справедливы. Такие системы координат мы будем называть инерциальными¹⁾. После того как будут сформулированы законы Ньютона, мы всегда сумеем определить, является ли система координат, связанная с теми или другими телами, инерциальной или нет. Для этого нам достаточно будет произвести в этой системе координат ряд опытов и посмотреть, согласуются ли эти опыты с законами Ньютона.

Однако практически дело обстоит как раз наоборот: ведь для того чтобы сформулировать законы движения, необходимо произвести достаточное число опытов и обобщить полученные из опыта факты, а для этого мы должны заранее раз навсегда выбрать какую-либо систему координат. Предвосхищая результаты опытов, мы сразу выберем такую систему координат, в которой законы Ньютона (как покажут дальнейшие опыты) соблюдаются достаточно точно, т. е. систему координат, которая практически окажется инерциальной системой. В качестве такой системы координат мы будем пользоваться системой координат, начало которой совпадает с центром солнца, а три оси направлены на какие-либо три звезды (но не планеты). При этом неважно, какие именно три звезды мы выберем (лишь бы это не были планеты нашей солнечной системы). Неважно также и то, что расположение звезд друг относительно друга несколько меняется. Вследствие удаленности звезд движения их столь мало изменяют направления на эти звезды, что никакого практического значения эти изменения иметь не будут, пока мы будем рассматривать движения тел, находящихся в пределах нашей солнечной системы. Выбранная таким образом система координат (с началом в центре солнца и осями, направленными на любые три звезды) практически окажется инерциальной системой для всех случаев, когда речь будет идти не только о движениях на земле, но и о движениях всех тел в пределах нашей солнечной системы.

Системы координат, связанные с звездами, принято называть „неподвижными“. Однако в этот термин нельзя вложить никакого содержания. Говорить о неподвижности или о движении исходной системы координат вообще не имеет смысла, пока нет никакой другой системы отсчета, к которой можно было бы относить движение нашей системы координат. Если же у нас есть несколько различных систем координат, движущихся друг относительно друга, то мы имеем совершенно одинаковые основания (вернее, одинаково не имеем оснований) любую из них называть неподвижной, а другие движущимися; если мы говорим, что система отсчета A движется относительно системы отсчета B , то это то же самое, как если бы мы сказали, что система отсчета B движется относительно системы отсчета A .

Выбранную нами систему координат, связанную с солнцем и какими-то тремя звездами, мы только для краткости будем называть „неподвижной“, конечно, не вкладывая в этот термин никакого утверждения. Для того чтобы этот термин не вызвал никакого неправильного представления, мы будем ставить его в кавычки.

¹⁾ Название это связано с тем, что в таких системах координат справедливы, в частности, первый закон Ньютона — „закон инерции“, утверждающий, что в отсутствии других материальных тел всякое тело должно двигаться „по инерции“ — прямолинейно и равномерно.

Наша „неподвижная“ система координат, как уже было указано, по сравнению с другими системами координат, например, связанными с землей, обладает тем преимуществом, что она практически является инерциальной; значение этого преимущества станет особенно ясным из дальнейшего. Однако для практического применения наша „неподвижная“ система координат часто является весьма неудобной, особенно для описания движений, происходящих на земле. Для описания этих движений гораздо удобнее пользоваться системой координат, связанной с землей. Но так как земля движется с ускорением относительно солнца и звезд (хотя бы вследствие суточного вращения земли), то в системе координат, связанной с землей, мы получим, вообще говоря, совсем иную картину и иную механику, чем в „неподвижной“ системе координат. Поэтому принципиально очень существенно, связываем ли мы систему координат с солнцем и звездами или с землей. Однако практически это в большинстве случаев бывает безразлично. Вследствие малости угловой скорости вращения земли вокруг своей оси (угловая скорость вращения земли вокруг солнца еще меньше) это влияние сказывается на происходящих на земле движениях очень незначительно и играет заметную роль только в некоторых специальных случаях. Эти случаи мы в дальнейшем рассмотрим и с их помощью выясним принципиальное различие между системами координат, связанной с солнцем и звездами и связанной с землей. Пока же практически мы можем пользоваться как той, так и другой системой координат, не делая различия между ними, ибо будем главным образом рассматривать задачи, в которых вращение земли не играет заметной роли. В тех специальных случаях, где это не так, будут сделаны особые оговорки. Если же этих оговорок не будет, то значит можно практически пользоваться системой координат, связанной с землей. Если, например, мы будем говорить, что тело покоится или не имеет ускорений, то хотя принципиально мы имеем в виду, что оно покоится или не имеет ускорения относительно „неподвижной“ системы координат, на практике можно будет считать, что оно покоится или не имеет ускорения относительно земли. В большинстве случаев это очень существенно упростит описание движений, происходящих на земле.

2. Основные положения механики Ньютона.

Итак, наша „неподвижная“ система координат практически совпадает с той, которую имел в виду Ньютон, вводя представление об абсолютном пространстве. Наблюдая движения различных тел относительно „неподвижной“ системы координат, Ньютон установил следующий основной факт, о котором мы уже кратко упоминали: всякий раз, когда какое-либо тело приобретает ускорение, мы обнаруживаем другое материальное тело или другие материальные тела, которые обуславливают это ускорение. Следовательно, всякое ускорение материального тела есть результат действия других материальных тел. Другой факт, установленный Ньютоном, состоит в том, что эти действия материальных тел друг на друга взаимны: если тело A сообщает ускорение телу B , то и тело B сообщает ускорение телу A .

Направлены эти ускорения всегда в противоположные стороны, величины же этих ускорений могут быть различны.

Эти два факта могут быть объединены в одно положение, которое мы сформулируем следующим образом: все ускорения материальных тел по отношению к „неподвижной“ системе координат обуславливаются взаимодействиями материальных тел.

Для решения задач механики оказывается необходимым определить эти ускорения. Зная, каковы ускорения тел в различных условиях, и зная начальные условия, т. е. координаты и скорости тел в какой-либо определенный момент времени, всегда возможно (по крайней мере, принципиально) найти координаты и скорости тел в любой момент времени, т. е. со всей полнотой описать движение. Поскольку ускорения определяются действием материальных тел друг на друга, задача механики сводится к тому, чтобы определить, какие именно ускорения будут существовать в той или иной системе взаимодействующих материальных тел. Для этого нужно установить связь между теми или иными характеристиками системы материальных тел и ускорениями, которые в этой системе наблюдаются. Для того чтобы быстрее установить интересующие нас связи, будем рассматривать пока случаи, где трение и сопротивление среды не играют существенной роли. В дальнейшем мы покажем, что трение и сопротивление среды вполне укладываются в развиваемую нами картину. Но вводить их сразу в рассмотрение нецелесообразно, так как это очень усложнило бы наши рассуждения. Поэтому мы ограничимся пока задачами, в которых сил трения и сопротивления среды можно не принимать во внимание. Но это ограничение отнюдь не носит принципиального характера, и мы его делаем только для того, чтобы сначала получить более простую и ясную картину. С этой же целью мы не будем принимать во внимание явлений механического гистерезиса, т. е. того обстоятельства, что иногда явления в данный момент зависят от „истории“, от того, как протекало явление в предшествующие моменты времени. Опять-таки это ограничение не носит принципиального характера, и мы его делаем лишь для упрощения дальнейших рассуждений.

Итак, исключая те случаи, когда трение и сопротивление среды, а также гистерезис играют заметную роль, и присматриваясь к той связи, которая существует между свойствами системы материальных тел и ускорениями этих тел, мы всегда обнаружим, что ускорения существенно зависят от взаимного расположения тел, от конфигурации всей системы. Так, например, наблюдая ускорение какой-либо планеты, обусловленное действием солнца, мы обнаружим, что это ускорение зависит от расстояния между планетой и солнцем, и установим, что оно обратно пропорционально квадрату этого расстояния и направлено к солнцу. Наблюдая ускорение, сообщаемое пружиной какому-либо телу, мы обнаружим, что ускорение зависит от сжатия (или растяжения) пружины, т. е. от ее конфигурации (взаимного расположения отдельных витков пружины), именно окажется, что в известных пределах ускорение, сообщаемое телу пружиной, пропорционально сжатию пружины. Продолжая наши наблюдения, мы убедимся не только в том, что ускорения зависят от конфигурации тел, но что конфигурацией системы однозначно определяются