

ФИЗИКА

Учебник для 7 класса
школ общего среднего образования

МЕХАНИКА

Утвержден Министерством
народного образования
Республики Узбекистан

Издание 4-е,
исправленное и дополненное

Государственное научное издательство
«O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Ташкент – 2017

УДК: 53 = 161.1 (075,3)

КБК: 22.3 я 72

Ф-50

А в т о р ы:

П. ХАБИБУЛЛАЕВ, А. БОЙДЕДАЕВ,
А. БАХРОМОВ, С. БУРХАНОВ






Ответственные редакторы:

К. Турсунметов – докт. физ.-мат. наук, профессор Национального университета Узбекистана;
Ш. Усманов – канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Физико-технического института АН РУз.

Р е ц е н з е н т ы:

Б. Нуриллаев – зав. кафедрой ТГПУ имени Низами;
Б. Ибрагимов – доцент кафедры ТГПУ имени Низами;
З. Сангирова – ведущий методист РЦО;
М. Юлдашева – преподаватель физики СГОШ № 6 г. Ташкента;
З. Габдулина – преподаватель физики школы № 285 г. Ташкента;
Э. Джуманиязов – преподаватель физики школы № 8 г. Ташкента;
А. Рустамов – преподаватель физики СГОШ № 54 г. Ферганской области;
Б. Рахматуллаева – преподаватель физики СГОШ № 307 г. Ташкента;
Д. Бекпулатов – преподаватель физики школы № 18 Акдарьинского района Самаркандской области.

Условные обозначения:

-  – выучите наизусть определения и выводы;
-  – запомните формулу;
-  – опорные понятия;
-  – задание на дом;
-  – порядковый номер упражнения.

Издано за счет средств Республиканского целевого книжного фонда для сдачи в аренду.

© Хабибуллаев П. и др. 2005, 2017.

© Государственное научное издательство

«O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi» 2005, 2017.

ISBN 978-9943-07-490-3

ВВЕДЕНИЕ

Что изучается в разделе механики?

В 6 классе вы познакомились с физическими величинами, строением вещества, механическими, тепловыми, световыми и звуковыми явлениями, тем самым получили первоначальные представления о физике.

Теперь вы приступаете к более подробному изучению разделов физики. В частности, в 7 классе вы будете изучать механику.

Что означает слово «механика»? Что изучает данный раздел физики?

С древнейших времен люди строили себе жилища, охотились на животных, занимались земледелием и ремёслами. В своей деятельности они применяли такие простейшие механизмы, как рычаг, наклонная плоскость, клин, колесо, катапульта.

В V в. до н.э. в армии Древних Афин использовались стенобитные машины – тараны, строились катапульты. С ростом потребностей люди создавали более сложные приспособления – строили различные сооружения, мосты и дамбы, производили всевозможные изделия – от простых лодок до огромных кораблей, от телеги до велосипеда, автомобиля, ракеты (рис. 1).

Использование различных механизмов и машин, возрастание потребности в изобретении новых вызвали необходимость накопления и систематизации знаний о них. Таким образом происходило формирование механики как науки.



Рис. 1. Механизмы, которые совершенствовались с течением времени



Слово «механика» происходит от греческого «*mechané*» и означает учение о машинах.

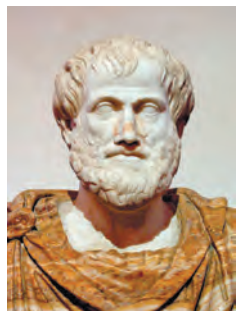
Механика изучает простейший вид движения материи – механическое движение. Для анализа механического движения необходимо владеть данными, которые характеризуют это движение в пространстве и во времени.



Основной задачей механики является определение зависимости скорости движения тела от его массы и действующих на него сил, а также положения тела в любой момент времени.

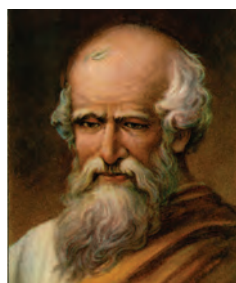
Для решения этой задачи необходимо точно и кратко выразить, как происходит движение тела и как с течением времени изменяется его положение в пространстве. В настоящее время механика изучает не только механизмы и машины, но и взаимодействие материальных тел, а также изменение их движения в результате этого взаимодействия.

Сведения из истории развития механики



Аристотель

Древнегреческий ученый **Аристотель** (384–322 гг. до н.э.) еще 2300 лет назад использовал слово «механика» в своей книге «Физика» и ввел его в научный оборот. В этой книге он высказал мысль о том, что Земля находится в центре Вселенной, а вокруг нее вращаются Солнце и Луна, что тело, подброшенное вверх, падает на землю, а также привел сведения о работе рычага и других механизмов. Учение Аристотеля о движении тел в те времена считалось передовым.



Архимед

Еще один древнегреческий ученый **Архимед** (287–212 гг. до н.э.) первым использовал математику для анализа механических явлений. С помощью математических расчетов он объяснил принцип работы рычага, условия плавания тел. Применение математических действий для объяснения физических процессов послужило основой формирования физики как науки и оказало огромное влияние на ее развитие.

Учение Абу Райхана Беруни и Абу Али ибн Сины о механическом движении

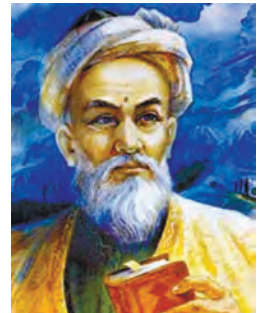
В средние века развитие физики, в частности механики, поднялось на новую ступень. В этот период в развитие механики большой вклад внесли ученые Средней Азии.



Абу Райхан Беруни

Уроженец древнего города Кят (столица Хорезма, ныне Берунийский район) **Абу Райхан Беруни** (973–1048 гг.) в своих трудах оставил сведения о силе земного притяжения, свободном падении тел, тяжести, простых механизмах, энергии и ее превращениях. В частности, земное притяжение он объяснял тем, что Земля имеет форму шара и поэтому все тела своей тяжестью тяготеют к ее центру. По его мнению, сферическая форма водной поверхности морей и океанов также связана с притяжением тел к Земле. Тяготение тел к центру Земли может служить причиной внутренних движений Земли, т.е. стремления веществ, входящих в ее состав, занять свои природные места, в результате чего возникают различные движения на земной поверхности. Свообразными методами Беруни рассчитал радиус, длину окружности, площадь и объем земного шара, изобрел глобус, теоретически доказал существование американского континента, вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца.

Современник Беруни, уроженец селения Афшона близ г. Бухары **Абу Али ибн Сина** (980–1037 гг.) оставил ценные сведения о механическом движении, относительности движения, взаимодействии тел, вращательном движении, центробежной силе, линейной скорости, атмосферном давлении. Точное соответствие сведений, приведенных в его трудах «Физика» и «Механика», учениям современной науки свидетельствует о том, каким великим ученым был Ибн Сина. Ученый отмечал, что тела совершают движения под действием силы, при этом чем больше масса тела, тем большая сила требуется для его движения.



Абу Али ибн Сина

Тела разной величины под действием одинаковой силы набирают различную скорость. Так, он говорил: «Возьми два шара. Если их величины разные, а прикладываемые к ним силы одинаковые, то скорости

их будут различными. Во сколько раз большой шар больше маленького, во столько же раз будет меньше и его скорость». В действительности это высказывание Ибн Сины является словесным описанием знаменитого закона механики, открытого семь веков спустя английским ученым Исааком Ньютоном (1643–1727 гг.) и получившего название второго закона Ньютона.

Притяжение тел к Земле Ибн Сина объяснял на следующем примере: «Если кто-то вырвет столб из-под виноградной опоры, говорят, что он свалил опору. На самом же деле это не человек свалил опору, а она сама рухнула под действием своей тяжести. Столб мешал этому. Как только столб вырвали из-под опоры, тяжесть опоры сделала свое дело». Правильность данного высказывания Ибн Сины также получила подтверждение открытием закона всемирного тяготения Ньютоном, который объяснил данное явление на примере падения яблока.

В XVII в. итальянский ученый **Галилео Галилей** (1564–1642 гг.) открыл причины невозможности внезапной остановки движущегося тела – закономерности инерции тел, земного притяжения тел, ведущего к их свободному падению, колебаний маятника.

Английский ученый **Исаак Ньютон** на основе работ предшествовавших ученых в области механики, а также в результате собственных наблюдений и исследований в математическом виде сформулировал законы о механическом движении и взаимодействии тел, объединив их в единую систему. В результате механика выделилась в самостоятельную науку. Открытие законов механики внесло большой вклад в развитие науки и техники.

Процесс формирования классической механики способствовал духовному росту общества и общечеловеческому прогрессу. Физическая закономерность, открытая человеком самой первой, также имела отношение к механике и представляла собой механическое описание первоначальных физических представлений людей о мире. В результате развития механики появились новые методы научного мышления, были раскрыты тайны микро- и макромира, началось успешное освоение космоса.



1. Изложите в письменном виде сведения о вкладе ученых Средней Азии в развитие механики.
2. Каких еще ученых, внесших вклад в развитие механики, вы знаете?
3. Почему физику считают основой техники? Объясните свой ответ на примерах.

ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

Механика состоит из трех разделов: кинематики, динамики и статики.

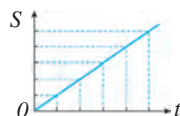
Изучение механики начнем со знакомства с основами кинематики. Кинематика изучает механическое движение тел, но при этом не учитываются факторы, обуславливающие это движение, т.е. действие сил. Слово «кинематика» происходит от греческого «kinematos» и означает «движение». Далее вы ознакомитесь с динамикой – разделом механики, изучающим движение тел в зависимости от их массы и действующих на них сил. Для того, чтобы привести в движение любое тело, на него надо воздействовать определенной силой. С закономерностями сложения этих сил вы ознакомитесь при изучении векторных величин. Раздел механики статика изучает закономерности сложения действующих сил и условия нахождения тел в равновесном состоянии.

При знакомстве с кинематикой вы получите общие представления о необходимых понятиях (материальная точка, система отсчета, траектория) и величинах (путь, перемещение, время, скорость, ускорение). Они будут использоваться и при дальнейшем изучении механики. В этом разделе вы узнаете, как изучается движение тел, научитесь решать простые задачи по кинематике.

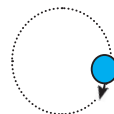
Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ



Глава II. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ



Глава III. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ





Глава I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ

§ 1. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ

Механическое движение



Рис. 2. Механическое движение тел

Постоянно наблюдаемое вокруг нас движение тел – велосипеда, автомобиля и людей, полет птиц, самолетов и ракет, плавание рыб, акул и дельфинов, вращение Земли вокруг Солнца, Луны – вокруг Земли – все это примеры движения тел. Движение тел подчиняется определенным законам. Например, ученые, изучив закономерности движения небесных тел, научились находить их положения в пространстве в любой момент времени, определять время наступления солнечных и лунных затмений.

Механическое движение любого тела наблюдается относительно другого тела. Например, автомобиль движется относительно неподвижных деревьев и домов, вода в реке – относительно ее берегов, самолет в небе – относительно Земли и облаков. Движение тела бывает различным в зависимости от положения наблюдателя.



Изменение с течением времени положения тела в пространстве по отношению к другим телам называется механическим движением.

Относительность движения

Обычно говорят, что тело неподвижно, если его положение относительно Земли не меняется. В действительности положение тела в состоянии покоя или движения относительно. Человек, сидящий в лодке, неподвижен по отношению к лодке и движется по отношению к берегу реки. Все предметы на Земле кажутся неподвижными. Однако все они вместе с Землей движутся вокруг Солнца. Скорость человека, идущего внутри поезда, движущегося с определенной скоростью, невелика по отношению к вагону, но велика по отношению к железнодорожным рельсам. То есть скорость этого человека относительно различных тел неодинакова. При отсутствии других тел судить о скорости того или иного тела невозможно.



Движение всех тел относительно, состояние покоя тела также является относительным.

Тело отсчета

Для учета относительности движения введено понятие «тело отсчета». Например, движение или покой человека и автомобилей рассматривается относительно Земли. В этом случае Земля является телом отсчета. Механическое движение или покой всех тел в окружающем нас пространстве рассматривается относительно этого тела отсчета. Если рассматривается движение Земли вокруг Солнца, то телом отсчета будет Солнце.



Тело, относительно которого наблюдается движение или состояние покоя, называется телом отсчета.

На рис. 3 изображен человек, идущий по платформе, движущейся со скоростью 10 м/с, в направлении ее движения со скоростью 1 м/с. Если в качестве тела отсчета рассматривается платформа, то скорость человека будет составлять 1 м/с. Если же в качестве тела отсчета взять Землю, скорость человека будет 11 м/с ($10 \text{ м/с} + 1 \text{ м/с}$) = 11 м/с. При движении автомобиля, поезда и других тел в качестве тела отсчета вместо Земли можно взять неподвижно стоящие на ее поверхности здание, дерево и др. Например, если движение автомобиля наблюдается относительно дерева на обочине дороги, то телом отсчета можно взять это дерево.



Рис. 3. Движение человека по платформе относительно.

Система отсчета



Рис. 4. Выражение движения автомобиля в двумерной системе координат

Допустим, требуется дать полную информацию о механическом движении тела. Например, рассмотрим движение автомобиля из пункта A в пункт B . Для выражения его движения на плоскости воспользуемся следующим методом. Найдем на карте города пункт A , из которого началось движение, т.е. тело отсчета (рис. 4). Проведем через эту точку две оси с указанными масштабами в направлении с запада на восток и с юга на север и образуем двумерную систему координат. Проведя пунктирную линию вдоль пути следования автомобиля, получим график его движения относительно начала координат. Теперь точно указав, где от начала координат находился автомобиль в тот или иной момент времени, можно получить полную информацию о его движении. При рассмотрении полета ракеты для выражения ее координат необходимо указать также данные о высоте движения. Для этого на плоскости системы координат проводим направленную вверх и проходящую через начало координат перпендикулярную ось. В результате получаем трехмерную систему координат.

Для полного выражения движения ракеты следует указать три параметра:

- 1) тело отсчета (в данном случае это Земля);
- 2) система координат (начало координат – место старта ракеты);
- 3) измерение времени (время нахождения ракеты в определенной точке траектории полета).



Тело отсчета, соединенная с ним система координат и прибор для измерения времени составляют систему отсчета.

Например, автомобиль «Ласетти» за 10 мин удалился от дома на 8 км. При этом и состояние покоя автомобиля (гараж), и его движение по дороге рассматриваются относительно Земли. Для «Ласетти» телом отсчета является Земля. Водитель может определить расстояние, пройденное автомобилем за 10 мин или любой произвольный период времени, с помощью часов и спидометра. При этом гараж – начало координат, а пройденные 8 км – расстояние, которое проехал автомобиль относительно начала координат. Значит, при движении автомобиля

«Ласетти» Земля является телом отсчета, дом – началом координат, а часы водителя – прибором для измерения времени. Все они составляют систему отсчета и позволяют полностью выразить данные об этом движении.



Опорные понятия: механическое движение, относительность движения, тело отсчета, система координат, система отсчета.



1. Древнегреческий ученый Птолемей считал, что Солнце вращается вокруг Земли. Польский ученый Коперник высказывал мнение, что Земля вращается вокруг Солнца. Мнение кого из ученых правильно? Обоснуйте свой ответ.
2. Возьмем два вареных яйца одинаковой прочности. Повернем их одинаковыми сторонами друг к другу и, держа одно из них в неподвижном состоянии, другим ударим по нему. Какое из яиц разобьется? То, которое оставалось неподвижным, или то, которым мы ударили?

§ 2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

Безграничность пространства

Все, что существует в этом мире, находится в пространстве. Нет и не может быть ни одного объекта, который не занимает пространство или находится вне пространства. Другими словами, пространство неразрывно связано с материей. Пространство бесконечно и безгранично. Наши представления о пространстве можно выразить в математическом виде – числами. Значит, за пределами видимых нам небесных тел, существуют другие, расположенные еще дальше небесные объекты. Из существующих небесных тел человеческий глаз может различить только три тысячи звезд. Скорость светового луча составляет 300 000 км/с. С такой скоростью свет самой близкой к нам звезды (Центавра) доходит до Земли за четыре года. Размеры такого расстояния могут показать только расчеты. Попробуем вычислить расстояние от Земли до ближайшей к ней звезды:

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$t = 4 \text{ года} \approx 126\,230\,400 \text{ с};$ $v = 300\,000 \text{ км/с.}$	$s = vt.$	$s = 300\,000 \text{ км/с} \cdot 126\,230\,400 \text{ с} =$ $= 37\,869\,120\,000\,000 \text{ км.}$
<i>Найти:</i> $s = ?$		<i>Ответ:</i> $s = 37\,869\,120\,000\,000 \text{ км.}$

Допустим, нам необходимо добраться до этой звезды на самолете, летящем со скоростью 1000 км/ч. Расчеты показывают, что для этого потребуется более 4300 лет непрерывного полета. Помимо видимых нашему глазу звезд существует бесчисленное количество звезд, которых мы не видим. Система звезд, относительно связанных друг с другом в своем движении, составляет галактику. Несмотря на использование мощнейших приборов, мы можем наблюдать лишь за ничтожно малым отрезком пространства. Поэтому крайне сложно определить точное количество галактик. По подсчетам ученых, в нашей галактике, в которой находится Солнечная система, имеется от 200 до 400 миллиардов звезд. Двигаясь со скоростью света, из одного конца нашей галактики до другого можно добраться за 100 тысяч лет. А в бесконечном пространстве насчитывается от 100 до 200 миллиардов галактик, в каждой из которых имеются сотни миллиардов звезд. Свет от самой дальней галактики дойдет до нас почти за 10 миллиардов лет. Таким образом, пространство настолько обширно, что не имеет границ.

Изображение пространства в трехмерных координатах



Рис. 5. Изображение прямолинейного движения в одномерной системе координат

Поскольку движущееся тело не поворачивается вправо или влево, а также вверх или вниз, нет надобности использовать дополнительные оси координат, достаточно изобразить его движение лишь в одномерной системе координат.



Рис. 6. Изображение движения на плоскости в двумерной системе координат

Движение автомобиля по ровной прямой дороге можно изобразить на чертеже одной прямой линией с указанным масштабом (рис. 5). Движение поезда на прямолинейном участке пути также можно изобразить прямой линией на одномерной оси координат.

Автомобиль, едущий по прямой дороге, на перекрестке может повернуть налево или направо, т.е. отклониться от прямолинейного движения. Если будем считать земную поверхность плоскостью, то для изображения движения человека, велосипедиста, автомобилей потребуются двумерные оси координат. Следовательно, движение тела, например, автомобиля, положение которого на плоскости

изменяется, удобно изображать на двумерной плоскости координат (рис. 6).

Птицы могут передвигаться по земле, летать по воздуху, т.е. в пространстве. Движение птиц на земле можно изобразить в двумерной системе координат, а полет в воздухе – в трехмерной. Полет самолета изображается на чертеже в трехмерной системе координат, выбранной относительно направления движения (рис. 7). Движение воздушного шара в небе, а морских животных под водой также изображается в трехмерной системе координат.

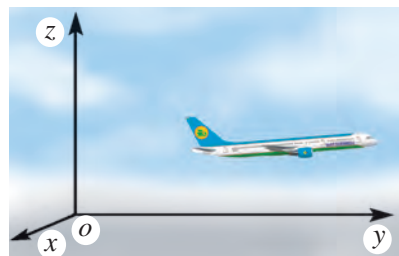


Рис. 7. Изображение движения самолета в трехмерной системе координат



Основные свойства пространства: пространство существует, неразрывно связано с материей (в мире нет ни одного объекта, не связанного с пространством), безгранично, трехмерно (все физические объекты имеют длину, ширину и высоту).

Изображение времени в одномерных координатах

Любые процессы, события, явления происходят в определенном месте (пространстве) и периоде (времени). Тело совершает движение, т.е. меняет свое положение не только в пространстве, но и во времени. Для измерения времени используют длительность повторяемости непрерывно продолжающегося явления. Например, время одного оборота Земли вокруг своей оси принято считать равным 24 часам, а время одного оборота Земли вокруг Солнца – равным одному году. Один год равен 31 556 926 секундам. Поэтому длительность 1 с составляет одну часть периода обращения Земли вокруг Солнца, т.е. одну часть 31 556 926 секунд. В настоящее время используются кварцевые и молекулярные часы, измеряющие время с точностью до одной триллионной части секунды. Время изображается в одномерной системе координат и рассматривается как величина, возрастающая от прошлого к будущему (рис. 8).

Движение тел невозможно представить в отрыве от пространства и времени. Поэтому считается, что существование тел и их движение происходят в пространстве и с течением времени.

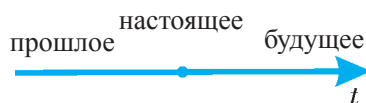


Рис. 8. Изображение времени в одномерной системе координат



Время – это физическая величина, выражающая порядок последовательного изменения событий и продолжительность процессов. В соответствии с международной системой единиц (МСИ) время измеряется в секундах.

Нас интересует в основном зависимость положения тела в пространстве от времени.



Опорные понятия: пространство, галактика, время, движение, выраженное в одно-, двух- и трехмерной системе координат, трехмерность пространства.



1. Пользуясь данными стр. 99, вычислите, сколько времени потребуется самолету, чтобы долететь с Земли до Луны и до Солнца.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ



Раздел механики, изучающий движение тела без учета его массы и факторов, обуславливающих его движение, называется кинематикой.

Основная задача кинематики состоит в определении координат тел в любой момент времени. Данные о зависимости координат тела от времени можно выразить в различных видах, например, в виде графика, таблицы или формулы, а также словами. Зная эти данные, можно точно предсказать место тела в пространстве в тот или иной момент времени. Для этого необходимо ознакомиться с рядом новых понятий.

Материальная точка

Очертания автомобиля, едущего вдаль, трудно различимы, и издали он кажется маленькой точкой. Напротив крошечный муравей при рассмотрении в микроскоп кажется огромным хищником. При изучении движения тел используется ряд упрощений. Одно из них состоит в том, что, пренебрегая размерами движущегося тела, его принимают за материальную точку.



Материальной точкой называется тело, размерами и формой которого в определенных условиях можно пренебречь.

При изучении движения автомобиля, покрывающего расстояние 10 км, его можно принять за материальную точку, если его длина 4 м. Действительно, длина пути в 2500 раз превосходит его длину. Точно так же самолет, летящий на далекое расстояние, можно считать материальной точкой. Одно и то же тело в одном случае можно считать материальной точкой, а в другом – нет. Например, ученик, направляющийся в школу, расположенную на расстоянии 1 км, может быть принят за материальную точку. Но того же ученика, выполняющего утреннюю гимнастику, нельзя принять за материальную точку. Можно на чертеже показать, какой стороной вверх мы положили книгу на стол. Однако, когда книга находится в сумке по дороге из дома в школу, она на чертеже будет показана в виде точки. В этом случае ее можно считать материальной точкой.

Понятие материальной точки используется не только в случае малого размера движущегося тела относительно пройденного им расстояния, но и тогда, когда размеры тела весьма малы относительно расстояния до другого рассматриваемого тела. Земной шар велик. Однако при изучении вращения Земли вокруг Солнца ее также можно принять за материальную точку в силу того, что расстояние между ними еще больше.

Траектория

Когда пишут мелом на доске, по заснеженной дороге движется автомобиль, по небу летит метеор, мы ясно различаем оставляемый ими след (рис. 9). След, который оставляет мел, автомобиль, метеор, – это траектория их движения.

Движущиеся тела не всегда оставляют видимый след. Например, метеор, летящий по небу, оставляет след, но спортсмен, прыгающий на лыжах с трамплина, следа не оставляет. Хотя летящий после удара мяч, спортсмен, машина, самолет в небе и не оставляют видимого следа, можно представить себе невидимый след их движения в виде сплошной линии.



Рис. 9. Траектория движения метеора



Непрерывная линия, описываемая в пространстве движущейся материальной точкой (след, который она оставляет), называется *траекторией* движения.

Путь и перемещение

Для оценки величины траектории движения тела принята физическая величина – путь.



Расстояние, пройденное телом вдоль траектории его движения, называется *путем* и обозначается буквой s .

Единицей измерения пути, вообще длины, принят метр. В качестве его эталона взята длина специального платино-иридиевого стержня, который хранится в Международном Комитете мер и весов в городе Париже.

В некоторых случаях представляет интерес не сам путь, проделанный телом, а направленный отрезок, соединяющий начальную и конечную точки его траектории.



Направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положения движущегося тела, называется *перемещением*.

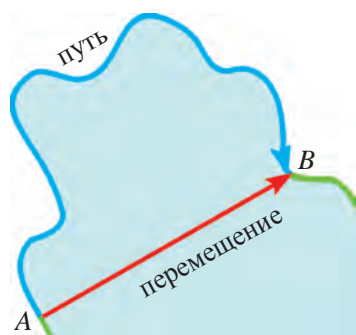


Рис. 10. Путь и перемещение

Допустим, вы, перемещаясь из точки A в точку B , проделали вдоль криволинейной траектории путь 100 м (рис. 10). При этом перемещение будет равно расстоянию от точки A до точки B , т.е. 40 м. Если же ваш друг переплывет на лодке из точки A в точку B по прямой линии, траектория и перемещение совпадут и их длина составит 40 м.

Величина перемещения из Ташкента в Андижан равна 245 км, но путь из Ташкента в Андижан на автомобиле составляет 380 км. При прямолинейном движении путь и перемещение равны друг другу.

Механическое движение



Рис. 11. Направление поступательного и вращательного движения на автомобиле «Матиз»

С целью упрощения движение тел изучают, разделив его на три вида: поступательное, вращательное и колебательное. Корпус автомобиля совершает поступательное движение, а его колеса – вращательное (рис. 11). Можно сказать, что поршни мотора совершают колебательное движение.

Поступательное движение

Если тело совершает поступательное движение, достаточно рассмотреть движение лишь одной его точки. Например, книгу, стоящую на столе, можно передвигать с места на место различным образом (рис. 12). В случае *а* траектория движения ребер книги различна. В случае *б* траектория движения ребер одинакова, т.е. их можно наложить друг на друга. Движение книги во втором случае может служить примером поступательного движения. При этом траектория не только ребер, но и любых других точек книги будет одной и той же.

Движение рамы велосипеда или человека в моторной лодке также будет поступательным. Однако движение колес велосипеда и лопастей мотора не может служить примером поступательного движения.

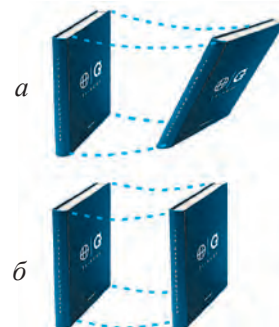


Рис. 12. Непоступательное (*а*) и поступательное (*б*) движение книги



Если при движении тела все его точки перемещаются одинаково, такое движение называется *поступательным*.

При поступательном движении прямая линия, проведенная через любые две точки движущегося тела, остается параллельной самой себе. Лифт, поднимающийся вверх, самолет или ракета, летящие в небе, совершают поступательное движение.

Кабинки «чертова колеса» в парке совершают вращательное движение (рис. 13). Но в то же время они совершают поступательное движение, так как прямая линия, проведенная через две произвольные точки кабины, перемещается параллельно самой себе.

При изучении движения тела, совершающего поступательное движение, достаточно рассмотреть движение лишь одной его точки. Поэтому тело, совершающее поступательное движение, можно рассматривать как материальную точку.

Поступательное движение может быть как прямолинейным, так и криволинейным.

Разделение движения тел на три вида – поступательное, вращательное и колебательное – является условным и облегчает анализ и математическое выражение этих сложных видов движения.



Рис. 13. Поступательное движение кабинок «чертова колеса»



Опорные понятия: материальная точка, траектория, путь, перемещение, поступательное движение.



1. Напишите несколько примеров того, как одно тело в одном из рассматриваемых случаев можно считать материальной точкой, а в другом – нельзя.
2. Начертите траекторию вашего движения из дома в школу и перемещение, рассчитайте разницу расстояний между ними.

§ 4. СКАЛЯРНЫЕ И ВЕКТОРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ДЕЙСТВИЯ НАД НИМИ

Скалярные величины

Физические величины делятся на две группы – скалярные и векторные.



Величины, которые определяются только численными значениями, называются скалярными.

Такие физические величины, как объем, путь, масса, энергия, являются скалярными. Действия над ними совершаются, как над обыкновенными числами. Например, масса одного тела $m_1 = 8$ кг, масса второго $m_2 = 4$ кг, тогда совокупная масса обоих тел равна:

$$m_1 + m_2 = 8 \text{ кг} + 4 \text{ кг} = 12 \text{ кг}.$$

Разность масс :

$$m_1 - m_2 = 8 \text{ кг} - 4 \text{ кг} = 4 \text{ кг}.$$

Таким же образом можно определить, во сколько раз масса первого тела больше массы второго. Кроме того, массу тела можно умножать и делить на число, не равное нулю. Например, если $m = 12$ кг, то его умножение и деление на 3 выполняется так:

$$m \cdot 3 = 12 \text{ кг} \cdot 3 = 36 \text{ кг}; \quad m : 3 = 12 \text{ кг} : 3 = 4 \text{ кг}.$$

Зная, откуда и куда переместилось тело при прямолинейном движении, а также величину пройденного расстояния, можно легко определить положение тела в конце движения.

Векторные величины

При определении некоторых физических величин знания их численных значений недостаточно. Для этого важно знать еще и направле-

ние. Например, недостаточно сказать, что тело переместилось на расстояние 5 м. При этом должно быть известно и направление перемещения. Это позволит получить представление о том, откуда и куда переместилось тело.

Допустим, что на тележку, стоящую на столе, действует определенная сила. Если сила действует в направлении слева направо, тележка будет двигаться вправо, а если сила действует справа налево, то и тележка будет двигаться влево (рис. 14). Если же сила будет действовать на тележку сверху вниз, тележка двигаться не будет. Такие физические величины, как сила, скорость, перемещение, – векторные величины. При их изучении, кроме их численных значений, важно знать и направление.

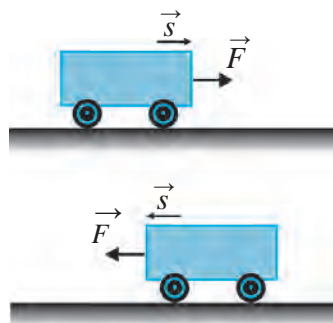


Рис. 14. Зависимость направления движения тележки от направления силы



Величины, которые определяются численными значениями и направлением, называются векторными.

Обычно над векторными величинами ставится стрелка. Например, сила – \vec{F} , скорость – \vec{v} , перемещение – \vec{s} . Если мы хотим показать только количество векторной величины, то ее численное значение выражается так:

$$|\vec{F}| = 2 \text{ Н}, |\vec{v}| = 10 \text{ м/с}, |\vec{s}| = 5 \text{ м}$$

или $F = 2 \text{ Н}, v = 10 \text{ м/с}, s = 5 \text{ м}.$

Векторные величины изображаются отрезками, направленными из одной точки в другую, длина которых равна численному значению векторной величины.

Сложение и вычитание векторных величин

Рассмотрим движение пловца, переплывающего реку из точки A в точку B на другом берегу со скоростью v_1 (рис. 15). Под действием скорости течения v_2 пловец попадает не в точку B , а в точку C на противоположном берегу. За время t , затраченное пловцом, чтобы доплыть из точки A в точку B , вода проходит расстояние от точки B до C . Пловец переплывает реку со скоростью \vec{v}_3 , являющейся суммой скоростей пловца \vec{v}_1 и воды \vec{v}_2 , которая в векторном виде записывается так:

$$\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}_3.$$

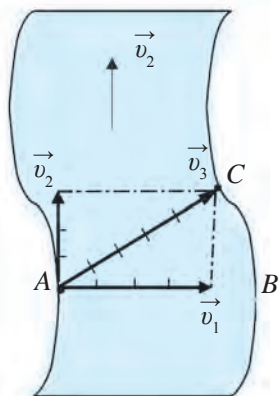


Рис. 15. Векторное выражение движения пловца через реку

Действия над векторными величинами нельзя совершать так же, как над простыми числами. Например, если отрезок AB равен 4 м, отрезок BC – 3, сумма этих векторов будет равна не 4 м + 3 м = 7 м, а 5 м.

Попробуем изобразить на чертеже (рис. 16) путь, пройденный вокруг бассейна из точки A через точки B и C в точку D . При сложении векторов AB и BC образуется вектор AC :

$$\vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}.$$

Суммарный вектор AC , полученный при прохождении вдоль векторов AB и BC , показывает перемещение из точки A в точку C .

При сложении векторов AC и CD получаем вектор AD :

$$\vec{AC} + \vec{CD} = \vec{AD}.$$

Путь, пройденный из точки A в точку D , через точки B и C оказался больше, чем перемещение из точки A в точку D :

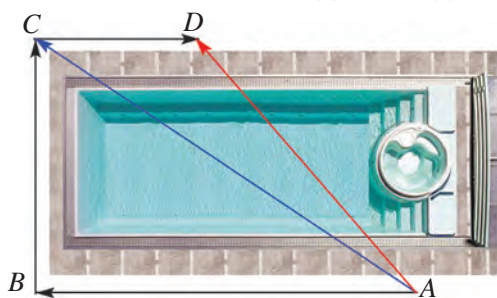


Рис. 16. Путь и перемещение вокруг бассейна

$$\vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CD} = \vec{AD}.$$

Значит, важны не только численные значения векторных величин, но и их направления.

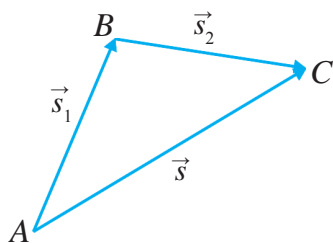


Рис. 17. Сложение векторов \vec{s}_1 и \vec{s}_2

Рассмотрим другой пример. Пусть тело из точки A переместилось в точку B , пройдя прямолинейный путь в 4 м. Пусть далее из точки B тело переместится в точку C , пройдя прямолинейный путь в 3 м (рис. 17). Обозначим пройденный телом путь s_1 и s_2 , тогда $s_1 = 4$ м и $s_2 = 3$ м. Перемещение тела из точки A в точку B , а затем в точку C будет иметь вид $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$. Это перемещение равно прямому перемещению \vec{s} :

$$\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}. \quad (1)$$

Такой способ сложения двух векторов называется правилом сложения методом треугольника. Его можно сформулировать следующим образом:



Чтобы сложить два вектора, нужно конец первого вектора соединить с началом второго вектора и от начала первого вектора провести вектор, направленный к концу второго вектора. Этот вектор есть сумма двух векторов.

Пусть даны векторы \vec{a} и \vec{b} произвольного направления. Определение их суммы:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}, \quad (2)$$

т.е. вектора c показано на рис. 18.

Направленная прямая показывает не только направление физической величины, но и то, на сколько она больше в численном отношении. Чем больше длина направленной линии, тем больше значение физической величины.

Над векторными величинами можно также совершать действие вычитания. На рис. 18 показано, как из вектора \vec{c} можно вычесть вектор \vec{a} и получить вектор \vec{b} . Здесь:

$$\vec{c} - \vec{a} = \vec{b}. \quad (3)$$

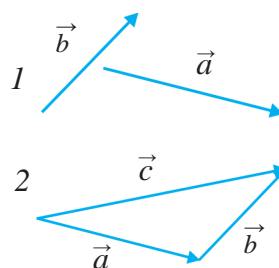


Рис. 18. Векторы \vec{a} и \vec{b} (1) и их суммарный вектор \vec{c} (2)



Чтобы вычесть из одного вектора другой, нужно начала обоих векторов соединить в одной точке и от конца второго вектора провести вектор, направленный к концу первого вектора. Этот вектор и есть разность двух векторов.

Следовательно, при сложении и вычитании векторов нужно при неизменных длине и направлении направленной прямой линии следить за тем, как располагаются начала и концы векторов.

Векторы, направление и численные значения которых одинаковы, называются равными векторами.

Умножение и деление векторных величин на число

Если тело покрывает путь s в некотором направлении по прямой линии, его перемещение будет равно вектору: $s = \vec{s}$. Пусть это же тело еще два раза пройдет путь s , не меняя направления. Тогда пройденный им путь будет $s + s + s = 3s$, а перемещение $\vec{s} + \vec{s} + \vec{s} = 3\vec{s}$ (рис. 19).

Следовательно, при увеличении \vec{s} в 3 раза получится вектор $3\vec{s}$, и направление результирующего вектора не изменится.

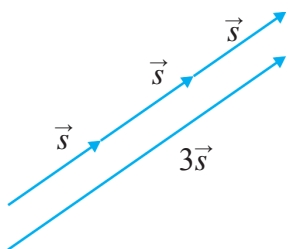


Рис. 19. Произведение вектора \vec{s} и числа 3



При умножении векторной величины на число ее значение увеличивается на величину, кратную этому числу, а направление не изменяется.

При этом число, на которое умножается векторная величина, должно быть положительным.

Точно так же векторную величину можно делить на положительное число. При умножении или делении векторной величины на отрицательное число ее направление меняется в обратную сторону.



При делении векторной величины на число ее значение уменьшается на величину, кратную этому числу, а направление не меняется.

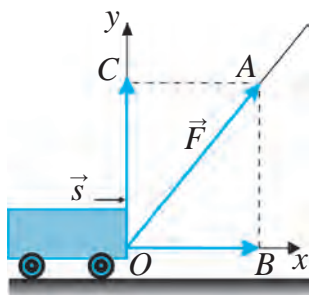


Рис. 20. Проекция силы, действующей на тележку

Проекция векторных величин

Пусть на тележку под некоторым углом к направлению ее движения действует сила \vec{F} (рис. 20). Эта сила действует на тележку как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Каким будет значение силы, действующий на тележку в направлении ее движения?

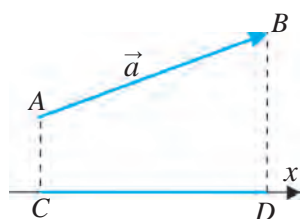


Рис. 21. Проекция произвольно направленного вектора

Проведем вдоль направления движения тележки ось Ox так, чтобы точка O совпала с началом вектора \vec{F} . Из точки A на конце вектора \vec{F} опустим перпендикуляр в точку B на оси Ox . Полученный вектор \vec{OB} составит образующую вектора \vec{F} на оси Ox , т.е. его проекцию. Сила, действующая на тележку в направлении ее движения, будет равна длине этой проекции. Например, допустим, что значение силы, действующей на тележку под некоторым углом, равно $|\vec{F}| = 5 \text{ Н}$, а проекция этой силы равна 3 Н. Тогда сила, действующая на тележку в

направлении ее движения, будет равна 3Н.

Теперь определим значение силы \vec{F} , толкающей тележку вверх. Для этого из точки A опустим перпендикуляр в точку C на оси Oy . Длина

полученного вектора \vec{OC} будет равна силе, действующей вертикально. Ее значение может составить 4Н.

Определим проекцию произвольно направленного вектора \vec{a} на оси Ox (рис. 21). Для этого от начала A вектора \vec{a} и от его конца B опустим на ось Ox перпендикуляры AC и BD . Образовавшийся отрезок CD будет проекцией вектора \vec{a} на оси Ox .



Опорные понятия: скалярная величина, векторная величина, сумма векторов, разность векторов, умножение вектора на число, деление вектора на число, проекция (образующая) вектора.



Выразите в векторном виде ваш путь из дома до школы и найдите сумму векторов.



- Определите и запишите в тетради сумму векторов, изображенных на рис. 22: а) \vec{s}_1 и \vec{s}_2 ; б) \vec{F}_1 и \vec{F}_2 ; в) \vec{a} , \vec{b} и \vec{c} ; г) $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, \vec{a}_4$ и \vec{a}_5 .
- Определите и запишите в тетради разность векторов: а) \vec{s}_1 и \vec{s}_2 ; б) \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , изображенных на рис. 22.
- Выполните умножение и деление векторов, изображенных на рис. 23: а) вектор \vec{F} умножьте на 2; б) вектор \vec{a} умножьте на 5; в) вектор \vec{b} разделите на 3.
- Начертите в тетради проекцию векторов \vec{s} и \vec{v} на оси Ox (рис. 23).

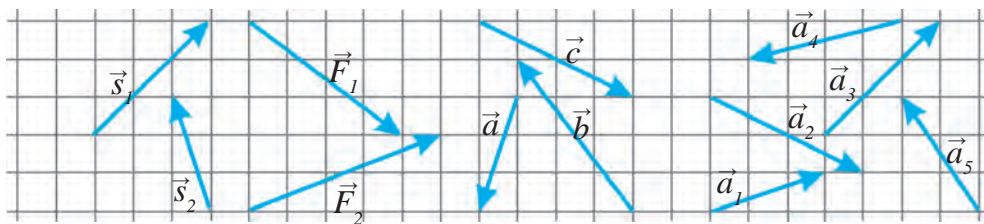


Рис. 22. Векторы, сумму и разность которых надо определить

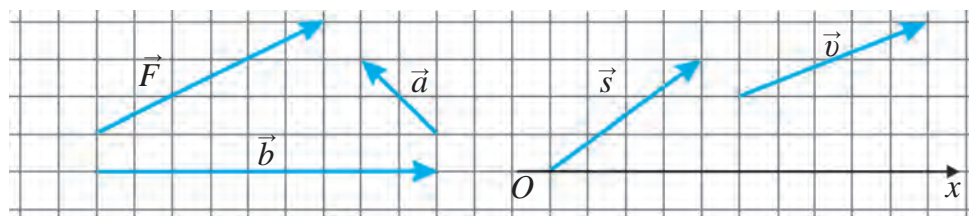
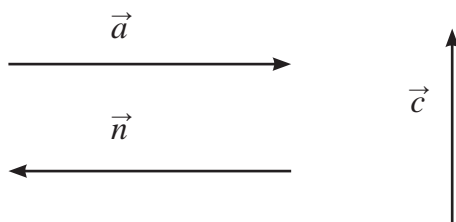


Рис. 23. Векторы произведение, делимое и проекцию которых нужно определить

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ I

1. На носу равномерно движущегося корабля стоит стрелок из лука и целится в мишень, находящуюся на корме, а на корме тоже находится стрелок, который целится в мишень, установленную на носу корабля. Чья стрела достигнет мишени раньше, если стрелки выстрелят одновременно?
2. Пассажир, едущий в купе поезда, утверждает, что он неподвижно стоит на месте, а рельсы и деревья снаружи движутся относительно него. Машинист поезда утверждает, что он расходует топливо и приводит в движение поезд, а рельсы и деревья снаружи стоят неподвижно. Чье утверждение верно?
3. Может ли поезд, движущийся по экватору с определенной скоростью с запада на восток, хоть немного уменьшить движение Земли вокруг своей оси с востока на запад со скоростью 2000 км/ч?
4. Если мы подпрыгнем вертикально вверх в неподвижно стоящем вагоне, то приземлимся на то же место, откуда был сделан прыжок. Куда мы приземлимся, если подпрыгнем вертикально вверх в равномерно и прямолинейно движущемся вагоне? На то же место или в противоположную от направления движения сторону? Чтобы подбросить некий груз в направлении движения вагона, потребуется сила, бóльшая, чем в случае, когда вагон неподвижен. Какую силу надо приложить, чтобы подбросить груз в противоположную от направления движения сторону?
5. Допустим, что вы с другом расположились в одной из кают корабля и не видите, что происходит снаружи. Когда вы ложились спать, корабль стоял. Как вы узнаете, проснувшись, стоит ли корабль или равномерно и прямолинейно движется?
6. Если согнуть нижнюю часть трубы и установить конец согнутой части против направления быстрого потока воды, можно наблюдать, как из конца трубы, находящегося чуть выше поверхности воды, течет вода. Попробуйте решить следующую проблему. На станции поезд необходимо загрузить водой, но времени на остановку нет. Можно ли запастись водой, не останавливая поезд, вышеописанным способом?

7. Вертолет пролетел в горизонтальном направлении 10 км на восток, затем 8 км на юг, после этого 12 км на запад и затем 8 км на север. Определите путь и перемещение вертолета.
8. Представьте себе, что на озеро опустился туман и его берегов не видно. Можно ли показать направление движения лодки на озере?
9. Лодка пересекает реку перпендикулярно ее течению. Вода движется относительно берега со скоростью течения реки. За движением лодки наблюдают два человека, один из которых стоит на берегу, а другой – на плоту, плывущем по течению. Оба наблюдателя измеряют время, потраченное лодкой на перемещение. Чем различаются полученные результаты? Какие из их показателей одинаковы?
10. В каких случаях, приведенных ниже, Землю можно считать материальной точкой? Отметьте правильный ответ.
 А) при вычислении длины экватора;
 В) при вычислении пути, пройденного Землей по орбите вокруг Солнца;
 С) при вычислении скорости движения точки экватора при суточном вращении Земли вокруг своей оси;
 Д) при вычислении расстояния от Земли до планеты Сатурн.
11. Дополните определение, добавив вместо точек нужное выражение. Векторные величины – это ...
 А) величины, которые определяются только численными значениями;
 В) величины, которые определяются только направлениями;
 С) величины, численные значения которых можно не учитывать;
 Д) величины, которые определяются численными значениями и направлением.
12. Ниже изображены три вектора. Равны ли векторы \vec{a} и \vec{n} ? Можно ли считать, что вектор \vec{c} больше вектора \vec{a} ?





Глава II ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Движение большинства тел в окружающем нас пространстве весьма сложно и разнообразно, поэтому их изучение, изображение на чертеже начнем с рассмотрения простых видов движения. Самое простое механическое движение – это прямолинейное равномерное движение тел.

В настоящей главе вы вначале изучите прямолинейное равномерное движение тел и получите краткие сведения о неравномерном движении. Затем вы приступите к более подробному изучению прямолинейного равнопеременного движения.

§ 5. ПОНЯТИЕ О ПРЯМОЛИНЕЙНОМ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

Равномерное движение

Проведем следующий опыт.

Пусть на тележке (рис. 24) установлена капельница, из которой равномерно каплют капли, показывающие, где находилась тележка в тот или иной момент времени. При отпускании тележки она придет в движение под действием подвешенного к ней груза. При этом можно заметить, что расстояние между падающими каплями неодинаковое. Значит, тележка за одно и то же время проходила различные расстояния, т.е. двигалась неравномерно.

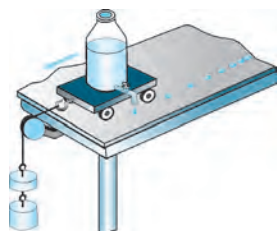


Рис. 24. Неравномерное движение тележки

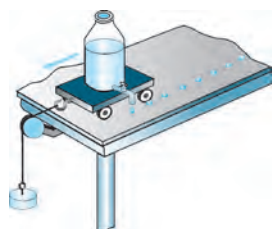


Рис. 25. Равномерное движение тележки

Теперь немного изменим описанный выше опыт. Уменьшим подвешенный к тележке груз так, чтобы за равные промежутки времени расстояния между падающими каплями были одинаковыми (рис. 25).

В этом случае за равные промежутки времени капельница проходит одинаковые пути. Такое движение тележки может служить примером равномерного движения.



Если тело за произвольно равные промежутки времени проходит равные пути, то такое движение называется *равномерным*.

Движение тела, имеющего неизменную скорость, является равномерным. Если, например, за каждую минуту автомобиль проходит путь 1,5 км, то за 2 мин он пройдет 3 км, за 5 мин – 7,5 км, за 10 мин – 15 км, за 30 мин – 45 км, за 1 час – 90 км.

Движение стрелок часов также может служить примером равномерного движения, однако траектория их движения составляет окружность. Примеры движения, приведенные выше, можно разделить на три вида:

- 1) движения, имеющие одинаковую скорость и прямолинейную траекторию;
- 2) движения, имеющие одинаковую скорость, но криволинейную траекторию;
- 3) движения, имеющие прямолинейную траекторию, но различную скорость.

В окружающем нас пространстве траектории движения тел чаще всего бывают криволинейными. Лишь в некоторых случаях на определенных участках пути тела совершают прямолинейное движение.

Прямолинейное движение



Если траектория движения тела – прямая линия, то такое движение называется *прямолинейным*.

Независимо от скорости траектории движения тележки, изображенной на рис. 24 и 25, в обоих случаях были одинаковыми. Движение автомобиля и поезда на прямых участках пути, полет самолета на определенном расстоянии после набора высоты можно рассматривать как прямолинейное движение.

Прямолинейное равномерное движение

Тележка на рис. 24 совершает прямолинейное, но неравномерное в силу различной скорости движение. Ее движение нельзя назвать прямолинейным равномерным. Стрелки часов совершают равномерное движение, но траектория их непрямолинейная. Движение стрелки часов также не может служить примером прямолинейного равномерного движения. Но тележка на рис. 25 движется и прямолинейно, и равномерно. Поэтому ее движение является прямолинейным равномерным движением.



Если тело, движущееся прямолинейно, проходит за произвольно равные промежутки времени равные расстояния, то такое движение называется *прямолинейным равномерным*.

Примером прямолинейного равномерного движения являются движение автомобиля с неизменной скоростью по прямой, совершенно ровной дороге, движение поезда по ровному прямолинейному участку пути после набора скорости.

Прямолинейное равномерное движение является простейшим механическим движением. Поэтому изучение его начнем с рассмотрения прямолинейного равномерного движения тел с простой зависимостью между их скоростью, расстоянием и временем. Затем перейдем к анализу скоростей неравномерного и криволинейного движения.



Опорные понятия: равномерное движение, прямолинейное движение, прямолинейное равномерное движение.



1. Объясните опыты, показанные на рис. 24 и 25.
2. Приведите пример непрямолинейного равномерного движения.
3. Приведите пример прямолинейного неравномерного движения.
4. Дайте определение прямолинейного равномерного движения.
5. На каком участке пути из дома до школы вы совершаете прямолинейное равномерное движение?

§ 6. СКОРОСТЬ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Определение скорости

Если путь, пройденный телами за один и тот же промежуток времени, неодинаков, то и время для преодоления одного и того расстояния будет различным. Например, одинаковое расстояние автомобиль преодолевает быстрее, чем велосипедист. Если пешеход за одну минуту проходит расстояние 100 м, искусственный спутник Земли за это же время пролетает 500 км, а световой луч покрывает 18 млн километров. Мы знаем, что одно тело может двигаться быстрее или медленнее, чем другое. Например, велосипедист движется быстрее пешехода, автомобиль движется быстрее пешехода и велосипедиста, но медленнее поезда. Самолет движется быстрее поезда (рис. 26).



Рис. 26. Движение тел с различными скоростями

Из курса физики 6 класса вы знаете, что путь s , пройденный телом, определяется временем t , за которое этот путь пройден, и скоростью v . На основе этого скорость выражается следующей формулой:

$$v = \frac{s}{t}. \quad (1)$$



Скорость тела при равномерном движении равна отношению пройденного пути к промежутку времени, за которое этот путь пройден.

Скорость тела при равномерном движении является одинаковой на любом участке пути. Известно, что при делении любого числа на 1, результат будет равен этому числу. Если в формуле (1) $t = 1$ с, то скорость v останется равной s :

$$|v| = \left| \frac{s}{1} \right| = |s|.$$

Значит, при равномерном движении путь, пройденный за единицу времени, численно равен скорости. Скорость можно описать следующим образом.



Величина, равная пути, пройденному за единицу времени, называется скоростью.

В приведенных выше примерах за единицу времени принят 1 час. Если человек за 1 час преодолевает 18 км, велосипедист 36 км, автомобиль 90 км, поезд 144 км, а самолет 900 км, попробуем вычислить их скорость, выраженную в секундах, т.е. расстояние, которое они пре-

одолевают за 1 секунду: скорость человека $v_{\text{ч}} = 5$ м/с; велосипедиста $v_{\text{в}} = 10$ м/с; автомобиля $v_{\text{а}} = 25$ м/с; поезда $v_{\text{п}} = 40$ м/с; самолета $v_{\text{с}} = 250$ м/с.

С развитием науки и техники возрастают требования к точности определения таких физических величин, как время, расстояние и скорость.

За одну секунду, кажущуюся нам незначительной, велосипедист преодолевает лишь расстояние 10 м, Земля, обращаясь вокруг Солнца, проходит 29 км, а световой луч пересекает пространство в 300 000 км. Если в данные спутниковой связи с Землей закрадывается ошибка в одну секунду, то погрешность в показаниях навигаторов автомашин может составить 10 км.

Единица скорости

В международной системе единиц, которая обозначается СИ, за единицу пути принят 1 метр (м), единицу времени – 1 секунда (с).



В СИ за основную единицу скорости принят м/с.

Если скорость тела равна 6 м/с, то за 1 с оно проходит расстояние 6 м. Кроме основной единицы скорости, используются также производные единицы: км/ч, км/мин, км/с, см/с. Здесь $1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$, $1 \text{ м/с} = 0,06 \text{ км/мин}$, $1 \text{ км/с} = 1000 \text{ м/с}$, $1 \text{ м/с} = 100 \text{ см/с}$.

При решении задач, как и в повседневной жизни, приходится переводить скорость, выраженную в км/ч, в м/с и обратно. Если скорость дана в м/с, ее значение умножают на 3,6 и получают значение в км/ч. Например, если велосипедист движется со скоростью 10 м/с, то его скорость в км/ч находят так:

$$v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10 \cdot 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Если же скорость дана в км/ч, то ее значение делят на 3,6 или умножают на $\frac{5}{18}$ и получают значение в м/с. Например, если автомобиль движется со скоростью 90 км/ч, то его скорость в м/с находят так:

$$v = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 90 \cdot \frac{5}{18} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Известно, что природная единица измерения скорости равна скорости света в космическом пространстве 300 000 км/с. В астрономии в качестве самой большой единицы измерения длины исполь-

зуется расстояние ($9,5 \cdot 10^{12}$ км), преодолеваемое светом в год. Так как даже эти расстояния оказываются недостаточными для измерения размеров космоса, в настоящее время используются такие единицы измерения, как парсек ($31 \cdot 10^{12}$ км), в тысячу раз больший килопарсек и в миллион раз больший мегапарсек.

Измерение скорости

Скорость движущихся тел измеряется с помощью специальных приборов. Например, скорость автомобиля, корабля, самолета измеряется спидометром (от англ. speed – скорость и греч. metreo – измерять).



Рис. 27. Спидометр автомобиля

Вы видели спидометр на приборной доске автомобиля (рис. 27). Принцип его действия основан на измерении числа оборотов колес автомобиля за единицу времени. Например, если длина внешней окружности шины 2 м, то при каждом обороте колеса автомобиль проходит расстояние 2 м. Если колесо совершает 10 оборотов в секунду, то за это время автомобиль проходит 20 м. В этом случае спидометр автомобиля покажет скорость 20 м/с или 72 км/ч.

Существуют приборы, которые позволяют, находясь на земле, измерять скорость летящего самолета или, стоя на обочине дороги, измерять скорость приближающегося автомобиля. С помощью подобных приборов – радаров измеряют скорость автомобилей сотрудники дорожно-патрульной службы.



Опорные понятия: скорость равномерного движения, скорость прямолинейного равномерного движения, единицы скорости, спидометр.



1. Скорость зайца 54 км/ч, скорость дельфина 20 м/с. Чья скорость больше?
2. За какое время плот, плывущий по реке, преодолеет путь в 15 км, если скорость течения равна 0,5 м/с?



1. Выразите скорость в км/ч : 2 м/с, 5 м/с, 20 м/с, 50 м/с.
2. Длина эскалатора метро 18 м. Он поднимает человека вверх за 12 с. Определите скорость человека, стоящего на эскалаторе.
3. Велосипедист, двигаясь равномерно, проехал за 15 мин расстояние 4,5 км. Найдите его скорость в м/с.
4. Автомобиль, двигаясь равномерно, проехал за 30 мин расстояние 40 км. Найдите скорость автомобиля.

§ 7. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Нахождение пути и времени из формулы скорости

Путь, пройденный телом при равномерном движении за определенный промежуток времени, можно найти из формулы скорости, если известна скорость движения тела:

$$s = vt.$$



Для того, чтобы найти путь, пройденный при равномерном движении, нужно скорость тела умножить на время движения.

Например, если тело движется равномерно со скоростью $v = 8$ м/с, то за время $t = 10$ с оно пройдет путь $s = 8$ м/с \cdot 10 с = 80 м.

Если известны путь, пройденный телом при равномерном движении, и скорость движения, то из формулы скорости можно найти время движения:

$$t = \frac{s}{v}.$$



Для того, чтобы найти время движения тела, движущегося равномерно, нужно путь, пройденный за это время, разделить на его скорость.

Например, если тело движется равномерно со скоростью 12 м/с, то путь в 60 м оно пройдет за время $t = \frac{s}{v} = \frac{60 \text{ м}}{12 \text{ м/с}} = 5$ с.

График скорости

При равномерном движении с увеличением времени t скорость тела остается неизменной. Например, пусть тело, совершающее прямолинейное равномерное движение, имеет начальную скорость 10 м/с. Тогда через 10, 20, 30, 40, 50 с скорость остается неизменной и равной 10 м/с. В этом случае график скорости будет иметь вид, показанный на рис. 28, а.

В общем случае график скорости при равномерном движении будет изображаться в виде прямоугольника со сторонами v и t . Площадь этого прямоугольника численно равна пройденному пути (рис. 28, б).

График пути

Пусть тело движется со скоростью $v = 5$ м/с. По формуле $s = vt$ для пути, пройденного за время t , можно составить таблицу. Задавая t численные значения, находим соответствующие им значения пути s :

$t, \text{с}$	5	10	15	20
$s = vt, \text{м}$	25	50	75	100

Откладывая значения t и s , взятые из таблицы, на осях координат, получаем график пути (рис. 29, а). График пути для двух тел, равномерно движущихся со скоростями $v_1 = 2,5$ м/с и $v_2 = 5$ м/с, приводится на рис. 29, б. Видно, что угол на графике пути тела с большей скоростью является более крутым. Если график пути представляет собой прямую линию, это означает, что тело двигалось с неизменной скоростью, т.е. график пути равномерного движения – есть прямая линия.

Образец решения задачи

Автомобиль движется равномерно со скоростью 60 км/ч. Начертите график его скорости и пути в течение 15 мин.

Решение: 15 мин = 0,25 ч. График скорости имеет вид прямоугольника со сторонами 60 км/ч и 0,25 ч (рис. 30, а). Площадь полученного прямоугольника равна: 60 км/ч · 0,25 ч = 15 км. Это значение количественно равно пути s , пройденному автомобилем за 15 мин. Учитывая, что в формуле $s = vt$ $v = 60$ км/ч, составляем следующую таблицу:

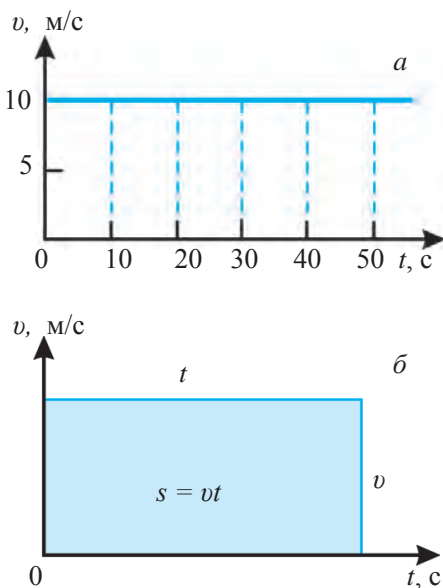


Рис. 28. График скорости

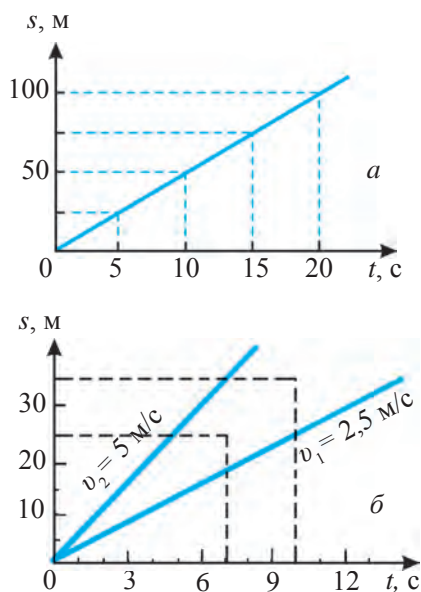
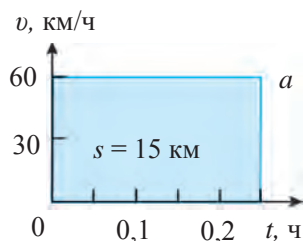


Рис. 29. График пути



t , ч	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
s , км	3	6	9	12	15

На основе этой таблицы получаем график пути, изображенный на рис. 30, б.

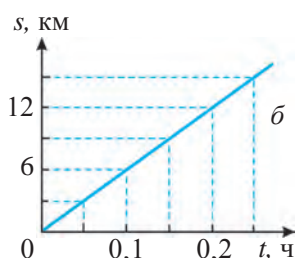


Рис 30. График скорости (а) и пути (б) движения автомобиля



Опорные понятия: путь, пройденный при равномерном движении, время движения тела, график скорости, график пути.



1. Начертите примерный график скорости и пути для случая вашего равномерного движения от дома до школы.
2. Проведите на графике пути под разными углами к оси Ox две прямые и проанализируйте получившийся график.



1. Какое расстояние пройдет тело, движущееся равномерно со скоростью 3 м/с, за 20 с?
2. Какое расстояние проедет поезд, движущийся равномерно со скоростью 126 км/ч, за 15 мин?
3. За сколько минут тело, движущееся равномерно со скоростью 10 м/с, пройдет расстояние 6 км?
4. За сколько часов самолет, движущийся после набора высоты равномерно со скоростью 900 км/ч, пролетит расстояние 450 км?
5. Начертите графики скорости и пути для велосипедиста, движущегося равномерно со скоростью 18 км/ч.

§ 8. СКОРОСТЬ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

Средняя скорость

При равномерном движении скорость прохождения расстояний $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$, соответствующих промежуткам времени $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, постоянна, т.е. имеют место равенства:

$$v = \frac{s_1}{t_1} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{s_3}{t_3} = \dots = \frac{s_n}{t_n} = \text{const}, \quad (1)$$

где const – постоянство величины.

В окружающем нас пространстве тела совершают, в основном, неравномерное движение. Например, автомобиль прошел путь 35 км от одного города до другого за 0,5 часа. Во время движения скорость его была различной. Хотя на определенных участках пути автомобиль двигался равномерно, все его движение в целом неравномерно.



Если во время движения тела его скорость переменна, то такое движение называется *неравномерным*.

Площадь голубой фигуры, изображенной на рис. 31, количественно равна значению пройденного пути $s = 35$ км. В приведенном примере можно говорить не о постоянной, а о средней скорости автомобиля. При этом средняя скорость автомобиля равна $35 \text{ км} : 0,5 \text{ ч} = 70 \text{ км/ч}$.



Средняя скорость неравномерного движения тела равна отношению пройденного пути ко времени, за которое этот путь пройден:

$$v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (2)$$

График средней скорости, как и постоянной скорости, имеет вид горизонтально направленной прямой. На основе формулы (2) путь, пройденный при неравномерном движении, выражается следующим образом:

$$s = v_{\text{cp}} \cdot t. \quad (3)$$

Произведение средней скорости автомобиля $v_{\text{cp}} = 70 \text{ км/ч}$ и времени движения $t = 0,5 \text{ ч}$ количественно равно площади прямоугольника, изображенного на рис. 31. При этом площадь заштрихованной фигуры, образованной графиком средней скорости, равна площади голубой фигуры, образованной графиком скорости неравномерного движения.

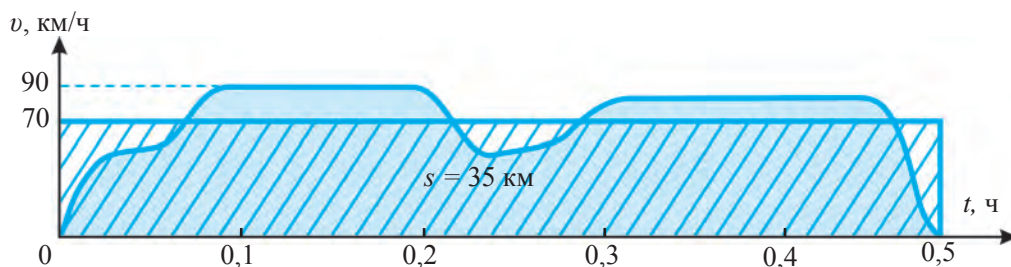


Рис. 31. График скорости автомобиля при неравномерном движении

Мгновенная скорость

Средняя скорость характеризует неравномерное движение тела на всем пути в целом, но она не определяет скорости движения в произвольной точке пути. Нас же интересует, каково точное значение скорости в данной точке.



Скорость тела в определенный момент времени или в некоторой точке траектории движения называется мгновенной скоростью.

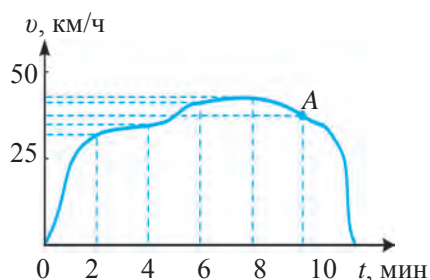


Рис. 32. График скорости автобуса

Рассмотрим неравномерное движение автобуса между двумя остановками. График скорости движения автобуса между двумя остановками можно изобразить так, как показано на рис. 32. Этот путь он проходит за 6 мин. Выбрав в этом промежутке времени различные моменты, можно определить значения скоростей, соответствующие каждому из них, т.е. определить мгновенную скорость. Как видно из графика, например, в момент времени 2 мин приближительная мгновенная скорость равна 32 км/ч, в 4 мин – 40 км/ч, в 10 мин – 46 км/ч. Чтобы определить мгновенную скорость в определенной точке движения, находят путь Δs , который проходит тело за малый промежуток времени Δt . Здесь Δ (дельта) – знак, указывающий очень малый промежуток времени. Пусть, согласно графику на рис. 32, в точке A автобус в течение промежутка времени $\Delta t = 0,3$ с пройдет путь $\Delta s = 3$ м. Тогда приближительная мгновенная скорость автобуса в точке A определяется следующим образом: $v = \Delta s / \Delta t = 30 \text{ м/с} / 3 \text{ с} = 10 \cdot 3,6 \text{ км/ч} = 36 \text{ км/ч}$.



Опорные понятия: неравномерное движение, средняя скорость, средняя скорость при неравномерном движении, мгновенная скорость.



1. Лыжник, спустившись с горы, продолжает движение до полной остановки. Будет ли равняться нулю его средняя скорость на протяжении всего пути, если его скорость в начале и в конце пути равнялась нулю?
2. Проанализируйте график, приведенный на рис. 31.

У
4

1. Тело, двигаясь неравномерно, прошло за 2 мин 60 м. Чему равна его средняя скорость (м/с)?
2. Автомобиль «Спарк», вышедший из Ташкента в 7 ч 30 мин, проделал путь 270 км и прибыл в Фергану в 10 ч 30 мин. Найдите его среднюю скорость.
3. Ученик в течение 2 с прошел 3 м. Найдите его скорость на этом участке пути. Какая это скорость: средняя или мгновенная?
4. Когда должен выйти из дома ученик, чтобы пройдя путь 600 м от дома до школы, прийти в школу в 7 ч 50 мин, если его средняя скорость 1 м/с?

§ 9. УСКОРЕНИЕ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ

Понятие о равнопеременном движении

Простейший вид неравномерного движения – это равнопеременное движение. Примером равнопеременного движения могут служить движения шарика или тележки, скатывающихся по наклонному желобу.

Рассмотрим движение тележки с капельницей по наклонной плоскости. Через каждые 0,5 с из капельницы равномерно каплют капли. При отпуске тележки можно наблюдать, что расстояние между каплями на траектории движения равномерно увеличивается (рис. 33).

При этом расстояние между:

1-й и 2-й каплями $5 \text{ см} - 0 = 5 \text{ см}$;

2-й и 3-й каплями $20 \text{ см} - 5 \text{ см} = 15 \text{ см}$;

между 3-й и 4-й каплями $45 \text{ см} - 20 \text{ см} = 25 \text{ см}$;

между 4-й и 5-й каплями $80 \text{ см} - 45 \text{ см} = 35 \text{ см}$.

Следовательно, расстояние между каплями каждые 0,5 с увеличивается на 10 см. Отсюда можно определить, что скорость тележки за каждые 0,5 с увеличивается на $10 \text{ см} : 0,5 \text{ с} = 20 \text{ см/с}$.

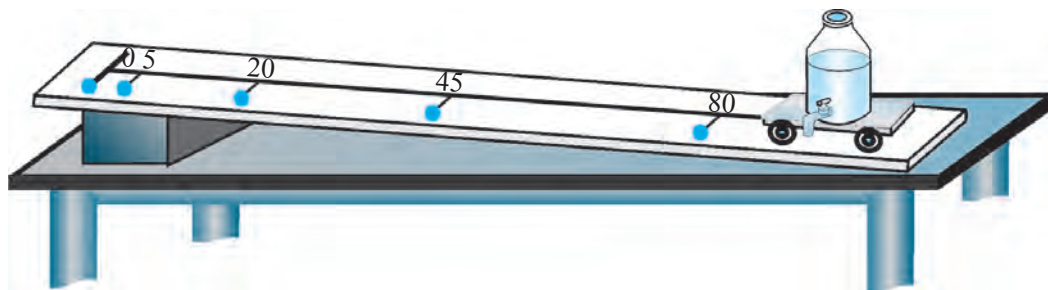


Рис. 33. Равнопеременное движение тележки по наклонной плоскости



Движение, при котором за любые равные промежутки времени соответствующая скорость изменяется на равные величины, называется *равнопеременным* движением.

Автомобиль, трогаящийся с места с равномерно увеличивающейся скоростью, совершает равнопеременное (равноускоренное движение).

Тело, скорость которого равномерно уменьшается, также совершает равнопеременное (равнозамедленное) движение. Например, таким будет движение шарика вверх по наклонной плоскости. Если выключить мотор автомобиля, который движется с большой скоростью по ровной прямой дороге, то его движение будет равнопеременным (равнозамедленным), пока через некоторое время он не остановится. Поэтому, когда говорят о равнопеременном движении, имеют в виду, что скорость тела равномерно увеличивается или уменьшается.

Ускорение и его единица

Для характеристики равнопеременного движения введена величина, называемая **ускорением**. Формула ускорения имеет вид

$$a = \frac{v - v_0}{t}, \quad (1)$$

где v_0 – начальная скорость тела, v – скорость через время t после начала движения:



Величина, определяемая отношением величины изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло, называется *ускорением* и обозначается буквой *a*.

Ускорение можно также характеризовать следующим образом.



Величина, численно равная изменению скорости тела за единицу времени, называется *ускорением*.

Пользуясь формулой ускорения, можно найти единицу ускорения. В качестве основной единицы ускорения принят м/с^2 .



Принятый в СИ за единицу ускорения м/с^2 – это изменение скорости движения тела на 1 м/с за одну секунду.

Наряду с единицей ускорения м/с^2 используется также единица см/с^2 . При этом $1 \text{ м/с}^2 = 100 \text{ см/с}^2$.

Формула ускорения справедлива и при равнозамедленном движении. Так как наблюдаемое время движения всегда больше начального времени, в формуле (1) знаменатель всегда положителен. Если скорость в наблюдаемое время меньше начальной скорости, разность $v - v_0$ в числителе формулы (1) отрицательна. Например, если начальная скорость тела равнялась $v_0 = 20$ м/с, а через время $\Delta t = 10$ с составила $v = 5$ м/с, то ускорение будет следующим:

$$a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{5 - 20}{10} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = -1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Значит, при равноускоренном движении ускорение тела положительно ($a > 0$), а при равнозамедленном движении – отрицательно ($a < 0$). Ускорение – векторная величина. В векторном виде оно выражается формулой:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}. \quad (2)$$

При прямолинейном равноускоренном движении направление ускорения совпадает с направлением движения тела, а при равнозамедленном – оно противоположно направлению движения. Так как ускорение – это изменение скорости тела за единицу времени, возникает вопрос, когда наблюдается изменение скорости. Ускорение возникает в результате различия в значениях скорости в различные моменты времени. Скорость изменяется тогда, когда разности значений этой величины в различные моменты времени отличаются от нуля. В связи с тем, что скорость – векторная величина, с течением времени изменение скорости наблюдается:

1) при изменении абсолютного значения, т.е. модуля скорости при прямолинейном движении: $|v_0 - v_1| \neq 0$;

2) при изменении направления движения даже при одинаковых значениях скорости: $v_2 - v_1 \neq 0$.

Значит, ускорение наблюдается не только при изменении модуля скорости, но и при изменении направления движения.

При прямолинейном движении вместо векторных значений скорости и ускорения можно использовать скалярные величины, потому что направления прямолинейного движения в различные моменты времени не меняются. Очевидно, что ускорение является одной из основных величин, характеризующих переменное движение. Причины его возникновения будем рассматривать в следующих главах.

Образец решения задачи

Автомобиль марки «Спарк», двигаясь равноускоренно, за 5 с увеличил скорость с 36 км/ч до 90 км/ч. Найдите его ускорение.

<p><i>Дано:</i></p> $\Delta t = 5 \text{ с};$ $v_0 = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с};$ $v = 90 \text{ км/ч} = 25 \text{ м/с}.$ <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p><i>Найти:</i></p> $a = ?$	<p><i>Формула:</i></p> $a = \frac{v - v_0}{t}.$	<p><i>Решение:</i></p> $a = \frac{25 - 10}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$ <p><i>Ответ:</i> $a = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$</p>
---	---	---



Опорные понятия: равнопеременное движение, равноускоренное движение, равнозамедленное движение, ускорение.



1. Автомобиль, едущий со скоростью 40 км/ч, начал совершать равноускоренное движение. С каким ускорением должен двигаться автомобиль, чтобы на расстоянии 100 м достичь скорости 60 км/ч?
2. Вы начали идти и через некоторое время остановились. В каком случае вы двигались ускоренно, а в каком замедленно?



1. Тело, двигаясь равноускоренно с нулевой начальной скоростью, достигло скорости 20 м/с за 8 с. С каким ускорением двигалось тело?
2. За какое время тело, движущееся с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$ из состояния покоя, достигнет скорости 9 м/с?
3. Велосипедист, начав равноускоренное движение из состояния покоя, за 10 с достиг скорости 18 км/ч. Затем он затормозил и, двигаясь равнозамедленно, остановился через 5 с. Найдите ускорение велосипедиста при равноускоренном и равнозамедленном движениях.
4. Автомобиль «Каптива» при равноускоренном движении увеличил в течение 25 с свою скорость с 45 до 90 км/ч. Найдите ускорение автомобиля.
5. Самолет коснулся колесами земли на скорости 360 км/ч. Через какое время он остановится, двигаясь с ускорением $2,0 \text{ м/с}^2$?

§ 10. СКОРОСТЬ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

Скорость при равнопеременном движении и ее график

Если при равнопеременном движении тела известны его начальная скорость и ускорение, то можно определить скорость в произвольный момент времени его движения. Из формулы $a = \frac{v - v_0}{t}$ находим его скорость v в произвольный момент времени t :

$$v = v_0 + a \cdot t. \quad (1)$$

При равнопеременном движении тела без начальной скорости ($v_0 = 0$ при $t_1 = 0$) формула скорости имеет вид:

$$v = at. \quad (2)$$

Построим график скорости тела, движущегося с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$ без начальной скорости. Для этого в формуле (2) принимаем $a = 2 \text{ м/с}^2$, а затем, задавая значения t , получаем соответствующие им значения v . Результаты записываем в таблицу:

$t, \text{ с}$	1	2	3	4	5	6	7
$v, \text{ м/с}$	2	4	6	8	10	12	14

Откладывая значения t и v , взятые из таблицы, на осях координат, получаем график скорости равноускоренного движения для случая $v_0 = 0$ (рис. 34).

Пусть тело равноускоренно движется с начальной скоростью $v_0 = 4 \text{ м/с}$ и ускорением $a = 1,5 \text{ м/с}^2$. В этом случае из формулы (1) можно вычислить при $t = 0$ скорость $v_0 = 4 \text{ м/с}$, а при $t = 6 \text{ с}$ — $v = 13 \text{ м/с}$. Откладывая эти значения на осях координат, получаем график, изображенный на рис. 35. Это — график скорости тела, совершающего с начальной скоростью равноускоренное движение. Следовательно, если начальная скорость тела $v_0 \neq 0$, прямая линия на ее графике сдвигается параллельно относительно прямой (пунктирной) линии для случая $v_0 = 0$.

Рассмотрим теперь график скорости при равнозамедленном движении тела, т.е. при $a < 0$. Пусть тело равнозамедленно движется с начальной скоростью $v_0 = 15 \text{ м/с}$ и ускорением $a = -1 \text{ м/с}^2$. Из формулы (1) при $t = 0$ находим $v = 15 \text{ м/с}$, при $t = 10 \text{ с}$ — $v = 5 \text{ м/с}$. Откладывая полученные значения на осях координат, образуем график скорости для равнозамедленного движения (рис. 36).

При равнозамедленном движении тело в конце концов останавливается.

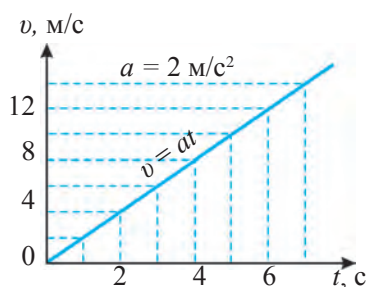


Рис. 34. График скорости для равноускоренного движения ($v_0 = 0$)

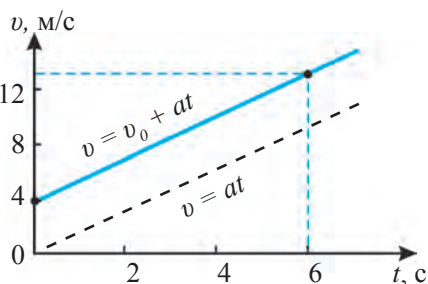


Рис. 35. График скорости для равноускоренного движения ($v_0 > 0$)

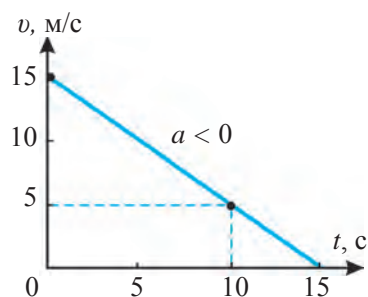


Рис. 36. График скорости для равнозамедленного движения

Это также видно на рис. 36, где прямая линия упирается в ось абсцисс.

Действительно, в формуле (1) при $t = 15$ с $v = 0$, т.е. тело прекращает движение. Значит, если прямая линия на графике скорости находится под углом к оси абсцисс, тело совершает равнопеременное движение.

Обычно тело, начиная движение из состояния покоя, в начале движется с ускорением и достигает некоторой скорости, а затем совершает замедленное движение и останавливается. Например, пусть велосипедист, который трогается с места равноускоренно, за 10 с увеличивает скорость до 5 м/с. Он движется с этой скоростью в течение 40 с, а затем тормозит, совершая равнозамедленное движение в течение 5 с, и останавливается. График скорости такого движения велосипедиста показан на рис. 37.

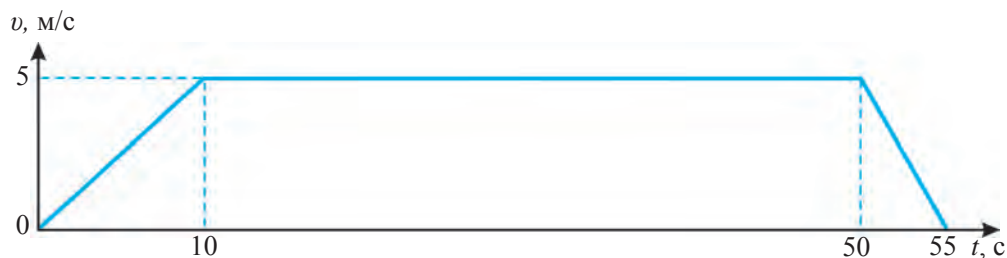


Рис. 37. График скорости движения велосипедиста

Средняя скорость равнопеременного движения

Тело, совершающее равнопеременное движение, имеет среднюю скорость:

$$v_{cp} = \frac{v_0 + v}{2}; \quad (3)$$

где v_0 – начальная скорость тела, v – скорость в произвольный момент времени t . Например, среднюю скорость тела, график скорости которого приведен на рис. 35, через 6 с движения можно вычислить следующим образом:

$$v_{\text{cp}} = \frac{4 + 13}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Подставляя в формуле (3) вместо скорости v ее выражение $v = v_0 + at$, получаем следующую формулу средней скорости:

$$v_{\text{cp}} = v_0 + \frac{at}{2}. \quad (4)$$

Например, по значениям на графике (рис. 35) $v_0 = 4 \text{ м/с}$, $a = 1,5 \text{ м/с}^2$ можно найти среднюю скорость тела при $t = 6 \text{ с}$:

$$v_{\text{cp}} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{1,5 \cdot 6}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Из формул (3) и (4) можно вывести выражения средней скорости для равнопеременного движения при начальной скорости $v_0 = 0$:

$$v_{\text{cp}} = \frac{v}{2}, \quad (5)$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{at}{2}. \quad (6)$$

Образец решения задачи

Какую скорость разовьет автомобиль марки «Матиз», движущийся равноускоренно с начальной скоростью 18 км/ч и ускорением $1,0 \text{ м/с}^2$, через 10 с движения. Найдите среднюю скорость автомобиля.

Дано:

$$v_0 = 18 \text{ км/ч} = 5 \text{ м/с};$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2;$$

$$t = 10 \text{ с}.$$

Найти:

$$v = ? \quad v_{\text{cp}} = ?$$

Формула:

$$v = v_0 + at;$$

$$v_{\text{cp}} = v_0 + \frac{at}{2}.$$

Решение:

$$v = (5 + 1 \cdot 10) \text{ м/с} =$$

$$= 15 \text{ м/с} = 54 \text{ км/ч};$$

$$v_{\text{cp}} = [5 + (1 \cdot 10)/2] \text{ м/с} =$$

$$= 10 \text{ м/с} = 36 \text{ км/ч}.$$

$$\text{Ответ: } v = 54 \text{ км/ч}; v_{\text{cp}} = 36 \text{ км/ч}.$$



Опорные понятия: скорость при равнопеременном движении, средняя скорость равнопеременного движения.



1. Начертите график скорости движения при беге на 100 метров .
2. Начертите график скорости для равноускоренного и равнозамедленного движения тела.



1. Какую скорость приобретет тело, трогаящееся с места с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$, через 1 мин после начала движения?

2. Какую скорость приобретет тело, движущееся с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$ и начальной скоростью 3 м/с , через 30 с после начала движения?
3. Автомобиль «Нексия», движущийся со скоростью 60 км/ч , после выключения мотора совершает равнозамедленное движение с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. Какой будет скорость автомобиля через 20 с ? Какой была его скорость в течение этих 20 с ?
4. Через некоторое время тело, движущееся с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$, достигло скорости 9 м/с . Какой была скорость тела за 10 с до этого времени?
5. Тело, имевшее начальную скорость 2 м/с , начало двигаться с ускорением 3 м/с^2 . Начертите график скорости для такого движения.
6. Автомобиль проехал первую половину пути со скоростью $v_1 = 20 \text{ м/с}$, вторую половину со скоростью $v_2 = 25 \text{ м/с}$. Найдите среднюю скорость автомобиля на всем пути.

§ 11. ПУТЬ, ПРОЙДЕННЫЙ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ

Формула пути

Пусть тело, совершая равноускоренное движение из состояния покоя ($v_0 = 0$) с ускорением a , достигло за время t скорости v . Путь, пройденный за это время, выражается так:

$$s = v_{\text{cp}} t. \quad (1)$$

Так как $v_{\text{cp}} = at/2$, то получаем формулу для пути, пройденного при равноускоренном движении без начальной скорости:

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

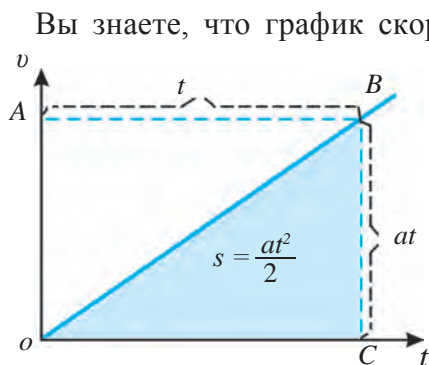


Рис. 38. Путь при равноускоренном движении с $v_0 = 0$

Вы знаете, что график скорости тела, равноускоренно движущегося с начальной скоростью $v_0 = 0$, имеет вид прямой, направленной по наклону (рис. 38). Определим площадь треугольника OBC , изображенного на рис. 38. Поскольку прямоугольник на рисунке имеет стороны at и t , то его площадь равна $at \cdot t = at^2$. Площадь треугольника OBC составляет половину четырехугольника $OACB$, т.е. $at^2/2$, что выражает пройденный телом путь s .

При равноускоренном движении тела с начальной скоростью v_0 путь s , пройденный им за время t , равен численному значению площади фигуры $OABD$, изображенной на рис. 39. Эта площадь складывается из площади $v_0 t$ прямоугольника $OACD$ и площади $at^2/2$ прямоугольника ABC . Следовательно, путь, пройденный телом при равнопеременном движении, выражается формулой:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

График пути

Для получения графика пути необходимо отобразить на чертеже зависимость пройденного пути от времени, за которое этот путь пройден. Эта линия называется графиком зависимости пути от времени или коротко графиком пути. Мы знаем, что график пути любого равномерно движущегося тела представляет собой прямую линию. Попробуем построить график пути для равнопеременного движения.

Пусть тело из состояния покоя ($v_0 = 0$) движется равноускоренно с ускорением $a = 2 \text{ м/с}^2$. Чтобы построить график такого движения, по формуле $s = at^2/2$ вычислим значения пути s , соответствующие последовательным значениям t , и результаты запишем в таблицу:

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5
$s, \text{ м}$	0	1	4	9	16	25

Откладывая на осях координат соответствующие значения t и s , получаем график пути (рис. 40). График пути является криволинейным, при этом с возрастанием времени пройденный путь будет пропорционально увеличиваться. Кривая линия, имеющая такой вид, называется **параболой**.

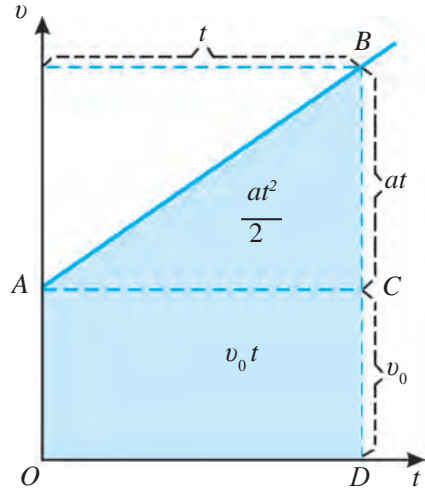


Рис. 39. График пути при равноускоренном движении с $v_0 > 0$

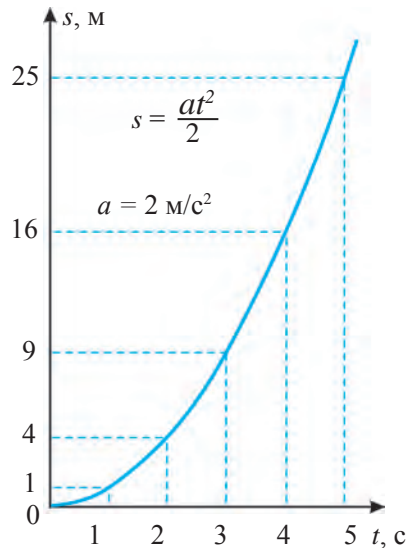


Рис. 40. График пути при равноускоренном движении с $v_0 = 0$

Мы рассмотрели график пути для движения тела с начальной скоростью $v_0 = 0$, скорость которого за единицу времени увеличивается одинаково. Вычисления по формуле (2) показывают, что тело, совершающее равнопеременное движение с нулевой начальной скоростью, в первую секунду движения проходит расстояние, равное половине ускорения.

Значит, зная путь, пройденный телом в первую секунду, можно найти его ускорение.

Образец решения задачи

Велосипедист, движущийся по ровной прямой дороге со скоростью 10 м/с, начал равнозамедленное движение с ускорением $-0,2$ м/с². Какой путь пройдет велосипедист за 40 с? Через какое время он остановится?

<p><i>Дано:</i> $v_0 = 10$ м/с; $a = -0,2$ м/с²; $t = 40$ с; $v = 0$.</p> <hr/> <p><i>Найти:</i> $s = ?$ $t_0 = ?$</p>	<p><i>Формула:</i></p> $s = v_0 t + \frac{at^2}{2};$ $v = v_0 + at_0;$ $v_0 + at_0 = 0;$ $t_0 = -\frac{v_0}{a}.$	<p><i>Решение:</i></p> $s = (10 \cdot 40 + \frac{-0,2 \cdot 40^2}{2}) \text{ м} = 240 \text{ м.}$ $t_0 = -\frac{10}{-0,2} \text{ с} = 50 \text{ с.}$ <p><i>Ответ:</i> $s = 240$ м; $t_0 = 50$ с.</p>
--	--	--



Опорные понятия: путь, пройденный при равнопеременном движении, график пути для равнопеременного движения тела.



1. Начертите график пути для тела, совершающего равноускоренное движение из состояния покоя с начальной нулевой скоростью $v_0 = 0$ и ускорением $a = 3$ м/с².
2. Как определяется путь, пройденный телом при $v_0 > 0$ по графику, приведенному на рис. 39?



1. Какой путь пройдет тело, движущееся равноускоренно из состояния покоя с ускорением $0,3$ м/с², за промежуток времени 10 с?
2. Какой путь пройдет автомобиль, движущийся равноускоренно с начальной скоростью 30 км/ч и ускорением $0,5$ м/с², в течение 1 мин?
3. Тело движется равноускоренно из состояния покоя с ускорением 1 м/с². Постройте график пути тела.
4. Автомобиль, начальная скорость которого 36 км/ч, совершает равноускоренное движение с ускорением 4 м/с². Постройте график пути автомобиля.
5. Можно ли назвать движение тела равнопеременным, если за одинаковые промежутки времени оно имело скорость $v_0 = 0$ м/с, $v_1 = 1$ м/с, $v_2 = 2$ м/с и т.д.?

§ 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ ТЕЛА ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ

(Лабораторная работа 1)

Цель работы: измерение пути и времени движения шарика, скатывающегося по наклонному желобу, для определения ускорения тела при равноускоренном движении.

Необходимые принадлежности: металлический желоб, стальной шарик, штатив, металлический цилиндр, мерная лента, секундомер.

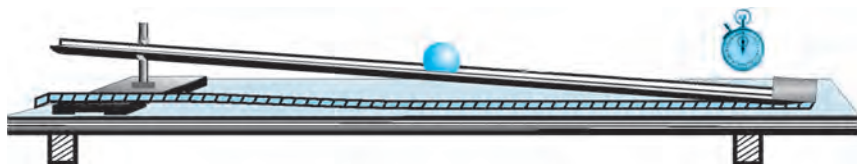


Рис. 41. Установка для определения ускорения при равноускоренном движении

Порядок выполнения работы

1. Установите наклонный желоб на штатив, как показано на рис. 41, внизу желоба поместите металлический цилиндр.

2. Определите секундомером время, за которое шарик, пущенный вниз по наклонной плоскости, достигает металлического цилиндра внизу желоба.

3. Повторите опыт три раза. Измеряйте каждый раз промежутки времени t_1 , t_2 , t_3 и занесите результаты в таблицу.

4. Измерьте с помощью мерной ленты путь, пройденный шариком, и занесите результаты в таблицу.

5. Из формулы для пути при равноускоренном движении $s = at^2/2$ следует формула для ускорения $a = 2s/t^2$. Подставляя в нее значения t_1 , t_2 , t_3 и измеренное значение пути s , вычислите значения ускорения a_1 , a_2 , a_3 и занесите результаты в таблицу.

6. Вычислите среднее ускорение по формуле $a_{\text{cp}} = (a_1 + a_2 + a_3)/3$ и занесите результат в таблицу. Это число выражает значение ускорения шарика, скатывающегося по желобу.

7. Повторите опыт при трех различных положениях желоба.

8. По формуле $\Delta a_n = |a_{\text{cp}} - a_n|$ найдите абсолютную погрешность.

9. По формуле $\Delta a_{\text{cp}} = (\Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3)/3$ вычислите среднее ускорение.

10. По формуле $\varepsilon = (\Delta a_{\text{cp}} / a_{\text{cp}}) \cdot 100\%$ найдите относительную погрешность.

11. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

Таблица 1

№	$s, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$a_1, \text{ м/с}^2$	$a_2, \text{ м/с}^2$	$a_3, \text{ м/с}^2$	$a_n, \text{ м/с}^2$	$a_{\text{ср}}, \text{ м/с}^2$	$\varepsilon, \%$
1										
2										
3										



Почему увеличивается ускорение при увеличении наклона желоба?

§ 13. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ

Наблюдая за тем, как камень и птичье перо, брошенные на землю с одинаковой высоты, падают на землю не одновременно, древнегреческий философ Аристотель сделал вывод, что под действием силы притяжения Земли тяжелые предметы падают на землю раньше, чем легкие. Это ошибочное мнение считалось правильным на протяжении более чем двух тысячелетий. Только после опытов, проведенных в конце XVI в. итальянским ученым Галилео Галилеем (1564–1642 гг.), была доказана ошибочность мнения Аристотеля. Бросая с пизанской башни стальной и каменный шары одновременно, он убедился, что они падают на землю одновременно (рис. 42). На основе этого Галилей выдвинул следующую гипотезу (предположение): при отсутствии сопротивления воздуха сброшенные вниз стальной шарик и птичье перо упадут на землю одновременно. Для проверки этой гипотезы стальной шарик и птичье перо были помещены в длинные стеклянные трубки. В трубке, где присутствовал воздух, стальной шарик упал вниз раньше птичьего пера (рис. 43, а). А в трубке, где был выкачан воздух, шарик и перо упали одновременно (рис. 43, б). Этот опыт подтвердил гипотезу Галилея.



Рис. 42. Пизанская башня

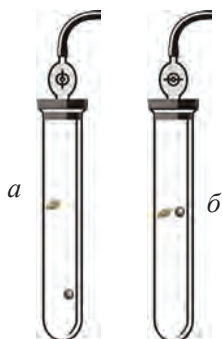


Рис. 43. Движение тел в вакууме



Падение тела в вакууме только под действием силы притяжения Земли называется свободным падением.

Свободное падение тела может служить примером прямолинейного равнопеременного движения. Шарик, брошенный с определенной высоты, движется равноускоренно, и его скорость возрастает каждую секунду на $9,81 \text{ м/с}^2$ (рис. 44).



Ускорение свободно падающего тела – величина постоянная. Эта величина называется ускорением свободного падения и обозначается буквой g .

При этом : $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Точные расчеты показывают, что на различных географических широтах поверхности Земли значения ускорения свободного падения различны. Например, если на полюсах ускорение равняется $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, то на экваторе $g = 9,78 \text{ м/с}^2$. Объясняется это, в основном, тем, что Земля не имеет форму абсолютно круглого шара. Ускорение свободного падения приближенно можно считать равным $9,8 \text{ м/с}^2$, а в некоторых случаях даже 10 м/с^2 .

Ускорение свободного падения – векторная величина, всегда направленная вниз.

Все формулы, относящиеся к прямолинейному равнопеременному движению, можно применять для свободного падения. Необходимо только заменить ускорение a на g и путь s на высоту h . Таким образом можно получить следующие формулы для свободного падения.

1. Скорость свободно падающего тела в момент времени t :

$$v = v_0 + gt; \quad (1) \quad \text{при } v_0 = 0 \quad v = gt. \quad (2)$$

2. Средняя скорость свободно падающего тела:

$$v_{\text{cp}} = v_0 + \frac{gt}{2}; \quad (3) \quad \text{при } v_0 = 0 \quad v_{\text{cp}} = \frac{gt}{2}. \quad (4)$$

3. Высота, с которой падает свободное тело:

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}; \quad (5) \quad \text{при } v_0 = 0 \quad h = \frac{gt^2}{2}. \quad (6)$$

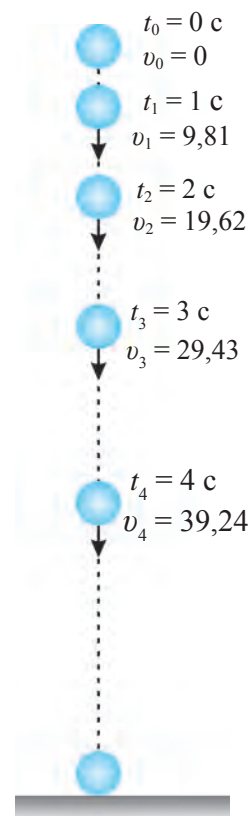


Рис. 44. Движение свободно падающего тела

Образец решения задачи

Тело, сброшенное с высоты, упало на землю через 5 с. С какой высоты сброшено тело? Какова его скорость падения? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:
 $t = 5 \text{ с}; v_0 = 0;$

$g = 10 \text{ м/с}^2.$

Найти:
 $h = ? v = ?$

Формула:

$$h = \frac{gt^2}{2};$$

$$v = gt.$$

Решение:

$$h = \frac{10 \cdot 5^2}{2} \text{ м} = 125 \text{ м};$$

$$v = (10 \cdot 5) \text{ м/с} = 50 \text{ м/с}.$$

Ответ: $h = 125 \text{ м}; v = 50 \text{ м/с}.$



Опорные понятия: свободное падение, ускорение свободного падения.



1. Два одинаковых камня один за другим сбросили с одинаковой высоты. Изменится ли расстояние между ними во время падения?
2. Тело, сброшенное с некоторой высоты без начальной скорости, упало на землю за 5 с. С какой высоты сброшено тело?



1. Тело сброшено с некоторой высоты. Какой будет скорость свободно падающего тела через 6 с? Какое расстояние пройдет тело за это время? Здесь и далее принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. Тело, сброшенное вниз с некоторой высоты, совершает свободное падение. Через какое время его скорость достигнет 40 м/с? Какое расстояние оно пройдет за это время?
3. Тело сброшено с некоторой высоты со скоростью 15 м/с вертикально вниз. Какой скорости оно достигнет через 3 с? Какое расстояние оно пройдет за это время?

§ 14. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ

Любое тело, брошенное вверх, достигнув некой высоты, падает обратно на землю. Проанализируем это движение. Нас интересует, с каким ускорением движется тело. Тело, брошенное вертикально вверх, совершает равнозамедленное движение. При этом за ускорение свободного падения принимается не g , а $-g$. Тогда, используя формулу $v = v_0 + gt$, можно найти скорость подброшенного вверх тела в произвольный момент времени t :

$$v = v_0 - gt. \tag{1}$$

А из формулы (5), приведенной в предыдущем параграфе, можно определить высоту подъема этого тела в произвольный момент времени t :

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

Опыт показывает, что тело, брошенное вертикально вверх, поднимается вверх и падает на землю за одно и то же время. Допустим, например, что тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с (рис. 45).

Принимая $g = 10$ м/с², выполняем следующие вычисления. Когда тело достигает максимальной высоты, его скорость равна $v = 0$. В таком случае из формулы (1) можно найти время, за которое оно поднялось на максимальную высоту:

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{20}{10} \text{ с} = 2 \text{ с}.$$

Принимая в формуле (2) $v_0 = 20$ м/с, вычисляем, на какую высоту от точки, из которой оно было подброшено, поднялось тело:

$$h = (20 \cdot 2 - \frac{10 \cdot 2^2}{2}) \text{ м} = 20 \text{ м}.$$

Достигнув максимальной точки, в которой его начальная скорость $v_0 = 0$, тело начнет падать в ускорением g . Вычисляем, какое расстояние проходит падающее вниз тело за 2 с:

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{10 \cdot 2^2}{2} \text{ м} = 20 \text{ м}.$$

Следовательно, тело возвращается в точку, из которой оно было подброшено, через 2 с.

Теперь вычислим, какой скорости достигнет тело при падении вниз через 2 с.

$$v = gt = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2 \text{ с} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Тело было подброшено вверх именно с такой скоростью.

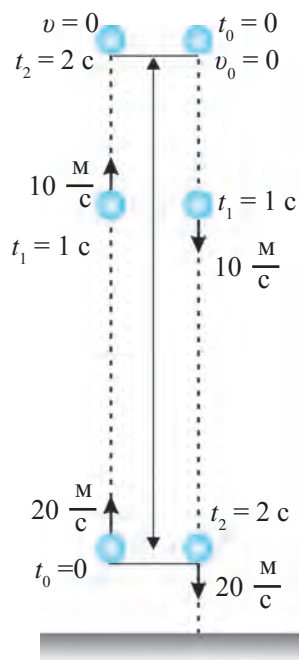


Рис. 45. Движение тела, брошенного вертикально вверх



Тело, брошенное вертикально вверх, поднимается вверх и падает на землю за одно и то же время. Тело падает на землю с той же скоростью, с которой оно было брошено вертикально вверх.

Если в формуле (2) принять ускорение, равным нулю, то эта формула преобразуется в формулу равномерного движения. Для рассмотрения движения тела, подброшенного вертикально вверх, и решения задач достаточно лишь знания значения начальной скорости.

Образец решения задачи

Чему равна скорость тела, подброшенного вертикально вверх со скоростью 40 м/с, через 3 с? На какую высоту оно при этом поднимется? Принять g , равным 10 м/с².

Дано:
 $v_0 = 40$ м/с;
 $t = 3$ с;
 $g = 10$ м/с².

Найти:
 $v = ?$ $h = ?$

Формула:
 $v = v_0 - gt$;

$$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

Решение:

$$v = (40 - 10 \cdot 3) \text{ м/с} = 10 \text{ м/с};$$

$$h = (40 \cdot 3 - \frac{10 \cdot 3^2}{2}) \text{ м} = 75 \text{ м}.$$

Ответ: $v = 10$ м/с; $h = 75$ м.



1. Какой будет скорость яблока, подброшенного вертикально вверх со скоростью 3 м/с, в момент, когда вы его поймаете?
2. Тело подброшено вертикально вверх со скоростью 40 м/с. Через какое время его скорость уменьшится в два раза?



1. Тело подброшено вертикально вверх со скоростью 25 м/с. Какой будет скорость тела через 2 с? На какую высоту поднимется тело за это время? Здесь и далее принять $g = 10$ м/с².
2. Тело подброшено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. На какую высоту поднимется тело и через какое время оно упадет в точку подбрасывания?
3. Тело подброшено вертикально вверх со скоростью 40 м/с. Какой будет скорость тела через 5 с? На какую высоту оно поднимется за это время?
4. Какой будет скорость (м/с) тела, свободно падающего с начальной скоростью 20 м/с, через 4 с после начала движения?
5. Тело, подброшенное вертикально вверх, через 6 с упало на землю. Какой была начальная скорость тела? На какую высоту оно поднялось?

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ II

1. Велосипедист, двигаясь равномерно, за 10 мин проехал 3 км. Определите скорость велосипедиста в м/с и км/ч.
2. Какой путь пройдет автомобиль, едущий со скоростью 80 км/ч за 45 мин?
3. За сколько минут ученик, идущий со скоростью 2,5 км/ч, доберется до школы, если расстояние от его дома до школы равно 500 м?
4. Скорость мотоцикла 72 км/ч, а скорость встречного ветра – 5 м/с. Какова скорость встречного ветра относительно скорости мотоцикла? А скорость попутного ветра?
5. Два поезда движутся навстречу друг к другу со скоростью 90 км/ч и 72 км/ч. Пассажир второго поезда определил, что первый поезд проехал мимо него в течение 6 с. Пассажир первого поезда заметил, что второй поезд проехал мимо него в течение 8 с. Найдите длину каждого поезда.
6. Скорость лодки относительно воды в три раза больше скорости течения реки. Во сколько раз больше времени потребуется лодке, чтобы проплыть расстояние между двумя пунктами против течения?
7. Автомобиль проехал в первые 10 с 150 м, в следующие 20 с – 500 м и в последние 5 с – 50 м. Определите среднюю скорость автомобиля для каждого отрезка пути и всего пути в км/ч.
8. Поезд за 10 с после начала движения развил скорость 36 км/ч. За какое время при таком равноускоренном движении средняя скорость поезда составит 72 км/ч?
9. Шарик, скатывающийся из состояния покоя по наклонному желобу, в первую секунду прошел 8 см. Какой путь пройдет шарик за 3с?
10. Из графика скорости при $v_0 = 0$, показанного на рис. 34, вычислите путь, пройденный телом за $t = 5$ с.
11. Из графика скорости при $v_0 > 0$, приведенного на рис. 35, вычислите путь, пройденный телом за $t = 9$ с.

12. Какой путь пройдет автомобиль за 4 с, если он начал движение из состояния покоя с ускорением 5 м/с^2 ? Какую скорость он разовьет за это время?

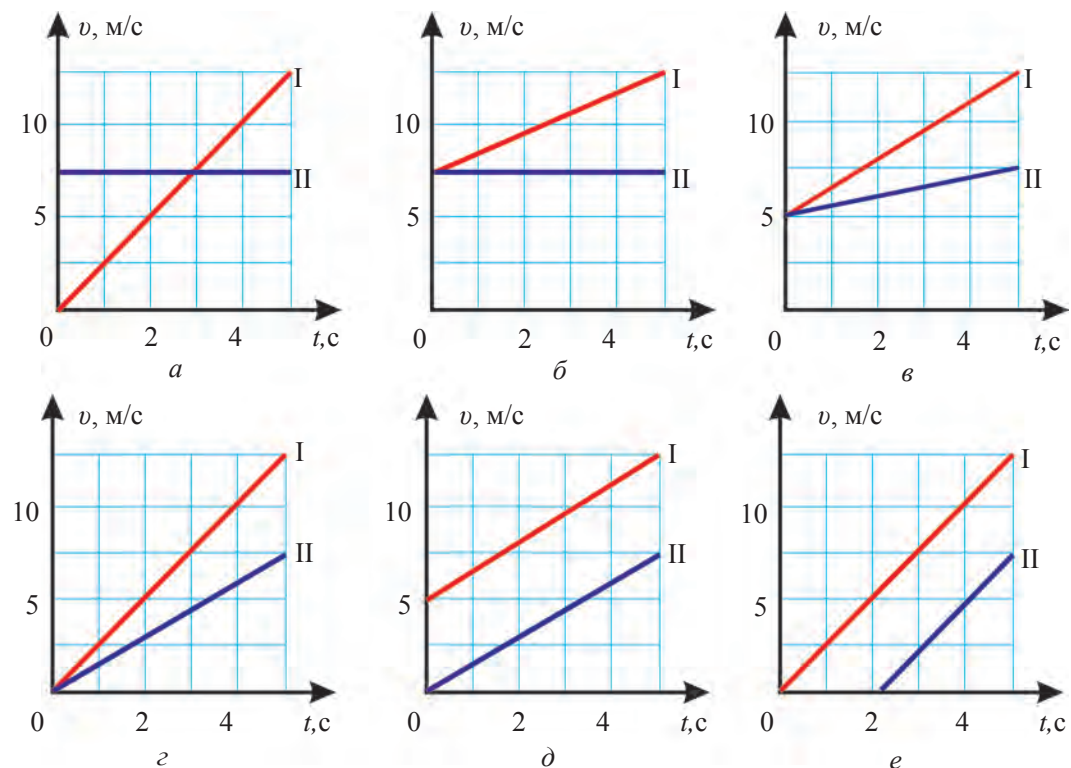
13. Тело, сброшенное с некоторой высоты, свободно падает. За какое время оно достигнет скорости 80 м/с ? Здесь и далее принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

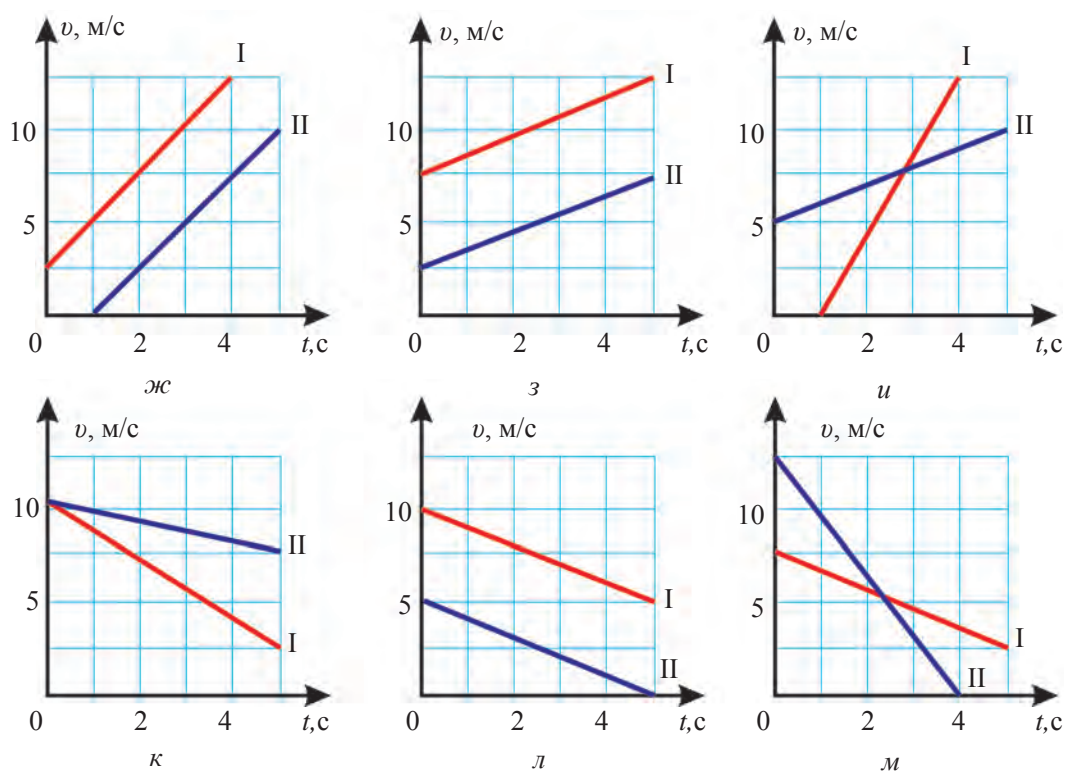
14. Тело сброшено с некоторой высоты вертикально вниз со скоростью 5 м/с . Какой скорости достигнет тело через 5 с?

15. Груз, сброшенный с вертолета, находящегося в воздухе в состоянии покоя, упал на землю за 12 с. С какой высоты сброшен груз и какова его скорость? Сопротивление воздуха не учитывать.

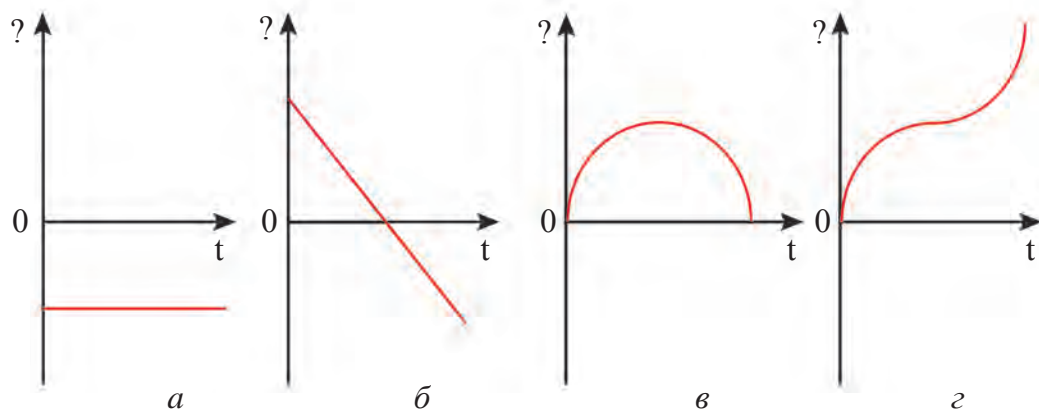
16. Автомобиль проехал расстояние 30 км со скоростью 15 м/с , а 40 км за 1 час. С какой средней скоростью двигался автомобиль на протяжении всего пути?

17. Проанализируйте графики, приведенные на рисунке, и сравните между собой два вида движения. Какие данные о движении вы можете определить на основе сравнения (вид движения, начальная скорость, ускорение, время движения)?





18. Тело, брошенное вертикально вверх, поднялось вверх и упало вниз. Графики зависимости соответствующих этому движению величин (перемещения, пути, скорости и ускорения) от времени, приведены ниже. Проанализируйте эти графики и определите, какой зависимости соответствует каждый из них.





Глава III ВРАЩАТЕЛЬНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

В предыдущей главе вы изучили движения, траектории которых были прямолинейными. Любое движение тела, траектория которого не является прямолинейной, называется криволинейным. Самое простое криволинейное движение – вращательное движение.

Усвоение понятий о вращательном движении позволит анализировать вращение как мельчайших частиц – электронов, так и планет по своим орбитам, изучать вращающиеся детали многих приборов, используемых в повседневной жизни. В настоящей главе вы ознакомитесь с вращательным равномерным движением.

§ 15. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА

Понятие о вращательном равномерном движении

Движение часовой стрелки, равномерное движение колеса велосипеда или автомобиля, лопастей вентилятора можно назвать вращательным равномерным движением. Под словом «равномерный» мы должны понимать не равномерность по направлению, а одинаковую в течение времени скорость.



Если материальная точка, двигаясь по окружности, проходит за произвольно равные промежутки времени равные дуги, то такое движение называется *вращательным равномерным движением*.

Говоря о движении материальной точки по окружности, имеют в виду вращательное движение некоторой точки тела. Например, кончик часовой стрелки, точку велосипедного или автомобильного колеса, находящуюся на определенном расстоянии от оси, можно рассматривать как материальные точки. При этом вращение колеса рассматривается не по отношению к земле, а по отношению к велосипеду или корпусу автомобиля.

Линейная и угловая скорости

При вращательном равномерном движении точки, расположенные на различных расстояниях от оси вращения тела, проходят в течение некоторого промежутка времени Δt дуги различной длины $\Delta \tilde{s}$. Из рис. 46 можно видеть, что за промежуток времени Δt точка A проходит дугу $\Delta \tilde{s}$, точка A_1 – дугу $\Delta \tilde{s}_1$, точка A_2 – дугу $\Delta \tilde{s}_2$. Так как длина этих дуг различна, то различной будет и линейная скорость указанных точек:

$$v = \frac{\Delta \tilde{s}}{\Delta t} \quad (1)$$

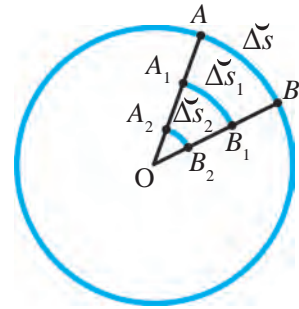


Рис. 46. Путь, пройденный различными точками



Величина, измеряемая длиной дуги, пройденной материальной точкой, совершающей вращательное движение, за единицу времени, называется линейной скоростью.

Пусть тело равномерно движется по окружности радиуса R (рис. 47). Если оно за некоторое время Δt переместится из точки A в точку B , то радиус окружности, проведенный в точку A , повернется на некоторый угол $\Delta \varphi$. Этот угол называется **углом поворота**. Независимо от расстояния вращающейся точки от оси вращения угол поворота остается неизменным. Угол поворота измеряется в радианах (рад) или в градусах ($^\circ$).

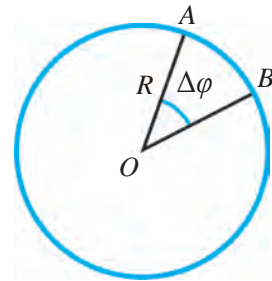


Рис. 47. Образование угла поворота



Угол, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу, равен одному радиану.

То есть при $\Delta \tilde{s} = R \Delta \varphi = 1$ рад (рис. 48). Один радиан составляет приблизительно 57° (градусов), т.е. $1 \text{ рад} \approx 57^\circ$. Если радиус R на рис. 48 повернуть на 2 рад, то $\Delta \varphi \approx 114^\circ$, на 3 рад – $\Delta \varphi = 172^\circ$. При поворачивании радиуса R на половину окружности, т.е. на 180° , $\Delta \varphi = 3,14 \text{ рад} = \pi$. При одном полном обороте тела по окружности оно проходит расстояние, равное длине окружности $s = 2\pi R$.

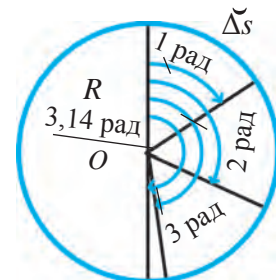


Рис. 48. Радианная мера угла

Радианная мера угла поворота равна:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\tilde{s}}{R}. \quad (2)$$

При вращательном движении наряду с линейной скоростью используют угловую скорость ω . При этом:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (3)$$



Отношение угла поворота радиуса при вращательном движении ко времени поворота называется *угловой скоростью*.

Угловая скорость – векторная величина, за ее единицу принят **рад/с**. Во всех точках вращающегося тела величина угловой скорости ω всегда постоянна.

Образец решения задачи

Для подъема воды из Анхора установлен чигирь. На расстоянии 1,5 м от его оси вращения по окружности закреплены ведра. Найдите угол поворота ведер, их линейную и угловую скорости, если чигирь совершает полный оборот вокруг своей оси за 24 с?

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$R = 1,5 \text{ м};$ $\Delta t = 24 \text{ с}.$	$\Delta\varphi = 2\pi;$ из $\Delta\varphi = \frac{\Delta\tilde{s}}{R}$ следует $\Delta\tilde{s} = \Delta\varphi R;$ $v = \frac{\Delta\tilde{s}}{\Delta t}; \quad \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$	$\Delta\varphi = 2 \cdot 3,14 \text{ рад} = 6,28 \text{ рад};$ $\Delta s = 6,28 \cdot 1,5 \text{ м} = 9,42 \text{ м};$ $v = \frac{9,42 \text{ м}}{24 \text{ с}} \approx 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}};$ $\omega = \frac{6,28 \text{ рад}}{24 \text{ с}} \approx 0,26 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$
<i>Найти:</i> $\Delta\varphi = ? \quad v = ?$ $\omega = ?$		

Ответ: $\Delta\varphi = 6,28 \text{ рад}; v \approx 0,4 \text{ м/с}; \omega \approx 0,26 \text{ рад/с}.$



Опорные понятия: вращательное равномерное движение, линейная скорость, угол поворота, радиан, градус, угловая скорость.



1. Точка окружности радиусом 10 см, двигаясь равномерно, прошла половину окружности за 10 с. Найдите ее линейную скорость.

2. Можно ли назвать движение колеса велосипеда или автомобиля вращательным по отношению земле? Почему?



1. Колесо поворачивается на 1 рад за 0,1 с. Найдите линейную скорость точек, расположенных на расстоянии 5, 10 и 15 см от оси вращения. С какой угловой скоростью поворачивается колесо?
2. Точка велосипедного колеса, наиболее удаленная от оси вращения, за 0,02 с прошла дугу длиной 20 см. Найдите скорость велосипеда.
3. Кончик минутной стрелки часов, длина которой равна 30 мм, прошел за 10 мин дугу длиной 30 мм. Найдите линейную скорость, угол поворота и угловую скорость кончика минутной стрелки.
4. Найдите значения длины дуг, на которые опираются углы в 1, 2, 3 и 3,14 рад, если радиус окружности равен 1 м.
5. Кабины «чертова колеса» установлены на расстоянии 20 м от оси вращения. Кабина совершает один полный оборот вокруг оси вращения за 10 мин. Найдите линейную и угловую скорости кабины.

§ 16. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНАМИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИМИ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Соотношения между линейной и угловой скоростями

В образце решения задачи, приведенном в конце § 15, была выведена формула пути при вращательном равномерном движении тела:

$$\Delta \tilde{s} = \Delta \varphi R.$$

Подставляя эту формулу в формулу для линейной скорости, получаем выражение:

$$v = \frac{\Delta \tilde{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi R}{\Delta t} = \omega R.$$

Следовательно, при вращательном равномерном движении тела соотношение между линейной и угловой скоростями описывается в виде

$$v = \omega R. \quad (1)$$

Соотношения между периодом вращения, частотой, линейной и угловой скоростями

Вращательное равномерное движение можно более полно характеризовать еще двумя величинами – периодом и частотой вращения.



Промежуток времени, в течение которого тело совершает один оборот по окружности, называется *периодом вращения*.

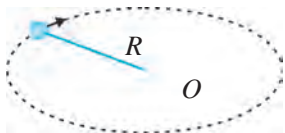


Рис. 49. Движение шарика, закрепленного на нити

Период вращения обозначается буквой T . За его единицу принята секунда (с).

Если тело за время Δt совершает n оборотов, то в этом случае его период вращения T определяется следующим образом:

$$T = \frac{\Delta t}{n}. \quad (2)$$

Если, например, шарик, закрепленный на нити, как показано на рис. 49, за 8 с совершает 20 оборотов, то период его вращения находится так:

$$T = \frac{8}{20} \text{ с} = 0,4 \text{ с}.$$



Число полных оборотов, которые тело совершает за единицу времени, называется *частотой вращения*.

Частота вращения обозначается буквой ν (ню, греч.). За единицу частоты принята $1/\text{с}$.

Если тело за время Δt совершает n оборотов, то частота ν его вращения определяется по формуле

$$\nu = \frac{n}{\Delta t}. \quad (3)$$

Если, например, шарик, закрепленный на нити, как показано на рис. 49, за 8 с совершает 20 оборотов, то частота его вращения находится так:

$$\nu = \frac{20}{8} \frac{1}{\text{с}} = 2,5 \frac{1}{\text{с}}.$$

Соотношение между периодом вращения T и частотой вращения ν :

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{1}{T}. \quad (4)$$

Соотношение между периодом вращения T и линейной скоростью v :

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad \text{или} \quad v = \frac{2\pi R}{T}. \quad (5)$$

Соотношение между периодом вращения T и угловой скоростью ω :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (6)$$

Соотношение между частотой вращения ν и линейной скоростью v :

$$v = \frac{v}{2\pi R} \quad \text{или} \quad v = 2\pi\nu R. \quad (7)$$

Соотношение между частотой вращения ν и угловой скоростью ω :

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{или} \quad \omega = 2\pi\nu. \quad (8)$$

Как видно из этих выражений, угловая скорость материальной точки обратно пропорциональна ее периоду вращения и прямо пропорциональна частоте вращения. Примеры вращательного равномерного движения очень часты: вращение лопастей двигателей, движение искусственных спутников Земли по орбите и т.д. Положение тел, вращающихся с одинаковой скоростью за равные промежутки времени, легко выразить математически.

Образец решения задачи

Автомобиль «Нексия» движется равномерно со скоростью 90 км/ч. Найдите период вращения, частоту вращения и угловую скорость колеса автомобиля, радиус которого равен 40 см.

<p><i>Дано:</i></p> <p>$v = 90 \text{ км/ч} = 25 \text{ м/с};$ $R = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}.$</p> <hr style="width: 100%;"/> <p><i>Найти:</i></p> <p>$T = ? \quad \nu = ? \quad \omega = ?$</p>	<p><i>Формула:</i></p> <p>$T = \frac{2\pi R}{v};$ $\nu = \frac{1}{T};$ $\omega = 2\pi\nu.$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4}{25} \text{ с} \approx 0,1 \text{ с};$ $\nu = \frac{1}{0,1} \frac{1}{\text{с}} = 10 \frac{1}{\text{с}};$ $\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 62,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$</p>
---	---	--

Ответ: $T \approx 0,1 \text{ с}; \nu = 10 \text{ 1/с}; \omega = 62,8 \text{ рад/с}.$



Опорные понятия: путь, пройденный телом, совершающим вращательное равномерное движение, период вращения, частота вращения.



1. Скорость автомобиля 20 м/с, диаметр колеса 64 см. Найдите угловую скорость колеса автомобиля.
2. Тело движется со скоростью 10 м/с по окружности с радиусом 2 м. Найдите частоту вращения тела.



1. Ведро чигиры совершает за 1 мин 2 оборота. Найдите линейную и угловую скорости вращения ведра, закрепленного на расстоянии 1 м от оси вращения чигиры.

2. Велосипедист движется равномерно со скоростью 10 м/с. Найдите период вращения, частоту вращения и угловую скорость колеса велосипеда, если его радиус равен 30 см.
3. Определите линейную и угловую скорости тела, находящегося на земном экваторе. Радиус Земли приблизительно равен 6400 км.

§ 17. ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

Направление скорости при вращательном равномерном движении

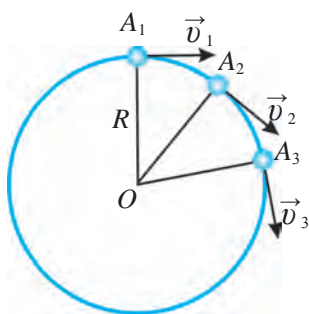


Рис. 50. Направления скоростей при вращательном равномерном движении

Пусть шарик совершает равномерное движение по окружности радиуса R . Пусть во время движения он за промежуток времени Δt перемещается из точки A_1 , в точку A_2 , еще за такой же промежуток времени – из точки A_2 в точку A_3 (рис. 50).

Двигаясь равномерно, шарик за время Δt проходит дугу Δs . Принимая время Δt очень малым, мы можем найти мгновенную скорость в данный момент времени. Так как шарик движется равномерно, его скорости в точках A_1 , A_2 , A_3 одинаковы, но имеют различные направления. Поскольку при вращательном движении направление движения постоянно изменяется, направление скорости в каждый момент времени также изменяется. В этом можно убедиться, наблюдая за направлением искр при работе точильного колеса (рис. 51). Искры перпендикулярны радиусу, проведенному к точке касания ножа к диску, т.е. направлены по касательным к дуге окружности. Значит, скорость в каждой точке окружности (см. рис. 50) направлена перпендикулярно к радиусу окружности. Брызги, отлетающие от колес автомобиля, едущего по мокрой дороге, также направлены по касательной к окружности. Так как при вращательном равномерном движении направление скорости постоянно изменяется, при расчетах ее необходимо рассматривать как векторную величину.

Ускорение при вращательном движении

При ускорении тела, совершающего прямолинейное равнопеременное движение, направление движения со временем не изменяется. Мы рас-

смагивали только количественное изменение ускорения и его векторный вид:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} \quad (1)$$

При вращательном равномерном движении скорость количественно не изменяется, а изменяется только ее направление. Так как скорость – векторная величина, то если модули двух векторов равны, а их направления различны, то разность таких векторов отлична от нуля (рис. 52).

При равномерном движении шарика по окружности, изображенном на рис. 50, разность векторов скоростей $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ или $\vec{v}_3 - \vec{v}_2$ за промежутки времени Δt отлична от нуля.

Следовательно, вектор скорости изменяется. Это указывает на то, что вращательному движению присуще ускорение. Из формулы (1) ускорение для шарика, движущегося за время Δt из точки A_1 в точку A_2 , можно выразить следующим образом:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Формула мгновенного ускорения для тела, равномерно движущегося со скоростью R по окружности с радиусом \vec{v} выражается в виде

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}}{R} \quad (3)$$

Как видно из формулы, чем меньше радиус окружности при вращательном движении, тем больше ускорение. С увеличением радиуса окружности и приближением к прямой линии, значение ускорения, уменьшаясь, приближается к нулю. А при прямолинейном равномерном движении векторы скоростей накладываются друг на друга, в результате значения скоростей и их направления выравниваются, и ускорение становится равным нулю.

Направление ускорения при вращательном движении

При перемещении шарика, совершающего вращательное равномерное движение, из точки A_1 в точку A_2 разность векторов скоростей равна



Рис. 51. Направление искр по касательной при работе точильного колеса

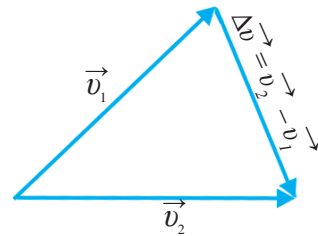


Рис. 52. Разность векторов, модули которых равны, а направления различны

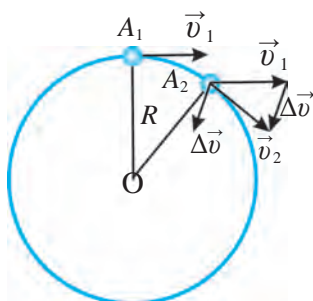


Рис. 53. Разность векторов при вращательном равномерном движении

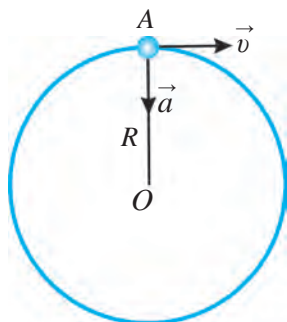


Рис. 54. Направление центростремительного ускорения

$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$. Вычитание вектора \vec{v}_1 из вектора \vec{v}_2 , а также направление разностного вектора показаны на рис. 53.

При вращательном движении направление ускорения \vec{a} и направление разностного вектора $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ одинаковы, в чем можно убедиться также из формулы (2). Приведем конец вектора $\Delta \vec{v}$ из рис. 53 к точке A_2 . Чем ближе точка A_2 к точке A_1 , тем ближе будет направление вектора $\Delta \vec{v}$ к центру окружности. При максимальном приближении точки A_2 к точке A_1 вектор $\Delta \vec{v}$, а следовательно, ускорение \vec{a} будут направлены к центру окружности O вдоль радиуса R (рис. 54). Поэтому ускорение тела, совершающего вращательное равномерное движение, называется **центростремительным ускорением**. Следовательно, тело будет совершать вращательное движение, если оно будет двигаться с центростремительным ускорением.

Образец решения задачи

Велосипедист равномерно движется по окружности с радиусом 25 м со скоростью 10 м/с. Найдите центростремительное ускорение велосипеда.

Дано:
 $R = 25 \text{ м};$
 $v = 10 \text{ м/с}.$

Формула:
 $a = \frac{v^2}{R}.$

Решение:
 $a = \frac{10^2}{25} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$

Найти:
 $a = ?$

Ответ: $a = 4 \text{ м/с}^2.$



Опорные понятия: ускорение при вращательном движении, центростремительное ускорение.



1. Водитель заменил на автомобиле колеса с радиусом 30 см на колеса с радиусом 32 см. С какой скоростью на самом деле движется автомобиль, если спидометр показывает скорость 60 км/ч?
2. Почему ускорение, возникающее при вращательном равномерном движении, называется центростремительным?



1. Шарик, закрепленный на нити длиной 25 см, вращается с линейной скоростью 5 м/с. Найдите центростремительное ускорение шарика.
2. Автомобиль движется со скоростью 90 км/ч. Найдите центростремительное ускорение точки колеса, наиболее удаленной от его центра. Радиус колеса равен 35 см.
3. Диск прядильного станка имеет диаметр 12 см и вращается со скоростью 1200 об/мин. Найдите центростремительное ускорение точки диска, наиболее удаленной от его центра.
4. Велосипедист движется со скоростью 12 м/с. Центростремительное ускорение точки колеса, наиболее удаленной от его оси, равно 250 м/с^2 . Найдите радиус колеса велосипеда.
5. Радиус лопасти вентилятора 15 см, частота вращения – 20 1/с. Найдите период вращения лопасти, ее линейную и угловую скорости и центростремительное ускорение точки на вершине лопасти.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III

- ◆ Тело, совершающее вращательное равномерное движение, проходит за произвольные равные промежутки времени равные дуги.
- ◆ Линейная скорость тела, совершающего вращательное равномерное движение: $v = \frac{\Delta \tilde{s}}{\Delta t}$.
- ◆ Угловая скорость тела, совершающего вращательное равномерное движение: $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$.
- ◆ Соотношение между линейной и угловой скоростями при вращательном равномерном движении: $v = \omega R$.
- ◆ Период вращения – это время, в течение которого тело совершает один полный оборот по окружности: $T = \frac{\Delta t}{n}$.
- ◆ Частота вращения – число оборотов тела за единицу времени: $\nu = \frac{n}{\Delta t}$.
- ◆ Формулы периода вращения: $T = \frac{1}{\nu}$, $T = \frac{2\pi R}{v}$, $T = \frac{2\pi}{\omega}$.
- ◆ Формулы частоты вращения: $\nu = \frac{1}{T}$, $\nu = \frac{v}{2\pi R}$, $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$.
- ◆ Телу, равномерно движущемуся по окружности с радиусом R с линейной скоростью v , присуще ускорение $a = \frac{v^2}{R}$. Так как ускорение

направлено к центру окружности, такое ускорение называется центростремительным.

◆ Угол одного полного оборота: $\varphi = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \text{ рад} = 360^\circ$.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ III

1. Шарик, закрепленный на нити длиной 50 см, совершает 36 оборотов в 1 мин. Найдите частоту и период вращения шарика, его линейную и угловую скорости.

2. Вершина лопасти вентилятора с радиусом, равным 20 см, вращается с линейной скоростью 25 м/с. Найдите период и частоту вращения, а также угловую скорость лопасти.

3. Определите линейную скорость и частоту вращения Луны вокруг Земли. Период вращения Луны вокруг Земли – 27 суток 7 ч 43 мин. Расстояние от центра Земли до Луны принять равным $3,9 \cdot 10^8$ м.

4. Определите линейную скорость и частоту вращения Земли вокруг Солнца. Период вращения Земли вокруг Солнца – 365 суток 5 ч 48 мин 46 с. Расстояние от Земли до Солнца $1,5 \cdot 10^{11}$ м.

5. Найдите частоту вращения тела, находящегося на экваторе, относительно центра Земли и его центростремительное ускорение. Радиус Земли принять равным 6400 км.

6. Чигирь, диаметр барабана которого равен 12 см, поднимает груз со скоростью 1 м/с. Найдите частоту вращения барабана чигиря.

7. Поезд преодолевает поворот с радиусом кривизны 1000 м со скоростью 54 км/ч. Найдите центростремительное ускорение поезда.

8. Каким будет центростремительное ускорение точек колеса автомобиля, касающихся земли, если частота вращения колес автомобиля, движущегося со скоростью 90 км/ч, равна 10 об/с?

9. Минутная стрелка часов в 3 раза длиннее секундной. Найдите соотношение между длиной стрелок и их линейной скоростью.

10. При вращении тела по окружности радиус его вращения увеличился в 2 раза, а скорость уменьшилась в 2 раза. Как изменится период вращения тела?

11. Вычислите отношение ускорения свободного падения на поверхности Земли к центростремительному ускорению Луны. Радиус орбиты Луны равен 60 радиусам Земли.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО КИНЕМАТИКЕ

1. По отношению к чему находится в состоянии покоя человек, сидящий в вагоне движущегося поезда?

- А) к вагону; С) к вагону и земле;
В) к земле; D) к рельсам.

2. Автомобиль «Нексия», совершающий равноускоренное движение, за 25 с увеличил скорость с 36 км/ч до 72 км/ч. Найдите ускорение автомобиля (м/с^2):

- А) 10; В) 0,4; С) 25; D) 36.

3. Скорость тела, равноускоренно движущегося с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$, в определенное время составила 9 м/с. Какова была скорость тела за 10 мин раньше (м/с)?

- А) 0,4; В) 5; С) 4; D) 10.

4. Является ли Земля материальной точкой при вращении вокруг Солнца?

- А) является;
В) не является;
С) может быть и не может быть;

D) Земля является материальной точкой, когда не вращается вокруг Солнца.

5. Велосипедист, двигаясь равномерно, за 20 мин проехал 6 км. Найдите скорость велосипедиста (м/с):

- А) 5; В) 20; С) 6; D) 30.

6. Велосипедист в течение 10 мин проехал 2700 м, затем, двигаясь по наклонной плоскости, за 1 мин проехал 900 м и еще за 4 мин 1200 м. Найдите среднюю скорость велосипедиста (м/мин):

- А) 1600; В) 320; С) 98; D) 490.

7. Автомобиль, двигаясь равноускоренно, поднимается на возвышение. Какова начальная скорость автомобиля (м/с), если его средняя скорость составила 36 км/ч, а конечная скорость – 2 м/с?

- А) 18; В) 20; С) 15; D) 10.

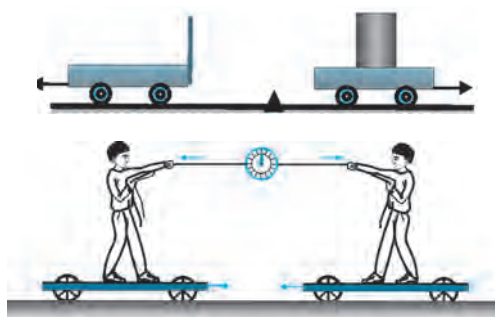
ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

Изучая в кинематике движение тел, мы не принимали во внимание силы, которые действуют на тело. Мы получили сведения о поступательном и вращательном движении, знаем, что такое равномерное и равнопеременное движение.

Теперь мы будем изучать причины, вызывающие переменное движение тел, факторы обуславливающие ускорение тел, изменения в движении тел в зависимости от их масс и действующих на них сил.

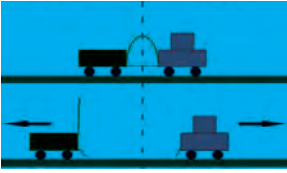
Изучением движения тел под действием силы занимается раздел механики, который называется динамикой. Слово «динамика» от греч. *dinamikos* означает *относящийся к силе, силовой*.

Глава IV ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ



Глава V ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ





Глава IV ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

На предыдущих уроках мы узнали, что любое движение относительно. При рассмотрении зависимости движения от причин, его обуславливающих, в различных системах отсчета полученные результаты резко отличаются друг от друга. А при рассмотрении этой же зависимости относительно некоторых других систем отсчета она имеет очень простой вид. Одна из таких систем, например, – Земля, поэтому при изучении динамики в качестве системы отсчета можно взять Землю.

Мы познакомимся с тремя основными законами динамики – законами движения. Законы движения открыл в 1687 г. великий английский ученый **Исаак Ньютон**, и в его честь эти законы названы законами Ньютона. Законы Ньютона явились результатом изучения и обобщения многовековой практической деятельности человечества. Приведение знаний, относящихся к динамике, в единую систему и выражение их в удобном для использования математическом виде послужило толчком для дальнейшего развития науки и техники и поднятия их на новый уровень.

§ 18. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. СИЛА

Взаимодействие тел

Тело, находящееся в состоянии покоя, начинает движение в результате взаимодействия с другими телами, а движущееся тело меняет свою скорость или направление движения.

Опыт. Поместите кусочек железа на пробку и положите на воду, налитую в плоский сосуд. Если вы приблизите к железу магнит, пробка вместе с ним придет в движение (рис. 55). Причина движения – взаимодействие железа с магнитом. Подкиньте мячик, он начнет двигаться с начальной скоростью v_0 . Вы сами привели мячик в движение. Скорость подброшенного вверх мяча

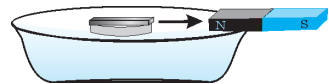


Рис. 55. Взаимодействие магнита и железа

станет уменьшаться под действием силы притяжения Земли, пока не обратится в нуль, и мячик начнет свободное падение.

Если вы подтолкнете шарик, неподвижно лежащий на столе, он придет в движение, но из-за трения поверхности стола и шарика это движение прекратится.

Сила



Рис. 56. Сгибание резинки под действием силы

Взаимодействие тел может быть различным по величине. Например, взрослый человек сможет толкнуть ядро гораздо дальше мальчика. Далеко не каждый выжмет штангу в 100 кг. Штангист сделает это спокойно.

Механическое воздействие происходит в результате непосредственного контакта тел или под действием поля. Например, сдвинуть лежащий на земле груз, толкнуть или поднять его, растянуть или сжать пружину, скрутить нить можно только при непосредственном контакте. На рис. 55 на железо действует магнитное поле. Притяжение тел к Земле – результат действия гравитационного поля.

В физике обычно не указывают тело, которое каким-либо образом воздействует на другое тело, а кратко говорят, что на тело действует сила. Для характеристики взаимодействия тел вводится понятие физической величины – **силы**. Следовательно, сила является фактором, обуславливающим изменение скорости тела. Под действием силы может изменяться скорость не всех, а только одной части тела. Например, при сжатии одного конца ученической резинки, его форма изменяется, т.е. деформируется (рис. 56). Во всех приведенных выше примерах тело под действием другого тела приходит в движение, останавливается или меняет свое направление, т.е. меняет свою скорость.



Физическая величина, характеризующая меру механического воздействия на тело других тел, называется силой.

Сила обозначается буквой F . В СИ за единицу силы принят **ньютон** (Н). На практике часто используют миллиньютон (мН) и килоньютон (кН). При этом

$$1\text{Н} = 1000\text{ мН}, 1\text{ кН} = 1000\text{ Н}.$$

Сила – векторная величина, кроме численного значения, она характеризуется еще направлением и точкой приложения.



Сила измеряется динамометром.

Динамометры бывают различными в зависимости от цели использования. Некоторые из них приведены на рис. 57.

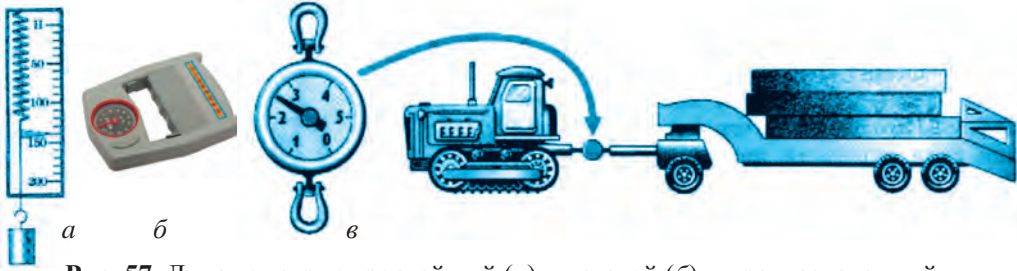


Рис. 57. Динамометры: простейший (а), кистевой (б) и предназначенный для измерения больших сил (в)

Сложение сил

Если на тело действуют несколько сил, то для упрощения задачи их общее действие можно выразить в виде одной силы. Для этого нужно найти векторную сумму всех сил. Пусть, например, на тележку действуют две противоположно направленные силы $\vec{F}_1 = 3 \text{ Н}$ и $\vec{F}_2 = 5 \text{ Н}$ (рис. 58, а). Сумма этих векторных сил $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ равна не 8Н, как можно было подумать, а 2Н. Под действием этой силы $|F| = 2 \text{ Н}$ тележка будет двигаться вправо (рис. 58, б). Пусть теперь силы, действующие на тележку, направлены в одну сторону (рис. 59, а). В этом случае значения обеих сил складываются непосредственно. Результирующая сила будет равна $|F| = 8 \text{ Н}$ и под действием этой силы тележка будет двигаться вправо (рис. 59, б).

Если вдоль прямой линии действуют не две, а большее число сил, то результирующая сила определяется путем сложения или вычитания их значений в зависимости от направления каждой силы.

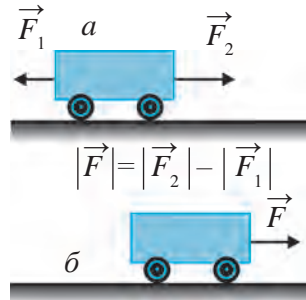


Рис. 58. Противоположно направленные силы (а) и их сумма (б)

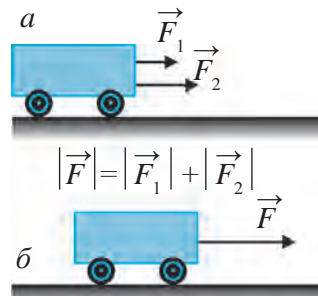


Рис. 59. Силы, направленные в одну сторону (а) и их сумма (б)

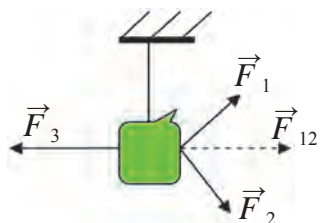


Рис. 60. Равновесие трех сил

Если силы, действующие на тело, не лежат на одной прямой линии, результирующая сила находится на основе правила сложения векторов. Например, пусть груз тянут три силы (рис. 60). Равнодействующая сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 равна $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_{1,2}$. Так как силы $\vec{F}_{1,2}$ и \vec{F}_3 равны друг другу и направлены противоположно, их равнодействующая будет $\vec{F}_{1,2} + \vec{F}_3 = \vec{F} = 0$. В результате груз будет подвешен в равновесном состоянии. Действующие на груз сила притяжения Земли и сила упругости также будут уравновешены.



Опорные понятия: взаимодействие тел, сила, единица силы – ньютон.



1. На столе лежит книга. Под действием каких сил она находится в состоянии покоя? Покажите на чертеже направления векторов силы.
2. Приведите примеры процессов, в которых в результате взаимодействия тел мяч приходит в движение или меняет направление движения.

§ 19. ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА – ЗАКОН ИНЕРЦИИ

Инерция тела

Как показывают наблюдения и опыты, скорость тела не изменяется самопроизвольно. Мяч, лежащий на площадке, будет оставаться неподвижным, пока кто-то не приведет его в движение. Если на камень, лежащий на дороге, не воздействует никакое тело, он так и будет лежать на дороге. В результате воздействия может измениться не только значение скорости тела, но и направление его движения. Например, теннисный мяч, ударившись о ракетку, меняет направление своего движения.



Изменение скорости тела (количества или направления) происходит в результате действия на него других тел.

Для того, чтобы тело получило ускорение, на него должно воздействовать одно тело или система тел. Если один шар ударится о второй, то шар, находившийся в покое, получит некое ускорение a_1 и начнет двигаться. Вместе с этим изменится скорость первого ударившегося шара, т.е. он получит ускорение a_2 . Надо помнить, что при изменении скорости, то есть

при ускорении может измениться не только ее значение, но и направление. Если шары изготовлены из одного и того же материала и имеют одинаковые размеры, то и ускорение, полученное ими, в численном отношении будет одинаковым. При различных размерах шаров большой шар получит малое ускорение, а маленький – большое. В этом случае можно говорить о большей инертности большого шара.

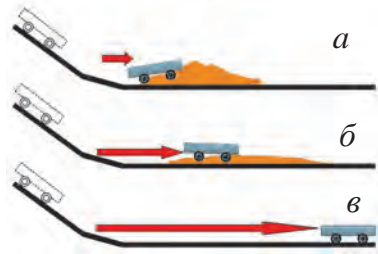


Рис. 61. Действие на тележку различных преград

Для того, чтобы привести в движение тело, находящееся в покое, как и для того, чтобы остановить движущееся тело, необходимо приложить силу. Инерция (от лат. неподвижность, бездействие) является одним из основных свойств тел, от которого зависит ускорение, получаемое телом под действием других тел. Проведем эксперимент. Насыплем песок перед тележкой, скатывающейся со склона. Ударившись о песочную преграду тележка остановится (рис. 61, а). Если насыпать поменьше песка, тележка остановится, проехав большее расстояние (рис. 61, б). Если не насыпать песок вообще, в результате малого сопротивления она остановится, проехав еще большее расстояние (рис. 61, в). При уменьшении сопротивления тележка движется со скоростью, близкой к скорости прямолинейного равномерного движения.



Чем меньше действие на тело других тел, тем меньше изменяется значение его скорости и тем ближе траектория его движения к прямой линии.

Как двигается тело, если на него не действуют другие силы? Можно ли это выяснить на опыте? На эти вопросы в начале XVII в. попытался ответить итальянский ученый Галилео Галилей. В результате проведенных опытов он установил, что если на тело не действуют другие тела, оно сохраняет состояние покоя или совершает по отношению к Земле прямолинейное равномерное движение. Мы очень часто сталкиваемся с проявлениями инерции. Например, если быстро движущийся велосипед натолкнется на преграду, велосипедист подастся вперед и упадет (рис. 62), потому что он не сможет сразу сохранить состояние движения. Если автобус внезапно тронется с места, все люди, находящиеся в нем, отклонятся назад, потому что они стремятся сохранить состояние покоя.



Рис. 62. Велосипед, натолкнувшийся на преграду



Стремление тела, при отсутствии действия других тел, сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения называется *инерцией*.

Благодаря инерции нельзя мгновенно увеличить или уменьшить скорость тела. Для изменения состояния тела нужно некоторое время. Автомобиль, едущий с определенной скоростью, не сможет мгновенно остановиться. Для остановки поезда, идущего с такой же скоростью, необходимо еще большее время и расстояние. Поэтому очень опасно переходить дорогу перед движущимся транспортным средством.

Путь, пройденный транспортным средством во время остановки, называется тормозным путем.

Первый закон Ньютона



Исаак Ньютон

Ньютон, основываясь на выводах исследований своих предшественников, а также собственных наблюдений и экспериментов, следующим образом сформулировал закон инерции:



Каждое тело, на которое не действуют другие тела, сохраняет свое состояние покоя или прямолинейного равномерного движения.

Этот закон называется *первым законом Ньютона*. Его можно сформулировать также по-другому:



Если на тело не действуют другие тела, оно движется с постоянной одинаковой скоростью или сохраняет свое состояние покоя.

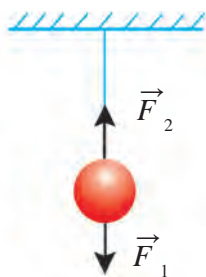


Рис. 63. Равновесие сил

Шарик, подвешенный на нити, под действием силы притяжения Земли \vec{F}_1 стремится упасть вниз, а нить под действием силы \vec{F}_2 , тянущей шарик вверх, не дает ему упасть (рис. 63). В результате шарик находится в подвешенном состоянии. При обрыве нити он упадет вниз. В связи с этим уместно вспомнить пример Ибн Сины о падении виноградной опоры (см. стр. 6), которая держалась вследствие равновесия двух действующих на нее сил. Когда убрали удерживающий ее столб, опора

рухнула под действием собственной тяжести. Следовательно, при равновесии действующих сил, т.е. при равенстве нулю их векторной суммы тело сохраняет свое состояние покоя или прямолинейное равномерное движение.

Содержание первого закона Ньютона можно объяснить следующим образом.

1. Тело, находящееся в состоянии покоя, сохраняет это состояние до тех пор, пока на него не действуют другие тела. Тело может сдвинуться с места только при действии на него других тел. Например, мяч, спокойно лежащий на поле, будет оставаться неподвижным до тех пор, пока нога игрока не приведет его в движение (рис. 64). Если ударить по мячу, его состояние покоя сменится движением. Точно так же вагон не тронется с места, пока на него не окажет воздействие другое тело – тепловоз.

2. Если на тело, равномерно движущееся по прямой, не окажут воздействие другие тела, оно будет сохранять свое движение. Например, мяч, летящий после удара, имеет некоторую начальную скорость v_0 . Мяч должен был сохранять по отношению к земле прямолинейное движение с постоянной скоростью v_0 . Однако под действием силы притяжения Земли и сопротивления воздуха он будет двигаться по криволинейной траектории (рис. 65).



Рис. 64. Если не ударить по мячу, он останется неподвижным.



Рис. 65. Движение мяча после удара



Опорные понятия: инерция тела, первый закон Ньютона.



1. Как поведут себя люди, сидящие в автобусе, если он внезапно затормозит? От каких величин зависит скорость движения людей в данном случае?
2. Изобразите на чертеже сумму векторов трех сил, действующих на тело под углом друг к другу.

§ 20. МАССА ТЕЛА

Инертность тел

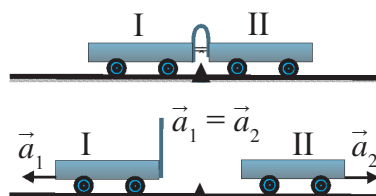


Рис. 66. Движение тележек с одинаковой инертностью

Опыт. Две одинаковые тележки, прикрепленные к упругой пластине, поместим на стол так, как показано на рис. 66. Если освободить нить, стягивающую пластинку, она распрямится и толкнет обе тележки в разные стороны. При этом ускорения обеих тележек будут численно равны, т.е:

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2.$$

Положим теперь на одну из тележек груз и повторим тот же опыт (рис. 67). В этом случае ускорение тележки без груза будет больше, т.е:

$$\vec{a}_1 > \vec{a}_2.$$

Чем большим будет груз, тем меньшим будет ускорение тележки. Иными словами, чем больше груз, тем труднее будет вывести тележку из состояния покоя. С увеличением груза способность тележки сохранять состояние покоя или движения будет усиливаться.



Свойство тела сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения в отсутствие внешних сил называется его инертностью.

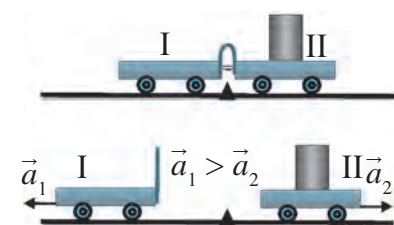


Рис. 67. Движение тележек с различной инертностью

При воздействии на тело силой оно проявляет большую или меньшую инертность. Действительно, поднимать гантель легче, чем штангу, так как инертность гантели меньше инертности штанги. Если толкнуть игрушечный автомобиль, он покатится. Но настоящую машину сдвинуть с места трудно, потому что она обладает большой инертностью.

Инертность поезда больше инертности любой автомашины. Поэтому резко увеличить скорость поезда, выведя его из состояния покоя, или изменить его скорость, если он движется, очень трудно. Чтобы

остановить поезд, набравший большую скорость, потребуются большие сила и время.



Чем больше инертность тела, тем труднее вывести его из состояния покоя или изменить характер его движения.

Масса

Все тела обладают инертностью. Опыты показывают, что если вместо одного тела взять два тела такой же величины и приклеить их друг к другу, то под действием силы такой же величины ускорение, полученное ими, уменьшится в два раза. Тела, изготовленные из различных материалов одинакового объема, под действием одинаковой силы получают различное ускорение, т.е. их инертность будет различной. Следовательно, инертность любого тела можно найти путем механического измерения его ускорения, получаемого под действием определенной силы.

Из приведенных выше примеров видно, что инертность может быть различной. Инертность каждого тела – величина, характерная только для этого тела. Для сравнения инертности тел введена специальная физическая величина – масса.



Физическая величина, характеризующая инертность тела, называется *массой* и обозначается буквой *m*.

Слово «масса» в переводе с латинского означает *кусок, обломок*. Масса любого тела, независимо от его местонахождения, будь то морское дно, другая планета или космос, имеет одно и то же значение.

В СИ за единицу массы принят один **килограмм** (кг). Вначале в качестве эталона килограмма была взята масса 1 литра (объемом 1 дм³) чистой дистиллированной воды при 4°C. Однако этот эталон не обеспечивал достаточной точности измерения.



В качестве эталона массы принят цилиндр, изготовленный из не окисляющегося на воздухе платино-иридиевого сплава массой 1 кг.

Он хранится во французском городе Севр в Международном бюро мер и весов.

Масса тела измеряется также в граммах (г), центнерах (ц), тоннах (т). Масса тел измеряется с помощью рычажных и других видов весов.

Масса системы тел

Масса – скалярная величина. Чтобы определить общую массу нескольких тел, надо найти массу каждого тела и сложить их. Например, массы двух рассматриваемых тел равны m_1 и m_2 соответственно. Тогда система, образованная из этих двух тел, имеет массу $m = m_1 + m_2$. Если система состоит из $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ тел с массами n соответственно, то масса системы равна сумме масс составляющих ее тел:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n .$$

Согласно этому свойству, масса служит мерой количества вещества.



Опорные понятия: инертность тел, масса, масса системы тел.



1. Какие единицы измерения, использованные в древности, вы знаете? Запишите их соотношения с единицами, принятыми в Международной системе измерения.
2. Почему в качестве измерения количества вещества используется масса?

§ 21. ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Зависимость между ускорением и силой

Вы уже знаете, что если на тело не действует сила или если векторная сумма действующих сил равна нулю, тело совершает движение с неизменной скоростью. Чтобы скорость тела изменилась, т.е. чтобы оно получило ускорение, на него нужно воздействовать определенной силой. Как эта сила действует на тело, чтобы оно приобрело ускорение? Путь, пройденный телом, совершающим прямолинейное равнопеременное движение без начальной скорости и с ускорением a за время t , имеет вид $s = at^2/2$. Из этой формулы можно найти ускорение тела:

$$a = \frac{2s}{t^2} . \quad (1)$$

Проведем следующие опыты.



Рис. 68. Опытная установка

Опыт 1. Пусть по горизонтальному столу движется тележка массой m . К тележке прикреплен динамометр D , второй конец которого прикреплен к нити, перекинутой через катушку K . К концу нити, свисающему с катушки, прикреплена чаша. Величину силы F , действующей на тележку, можно измерить динамометром (рис. 68).

1. Положим на чашу такой груз, чтобы динамометр, прикрепленный к тележке, показал действующую на нее силу, например $F_1 = 0,1$ Н. Предположим, что если отпустить тележку, находящуюся на расстоянии $s = 1$ м, она пройдет этот путь за время $t_1 = 4,5$ с. В таком случае, по формуле (1), тележка приобретет ускорение $a_1 \approx 0,1$ м/с² (\approx – знак приближительности).

2. Увеличив массу груза, увеличим силу $F_2 = 0,2$ Н. Можно убедиться в том, что в этом случае путь $s = 1$ м тележка пройдет за время $t_2 = 3$ с. Тогда ускорение тележки будет равно $a_2 \approx 0,2$ м/с².

3. При $F_3 = 0,3$ Н тележка пройдет путь 1 м за время $t_3 = 2,5$ с, а ее ускорение будет равно $a_3 \approx 0,3$ м/с².

Как следует из результатов опыта, ускорение a тележки возрастет во столько раз, во сколько увеличится сила F , действующая на тележку (рис. 69), т.е.

$$a \sim F. \quad (2)$$

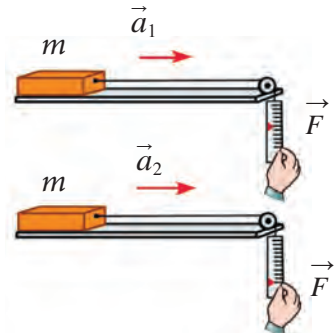


Рис. 69. Зависимость ускорения от силы



Ускорение тела неизменной массы прямо пропорционально действующей силе.

Опыт 2. В этот раз будем сохранять действующую на тележку силу неизменной ($F_1 = 0,1$ Н), но станем изменять массу тележки.

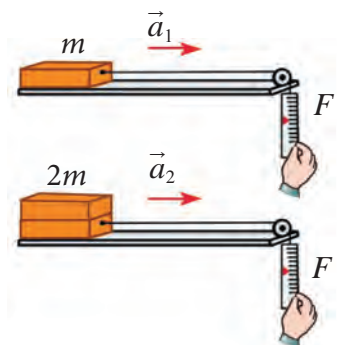


Рис. 70. Зависимость ускорения от массы

1. Пусть масса тележки будет $m_1 = 1$ кг. В этом случае тележка пройдет путь $s = 1$ м за время $t_1 = 4,5$ с. Как и в первом опыте, ускорение тележки будет равно $a_1 \approx 0,1$ м/с².

2. Теперь поставим на тележку еще одну такую же тележку. Общая масса станет равной $m_2 = 2$ кг. Тележка пройдет путь $s = 1$ м за время $t_2 = 6,5$ с. В этом случае ускорение будет $a_2 \approx 0,05$ м/с².

3. Если теперь на тележку из первого опыта поместить две такие же тележки, то масса системы будет $m_3 = 3$ кг. Тогда путь $s = 1$ м тележка пройдет за время $t_3 = 7,8$ с. Ускорение будет равно $a_3 \approx 0,033$ м/с². Как видно из результатов опыта, ускорение тележки уменьшится во столько раз, во сколько увеличится масса m тележки (рис. 70), т.е.

$$a \sim \frac{1}{m}. \quad (3)$$



Ускорение, приобретенное телом под действием постоянной по величине и направлению силы, обратно пропорционально массе тела.

Формула второго закона Ньютона и его формулировка

Результаты проведенных опытов позволяют определить соотношение между ускорением a , силой F и массой m :

$$a = \frac{F}{m}. \quad (4)$$

Это – формула второго закона Ньютона. Он формулируется так:



Ускорение, которое приобретает тело в результате взаимодействия с другими телами, прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе этого тела.

Второй закон Ньютона можно выразить в виде:

$$F = ma. \quad (5)$$

Вы знаете, что в системе СИ за единицу силы принят ньютон (Н). Из формулы (5) следует, что:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$



1 Н – это сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с².

В векторном виде второй закон Ньютона записывается так:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (6)$$

На самом деле, первый закон Ньютона является частным случаем второго закона при $F = 0$, так как при $F = 0 = ma$ $m \neq 0$, откуда следует, что $a = 0$. То есть, если на тело не действует сила, то оно не получает ускорение.

Образец решения задачи

Хоккейная шайба массой 50 г покоится на льду. Какое ускорение приобретет шайба, если хоккеист ударит по ней с силой 100 Н?

<i>Дано:</i>	<i>Формула</i>	<i>Решение:</i>
$m = 50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг};$	$a = \frac{F}{m}.$	$a = \frac{100 \text{ Н}}{0,05 \text{ кг}} = 2\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$
$F = 100 \text{ Н}.$		<i>Ответ:</i> $a = 2\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$
<i>Найти:</i>		
$a = ?$		



Опорные понятия: второй закон Ньютона.



1. Найдите ускорение тележки на основе опытов 1 и 2, заполните таблицу и сделайте выводы.

№	$F, \text{ Н}$	$m, \text{ кг}$	$a, \text{ м/с}^2$	№	$F, \text{ Н}$	$m, \text{ кг}$	$a, \text{ м/с}^2$
1	0,1	1		1	0,1	1	
2	0,2	1		2	0,1	2	
3	0,3	1		3	0,1	3	



1. Если на тело массой 2 кг в одно и то же время действует сила в 10 Н и 15 Н, какие ускорения получит тело?
2. Должна ли сила действовать постоянно на тело, движущееся со скоростью v , чтобы оно продолжало двигаться с такой же скоростью? Остановится ли тело при прекращении действия силы F ?

§ 22. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

В природе действие одного тела на другое никогда не бывает односторонним. Если одно тело действует на другое, то и второе тело оказывает действие на первое.

Проанализируем еще раз опыт, описанный в § 20. Массы тележек, изображенных на рис. 66, равны $m_1 = m_2$. Если оборвать нить, которая держит упругую пластину в согнутом состоянии, то обе тележки начнут двигаться в противоположные стороны с одним и тем же ускорением ($\vec{a}_1 = \vec{a}_2$). Это значит, что на обе тележки действуют силы F_1 и F_2 , равные по величине, но имеющие противоположные направления.

Даже если массы взаимодействующих тел будут различны, силы, с которыми действуют друг на друга два тела, будут равны по величине. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим опыт, показанный на рис. 67. После того, как на вторую тележку поместили груз, ее масса увеличилась: $m_2 > m_1$. После того, как оборвали нить, тележки стали двигаться в противоположных направлениях, при этом ускорение первой тележки стало больше ускорения второй, т.е. $a_1 > a_2$. Во сколько раз большей будет масса второй тележки, во столько же раз ее ускорение будет меньше ускорения первой тележки. Но для каждой тележки произведение массы на ускорение будет одним и тем же, т.е. $m_1 a_1 = m_2 a_2$. На основе второго закона Ньютона $m_1 \cdot a_1 = F_1$ и $m_2 \cdot a_2 = F_2$. А это значит, что независимо от различных масс силы взаимодействия будут равны по величине, т.е.:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (1)$$

Если мы соединим два динамометра друг с другом и будем тянуть их в противоположные стороны (рис. 71), то показания обоих динамометров будут одинаковыми. С какой силой вытягивается первый

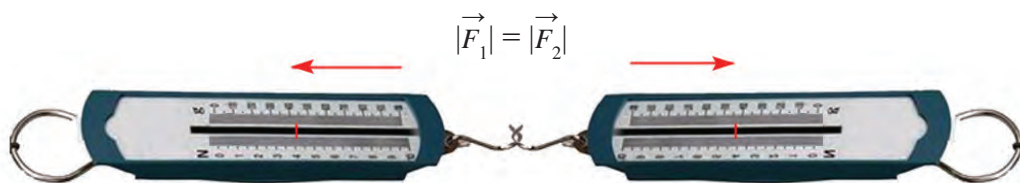


Рис. 71. Равенство показателей динамометров, растягиваемых в противоположные стороны

динамометр, с такой же силой будет вытягиваться и второй. Обе противоположно направленные силы независимо от их величины равны друг другу. В векторном виде эти противоположно направленные силы следует выражать в виде одной прямой линии.

При сжатии динамометров друг с другом, как и в случае их растягивания, динамометры будут действовать друг на друга с одинаковой силой. Это же можно наблюдать и на рис. 72. С какой силой один лодочник притягивает к себе другого, с такой же силой второй лодочник тянет к себе первого. В результате обе лодки начинают двигаться навстречу друг другу. Если же лодочник будет тянуть на себя дерево на берегу, то он и сам будет притягиваться к дереву с той же силой (рис. 73). Хотя силы, которые действовали на тележки, изображенные на рис. 66, 67, были численно равны, тележки под действием этих сил двигались в противоположных направлениях. Эта закономерность относится ко всем взаимодействующим телам. Поэтому в векторном виде связь между действующими на тележки силами будет иметь вид

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad (2)$$

Здесь знак «минус» означает, что силы \vec{F}_2 и \vec{F}_1 имеют взаимно противоположные направления (не нужно забывать, что эти силы направлены вдоль прямой линии). Формула (2) выражает третий закон Ньютона, который формулируется так:



Два взаимодействующих тела действуют друг на друга с равными по величине, но противоположно направленными силами.

Одна из взаимодействующих сил называется силой действия, а другая – силой противодействия, и третий закон Ньютона называется также законом противодействия.

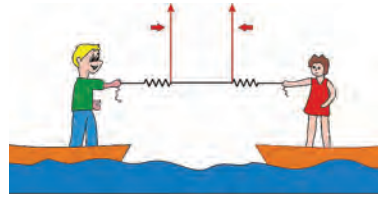


Рис. 72. Притяжение лодок друг к другу

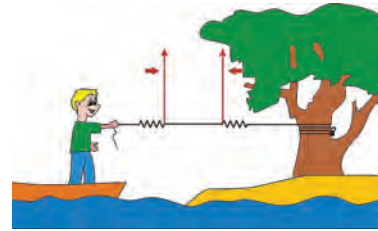


Рис. 73. Притягивание лодки к дереву

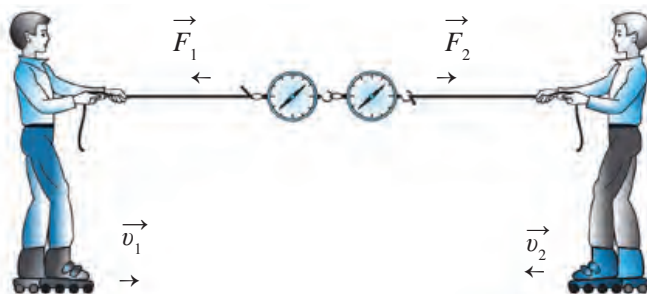


Рис. 74. Проявление силы противодействия

Можно привести много примеров проявления третьего закона Ньютона. Например, два мальчика стоят на роликах. С какой силой один из них действует на другого, с такой же силой противодействия он к нему и притягивается (рис. 74).

Пусть на гладкой доске установлены две тележки, к одной из которых прикреплен магнитный стержень, а к другой – кусок железа (рис. 75). Действующие на тележки силы измеряются прикрепленными к ним динамометрами. При приближении тележек друг к другу магнитный стержень притянет к себе кусок железа. После наступления равновесия между тележками показания динамометров окажутся одинаковыми. Изменяя расстояние между тележками, можно изменить величину действующих на них сил. Однако все равно обе тележки будут притягиваться друг к другу с одинаковой силой.

Ребенок, стоящий на доске, концы которой опираются на опоры, сгибает доску. В свою очередь доска действует на мальчика с равной по величине силой противодействия. Сила тяжести мальчика направлена вниз, тогда как сила противодействия направлена вверх. Если вы толкнете стену с силой 300 Н, вы почувствуете, что сила противодействия стены тоже 300 Н. Подставляя в формулу третьего закона Ньютона выражения для сил $F_1 = m_1 a_1$ и $F_2 = m_2 a_2$, можно получить следующую формулу:

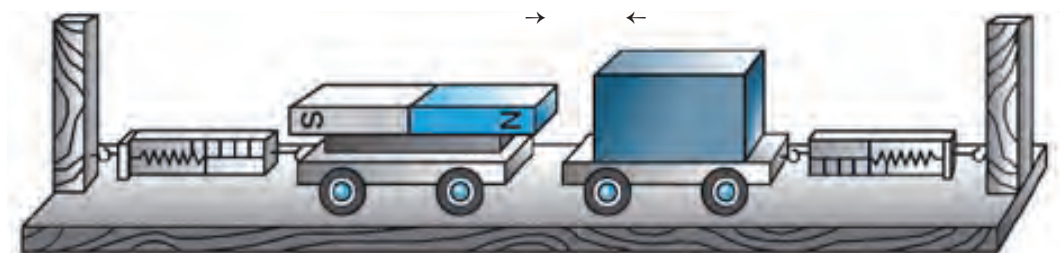


Рис. 75. Притягивание железа к магниту

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 \quad \text{или} \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (3)$$



Ускорения двух взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам и имеют взаимно противоположные направления.

Это утверждение можно проиллюстрировать на примере с двумя тележками разных масс (см. рис. 67).

Учитывая, что $a_1 = v_1/t$ и $a_2 = v_2/t$, из формулы (3) получаем зависимость между массами тел и приобретенными ими скоростями:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (4)$$



Скорости двух взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам и имеют взаимно противоположные направления.

Например, если мальчик выпрыгивает из покоящейся лодки, направление движения лодки будет противоположным направлению движения мальчика. Во сколько раз масса лодки будет больше массы мальчика, во столько же раз скорость лодки будет меньше скорости мальчика. Надо помнить, что сила действия и сила противодействия относятся к разным телам. Если проявляется некая сила действия, то где-то существует равная по величине, но противоположно направленная сила противодействия.

Образец решения задачи

Мальчик массой 50 кг выпрыгнул из лодки и за 0,5 с приобрел скорость 10 м/с. Какую скорость разовьет за это же время лодка, если ее масса 200 кг. Какое ускорение за это время приобретут мальчик и лодка?

Дано:

$$\begin{aligned} m_1 &= 50 \text{ кг}; \\ m_2 &= 200 \text{ кг}; \\ v_1 &= 10 \text{ м/с}; \\ t &= 0,5 \text{ с}. \end{aligned}$$

Найти:

$$\begin{aligned} v_2 &= ? \quad a_1 = ? \\ a_2 &= ? \end{aligned}$$

Формула:

$$\left. \begin{aligned} \text{Из } \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \text{ следует } v_2 &= v_1 \cdot \frac{m_1}{m_2}; \\ a_1 &= \frac{v_1}{t}; \\ a_2 &= \frac{v_2}{t}. \end{aligned} \right\}$$

Решение:

$$\left. \begin{aligned} v_2 &= 10 \cdot \frac{50 \text{ м}}{200 \text{ с}} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \\ a_1 &= \frac{10 \text{ м}}{0,5 \text{ с}^2} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \\ a_2 &= \frac{2,5 \text{ м}}{0,5 \text{ с}^2} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \end{aligned} \right\}$$

Ответ: $v_2 = 2,5 \text{ м/с}; a_1 = 20 \text{ м/с}^2; a_2 = 5 \text{ м/с}^2.$



Опорные понятия: третий закон Ньютона, сила противодействия, закон противодействия.



На нить, за которую мы держим воздушный шарик, подвешен маленький груз. Вдоль нити действуют три силы: шарик тянет нить вверх, сила тяжести груза тянет нить вниз, наши пальцы тянут нить в горизонтальном направлении. Найдите и покажите на чертеже силы, противодействующие этим трем силам.



1. К берегу озера плывут две одинаковые лодки. С первой лодки на берег протянута веревка, за один конец которой тянет человек, стоящий на берегу, а за другой конец – два рыбака, сидящие в лодке. Один конец веревки, протянутой со второй лодки, привязан к колышку на берегу, а за второй конец тянет рыбак, сидящий во второй лодке. Какая лодка доплывет до берега быстрее, если все три рыбака тянут за веревки с одинаковой силой?
2. За оба конца динамометра тянут две лошади, каждая из которых действует силой 100 Н. Сколько ньютончиков покажет динамометр?
3. Мальчик, стоящий на тележке, тянет за веревку, прикрепленную к стене, с силой 80 Н. При этом тележка за 1 с приобрела скорость 2 м/с. Какое ускорение приобрела тележка и какова масса мальчика вместе с тележкой?
4. Когда на покоящееся тело воздействовали силой 5 Н, оно приобрело ускорение 1 м/с². С какой силой нужно воздействовать на это тело, чтобы оно приобрело ускорение 4 м/с²?

§ 23. ПРИЛОЖЕНИЕ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ К ВРАЩАТЕЛЬНОМУ ДВИЖЕНИЮ

Центростремительная сила

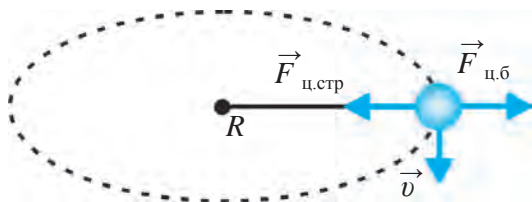


Рис. 76. Силы, действующие на шарик при вращательном движении

массой m , прикрепленный к нити, вращается по окружности с радиусом R с линейной скоростью v (рис. 76), то ускорение, приобретенное шариком, выражается в виде:

Так как линейная скорость тела, равномерно движущегося по окружности, в разные моменты времени различна, оно обладает ускорением. Мы назвали это ускорение центростремительным ($a_{ц.стр}$). Вы знаете, что если шарик

$$a_{\text{ц.стр}} = \frac{v^2}{R}. \quad (1)$$

Ускорение движущегося тела возникает только в результате действия на него силы. Какая сила служит причиной возникновения ускорения при вращательном движении?

При вращательном движении ускорение направлено к центру вращения. Сила, вынуждающая тело двигаться по окружности, имеет то же направление. Поэтому эту силу называют *центростремительной силой* и обозначают ее $F_{\text{ц.стр}}$. Так как, согласно второму закону Ньютона, $F_{\text{ц.стр}} = ma_{\text{ц.стр}}$, получаем:

$$F_{\text{ц.стр}} = \frac{mv^2}{R}. \quad (2)$$



Центростремительная сила, действующая на тело, прямо пропорциональна массе и квадрату линейной скорости и обратно пропорциональна радиусу окружности.

Вращая привязанный к нити шарик, мы действуем на него силой, направленной по нити (см. рис. 76). Сила $F_{\text{ц.стр}}$ будет тянуть шарик к центру вращения. Линейная скорость v шарика направлена по касательной к окружности, т.е. перпендикулярна к центростремительной силе.

Центробежная сила

Третий закон Ньютона имеет место и при вращательном движении. Центростремительной силе, действующей на шарик, численно равна сила, направленная противоположно. Эта сила называется *центробежной силой*. Как и центростремительная сила $F_{\text{ц.стр}}$, центробежная сила $F_{\text{ц.б}}$ выражается формулой:

$$F_{\text{ц.б}} = \frac{mv^2}{R}. \quad (3)$$

Формулы, выражающие центростремительную и центробежную силы, одинаковы, но эти силы имеют противоположное направление, т.е.:

$$\vec{F}_{\text{ц.стр}} = -\vec{F}_{\text{ц.б}} \quad (4)$$

Если набрать в ведро воду примерно до его половины и вращать ведро вокруг себя, то вода из ведра не прольется. На нее будет действовать центробежная сила, направленная от центра вращения.

Существованием центробежной силы пользуются на практике. Например, в аппарате для сушки белья его укладывают в барабан, в стенках которого проделаны отверстия. При вращении барабана с большой угловой скоростью на капли воды в ткани действует центробежная сила, выбрасывающая их через отверстия в водосборник. В результате белье в барабане подсыхает.

В сепараторе молоко отделяют от сливок. При быстром вращении барабана сепаратора молоко разделяется на две части. Обезжиренное молоко под действием центробежной силы покидает барабан и собирается в специальном сосуде, а сливки остаются в центре барабана.



Опорные понятия: центростремительная сила, центробежная сила.



1. Как нужно укладывать рельсы на поворотах железнодорожного пути, чтобы обеспечить безопасность движения поездов?
2. Мотоциклист начинает движение по окружности барабана, установленного в цирке, и постепенно начинает двигаться по стенке барабана. Что удерживает мотоциклиста от падения?



1. Шарик массой 20 г, привязанный к нити длиной 25 см, вращают по окружности. Найдите линейную скорость шарика, действующую на него центробежную силу, если период вращения шарика равен 0,2 с.
2. А. Решите задачу из пункта 1, увеличив массу шарика в два раза.
Б. Решите задачу из пункта 1, увеличив длину нити в два раза.
В. Решите задачу из пункта 1, увеличив период вращения в два раза.
Сравните решения задач А, Б, В с решением задачи 1 и сделайте выводы.

§ 24. СИЛА УПРУГОСТИ

Деформация

При воздействии на тело силой составляющие его частицы сдвигаются относительно друг друга, и расстояние между ними изменяется. В результате нарушается равновесие между силами взаимодействия частиц (притяжения и отталкивания). При увеличении расстояния между частицами преобладают силы притяжения, и наоборот, при уменьшении этого расстояния – силы отталкивания. Поэтому в различных точках тела появляются отличные от нуля внутренние силы.

Сумма внутренних сил, на основе третьего закона Ньютона, равна внешней силе и имеет противоположное направление (рис. 77).

Если воздействовать на тела силой, они под ее влиянием растягиваются, сжимаются, сгибаются, сдвигаются или скручиваются. В некоторых телах это свойство наблюдается отчетливо. Например, под воздействием внешней силы резина или пружина растягиваются, сжимаются или скручиваются, а дерево или пластмасса сгибаются.

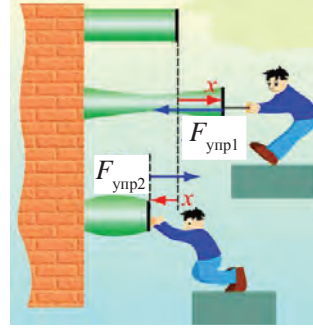


Рис. 77. Растяжение и сжатие тела



Изменение формы и объема тела под влиянием внешней силы называется деформацией.

Деформации делятся на упругие и пластические. Если при прекращении воздействия внешней силы изменившаяся форма и объем тела возвращаются в исходное состояние, то такая деформация называется **упругой**. Например, после прекращения воздействия внешней силы растянутая резина или пружина возвращаются в свое исходное состояние. Если слегка согнуть линейку и отпустить, она снова выпрямится. Такие тела называются **упругими телами**.

Если после прекращения воздействия внешней силы форма и объем тела не восстанавливаются, то такая деформация называется **пластической**. Например, если смять или растянуть кусочек пластилина, он не вернется в свое прежнее состояние. Такие тела называются **пластическими телами**.

Ниже будем рассматривать только упругие тела.

Проявления упругой силы

На рис. 78, а изображена тонкая доска, лежащая на двух опорах. Если на середину доски сядет ребенок, она вначале прогнется, а затем останется в этом состоянии (рис. 78, б). Какая сила остановила сгибание доски? Под действием силы тяжести ребенка доска согнется, т.е. деформируется. Если силу тяжести ребенка, которая деформирует доску, назвать внешней силой $F_{\text{вн}}$, то сила, противодействующая сгибанию доски, будет упругой силой $F_{\text{упр}}$. Когда значения внешней

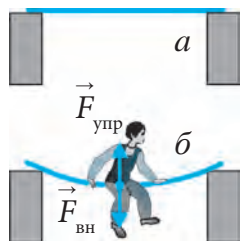


Рис. 78. Сгибание доски

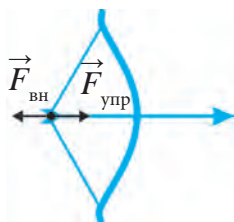


Рис. 79. Натяжение тетивы лука

силы $F_{\text{вн}}$ и упругой силы $F_{\text{упр}}$ становятся равными, сгибание доски прекращается. Направления этих сил взаимно противоположные. В этом проявляется третий закон Ньютона:

$$\vec{F}_{\text{вн}} = -\vec{F}_{\text{упр}}. \quad (1)$$



Сила, противодействующая внешней силе, деформирующей тело, и имеющая взаимно противоположное направление, называется силой упругости.

При натяжении тетивы лука (рис. 79), растягивании или сжатии резины или пружины возникает сила упругости $F_{\text{упр}}$, противодействующая внешней силе $F_{\text{вн}}$.

Закон Гука

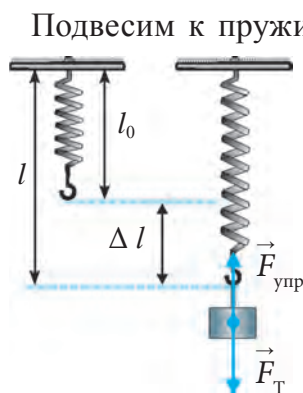


Рис. 80. Растяжение пружины

Подвесим к пружине длиной l_0 груз массой m . Действующая на нее сила тяжести $F_{\text{Т}}$ направлена вниз. В результате деформации пружины появится сила упругости $F_{\text{упр}}$, направленная противоположно к силе $F_{\text{Т}}$ (рис. 80). В результате пружина растянется на Δl : $\Delta l = l - l_0$. Это называется абсолютным удлинением, или абсолютной деформацией пружины. При выравнивании силы упругости $F_{\text{упр}}$ и силы тяжести $F_{\text{Т}}$ растяжение пружины прекратится. С увеличением силы, действующей на пружину, будет пропорционально увеличиваться и абсолютная деформация (рис. 81). Следовательно, сила упругости прямо пропорциональна абсолютному удлинению, т.е:

$$\vec{F}_{\text{упр}} \sim \vec{\Delta l} \quad \text{или} \quad \vec{F}_{\text{упр}} = -k \vec{\Delta l}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, связывающий силу упругости и абсолютное удлинение, называемый **жесткостью** деформируемой пружины. Знак «минус» в формуле (2) означает, что сила упругости и абсолютное удлинение имеют противоположные направления. Из формулы (2) находим k :

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{\Delta l} \quad (3)$$

В СИ за единицу жесткости принят Н/м.

Формула (2) выражает открытый в 1660 г. английским ученым Робертом Гуком закон, названный в его честь **законом Гука**:



Величина упругой деформации тела прямо пропорциональна действующей на него внешней силе.

Чем большей будет жесткость k тела (пружины, резины), тем труднее будет деформировать его. Жесткость k упругого тела различна для разных тел. Например, жесткость стержня длиной l и площадью поперечного сечения S выразится формулой:

$$k = E \frac{S}{l}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости (модуль Юнга) вещества, из которого сделан стержень. Для разных тел он различен.

Если пружина под действием внешней силы $F_{\text{вн}}$ сожмется, то ее длина уменьшится на Δl . С увеличением внешней силы будет пропорционально увеличиваться Δl (рис. 82). И в этом случае будет иметь место закон Гука. В повседневной жизни наряду с деформацией растяжения и сжатия можно наблюдать также деформации изгиба (рис. 83), сдвига (рис. 84) и скручивания (рис. 85).

Закон Гука выполняется для малых деформаций. Это видно из рис. 86, где зависимость упругой деформации от внешней силы представляет собой прямую линию, идущую от начала координат до определенного значения внешней силы.

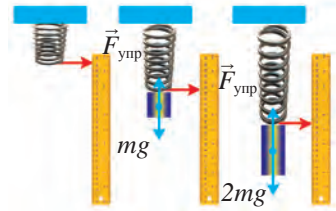


Рис. 81. Зависимость деформации от действующей силы

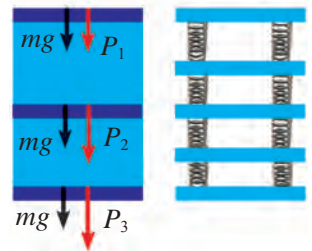


Рис. 82. Зависимость деформации сжатия от действующей силы

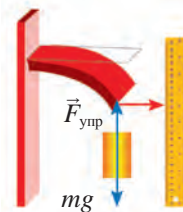


Рис. 83. Деформация изгиба

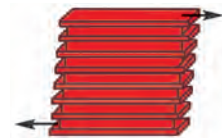


Рис. 84. Деформация сдвига

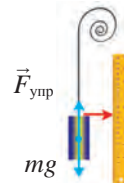


Рис. 85. Деформация скручивания



Граница внешней силы, для которой выполняется закон Гука, называется *пределом упругости*.

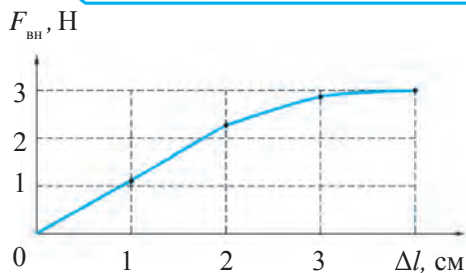


Рис. 86. График зависимости упругой деформации от внешней силы

На рис. 86 предел упругости равен 2,3 Н. При больших деформациях зависимость между деформацией и силой имеет более сложный вид, так как с увеличением силы растёт влияние пластической деформации. При этом после прекращения действия силы форма деформированных тел полностью не восстанавливается.

Образец решения задачи

К проволоке, один конец которой прикреплен к опоре, подвешен груз, действующий на нее с силой тяжести 300 Н. Найдите жесткость проволоки, если под действием этого груза она растянулась на 0,5 мм.

<p><i>Дано:</i></p> <p>$F_{вн} = 300 \text{ Н};$</p> <p>$\Delta l = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}.$</p> <hr style="width: 100%;"/> <p><i>Найти:</i> $k = ?$</p>	<p><i>Формула:</i></p> <p>$F_{вн} = k \cdot \Delta l;$</p> <p>$k = \frac{F_{вн}}{\Delta l}.$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>$k = \frac{300 \text{ Н}}{0,0005 \text{ м}} = 600\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}} =$</p> <p>$= 6 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$</p> <p><i>Ответ:</i> $k = 6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}.$</p>
--	--	--



Опорные понятия: деформация, упругая деформация, упругое тело, пластическая деформация, пластическое тело, сила упругости, жесткость пружины, модуль упругости.



1. При равенстве каких сил деформация тела прекращается?
2. Приведите примеры упругой деформации тел.



1. Найдите жесткость пружины, растянувшейся на 5 см под действием силы 4 Н.
2. На сколько растянется резина жесткостью 500 Н/м под действием силы 10 Н?
3. Под действием какой силы пружина с жесткостью 1000 Н/м растянется на 4 см?
4. На сколько растянется буксировочный трос, с помощью которого грузовик тянет легковой автомобиль с силой 1 кН? Жесткость троса равна 10^5 Н/м .
5. Жесткость куска проволоки равна $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. Какова будет жесткость половины этого куска проволоки?

6. К пружине длиной 8 мм подвесили груз массой 200 г, при этом длина пружины стала 12 мм. Определите жесткость пружины.

§ 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ

(Лабораторная работа 2)

Цель работы: расширение представлений о деформации и жесткости на примере определения жесткости пружины простейшего динамометра, закрепление теоретических знаний о силе упругости.

Необходимые принадлежности: штатив, простейший динамометр, набор грузов, миллиметровая бумага.

Порядок выполнения работы

1. Приклейте к динамометру (пружине) миллиметровую бумагу.

2. Прикрепите динамометр к штативу, как показано на рис. 87.

3. Отметьте начальное показание динамометра на миллиметровке.

4. Подвесьте на крюк динамометра груз массой m_1 и измерьте растяжение Δl_1 пружины. Запишите результат в таблицу.

5. Замените груз массой m_1 вначале на груз массой m_2 , а затем на груз массой m_3 . Найдите растяжение $\Delta l_2, \Delta l_3$ в обоих случаях и запишите результат в таблицу.

6. По формуле $F_{\text{вн}} = mg$ найдите для каждого груза внешнюю силу, действующую на пружину, и запишите результаты в таблицу (примите $g = 10 \text{ м/с}^2$).

7. По формуле $k = F_{\text{вн}} / \Delta l$ найдите для каждого значения $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$ и вычисленного значения силы $F_{\text{вн}1}, F_{\text{вн}2}, F_{\text{вн}3}$ жесткости k_1, k_2, k_3 и запишите результаты в таблицу.

8. По формуле $k_{\text{ср}} = (k_1 + k_2 + k_3) / 3$ найдите среднее значение жесткости и запишите результаты в таблицу.

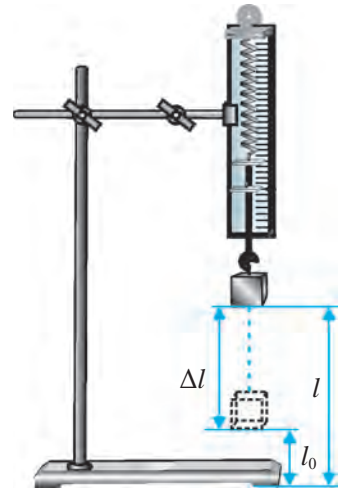


Рис. 87. Приспособления для определения жесткости пружины

Таблица 2

№	m	$F_{\text{вн}}$	Δl	k	$k_{\text{ср.}}$	$ k_{\text{ср.}} - k $	ε
1							
2							
3							

9. По формуле $\Delta k_0 = |k_{\text{ср.}} - k|$ найдите абсолютную погрешность.
10. По формуле $\Delta k_{\text{ср.}} = (\Delta k_1 + \Delta k_2 + \Delta k_3)/3$ найдите среднее значение абсолютной погрешности.
11. По формуле $\varepsilon = (\Delta k_{\text{ср.}} / k_{\text{ср.}}) \cdot 100\%$ найдите относительную погрешность.
12. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

1. Чему равно значение одного деления шкалы динамометра?
2. Чему равна верхняя граница шкалы динамометра?
3. Где должно находиться показание пружины нагруженного динамометра?
4. Как нужно установить динамометр, чтобы измерить силу?
5. Как нужно смотреть на шкалу динамометра во время измерения силы?



1. Чему равна и куда направлена сила упругости пружины динамометра, к которой подвешен груз массой m_1, m_2, m_3 ?
2. Объясните, как возникает сила упругости при подвешивании груза на крюк динамометра.
3. Почему для каждого измерения жесткости k_1, k_2, k_3 имеют почти одинаковые значения?

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV

Хотя законы Ньютона выражаются, казалось бы, очень простыми формулами: $\vec{F} = m\vec{a}$ и $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$, они наполнены чрезвычайно глубоким смыслом. Обратите внимание на движение, происходящее вокруг нас, – течение воды в реках, ветры и ураганы на поверхности Земли, непрерывные потоки автомобилей на дорогах, полеты самолетов в небе, движение планет, звезд, галактик, а также полеты космических аппаратов в космическом

пространстве. Эти движения и тела, совершающие движение, весьма не похожи друг на друга. И силы, действующие на них, также различны. Но все движения и тела, участвующие в движении, можно объяснить на основе этих с виду очень простых законов.

Иными словами, законы Ньютона дают возможность решать любые задачи механики. Если известна сила, приложенная к телу, то можно определить его ускорение в любой момент времени и в любой точке его траектории. Зная движение тела, т.е. его состояние в любой момент времени, можно с помощью законов Ньютона определить силу, действующую на него.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ IV

1. Тело массой 2 кг свободно падает на землю. Найдите силу, действующую на тело. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

2. С какой неизменной силой надо воздействовать на тело массой 200 г чтобы оно двигалось с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$?

3. При воздействии на вагон, стоящий на железнодорожном пути, силой, равной 2 кН, он начал двигаться с ускорением $0,1 \text{ м/с}^2$. Найдите массу вагона.

4. Тело массой 0,5 кг, находящееся в состоянии покоя, пришло в движение под действием неизменной силы и за 5 с прошло 20 м. Определите значение силы, действующей на тело.

5. На ровной горизонтальной поверхности лежит стальной шарик массой 100 г. С каким ускорением начнет двигаться шарик, если его толкнуть в горизонтальном направлении с силой 50 мН?

6. При воздействии на тележку, стоящую на ровной горизонтальной поверхности, неизменной силой, равной 4 Н, она приобрела ускорение 2 м/с^2 . Какое ускорение приобретет тележка при воздействии на нее силой, равной 6 Н?

7. Определите скорость тележки из задачи 6 за 1 с для обоих значений силы.

8. Автомобиль массой 2000 кг начал двигаться с ускорением $0,8 \text{ м/с}^2$. С какой силой действует мотор на автомобиль? Силой трения пренебречь.

9. Два тела массами 0,5 и 1,5 кг, двигавшиеся навстречу друг другу, столкнулись и остановились. С какой скоростью двигалось второе тело до столкновения, если скорость первого была 6 м/с ?

10. Трактор, толкая прицеп с силой 10 кН, придает ему ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$. Какое ускорение придаст прицепу другой трактор, имеющий силу тяги 30 кН?

11. Сила тяги двигателей реактивного самолета массой 80 т равна 120 кН. С каким ускорением двигается самолет, чтобы набрать скорость?

12. При ударе по мячу массой 0,4 кг в течение 0,01 с он набрал скорость 20 м/с. С какой силой ударили по мячу?

13. Шарик массой 100 г, привязанный к нити длиной 25 см, за 1 с совершает два оборота по окружности. Найдите действующую на шарик центробежную силу и центростремительное ускорение.

14. Во сколько раз увеличатся или уменьшатся центробежная сила и центростремительное ускорение, если шарик из задачи 13 совершит за 1 с четыре оборота по окружности?

15. Тело, привязанное к нити длиной 1 м, в каждую секунду совершает один оборот по окружности. Какой должна быть масса тела, чтобы сила, действующая на него, равнялась 10 Н?

16. От колес автомобиля, увязшего в грунтовой дороге, со скоростью 10 м/с отлетают куски глины. С какой силой отлетают от колес куски глины, если диаметр колес автомобиля 1 м, а средняя масса кусков глины 5 г?

17. Мотоциклист движется по окружности цирковой арены диаметром 25 м со скоростью 45 км/ч. Какова масса мотоциклиста вместе с мотоциклом, если центробежная сила, действующая на мотоцикл, равна 2,5 кН? Какое центростремительное ускорение получит при этом мотоцикл?

18. Найдите жесткость резины, растягивающейся на 10 см под действием силы 2 Н.

19. Когда на пружинные весы повесили груз массой 1 кг, пружина растянулась на 8 см. Найдите жесткость пружины. Здесь и в следующих упражнениях примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

20. Когда на пружину с жесткостью 60 Н/м подвесили груз, она растянулась на 5 см. Найдите массу груза, подвешенного на пружину.

21. На сколько растянется резина, имеющая жесткость 10 Н/м, если на нее подвесить груз массой 60 г?

22. Две одинаковые пружины, соединенные концами друг с другом, растягивают, держась за свободные концы. При этом пружина, имеющая жесткость 120 Н/м, растянулась на 4 см. Какова жесткость второй пружины, если она растянулась на 3 см?

23. Автомобиль массой 1200 кг взяли на буксир с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$. На сколько растянется буксировочный трос, если его жесткость равна 40 кН/м? Силой трения пренебречь.



Глава V ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ СИЛ

§ 26. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Луна и другие планеты вращаются по окружностям почти с неизменной скоростью. Чтобы любое тело совершало вращательное движение, на него должна действовать постоянная сила. При отсутствии такой силы планеты совершали бы прямолинейное равномерное движение. Рассмотрим вращение Луны вокруг Земли, основываясь на законы динамики. Луна совершает вращательное движение только при воздействии на нее постоянной силы. Это – сила притяжения Земли, которая на основе второго закона Ньютона определяется формулой: $|F| = m/a$, т.е. чем больше масса m Луны, тем больше ее сила притяжения: $|F| \sim m$. В соответствии с третьим законом Ньютона о силе противодействия, Луна с такой же силой притягивает к себе Землю: $|F| = M/a$, т.е. чем больше масса M Земли, тем больше ее сила притяжения: $|F| \sim M$. Если сила притяжения пропорциональна и массе тела m , и массе Земли M , значит, она пропорциональна также их произведению:

$$|F| \sim mM. \quad (1)$$

Вместе с тем, расстояние от центра Земли до ее поверхности в 60 раз меньше расстояния от центра Земли до Луны. А центростремительная сила тела на поверхности Земли в 3600 раз больше центростремительной силы при движении Луны по орбите, т.е.

$$|F| \sim 1/r^2. \quad (2)$$

Обобщая формулы (1) и (2), получаем: $|F| \sim mM/r^2$ или:

$$|F| = G \frac{mM}{r^2}, \quad (3)$$

где G – коэффициент пропорциональности.

Ньютон показал, что подобная сила притяжения существует не только между Землей и Луной, но и между Солнцем и Землей (рис. 88), между другими планетами и Солнцем, окружающими нас предметами и Землей. На основании вывода Ньютона сила всемирного тяготения определяется следующим образом:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (4)$$

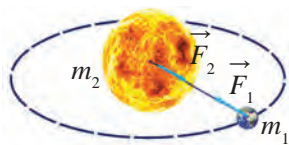


Рис. 88. Взаимное притяжение Земли и Солнца

где m_1, m_2 – массы взаимодействующих тел, r – расстояние между ними (измеряемое от центров масс), G – коэффициент пропорциональности, называемый гравитационной постоянной. Формула (4) выражает **гравитационную силу притяжения** между любыми телами Вселенной, поэтому закон Ньютона называется **законом всемирного тяготения**. Этот закон формулируется так:



Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Если масса взаимодействующих тел $m_1 = m_2 = 1$ кг и расстояние между ними равно $r = 1$ м, то в формуле (4) численное значение силы F равно G : гравитационная постоянная численно равна силе притяжения двух тел, масса каждого из которых равна 1 кг, а расстояние между ними 1 м. Английский ученый Генри Кавендиш в 1798 г. определил, что численное значение гравитационной постоянной равно:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Так как $1/1,5 \approx 0,667$, при решении задач вместо $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ можно использовать значение $(1/1,5 \cdot 10^{10}) \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

Закон всемирного тяготения точно выполняется в случаях, когда размеры взаимодействующих тел намного меньше, чем расстояние между ними, т.е. для материальных точек. Если расстояние между шарообразными телами измеряется от их центров, то формула (4) справедлива при любых расстояниях между телами. Поэтому при вычислении притяжения тел к Земле расстояние нужно брать по

отношению к центру Земли. Так как радиус Земли составляет 6400 км, для тел, находящихся на высоте в несколько десятков километров от Земли, сила притяжения почти не чувствуется.

Все окружающие нас тела – машины, люди, мебель, даже дома – притягиваются друг к другу. Однако эти силы настолько малы, что мы их не чувствуем.

Если в результате притяжения Луны к Земле она вращается вокруг Земли, то в результате притяжения Земли к Луне на Земле происходят морские приливы и отливы.

Подвесив тело к нити, можно видеть, что вследствие притяжения Земли тело тянет нить в сторону ее центра. Это явление используют строители при возведении зданий перпендикулярно к Земле.

Данные о Земле, Луне и Солнце

При решении задач, относящихся к закону всемирного тяготения, используются данные о Земле, Луне и Солнце. Ниже приводятся эти данные. При решении задач можно пользоваться их приближенными значениями:

1. Средний радиус Земли – $6,371 \cdot 10^6$ м $\approx 6,4 \cdot 10^6$ м.
2. Масса Земли – $5,976 \cdot 10^{24}$ кг $\approx 6 \cdot 10^{24}$ кг.
3. Среднее расстояние от Земли до Луны – $3,844 \cdot 10^8$ м $\approx 3,8 \cdot 10^8$ м.
4. Радиус Луны – $1,737 \cdot 10^6$ м $\approx 1,7 \cdot 10^6$ м.
5. Масса Луны – $7,35 \cdot 10^{22}$ кг $\approx 7,4 \cdot 10^{22}$ кг.
6. Среднее расстояние от Земли до Солнца – $1,496 \cdot 10^{11}$ м $\approx 1,5 \cdot 10^{11}$ м.
7. Радиус Солнца – $6,96 \cdot 10^8$ м $\approx 7 \cdot 10^8$ м.
8. Масса Солнца – $1,99 \cdot 10^{30}$ кг $\approx 2 \cdot 10^{30}$ кг.

Образец решения задачи

Найдите силу притяжения между Землей и Солнцем.

<p><i>Дано:</i></p> $m_1 = 6 \cdot 10^{24}$ кг; $m_2 = 2 \cdot 10^{30}$ кг; $G = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$; $r = 1,5 \cdot 10^{11}$ м;	<p><i>Формула:</i></p> $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	<p><i>Решение:</i></p> $F = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}} \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{(1,5 \cdot 10^{11})^2} \text{ Н} \approx$ $\approx 3,6 \cdot 10^{22} \text{ Н.}$
---	--	---

Найти:

$F = ?$

Ответ: $F \approx 3,6 \cdot 10^{22}$ Н.



Опорные понятия: закон всемирного тяготения, гравитационная сила притяжения, гравитационная постоянная.



1. Зная массу вашего тела, массу и радиус Земли, вычислите силу вашего притяжения к Земле. Примите расстояние между вами и Землей, равным радиусу Земли.
2. Приведите примеры явлений на Земле, которые объясняются влиянием силы притяжения.



1. Найдите силу притяжения между Землей и Луной.
2. Два мальчика, масса каждого из которых равна 50 кг, стоят на расстоянии 10 м друг от друга. С какой силой, согласно закону всемирного тяготения, мальчики притягиваются друг к другу?
3. Два искусственных спутника Земли, масса каждого из которых равна 3,5 т, приблизились друг к другу на расстояние 100 м. Вычислите силу притяжения спутников.

§ 27. СИЛА ТЯЖЕСТИ

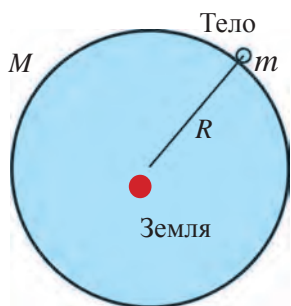


Рис. 89. Взаимное притяжение Земли и тела на ее поверхности

Почему тела на поверхности Земли притягиваются Землей? Справедлив ли для них закон всемирного тяготения?

Пользуясь формулой всемирного тяготения, можно вычислить силу взаимного притяжения между произвольным телом массой $m_1 = m$ и земным шаром массой $m_2 = M$ (рис. 89):

$$F = G \frac{mM}{r^2} \quad (1)$$

При этом за расстояние между Землей и телом примем радиус Земли, т.е. $R = 6,4 \cdot 10^6$ м. Находим силу притяжения тела массой $m = 1$ кг и Земли массой $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг:

$$F = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}} \frac{1 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(6,4 \cdot 10^6)^2} \text{ Н} \approx 9,8 \text{ Н.}$$

Таким образом, тело массой 1 кг притягивается к Земле с силой 9,8 Н. Согласно третьему закону Ньютона, силе притяжения тела к Земле противодействует сила притяжения Земли к телу, равная ей, но имеющая противоположное направление. Однако здесь можно говорить

лишь о притяжении тела к Земле с силой 9,8 Н, так как заметить, насколько Земля сдвинулась при этом с места, не удастся.

Согласно второму закону Ньютона, ускорение тела, приобретенное им под действием силы притяжения Земли, будет равно:

$$a = \frac{F}{m}. \quad (2)$$

Значит, под действием силы притяжения Земли тело массой 1 кг приобретет ускорение, равное 9,8 м/с².

С какой силой притягиваются к Земле тела произвольной массы, например, $m = 8$ кг или 25 кг? Какое ускорение они получают под действием этой силы?

$$\text{Для } m = 8 \text{ кг: } F = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}} \frac{8 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(6,4 \cdot 10^6)^2} \text{ Н} \approx 78,4 \text{ Н}; \quad a = \frac{78,4}{8} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$\text{Для } m = 25 \text{ кг: } F = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}} \frac{25 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(6,4 \cdot 10^6)^2} \text{ Н} \approx 245 \text{ Н}; \quad a = \frac{245}{25} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Итак, независимо от массы тела ускорение, которое оно приобретает под влиянием силы притяжения к Земле, имеет одинаковое значение, т.е. равно 9,8 м/с². Оно было названо **ускорением свободного падения** и обозначено буквой g . Здесь же мы вывели значение ускорения свободного падения.

Силу притяжения тела к Земле назовем **силой тяжести** и обозначим ее буквой F_T . Подставляя в формулу второго закона Ньютона вместо ускорения a ускорение свободного падения g , получаем формулу силы тяжести тела массой m :

$$F_T = mg. \quad (3)$$



Сила притяжения тела к Земле называется силой тяжести.

Формула (3) выражает также зависимость между силой тяжести тела и его массой. Формула (3) показывает, что на поверхности Земли измеряемая в ньютонах сила тяжести больше массы тела, измеряемой в килограммах, в 9,8 раз.

Образец решения задачи

Найдите силу тяжести стоящего на мосту грузовика массой 10 т. С какой силой действует грузовик на мост?

Дано:	Формула:	Решение:
$m = 10 \text{ т} = 10\,000 \text{ кг};$ $g = 9,8 \text{ м/с}^2.$	$F_T = mg.$	$F_T = 10\,000 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} =$ $= 98\,000 \text{ Н} = 98 \text{ кН}.$

Найти:
 $F_T = ?$

Ответ: $F_T = 98 \text{ кН}$; Грузовик действует на мост с такой же силой.



Опорные понятия: сила притяжения между телом и Землей, притяжение Земли, притяжение тела к Земле, сила тяжести.



1. Как, согласно закону всемирного тяготения, выражается формула взаимного притяжения тела массой m и Земли?
2. Как на основе формул закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона определяется ускорение свободного падения?



1. С какой силой книжный шкаф массой 200 кг притягивается к Земле? Какова сила тяжести шкафа? В данной и следующих задачах примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. Зная вашу массу, найдите вашу силу тяжести.
3. Сила тяжести автомобиля, стоящего на обочине дороги, равна 20 кН. Найдите массу автомобиля.

§ 28. ВЕС ТЕЛА

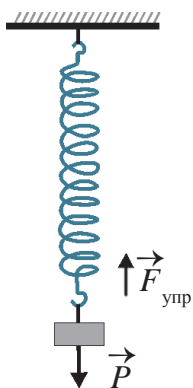


Рис. 90. Действие силы тяжести на подвес

В физике наряду с понятием силы тяжести существует еще понятие веса. Чтобы понять, что такое вес тела, рассмотрим следующие два опыта.

Опыт 1. К пружине, прикрепленной к подвесу, подвесим груз массой m . На пружину будет действовать направленная вертикально вниз сила тяжести $F_T = mg$. Под действием этой силы пружина растянется, т.е. деформируется. В результате появится сила упругости пружины $F_{\text{упр}}$ (рис. 90).

Сила упругости $F_{\text{упр}}$ появляется как сила, противодействующая силе тяжести F_T и направленная вертикально вверх. Через некоторое время сила упругости $F_{\text{упр}}$ сравняется по величине с силой тяжести F_T , и пружина с подвешенным к ней грузом придет в состояние покоя. В результате

на подвес будет действовать сила, равная силе тяжести F_T . Эта сила – вес тела, подвешенного к пружине.

Опыт 2. Если на пружину поместим на подставке груз массой m , пружина сожмется, т.е. деформируется. В результате снова появится сила упругости $F_{\text{упр}}$ пружины, противодействующая дальнейшему ее сжатию. Увеличиваясь, сила упругости $F_{\text{упр}}$ сравняется по величине с силой тяжести F_T , и тело придет в состояние покоя. В состоянии покоя на подставку будет действовать сила, равная силе тяжести F_T (рис. 91). Эта сила – вес тела, положенного на подставку.

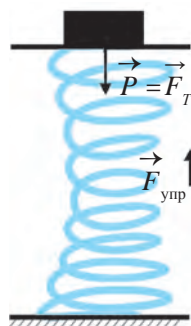


Рис. 91. Действие силы тяжести тела на опору



Сила, действующая на подвес или опору вследствие притяжения к Земле, называется *весом тела* и обозначается буквой P .

В описанных выше опытах после того, как тело придет в состояние покоя, вес тела P будет равен силе тяжести F_T . Вес тела, находящегося в состоянии покоя, выражается формулой:

$$P = mg.$$

Необходимо различать понятия веса и тяжести. Во-первых, сила тяжести – это сила притяжения тела к Земле, а вес тела – это сила, действующая на подвес (см. рис. 90) или опору (рис. 92). Во-вторых, сила тяжести не зависит от вертикально направленного ускорения тела в том или ином месте, т.е. постоянна. А вес тела остается неизменным только в состоянии покоя или равномерного вертикального движения.

Если тело совершает вертикально направленное перемещение, его вес изменяется. Пусть, например, масса тела, подвешенного к пружине из опыта 1, равна 100 г, т.е. 0,1 кг. Тогда сила тяжести этого тела будет $F_T = 0,1 \cdot 9,8 \text{ Н} = 0,98 \text{ Н} \approx 1 \text{ Н}$. Эта сила остается неизменной и в случае, когда тело подвешено к пружине, и в случае растяжения пружины, и в случае, когда тело находится в состоянии покоя. Однако вес тела возрастает при значениях от 0 до 1 Н. В момент подвешивания к пружине тело не

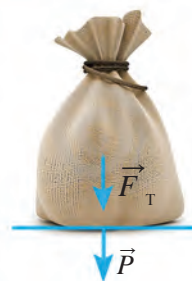


Рис. 92. Сила действия тела на опору

оказывает воздействия на подвес, к которому прикреплена пружина, т.е. его вес равен 0. Через короткий промежуток времени пружина начнет растягиваться, и действие тела на подвес станет увеличиваться, т.е. вес тела будет изменяться от 0 до 1 Н. С прекращением растяжения пружины, т.е. с наступлением равновесия тела, вес его становится равным 1 Н.

В опыте 2 наблюдается аналогичное.

В повседневной жизни вместо массы чаще употребляется понятие веса. Например, взвешивая на весах массу продукта, говорят, что измеряют его вес. Это, однако, нельзя считать ошибкой, так как продукт взвешивается на весах в состоянии покоя, или равновесия. А в состоянии покоя вес можно подсчитывать в килограммах или граммах.

Образец решения задачи

Груз, подвешенный на крюк динамометра, через некоторое время пришел в равновесие. При этом динамометр показал 10 Н. Какова масса груза, подвешенного на крюк динамометра? Какова сила упругости пружины динамометра в состоянии равновесия? А вес груза? Можно ли с помощью динамометра измерить массу груза?

Дано:	Формула:	Решение:
$F_T = 10 \text{ Н};$ $g = 9,8 \text{ м/с}^2.$	$F_T = mg; \quad m = \frac{F_T}{g}.$	$m = \frac{10}{9,8} \approx 1 \text{ кг}.$
<hr style="width: 100%;"/> <p style="margin: 0;"><i>Найти:</i></p> $m = ? \quad F_{\text{упр}} = ? \quad F_T = ?$	<p style="margin: 0;"><i>Ответ:</i> 1) $m \approx 1 \text{ кг};$ 2) $F_{\text{упр}} = F_T = 10 \text{ Н};$ 3) $P = F_{\text{упр}} = 10 \text{ Н};$ 4) массу можно измерить с помощью динамометра, стоящего на земле. Для этого шкала динамометра должна быть градуирована в килограммах и граммах. В процессе измерения пружина динамометра должна находиться в состоянии равновесия.</p>	



Опорные понятия: действие силы тяжести на подвес, действие силы тяжести на опору, вес тела.



1. В чем состоит разница между массой и весом тела? Мы измеряем на рычажных весах массу или вес тела? Чем отличается вес от силы тяжести?
2. К тросу подъемного крана, подвешен контейнер с грузом массой 2 т. Изобразите в графическом виде силу, действующую на контейнер.



1. К пружине, прикрепленной к подвесу, подвешен груз массой 50 г. Чему будет равен вес тела, когда сила упругости пружины сравняется с силой тяжести и пружина окажется в состоянии равновесия? Примите здесь и далее $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. На подставку, установленную на пружину, поместили груз массой 80 г. Чему будет равен вес груза, когда пружина придет в равновесие?
3. На крюк динамометра, находящегося в неподвижном состоянии, подвешен груз массой 200 г. Каков вес груза в состоянии равновесия? А сила упругости?
4. Найдите свой вес, находясь в состоянии покоя и зная массу своего тела.

§ 29. ПЕРЕГРУЗКА И НЕВЕСОМОСТЬ

Перегрузка

Подвесим к пружине тело массой m , держа его в состоянии покоя. При достижении равновесия вес тела будет (рис. 93, а):

$$\vec{P} = \vec{F}_T \quad \text{или} \quad \vec{P} = mg. \quad (1)$$

Если теперь пружину вместе с телом резко направим вверх, то увидим, что пружина растянулась (рис. 93, б). Значит, при ускорении, направленном вверх, вес тела увеличивается. Это можно объяснить с помощью второго закона Ньютона. При поднятии тела вверх с ускорением a на пружину, кроме силы тяжести, действует дополнительная сила ma . При этом вес по величине будет равен сумме силы тяжести и дополнительной силы:

$$P = F_T + ma \quad \text{или} \quad P = mg + ma. \quad (2)$$

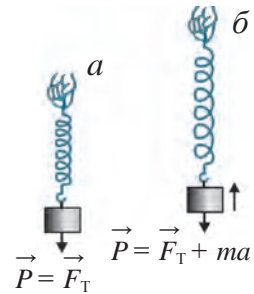


Рис. 93. Тело в состоянии покоя (а) и при движении с ускорением, направленным вверх (б)



При движении тела с ускорением, направленным вертикально вверх, его вес увеличивается на величину ma . Это увеличение веса называется *перегрузкой*.

Соотношение весов в формулах (2) и (1), равное $n = (g + a)/g$, называется перегрузкой. С помощью данной формулы можно рассчитать величину перегрузки. Значит, величина веса тела, действующего на опору, зависит не только от силы тяжести, но и от наличия или отсутствия ускорения тела. Причина того, что разность веса и силы



Рис. 94. Движение лифта с ускорением

тяжести тела является отличной от нуля, состоит в том, что тело обладает ускорением.

В повседневной жизни мы часто ощущаем перегрузки. Пусть, например, лифт начинает из состояния покоя подниматься вверх с ускорением a . В этом случае человек, находящийся в лифте, будет давить на пол лифта с силой, увеличившейся на величину ma , где m – его масса (рис. 94). Особенно большие перегрузки ощущает космонавт, находящийся в ракете, стремительно взмывающей вертикально вверх с большим ускорением.

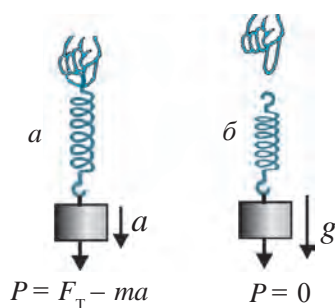


Рис. 95. Движение тела вниз с ускорением a (а) и g (б)

Невесомость

Приведем теперь пружину вместе с грузом в движение с ускорением, направленным вертикально вниз. При этом пружина, растянувшаяся в начале и находившаяся в состоянии равновесия, сожмется (рис. 95, а). В тот же момент сила упругости пружины придет в равновесие с весом тела, и тело начнет двигаться вниз с ускорением a .

Уменьшение сжатия пружины укажет на уменьшение веса тела на величину ma :

$$P = F_T - ma \text{ или } P = mg - ma.$$



При движении тела с ускорением a , направленным вертикально вниз, его вес уменьшается на величину ma .

Если лифт из состояния покоя начинает опускаться с ускорением a , то вес человека, находящегося в лифте, уменьшается на величину ma .

Если выпустить пружину из рук, то она будет падать вниз с ускорением $a = g$. При этом шкала пружины во время падения покажет, что вес груза обратился в нуль, т.е. покажет состояние невесомости (рис. 95, б):

$$P = m(g - a) = m(g - g) = 0.$$

Следует отметить, что вес тела – это сила, действующая на опору или подвес, при ускорении тела $a = 0$ вследствие притяжения Земли

(рис. 96, а). А свободно падающее тело (при $a = g$) не воздействует на опору или подвес, т.е. его вес становится равным нулю (см. рис. 95, б), так как при этом и опора, и подвес падают вместе с ним. Однако сила тяжести не равна нулю, потому что тело и опора падают вниз именно под ее действием. Тело, свободно падающее вниз, находится в состоянии невесомости. Свободное падение тела происходит под действием силы тяжести – силы всемирного тяготения. Все тела в космосе находятся под воздействием Земли, Луны, Солнца, планет, звезд и других небесных тел. Поэтому состояние невесомости можно определить следующим образом.

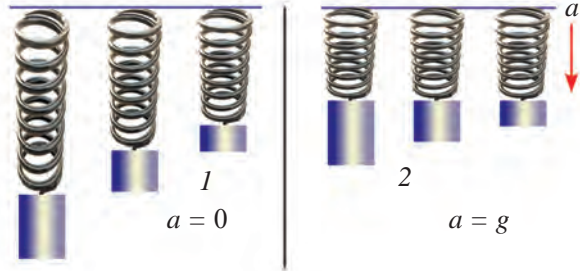


Рис. 96. Растяжение пружины при ускорении $a = 0$ (1) и $a = g$ (2)



Любое тело, которое совершает свободное движение только под действием силы всемирного тяготения, будет находиться в состоянии невесомости.

В состоянии невесомости находятся космический корабль, совершающий полет по орбите вокруг Земли, члены его экипажа, самолет, пикирующий с ускорением, равным ускорению свободного падения. В состоянии невесомости космонавт свободно плавает внутри космического корабля (рис. 97). В этом случае его вес равен нулю.



Рис. 97. Космонавт в состоянии невесомости

Когда быстро едущий автомобиль внезапно начинает двигаться вниз, мы ощущаем состояние невесомости. Состояние перегрузок и невесомости часто наблюдается при посещении парка отдыха в захватывающих дух аттракционах. При резком поднятии аттракциона вверх участники чувствуют на себе действие дополнительной силы, которая придавливает их к креслу, т.е. ощущают перегрузку. А при резком спуске вниз они движутся с ускорением свободного падения и ощущают невесомость.

Образец решения задачи

Силач поднял вверх лежащий на земле камень массой 64 кг. При этом камень приобрел ускорение $2,7 \text{ м/с}^2$. Найдите силу тяжести камня. Каков был вес камня в момент подъема?

<p><i>Дано:</i></p> <p>$m = 64 \text{ кг};$</p> <p>$a = 2,7 \text{ м/с}^2;$</p> <p>$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$</p> <hr/> <p><i>Найти:</i></p> <p>$F_T = ? P = ?$</p>	<p><i>Формула:</i></p> <p>$F_T = mg;$</p> <p>$P = mg + ma;$</p> <p>$P = m(g + a).$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>$F_T = 64 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 630 \text{ Н};$</p> <p>$P = 64 \text{ кг} \cdot (9,8 + 2,7) \text{ м/с}^2 = 800 \text{ Н}.$</p> <p><i>Ответ:</i> $F_T \approx 630 \text{ Н}; P = 800 \text{ Н}.$</p>
---	---	--



Опорные понятия: перегрузка, состояние невесомости тела.



1. Изменяется ли вес тела при его движении с ускорением в горизонтальном направлении?
2. Как изменяется вес космонавта при торможении и посадке на землю космического корабля?



1. Две книги с одной и той же массой 400 г, положенные друг на друга, поднимают вертикально вверх с ускорением 5 м/с^2 . С какой силой давит при этом на нижнюю книгу, та книга, которая находится сверху? А если их опускают вниз с таким же ускорением?
2. Тело массой 500 кг равномерно перемещается: а) вертикально вверх; б) горизонтально; в) вертикально вниз. Чему равна сила тяжести, действующая на тело во всех этих случаях и каков вес тела?
3. Вес тела массой 3 кг, которое поднимают вверх, достиг 39 Н. Найдите ускорение, с которым поднимают тело?

§ 30. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ ЗЕМЛИ

Движение тела, брошенного горизонтально

Какова траектория движения пули, выпущенной из ружья в горизонтальном направлении, самолета, у которого заглух мотор, и предметов, выброшенных из него, куда все они падают? Попробуем найти ответы на эти вопросы.

Предположим, что с башни высотой 80 м сбросили тело на землю вертикально вниз. Принимая ускорение $g = 10 \text{ м/с}^2$, а сопротивление воздуха ничтожно малым, с помощью формулы $h = gt^2/2$ можно вычислить, что за 1-ю секунду тело пройдет 5 м, за 2-ю – 20 м, за 3-ю – 45 м, за 4-ю – 80 м.

Пусть теперь тело брошено с высокой башни горизонтально с начальной скоростью v_0 . Совершая криволинейное движение под действием силы притяжения, тело упадет на землю на расстоянии s от подножия башни.

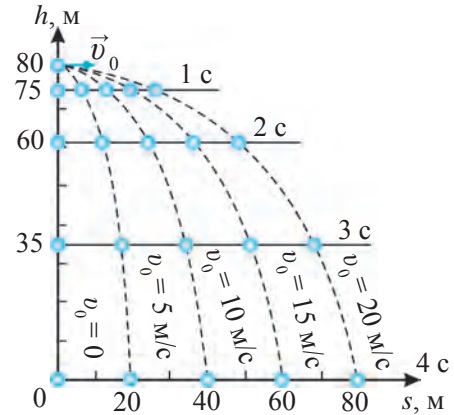


Рис. 98. Движение тела, брошенного с высоты в горизонтальном направлении

Остановимся на двух особенностях движения тела, брошенного с башни в горизонтальном направлении (рис. 98).

Во-первых, тело, сброшенное вертикально вниз с высоты 80 м, упадет на землю за 4 с. Тело, брошенное с этой высоты в горизонтальном направлении с начальной скоростью 5, 10, 15, 20 м/с, упадет на землю в каждом из этих случаев через те же 4 с. Даже высота тела в конце 1-й, 2-й, 3-й секунд будет той же, что и при свободном падении на землю.



Тело, сброшенное с высоты вертикально вниз, упадет на землю за то же время, что и тело, брошенное с высоты в горизонтальном направлении.

Во-вторых, тело брошенное горизонтально, за равные промежутки времени будет удаляться от башни на равные расстояния. Если спроецировать на поверхность земли криволинейную траекторию движения тела, то его проекция будет выражать прямолинейное равномерное движение. Поэтому расстояние от подножия башни до места падения тела будет:

$$s = v_0 t. \tag{1}$$

Если тело, как показано на рис. 98, брошено с башни высотой 80 м с начальной скоростью 5, 10, 15, 20 м/с, вычисляем расстояния, на которые оно будет удаляться от башни каждый раз. Принимая $t = 4 \text{ с}$, из формулы (1) находим расстояние для каждого значения начальной скорости v_0 :

- 1) при $v_0 = 5 \text{ м/с}$ $s = 5 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 20 \text{ м}$;
- 2) при $v_0 = 10 \text{ м/с}$ $s = 10 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 40 \text{ м}$;
- 3) при $v_0 = 15 \text{ м/с}$ $s = 15 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 60 \text{ м}$;
- 4) при $v_0 = 20 \text{ м/с}$ $s = 20 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 80 \text{ м}$.

Следовательно, тело, брошенное горизонтально, совершает два вида движения, т.е. продолжает прямолинейное горизонтально направленное движение с неизменной скоростью и под действием силы притяжения Земли с переменной скоростью свободно падает вертикально вниз с ускорением свободного падения.

Результирующая скорость тела, одновременно совершающего и вертикальное, и горизонтальное движение, выражается в виде суммы векторов:

$$\vec{v} = \vec{v}_\Gamma + \vec{v}_\text{в}.$$

где v_Γ – скорость тела в горизонтальном направлении; $v_\text{в}$ – скорость тела в вертикальном направлении.

Первая космическая скорость

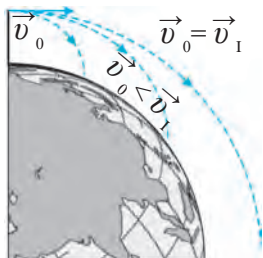


Рис. 99. Достижение космической скорости

Рассматривая движение тела, брошенного горизонтально, мы считали поверхность Земли плоской и не учитывали ее шарообразную форму. Если мы запустим тело, находящееся на высоте h в горизонтальном направлении со скоростью v , то оно под действием силы тяжести рано или поздно упадет на землю. Чем большей будет начальная скорость тела, тем большее расстояние оно пройдет вдоль поверхности Земли. При очень большой скорости горизонтально запущенного тела надо будет учитывать сферическую форму земной поверхности. После достижения определенного значения скорости тело вместо того, чтобы приближаться к Земле, будет отдаляться от нее (рис. 99). В результате при такой скорости тело не вернется на Землю и превратится в искусственный спутник, движущийся со скоростью v_1 по круговой орбите на высоте h над Землей.

Формула закона всемирного тяготения позволяет вычислять значение ускорения свободного падения не только на поверхности Земли, но и на высоте h от ее поверхности:

$$g_h = G \frac{M}{(R + h)^2}. \quad (2)$$

Значит, с увеличением высоты h ускорение свободного падения уменьшается. Известно, что при равномерном движении по окружности центростремительное ускорение тела определяется формулой $a = v^2/R$. Если тело, брошенное горизонтально на небольшом расстоянии от поверхности Земли (т.е. когда значение h намного меньше радиуса Земли R), оборачивается вокруг земного шара со скоростью v_1 , вместо ускорения a можно принять ускорение свободного падения. Тогда:

$$v_1^2 = gR. \quad (3)$$

Так как ускорение свободного падения равно $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, а радиус земного шара $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$, то по формуле (3) для v_1 получаем:

$$v_1 \approx 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с} \text{ или } v_1 \approx 7,9 \text{ км/с}. \quad (4)$$



Тело, брошенное горизонтально на небольшом расстоянии от земной поверхности, со скоростью 7,9 км/с движется по круговой орбите вокруг земного шара. Это значение скорости принято называть первой космической скоростью.

Образец решения задачи

Стоя на скале, мальчик бросил горизонтально в сторону озера камень со скоростью 15 м/с. Через 2 с после броска камень упал в воду. На какой высоте над уровнем озера находится скала? По проекции движения камня определите расстояние, на которое он упал. Учтите, что рука мальчика в момент броска была на высоте 1 м от скалы. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:

Формула:

Решение:

$$\begin{aligned} v_0 &= 15 \text{ м/с}; \\ t &= 2 \text{ с}; h_0 = 1 \text{ м}; \\ g &= 10 \text{ м/с}^2. \end{aligned}$$

$$h = \frac{gt^2}{2};$$

$$h_1 = h - h_0;$$

$$s = v_0 t.$$

$$h = \frac{10 \cdot 2^2}{2} \text{ м} = 20 \text{ м};$$

$$h_1 = (20 - 1) \text{ м} = 19 \text{ м};$$

$$s = 15 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} = 30 \text{ м}.$$

$$\text{Ответ: } h_1 = 19 \text{ м}; s = 30 \text{ м}.$$

Найти:

$$h_1 = ? s = ?$$



Опорные понятия: движение тела, брошенного горизонтально, первая космическая скорость



1. Вычислите ускорение свободного падения для: Земли ($R = 6400 \text{ км}$, $g_0 = 9,8 \text{ м/с}^2$); Марса ($R = 3400 \text{ км}$, $g_0 = 3,6 \text{ м/с}^2$); Венеры ($R = 6000 \text{ км}$, $g_0 = 8,4 \text{ м/с}^2$); Луны ($R = 1760 \text{ км}$, $g_0 = 1,7 \text{ м/с}^2$).
2. Найдите первую космическую скорость для планеты, масса и радиус которой в два раза больше, чем у Земли.



1. Тело брошено с башни в горизонтальном направлении со скоростью 8 м/с и через 3 с упало на землю. Найдите высоту башни. На каком расстоянии от башни упало тело? В этой и следующих задачах примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. Тело брошено с башни горизонтально с начальной скоростью 12 м/с и упало на землю в 60 м от подножия башни. Найдите время падения тела на землю и высоту башни.
3. Автомобиль движется со скоростью 80 км/ч, а самолет – 900 км/ч. Во сколько раз скорость каждого из них меньше первой космической скорости?

§ 31. ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Скорость, необходимая для движения ракеты по околоземной орбите

Если ракета движется по околоземной орбите на высоте нескольких сотен и тысяч метров с первой космической скоростью, то ее температура резко возрастает в результате сопротивления и трения воздуха, и она вспыхивает и сгорает. Но в безвоздушном пространстве движение ракеты с такой же скоростью возможно.

Пространство, находящееся на высоте нескольких сотен километров от Земли, можно считать почти безвоздушным. Ракеты, запущенные в космос, летают на такой высоте. Какой должна быть первая космическая скорость, чтобы ракета двигалась по круговой орбите вокруг Земли, например, на высоте $h = 300 \text{ км}$? Для этого в формуле первой космической скорости $v_1^2 = gR$ радиус R надо заменить на $R + h$. С увеличением высоты значение ускорения свободного падения начнет уменьшаться и на высоте 300 км от Земли оно будет равно $g = 9,0 \text{ м/с}^2$. Согласно вычислениям, чтобы ракета двигалась по круговой орбите на высоте 300 км от Земли, ей надо сообщить скорость 7,7 км/с.



Ракеты и космические корабли, запущенные в космическое пространство и совершающие орбитальное движение вокруг Земли, называются *искусственными спутниками Земли*.

Чтобы искусственный спутник двигался по околоземной орбите на высоте 300 км от поверхности Земли, ему надо сообщить скорость не менее 7,7 км/с. Для запуска искусственных спутников используются мощные ракетносители, поднимающие их на нужную высоту. Спустя некоторое время скорость ракеты достигает первой космической скорости и начинается горизонтальное движение искусственного спутника (рис. 100).

Освоение космоса

Впервые в истории человечества искусственный спутник Земли был выведен на орбиту 4 сентября 1957 г. Он имел форму шара и массу 83 кг. Мощный ракетноситель сообщил ему первую космическую скорость, так что он стал двигаться по орбите Земли и превратился в искусственный спутник.

12 апреля 1961 г. на космическом корабле «Восток» впервые совершил пилотируемый полет **Юрий Алексеевич Гагарин**. Он совершил один оборот вокруг нашей планеты и благополучно приземлился на Землю. С этого времени началось освоение и изучение в широких масштабах космического пространства. Сотни космонавтов и астронавтов на космических кораблях, обращающихся вокруг Земли, выполняют различные научные исследования.

В освоении космоса есть еще одна знаменательная дата – 21 июля 1969 г. впервые в истории человечества на поверхность Луны был доставлен пилотируемый модуль с астронавтами Н. Армстронгом, Э. Олдрином и М. Коллинзом.

Достойный вклад в освоение космоса внесли и наши соотечественники. Уроженец кишлака Искандар в Ташкентской области летчик-космонавт Владимир Джанибеков совершил пять полетов в космос (1978, 1981, 1982, 1984, 1985 гг.). За это время он дважды выходил в открытый космос и участвовал в ремонте корпуса космического аппарата. За заслуги в области космонавтики В. Джанибеков дважды удостоен звания героя (1978 и 1981 гг.). В 1985 г. ему присвоено звание генерал-майора авиации. В Ташкенте в честь нашего летчика-космонавта установлен его бюст.

22 января 1998 г. уроженец киргизского города Ош узбекский парень Салиджан Шарипов в составе

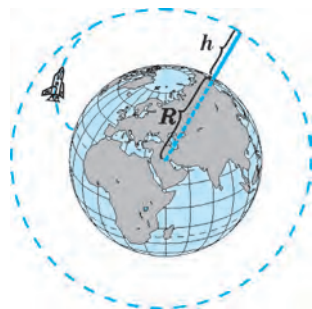


Рис. 100. Траектория движения ракеты по орбите на высоте h



Космонавт Владимир Джанибеков



Космонавт Салиджан Шарипов

международного экипажа совершил полет на космическом корабле, запущенном США. В 2004 г. С. Шарипов во второй раз отправился в



Рис. 101. Использование искусственных спутников Земли

космос, теперь в составе российского экипажа, и провел в космосе в течение длительного времени обширные научные исследования.

В настоящее время космонавтика получила еще большее развитие. В космическом пространстве работает множество управляемых с Земли искусственных спутников различных стран. Кроме выполнения космических исследований, искусственные спутники следят за состоянием атмосферы Земли, процессами, происходящими на земной поверхности, также обеспечивают радио-, телекоммуникации и сотовую телефонную связь на всей территории планеты (рис. 101).

В направлении всех планет Солнечной системы запущены управляемые с Земли космические аппараты, которые посылают на Землю различную информацию с других планет.

При изучении предыдущих тем мы познакомились с первой космической скоростью и вычислили ее значение. Существуют также

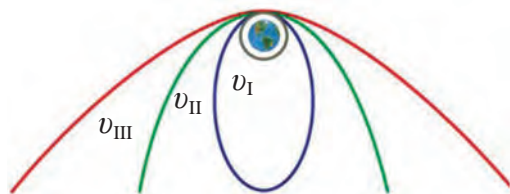


Рис. 102. Космические скорости

вторая и третья космические скорости. С возрастанием скорости изменяется и орбита движения, и спутник, вращающийся по окружности, начинает двигаться по эллипсоидной и параболической траекториям (рис. 102). Если сообщить искусственному спутнику скорость $v_{II} = 11,2$ км/с, он покинет околоземную орбиту и превратится в искусственный спутник Солнца. Это значение скорости $v_{II} = 16,7$ км/с называется **второй космической скоростью**. При движении с третьей космической скоростью $v_{III} = 16,7$ км/с ракета покинет Солнечную систему.



Опорные понятия: ракета, искусственный спутник, космос, космический корабль, вторая космическая скорость, третья космическая скорость.



1. Будет ли космонавт в невесомости, если выйдет из корабля в открытый космос?
2. Можно ли назвать движение искусственного спутника Земли равноускоренным движением?



1. Расстояние между центрами масс двух автомобилей массами по 1200 кг каждый составляет 5 м. С какой силой автомобили притягивают друг друга?
2. Найдите величину силы взаимного притяжения двух кораблей массами 8000 т и 12500 т, находящихся друг от друга на расстоянии 100 м.
3. Используя данные со стр. 99, найдите силу притяжения между Солнцем и Землей.
4. С какой силой притягивается к Земле дом массой 100 т?
5. Вес грузовика, стоящего на земле в состоянии покоя, равен 100 кН. Найдите массу грузовика.
6. Чему равна сила тяжести тела массой 1 кг, покоящегося на земле?
7. Лифт начал двигаться вверх с ускорением 5 м/с^2 . Каков вес мальчика массой 45 кг, находящегося в лифте?
8. Лифт начал двигаться вниз с ускорением $2,5 \text{ м/с}^2$. Каков вес человека массой 90 кг, находящегося в лифте?

§ 32. СИЛА ТРЕНИЯ. ТРЕНИЕ ПОКОЯ

Сила трения

Для того, чтобы остановить быстро едущий автомобиль, нужно затормозить. Санки, скатывающиеся с пригорка, перейдя на движение в горизонтальном направлении, постепенно снижают свою скорость и, наконец, останавливаются. В этих двух случаях имеет место изменение, т.е. снижение скорости. Известно, что любое изменение скорости обуславливается силой. Рассмотрим, теперь еще одну силу, которая изучается в механике, – силу трения. Для того, чтобы сдвинуть лежащий на земле груз, нужно воздействовать на него силой F в направлении движения (рис. 103). При этом появляется сила $F_{\text{тр}}$, оказывающая сопротивление движению груза и направленная противоположно.

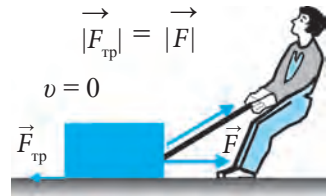


Рис. 103. Проявление силы трения



Сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого и препятствующая движению, называется *силой трения*.



Рис. 104. Проявление трения в шкиве

Трение не способствует появлению движения. Тогда возникает вопрос, почему его называют силой. Причина в том, сила трения замедляет движение. Значит, сила не только может способствовать движению, но и замедлять его. Для того, чтобы сдвинуть стопку книг, лежащих на столе, надо приложить силу и преодолеть силу трения. При нажатии на тормоз автомобиля он вскоре останавливается. Благодаря силе трения ременная передача приводит во вращение шкивы (рис. 104).



Первая причина возникновения силы трения – шероховатости соприкасающихся поверхностей.



Рис. 105. Вид сквозь лупу поверхностей тел

Даже на очень гладких поверхностях имеются неровности и царапины. Даже на кажущейся очень гладкой поверхности тел при рассмотрении сквозь лупу видны различные шероховатости (рис. 105). При скольжении или при качении одного тела по поверхности другого именно эти неровности служат причиной появления сил, препятствующих движению.



Вторая причина возникновения силы трения – взаимное притяжение соприкасающихся участков.

При тщательной обработке поверхностей молекулы соприкасающихся участков тел оказываются на очень малых расстояниях друг от друга. Благодаря взаимному притяжению молекул ощущается появление сил сцепления, направленных в сторону, противоположную движению.

Возникающие при этом силы трения бывают трех родов: *трение покоя, трение скольжения, трение качения*.

Трение покоя

Если тело находится в состоянии относительного покоя, сила трения держит его на месте и препятствует попыткам сдвинуть его с места. Так как эта сила возникает до начала движения, она называется *силой трения покоя*.

С помощью транспортера можно поднять грузы наверх. При этом сила, удерживающая грузы на ленте транспортера, – это сила трения покоя (рис. 106). При отсутствии этой силы грузы соскользнули бы вниз.



Рис. 106. Поднятие груза наверх с помощью транспортера

Мебель и другие предметы, находящиеся в комнате, неподвижно стоят на полу благодаря силе трения покоя. Если бы не было силы трения, эти предметы начали бы скользить по полу при любом толчке.

Для того, чтобы привести в движение предмет, стоящий на полу, в горизонтальном направлении, т.е. сдвинуть его, на него надо воздействовать силой, равной по величине силе трения покоя, но имеющей противоположное направление.

При ходьбе возникает сила трения покоя между поверхностью подошв и поверхностью дороги. Если бы не было силы трения, мы не смогли бы ходить и скользили бы, как при ходьбе по льду. Мы отталкиваем землю назад с силой F . Сила трения $F_{\text{тр}}$ направлена в сторону движения и равна по величине силе F (рис. 107).



Рис. 107. Проявление трения при ходьбе

Чтобы получить представление о том, как мы отталкиваем землю, можно для примера рассмотреть тредбан, используемый бегунами для тренировок. Если спортсмен бежит по тредбану вперед, отталкивая опору, ролики тредбана движутся в обратном направлении (рис. 108).

Сила трения покоя $F_{\text{тр.п}}$ изменяется пропорционально силе F : $F_{\text{тр.п}} = kF$; здесь k – коэффициент трения. Его значение зависит от материала взаимодействующего тела, гладкости поверхностей и др.

В повседневной жизни трение может быть полезным, а в некоторых случаях вредным.



Рис. 108. Движение роликов тредбана вследствие трения

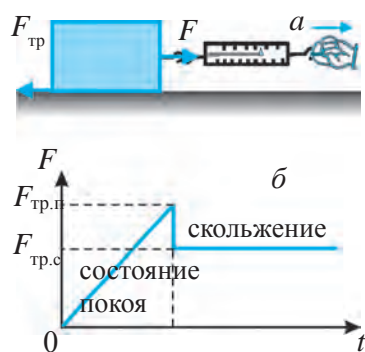


Рис. 109. Проявление силы трения покоя (а) и силы трения скольжения (б).

Например, в случае движения автомобиля по гололеду трение между колесами автомобиля и льдом должно быть большим, а при катании на коньках трение между коньками и льдом должно быть минимальным. По необходимости можно увеличивать или уменьшать трение. Для этого прежде всего надо измерить коэффициент трения.

Силу трения покоя можно измерить. Если положить деревянное тело на горизонтальную поверхность и тянуть его с помощью динамометра, то хотя тело и остается неподвижным, динамометр указывает на ее появление. И только при достижении некоторого предельного значения силы $F = F_{тр.п}$ тело сдвинется с места (рис. 109, а). Здесь $F_{тр.п}$ – сила трения покоя.



Сила, необходимая для того, чтобы вывести тело из состояния покоя, называется силой трения покоя.



Опорные понятия: сила трения, трение покоя, сила трения покоя.



1. Почему задние колеса некоторых грузовиков обматывают цепями?
2. Почему живую рыбу трудно удержать в руках?
3. Почему при завинчивании шурупов в детали, мастера намазывают шурупы?
4. Приведите примеры, когда трение полезно и когда оно вредно.

§ 33. ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ. ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Трение скольжения



Трение, возникающее при скольжении одного тела по поверхности другого, называется трением скольжения.

Например, трение скольжения возникает, когда мы тянем книги по поверхности стола. На рис. 109, а показано, что как только удастся

вывести тело из состояния равновесия, показания динамометра резко уменьшаются. Если продолжить тянуть тело динамометром, его показания останутся постоянными. Это постоянное значение динамометра равно силе трения скольжения $F_{\text{тр.с.}}$. Значит, сила трения скольжения меньше силы трения покоя (рис. 109, б).

Если положить на скользящее тело груз, то измеряемая сила трения возрастет. Как показывает опыт, сила F , действующая на горизонтально движущееся тело, прямо пропорциональна весу тела $P = mg$. Согласно третьему закону Ньютона, с какой силой тело действует на трущуюся поверхность, с такой же силой эта поверхность противодействует телу (рис. 110). Сила трения скольжения $F_{\text{тр.с.}}$ равна по величине силе F , действующей на тело. Эта сила противодействия называется **силой реакции** опоры – N . Эта сила всегда направлена перпендикулярно к поверхности. Значит, сила трения скольжения $F_{\text{тр.с.}}$ прямо пропорциональна силе реакции тела N :

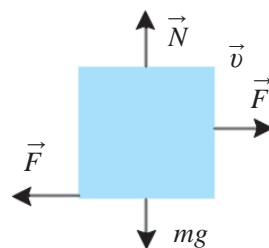


Рис. 110. Направление векторных величин при трении скольжения

$$F_{\text{тр.с.}} = \mu N \quad \text{или} \quad F_{\text{тр.с.}} = \mu mg, \quad (1)$$

где μ (мю) – коэффициент трения скольжения, величина которого зависит от материала соприкасающихся тел, гладкости поверхностей и многого другого. Коэффициент трения скольжения находится по формуле (1):

$$\mu = \frac{F_{\text{тр.с.}}}{N} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{F_{\text{тр.с.}}}{mg} \quad (2)$$

Значения коэффициента трения скольжения для ряда материалов приводятся в табл. 3.

Таблица 3

№	Материал	μ	№	Материал	μ
1	Медь по льду	0,02	5	Бронза по чугуну	0,2
2	Сталь по льду	0,04	6	Дерево по дереву	0,4
3	Сталь по стали	0,12	7	Кожа по чугуну	0,6
4	Сталь по бронзе	0,15	8	Резина по бетону	0,75

Трение качения



Если одно тело катится по поверхности второго без скольжения, то возникающее при этом трение называется *трением качения*.

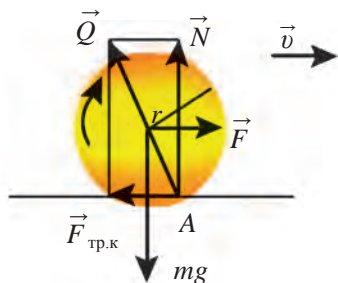


Рис. 111. Направления векторов при трении качения

Трение качения возникает при движении колес, при перекатывании бревна или бочки. Основная причина возникновения трения качения заключается в том, что на поверхности, которая соприкасается с колесом, под действием силы тяжести появляется деформация. Чем более жесткими будут поверхность колеса и поверхность, по которой оно катится, тем меньше она будет деформироваться при качении колеса и тем меньше будет сила трения качения

$F_{\text{тр.к}}$ (рис. 111). Именно поэтому на рельсах железнодорожного пути сила трения очень мала.

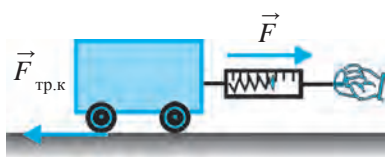


Рис. 112. Определение силы трения качения

Силу трения качения можно измерить. Тележку тянут с одинаковой скоростью при помощи прикрепленного к ней динамометра. При этом сила трения качения колес тележки $F_{\text{тр.к}}$ будет равна значению силы F , показанной динамометром (рис. 112). Разделив это значение на четыре, можно определить силу трения качения для каждого колеса тележки.

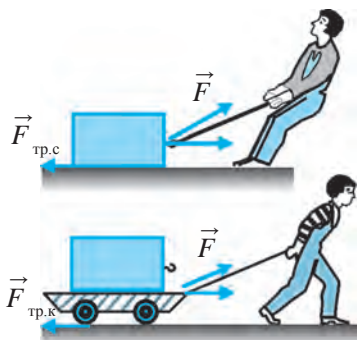


Рис. 113. Сравнение трения скольжения (а) с трением качения (б)

Сила трения качения $F_{\text{тр.к}}$ во много раз меньше силы трения скольжения $F_{\text{тр.с}}$ (рис. 113). Именно поэтому люди с древних времен для перемещения тяжелых грузов использовали бревна. Изобретение колеса стало одним из великих открытий человечества. Опыты показывают, что сила трения качения $F_{\text{тр.к}}$ прямо пропорциональна весу тела P и обратно пропорциональна радиусу r катящегося тела, т.е.:

$$F_{\text{тр.к}} = \mu_{\text{к}} \frac{P}{r}; \quad (3)$$

здесь $\mu_{\text{к}}$ – коэффициент трения качения. Его значение зависит от материала соприкасающихся тел, гладкости их поверхности и многих других обстоятельств. Приближенное значение коэффициента $\mu_{\text{к}}$ для стали по стали равно 0,2 мм, для резины шин автомобиля по асфальту – 2 мм. Для измерения силы трения деревянного бруска об пол прикрепим к бруску динамометр. Держа динамометр в горизонтальном положении, будем тянуть брусок по полу. Как только брусок начнет двигаться равномерно, динамометр покажет силу трения. Равномерное движение бруска укажет на то, что действующая сила и сила трения равны друг другу, но имеют противоположное направление. Положив на брусок груз, увидим, что трение стало большим по сравнению с ненагруженным бруском. Из формулы (3) находим коэффициент трения качения для бруска по полу:

$$\mu_{\text{к}} = F_{\text{тр.к}} \frac{r}{P} \quad \text{или} \quad \mu_{\text{к}} = F_{\text{тр.к}} \frac{r}{mg}. \quad (4)$$

Значит, чем больше радиус катящегося тела, тем больше коэффициент трения качения.

Образец решения задачи

Найдите силу трения качения между колесами автомобиля массой 2 т и асфальтом. Диаметр колеса автомобиля 1 м, коэффициент трения качения между резиной шин и асфальтом 2 мм, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$m = 2 \text{ т} = 2\,000 \text{ кг};$	$P = mg;$ $r = \frac{D}{2};$ $F_{\text{тр.к}} = \mu_{\text{к}} \frac{P}{r}.$	$P = 2000 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 20\,000 \text{ Н};$
$\mu_{\text{к}} = 2 \text{ мм} = 0,002 \text{ м};$		$r = \frac{1}{2} \text{ м} = 0,5 \text{ м};$
$D = 1 \text{ м}; g = 10 \text{ м/с}^2.$		$F_{\text{тр.к}} = 0,002 \text{ м} \cdot \frac{20\,000 \text{ Н}}{0,5 \text{ м}} = 80 \text{ Н}.$
<u>Найти:</u>		
$F_{\text{тр.к}} = ?$		<i>Ответ:</i> $F_{\text{тр.к}} = 80 \text{ Н}.$



Опорные понятия: трение скольжения, сила трения скольжения, коэффициент трения скольжения, трение качения, сила трения качения, коэффициент трения качения.



1. Объясните силу трения качения. Как выражается ее формула?
2. Приведите примеры проявления сил трения скольжения и трения качения в повседневной жизни.



1. По горизонтальной деревянной доске равномерно тянут маленькую доску массой 5 кг. Найдите силу трения скольжения. Здесь и ниже примите $g = 10 \text{ м/с}^2$, значение коэффициента трения приведено в тексте и таблице.
2. По горизонтальной стальной поверхности равномерно тянут изготовленное из стали тело массой 10 кг. С какой силой тянут тело?
3. По горизонтальной стальной поверхности равномерно катят стальной диск радиусом 10 см и массой 3 кг. Найдите возникшую при этом силу трения качения.
4. Диск из задачи 3, положив на бок, равномерно тянут по стальной поверхности. Найдите силу трения скольжения, сравните ее с найденной в задаче 3 силой трения качения и сделайте выводы.

§ 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

(Лабораторная работа 3)

Цель работы: закрепление знаний о трении скольжения путем определения коэффициента трения скольжения дощечки по деревянной линейке.

Необходимые принадлежности: длинная деревянная линейка, дощечка с крючком, динамометр, две гири массой 100 г и 200 г.

Порядок выполнения работы

1. Измерьте на весах массу дощечки и занесите в табл. 4.
2. По формуле $P = mg$ найдите вес дощечки.
3. Поместите дощечку на горизонтально лежащую линейку. Прикрепите к дощечке динамометр и равномерно тяните ее вдоль линейки, записывая показания динамометра в таблицу, считая их равными силе трения скольжения $F_{\text{тр.с}}$.
4. По формуле (4) из § 33 вычислите коэффициент трения скольжения.
5. Положите на дощечку сначала гирю массой 100 г, а затем гирю

массой 200 г и продолжите опыт. Для каждого из этих случаев найдите коэффициент трения скольжения и результаты запишите в таблицу.

6. По формуле $\mu_{\text{ср}} = (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)/3$ найдите среднее значение коэффициента трения скольжения и запишите результат в таблицу.

Таблица 4

№	m , кг	P , Н	$F_{\text{тр.с}}$, Н	μ	$\mu_{\text{ср}}$
1					
2					
3					

7. Найдите абсолютную и относительную погрешности.

8. Проанализируйте результаты лабораторной работы и сделайте выводы.

§ 35. ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

Значение трения

В природе и технике трение играет важную роль. Трение может быть полезным или вредным. Если трение оказывается полезным, его стараются увеличить, если вредным – уменьшить.

Представим себе, что случилось бы, если бы не было трения. Если бы не было трения, то ни люди, ни животные не смогли бы ходить по земле. При ходьбе мы отталкиваемся ногами от земли. По льду ходить трудно, так как сила трения мала. Если бы не было силы трения, предметы выскальзывали бы у нас из рук.

Для торможения колес вагона используется сила трения (рис. 114). Автомобиль останавливается при торможении благодаря силе трения. Если бы не было трения покоя, автомобиль не сдвинулся бы с места, колеса вращались бы, а автомобиль стоял бы на месте. Для увеличения силы трения на поверхность шины наносится протектор (рис. 115).

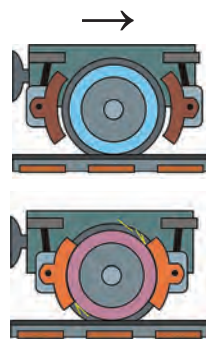


Рис. 114. Торможение колес вагона



Рис. 115.
Поверх-
ность шины
автомобиля

Сила трения покоя удерживает мебель на полу, гвозди, забитые в доску, не выпадают, узлы, завязанные на веревке, не развязываются.

Различным органам животных трение помогает выполнять функции удерживания. Например, усикам растений, хоботу слона, хвосту карабкающихся животных трение позволяет виться, держать предметы и удерживать равновесие.

Вредное трение и его уменьшение

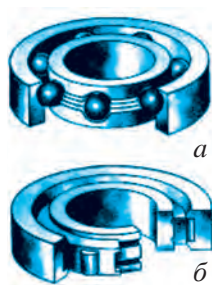


Рис. 116. Шари-
ковые (а) и
роликовые (б)
подшипники

Для предметов, движущихся по поверхности других предметов, трение во многих случаях вредно. В этих случаях используются различные средства уменьшения трения. Например, различные движущиеся части машин и станков в результате трения разогреваются и раскаляются. Для уменьшения трения их поверхности делают гладкими, используют смазку.

С целью уменьшения трения на вращающиеся валы машин и станков устанавливаются подшипники. Часть подшипника, непосредственно соприкасающаяся с валом, называется вкладышем и изготавливается из стали, чугуна или бронзы. На внутреннюю поверхность вкладыша наносится тонкий слой сплава свинца или олова и смазки. Когда вал вращается, он скользит по поверхности вкладыша. Такие подшипники называются подшипниками скольжения. Применение подшипников скольжения позволяет снизить силу трения между валом и вкладышем.

В технике широко используются шариковые и роликовые подшипники. Их применение оправдано тем, что сила трения качения гораздо меньше силы трения скольжения. В таких подшипниках вращающийся вал не скользит по неподвижному вкладышу, а катится по стальным шарикам и роликам (рис. 116).

Внутреннее кольцо подшипника изготавливается из высококачественной стали и надевается непосредственно на вал. Внешнее кольцо крепится к корпусу машины. При вращении вала внутреннее кольцо катится по шарикам или роликам. Шарики и ролики помещают между кольцами. При применении шариковых или роликовых подшипников сила трения качения меньше силы трения скольжения в 20–30 раз.

При спуске с горки колеса велосипеда вращаются, даже если не крутить педали. Это происходит потому, что на ось колеса надеты шариковые или роликовые подшипники. Если бы не было подшипников, движение велосипеда было бы затруднено.

Шариковые и роликовые подшипники используются во вращающихся частях автомобилей, станков, электродвигателей и др. Нельзя представить себе современную промышленность и транспорт без использования таких подшипников.

В период быстрого развития науки и техники налаживается производство подшипников с очень малой силой трения. Подшипники, поверхность которых выровнена и отшлифована на атомном и молекулярном уровне, отличаются еще меньшей силой трения. С целью уменьшения силы сопротивления воздуха или жидкости телам, движущимся с большой скоростью, придается овальная форма. Самолеты и подводные лодки, построенные в овальной форме, за счет уменьшения силы сопротивления способны набирать большую скорость и снижать расход топлива. Этим объясняется и овальная форма многих птиц и водных животных.

Для увеличения силы трения при гололеде дороги посыпают песком, солью и различными реагентами, тем самым предупреждая падение людей и автомобильные аварии. А при катании на лыжах и санях, наоборот, стараются уменьшить силу трения, смазывая лыжи и сани различными маслами.

Следует помнить, что сила трения возникает при непосредственном соприкосновении тел друг с другом и всегда направлена вдоль поверхности соприкосновения. Это свойство отличает силу трения от силы упругости, которая направлена перпендикулярно к поверхности соприкосновения.

Сила трения, действующая на движение тела, всегда направлена противоположно вектору направления движения. Значит, сила трения уменьшает численное значение скорости тела, и только под воздействием силы трения оно постепенно останавливается. Например, если перед движущимся автомобилем возникает преграда, водитель отпускает сцепление и нажимает на тормоз. Под действием силы трения автомобиль останавливается, проехав расстояние, называемое тормозным путем. Расчеты показывают, что это расстояние прямо пропорционально квадрату начальной скорости и обратно пропорционально силе трения.



Опорные понятия: подшипник, вкладыш, подшипник скольжения, шариковые и роликовые подшипники.



1. Предположите, что трение в природе исчезло, и выскажите свое мнение.
2. Какие вредные силы трения вы знаете?
3. В каких частях колеса автомобиля трение полезно, а в каких – вредно?
4. Почему тракторы, трамбовочные катки, детские коляски не изготавливаются в овальной форме?

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V

- ◆ Закон всемирного тяготения: Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, т.е.:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

- ◆ Сила тяжести – сила притяжения тел к Земле. Ее формула:

$$F_T = mg.$$
- ◆ Вес тела – сила, действующая на подвес или опору вследствие притяжения Земли. Вес тела в состоянии покоя равен $P = mg$, а вес тела, движущегося с ускорением a , направленным вертикально, – $P = m(g-a)$. При $a = g$ наблюдается состояние невесомости.
- ◆ Невесомость – это свободное движение тела, совершаемое только под действием гравитационных сил.
- ◆ Первая космическая скорость – это скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы его движение под влиянием земного притяжения происходило по орбите вокруг Земли. Ее значение следующее: $v_1 = 7,9$ км/с.
- ◆ Искусственный спутник Земли – это ракета и космические корабли, запущенные в космическое пространство и совершающие орбитальное движение вокруг Земли.
- ◆ Движению одного тела по поверхности другого препятствует сила трения. Сила трения направлена противоположно движению тела.

- ◆ Трение тел можно разделить на три вида: трение покоя, трение скольжения, трение качения.
- ◆ Сила трения покоя удерживает тело на одном месте и препятствует попыткам сдвинуть его с места.
- ◆ Трение скольжения проявляется при скольжении одного тела по поверхности другого. Сила трения скольжения пропорциональна весу тела: $F_{\text{тр.с}} = \mu P$.
- ◆ Трение качения возникает при качении одного тела по поверхности другого. Сила трения качения прямо пропорциональна весу катящегося тела и обратно пропорциональна его радиусу: $F_{\text{тр.к}} = \mu_{\text{к}} \frac{P}{R}$.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ V

1. Положите неподточенный карандаш на два указательных пальца и, держа карандаш в горизонтальном положении, постепенно приблизьте пальцы друг к другу. При этом вы увидите, что карандаш будет поочередно двигаться то к одному пальцу, то к другому. Повторив опыт с более длинной гладкой палочкой, вы увидите, что это произойдет более отчетливо. В чем причина такого интересного явления?

2. Почему сдвинуть с места покоящийся вагон труднее, чем заставить его двигаться с одинаковой скоростью?

3. В морском порту стоят два корабля на расстоянии 100 м друг от друга. С какой силой корабли притягиваются друг к другу, если масса каждого из них равна 1000 т?

4. Зная массу своего тела, массу и радиус Земли, вычислите, с какой силой вы притягиваетесь к Земле. Примите расстояние между вами и Землей, равным радиусу Земли.

5. Вычислите массу Солнца, приняв скорость вращения Земли вокруг Солнца, равной $v = 30$ км/с, а радиус орбиты Земли – $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м.

6. Ускорение космической ракеты при старте с Земли равно 30 м/с², а масса космонавта – 90 кг. Каким будет вес космонавта в кабине ракеты?

7. Какая сила необходима для того, чтобы поднять вертикально вверх тело массой 10 кг с ускорением 2 м/с^2 ?

8. Дальность горизонтального полета тела, брошенного горизонтально со скоростью $v = 10 \text{ м/с}$, равна высоте броска. С какой высоты h брошено тело?

9. Изменится ли вес тела при его движении с ускорением в горизонтальном направлении? Обоснуйте свой ответ.

10. Мальчик массой 50 кг спустился с горки на санях и, проехав горизонтально в течение 10 с расстояние 20 м, остановился. Найдите силу и коэффициент трения.

11. Почему слабый ветер способен сдвинуть с места айсберг, а сильный буран еле сдвигает маленький кусок льда на берегу?

12. Где сильнее скорость течения воды: на дне реки или на ее поверхности? Обоснуйте свой ответ.

13. По горизонтальной поверхности деревянной доски равномерно скользит деревянная дощечка массой 1 кг. Найдите возникающую при этом силу трения скольжения. Принять $\mu_c = 0,4$.

14. Трактор, тянущий прицеп с силой 10 кН, придает ему ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$. Какое ускорение придаст прицепу другой трактор, имеющий силу тяги 30 кН?

15. Найдите силу трения качения колес автомобиля массой 1200 кг, равномерно движущегося по асфальтовой дороге. Радиус колес 30 см. Принять $\mu_k = 0,1$ см.

16. На брусок массой 0,5 кг положили груз в 7 кг и тянут по горизонтальной поверхности с помощью пружины. Каким будет удлинение пружины, если коэффициент трения доски о горизонтальную поверхность равен 0,2, а жесткость пружины 150 Н/м?

17. Найдите радиус самой малой дуги поворота для автомобиля, едущего по горизонтальной дороге со скоростью 36 км/ч. Коэффициент трения скольжения колес автомобиля о дорогу равен 0,25.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

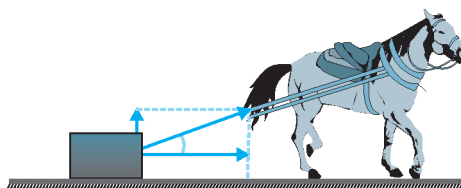
Если известны силы, действующие на тело, то законы Ньютона дают возможность решать относящиеся к ним задачи механики. Но во многих случаях эти силы неизвестны, так что непосредственно применить законы Ньютона не удастся. Например, при столкновении двух тел бывает трудно определить значения сил, действовавших на тела. Мы знаем, что при этом появляются силы упругости. Но деформация, возникающая при этом, будет очень велика, а время действия сил очень мало. В таких случаях при решении задач оказываются полезными следствия из законов Ньютона и, в частности, новые физические величины – *импульс* и *энергия*. **Неизменность**, т.е. **сохранение** этих величин в течение рассматриваемого процесса облегчает анализ многих явлений и позволяет приводить сложные задачи к достаточно простому виду.

Импульс и энергия и законы сохранения, которым они удовлетворяют, широко используются не только в механике, но и в других разделах физики.

Глава VI. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА



Глава VII. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ





Глава VI ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

§ 36. ИМПУЛЬС

Импульс силы

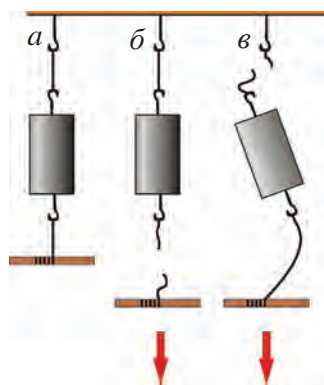


Рис. 117. Разрыв нити при резком (*б*) и медленном (*в*) натягивании

Для приведения в движение неподвижно стоящей тележки и придания ей определенной скорости можно использовать два способа: толкнуть тележку другой тележкой, движущейся с большой скоростью, или медленно тянуть ее под действием небольшой силы. При обоих способах тележка начнет двигаться с одинаковой скоростью: под действием большой силы за короткий промежуток времени и под действием небольшой силы – за длительный. Значит, результат взаимодействия тел связан не только с силами, вызвавшими это взаимодействие, но

и временем, в течение которого оно происходило. Чтобы убедиться в этом, проведем следующие опыты.

Опыт 1. Подвесим тело к подвесу на нити так, как показано на рис. 117, *а*. Сначала резко дернем тело за нить (рис. 117, *б*), при этом оборвется нижняя часть нити, так как, согласно первому закону Ньютона, тело стремится сохранить свое спокойное состояние и не успевает воздействовать силой на верхнюю нить. Теперь медленно потянем тело за прикрепленную нить снизу. При этом оборвется верхняя часть нити, которая поддерживает тело (рис. 117, *в*). В этом случае к силе, прикладываемой нами, прибавляется сила тяжести тела.

Опыт 2. Положим на стол две гладко отполированные дощечки. К нижней дощечке привязана нить. Если медленно потянуть за нить, то обе дощечки, не меняя взаимного положения, будут скользить по столу, как одно тело (рис. 118, а). Если теперь сильно дернуть за нить, то верхняя дощечка заскользит по нижней и останется позади нее или упадет (рис. 118, б).

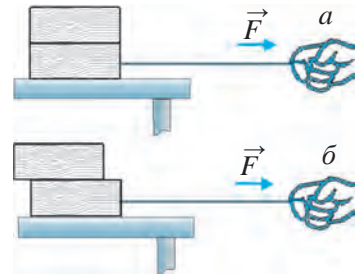


Рис. 118. Положение верхней дощечки при медленном (а) и резком (б) натяжении нити

Из опытов следует, что взаимодействие тел связано не только с действием сил, но и со временем, в течение которого это действие происходило. Поэтому вводится понятие импульса тела. Слово «импульс» происходит от латинского *impulsus* – толчок.



Импульс силы равен произведению силы, действующей на тело, на время действия этой силы.

То есть
$$\vec{I} = \vec{F} \cdot t. \quad (1)$$

В системе СИ за единицу импульса силы принят ($\text{Н} \cdot \text{с}$). $1 \text{ Н} \cdot \text{с}$ – это импульс силы в 1 Н, действовавшей в течение 1 с.

Импульс силы – векторная величина, ее направление совпадает с направлением силы.

Импульс тела

Для того, чтобы расколоть орех, достаточно слегка ударить по нему большим камнем. При сильном ударе орех расколется вдребезги. Если камень небольшой, то для того, чтобы расколоть орех, надо бить по нему с большой скоростью. Значит, удар движущегося тела зависит от его массы и скорости.

При забивании гвоздя в деревянную доску скорость ударов молотка может быть большой или малой. При большой скорости сила удара по величине больше, чем при малой скорости. При этом масса молотка одна и та же, изменилась лишь скорость ударов. Следовательно, при одинаковой массе воздействующего тела возрастание скорости ведет и к возрастанию импульса.

Теперь возьмем два разных по величине молотка и будем ударять ими с одинаковой скоростью. При этом удар молотка большей массы будет, естественно, больше. Значит, при одинаковой скорости двух тел тело с большей массой будет иметь больший импульс.

Удар, который нанесет стене попавшее в нее тело массой 10 г, движущееся со скоростью 10 м/с, будет слабее удара, который получит стена, если в нее попадет движущееся с такой же скоростью тело массой 100 г.

Предположим, что пуля массой 10 г, вылетевшая из ствола винтовки, движется со скоростью 600 м/с. Если пуля попадет в тонкую доску, она пробьет ее, так как удар, который нанесет пуля, будет в 60 раз сильнее того, с которым ударится в стену тело той же массы, но со скоростью 10 м/с.

Из рассмотренных выше примеров можно сделать следующие выводы:



1. Чем большей будет масса движущегося тела при неизменной скорости, тем сильнее будет нанесенный им удар.
2. Чем большей будет скорость движущегося тела, тем сильнее будет нанесенный им удар.

Итак, для характеристики движения тела следует рассматривать массу и скорость тела не по отдельности, а в совокупности. С этой целью вводится понятие *импульса тела*.



Импульсом \vec{p} тела (или количеством движения) называется произведение массы тела на его скорость.

То есть
$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (2)$$

В системе СИ за единицу импульса тела принят $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

$1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ – это импульс тела массой 1 кг, движущегося со скоростью 1 м/с.

Импульс тела – векторная величина, его направление совпадает с направлением скорости.

Связь между импульсом силы и импульсом тела

Пусть скорость тела, которое двигалось с начальной скоростью \vec{v}_0 , за время t изменилась в результате взаимодействия с другим телом и стала равной \vec{v} . В этом случае тело совершает равнопеременное движение. Ускорение, которое тело получило в результате взаимодействия, выражается формулой

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}. \quad (3)$$

Если тело массой m действует на другое тело с силой F , то, согласно второму закону Ньютона, для ускорения имеет место формула

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (4)$$

Уравнивая обе формулы ускорения, находим

$$\frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \quad \text{или} \quad \vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что в этой формуле $\vec{F}t$ – импульс силы, $m\vec{v}_0$ – импульс тела до взаимодействия, $m\vec{v}$ – импульс тела после взаимодействия, приходим к выводу, что правая сторона формулы выражает изменение импульса тела, т.е.

$$m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \vec{p} - \vec{p}_0 = \Delta\vec{p}. \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) получаем

$$F = \frac{\Delta p}{t} \quad \text{или} \quad \Delta p = F \cdot t. \quad (7)$$



Изменение импульса тела в единицу времени равно силе, действующей на это тело.

Отсюда вытекает следующий вывод:



Изменение вектора импульса тела под действием постоянной силы равно произведению этой силы на время ее воздействия.

Возникает вопрос, нужно ли преодолевать инерцию тела, чтобы привести его в движение. При воздействии на тело силы оно не препятствует попытке привести его в движение.

Рассмотрим формулу (5) в случае $v_0 = 0$:

$$\vec{F}t = m\vec{v}.$$

В этой формуле скорость $v = 0$ при $t = 0$, так как масса любого тела не равна нулю. Значит, для того, чтобы привести в движение тело, воздействуя на него силой, требуется определенное время. Чем больше масса тела, тем больше времени потребуется, чтобы привести его в движение. Именно поэтому нам кажется, что сила преодолевает инерцию тела.

Так как при прямолинейном движении тела направление силы и скорость совпадают, формулу можно записать в скалярном виде:

$$Ft = mv - mv_0.$$

Следовательно, импульс тела можно количественно изменить двумя способами: воздействуя большой силой за короткое время и воздействуя малой силой за длительное время. На практике мы часто встречаем эти способы. Например, камень можно разбить за короткий промежуток времени одним сильным ударом и раздробить его в течение долгого времени, капая на него водой. Формула (5) является выражением второго закона Ньютона в общем виде.

Образец решения задачи

Найдите импульсы тела велосипеда и автомобиля, едущих со скоростью 27 км/ч. Примите массу велосипеда (вместе с велосипедистом) 100 кг, а массу автомобиля – 1200 кг.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$m_b = 100 \text{ кг};$ $m_a = 1200 \text{ кг};$ $v_b = v_a = 27 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$	$p_b = m_b v_b;$ $p_a = m_a v_a.$	$p_b = 100 \text{ кг} \cdot 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 750 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$ $p_a = 1200 \text{ кг} \cdot 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 9\,000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$
<hr style="width: 25%; margin-left: 0;"/> <i>Найти:</i> $p_b = ? p_a = ?$	<i>Ответ:</i> $p_b = 750 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}; p_a = 9\,000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$	



Опорные понятия: импульс, импульс силы, импульс тела.



1. Приведите примеры импульса силы и импульса тела.
2. Можно ли сказать, что тело обладает импульсом потому, что на него воздействовали силой?

У
24

1. За нить, прикрепленную к телу, потянули с силой 10 Н в первый раз в течение 2 с, а во второй раз в течение 0,1 с. Найдите в обоих случаях импульс силы, действующей на тело.
2. Тело массой 2 кг ударило в стену со скоростью 5 м/с и полностью потеряло скорость. Найдите импульс силы, действовавшей на тело.
3. Шарик массой 100 г и скоростью 5 м/с ударился о второй шарик и продолжил движение в том же направлении со скоростью 0,2 м/с. Найдите изменение его импульса.

§ 37. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Замкнутая система

В физике группа анализируемых тел называется системой. Силы взаимодействия между телами, входящими в систему, называются *внутренними силами*. Силы, возникающие в результате взаимодействия тел, находящихся внутри системы, с телами вне этой системы, называются *внешними силами*.



Если система тел не взаимодействует с другими телами или если внешние силы взаимно уравновешиваются, то такая система тел называется замкнутой.

При запуске с Земли космического корабля систему, состоящую из Земли и корабля, можно считать замкнутой, потому что в этом случае можно пренебречь действием на корабль Солнца, Луны и других небесных тел.

Если на горизонтальной поверхности сталкиваются несколько шаров, то, пренебрегая трением шаров о поверхность стола, систему этих шаров можно считать замкнутой.

Столкновение тел при равенстве их масс и скоростей

Опыт 1. Установим на рельсы две тележки массой m каждая, как показано на рис. 119. Сила тяжести тележек и сила реакции рельсов взаимно уравновешены. Поэтому рассматриваемую систему можно считать замкнутой. На одной стороне

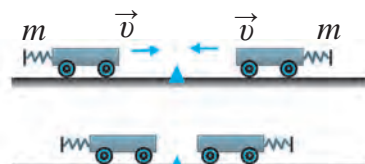


Рис. 119. Равенство нулю импульса каждой тележки

тележек прикреплены пружинные буферы. На другой стороне первой тележки приклеен кусок пластилина. Сообщим тележкам одну и ту же скорость v . При этом импульс первой тележки равен mv . Скорость второй тележки равна скорости первой, но направлена противоположно. Поэтому импульс второй тележки равен $-mv$. Тогда сумма импульсов обеих тележек будет равна нулю:

$$mv + (-mv) = mv - mv = 0.$$

После столкновения они прилипнут друг к другу благодаря пластилину, и снова сумма их импульсов будет равна нулю.

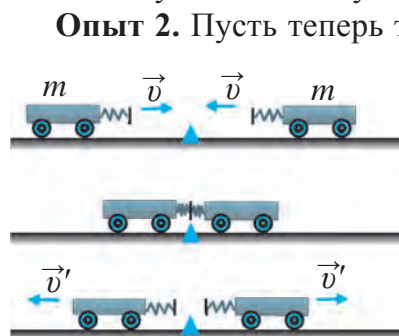


Рис. 120. Равенство нулю суммы импульсов тележек после столкновения

Опыт 2. Пусть теперь тележки обращены друг к другу пружинными буферами, как на рис. 120. Сообщим тележкам равные по величине, но противоположно направленные скорости v . Как и в первом случае, сумма импульсов тележек до столкновения будет равна нулю. Но после столкновения импульс каждой тележки будет отличен от нуля, так как после столкновения они разъедутся со скоростями v' , снова равными по величине, но противоположно направленными. При этом сумма их импульсов будет равна:

$$m(-v') + mv' = -mv' + mv' = 0.$$

Таким образом, и в этом случае сумма импульсов тележек до и после столкновения не изменится и будет равна нулю.

Импульс тел с разными массами и скоростями

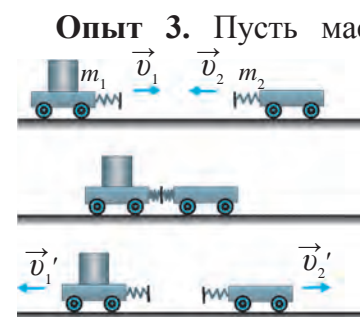


Рис. 121. Столкновение тележек различной массы

Опыт 3. Пусть массы тележек различны — m_1 и m_2 . Поставим их на рельсы, как показано на рис. 121, и сообщим первой тележке скорость v_1 , а второй — противоположно направленную скорость v_2 . После столкновения тележки разъедутся со скоростями v_1' и v_2' . В результате силы, действующие на каждую тележку, будут равны друг другу, но направлены противоположно. Поэтому для второй тележки силу надо брать со знаком «минус».

Найдем изменение импульсов тележек. Изменение импульса первой тележки:

$$\vec{F}t = m_1\vec{v}_1' - m_1\vec{v}_1.$$

Изменение импульса второй тележки:

$$-\vec{F}t = m_2\vec{v}_2' - m_2\vec{v}_2.$$

Сложим почленно эти равенства:

$$0 = m_1\vec{v}_1' - m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2' - m_2\vec{v}_2$$

или

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'. \quad (1)$$

В левой части равенства – сумма импульсов тележек до столкновения, а в правой – после столкновения. Следовательно, после столкновения тележек сумма их импульсов не изменяется, т.е. сохраняется.

Формулировка закона сохранения импульса

Как видно из изложенного, в результате взаимодействия двух тел в замкнутой системе их импульс сохраняется. Можно доказать, что и в случае замкнутой системы, состоящей из более чем двух тел, сумма их импульсов останется неизменной:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \text{const}. \quad (2)$$

В общем случае закон сохранения импульса формулируется следующим образом.



Векторная сумма импульсов тел замкнутой системы сохраняется неизменной независимо от их взаимодействия и времени.

Этот закон имеет место только тогда, когда на систему не действуют внешние силы. Закон сохранения импульса – один из основных законов физики. Он справедлив не только для макроскопических тел, но и для взаимодействующих молекул, атомов и элементарных частиц (рис. 122). Если замкнутая система состоит из одного тела, т.е., если нет силы, действующей на тело, его импульс не изменяется.

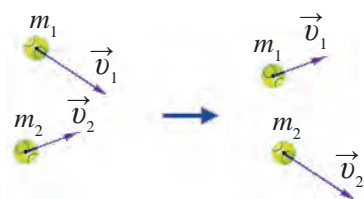


Рис. 122. Импульс сталкивающихся частиц

Это указывает на закон инерции, т.е. на неизменность скорости тела.

Знание механики взаимодействующих тел означает знание того, каким будет движение тел после столкновения. Результирующая скорость зависит от упругости или неупругости столкновения. При неупругом столкновении оба тела после столкновения движутся совместно и набирают одинаковую скорость. Поэтому импульс системы тел после столкновения выражается так:

$$(m_1+m_2)v.$$

Основываясь на закон сохранения импульса, уравняем импульсы до и после столкновения:

$$m_1v_1+ m_2v_2 = (m_1+m_2)v. \quad (3)$$

Из формулы (3) находим скорость v :

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Если принять направление скорости v_1 положительным, то знак «плюс» перед скоростью v будет указывать на то, что тела после столкновения движутся в направлении v_1 , а знак «минус» – на то, что они движутся в противоположном направлении. Например, если тело массой 3 кг и скоростью 8 м/с неупруго столкнется со вторым телом массой 2 кг и скоростью 10 м/с, то каждое из них обретет следующую скорость:

$$v = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 10}{3 + 2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

С какой скоростью при упругом столкновении тела приближаются друг к другу, с такой же скоростью они удаляются друг от друга. До столкновения скорость приближения тел друг к другу равна $v_2 - v_1$, а после столкновения скорость их удаления равна $v_2' - v_1'$. При упругом столкновении эти разности равны друг другу: $v_2 - v_1 = v_2' - v_1'$.

Мы рассмотрели два предельных состояния столкновения тел, т.е. абсолютно упругое и абсолютно неупругое столкновения. В природе чаще встречаются не полностью упругие столкновения, т.е. после такого столкновения тела не могут восстановить свое состояние.

Закон сохранения импульса широко применяется в технике. Наиболее ярко этот закон проявляется в теории реактивного движения. При планировании полетов космических аппаратов с помощью закона сохранения импульса рассчитывается расход топлива.

На народных гуляниях показывают удивительный номер. На грудь силача, лежащего на земле, укладывают большой кусок железа и наносят по нему удары молотком. Зрителей удивляет то, как силач выдерживает такие удары. Объясняется же это законом сохранения импульса. Согласно формуле (4), во сколько раз масса куска железа больше массы молотка, во столько же раз скорость, сообщенная куску железа молотком, меньше скорости ударов молотка. Поэтому выбирается такой большой кусок железа, который, однако, не может придавить силача.

Образец решения задачи

Железнодорожный вагон массой 50 т на скорости 8 км/ч столкнулся с неподвижно стоявшим вагоном массой 30 т. Найдите скорости вагонов после столкновения.

<p><i>Дано:</i></p> $m_1 = 50 \text{ т};$ $m_2 = 30 \text{ т};$ $v_1 = 8 \text{ км/ч};$ $v_2 = 0, v_1' = v_2'.$	<p><i>Формула:</i></p> $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2';$ $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_1';$ $v_1' = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$	<p><i>Решение:</i></p> $v_1' = \frac{50 \cdot 8}{50 + 30} \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 5 \text{ км/ч}.$
<p><i>Найти:</i></p> $v_1' = v_2' = ?$		<p><i>Ответ:</i> $v_1' = v_2' = 5 \text{ км/ч}.$</p>



Опорные понятия: замкнутая система, закон сохранения импульса.



1. Дайте определение замкнутой системы и поясните на примерах.
2. Чему будет равна сумма импульсов тел с одинаковыми массами и одинаковыми по величине, но противоположно направленными скоростями до столкновения?
3. Чему будет равна сумма импульсов этих же тел после столкновения?



1. Железнодорожный вагон массой 30 т, движущийся со скоростью 2 м/с, столкнулся с неподвижно стоящим вагоном, после чего оба вагона начали двигаться со скоростью 1 м/с. Найдите массу второго вагона.
2. Мальчик, масса которого равна 50 кг, бежавший со скоростью 6 м/с, догнал тележку массой 30 кг, которая двигалась со скоростью 2 м/с, и запрыгнул на нее. Чему равна скорость тележки с мальчиком?

3. В опыте 3 (рис. 121) массы тележек 1 и 0,5 кг, а скорости до столкновения равны 2 и 3 м/с соответственно. Найдите скорость, которую после столкновения приобрела вторая тележка, если первая тележка стала двигаться после столкновения со скоростью 1,5 м/с.

§ 38. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Понятие о реактивном движении

Если мы надуем воздушный шар воздухом и, не завязывая отверстие, выпустим его из рук, шар улетит по необычной траектории. При этом выполняется закон сохранения импульса – воздух с большой скоростью будет вылетать из отверстия шара в одну сторону, а сам шар устремится в противоположную сторону. Это явление может служить примером реактивного движения.



Если некоторая часть замкнутой системы выбрасывается из нее с определенной скоростью, то возникающее в результате этого движение системы в направлении, противоположном этой скорости, называется реактивным движением.

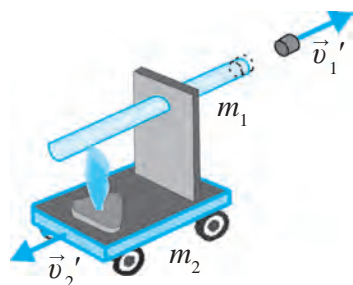


Рис. 123. Реактивное движение, возникшее в направлении, противоположном движению пробки

Чтобы получить представление о реактивном движении, проведем следующий опыт.

Наберем в пробирку воду до половины ее объема, закроем пробирку пробкой и установим на тележку так, как показано на рис. 123. Начнем подогревать воду в пробирке. Когда вода в пробирке закипит, пробка вылетит из пробирки под давлением пара, а тележка откатится в противоположном направлении под действием силы, противодействующей давлению пара. Эта сила называется **реактивной силой**.

Пусть, например, масса пробки $m_1 = 10$ г, а масса тележки (вместе с горючим и пробиркой) $m_2 = 500$ г, их начальные скорости $v_1 = v_2 = 0$, а скорость полета пробки $v_1' = 10$ м/с. По закону сохранения импульса вычислим реактивную скорость v_2' , которую приобретает тележка при вылете пробки.

Так как в равенстве $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ $v_1 = v_2 = 0$, его левая часть равна нулю: $0 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$. Отсюда $v_2' = -m_1 v_1'/m_2$

или $v_2' = -0,2$ м/с. Чтобы отчетливо представить себе действие реактивной силы, проведем опыт, изображенный на рис. 124, а. Вода выбрасывается со скоростью v_1 , а трубка под действием реактивной силы движется в противоположном направлении со скоростью v_2 . А в опыте, показанном на рис. 124, б, вода выбрасывается из двух отверстий согнутой стеклянной трубки. В результате возникает реактивное движение, направленное противоположно движению воды, и стеклянная трубка начинает вращаться. Эта система называется пропеллером Сегнера.

Реактивное движение можно создать также при помощи воздуха. На рис. 125 показан основной элемент установки для создания реактивного движения. В ней свободно вращающийся диск установлен на неподвижной трубке с помощью подшипника. Сжатый воздух по трубке проникает внутрь диска. Под действием давления воздух вырывается наружу по касательной через закрепленные по краям диска четыре трубки. Этим самым создается реактивное движение, вращающее диск в противоположном направлении.

Вспомогательный элемент установки служит для создания сжатого воздуха. В качестве вспомогательного элемента можно использовать пылесос. При подаче по шлангу из пылесоса сжатого под большим давлением воздуха диск за счет реактивного движения вращается с большой скоростью. В качестве вспомогательного элемента можно использовать также надутый воздушный шар.

Устройство ракеты и ее действие

Начиная с 50-х годов XX века, в космос запускаются во все большем количестве космические корабли и искусственные спутники Земли. Они выводятся на орбиту с помощью ракет-носителей.



Ракета – летательный аппарат, движущийся под действием реактивных сил.

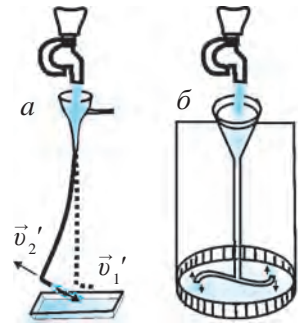


Рис. 124. Реактивное движение, возникшее в направлении, противоположном движению воды

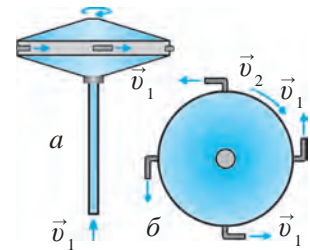


Рис. 125. Установка для создания реактивного движения с помощью воздуха: а – вид сбоку; б – вид сверху

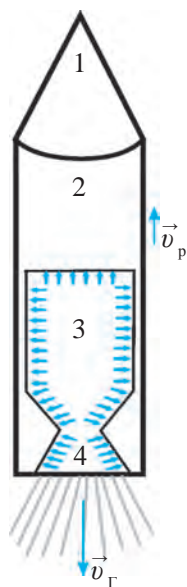


Рис. 126.
Схема устройства ракеты

Движение ракеты основано на реактивном движении. Структурная схема ракеты изображена на рис. 126. Ракета состоит в основном из четырех частей. В части 1 размещен выводимый на орбиту искусственного спутника Земли космический корабль или сам искусственный спутник. В части 2 находятся топливные баки и устройства для запуска ракеты. В части 3 располагаются камеры сгорания, где сжигается ракетное топливо и образуются газы, находящиеся при высоком давлении и температуре. Эти газы с большой скоростью вырываются наружу через сопло (часть 4). Сопло увеличивает скорость истечения газов.

В результате, согласно закону сохранения импульса, возникает реактивная сила, приводящая ракету в движение по направлению, противоположному направлению истечения газов (рис. 127).

Пусть масса выбрасываемых через сопло ракеты газов m_r , скорость v_r , масса ракеты m_p , приобретенная ею реактивная скорость v_p . Воспользовавшись законом сохранения импульса, можем записать следующее равенство:

$$m_r \vec{v}_r + m_p \vec{v}_p = 0 \quad \text{или} \quad \vec{v}_p = - \frac{m_r \vec{v}_r}{m_p}.$$

Из этой формулы видно, что чем меньше масса ракеты, тем больше ее скорость. Так как большая часть массы ракеты приходится на топливо, которое сгорает в процессе вывода ракеты на орбиту, то с уменьшением его массы уменьшается и масса ракеты, следовательно, возрастает ее скорость. После достижения требуемой высоты на орбиту искусственного спутника выводится космический корабль (искусственный спутник), а ступени ракеты, служившие для вывода ракеты на орбиту, отделяются от головной части и сгорают в атмосфере.

Закон сохранения импульса, лежащий в основе реактивного движения, широко используется в космонавтике. В создание ракетной техники внесли большой вклад русские ученые К.Э.Циолковский (1852–1935), С.П.Королев (1906–1966), М.В.Келдыш (1911–1978), а также В. Браун (1912–1976), Г. Оберт (1894–1989) и др. Ныне космонавтика развивается стремительными темпами.



Рис. 127.
Пуск ракеты



Опорные понятия: реактивное движение, ракета, космонавтика.



1. Что называется реактивным движением? Объясните суть реактивного движения на основе закона сохранения импульса.
2. Объясните опыты, изображенные на рис. 123–124.
3. Расскажите об устройстве ракеты.
4. На основании какого закона ракета поднимается в космос.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ VI

1. Почему наша рука, в которой мы держим кирпич, не чувствует сильной боли при ударе молотком по кирпичу?
2. Что должен делать космонавт, чтобы без помощи других вернуться в ракету из открытого космоса?
3. Когда мы толкаем лодку, находясь на берегу, она сдвигается. Почему лодка остается неподвижной, когда мы толкаем лодку, находясь в ней?
4. При попытке потянуть тело за нить, к которой оно привязано, в течение $0,05$ с с силой 20 Н тело не сдвинулось. Когда же нить тянули в течение 2 с с такой же силой, тело сдвинулось с места. Найдите импульсы силы для обоих случаев и сравните их.
5. Камень массой 20 г, летящий со скоростью 15 м/с, ударился о стекло, но не разбил его. Но при ударе о стекло камня массой 100 г, летящего с той же скоростью, оно разбилось. Стекло разбилось также при ударе камня массой 20 г, летящего со скоростью 60 м/с. Вычислите и сравните импульсы тела для всех трех случаев. Почему в первом случае стекло не разбилось?
6. Камень массой 100 г брошен со скоростью 5 м/с в горизонтальном направлении. Каким был импульс камня в момент полета?
7. Два автомобиля массами 1200 кг, двигавшиеся навстречу друг к другу, столкнулись. Каким был импульс автомобилей при столкновении, если скорости их были равны соответственно 90 и 120 км/ч? Каким был бы импульс автомобилей, если бы их скорости составляли 36 и 54 км/ч соответственно? В каком случае ущерб от столкновения будет больше и почему?

8. Шарик массой 400 г, движущийся по горизонтальной поверхности со скоростью 1 м/с, ударился о второй шарик и продолжил движение со скоростью 0,4 м/с. На сколько изменился импульс первого шарика в момент столкновения?
9. Вагон массой 60 т, двигавшийся со скоростью 3 м/с, столкнулся с неподвижно стоящим вагоном массой 40 т. Найдите скорость вагонов после столкновения?
10. Мальчик, масса которого равна 40 кг, бежавший со скоростью 4 м/с, догнал тележку массой 20 кг, которая двигалась со скоростью 1 м/с, и запрыгнул на нее. Чему равна скорость тележки вместе с мальчиком?
11. На песок, находящийся в движущейся тележке, упало тело. В каком случае при том же направлении движения тележки ее скорость уменьшится? В каком случае она остановится, а в каком сдвинется назад?
12. Человек массой 70 кг прошел из одного конца лодки в другой расстояние в 5 м. На сколько метров сдвинется лодка по отношению к воде?
13. Шарик массой 100 г, движущийся по горизонтальной поверхности со скоростью 0,5 м/с, ударился о второй шарик и продолжил движение со скоростью 0,2 м/с. На сколько изменился импульс первого шарика в момент столкновения?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ПРОЙДЕННЫМ ТЕМАМ

1. Какие меры принимаются в технике для уменьшения силы трения?
А) чистка; В) мойка; С) трение; D) смазка.

2. Относительно чего находится в состоянии покоя человек, сидящий в вагоне движущегося поезда?
А) относительно вагона; В) относительно земли;
С) относительно вагона и земли; D) относительно рельсов.

3. Сколько килограммов составляет масса тела, сила тяжести которого равна 550 Н?

- A) 55; B) 550; C) 5,5; D) 65.

4. Автомобиль «Нексия», движущийся равноускоренно, за 20 с увеличил скорость с 36 км/ч до 72 км/ч. Найдите ускорение (м/с^2) автомобиля.

- A) 18; B) 0,4; C) 20; D) 0,5.

5. Скорость тела, движущегося равноускоренно с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$, в определенный момент времени равнялась 9 м/с . Какой была скорость тела (м/с) за 10 с до этого?

- A) 0,4; B) 5; C) 4; D) 10.

6. Скольким ньютонам равны 5 килоньютонов (кН)?

- A) 5000; B) 0,05; C) 500; D) 0,5.

7. Когда стоящий на железнодорожном пути вагон потянули с силой 4 кН , он начал двигаться с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Найдите массу (т) вагона:

- A) 20; B) 4; C) 0,2; D) 0,4.

8. Почему заледенелую дорогу посыпают песком?

- A) для ускорения таяния льда;
B) для увеличения трения;
C) для предупреждения износа подошвы обуви;
D) правильный ответ С.

9. Какой параметр тела измеряется на рычажных весах?

- A) масса; B) объем; C) вес; D) длина.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ГЛАВЕ VI

1. Мальчик, сидящий в одной из двух одинаковых лодок, тянет к себе с помощью веревки вторую лодку. Одинаково ли сместятся при этом обе лодки? Если нет, то какая лодка сместилась больше?

2. Журавли летят клином в один ряд. Что можно сказать об их движении по отношению друг к другу?

3. Почему перемещение может быть равным или меньше пройденного расстояния, но не может быть больше него?

4. Если смотреть из окна поезда, деревья и дома снаружи будто бы пробегают мимо окна. При этом скорость предметов, находящихся поблизости от окна, кажется большей, чем скорость отдаленных от окна предметов. В чем причина?

5. Человек, сидящий у окна автомобиля, наблюдает за движением колес другого автомобиля. Каким кажется ему это движение?

6. Проходят ли одинаковое расстояние правое и левое колеса автомобиля при повороте?

7. На сколько метров в длину может прыгнуть человек на Луне или на Марсе, если он на Земле прыгает в длину 5,6 м? Изменится ли эта длина, если масса Земли будет такой же, как у Солнца?

8. Почему велосипедист на повороте наклоняется в сторону поворота?

9. Одинаково ли нормальное атмосферное давление во всех городах? Если нет, то почему?

10. Можно ли зажечь спичку в космическом корабле, движущемся по орбите Земли?

11. С какой целью смазывают работающую пилу?

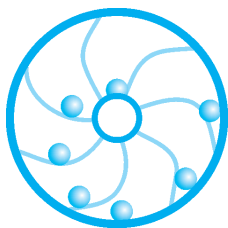
12. Почему, подскользнувшись на льду, мы падаем назад?

13. Почему человек, прыгающий с парашютом, падает на землю медленнее, чем человек без парашюта?

14. Будут ли маятниковые, песочные и винтовые часы работать на Луне так же, как на Земле? Почему?

15. В прошлом в наших краях использовались арбы (телеги) с огромными колесами, которые по высоте превышали рост лошади. Зачем это делалось?

16. Почему обычно задние колеса повозки изготавливались бóльшими, чем передние?



Глава VII РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В природе существуют различные виды энергии – механическая, тепловая, электрическая, световая, ядерная, химическая и др. Энергия может переходить из одного вида в другой. Например, механическая энергия превращается в тепловую, электрическая энергия преобразуется в механическую и т.д. При этом энергия только переходит из одного вида в другой и остается неизменной по величине, т.е. энергия не возникает и не исчезает. Поэтому все процессы и явления в природе связаны друг с другом посредством энергии. В настоящей главе будем изучать работу, выполняемую при механическом движении тела, кинетическую и потенциальную энергии, превращение этих видов энергии друг в друга, сохранение полной механической энергии и мощность.

§ 39. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

Механическая работа и ее единицы

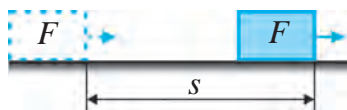


Рис. 128. Перемещение тела на расстояние s под действием силы F

В повседневной жизни под словом «работа» мы понимаем полезный труд рабочего, инженера, ученого и т.д. Однако работу ученого измерить нельзя. Поэтому в физике изучается только величина, которую можно измерить, – механическая работа. Телуга проходит определенное расстояние только под действием силы тяги запряженной в нее лошади. При нагревании сосуда с водой, закрытого пробкой, в результате увеличения давления внутри сосуда пробка вылетает из него и падает на определенном расстоянии, т.е. выполняется механическая работа. Работа выполняется также в случаях снижения скорости тела под действием силы (например, силы трения). Если мы изо всех сил будем пытаться сдвинуть шкаф, а он будет неподвижно стоять на месте, то никакая механическая работа не будет выполняться. Тело, которое по инерции движется с постоянной скоростью и на которое не действует сила, не выполняет никакую механическую работу.

Следовательно, для того, чтобы выполнялась механическая работа, нужно воздействовать на тело силой, и под действием этой силы оно должно переместиться на определенное расстояние. Например, если на тело, находящееся на ровной поверхности, действует сила F и в направлении этой силы тело перемещается на расстояние s , то говорят, что сила выполняет механическую работу (рис. 128):

$$A = F \cdot s . \quad (1)$$



Механическая работа равна произведению силы на путь, который прошло тело в направлении этой силы.

Чем большая сила будет действовать на тело и чем большее расстояние оно пройдет под действием этой силы, тем большей будет выполненная силой работа.

Механическая работа прямо пропорциональна приложенной силе и пройденному пути. В системе СИ за единицу работы принят джоуль (Дж). Эта единица названа в честь английского физика Джеймса Джоуля.



1 Дж – это работа силы в 1 Н по перемещению тела на расстояние 1 м.

На практике используются производные единицы работы – мегаджоуль (1 МДж), килоджоуль (1 кДж), миллиджоуль (1 мДж). Производные единицы работы связаны с основной следующими зависимостями:

$$1 \text{ кДж} = 10^3 \text{ Дж}; 1 \text{ МДж} = 10^6 \text{ Дж}; 1 \text{ мДж} = 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Так как работа совершается под действием силы, ее называют также работой силы. Механическая работа – скалярная величина.

Механическая работа действующей силы

Формула (1) для механической работы, предложенная выше, верна в случае, когда направление действующей силы и направление перемещения тела совпадают. Пусть, например, тело под действием силы $F = 5 \text{ Н}$ переместилось в направлении этой силы на расстояние $s = 20 \text{ см}$. В этом случае выполненная этой силой работа будет равна $A = 5 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 1 \text{ Дж}$

(рис. 129, *a*). Если направление силы совпадает с направлением движения тела, то выполненная силой работа положительна. Но если направление силы противоположно направлению движения тела, то считается, что сила выполнила отрицательную работу:

$$A = -Fs.$$

Как определяется значение механической работы, если перемещение тела произошло в направлении, не совпадающем с направлением силы?

Если направление силы образует некоторый угол с направлением перемещения тела, рассматривается проекция действующей силы на направление перемещения. Например, сила $F = 5$ Н, действующая под некоторым углом так, как показано на рис. 129, *б*, переместила тело на расстояние 20 см. Из рисунка видно, что проекция силы $F_{\text{пр}} = 4$ Н. В таком случае выполненная этой силой работа будет равна $A = 4 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 0,8 \text{ Дж}$. С увеличением угла между направлением силы и направлением перемещения проекция $F_{\text{пр}}$ силы F будет уменьшаться, что приведет также к уменьшению работы, выполняемой этой силой. Например, так как угол между направлением силы $F = 5$ Н и направлением перемещения на рис. 129, *в* больше, чем угол, показанный на рис. 129, *б*, то его проекция $F_{\text{пр}}$ будет меньше и составит $F_{\text{пр}} = 3$ Н. В этом случае работа, выполненная силой, будет равна $A = 3 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 0,6 \text{ Дж}$.

При дальнейшем возрастании угла между направлением силы и направлением перемещения проекция силы, а значит, и работа силы будут приближаться к нулю. Если направление силы составит угол 90° с направлением перемещения, то проекция силы на направление перемещения обратится в точку, т.е. станет равной нулю (рис. 129, *г*). Значит, если направление силы перпендикулярно направлению перемещения, то никакая работа не выполняется.

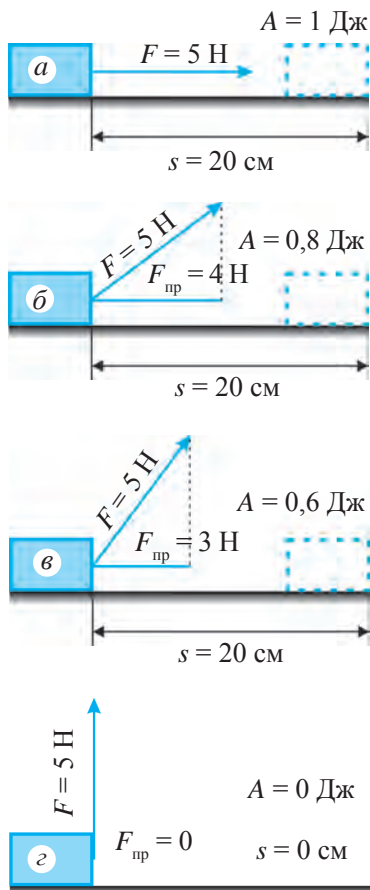


Рис. 129. Зависимость выполненной работы от направления силы

Образец решения задачи

Автомобиль под действием силы мотора 5 кН проехал расстояние 3 км. Какую работу выполнил мотор автомобиля?

Дано:
 $F = 5 \text{ кН} = 5\,000 \text{ Н};$
 $s = 3 \text{ км} = 3\,000 \text{ м}.$

Найти:
 $A = ?$

Формула:
 $A = Fs.$

Решение:
 $A = 5\,000 \text{ Н} \cdot 3\,000 \text{ м} =$
 $= 15\,000\,000 \text{ Дж} = 15 \text{ МДж}.$

Ответ: $A = 15 \text{ МДж}.$



Опорные понятия: механическая работа, механическая работа действующей силы, проекция силы.



1. Штангист поднял вверх штангу. Какова разница между работой, выполняемой силой упругости мышц, и работой силы тяжести?
2. В каком случае сила, приложенная к движущемуся телу, выполняет работу?



1. Груз, лежащий на земле, переместили на расстояние 8 м, воздействуя на него силой 250 Н в направлении этой силы. Найдите выполненную при этом работу?
2. На тележку под определенным углом воздействовали силой, при этом она переместилась на расстояние 15 м. Какая работа выполнена, если проекция силы, действовавшей на тележку, составила 42 Н?
3. Три человека, толкая, доставили сломавшийся на дороге автомобиль в мастерскую, находящуюся в 480 м. Какую работу выполнил каждый из них, если первый толкал автомобиль с силой 150 Н, второй – с силой 200 Н, а третий – с силой 250 Н? Какую работу они выполнили все вместе?
4. Электровоз переместил железнодорожные вагоны на расстояние 2 км, выполнив при этом работу 240 МДж. С какой силой электровоз тянул вагоны?
5. Тело подброшено вертикально вверх. В каком случае работа силы тяжести положительна, а в каком отрицательна?
 - а) при подъеме тела вверх;
 - б) при падении тела вниз.
6. Какую работу выполняет человек массой 75 кг, поднимающийся по лестнице с первого этажа на шестой? Высота каждого этажа 3 м.
7. Спутник вращается по орбите вокруг Земли. С помощью ракетного двигателя его перевели на другую орбиту. Изменилась ли при этом механическая энергия спутника?

§ 40. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ ПРИ ПОДНЯТИИ ТЕЛА И ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИИ НА ЭТО ЖЕ РАССТОЯНИЕ

(Лабораторная работа 4)

Цель работы: определение возможности вычисления работы, выполненной при перемещении тела по вертикали и по горизонтали.

Необходимые принадлежности: лабораторный трибометр, учебный динамометр, сантиметровая измерительная лента, два груза с крючками массой 100 г каждый, линейка, брусок.

Порядок выполнения работы

1. Соберите из приспособлений установку для измерения силы при подъеме и горизонтальном перемещении тела так, как показано на рис. 130.

2. С помощью динамометра измерьте вес бруска. Затем равномерно двигайте брусок вверх до высоты линейки трибометра, заранее измеренной с помощью измерительной ленты. Величину выполненной работы вычислите по формуле $A = F_T \cdot h$.

3. Повторите опыт три раза, каждый раз подвешивая к бруску грузы в 0,81 Н; 1,81 Н и 2,81 Н и отмечайте работу, выполненную по преодолению силы тяжести.

4. Полученные результаты запишите в таблицу.

5. Положите линейку на стол и с помощью динамометра равномерно перемещайте брусок вдоль линейки на расстояние, пройденное им в первом случае (0,81 Н). Возникшую при этом силу тяги F_T определите по показанию динамометра.

6. Вычислите снова работу по значениям силы тяги и расстояния: $A = F_T s$, обращая внимание на то, что эта работа выполнена не по преодолению силы тяжести, а по преодолению силы трения. Затем подвесьте к бруску грузы 0,81 Н; 1,81 Н и 2,81 Н и повторите опыт три раза. Каждый раз вычисляйте работу, выполненную силой тяги. Полученные результаты запишите в таблицу.

Таблица 5

№	m , кг	h , м	F_T , Н	s , м	$F_{тр}$, Н	A_v , Дж	$A_{пов}$, Дж
1							
2							
3							

Повторите опыт два-три раза, подвешивая к бруску грузы 1 Н, 2 Н, 3 Н (рис. 130) и каждый раз вычисляйте работу, выполненную силой тяги.

Сравните полученные результаты, сделайте выводы о величине работы, выполненной по поднятию и горизонтальному перемещению тела на это же расстояние.

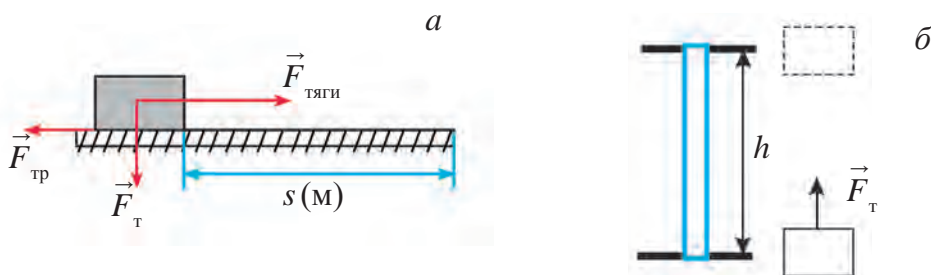


Рис. 130. Установка для измерения силы, выполняемой при подъеме (а) и горизонтальном перемещении его на это же расстояние (б)

§ 41. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Иногда тела выполняют работу не мгновенно, а в течение длительного времени. Они могут сохранять работоспособность долгое время. Например, подтягивая гири настенных часов, мы выполняем работу (рис. 131). В результате часовой механизм приобретает способность совершать работу до тех пор, пока гири не опустятся вниз.



Рис. 131.
Настенные часы

Гири, медленно опускающиеся вниз под действием силы тяжести, приводят в движение маятник, колеса и стрелки часов. По мере опускания уменьшается способность гирь к совершению работы. Подтянув гири вверх, можно снова восстановить их способность к совершению работы. Когда мы подтягиваем гири вверх, их способность к совершению работы увеличивается, по мере опускания – уменьшается. Способность к совершению работы можно создавать также путем сжатия пружины и заведения часов. Так работают винтовые часы и некоторые игрушки. Точно так же, двигая тело с определенной скоростью, можно создать запас работоспособности. Например, когда мы колем дрова топором, мы совершаем работу, для этого мы должны придать топору

большую скорость. Во всех рассмотренных примерах работа выполняется при изменении состояния тела (опускание груза, растяжение сжатой пружины, остановка движущегося со скоростью тела). Пока не будет изменения, тело будет сохранять свою работоспособность.



Работа, которую тело может выполнять в результате изменения своего состояния, называется энергией.

Слово «энергия» в переводе с греческого означает *активность*. Изменение энергии измеряется работой, которая затрачивается на осуществление этого изменения. Поэтому энергию следует измерять в тех же единицах, что и работу. Основная единица энергии – джоуль (Дж). Механическая энергия подразделяется на кинетическую и потенциальную.

Пусть тело массой m свободно падает с высоты h (рис. 132). При этом тело движется только под действием силы притяжения Земли, т.е. силы тяжести $F_T = mg$. Работа, совершаемая силой тяжести на пути падения тела с высоты h , выражается формулой:

$$A = F \cdot s = F_T \cdot h \text{ или } A = mgh. \quad (1)$$

Эта работа равна *потенциальной энергии тела*. Значит, потенциальная энергия тела массой m , находящегося на высоте h , выражается в виде:

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (2)$$

Потенциальная энергия, выраженная формулой (2), связана с расположением двух взаимодействующих тел – шарика и Земли относительно друг друга.



Энергия взаимодействующих тел или энергия, связанная с взаимным расположением частей тела, называется потенциальной энергией тела.

Теперь найдем работу, выполняемую при изменении на h_2 положения тела массой m , находившегося на высоте h_1 (рис. 133). Так как путь, пройденный телом $h = h_1 - h_2$, то работу, выполненную на этом пути, можно выразить следующим образом:

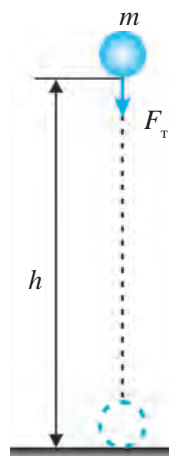


Рис. 132.
Выполнение работы под действием силы тяжести

$$A = mgh = mg(h_1 - h_2) \text{ или } A = mgh_1 - mgh_2, \quad (3)$$

где $mgh_1 = E_{п1}$ – потенциальная энергия тела на высоте h_1 ; $mgh_2 = E_{п2}$ – потенциальная энергия тела на высоте h_2 . Отсюда

$$A = E_{п1} - E_{п2} \text{ или } A = - (E_{п2} - E_{п1}); \quad (4)$$

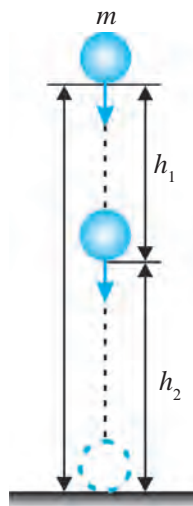


Рис. 133.
Изменение потенциальной энергии тела

здесь знак «минус» показывает, что с изменением положения тела от h_1 до h_2 потенциальная энергия тела уменьшается.

Итак:

Изменение потенциальной энергии тела равно выполненной работе.

Так как при падении тела с высоты вниз $E_{п2} < E_{п1}$, $A > 0$. При этом работа силы тяжести будет положительной. В случае поднятия тела вверх $E_{п2} > E_{п1}$, поэтому $A < 0$.

При этом для преодоления силы тяжести выполняется отрицательная работа.

Образец решения задачи

Какой будет потенциальная энергия тела массой 1 кг на высоте 25 и 15 м? Какую работу выполнит сила тяжести при опускании тела с высоты 25 м на высоту 15 м? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$m = 1 \text{ кг}; h_1 = 25 \text{ м};$	$E_{п1} = mgh_1;$	$E_{п1} = 1 \cdot 10 \cdot 25 \text{ Дж} = 250 \text{ Дж};$
$h_2 = 15 \text{ м}; g = 10 \text{ м/с}^2.$	$E_{п2} = mgh_2;$	$E_{п2} = 1 \cdot 10 \cdot 15 \text{ Дж} = 150 \text{ Дж};$
<i>Найти:</i>	$A = - (E_{п2} - E_{п1}).$	$A = - (150 - 250) \text{ Дж} = 100 \text{ Дж}.$

$E_{п1} = ? E_{п2} = ? A = ?$ *Ответ:* $E_{п1} = 250 \text{ Дж}; E_{п2} = 150 \text{ Дж}; A = 100 \text{ Дж}.$



Опорные понятия: работа, выполненная силой тяжести, потенциальная энергия.



1. Какая работа выполняется при падении тела с высоты h на землю?
2. Как выражается потенциальная энергия тела на высоте h ?
3. Что называется потенциальной энергией?

4. Как выражается работа силы тяжести при падении тела с высоты h_1 на высоту h_2 ?

У
27

1. Какой будет потенциальная энергия тела массой 200 г на высоте 40 м? Какую работу выполнит сила тяжести тела при падении его с этой высоты на землю? В этой и следующих задачах принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. Груз массой 2 кг подняли с высоты 5 м на высоту 12 м. Какой будет потенциальная энергия груза на этих высотах? Какая работа будет выполнена при поднятии груза вверх?
3. Какой будет потенциальная энергия мальчика массой 40 кг по отношению к земле, находящегося на девятом этаже здания? Примите высоту каждого этажа 3 м.
4. За счет какой энергии работают настенные, винтовые, пружинные часы?

§ 42. КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Работа при изменении скорости тела

Пусть тело массой m , находящееся на столе, двигаясь без трения под действием силы F , приобрело ускорение a (рис. 134). Скорость, приобретенная телом за время t , будет равна:

$$v = at. \quad (1)$$

Тогда путь, пройденный телом за это время, выразится формулой

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

Записывая формулу (1) в виде $t = v/a$ и подставляя ее в (2) вместо t , получаем следующее выражение для пути, пройденного телом:

$$s = \frac{v^2}{2a}. \quad (3)$$

Согласно второму закону Ньютона, сила, действующая на тело:

$$F = ma. \quad (4)$$

Пользуясь формулами (3) и (4), находим выполненную работу:

$$A = Fs = ma \frac{v^2}{2a} \quad \text{или} \quad A = \frac{mv^2}{2}. \quad (5)$$

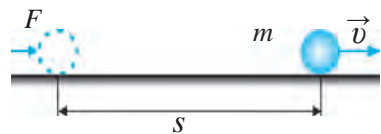


Рис. 134. Кинетическая энергия шарика, набравшего скорость

Эта формула выражает работу, выполняемую телом массой m для достижения скорости v из состояния покоя.

Если начальная скорость тела массой m равна v_1 , то для повышения его скорости на v_2 нужно выполнить работу, равную:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (6)$$

Изменение кинетической энергии

Формула (5) выражает также кинетическую энергию тела массой m , движущегося со скоростью v , т.е.

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (7)$$



Энергия, которой обладает тело или система благодаря своему движению, называется кинетической энергией. Кинетическая энергия измеряется половиной произведения массы тела на квадрат его скорости.

Если в формуле (6) за $mv_1^2/2 = E_{k1}$ принять $mv_2^2/2 = E_{k2}$, работу, выполняемую телом при изменении скорости v_1 на v_2 , можно выразить следующим образом:

$$A = E_{k2} - E_{k1}; \quad (8)$$

здесь E_{k1} – кинетическая энергия тела при начальной скорости v_1 ; E_{k2} – кинетическая энергия тела при изменении скорости тела на v_2 . Тогда формулу (8) можно охарактеризовать так:



Изменение кинетической энергии тела равно выполненной им работе.

Образец решения задачи

Чему будет равна кинетическая энергия автомобиля массой 2 т при начальной скорости 36 км/ч? А при достижении скорости 90 км/ч? Какую работу должен выполнить мотор автомобиля, чтобы достичь такого изменения скорости?

Дано:	Формула:	Решение:
$m = 2 \text{ т} = 2000 \text{ кг};$ $v_1 = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с};$ $v_2 = 90 \text{ км/ч} = 25 \text{ м/с}.$	$E_{k1} = \frac{mv_1^2}{2};$ $E_{k2} = \frac{mv_2^2}{2}.$	$E_{k1} = \frac{2000 \cdot 10^2}{2} \text{ Дж} = 100\,000 \text{ Дж} = 100 \text{ кДж}.$ $E_{k2} = \frac{2000 \cdot 25^2}{2} \text{ Дж} = 625\,000 \text{ Дж} = 625 \text{ кДж}.$

Найти: $E_{к1} = ? E_{к2} = ? A = ?$ | $A = E_{к2} - E_{к1}$ | $A = (625 - 100) \text{ кДж} = 525 \text{ кДж}$.
 Ответ: $E_{к1} = 100 \text{ кДж}; E_{к2} = 625 \text{ кДж}; A = 525 \text{ кДж}$.



Опорные понятия: механическая энергия, кинетическая энергия.



1. Что называется механической энергией? В каких единицах она измеряется?
2. Выведите формулу (5) и объясните ее.
3. Чему равна работа, выполняемая телом заданной массы, при изменении одного значения скорости на другое?



1. Когда по шайбе массой 40 г, покоившейся на льду, ударили с силой, она приобрела скорость 25 м/с. Какой кинетической энергией стала обладать шайба?
2. Какую работу надо выполнить, чтобы остановить автомобиль массой 1,2 т, движущийся со скоростью 72 км/ч?
3. Какую работу надо выполнить, чтобы увеличить скорость велосипеда, движущегося со скоростью 10 м/с, до 20 м/с? Масса велосипеда вместе с велосипедистом равна 100 кг.
4. Какую работу должен выполнить электровоз, чтобы увеличить скорость поезда массой 200 т, движущегося со скоростью 72 км/ч, до 144 км/ч?
5. Искусственный спутник Земли, летящий со скоростью 7,7 км/с, обладает кинетической энергией 40000 МДж. Найдите массу искусственного спутника.

§ 43. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассмотрим изменение потенциальной и кинетической энергии тела массой 1 кг, брошенного с высоты $h_1 = 45$ м (рис. 135). При этом ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

1-й случай. На высоте $h_1 = 45$ м потенциальная и кинетическая энергии тела будут следующими:

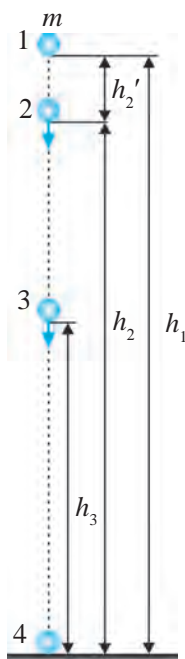
$$E_{п1} = mgh_1; E_{п1} = 1 \cdot 10 \cdot 45 \text{ Дж} = 450 \text{ Дж};$$

$$E_{к1} = \frac{mv_1^2}{2}; E_{к1} = \frac{1 \cdot 0^2}{2} \text{ Дж} = 0.$$



Потенциальная энергия тела, находящегося в состоянии покоя на определенной высоте от земли, имеет максимальное значение, а кинетическая энергия равна нулю.

2-й случай. Тело, сброшенное с высоты и свободно падающее вниз, за время $t = 1$ с преодолевает расстояние $h_2' = gt^2/2 = 10 \cdot 1^2/2 \text{ м} = 5 \text{ м}$. Следо-



вательно, в это время тело находится над землей на высоте $h_2 = h - h_2' = 45 \text{ м} - 5 \text{ м} = 40 \text{ м}$. При этом скорость тела достигает значения $v_2 = gt_2 = 10 \cdot 1 \text{ м/с} = 10 \text{ м/с}$. В этот момент потенциальная и кинетическая энергии тела, падающего с высоты $h = 45 \text{ м}$, на высоте $h_2 = 40 \text{ м}$ будут равны:

$$E_{п2} = mgh_2; E_{п2} = 1 \cdot 10 \cdot 40 \text{ Дж} = 400 \text{ Дж};$$

$$E_{к2} = \frac{mv_2^2}{2}; E_{к2} = \frac{1 \cdot 10^2}{2} \text{ Дж} = 50 \text{ Дж}.$$

3-й случай. Тело, сброшенное с высоты $h_1 = 45 \text{ м}$, за 2 с преодолевает расстояние 20 м. При этом тело находится на высоте $h_3 = 25 \text{ м}$ от земли, а его скорость равна $v_3 = 20 \text{ м/с}$. В этот момент потенциальная и кинетическая энергии тела будут следующими:

$$E_{п3} = mgh_3; E_{п3} = 1 \cdot 10 \cdot 25 \text{ Дж} = 250 \text{ Дж};$$

$$E_{к3} = \frac{mv_3^2}{2}; E_{к3} = \frac{1 \cdot 20^2}{2} \text{ Дж} = 200 \text{ Дж}.$$

Рис. 135.
Превращение энергии при свободном падении тела



Потенциальная энергия тела, свободно падающего с высоты, уменьшается, а кинетическая энергия увеличивается, т.е. потенциальная энергия тела преобразуется в кинетическую.

4-й случай. Тело, сброшенное с высоты $h_1 = 45 \text{ м}$, за 3 с достигает земли, т.е. $h_4 = 0$. При этом скорость тела в этот момент достигнет $v_4 = 30 \text{ м/с}$. Потенциальная и кинетическая энергии тела в момент падения будут следующими:

$$E_{п4} = mgh_4; E_{п4} = 1 \cdot 10 \cdot 0 \text{ Дж} = 0;$$

$$E_{к4} = \frac{mv_4^2}{2}; E_{к4} = \frac{1 \cdot 30^2}{2} \text{ Дж} = 450 \text{ Дж}.$$



Потенциальная энергия тела, свободно падающего с высоты, в момент падения на землю будет равна нулю, а кинетическая энергия будет максимальной.

При подбрасывании тела вертикально вверх наблюдается обратный процесс. При этом по мере поднятия вверх кинетическая энергия тела уменьшается от максимального значения до нуля, потенциальная энергия – возрастает от нуля до максимального значения. Изменение потенциальной энергии проявляется не только при вертикальном движении тела, но и при произвольной траектории его движения. Например, пусть на седьмом этаже здания находится тело массой 2 кг. Если принять высоту каждого этажа равной 3 м, то потенциальная энергия тела, находящегося на седьмом этаже, по отношению к земле, т.е. к первому этажу, будет равна 360 Дж. Если же тело спустить на третий этаж по лестнице или на лифте, независимо от этого его потенциальная энергия на третьем этаже будет равна 120 Дж.

Сумма кинетической и потенциальной энергий тела, то есть полная механическая энергия тела, падающего с высоты $h = 45$ м (см. рис. 135), в каждом из рассмотренных выше случаев будет равна:

в 1-м случае: $E_{п1} + E_{к1} = 450 \text{ Дж} + 0 = 450 \text{ Дж}$;

во 2-м случае: $E_{п2} + E_{к2} = 400 \text{ Дж} + 50 \text{ Дж} = 450 \text{ Дж}$;

в 3-м случае: $E_{п3} + E_{к3} = 250 \text{ Дж} + 200 \text{ Дж} = 450 \text{ Дж}$;

в 4-м случае: $E_{п4} + E_{к4} = 0 + 450 \text{ Дж} = 450 \text{ Дж}$.

Отсюда можно сделать следующий вывод.



Сумма кинетической и потенциальной энергий, то есть полная механическая энергия тела, свободно падающего с высоты, в любой момент времени остается постоянной.

Этот вывод справедлив и для случаев, когда тело подбрасывают вертикально вверх. Значит, максимальная кинетическая энергия тела равна его максимальной потенциальной энергии.

Известно, что изменение кинетической энергии тела равно выполненной работе. Если кинетическая энергия падающего с высоты тела для 1-го случая $E_{к1}$, 2-го случая $E_{к2}$, то выполненная работа будет:

$$A = E_{к2} - E_{к1}. \quad (1)$$

Изменение потенциальной энергии тела для этих двух случаев также будет равно выполненной работе, т.е.:

$$A = -(E_{п2} - E_{п1}). \quad (2)$$

Так как выражения (1) и (2) равны между собой, их можно объединить:

$$E_{к2} - E_{к1} = -(E_{п2} - E_{п1}). \quad (3)$$

Из этого равенства следует, что в результате взаимодействия и движения тел кинетическая и потенциальная энергии изменяются таким образом, что уменьшение одной из них равно увеличению другой. На сколько уменьшается одна, на столько же увеличивается другая.

Равенство (3) можно переписать в следующем виде:

$$E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}. \quad (4)$$

Левая сторона это равенства выражает полную механическую энергию тела в 1-м случае, а правая – во 2-м случае.

Равенство (4) выражает закон сохранения механической энергии. Этот закон формулируется следующим образом.



Полная механическая энергия замкнутой системы остается неизменной при любых движениях ее частей.

Выше мы рассмотрели движение тела под действием силы притяжения Земли, т.е. механическое движение в замкнутой системе, состоящей

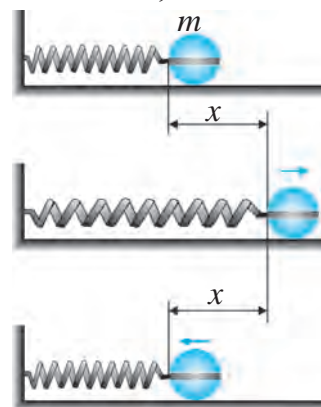


Рис. 136. Сохранение механической энергии в замкнутой системе, состоящей из пружины и тела

из Земли и тела. Закон сохранения механической энергии справедлив и для других замкнутых систем. Рассмотрим, например, замкнутую систему, состоящую из опоры, пружины и тела. К пружине, установленной на опору, прикрепим тело массой m и растянем ее на расстояние x (рис. 136). При этом кинетическая энергия тела будет равна $E_{к1} = mv_1^2/2 = 0$, а потенциальная энергия $E_{п1} = kx^2/2$, где k – жесткость пружины. Отпустим пружину, при этом тело наберет скорость под действием силы упругости пружины. При выходе тела из равновесного состояния, т.е. на расстоянии $x = 0$, его скорость достигнет максимального значения. В соответствии с этим кинетическая энергия $E_{к2} = mv_2^2/2$ тела также будет максимальной. Для данной замкнутой системы, состоящей из пружины и тела, также справедлива формула (4), т.е. закон сохранения механической энергии.

При рассмотрении движения тела под действием силы упругости пружины было принято, что тело движется по поверхности опоры без трения.

Образец решения задачи

Тело массой 200 г подбросили вертикально вверх со скоростью 15 м/с. Чему будет равна через 1 с кинетическая энергия тела и потенциальная энергия по отношению к точке подбрасывания? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг};$	$v = v_0 - at;$	$v = 15 \text{ м/с} - 10 \cdot 1 \text{ м/с} = 5 \text{ м/с};$
$v_0 = 15 \text{ м/с};$	$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2};$	$E_{\text{к}} = \frac{0,2 \cdot 5^2}{2} \text{ Дж} = 2,5 \text{ Дж};$
$g = 10 \text{ м/с}^2.$	$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2};$	$h = 15 \cdot 1 - \frac{10 \cdot 1^2}{2} \text{ м} = 10 \text{ м};$
<hr/>		
<i>Найти:</i>		$E_{\text{п}} = 0,2 \cdot 10 \cdot 10 \text{ Дж} = 20 \text{ Дж}.$
$E_{\text{к}} = ? E_{\text{п}} = ?$	$E_{\text{п}} = mgh.$	<i>Ответ:</i> $E_{\text{к}} = 2,5 \text{ Дж}; E_{\text{п}} = 20 \text{ Дж};$ $h = 10 \text{ м}.$

Если движение тела совершается с трением, то часть полной механической энергии превращается в тепловую. Это можно почувствовать по нагреванию тела. Например, если ударять по куску железа молотком, то потенциальная энергия поднятого вверх молотка при опускании вниз наберет скорость и превратится в кинетическую энергию. В момент удара молотка о железо кинетическая энергия будет равна нулю. При этом полная энергия будет израсходована на изменение формы железа, т.е. деформацию и нагревание.

Образец решения задачи: Тело массой 1 кг свободно падает с высоты 80 м. Чему равны кинетическая и потенциальная энергии тела в момент, когда оно преодолело половину высоты? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$h_1 = 80 \text{ м};$	$E_{\text{п1}} = mgh_1;$	$E_{\text{п1}} = 1 \cdot 10 \cdot 80 \text{ Дж} = 800 \text{ Дж};$
$h_2 = \frac{h_1}{2};$	$E_{\text{п2}} = mgh_2;$	$h_2 = \frac{80}{2} \text{ м} = 40 \text{ м};$
$g = 10 \text{ м/с}^2.$	<i>в равенстве</i>	$E_{\text{п2}} = 1 \cdot 10 \cdot 40 \text{ Дж} = 400 \text{ Дж};$
<hr/>		$E_{\text{к2}} = 800 \text{ Дж} - 400 \text{ Дж} = 400 \text{ Дж}.$
<i>Найти:</i>	$E_{\text{к1}} + E_{\text{п1}} = E_{\text{к2}} + E_{\text{п2}}$	<i>Ответ:</i> $E_{\text{п2}} = 400 \text{ Дж}; E_{\text{к2}} = 400 \text{ Дж}.$
$E_{\text{п2}} = ? E_{\text{к2}} = ?$	$E_{\text{к1}} = 0;$	
	$E_{\text{к2}} = E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}}.$	



Опорные понятия: полная механическая энергия, закон сохранения механической энергии, превращение потенциальной и кинетической энергий.



1. Вычислите и объясните, на какой высоте окажется тело (из рис. 135), брошенное на землю, через 1, 2 и 3 с.
2. Тело массой 200 г сбросили с высоты 125 м. Чему будут равны потенциальная и кинетическая энергии тела через 3 и 5 с его движения? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.



1. Тело массой 100 г подброшено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Чему будут равны кинетическая и потенциальная энергии тела через 2 с? Какую потенциальную энергию будет иметь тело на максимальной высоте?
2. Кинетическая энергия молота копра, падающего с высоты 6 м, в момент забивания сваи составляет 18 кДж. Чему равна потенциальная энергия молота на этой высоте по отношению к свае? А кинетическая энергия? Чему равна масса молота?
3. Тело массой 200 г подброшено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Какой будет потенциальная энергия тела при достижении максимальной высоты?
4. Полная механическая энергия тела массой 500 г, брошенного с высоты, равна 200 Дж. С какой высоты брошено тело? Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.
5. Определите полную механическую энергию замкнутой системы, изображенной на рис. 136, если масса тела равна 50 г, а максимальная скорость, которую оно набирает после отпускания растянутой на 10 см пружины, равна 10 м/с. Какова жесткость пружины?

§ 44. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА ОТ ЕГО СКОРОСТИ И МАССЫ (Лабораторная работа 5)

Цель работы: закрепление знаний об энергии с помощью наблюдений за преодолением кинетической энергией силы трения путем изменения скорости шаров различной массы.

Необходимые принадлежности: два стальных шарика различной массы, металлической желоб, брусок, измерительная лента, секундомер, штатив.

Порядок выполнения работы

1. Установите желоб в наклонном положении с помощью штатива так, как показано на рис. 137. Подоприте бруском нижнюю часть желоба.

2. Положите на среднюю часть желоба шарик меньшей массы и, отпустив его, наблюдайте за тем, как шарик покатится по желобу, ударится о деревянный брусок и, преодолев силу трения, сдвинет его на некоторое расстояние.

3. Измерьте расстояние Δl , на которое сдвинулся брусок.

4. Повторите опыт, отпустив шарик с верхней части желоба.
5. Положите на среднюю часть желоба шарик большей массы, отпустите его и снова измерьте расстояние, на которое сдвинулся брусок.
6. Измерив расстояние и время, как в лабораторной работе 1, найдите ускорение, приобретенное шариком. Используя значения ускорения и времени, определите скорость шарика в момент его столкновения с бруском и по формуле $E_k = \frac{mv^2}{2}$ найдите кинетическую энергию.
7. Проанализируйте зависимость между кинетической энергией и работой, выполненной при сдвиге бруска, и сделайте выводы.

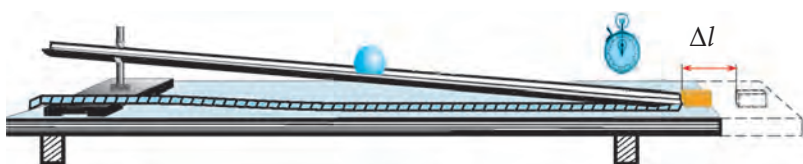


Рис. 137. Установка для наблюдения зависимости кинетической энергии тела от его скорости и массы

§ 45. МОЩНОСТЬ

Мощность и ее единицы

Различные механизмы и машины выполняют одну и ту же работу за разное время. Например, если большой кран поднимает с земли на высоту 30 м 10 т кирпича за 1 мин, то маленький кран поднимает это же количество кирпича по 2 т за пять раз. При этом оба крана выполнят одну и ту же работу, но затратят на ее выполнение разное время.

Для сравнения способности машины, двигателя и разного рода механизмов выполнять определенную работу вводится физическая величина, называемая **мощностью**. Чем быстрее выполнит одну и ту же работу одна из сравниваемых машин, тем большей будет ее мощность N . Мощность N механизма равна объему работы, выполняемой за единицу времени:

$$N = \frac{A}{t}. \quad (1)$$



Отношение выполненной работы ко времени, за которое она выполнена, называется мощностью.

В системе СИ за единицу мощности принят ватт (Вт). 1 Вт – это такая мощность, при которой за 1 с выполняется работа, равная 1 Дж.

Эта единица названа в честь изобретателя паровой машины английского физика и инженера Джеймса Уатта.

На практике наряду с основной единицей применяются производные единицы мощности – милливатт (мВт), гектоватт (гВт), киловатт (кВт), мегаватт (МВт). Основная и производные единицы мощности связаны между собой следующими соотношениями:

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт} = 10^{-3} \text{ Вт}; \quad 1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт} = 10^2 \text{ Вт}; \\ 1 \text{ кВт} = 1\,000 \text{ Вт} = 10^3 \text{ Вт}; \quad 1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт}.$$

Из формулы мощности можно найти работу, выполненную за определенное время:

$$A = Nt. \tag{2}$$

Эта формула дает возможность ввести еще одну единицу работы и энергии. За единицу механической работы можно принять работу, которую выполняет механизм мощностью 1 Вт за 1 с.

Эта единица называется ватт-секунда (Вт · с). Мощность можно назвать скоростью выполнения работы. Мощность транспортных средств измеряется специальной единицей, называемой лошадиной силой.

Мощность механизма в ~ 736 Вт равна 1 лошадиной силе, т.е. 1 лошадиная сила ≈ 736 Вт.

Связь между мощностью, силой и скоростью

Транспортные средства часто движутся с постоянной скоростью. Автомобиль, движущийся равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью v , в течение времени t проходит путь $s = vt$. Движение автомобиля с постоянной скоростью обеспечивается работой силы F его мотора. Эта сила равна по величине силам сопротивления движению автомобиля (всевозможным силам трения) и направлена противоположно. Поэтому работа силы мотора F на пути s определяется равенством $A = Fs = Fvt$. Учитывая, что $A = Nt$, получаем следующую формулу мощности:

$$N = Fv. \tag{3}$$

Как видно из этой формулы, чем большей будет мощность мотора, тем большую скорость будет иметь автомобиль. Поэтому на движущихся с большой скоростью самолетах, поездах и автомобилях устанавливают моторы большой мощности. Из этой же формулы можно сделать вывод, что чем большей будет скорость при постоянной мощности мотора,

тем меньшей будет сила. Поэтому при движении автомобиля по дороге, ведущей вверх, для увеличения силы тяги мотора приходится снижать скорость.

Образец решения задачи

Большой кран поднял 10 т кирпича на высоту 30 м за 1 мин, а маленький кран на эту же высоту за 1 мин поднял 2 т кирпича. Найдите полезную мощность каждого из кранов. Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:

Формула:

Решение:

$m_1 = 10 \text{ т} = 10\,000 \text{ кг};$	$A_1 = m_1 gh;$	$A_1 = (10\,000 \cdot 10 \cdot 30) \text{ Дж} = 3\,000\,000 \text{ Дж};$
$m_2 = 2 \text{ т} = 2\,000 \text{ кг};$	$A_2 = m_2 gh;$	$A_2 = (2\,000 \cdot 10 \cdot 30) \text{ Дж} = 600\,000 \text{ Дж};$
$h = 30 \text{ м};$	$N_1 = \frac{A_1}{t};$	$N_1 = \frac{3\,000\,000}{60} \text{ Вт} = 50\,000 \text{ Вт} = 50 \text{ кВт};$
$t = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с};$	$N_2 = \frac{A_2}{t};$	$N_2 = \frac{600\,000}{60} \text{ Вт} = 10\,000 \text{ Вт} = 10 \text{ кВт}.$
$g = 10 \text{ м/с}^2.$		

Найти:

$N_1 = ? N_2 = ?$

Ответ: $N_1 = 50 \text{ кВт}; N_2 = 10 \text{ кВт}.$



Опорное понятие: мощность.



1. Что называется мощностью? В каких единицах она измеряется?
2. Как выражается связь между мощностью, силой и скоростью?
3. В каких еще единицах, кроме джоуля, измеряются работа и энергия?
4. Что нужно сделать водителю автомобиля, чтобы увеличить на подъеме силу тяги мотора?



1. Найдите полезную мощность ребенка, который выполнил за 1 ч работу 360 кДж.
2. Под действием некоторой силы тело массой 4 кг прошло в течение 5 с по горизонтальной поверхности расстояние 15 м. Коэффициент трения скольжения равен 0,2. Найдите полезную мощность тела при движении. В этой и следующих задачах примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.
3. Лошадь перевезла за 10 мин телегу массой 1 т на расстояние 1 км. Найдите полезную мощность лошади, если коэффициент трения, препятствующий движению, равен 0,06.
4. Самолет летит со скоростью 900 км/ч. Чему равна сила тяги мотора самолета, если его полезная мощность составляет 1,8 МВт?

§ 46. СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ПРИРОДЕ. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Преобразование и сохранение энергии в природе

Закон сохранения энергии справедлив не только для механических явлений, но и для прочих физических явлений. В этих явлениях энергия может переходить из одного вида в другой. Например, под действием силы трения часть механической энергии движущегося тела превращается в тепловую. Лучистая энергия Солнца преобразуется в тепловую, благодаря ей согревается поверхность Земли, происходят тепловые процессы в атмосфере, выпадают осадки, которые пополняют запасы воды в реках, потенциальная энергия воды при падении вниз с высоких плотин превращается в кинетическую, кинетическая энергия воды вращает турбины электростанций и появляется электрическая энергия, которая с помощью электрических ламп превращается в световую и т.д.

Энергия в природе не исчезает, она только переходит из одного вида в другой. Это – закон сохранения энергии. Закон сохранения энергии в природе формулируется следующим образом:



В природе энергия никогда не возникает и не исчезает, она только превращается из одного вида в другой или переходит от одного тела к другому, оставаясь неизменной по величине.

Коэффициент полезного действия

Полезная работа любой машины или двигателя всегда меньше полностью израсходованной энергии, так как при использовании любой машины происходят превращения энергии, которые называются потерями энергии. Например, часть энергии теряется на преодоление сил трения, в результате чего машина нагревается. И только оставшаяся энергия расходуется на полезную работу. Для характеристики того, какая часть используемой энергии дает полезную работу, вводится коэффициент полезного действия (сокращенно КПД).



Величина, измеряемая отношением полезной работы к полностью выполненной, называется коэффициентом полезного действия, который обозначается буквой η .

Коэффициент полезного действия любого механизма обычно выражают в процентах. Обозначив полезную работу $A_{\text{полезн.}}$, полностью затраченную работу $A_{\text{полн.}}$, запишем следующую формулу КПД:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{полн.}}} \cdot 100 \%$$

Так как в машинах и двигателях энергия теряется на преодоление сил трения, КПД всегда меньше 1 или 100%.

Образец решения задачи

Мощность двигателя подъемного крана 10 кВт. Кран поднимает груз массой 5000 кг на высоту 27 м за 3 мин. Найдите КПД крана.

Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$N_{\text{дв}} = 10 \text{ кВт} = 10\,000 \text{ Вт};$ $m = 5000 \text{ кг}; h = 27 \text{ м};$ $t = 3 \text{ мин} = 180 \text{ с};$ $g = 10 \text{ м/с}^2.$	$A_{\text{полн.}} = N_{\text{дв}} t;$ $A_{\text{полезн.}} = mgh;$ $\eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{полн.}}} \cdot 100\%.$	$A_{\text{полн.}} = (10000 \cdot 180) \text{ Дж} = 1\,800\,000 \text{ Дж}.$ $A_{\text{полезн.}} = (5000 \cdot 10 \cdot 27) \text{ Дж} = 1\,350\,000 \text{ Дж}.$ $\eta = \frac{1\,350\,000}{1\,800\,000} \cdot 100 \% = 75 \%$
<hr/> <i>Найти:</i> $\eta = ?$		<p><i>Ответ:</i> $\eta = 75 \%$.</p>



Опорные понятия: превращение энергии в природе, сохранение энергии в природе, лучистая энергия Солнца, гидроэлектростанция, коэффициент полезного действия.



1. Объясните, что значит превращение энергии в природе.
2. Что вы понимаете под словами: «Энергия не возникает и не исчезает»?
3. Что называется коэффициентом полезного действия и как он выражается?
4. Почему КПД всегда меньше 1 (100%)?



1. На автомобиле установлен двигатель мощностью 100 кВт. За 1 мин он выполняет полезную работу 2,4 МДж. Найдите КПД автомобиля.
2. Подъемный кран имеет мощность 10 кВт. КПД двигателя 80%. За какое время он поднимет на 40 м груз массой 2 т? Примете $g = 10 \text{ м/с}^2$.
3. Самолет летит прямолинейно и равномерно со скоростью 900 км/ч. Мощность двигателя 1,8 МВт, КПД – 70%. Найдите силу тяги самолета.

4. Через плотину гидроэлектростанции высотой 25 м каждую секунду переливается 200 т воды. Мощность электростанции 10 МВт. Каков КПД превращения энергии падающей воды в электрическую энергию? Примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УПРАЖНЕНИЯ ПО ГЛАВЕ VII

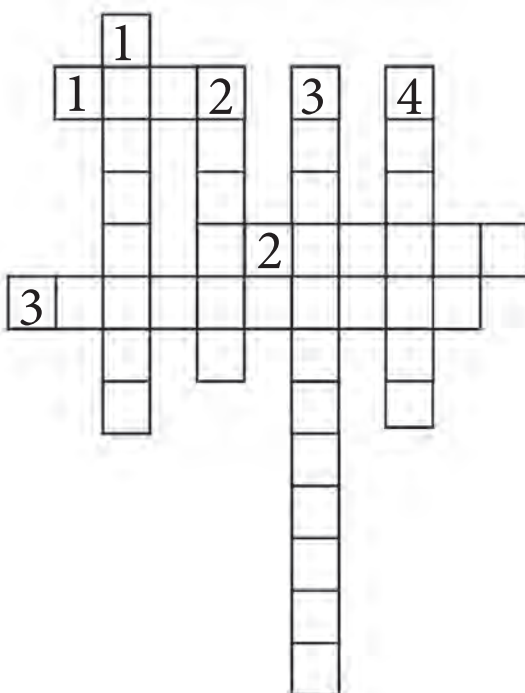
1. Какую работу выполняет сила тяжести при падении тела массой 1 кг с высоты 50 м на высоту 20 м? В данном и последующих упражнениях принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.
2. Пружина, жесткость которой равна 10000 Н/м, из равновесного состояния растянулась на 8 см. Чему равна при этом потенциальная энергия пружины?
3. Для того, чтобы растянуть пружину на 5 мм, нужно совершить работу в 3 кДж. Какую работу надо совершить, чтобы растянуть пружину на 1,2 см?
4. Тело массой 1 кг свободно падает с высоты 180 м. Какими будут потенциальная и кинетическая энергии тела в конце шестой секунды движения?
5. Какую работу выполняет штангист при поднятии штанги массой 180 кг на 2 м?
6. Какую работу выполняет кран при поднятии стальной балки длиной 7 м и сечением 72 см^2 из горизонтального положения на высоту 60 м? Плотность стали $7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
7. Скорость свободно падающего тела массой 250 г на определенном отрезке пути возросла с 1 до 9 м/с. Найдите работу силы тяжести на этом пути.
8. Импульс тела, движущегося с определенной скоростью, равен $10 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, а кинетическая энергия 50 Дж. Найдите скорость и массу тела.
9. Столб массой 40 кг и длиной 3 м лежит на земле. Какую работу надо выполнить, чтобы поставить столб вертикально?
10. Тело массой 0,5 кг свободно падает с высоты 60 м. Найдите потенциальную и кинетическую энергии тела на высоте 20 м от земли.
11. Камень брошен вверх со скоростью 20 м/с. На какой высоте потенциальная и кинетическая энергии камня сравняются?

12. Тело равномерно движется по горизонтальной поверхности под действием силы 100 Н. После прекращения воздействия внешней силы тело проскользило на 2 м и остановилось. Найдите работу силы трения.
13. Найдите полезную мощность мальчика, выполнившего работу в 180 кДж за 0,5 ч.
14. На автомобиль установлен двигатель мощностью 250 кВт, который за 1 ч выполнил полезную работу в 360 МДж. Найдите КПД двигателя.

Кроссворд

- По вертикали:
1. Один из разделов физики.
 2. Транспорт космонавтов.
 3. Вид энергии.
 4. Физическая величина, означающая толчок.

- По горизонтали:
1. Единица измерения.
 2. Наш соотечественник, внесший вклад в развитие физики.
 3. Ученый, который ввел слово «физика» в науку.



ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ

Измерение физических величин на лабораторных занятиях выполняется непосредственно и косвенно. При непосредственном измерении значение отыскиваемой величины показывает прибор. Но не все физические величины можно измерять непосредственно. Поэтому отыскиваемая физическая величина вычисляется по значениям, измеренным прибором. Такое определение физической величины называется косвенным измерением. При косвенном измерении необходимо учитывать абсолютные и относительные погрешности.

При измерении физических величин отбираются значения, найденные при одинаковых условиях: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Их среднее арифметическое значение находят по выражению $a_{\text{ср.}} = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n)/n$.

Значения, найденные при измерениях, отличаются друг от друга, и отличие их от среднего значения называется абсолютной погрешностью измерений.

Абсолютная погрешность при первом измерении находится по выражению $\Delta a_1 = |a_{\text{ср.}} - a_1|$, при втором измерении – по $\Delta a_2 = |a_{\text{ср.}} - a_2|$, при третьем измерении $\Delta a_3 = |a_{\text{ср.}} - a_3|$, при n -ом измерении – по $\Delta a_n = |a_{\text{ср.}} - a_n|$. Среднее значение абсолютной погрешности находится из выражения $\Delta a_{\text{ср.}} = (\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n)/n$.

Истинное значение отличается от среднего значения до $\pm a_{\text{ср.}}$, т.е. $a = a_{\text{ср.}} + \Delta a_{\text{ср.}}$. Отношение среднего значения абсолютной погрешности к среднему значению измеряемой величины называется **относительной погрешностью**, которая берется в процентах, т.е. $\varepsilon = (\Delta a_{\text{ср.}} / a_{\text{ср.}}) \cdot 100 \%$.

ОТВЕТЫ УПРАЖНЕНИЙ

Упр 2. 2. $v = 1,5$ м/с. 3. $v = 5$ м/с. 4. $v = 80$ км/ч. **Упр 3.** 1. $s = 60$ м. 2. $s = 30$ км. 3. $t = 10$ мин. 4. $t = 0,5$ ч. **Упр. 4.** 1. $v_{\text{ср.}} = 0,5$ м/с. 2. $v_{\text{ср.}} = 90$ км/ч. 3. $v = 1,5$ м/с. 4. в 7 ч 40 мин. **Упр. 5.** 1. $a = 2,5$ м/с². 2. $t = 30$ с. 3. $a_1 = 0,5$ м/с²; $a_2 = -1,0$ м/с². 4. $a = 0,5$ м/с². 5. $t = 50$ с. **Упр. 6.** 1. $v = 12$ м/с. 2. $v = 15$ м/с. 3. $v = 24$ км/ч; $v_{\text{ср.}} = 42$ км/ч. 4. $v_0 = 5$ м/с. **Упр. 7.** 1. $s = 15$ м. 2. $s = 1,4$ км. **Упр. 8.** 1. $v = 60$ м/с; $h = 180$ м. 2. $t = 4$ с; $h = 80$ м. 3. $v = 45$ м/с; $h = 45$ м. **Упр. 9.** 1. $v = 5$ м/с; $h = 30$ м. 2. $h = 90$ м; $t = 6$ с. 3. $v = -10$ м/с; $h = 75$ м. 4. $v = 60$ м/с. 5. $h = 45$ м; $v_0 = 30$ м/с. **Упр. 10.** 1. $v_1 = 0,5$ м/с; $v_2 = 1$ м/с; $v_3 = 1,5$ м/с; $\omega = 10$ рад/с. 2. $v = 10$ м/с. 3. $v = 0,05$ м/с; $\Delta\varphi = 1$ рад; $\omega \approx 0,0017$ рад/с. 5. $v \approx 21$ см/с; $\omega \approx 0,00105$ рад/с. **Упр. 11.** 1. $v \approx 0,21$ м/с; $\omega \approx 0,21$ рад/с. 2. $T \approx 0,19$ с; $v \approx 5,3$ л/с; $\omega \approx 33,3$ рад/с. 3. $v \approx 465$ м/с; $\omega \approx 7,3 \cdot 10^{-5}$ рад/с. **Упр. 12.** 1. $a = 100$ м/с². 2. $a \approx 1786$ м/с². 3. $a \approx 18,75$ м/с². 4. $r = 57,6$ см. 5. $T = 0,05$ с; $v = 18,84$ м/с; $\omega = 125$ рад/с; $a \approx 2366$ м/с². **Упр 14.** 3. $a = 2$ м/с²; $m = 40$ кг. 4. $F = 20$ Н. **Упр 15.** 1. $v = 7,85$ м/с; $F \approx 4,9$ Н. 2. А. $v = 7,85$ м/с; $F \approx 9,8$ Н. Б. $v = 15,7$ м/с; $F \approx 9,8$ Н. В. $v = 3,925$ м/с; $F \approx 1,2$ Н. **Упр. 16.** 1. $k = 80$ Н/м. 2. $\Delta l = 2$ см. 3. $F_1 = 40$ Н. 4. $\Delta l = 1$ см. 5. $k = 4 \cdot 10^5$ Н/м. 6. $k_2 = 500$ Н/м. **Упр 17.** 1. $F \approx 2 \cdot 10^{20}$ Н. 2. $F \approx 1,7 \cdot 10^{-7}$ Н. 3. $F = 8,17 \cdot 10^{-8}$ Н. **Упр 18.** 1. $F = F_T = 2$ кН. 3. $m = 2$ т. **Упр. 19.** 1. $P = 0,5$ Н. 2. $P = 0,8$ Н. 3. $P = F_{\text{упр}} = 2$ Н. **Упр. 20.** 1. $P = 6$ Н. 3. $a = 3$ м/с². **Упр. 21.** 1. $h = 45$ м; $s = 4$ м. 2. $t = 5$ с; $h = 125$ м. 3. $v_1/v_a = 355,5$; $v_1/v_c = 31,6$. **Упр. 22.** 1. $F = 3,84 \cdot 10^{-6}$ Н. 2. $F = 0,67$ Н. 3. $F = 3,5 \cdot 10^{-22}$ Н. 4. $F = P = 1000$ кН. 5. $m = 10$ т. 6. $F = 9,8$ Н; 7. $P = 666$ Н. 8. $P = 657$ Н. 9. 4716 км. **Упр. 23.** 1. $F_{\text{тр.с.}} = 20$ Н. 2. $F = 12$ Н. 3. $F_{\text{тр.к}} = 0,06$ Н. 4. $F_{\text{тр.к}} = 3,6$ Н. **Упр. 24.** 1. $I_1 = 20$ Н · с; $I_2 = 1$ Н · с. 2. $I = 10$ Н · с. 3. $\Delta p = -0,3$ Н · с. **Упр. 25.** 1. $m = 30$ т. 2. $v = 4,5$ м/с. 3. $v = 4,5$ м/с. **Упр. 26.** 1. $A = 2$ кДж. 2. $A = 630$ Дж. 3. $A_1 = 72$ кДж; $A_2 = 96$ кДж; $A_3 = 120$ кДж; $A_{\text{общ}} = 283$ кДж. 4. $F = 120$ кН. 5. а) отрицательный; б) положительный. 6. $A = 12,25$ Дж. **Упр. 27.** 1. $E_{\text{п}} = 80$ Дж. 2. $E_{\text{п1}} = 100$ Дж; $E_{\text{п2}} = 240$ Дж; $A = -140$ Дж. 3. $A = 9,6$ кДж. **Упр. 28.** 1. $E_{\text{к}} = 12,5$ Дж; 2. $A = 240$ кДж; 3. $A = 10$ кДж; 4. $A = 80$ кДж. 5. $m = 1349$ кг. **Упр. 29.** 1. $E_{\text{к}} = 5$ Дж; $E_{\text{п}} = 40$ Дж. $E_{\text{макс}} = 45$ Дж. 2. $E_{\text{п2}} = 18$ кДж; $E_{\text{к2}} = 0$; $m = 300$ кг. 3. $E_{\text{п}} = 90$ Дж. 4. $h = 40$ м. **Упр 30.** 1. $N = 100$ Вт. 2. $N = 24$ Вт. 3. $N = 1$ кВт. 4. $F = 7,2$ кН. **Упр. 31.** 1. $\eta = 40\%$. 2. $t = 1$ мин 40 с. 3. $F = 5040$ Н. 4. $\eta = 20\%$.

ОТВЕТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

Глава II. 1. $v = 5$ м/с; $v = 18$ км/ч. 2. $S = 60$ км. 3. $t = 12$ мин. 4. а) 25 м/с; б) 15 м/с. 5. $l_1 = 270$ м; $l_2 = 360$ м. 6. $t_{\text{пр.т}} = 2 t_{\text{пот.}}$. 7. $v_{\text{ср.}} = 72$ км/ч. 8. $t_2 = 20$ с. 9. $S_2 = 72$ см. 10. $S = 38,75$ м. 11. $S = 40$ м; $v = 90$ м/с. 12. $S = 25$ м. 13. $t = 8$ с. 14. $v = 55$ м/с. 15. $h = 720$ м; $v = 120$ м/с. 16. $v_{\text{ср.}} = 45$ км/ч.

Глава III. 1. $v = 0,6$ 1/с; $T = 1,67$ с; $v = 1,88$ м/с; $\omega = 3,76$ рад/с. 2. $T = 0,05$ с; $v = 20$ 1/с; $\omega = 125,6$ рад/с. 3. $v = 4,2 \cdot 10^{-7}$ 1/с; $v = 1$ км/с. 4. $v = 3,2 \cdot 10^{-8}$ 1/с; $v = 30$ км/с. 5. $v = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/с; $a = 0,034$ м/с². 6. $v = 2,65$ 1/с. 7. $a = 0,225$ м/с². 8. $a = 1570$ м/с². 9. $v_2/v_1 = 1/20$. 10. 4 раза.

Глава IV. 1. $F = 20$ Н. 2. $F = 0,1$ Н. 3. $m = 20$ т. 4. $F = 0,8$ Н. 5. $a = 0,5$ м/с². 6. $a = 3$ м/с². 7. а) 2 м/с; б) 3 м/с. 8. $F = 1,6$ кН. 9. $v = 2$ м/с. 10. $a = 1,5$ м/с². 11. $a = 1,5$ м/с². 12. $F = 800$ Н. 13. $F = 4$ Н; $a = 40$ м/с². 14. $F_2 = 4F_1$; $a_2 = 4a_1$. 15. $m = 250$ г. 16. $F = 1$ Н. 17. $m = 200$ кг; $a = 12,5$ м/с². 18. $k = 20$ Н/м. 19. $k = 125$ Н/м. 20. $m = 300$ г. 21. $\Delta l = 6$ см. 22. $k_2 = 160$ Н/м. 23. $\Delta x = 14$ см.

Глава V. 3. $F = 6,67 \cdot 10^{-3}$ Н. 5. $M_c = 2 \cdot 10^{30}$ кг. 6. $P = 3,58$ кН. 7. $P = 118$ Н. 8. $h = 20$ м. 10. $F_{\text{тр.}} = 20$ Н; $\mu = 0,04$. 13. $R = 40$ м.

Глава VI. 4. $I_1 = 1$ Н·с; $I_2 = 40$ Н·с. 5. $p_1 = 0,3$ кг·м/с; $p_2 = 1,5$ кг·м/с; $p_3 = 1,2$ кг·м/с. 6. $p = 0,5$ кг·м/с. 7. $p_1 = 30000$ кг·м/с; $p_2 = 40000$ кг·м/с; $p_1^1 = 12000$ кг·м/с; $p_2^1 = 18000$ кг·м/с. 8. $\Delta p = -0,24$ кг·м/с. 9. $v = 1,8$ м/с. 10. $v = 3$ м/с. 12. $x = 1$ м. 13. $\Delta p = -0,03$ Н/с.

Глава VII. 1. $A = 300$ Дж. 2. $E_{\text{п}} = 32$ Дж. 3. $A_2 = 17$ кДж. 4. $E_{\text{к}} = 1800$ Дж; $E_{\text{п}} = 0$ Дж. 5. $A = 3600$ Дж. 6. $A = 246$ кДж. 7. $A = 10$ Дж. 8. $v = 10$ м/с; $m = 1$ кг. 9. $A = 600$ Дж. 10. $E_{\text{к}} = 200$ Дж; $E_{\text{п}} = 100$ Дж. 11. $h = 10$ м. 12. $A = 200$ Дж. 13. $N = 100$ Вт. 14. $\eta = 40$ %.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ	
Глава I. Общие сведения о механическом движении	
§ 1. Движение тел	8
§ 2. Пространство и время	11
§ 3. Основные понятия кинематики	14
§ 4. Скалярные и векторные величины и действия над ними	18
Глава II. Прямолинейное движение	
§ 5. Понятие о прямолинейном равномерном движении	26
§ 6. Скорость прямолинейного равномерного движения	28
§ 7. Графическое изображение прямолинейного равномерного движения	32
§ 8. Скорость при неравномерном движении	34
§ 9. Ускорение при равнопеременном движении	37
§ 10. Скорость равнопеременного движения	40
§ 11. Путь, пройденный при равнопеременном движении	44
§ 12. Определение ускорения тела при равноускоренном движении (Лабораторная работа 1)	47
§ 13. Свободное падение тел	48
§ 14. Движение тела, брошенного вертикально вверх	50
Глава III. Вращательное равномерное движение	
§ 15. Вращательное равномерное движение тела	56
§ 16. Соотношения между величинами, характеризующими вращательное движение	59
§ 17. Центробежное ускорение	62
ОСНОВЫ ДИНАМИКИ	
Глава IV. Законы движения	
§ 18. Взаимодействие тел. Сила	69
§ 19. Первый закон Ньютона – закон инерции	72
§ 20. Масса тела	76
§ 21. Второй закон Ньютона	78
§ 22. Третий закон Ньютона	82
§ 23. Приложение законов движения к вращательному движению	86
§ 24. Сила упругости.....	88
§ 25. Определение жесткости пружины (Лабораторная работа 2)	93

Глава V. Движение тел под действием внешних сил

§ 26. Закон всемирного тяготения	97
§ 27. Сила тяжести	100
§ 28. Вес тела	102
§ 29. Перегрузка и невесомость	105
§ 30. Движение тел под действием силы притяжения Земли	108
§ 31. Искусственные спутники Земли	112
§ 32. Сила трения. Трение покоя	115
§ 33. Трение скольжения. Трение качения	118
§ 34. Определение коэффициента трения скольжения (Лабораторная работа 3)	122
§ 35. Трение в природе и технике	123

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Глава VI. Закон сохранения импульса

§ 36. Импульс	130
§ 37. Закон сохранения импульса	135
§ 38. Реактивное движение	140

Глава VII. Работа и энергия. Закон сохранения энергии

§ 39. Механическая работа	147
§ 40. Вычисление работы, выполняемой при поднятии тела и горизонтальном его перемещении на это же расстояние (Лабораторная работа 4)	151
§ 41. Потенциальная энергия	152
§ 42. Кинетическая энергия	155
§ 43. Закон сохранения механической энергии	157
§ 44. Определение зависимости кинетической энергии тела от его скорости и массы (Лабораторная работа 5)	162
§ 45. Мощность	163
§ 46. Сохранение энергии в природе. Коэффициент полезного действия	166
Ответы упражнений	171
Ответы дополнительных упражнений	172

Хабибуллаев, Пулат Киргизбаевич.

Физика: Механика: учебник для 7 класса общеобразовательных школ/ П. К. Хабибуллаев, А. Бойдедаев, А. Д. Бахромов, С. Бурханов.– Изд. 4-е, исправ. и доп. — Т.: Государственное научное издательство «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi», 2017. — с. 176.

КБК 22.3ya72

O‘quv nashri

HABIBULLAYEV PO‘LAT QIRG‘IZBOYEVICH,
BOYDEDAYEV AHMADJON,
BAHROMOV AKBAR DALABOYEVICH,
BURXONOV SATTOR OSIMOVICH

F I Z I K A

Umumiy o‘rta ta‘lim maktablarining
7-sinfi uchun darslik
(Rus tilida)

Qayta ishlangan va to‘ldirilgan to‘rtinchi nashri

«O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Davlat ilmiy nashriyoti
Toshkent–2017

Перевод с узбекского
и редактирование З. Файзиева
Художественный редактор А. Якубджанов
Компьютерная верстка Ж. Бадалов

Лицензия издательства АИ № 160 от 14.08.2009.

Подписано в печать 22.08.2017 г. Формат 70x100^{1/16}.

Гарнитура «Times», кегель 11,5. Печать офсетная. Усл. п. л. 14,19. Уч.изд. л. 12,00.

Тираж 60 381. Заказ № 4790.

Государственное научное издательство «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi».
100011, г. Ташкент, ул. Навои, 30.

Напечатано в типографии Издательско-полиграфической
акционерной компании «Sharq» .
100000, г. Ташкент, ул. Буюк Турон, 41.

Таблица состояния учебника

№	Имя и фамилия учащегося	Учебный год	Первоначальное состояние учебника	Подпись классного руководителя	Состояние учебника при сдаче	Подпись классного руководителя
1						
2						
3						
4						
5						

При оценке состояния учебника, выданного во временное пользование, в конце учебного года учитель основывается на следующих критериях.

Новое	Сохранено первоначальное состояние учебника
Хорошее	Обложка целая, не отделена от основной части учебника. В наличии все страницы, целые, по порядку, без надписей и рисунков на страницах.
Удовлетворительное	Обложка мягкая, частично исписанная, края листов загнуты, удовлетворительно подреставрирован учеником. Вырванные страницы вклеены, на некоторых имеются надписи.
Неудовлетворительное	Обложка исписанная, порванная, частично или полностью отделена от основной части, неудовлетворительно подреставрирован. Страницы порваны или отсутствуют, исчерчены, разрисованы. Учебник непригоден для использования.

Хабибуллаев, Пулат Киргизбаевич.

Физика: Механика: учебник для 7 класса общеобразовательных школ/ П. К. Хабибуллаев, А. Бойдедаев, А. Д. Бахромов, С. Бурханов.– Изд. 4-е, исправ. и доп. — Т.: Государственное научное издательство «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi», 2017. — с. 176.

КБК 22.3ya72

O‘quv nashri

HABIBULLAYEV PO‘LAT QIRG‘IZBOYEVICH,
BOYDEDAYEV AHMADJON,
BAHROMOV AKBAR DALABOYEVICH,
BURXONOV SATTOR OSIMOVICH

F I Z I K A

Umumiy o‘rta ta‘lim maktablarining
7-sinfi uchun darslik
(Rus tilida)

Qayta ishlangan va to‘ldirilgan to‘rtinchi nashri

«O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Davlat ilmiy nashriyoti
Toshkent–2017

Перевод с узбекского
и редактирование З. Файзиева
Художественный редактор А. Якубджанов
Компьютерная верстка Ж. Бадалов

Лицензия издательства АИ № 160 от 14.08.2009.

Подписано в печать 22.08.2017 г. Формат 70x100^{1/16}.

Гарнитура «Times», кегель 11,5. Печать офсетная. Усл. п. л. 14,19. Уч.изд. л. 12,00.

Тираж 4985. Заказ № 4790 – А.

Государственное научное издательство «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi».
100011, г. Ташкент, ул. Навои, 30.

Напечатано в типографии Издательско-полиграфической
акционерной компании «Sharq» .
100000, г. Ташкент, ул. Буюк Турон, 41.