

**Лекция №4** Динамика материальной точки. Понятие о силе и ее измерении. Силы в природе. Фундаментальные взаимодействия. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета (ИСО). Второй закон Ньютона. Масса и ее измерение.

*Л-1: 2.1-2.3, 5.1, 7.1; Л-2 с. 42-54*

*Динамикой* называется раздел механики, в котором изучается движение тел как результат их взаимодействия. Главная цель динамики заключается в выяснении причин, которые вызывают изменение состояния движения или покоя, а также в установлении количественных зависимостей кинематических характеристик от этих причин.

Состояние движения тела изменяется, если изменяется вектор скорости, т.е. тело получает ускорение. Неизменным состоянием является равномерное прямолинейное движение, поскольку скорость постоянна как по величине, так и по направлению (ускорение равно нулю). Состояние покоя является частным случаем равномерного прямолинейного движения.

Основу классической механики составляют три закона движения, которые сформулированы английским ученым, основоположником современного естествознания, создателем классической физики И. Ньютоном (1643–1727).

Наблюдения показывают, что состояние движения тела может изменяться только в результате воздействия на него других тел. Это изменение состояния зависит как от других тел (характера и величины воздействия), так и от самого тела, его способности реагировать на внешнее воздействие. Для количественной характеристики воздействия вводится понятие силы.

*Силой* называется количественная мера воздействия одного тела на другое, в результате которого тело изменяет состояние своего движения или деформируется (или имеет место и то и другое одновременно).

Силы могут проявляться *динамически* и *статически*. Динамическое проявление сил заключается в сообщении телам ускорения, величина которого зависит от величины силы. Статически силы проявляются в деформации тел.

Измерение сил основано на сравнении результатов их действия. Поскольку силы проявляются динамически и статически, возможны два способа их измерения.

Силы можно измерять путем сравнения ускорений, приобретаемых некоторым телом, принятым за эталонное. Следует отметить, что динамический способ неудобен, поскольку требует измерения ускорений, а для этого необходимо знать закон движения. Кроме того, он предусматривает знание зависимости между силой и ускорением.

На практике обычно употребляется статический способ. Опыты показывают, что в пределах упругости деформация прямо пропорциональна деформирующей силе. Поэтому о величине силы можно судить по деформации тела. Самый простой прибор, который служит для измерения силы этим способом (динамометр), состоит из пружины с указателем и шкалы, проградуированной в единицах силы.

Сила характеризуется величиной, направлением, а также точкой приложения, т.е. является вектором.

Две силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  считаются равными, если они вызывают одинаковые ускорения или деформации. Сила равна нулю, если она не вызывает изменения движения или деформации. Две силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  будут равны по величине, но противоположны по направлению  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ , если при одновременном воздействии на тело они не вызывают его ускорения ( $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$ ). Такие силы называют

*уравновешивающими.*

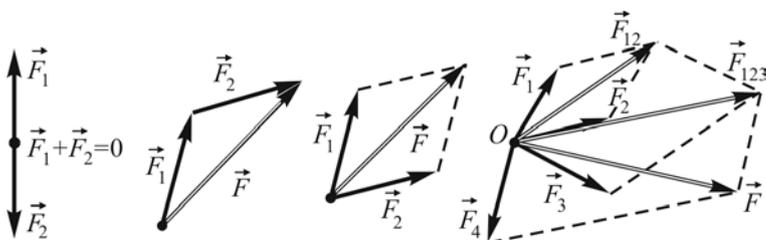


Рис. 4.1

Поскольку силы являются векторами, то складывают их векторно (геометрически) по правилам треугольника или параллелограмма (рис. 4.1). При этом дейст-

вие нескольких сил  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$  можно заменить действием одной силы  $\vec{F}$ , равной их сумме:  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \dots$ , которая называется *результатирующей* (или *равнодействующей*).

Взаимодействие в физике – воздействие тел или частиц друг на друга, приводящее к изменению состояния движения.

Современному естествознанию природа, во всей своей беспредельности и многообразии форм и проявлений, представляется в виде лишь четырех *фундаментальных взаимодействий*.

Фундаментальные взаимодействия отличаются друг от друга расстоянием, на котором они проявляются, отношением сил, энергиями, приходящимися на частицу, интенсивностью, характерным временем протекания процессов, происходящих в мире элементарных частиц. В порядке возрастания интенсивности эти взаимодействия располагаются следующим образом: *гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное (или ядерное)*. С проявлением всех этих типов взаимодействий мы встречаемся при изучении различных физических процессов, происходящих во Вселенной (от механического движения, как простейшей формы движения материи, до сложнейших процессов существования жизни на Земле, взаимного превращения элементарных частиц и т.д.)

Отличительной особенностью фундаментальных взаимодействий является то, что их нельзя свести к другим, более простым взаимодействиям. Законы фундаментальных взаимодействий выражаются точными математическими формулами.

До 1930-х гг. для описания наблюдаемых физических явлений достаточно было рассматривать гравитационные и электромагнитные взаимодействия. Решающую роль в явлениях космических масштабов играют гравитационные взаимодействия, а электромагнитные ответственны за строение атомов, молекул и за все многообразие внутренних свойств твердых тел, жидкостей и газов.

Наличие сильных взаимодействий проявилось, когда была открыта сложная структура атомных ядер, состоящих из протонов и нейтронов (нуклонов).

Эксперимент показал, что взаимодействие между нуклонами значительно сильнее электромагнитного.

Гравитационное взаимодействие осуществляется посредством гравитационного поля.

Гравитационные силы незначительны, если рассматривать взаимодействие элементарных частиц. Принимая во внимание современное состояние теории элементарных частиц, эти силы при таком рассмотрении не учитываются. В то же время они являются основными силами, управляющими движением и эволюцией небесных тел, массы которых велики.

Гравитационные силы можно назвать «самыми универсальными» среди всех сил природы, поскольку все, что имеет массу, должно испытывать гравитационные воздействия. Не существует такой формы материи, которой не была бы присуща масса. Гравитационное взаимодействие свободно передается через любые тела, ему невозможно поставить преграду.

Слабое взаимодействие значительно слабее сильного (ядерного) и электромагнитного взаимодействий, но гораздо сильнее гравитационного. Так, ядерное взаимодействие примерно в 100 раз превосходит электромагнитное и в  $10^{14}$  раз – слабое. Гравитационное же взаимодействие двух электронов меньше кулоновского более чем в  $10^{40}$  раз.

Слабые взаимодействия определяют процессы, протекающие между элементарными частицами, из которых состоит вещество. Так, если бы перестали существовать слабые взаимодействия, то погасло бы Солнце, поскольку был бы невозможен процесс превращения элементарных частиц, который является основным источником энергии Солнца и большинства звезд.

Электромагнитное взаимодействие осуществляется посредством электромагнитного поля, квантами которого являются фотоны. Это взаимодействие не универсальное, оно существует только между заряженными телами.

Сильное взаимодействие является самым интенсивным. Оно отвечает за процессы, которые происходят внутри атомных ядер, и за процессы взаимодействия элементарных частиц (кроме процессов, которые подчиняются сла-

бым взаимодействиям). Квантами сильного взаимодействия являются  $\pi$ - мезоны.

В классической механике в основном изучаются гравитационные силы, силы упругости и силы трения. Силы упругости и силы трения не являются фундаментальными. По своему происхождению они относятся к электромагнитным силам. Для данных сил получены только приближенные, основанные на опытах, формулы. В механике не изучается физическая природа сил, это можно найти в других разделах физики.

Поскольку сила определяется как количественная мера воздействия тел, в результате которого они изменяют состояние своего движения или покоя, то на первый взгляд кажется, что сила является причиной скорости. Примерно такими же были представления ученых древности. Так, в физике древнегреческого философа и ученого Аристотеля (384–322 до н.э.) скорость тела определялась воздействием на него других тел.

Опроверг эти представления итальянский физик и астроном Галилео Галилей (1564–1642), который высказал мысль, что свойство тела сохранять свою скорость соответствует его внутренней природе, причины же изменения скорости внешние: если внешние воздействия отсутствуют, то тело может сколь угодно долго двигаться с постоянной скоростью или находиться в покое.

В полной мере развил эти идеи И. Ньютон в «Математических началах натуральной философии»: любое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, пока приложенные силы не вызовут изменение этого состояния.

Данное утверждение является первым законом Ньютона или законом инерции. Явление сохранения состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инерцией. Согласно этому закону, для того чтобы тело сохраняло состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (двигалось по инерции), не нужно никаких причин – это естественное состояние, свойственное любому телу, если на него не действуют силы или их

действие скомпенсировано. Только внешняя причина – сила – может изменить такое состояние, т.е. вызвать ускорение.

Покой и равномерное прямолинейное движение эквивалентны, и их можно отличить только лишь по отношению к выбранной системе отсчета. Как образно описывает Галилей, никакими опытами в каюте с закрытыми иллюминаторами невозможно установить, находится корабль в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно. Путешественник ощущает только изменение скорости, например, качку.

Системы отсчета, в которых тело, если на него не действуют другие тела, движется равномерно и прямолинейно (или находится в состоянии покоя), называются инерциальными. Существование инерциальных систем отсчета следует из первого закона Ньютона. Поскольку невозможно полностью исключить воздействие на любое тело других тел, то и строго инерциальных систем в природе не существует. Однако во многих практических задачах инерциальной может считаться система, связанная со звездами или даже с Землей, если на ее суточное вращение можно не обращать внимания.

Ньютон в качестве инерциальной принимал систему отсчета, связанную с далекими (кажущимися неподвижными) звездами. Он называл эту систему «абсолютной».

Система координат, начало которой находится в центре Солнца (точнее, в центре масс Солнечной системы), а координатные оси направлены на отдаленные звезды, называется гелиоцентрической системой отсчета. Она впервые была предложена польским астрономом Николаем Коперником (1473–1543) и поэтому ее часто называют системой Коперника. Из-за огромных расстояний изменения направлений координатных осей происходят настолько медленно, что их можно не принимать во внимание. Гелиоцентрическая система практически является инерциальной при рассмотрении движений в границах Солнечной системы.

Решение задач о движении тел относительно Земли удобно вести в системе, связанной с Землей, которая, однако, не принимает участия в ее суточ-

ном вращении. Система координат, центр которой совпадает с центром Земли, одна из координатных осей совмещена с земной осью, а две другие расположены взаимно перпендикулярно в экваториальной плоскости, называется *геоцентрической*.

Таким образом, первый закон Ньютона утверждает, что инерция не является причиной движения тела, это его внутреннее свойство. Причиной ускорения является сила.

Ответ на вопрос о характере движения тела, если на него действует некоторая сила, дает второй закон Ньютона.

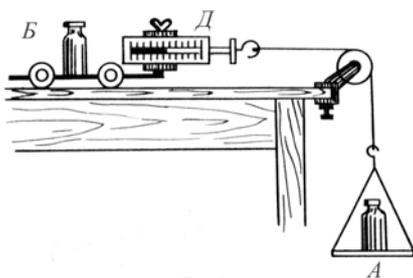


Рис. 4.2

Рассмотрим простые опыты, которые раскрывают связь между ускорением тела и действующей на него силой. Тележка под действием груза А может двигаться по гладкой поверхности стола с очень малым трением (рис. 4.2). Сила, действующая на тележку, измеряется динамометром Д. Изменяя груз А, будем

измерять ускорение, которое приобретает тележка под действием разных сил. Если на тележку последовательно действуют силы  $F_1$  и  $F_2$ , то приобретаемые ею ускорения  $a_1$  и  $a_2$  прямо пропорциональны этим силам

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2}.$$

При этом направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора силы.

Изменяя теперь груз Б на тележке, но оставляя неизменным груз А, легко определить, что одна и та же сила  $F$  будет сообщать тележке разные ускорения в зависимости от величины груза Б. Значит, ускорение, приобретаемое телом, зависит не только от сил, действующих на него, но и от свойства самого тела, называемого инертностью.

Инертность не только отражает свойство тела сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения, но и характеризует способность

тел изменять это состояние под действием сил, т.е. приобретать ускорение. Чем больше инертность тела, тем меньше ускорение, приобретаемое телом под действием данной силы.

Для количественной характеристики инертности тел вводится понятие массы. Чем более инертно тело, тем больше его масса. Поскольку инертность (или массу) имеет любая частица вещества, то чем больше частиц содержит тело, тем больше и его масса. Другими словами, масса в классической физике может служить характеристикой количества вещества. Однако определять массу как меру количества вещества неправомерно.

Масса – количественная мера инертных и гравитационных свойств тела. Это – одно из фундаментальных свойств материи, которое проявляется в гравитационных взаимодействиях и как мера инертности тел. В СИ масса измеряется в килограммах, килограмм – одна из основных единиц СИ.

Вернемся к нашим опытам. Подберем несколько грузов одинаковой массы, равной массе тележки с динамометром. Добавление одного груза увеличивает массу в два раза, двух – в три и т.д. Опыты показывают, что ускорение тележки с грузами при этом будет уменьшаться во столько же раз.

Как видим, ускорение, приобретаемое тележкой под действием постоянной силы, обратно пропорционально ее массе

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Объединяя обе полученные зависимости, получаем простейшее выражение второго закона Ньютона. Ускорение, приобретаемое материальной точкой массой  $m$  под действием силы  $F$ , прямо пропорционально величине этой силы и обратно пропорционально массе

$$a = \frac{F}{m}.$$

Данное выражение справедливо для материальной точки постоянной массы.

Масса тела – величина скалярная, а сила – векторная. Значит, если изменить направление действия силы, то направление вектора  $\vec{a}$  каждый раз будет совпадать с направлением вектора  $\vec{F}$ . Поэтому второй закон Ньютона можно записать в векторной форме

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Отметим, что уравнение имеет такой простой вид только при согласованном выборе единиц измерения ускорения, силы и массы. При независимом выборе этих единиц выражение второго закона Ньютона следует записывать в виде

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m},$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

В СИ за единицу силы 1 Н (ньютон) принимается такая сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с<sup>2</sup>.

Можно получить следующую запись второго закона Ньютона, удобную для решения задач:

$$m\vec{a} = \vec{F},$$

т.е. произведение массы материальной точки и ее ускорения равно силе, действующей на точку.

Зная значение силы и сообщенного ею ускорения, можно определить массу как отношение силы к ускорению

$$m = \frac{F}{a}.$$

Отметим, что нельзя формулировать второй закон Ньютона таким образом: масса прямо пропорциональна силе и обратно пропорциональна ускорению. Масса является мерой внутренних свойств самого тела и в классической механике не зависит ни от силы, ни от ускорения.