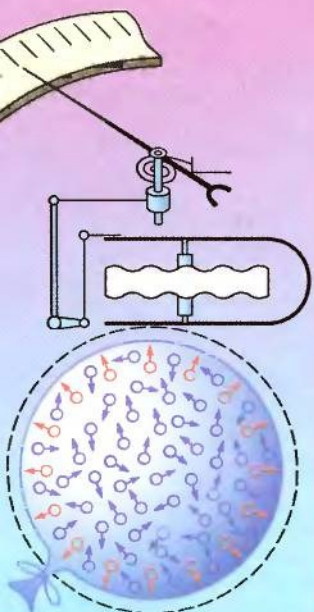


ФІЗИКА



Е.В. КОРШАК
А.И. ЛЯШЕНКО
В.Ф. САВЧЕНКО

класс 8



ББК 22.3я721

К70

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(письмо МОН Украины № 1.4/18-679 от 27.03.08 г.)*

Издано за счет государственных средств. Продажа запрещена

Перевод с украинского *Коршак Е.В., Ляшенко А.И.*

Ответственные за подготовку к изданию:
Хоменко Е.В. – главный специалист МОН Украины;
Юрчук И.А. – методист высшей категории Института
инновационных технологий и содержания образования

Коршак, Е.В.

К70 Физика : 8 кл. : учеб. для общеобразоват. учебн.
заведений: Пер. с укр. / Е.В. Коршак, А.И. Ляшенко,
В.Ф. Савченко. – К. : Генеза, 2008. – 208 с. : ил.

ISBN 978-966-504-861-9.

ББК 22.3я721

Навчальне видання

**КОРШАК Євгеній Васильович, ЛЯШЕНКО Олександр
Іванович, САВЧЕНКО Віталій Федорович**

ФІЗИКА. 8 клас

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактори *М. Зубченко, О. Мовчан*
Обкладинка і макет, виготовлення ілюстрацій
В. Жеборовського, В. Марущинця
Художній редактор *В. Марущинець*
Технічний редактор *В. Олійник*
Коректори *Л. Леуська, І. Іванюсь*
Комп'ютерна верстка *Ю. Лебедева*

Здано на виробництво та підписано до друку 15.09.2008.

Формат 60×90/16. Папір офсетний. Друк офсетний.

Гарнітура Шкільна. Умовн. друк. арк. 13 + 0,25 форзац.

Умовн. фарбо-відб. 52. Обл.-вид. арк. 12,63 + 0,39 форзац.

Вид. № 909. Наклад 62 550 прим. Зам. 8207.

Видавництво «Генеза»,

04212, м. Київ, вул. Тимошенка, 2-л.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 25 від 31.03.2000 р.

Віддруковано з готових позитивів
на ДП «Державна картографічна фабрика»,
21100, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 19.

Свідоцтво серія ДК № 869 від 26.03.2002 р.

© Коршак Е.В., Ляшенко А.И.,
Савченко В.Ф., 2007

© Издательство «Генеза»,
оригинал-макет, 2008

ISBN 978-966-504-861-9 (рус.)

ISBN 978-966-504-799-5 (укр.)

Дорогой друг!

В твоих руках второй учебник физики. Из первого учебника (7 класс), изучая природоведение и другие предметы, из повседневной жизни ты ознакомился со многими явлениями, изучаемыми физикой, узнал о методах, которыми она пользуется; с тем, как полученные знания используются для объяснения явлений окружающего мира, для улучшения жизни человека.

Ты также понял, что для овладения физикой необходимы значительные усилия, внимание: наблюдать физические явления, проводить опыты, решать задачи, выполнять измерения, осмысливать результаты познавательных действий.

Ты получишь большое удовольствие, когда перед тобой откроются новые перспективы: самостоятельно разбираться в тайнах и загадках природы, применять приобретенные знания, умения и навыки в повседневной жизни, получать возможность сделать собственный внос в развитие науки, техники и культуры.

В этом учебнике рассматриваются механические и тепловые явления. Ты узнаешь, что неподвижных тел не существует, что наука изучает относительные движения и относительный покой; какие механические движения встречаются в природе, а какие используются в технике. Ты научишься пользоваться простейшими механизмами для облегчения работы, познакомишься с тем, как знания закономерностей тепловых и механических явлений позволяют создавать автомобили, самолеты, космические аппараты для изучения Вселенной.

Имей также в виду, что изучение механических и тепловых явлений крайне необходимо для освоения дальнейших разделов физики: электромагнетизма, оптики, атомной и ядерной физики, а также других наук: астрономии, химии, биологии и др.

Для облегчения ориентации в материале учебника авторы используют обозначения:



**интересные факты,
дополнительные сведения,
данные об ученых**



**актуализирующие и
контрольные вопросы**



**важно знать,
запомнить**



**для дополнительного
чтения**

*Желаем тебе успехов на нелегком, но прекрасном
пути познания природы и человека!*

Авторы



Глава 1

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Усвоив материал этого раздела, вы будете **знать**:

- что такое механическое движение;
- что неподвижных тел в природе нет.

Вы сможете **объяснить**:

- отличие траектории движения и скорости в различных системах отсчета;
- графики движения тел и определять по графикам, как движутся эти тела.

Вы будете **уметь**:

- измерять скорость движения тел, период и частоту колебаний;
- пользоваться приборами для измерения расстояний и времени; представлять результаты измерений в виде таблиц и графиков;
- решать задачи, касающиеся механического движения тел.



§ 1. Механическое движение и пространство. Относительность движения

5

Мир механики

Механика – наука о механическом движении материальных тел и взаимодействиях между ними, происходящих при этом. Слово *механика* происходит от греческого «механикс» – хитрость.

Самый важный вывод, сделанный наукой в процессе своего развития: неподвижных тел в природе нет. В науке говорят, что движение является абсолютным. Однако повседневный опыт заставляет нас думать, что множество тел вокруг нас неподвижно. Когда мы идем по дороге, то деревья возле нее, дома кажутся неподвижными, хотя они и движутся вместе с вращением Земли вокруг ее оси, движутся вместе с Землей по орбите вокруг Солнца и т. д.

Таким образом, наука изучает не абсолютные (истинные) движения тел, а их движения относительно других тел, которые условно считаются неподвижными.

Вы уже имеете много сведений о движении разных тел, их скоростях из повседневной жизни, уроков физики, математики, природоведения и других предметов. Теперь перед вами все шире раскрывается мир движущихся тел и их взаимодействий, изучаемых физикой.

Желая описать состояние физических тел вокруг нас, мы часто называем одни из них неподвижными, другие – движущимися. Деревья в лесу или саду, строения, мосты, камни на берегу и дне реки мы считаем неподвижными, а воду в реке, самолеты в небе, автомобили, едущие по дороге, – движущимися.

Что позволяет делить тела на неподвижные и движущиеся? Чем движущиеся тела отличаются от неподвижных?

Когда мы говорим о движущемся автомобиле, то имеем в виду, что в определенный момент он был рядом с нами, а в другие моменты расстояние между нами и автомобилем будет уже другим, хотя мы стоим на том же месте.

Неподвижные тела в течение всего наблюдения не изменяют своего положения относительно наблюдателя.

Выполним такой опыт (рис. 1). Поставим на стол флажки на прямой линии на одинаковых расстояниях друг от друга. Возле первого флажка поставим тележку с нитью и будем тянуть ее. Сначала тележка переместится от первого флажка ко второму, затем – к третьему и т. д.

Если тело изменяет свое положение в пространстве, то говорят, что оно совершает механическое движение. Если такого изменения нет, то тело считается неподвижным, то есть пребывающим в покое.

Изменение положения тела в пространстве называют механическим движением.

Механическое движение относительно.

Механическое движение – это изменение положения тела относительно других тел.



Рис. 1. Изменение положения тележки иллюстрирует механическое движение

Механическое движение, как и покой, относительно. Одно и то же тело может быть неподвижным относительно одних тел и движущимся относительно других. Например, водитель автомобиля, движущегося по дороге, движется относительно наблюдателя, стоящего возле дороги, и неподвижен относительно пассажира, сидящего в салоне автомобиля.

Таким образом, чтобы описать механическое состояние тела, необходимо четко определить, относительно каких тел рассматривается его положение. Соответственно, можно дать такое определение механического движения.

Для описания механического движения выбирают тело отсчета.

Выбор тела отсчета может существенно изменить описание состояния тела. Рассмотрим пример. На длинную тележку, стоящую на столе, ставим короткую (рис. 2). Придерживая короткую тележку, будем перемещать длинную. Ее положение будет изменяться и относительно стола, и относительно короткой тележки. Наблюдатель на короткой тележке и наблюдатель, стоящий на столе, скажут, что они неподвижны, а длинная тележка движется. Если же наблюдатель будет стоять на длинной тележке, то он скажет, что относительно него движутся стол и короткая тележка.

Тело, относительно которого определяется положение данного тела, называется телом отсчета.

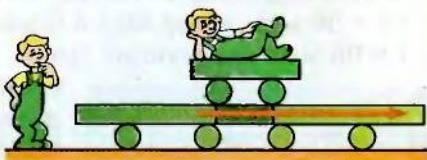


Рис. 2. Описание состояния тела зависит от выбора тела отсчета

Таким образом, говоря о механическом движении любых физических тел, необходимо указывать тело отсчета.

1. Что такое механическое движение?
2. Для чего выбирают тело отсчета?
3. Как влияет выбор тела отсчета на описание состояния тела?
4. Почему механическое движение относительно?
5. Существуют ли в природе неподвижные тела?



Упражнение 1

1. В вагоне движущегося поезда на столике лежит книга. Двигется или находится в покое книга относительно: а) столика? б) рельсов? в) моста через реку? г) воды в реке? д) Луны?

Как изменятся ответы, если поезд будет стоять на станции?

2. Пассажиры стоят на палубе корабля, подплывающего к пристани. Относительно каких предметов они неподвижны? Движущиеся?

3. Двигутся или находятся в покое один относительно другого люди, которые стоят на эскалаторе метро или сидят в салоне автобуса или самолета?

4. Человек, садящийся в открытый автомобиль, заметил, что ветер дует с севера. Во время движения автомобиля он отметил, что ветер дует с юга. Как это объяснить?

§ 2. Механическое движение и время

Механическое движение происходит не только в *пространстве*, но и *во времени*. Недостаточно назвать место в пространстве, в котором находится тело. Важно указать последовательность пребывания тела в разных местах пространства. Так, если назвать станции, на которые прибывал поезд (например, Житомир, Одесса, Винница, Киев), то направление движения поезда остается загадкой. Если же сообщить, что в 19 ч 00 мин поезд был в Киеве, в 21 ч 30 мин – в Житомире, в 1 ч 05 мин следующих суток – в Виннице, а в 7 ч 30 мин – на станции Одесса, то можно утверждать, что поезд двигался от Киева до Одессы через Житомир и Винницу.

Движение и время – неотделимы.

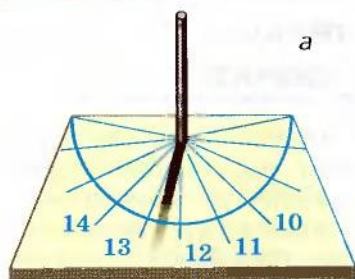
Механическое движение нельзя рассматривать, не указывая время движения. На этом примере видно единство пространства и времени.

Время, как и другие физические величины, можно измерить. Измеряют время при помощи часов, которые условно можно разделить на естественные и искусственные. Часы отражают единство времени и движения, так как в каждом таком приборе (часах) используется тот или иной вид движения.

В основу естественных (природных) часов положены движения Солнца, Луны, Земли. Давно замечено, что эти небесные тела регулярно повторяют свое положение относительно других тел. Так, Солнце ежедневно у нас восходит в восточной части небосвода, а заходит в западной. Это является следствием вращения Земли вокруг своей оси. Время одного оборота Земли вокруг своей оси называли *сутками*. Время между двумя восходами Солнца, следующими один за другим, равно *одним суткам*.

Высота Солнца над горизонтом в полдень не остается постоянной, за исключением мест на экваторе. Эта высота некоторое время увеличивается, а затем – уменьшается. Время между двумя последовательными наивысшими над горизонтом положениями Солнца в полдень равно *одному году*.

Люди создали много типов часов. Некоторые из них показаны на рис. 3. Простейшие часы – песочные. У них песок через маленькое отверстие пересыпается из одной части сосуда в другую, а затем сосуд переворачивают, и начинается новый отсчет времени. Такими часами можно измерить интервалы времени от нескольких минут до нескольких часов. Но точность таких часов невысока, и применение их ограничено.



а

в



б

Рис. 3. Типы часов:
а – солнечные; б – механи-
ческие; в – электронные

9

Механические и электронные часы значительно точнее, поэтому широко используются в науке, технике, быту. Для особо точных измерений применяют атомные часы, в которых используются явления, происходящие в атомах и молекулах. При помощи таких часов определили, что одни сутки отличаются от других на тысячные доли секунды.

Как единицы времени используют сутки, год, час, минуту, секунду. Основной¹ единицей времени является секунда. Единицы времени соотносятся между собой так:

$$1 \text{ секунда} = \frac{1 \text{ сутки}}{86\,400};$$

$$1 \text{ год} = 365 \text{ (366) суток};$$

$$1 \text{ сутки} = 24 \text{ ч} = 1440 \text{ мин} = 86\,400 \text{ с};$$

$$1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с};$$

$$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}.$$

1. Почему нельзя описать движение без времени?
2. Почему нельзя разделить время и движение?
3. Какие природные явления используются для измерения времени?
4. Назовите естественные и искусственные часы.
5. Какие вы знаете единицы времени?
6. Какая единица является основной единицей времени?

¹ Основная единица – это единица физической величины, используемая в международной системе СИ.

§ 3. Физическое тело и материальная точка

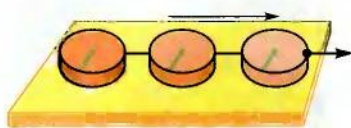


Рис. 4. Линия на шайбе сохраняет свое направление при ее поступательном движении

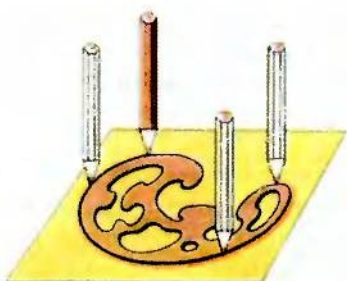


Рис. 5. Карандаш, которым обводят фигуру на бумаге, движется поступательно

Все тела, окружающие нас, в физике называют *физическими телами*. Тела состоят из какого-либо вещества, имеют определенный объем и форму. Они могут считаться движущимися или неподвижными в зависимости от выбора тела отсчета. При этом может двигаться как тело в целом, так и отдельные его части.

Выполним опыт. Проведем на шайбе прямую линию и прикрепим к шайбе нить (рис. 4). Кладем шайбу на стол и тянем за нить. Шайба движется относительно стола и других предметов, а линия на ней сохраняет предыдущее направление — линия движется параллельно самой себе.



Движение физического тела, при котором любая линия, нанесенная на теле, остается параллельной своему предыдущему положению, называют поступательным.

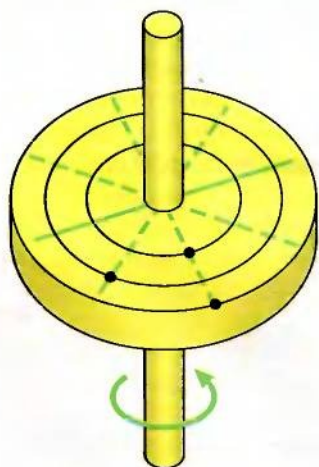


Рис. 6. Каждая точка на вращающейся шайбе описывает окружность

Поступательно движется кузов автомобиля на горизонтальной прямой дороге, груз, поднимаемый краном, карандаш, при помощи которого рисуют сложную фигуру на бумаге (рис. 5).

Закрепим шайбу на металлической оси так, чтобы она проходила через центр шайбы, и начнем ее вращать (рис. 6). Линия на шайбе все время изменяет свою ориентацию в пространстве, каждая ее точка описывает окружность.

Для упрощения изучения закономерностей механического движения в физике иногда применяют искус-

ственный прием, когда возможно пренебречь формой и размерами тел.

Если размерами и формой тела пренебрегают, то его считают *материальной точкой*.

Поезд, движущийся от Киева до Львова, расстояние между которыми около 600 км, можно считать материальной точкой, поскольку его длина значительно меньше проходимого расстояния. Но этот же поезд, стоящий на вокзале, не может считаться материальной точкой для пассажира, которому необходимо преодолеть расстояние от локомотива до последнего вагона.

Движение физического тела, когда каждая его точка движется по окружности, называют вращательным.



Материальная точка – это тело, линейными размерами которого можно пренебречь в конкретных условиях.



1. Какое движение называют поступательным?
2. Назовите тела, движущиеся поступательно.
3. Какое движение называют вращательным?
4. Назовите примеры вращательного движения тел.
5. При каких условиях физическое тело можно считать материальной точкой?
6. Когда космический корабль можно считать материальной точкой?



11

§ 4. Траектория движения тела

В механическом движении тело, которое можно считать материальной точкой, постепенно переходит из одной точки пространства в другую. Совокупность таких точек образует непрерывную линию.

Линию, описанную телом во время механического движения, называют *траекторией* его движения.

Для исследования механических движений тел используют различные явления, которые делают траектории их движения видимыми. Так, при полете самолета на большой высоте переохлажденный пар воды конденсируется на частичках сгорания топлива и образуется туманный след, хорошо видимый на фоне голубого неба (рис. 7).

О траектории движения можно судить по следам лыжника на снегу, по следам колес лунохода на поверхности Луны.

Для исследования движений используют различные виды фотографирования, создание специальных документальных киноматериалов. На рисунке 8 изображены следы движения

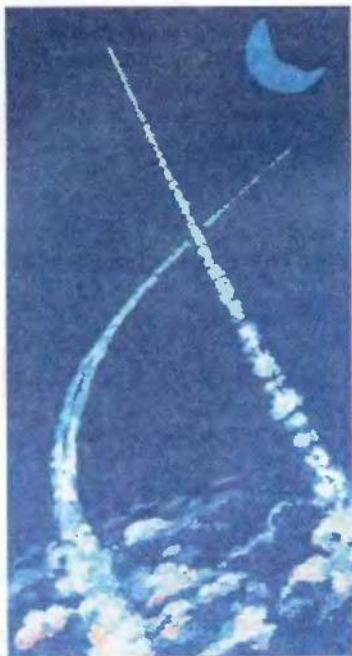


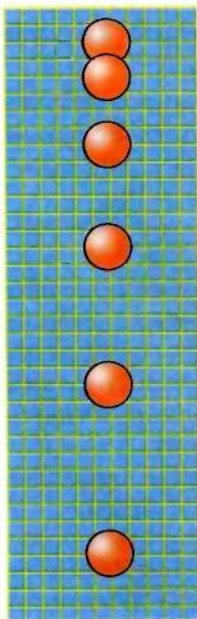
Рис. 7. Траекторию движения самолетов можно проследить по туманному следу

микрочастиц, из которых состоят атомы и молекулы. По этим следам определяют свойства микрочастиц и их поведение в различных условиях.

По виду траектории движения делятся на прямолинейные и криволинейные. Выпущенный из руки мячик падает на землю по прямой линии. Это видно на фотографии (рис. 9), где зафиксированы положения мячика через одинаковые интервалы времени. Такие фотографии называются *стробоскопическими*, или *стробограммами*.



Рис. 8. Следы микрочастиц в исследовательской камере



Если траектория движения тела прямая линия, то такое движение называют прямолинейным.

Мячик, брошенный под углом к горизонту, имеет криволинейную траекторию (рис. 10).



Если траектория движения тела кривая линия, то движение называют криволинейным.

Следует всегда иметь в виду, что вид траектории движения тела зависит от выбора тела отсчета. Велосипедисту, сидящему в седле и вращающему педали, кажется, что все точки колес движутся по окружностям. Для наблю-

Рис. 9. Движение свободно падающего шарика

дателя, стоящего у дороги, траектории движения этих точек кажутся более сложными (рис. 11).

Если бы астронавт наблюдал Солнечную систему, находясь далеко за ее пределами, то он бы заметил, что планеты движутся по вытянутым окружностям (эллипсам). Находясь на Земле, астрономы наблюдают движение планет по очень сложным траекториям. Форма траектории зависит от выбора тела отсчета.

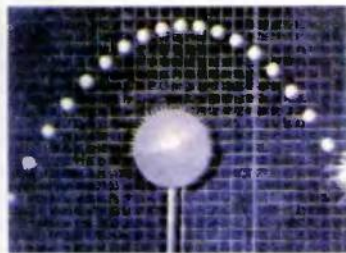


Рис. 10. Стробоскопический снимок мячика, брошенного под углом к горизонту



Рис. 11. Такую траекторию движения точки колеса видит наблюдатель, стоящий у дороги

Удачный выбор тела отсчета позволяет значительно упростить решение ряда задач механики, если при этом траектория движения тел упрощается. Ученые древности считали, что звезды и планеты движутся вокруг Земли как центра Вселенной. В этом случае траектории движения планет были очень сложными и практически невозможно было предусмотреть, как они будут двигаться в будущем. Когда польский ученый Миколай Коперник (1473–1543) установил, что все планеты Солнечной системы, как и Земля, вращаются вокруг Солнца, то расчеты их движений стали значительно проще.

Траектория относительна, ее вид зависит от выбора тела отсчета.





1. Какое движение называют прямолинейным?
2. Какое движение называют криволинейным?
3. Назовите примеры прямолинейного движения.
4. Назовите примеры криволинейного движения.
5. Что такое траектория движения и от чего зависит ее вид?
6. Какое значение имеет удачный выбор тела отсчета?
7. Какие выводы относительно движения планет Солнечной системы сделал Коперник?

§ 5. Путь, который проходит тело

Тело в своем движении переходит из одной точки пространства в другую. Длина описанной телом траектории все время увеличивается. Зная начальное положение тела, вид траектории и ее длину, можно определить положение тела в любой момент времени.



Рис. 12. Для измерения линейных размеров используют линейки, рулетки, измерительные ленты и другие приборы

Длину траектории, описанной телом за определенное время (интервал времени), называют пройденным телом путем.

В любом движении тел пройденный ими путь только увеличивается. Так, если вы от парты к доске преодолели 5 м пути и вернулись на место по той же траектории, то пройденный вами путь будет равен 10 м.

Путь как физическая величина не имеет направления, но имеет численное значение в определенных единицах, равное длине траектории. В математических записях путь обозначают малой буквой l .

Для измерения пути используют приборы, как и для измерения линейных размеров тел: линейки, рулетки, измерительные ленты и т. п. (рис. 12). В автомобилях, велосипедах, мотоциклах используют



Рис. 13. Счетчик оборотов колеса велосипеда

счетчики оборотов колес, которые сразу показывают длину пройденного пути. На рисунке 13 изображен велосипедный счетчик.

Так же работает и специальный измеритель длины – курвиметр, используемый для измерения реальных расстояний по географическим картам. Небольшое колесико катится по измеряемой линии, а счетчик по количеству оборотов определяет длину линии. А затем с использованием масштаба карты определяют необходимое расстояние или пройденный путь.

Основной единицей длины является *метр* (м). Используются также кратные и дольные единицы длины: километр (км), дециметр (дм), сантиметр (см), миллиметр (мм) и др.

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м} = 10^3 \text{ м};$$

$$1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м} = 10^{-1} \text{ м};$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м} = 10^{-2} \text{ м};$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м} = 10^{-3} \text{ м}.$$

В астрономии используют такие единицы длины:

$$1 \text{ световой год (св. год)} = 9,46073 \cdot 10^{15} \text{ м};$$

$$1 \text{ астрономическая единица (а. е.)} = 1,495993 \cdot 10^{11} \text{ м};$$

$$1 \text{ парсек (пк)} = 3,085678 \cdot 10^{16} \text{ м}.$$

Допускается также использование таких единиц, как морская миля (1 миля = 1852 м) и ангстрем ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

1. Что такое путь?
2. Какая основная единица длины?
3. Какие единицы длины вы знаете?
4. Какие приборы используют для измерения длины, пути?



§ 6. Скорость движения тела

В своем движении тело за определенное время проходит определенный путь. Человек пешком за два часа проходит до 10 км, а автомобиль за такое же время проедет 100 км. Сравнивая движения человека и автомобиля, говорят, что автомобиль движется быстрее человека.

Скорость – это физическая величина, характеризующая механическое движение и равная отношению пройденного телом пути ко времени, за которое этот путь пройден.



Для сравнения движения различных тел в физике используют такую характеристику движения, как *скорость*.

Пешеход в рассмотренном выше примере за 1 ч проходит 5 км.

Таким образом, его скорость равна 5 километрам в час $\left(5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$.

Соответственно автомобиль в рассмотренном примере имеет скорость $50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Для вычисления скорости механического движения тела необходимо пройденный им путь разделить на время, за которое этот путь пройден:

$$\text{скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}.$$

Если обозначить скорость v , путь l , а время t , то получим формулу для определения скорости:

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

Основной единицей скорости есть метр в секунду $\left(1 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$.

Задача. С какой скоростью летел самолет, если за 12 с он преодолел путь 1200 м?

Дано:

$$t = 12 \text{ с},$$

$$l = 1200 \text{ м}.$$

$$v = ?$$

Решение

$$v = \frac{l}{t}; v = \frac{1200 \text{ м}}{12 \text{ с}} = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ. Самолет летел со скоростью $100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Рассмотренная здесь скорость – это так называемая скорость прохождения пути, а не скорость тела в каждый момент движения.

Скорость тела в каждый момент времени или в каждой точке траектории движения называется *мгновенной скоростью*. Мгновенная скорость имеет направление и определяется приборами, которые называются спидометрами.

Приводим примеры некоторых скоростей:

– скорость света в вакууме почти:

$$300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

– скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца около:

$$30 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

– скорость звука в воздухе при 20 °С:

$$v = 331 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3,31 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Могут использоваться кратные и дольные единицы скорости:

$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{дм}}{\text{с}} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10^{-1} \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 1000 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1000}{3600} \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = \frac{1}{60} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

В морском деле иногда используют единицу скорости узел: 1 узел = 1 миля/ч = 0,514 м/ч.

Скорость механического движения – величина *относительная*, ее значение зависит от выбора тела, относительно которого определяется *скорость*.

Исследуем движение пассажира в вагоне движущегося поезда, идущего в направлении локомотива. Пусть расчеты показывают, что относительно вагона он движется со скоростью $3 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Расчеты наблюдателя, неподвижного относительно полотна дороги, показывают, что пассажир движется со скоростью $83 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Отсюда можно сделать вывод, что поезд движется со скоростью

$$v = 83 \frac{\text{км}}{\text{ч}} - 3 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Относительность движения ввел в рассмотрение выдающийся ученый Г. Галилей.

Числовое значение скорости не дает полной информации о движении тела. Важно также знать, в каком направлении движется тело. Поэтому часто скорость на рисунках и схемах изображают при помощи стрелок, показывающих направление движения тела. Длина же стрелки в определенном масштабе показывает значение скорости.

Упражнение. Автомобиль движется с востока на запад со скоростью $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Изобразить эту скорость графически (рис. 14).

Выполним задание в несколько этапов.

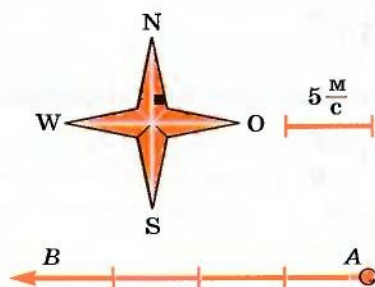


Рис. 14. К задаче о движении автомобиля

1. Покажем на бумаге направление восток–запад. Обозначим движущееся тело точкой A и от нее проведем луч восток–запад.

2. Выбираем масштаб: 1 см на бумаге отвечает скорости $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3. Отложим на луче 4 отрезка по 1 см и поставим в конце отрезка стрелку в направлении движения точки A . Отрезок AB отвечает значению скорости $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а стрелка показывает направление движения.

18

В физике и технике приходится определять пройденный телом путь, если известны скорость и время его движения. Для этого

из формулы для определения скорости $v = \frac{l}{t}$ находят путь: $l = vt$.

На графике такая зависимость изображается прямой линией. На рисунке 15, a показана зависимость пути от времени при движении стального шарика в вязкой жидкости. По графику можно определить, что через каждые 2 с путь шарика увеличивался на 5 см , т. е. скорость движения шарика

$$v = \frac{l}{t}; v = \frac{5 \text{ см}}{2 \text{ с}} = 2,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

или

$$v = \frac{10 \text{ см}}{4 \text{ с}} = 2,5 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$



Движение равномерно, когда скорость постоянна.

В этом случае скорость движения шарика не изменяется со временем. Движение, скорость которого не изменяется со временем, называют **равномерным**. При равномерном

движении тело за любые одинаковые интервалы времени проходит **одинаковые отрезки пути**.

На рисунке 15, b показан график пути шарика, когда за каждые 2 с он проходит путь 10 см . Скорость шарика в этом случае

$$v = \frac{10 \text{ см}}{2 \text{ с}} = 5 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

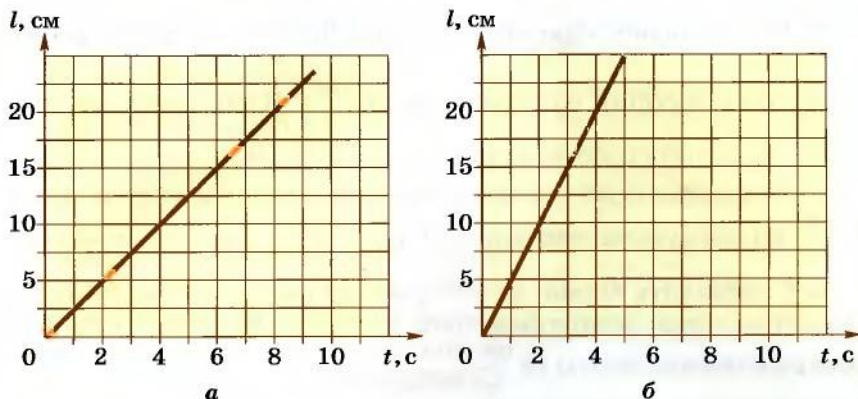


Рис. 15. Графики пути шарика

По наклону графика пути можно судить о скорости движения тела или сравнивать скорости разных тел: чем больше скорость, тем круче график пути.

Зная пройденный телом путь и скорость его движения, легко найти время его движения:

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

1. Что такое скорость механического движения тела?
2. Как рассчитать скорость механического движения?
3. Назовите единицы скорости. Каковы связи между разными единицами скорости?
4. Как, зная скорость, найти пройденный путь? Время движения?
5. Почему скорость относительна?
6. Как изображается график пути?

Упражнение 2

1. Определить скорость своего движения от дома к школе.
2. Скорость, которую должна развивать ракета для вывода на орбиту искусственного спутника Земли, равна $7900 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Выразить эту скорость в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$.
3. Поезд за 3 ч преодолел путь 120 км. Определить скорость движения поезда и выразить ее в $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. В каком случае его движение можно считать равномерным?

4. Велосипедист едет со скоростью $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, его догоняет мотоциклист, едущий со скоростью $90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Изобразить эти скорости на одном графике пути.

5. Искусственный спутник Земли на орбите имеет скорость $8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Какой путь он проходит за 1 мин? Ответ выразить в метрах.

6. Определить время, за которое при разгрузке баржи переместится ящик ленточным транспортером на 27 м, если скорость движения ленты $18 \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

7. Скорость распространения света в вакууме равна $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. За какое время свет от Солнца до Земли преодолет расстояние 150 миллионов километров?

20

8*. Выполнить необходимые измерения и вычислить скорость конца минутной стрелки часов.

9*. На лентах параллельных конвейеров движутся в противоположных направлениях детали: одна – со скоростью $45 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, другая – со скоростью $0,2 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ относительно пола помещения.

С какой скоростью движется одна деталь относительно другой?

§ 7. Средняя скорость

Наблюдая движения различных тел, можно отметить, что большинство из них не движутся равномерно. Так, скорость автомобиля вначале увеличивается, затем определенное время может оставаться постоянной, а при остановке уменьшается.



Движение тела с изменяющейся скоростью называют неравномерным.

На рисунке 16 изображен график скорости движения тела. Из графика видно, что за первые 5 с скорость увеличивалась от 0 до $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

* Звездочкой обозначены более сложные задания.

Следующие 10 с тело двигалось равномерно со скоростью $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Между 15-й и 20-й секундами скорость уменьшилась с $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ до $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. После этого скорость снова начала возрастать.

Такие подробности в описании движения не всегда нужны. Так, нас не интересует скорость движения автобуса на отдельных участках пути, а только время прибытия автобуса в необходимый пункт. Поэтому часто пренебрегают изменениями скорости движения, а учитывают только пройденный путь и время его прохождения. Рассчитанную в таком случае скорость называют *средней*.

Среднюю скорость v_c определяют по формуле:

$$v_c = \frac{l}{t}.$$

Средней скоростью называют физическую величину, характеризующую неравномерное движение и равную отношению пути, пройденного телом, к интервалу времени его прохождения.



Зная среднюю скорость движения тела, можно рассчитать путь, проходимый телом, и время его движения:

$$l = v_c t; \quad t = \frac{l}{v_c}.$$

Пользуясь понятием средней скорости, расчеты для неравномерного движения выполняют так же, как и для равномерного движения.

Средняя скорость показывает, с какой скоростью должно было двигаться тело равномерно, чтобы данный путь преодолеть за такое же время, как и при неравномерном движении.

Среднюю скорость нельзя понимать как среднее арифметическое значение скоростей. Поэтому если отдельные участки пути l_1, l_2, l_3 тело проходило за соответствующие интервалы времени t_1, t_2, t_3 , то для вычисления средней скорости необходимо сначала найти весь пройденный путь $l_1 + l_2 + l_3$, а затем разделить на все время движения:

$$v_c = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_1 + t_2 + t_3}.$$

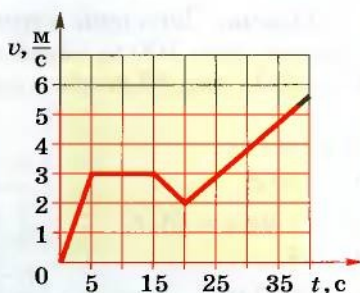


Рис. 16. График скорости движения тела

Задача. Легковой автомобиль за 10 с от начала движения прошел путь 100 м, затем за 1 мин – 500 м, а еще за 5 с – 150 м. С какой средней скоростью двигался автомобиль?

Дано:

$$t_1 = 10 \text{ с},$$

$$t_2 = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с},$$

$$t_3 = 5 \text{ с},$$

$$l_1 = 100 \text{ м},$$

$$l_2 = 500 \text{ м},$$

$$l_3 = 150 \text{ м}.$$

$$v_c = ?$$

Решение

По определению средняя скорость $v_c = \frac{l}{t}$, где l – пройденный телом путь, t – время движения тела на этом пути.

Общий путь $l = l_1 + l_2 + l_3$, а общее время движения $t = t_1 + t_2 + t_3$.

Средняя скорость

$$v_c = \frac{100 \text{ м} + 500 \text{ м} + 150 \text{ м}}{10 \text{ с} + 60 \text{ с} + 5 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ. Средняя скорость движения автомобиля $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



1. Что такое средняя скорость?
2. Когда определяют среднюю скорость? Приведите примеры.
3. Как определить среднюю скорость?
4. Какими единицами можно измерить среднюю скорость?
5. Как найти пройденный путь, зная время и среднюю скорость движения?

Упражнение 3

1. Определить среднюю скорость движения лыжника, прошедшего расстояние 20 км за 3 ч.

2. Определить на опыте среднюю скорость шарика, скатывающегося по наклонной плоскости. Установите, зависит ли эта скорость от угла наклона плоскости.

3. Определить по данным графика (рис. 17) среднюю скорость катера за время движения от 104-й до 106-й минуты.

4. Вагон по склону сортировочной горки двигался равномерно и прошел 120 м за 10 с. Скатившись с горки, он прошел до полной остановки еще 360 м за 1,5 мин. Определить среднюю скорость движения вагона за все время его движения.

5. Мотоциклист проехал 5 км за первые 10 мин движения и 9,6 км за последующие 8 мин. Какова средняя скорость движения мотоциклиста на каждом из участков пути? Какова средняя скорость на всем пути?

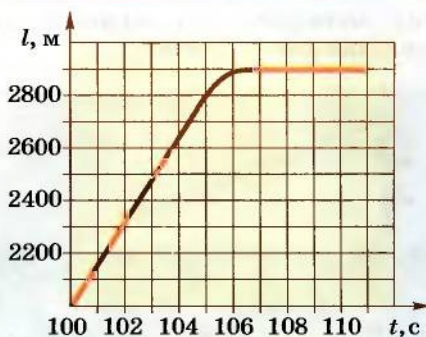


Рис. 17. График движения катера

6. Улитка в аквариуме с 16 ч 30 мин вторника до 9 ч 00 мин следующего четверга проползла по стенке 42 см. С какой средней скоростью ползла улитка?

7. Счетчик велосипеда показывает пройденный путь в километрах. Велосипедист, проехав 18 мин со средней скоростью $24 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, прочитал на счетчике 641,5. Что показывал счетчик в начале движения велосипедиста?

8*. Грузовой поезд между двумя пунктами двигался со скоростью (средней) $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ с учетом двухчасовой остановки. Если же время остановки не учитывать, то поезд двигался со средней скоростью $90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. На какое расстояние поезд перевозил грузы?

9*. Автомобиль проехал первые 120 км пути со скоростью $40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а следующие 120 км — со скоростью $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какова средняя скорость автомобиля на всем пути его движения?

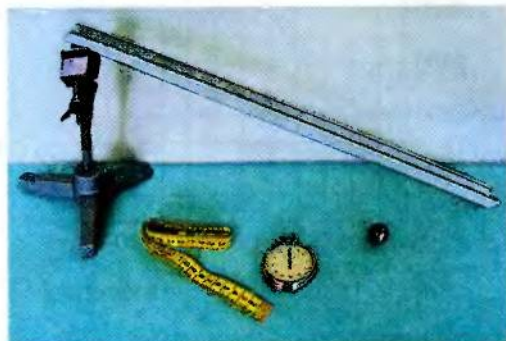
10*. Первые 3 ч автомобиль двигался со скоростью $40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а следующие 3 ч — $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какова была средняя скорость движения автомобиля за все время движения? Ответ объясните, сравнив его с решением задачи 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Измерение средней скорости движения тела

Цель. Научиться измерять среднюю скорость механического движения тела.

Оборудование: металлический шарик, наклонный желоб, секундомер, измерительная лента, штатив.



Теоретические сведения

24

Среднюю скорость определяют тогда, когда тела движутся неравномерно. Одним из примеров такого движения может быть движение шарика по наклонному желобу. При небольших наклонах желоба шарик скатывается медленно и можно с достаточной точностью измерить время его движения по желобу при помощи секундомера или часов, измеряющих время в секундах.

Выполнение работы

1. Закрепите конец желоба в лапке штатива так, чтобы он имел небольшой наклон к поверхности стола.
2. Измерьте длину желоба.
3. В верхней части желоба разместите шарик, придерживая его рукой.
4. Отпустите шарик, включив в этот момент секундомер.
5. Как только шарик упадет на стол, выключите секундомер.
6. Рассчитайте среднюю скорость движения шарика.
7. Измерения выполните для разных начальных положений шарика в желобе.
8. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.
9. Сделайте выводы о зависимости средней скорости движения шарика в ваших опытах от пройденного им пути. Объясните результат.
- 10*. Повторите исследование для других наклонов желоба.
11. Домашнее задание. Определите среднюю скорость вашего движения из дома в школу и обратно.

№	Путь l , м	Время t , с	Средняя скорость v_c , м/с
1			
2			
3			
4			

§ 8. Движение точки по окружности

Движения, происходящие в природе и технике, могут отличаться по изменению значения скоростей и по изменению направления скоростей. Так, например, при движении точки вдоль прямой линии в одном направлении направление скорости не меняется, хотя ее значение может быть различным. В этом случае движение считается неравномерным.

Но движения могут быть и криволинейными, например, точки могут двигаться по окружностям. На рисунке 18 изображена траектория движения точек нити или ленты между круглыми барабанами. Такие траектории можно представить в виде отрезков прямых линий и окружностей разных размеров. Понятно, что такие движения могут быть и равномерными, каждая точка все время будет иметь одинаковую скорость по значению, хотя направление скорости от точки к точке траектории может меняться.

Рассмотрим движение материальной точки по окружности, когда это движение равномерно, т. е. значение скорости остается постоянным (рис. 19). Точка, двигаясь по окружности радиуса R , за опреде-



Рис. 18. Криволинейное движение

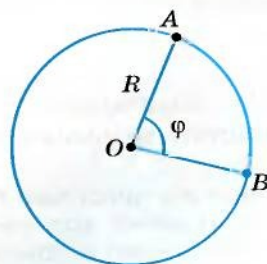


Рис. 19. Движение по окружности

ленное время t переходит из точки A в точку B . При этом отрезок OA поворачивается на угол φ – угловое перемещение точки. Такое движение можно характеризовать угловой скоростью:

$$\omega = \frac{\varphi}{t},$$

где ω (греческая буква «омега») – угловая скорость; φ (греческая буква «фи») – угловое перемещение.

Угловое перемещение определяется в радианах (рад.). 1 радиан – это такое перемещение, когда траектория движения точки – длина дуги окружности AB – равна длине радиуса R .

Единицей угловой скорости является радиан в секунду (рад/с).



1 рад/с равен угловой скорости такого равномерного движения по окружности, при котором за 1 с осуществляется угловое перемещение 1 рад.

26

При определении угловой скорости слово «рад» обычно не пишут, а просто обозначают 1/с (имеется в виду рад/с).

Движение точки по окружности (и вращение твердого тела) характеризуют также такие величины, как **период** и **частота** вращения.

Период вращения (T) – это время, на протяжении которого точка (тело) совершает один полный оборот по окружности.

Период вращения:

$$T = \frac{t}{N},$$

где t – время вращения, N – количество выполненных оборотов.

Период вращения T измеряется в секундах. Период равен 1 с, если точка (тело) осуществляет один оборот в секунду.

Частота вращения (вращательная частота):

$$n = \frac{N}{t}, \quad n = \frac{1}{T},$$

где N – количество совершенных оборотов за время t .

Частота вращения измеряется в оборотах за секунду (об/с).



Частота вращения n определяет количество оборотов точки (тела) вокруг центра (оси вращения) за 1 с.

Еще Архимед установил, что для всех окружностей любого радиуса отношение длины окружности к его диаметру является величиной постоянной. Это число обозначили греческой буквой π («пи»).

$$\pi = \frac{\text{длина окружности}}{\text{диаметр окружности}} = \frac{l}{D} = \frac{l}{2R}.$$

$$\pi = 3,141592... \approx 3,14.$$

Таким образом, длина окружности $l = \pi D = 2\pi R$.

За один оборот материальная точка осуществляет угловое перемещение 2π рад.

Движение по окружности характеризуется привычным для нас понятием скорости как пути, который проходит точка за единицу времени. В данном случае эта скорость называется линейной. Если учитывать, что за один оборот (время T) точка проходит путь $\pi D = 2\pi R$, то линейная скорость равномерного

движения точки по окружности $v = \frac{\pi D}{T} = \frac{2\pi R}{T}$, или $v = \pi Dn = 2\pi Rn$.

§ 9. Вращение твердого тела

27

Твердые тела состоят из большого количества частичек. Абсолютно твердыми наукой считаются тела, расстояние между точками которых не изменяется во время явлений, которые с ними происходят. Однако следует иметь в виду, что абсолютно твердых тел в природе нет.

Как упоминалось в § 3, движения твердых тел бывают **поступательные** и **вращательные**. Твердые тела могут вращаться вокруг любых осей, в том числе и тех, которые проходят через их центры.

В случае *a* (рис. 20) ось вращения проходит через центр шара (например, вращаются колеса транспортных средств или Земля в своем суточном вращении вокруг оси). В случае *б* ось проходит через край шара. В случае *в* шар находится на определенном расстоянии от оси (например, Земля движется вокруг Солнца или Луна вокруг Земли). В некоторых случаях даже Землю и Луну можно считать материальными точками, а в некоторых случаях это сделать невозможно. Подумайте, в каких?

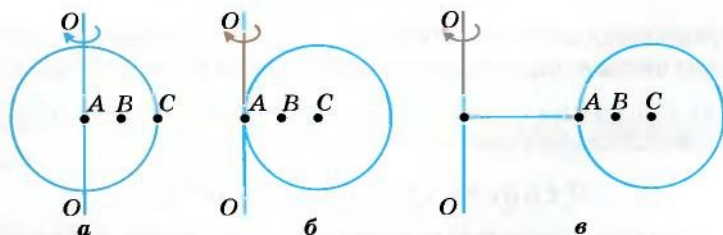


Рис. 20. Вращение твердого тела вокруг разных осей

Что же является наиболее характерным для вращательного движения твердых тел? Очевидно, что при этом все точки этих тел в своем движении описывают окружности, центры которых находятся на осях вращения.

Понятно также, что разные точки тел за одно и то же время проходят по своим траекториям разные расстояния – чем дальше от оси вращения лежат точки, тем больше эти расстояния. Но за одно и то же время угловое перемещение φ всех точек одинаково. Следовательно, и угловая скорость $\omega = \frac{\varphi}{t}$ для всех точек данного тела также будет одинаковой.

Для характеристики вращательного движения твердых тел используют такие же понятия, что и для движения точки по окружности: период вращения T – время одного полного вращения; вращательная частота (частота вращения) n – количество полных вращений за единицу времени; угловая скорость ω . Кроме основной единицы частоты вращения об/с, используют об/мин, об/ч и т. п.

Период вращения Земли вокруг Солнца равен в среднем 365 суток, а период вращения Луны вокруг Земли в среднем 28 суток. Изучая физику, астрономию, вы узнаете, что небесные тела, например планеты Солнечной системы, движутся не по окружностям, а по так называемым эллипсам.

Упражнение 4

1. Что такое угловое перемещение и угловая скорость?
2. Что такое период и частота вращения?
3. Какая связь между периодом и частотой вращения?
4. Нишпель колеса во время движения велосипеда совершает 25 оборотов за 5 с. Определите период и частоту вращения колеса велосипеда.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Измерение периода и частоты вращения твёрдого тела

Цель. Ознакомиться с вращательным движением твердых тел и научиться определять периоды и частоты их вращения.

Оборудование: часы с часовой, минутной и секундной стрелками; секундомер механический.

Теоретические сведения

Особенностью вращательного движения твердых тел есть то, что все их точки движутся концентрическими окружностями,

центры которых находятся на оси вращения. Для определения частоты вращения n необходимо посчитать количество полных оборотов N за определенное время t :

$$n = \frac{N}{t}.$$

Для определения периода вращения тела T используйте формулу:

$$T = \frac{1}{n}.$$

Выполнение работы

Определите характеристики вращательного движения стрелок часов и данные измерений запишите в таблицу.

Таблица

Вращающееся тело	Время вращения t , с	Частота вращения n , 1/с	Период вращения T , с	Частота и период вращения в		Линейная скорость крайних точек v_1 , м/с	Линейная скорость средних точек v_2 , м/с
				1/мин	1/ч		
Часовая стрелка							
Минутная стрелка							
Секундная стрелка							

Период вращения определите в минутах и часах, частоту вращения – в 1/мин и 1/ч.

Определите линейные скорости крайних и средних точек стрелок, учитывая, что длина окружности $l = 2\pi R$.

Для любознательных

1. Найдите в быту тела, которые осуществляют вращательные движения, попробуйте определить частоты и периоды их вращения.

2. Используя часы со стрелками и линейку, определите линейные скорости концов стрелок.

§ 10. Колебательные движения. Амплитуда, период и частота колебаний

Колебания – самая распространенная форма движения в окружающем мире и технике. Колеблются деревья под действием ветра, поршни в двигателе автомобиля и т. п. Мы можем разговаривать и слышать звуки благодаря колебаниям голосовых связок, воздуха и барабанных перепонки. Колеблется сердце. Все это примеры механических колебаний. Свет – это тоже колебания, но электромагнитные. С помощью электромагнитных колебаний, распространяющихся в пространстве, осуществляют радиосвязь, радиолокацию, телевидение, а также лечат различные болезни.

На первый взгляд, приведенные примеры колебаний имеют мало общего. Однако при их исследовании выяснилось, что разные по природе колебания описываются одинаковыми математическими уравнениями, что значительно облегчает их изучение.

30

Как же возникают механические колебания? Рассмотрим движение шара с отверстием, прикрепленного к одному концу зафиксированной пружины на горизонтально расположенном стержне. Второй конец пружины закреплен в стене (рис. 21). Пусть в начальный момент шар находится в положении равновесия OO' . Рассмотрим идеальный случай, когда в данной системе отсутствует трение, то есть механическая энергия не уменьшается.

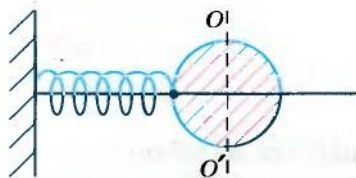


Рис. 21. Шар с пружиной на горизонтальном стержне

Переместим шар вправо от положения равновесия, пружина при этом растянется. Если шар отпустить, пружина заставит его двигаться к положению равновесия. Поскольку в системе трения нет, то шар пройдет положение равновесия и, двигаясь влево, сожмет пружину. Достигнув крайнего левого положения, шар будет двигаться

вправо и вернется в крайнее правое положение. Пружина при этом опять будет максимально растянутой. В данном случае шар выполнит одно полное колебание. В дальнейшем в идеальной системе (без трения) такие колебания будут совершаться как угодно долго.

Очевидно, что отличительной особенностью колебаний является их периодичность. Но периодичными являются и вращательные движения. В отличие от вращательных движений, у которых

для каждой точки имеются траектории в виде окружности, во время колебательных движений точка или тело двигаются в противоположных направлениях по одной и той же траектории.

В колебательном движении точка (тело) проходит все точки траектории движения (кроме двух крайних точек) дважды – один раз в одном направлении, второй – в обратном.



На рисунке 22 изображено одно полное колебание шара с пружиной. Движение осуществляется в такой последовательности от точки к точке:

1→2→3→4→1

и опять повторяется.

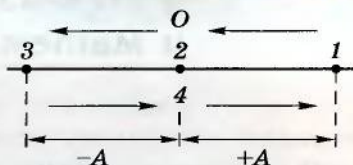


Рис. 22. Движение тела в колебательном процессе

Максимальное отклонение колеблющегося тела от положения равновесия называется амплитудой колебания тела (на рис. + A и -A).

Время, в течение которого осуществляется одно полное колебание тела, называется периодом колебания тела T.



31

Основной единицей периода колебаний является секунда.

Частота колебаний измеряется в единицах в секунду. Эта единица называется герц (Гц) в честь немецкого физика Генриха Герца, который в 1884 г. экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

Частота колебаний f^* показывает, какое количество колебаний совершает тело за единицу времени.



Период колебания тел T связан с частотой их колебаний f соотношением:

$$T = \frac{1}{f}.$$

1. Приведите примеры колебаний. Какие из них являются механическими?
2. Что такое амплитуда механических колебаний?
3. Что такое период и частота колебаний, в чем проявляется взаимосвязь между ними?



* **Примечание.** Соответственно ГОСТу частота колебаний может обозначаться буквой f или ν .



4. Определите периоды колебаний, если их частоты равны 0,5; 1,0 и 2,0 Гц.
5. Груз на пружине, рассмотренный в начале параграфа, в течение 20 с совершил 10 полных колебаний. Определите период и частоту этих колебаний.

§ 11. Физический и математический маятники

Любое тело, у которого ось вращения не проходит через его центр масс, способно осуществлять колебания. Такие тела называются **физическими маятниками**. У тел правильной формы, например у плоских фигур, центр масс совпадает с их геометрическим центром (рис. 23).

Если такие тела вывести из состояния равновесия, они будут совершать колебания. Если бы в системе не было силы трения, такие колебания осуществлялись бы очень длительное время.

32

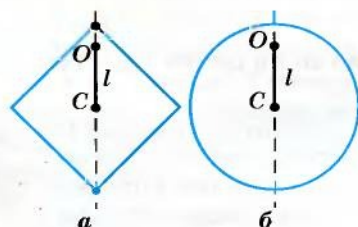


Рис. 23. Физические маятники:
O – оси вращения;
C – центры (масс);
l – длина подвеса
физического маятника

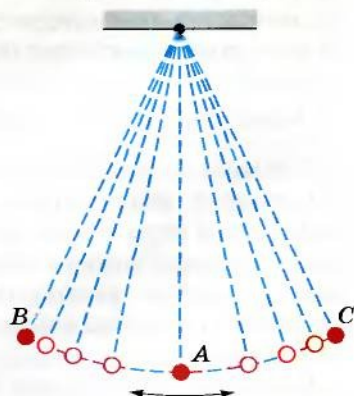


Рис. 24. Ниточный маятник



Расстояние от оси вращения физического маятника к его центру масс l называется длиной подвеса.

Простейшим маятником для исследований является так называемый ниточный маятник (рис. 24). Это шарик, подвешенный на нитке. Длиной такого маятника является расстояние от точки подвешивания нитки к центру шарика. Если такой

шарик вывести из состояния равновесия (переместить в точку B или C), он будет совершать колебания по дуге окружности BAC.

Понятно, такие колебания будут характеризоваться периодом T и частотой f и могут иметь различную амплитуду.

Для упрощенного рассмотрения тех или иных явлений в науке часто пользуются идеальными моделями. Такой идеальной моделью является математический маятник.

Понятно, что в природе нет ни точечных тел, ни нерастяжимых и невесомых нитей. Но во многих случаях ниточный маятник можно считать приближенным к математическому.

Математический маятник – это точечное тело, подвешенное на нити, которая не растягивается и не имеет веса.

1. Что такое физические маятники? Приведите примеры физических маятников.
2. Что такое длина маятника?
3. Какой маятник называется ниточным? Чему равна его длина?
4. Что считается математическим маятником? Существуют ли математические маятники?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование колебаний ниточного маятника

Цель. Исследовать зависимость периода колебаний ниточного маятника от амплитуды колебаний, массы шарика и длины маятника.

Оборудование: набор из трех шариков различной массы на нитках; секундомер или часы; линейка с миллиметровыми делениями или мерная лента; штатив с лапкой.



Выполнение работы

1. Подвесьте на штативе один шарик на нитке как можно большей длины. Сместите шарик с положения равновесия на небольшое расстояние и отпустите. Измерьте время 10 полных колебаний и определите их период.

Повторите опыт еще два раза, смещая шарик на другие расстояния (но небольшие) от положения равновесия.

Сравните значения полученных периодов колебаний и сделайте вывод.

2. Сделайте три опыта с маятниками, которые имеют одинаковые длины подвесов, но разные массы грузов. Измерьте время 10 полных колебаний и определите их периоды. Результаты измерений запишите в тетрадь. Сделайте выводы.

3. Изготовьте маятник с максимально возможной длиной нити. Определите время 10 полных колебаний и определите их период.

Сделайте длину нити маятника в 2 раза меньшей и снова определите период его колебаний.

Еще раз уменьшите длину маятника в 2 раза (по сравнению с начальной длиной в 4 раза) и снова определите период колебаний.

Сравните периоды колебаний при разных длинах маятника и сделайте выводы.

§ 12. Звуковые и ультразвуковые колебания и их использование

34

Звуковые явления возникают из-за механических колебаний различных тел. Однако не любые механические колебания образуют звук и не всегда. Рассматривая колебания маятника, можно заметить, что звуковые колебания в этом случае не возникают, хотя амплитуда таких колебаний может быть достаточно большой. Следовательно, амплитуда не является той основной характеристикой, по которой отличаются звуковые колебания от просто механических.

Проще всего можно получить звуковые колебания, закрепив в тисках стальную линейку (пластину), вывести ее из состояния равновесия и резко отпустить (рис. 25).

Исследуем колебания генератора звуковой частоты, одновременно подавая их на громкоговоритель и на вход электронного осциллографа (рис. 26). Громкоговоритель превращает электрические колебания генератора Γ в механические колебания диффузора \mathcal{D} , которые сообщают колебательное движение

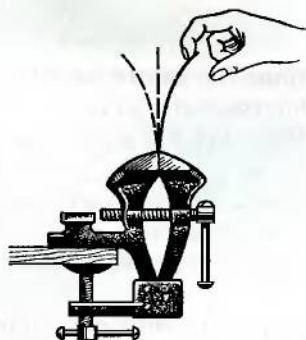


Рис. 25. Колебания стальной линейки

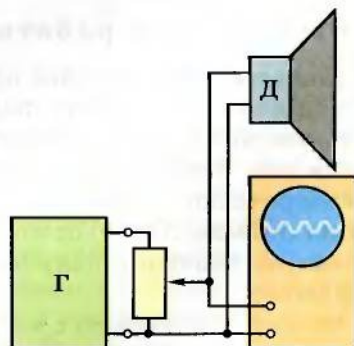


Рис. 26. Наблюдение звуковых колебаний

частичкам воздуха – в окружающем пространстве распространяется звуковая волна. Эта волна достигает органов слуха человека (или других приемников), вызывая колебания барабанной перепонки. Однако звук мы слышим не всегда.

Звуковые колебания

Начнем исследования колебаний с небольших частот – нескольких колебаний в секунду (рис. 27, а). На экране осциллографа наблюдаем график: диффузор громкоговорителя колеблется, но звука мы не слышим. Постепенно увеличиваем частоту колебаний. При определенной частоте возникает звук. Человек начинает его слышать только тогда, когда частота колебаний достигает 16–20 Гц. Колебания с меньшими частотами называются **инфразвуковыми**.

Продолжим постепенно увеличивать частоту колебаний. В этом случае изменяется физиологическая характеристика звука, которая называется **высотой тона**. Таким образом, *физической характеристике звука – частоте – соответствует физиологическая характеристика – высота тона*. На рисунке 27, б, в изображены графики звуков разной высоты тона. Частота звука на рисунке 27, в большая, соответственно выше тон звука.

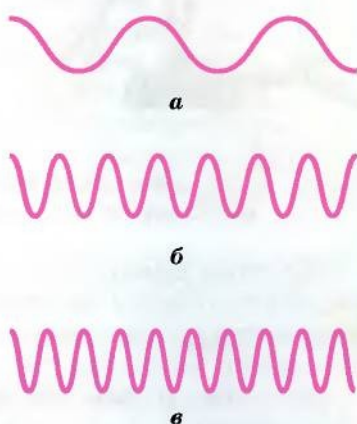


Рис. 27. Графики колебаний разных частот

Ультразвуки

Если постепенно увеличивать частоту звуковых колебаний, то высота тона возрастает. При достижении определенной частоты мы уже не будем слышать звук, хотя колебания достигают наших органов слуха. *Человек перестает слышать звуки, если частота их превышает 20 000 Гц. Для разных людей этот предел может быть разным. Звуковые колебания, частота которых превышает 20 кГц, называют ультразвуковыми.*

Таким образом, звуковыми есть колебания, частота которых находится в пределах 16–20 Гц – 20 кГц.

Некоторые животные, например собаки и летучие мыши, слышат ультразвуки. Это свойство используют во время дрессировки собак, а летучим мышам оно дает возможность ориентироваться в пространстве.

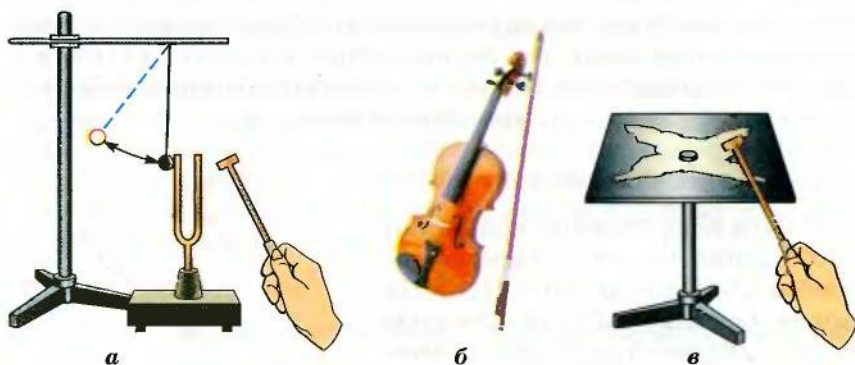


Рис. 28. Источники звуковых колебаний:
 а – камертон; б – струны; в – металлические пластинки

36

Не стоит думать, что звуки могут образовываться только в случае колебаний твердых тел: ножек камертона, диффузора громкоговорителя, струны и т. п. (рис. 28). Достаточно сильные звуки можно получить и от колебания воздуха.

Возьмите небольшую трубку, закройте один ее конец и подуйте в другой. У вас получится свисток определенной высоты. Если хотите изменять высоту тона звука, вставьте в трубку поршень. Теперь можно изменять длину столбика воздуха в трубке и получать звук разной высоты тона. Установите зависимость высоты тона звука от длины столбика воздуха.

Так можно получать не только звуковые, но и инфра- и ультразвуковые колебания, что используют в технике.

Используя генератор, громкоговоритель и осциллограф, установим, от чего зависит громкость звука. Если амплитуда колебаний небольшая (рис. 29, а), то громкость звука небольшая. С увеличением амплитуды колебаний (рис. 29, б, в) возрастает и громкость звука. Однако когда амплитуда колебаний небольшая, то звука можно не услышать из-за недостаточной чувствительности органов слуха. Существует определенный порог чувствительности. Когда амплитуда звуковых колебаний большая, то звуки вызывают болевые ощущения.

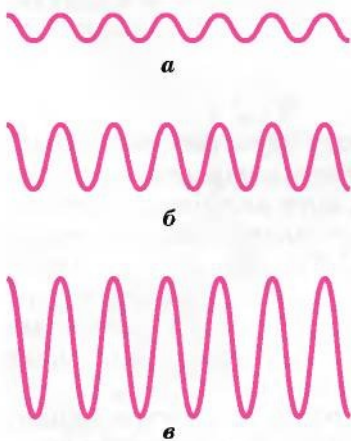


Рис. 29. Графики колебаний
 разных амплитуд

Сложные звуки

До сих пор мы рассматривали только простые звуки. Но большинство звуков в природе являются сложными. Сложный звук можно разложить на некоторое количество простых звуков. Основным тоном сложного звука считают самый низкий, который имеет наименьшую частоту колебаний. Сложный звук имеет такой же период колебаний, как и основной тон. Другие простые тона, которые входят в сложный звук и имеют частоты, большие частоты основного тона (в целое число раз), называют **высшими гармоническими тонами**, или **обертонами**. Количество и амплитуды высших гармонических тонов образуют специфическую «окраску» звука, характеризующуюся понятием **тембр** звука.

Звук в воздухе распространяется со скоростью $331 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ при температуре воздуха 0°C , в водороде (0°C) – $1286 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; углекислом газе (0°C) – $258 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Скорость распространения звука в воде (0°C)

$1485 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Звук в твердых телах распространяется со скоростью: в стали $5100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; граните $3950 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; древесине $4000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Количество и амплитуды высших гармонических тонов определяют тембр звука.

Эхо

Звуковые и ультразвуковые волны в любых средах распространяются с разными скоростями и могут отражаться от различных преград (эхо) (рис. 30). Отражение звуковых и ультразвуковых волн используется в технике. Это явление можно наблюдать и в живой природе.

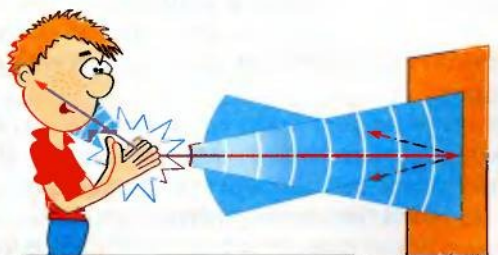


Рис. 30. Эхо

Использование ультразвуков

Значение звуковых колебаний в жизни человека общеизвестно. Не менее важную роль играют в современной технике и научных исследованиях и ультразвуковые колебания. Ультразвуковые методы начали широко использовать в хирургии, с помощью ультразвуковых колебаний можно разрезать и сшивать костную ткань.

Ультразвуки эффективно используются в хирургии.

Ультразвуковые волны, распространяясь в упругой среде, отражаются от различных препятствий. Отраженные колебания можно улавливать приборами. Зная скорость их распространения в определенной среде, можно просто определить расстояние к препятствию. На этом принципе основано действие эхолота, который впервые был сконструирован в 1918 г. П. Ланжевром. На корабле устанавливают ультразвуковой излучатель, который посылает в определенном направлении импульсы ультразвуковых колебаний (рис. 31). Отраженные волны принимаются и усиливаются. Самописец автоматически переносит на бумажную ленту рельеф дна. Если на пути распространения ультразвука появится косяк рыбы, то ультразвук отразится и от него, и это можно сразу увидеть.



Рис. 31. Эхолот

Аналогично работают и ультразвуковые дефектоскопы – приборы для проверки качества различных деталей, например после сварки. Если в детали есть трещины, полости и прочее, то в этих местах ультразвук отразится, что и фиксируется электронным осциллографом

или другими средствами. В технике используют различные типы дефектоскопов.

Ультразвук широко используют и в технологических процессах, например для изготовления эмульсий. При обычных условиях очень трудно смешать ртуть и воду или подсолнечное масло и воду, но под действием ультразвуковых колебаний такое смешивание осуществляется быстро и надежно.

Распространено использование ультразвуковых измерительных приборов: для определения вязкости жидкостей (акус-

тические вискозиметры), прохождения жидкостей в трубопроводах и прочее.

Под действием интенсивных ультразвуковых колебаний значительно увеличивается скорость некоторых химических реакций, что также используется в технике.

Ультразвук стал надежным помощником человека уже сегодня, но исследования его возможностей продолжают.

Аналогично действию эхолота работают ультразвуковые дефектоскопы. Ультразвук широко применяют в технологических процессах. Достаточно распространены ультразвуковые измерительные приборы: для определения вязкости жидкостей (акустические вискозиметры), расхода жидкостей в трубопроводах и прочее.



Несмотря на то что человек начал изучать колебания очень давно, существуют такие отрасли колебаний, которые тщательно исследуются только в последнее время. В первую очередь это касается инфразвуковых колебаний, вредное влияние которых на человеческий организм выявили французские ученые. Они доказали, что инфразвуки достаточной мощности с частотами 6–9 Гц могут быть для человека даже смертельными, поскольку внутренние органы имеют собственную частоту колебаний именно 6–9 Гц. Вследствие действия на человека инфразвука соответственной частоты возникает резонанс, возрастает амплитуда колебаний тех или иных органов, что может вызвать смерть. Действие на организм человека колебаний различной природы и частоты изучено еще недостаточно. И в технике тоже существует немало проблем, связанных с использованием колебаний, а также с ликвидацией их вредных проявлений.

Ультразвук ускоряет химические реакции. Инфразвуковые колебания могут вредить организму человека.



1. Какие колебания считаются звуковыми?
2. Какие колебания считаются инфразвуковыми, а какие – ультразвуковыми?
3. Как связаны между собой физические характеристики звуковых колебаний (их частота и амплитуда) с физиологическими характеристиками (высотой тона и громкостью)?
4. Что такое тембр звука?
5. Где используют ультразвук?

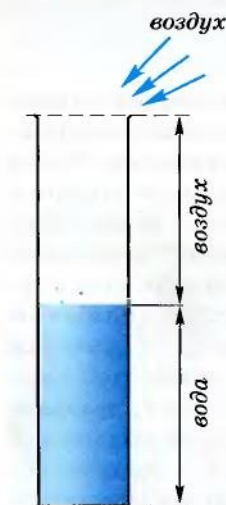


ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Изучение характеристик звука

Цель. Исследовать, как зависит высота тона (частота) колебаний, которые создает бутылка с водой, от высоты уровня воды в ней; как зависит высота тона колебаний столба воздуха над поверхностью воды в бутылке от высоты этого столба.

Оборудование: 1. Две стеклянные бутылки, одна из которых с чистой питьевой водой (или два цилиндра, или мерный цилиндр и бутылка). 2. Металлическая чайная ложечка. 3. Линейка с миллиметровыми делениями.



Выполнение работы

1. Легко ударьте ложечкой по полной бутылке с водой и запомните высоту звука, который при этом возник. Теперь отлейте примерно $\frac{1}{5}$ часть воды в пустую бутылку и опять возбудите колебания в исследуемой бутылке. Увеличилась или уменьшилась высота тона (частота колебаний бутылки)?

Отлейте еще $\frac{1}{5}$ часть воды и опыт повторите. Сделайте вывод об изменении высоты тона звука. Повторяйте опыт до тех пор, пока бутылка не станет пустой.

Сделайте общий вывод о зависимости частоты колебаний бутылки с водой от количества воды в ней (высоты столба жидкости).

2. Подуйте возле горлышка пустой бутылки так, чтобы слышался гул столба воздуха в бутылке. Запомните высоту тона звука. Теперь налейте в бутылку $\frac{1}{5}$ ее объема воды (приблизительно). Вызовите гул столба воздуха. Сравните высоту тона звука с предыдущим. Сделайте вывод. Дальше доливайте воду в бутылку и вызывайте звучание столба воздуха.

Сформулируйте общий вывод о зависимости высоты тона звука (частоты колебаний) столба воздуха в бутылке от его высоты.

3. Дома можно выполнить опыты с другими сосудами (например, от лекарств, одеколона и проч.).

4. Найдите металлическую или стеклянную трубочку и присоедините к ней деревянный поршень. Подуйте возле свободного конца трубочки – получили свисток. Исследуйте, как зависит

высота тона звука свистка от высоты столба воздуха в нем. Вывод запишите.

Эту работу ученики могут выполнять дома. Но результаты работы целесообразно обсудить в классе (после работы) с соответственной демонстрацией опытов.

Главное в главе 1

- Изменение положения тела в пространстве называется механическим движением.
- Механическое движение относительно. Характеристики движения зависят от выбора тела отсчета.
- Каждая точка тела, пребывающего в движении, описывает линию, которая называется траекторией.
- Траектории могут иметь различную форму. Поэтому различают прямолинейное и криволинейное движение.
- Вид траектории зависит от выбора тела отсчета. Форма траектории относительна.
- Движение происходит в пространстве и во времени.
- Движение тела в пространстве характеризует путь – длину траектории.
- Движение тела во времени характеризует скорость – физическая величина, которая равна пути, пройденному телом за единицу времени.
- Одним из видов механического движения является вращательное, при котором точки тела описывают траектории в виде окружностей.
- Вращательное движение характеризуется частотой и периодом вращения.
- Колебательное движение характеризуется амплитудой, частотой и периодом колебаний.
- Звук – это механические колебания соответствующих частот, которые распространяются в упругих средах.
- В воздухе звук распространяется со средней скоростью 331 м/с.
- Громкость звука зависит от амплитуды колебаний, а высота тона – от их частоты.
- Ухо человека воспринимает колебания частотой от 16 Гц до 20 кГц.
- Инфразвуки и ультразвуки используются в медицине и технике.

Глава 2



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

Усвоив материал этой главы, вы будете **знать**:

- способы измерения силы, единицы силы и давления;
- условия равновесия тел, законы Гука, Паскаля, Архимеда;
- что такое масса и вес тела, сила притяжения и вес.

Вы сможете **объяснить**:

- проявления механического взаимодействия, возникновение силы упругости;
- зависимость атмосферного давления от высоты;
- свойства твердых тел, способы увеличения и уменьшения трения.

Вы будете **уметь**:

- пользоваться динамометром, манометром, барометром;
- решать задачи, используя законы Гука, Паскаля, Архимеда.



§ 13. Взаимодействие тел. Сила

Почему тела изменяют свое состояние в пространстве

Любые изменения в природе происходят в результате взаимодействия между телами. Чтобы изменить положение вагона на рельсах, железнодорожники направляют к нему локомотив, который смещает вагон с места и приводит его в состояние движения (рис. 32). Парусник может длительное время стоять возле берега до тех пор, пока не подует попутный



Рис. 32. Поезд движется вследствие действия локомотива на вагоны



Рис. 33. Парусник движется вследствие действия ветра

ветер и действует на его паруса (рис. 33). Колеса игрушечного автомобиля могут вращаться с любой скоростью, но игрушка не изменит своего положения, если под игрушку не положить дощечку или линейку (рис. 34). Форму или размер пружины можно изменить, лишь подвесив к ней груз или потянув рукой за один из его концов.

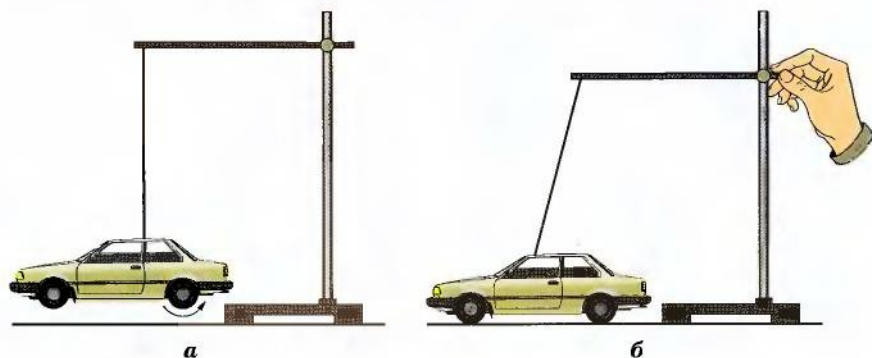


Рис. 34. Изменение состояния тела возможно только при взаимодействии

Все тела в природе так или иначе связаны между собой и действуют друг на друга или непосредственно, или через физические поля. Такое действие всегда является взаимным. Если тепловоз действует на вагон и изменяет его скорость, то скорость тепловоза при этом также изменяется благодаря обратному действию вагона. Солнце действует на все тела на Земле и на саму Землю, удерживая ее на орбите. Но и Земля притягивает Солнце и, в свою очередь, изменяет его траекторию. Таким образом, во всех случаях можно говорить только о взаимном действии тел – взаимодействии.

При взаимодействии могут изменяться скорости тел или их частей.

Однако, взаимодействуя с различными телами, данное тело будет изменять свою скорость по-разному. Так, парусник может приобрести скорость вследствие действия на него ветра. Но такой же результат можно получить, включив двигатель, который находится на паруснике. Парусник может сдвинуть с места и катер, действуя на него через трос. Чтобы каждый раз не называть все взаимодействующие тела, все эти действия объединяют одним понятием силы.

Что такое сила

Сила как физическое понятие может быть большей или меньшей, как и вызванные ею изменения в состоянии тела или его частей.

Действие тепловоза на вагон будет значительно интенсивнее, чем действие нескольких грузчиков. Под действием тепловоза вагон быстрее сдвинется с места и начнет двигаться с большей скоростью, чем тогда, когда вагон будут толкать грузчики, которые еле сдвинут его на небольшое расстояние или совсем его не сдвинут.

Для того чтобы можно было производить математические расчеты, силу обозначают определенной буквой. Как правило, это латинская буква F .

Как и все другие физические величины, сила имеет единицы измерения. Современная наука пользуется единицей, которая называется ньютоном (Н). Единица получила такое название в честь английского ученого Исаака Ньютона, который внес значительную лепту в развитие физической и математической наук.

Сила – это физическое понятие, которое обобщает все взаимодействия, вследствие чего тело или его части изменяют свое состояние.

Сила как физическая величина количественно характеризует действие одного тела на другое.



Исаак Ньютон (1643–1727) – выдающийся английский ученый, основоположник классической физики. Научные труды касаются механики, оптики, астрономии и математики. Сформулировал основные законы классической механики, открыл закон всемирного тяготения, дисперсию света, развил корпускулярную теорию света, разработал дифференциальное и интегральное исчисление.

Силы могут иметь различные значения. Так, на стакан с водой действует сила со стороны Земли, которая равна примерно 2 Н. А трактор, когда тянет плуг, действует на него с силой в несколько тысяч ньютонов.

Чем измеряют силу

Для измерения силы используют специальные приборы, называемые динамометрами (*dina – сила; metro – мера*). Как правило, каждый такой прибор имеет измерительный элемент в виде пружины определенной формы (рис. 35).

Сила характеризуется направлением

Указать числовое значение силы не всегда достаточно для определения результата ее действия. Важно знать точку ее приложения и направление действия.

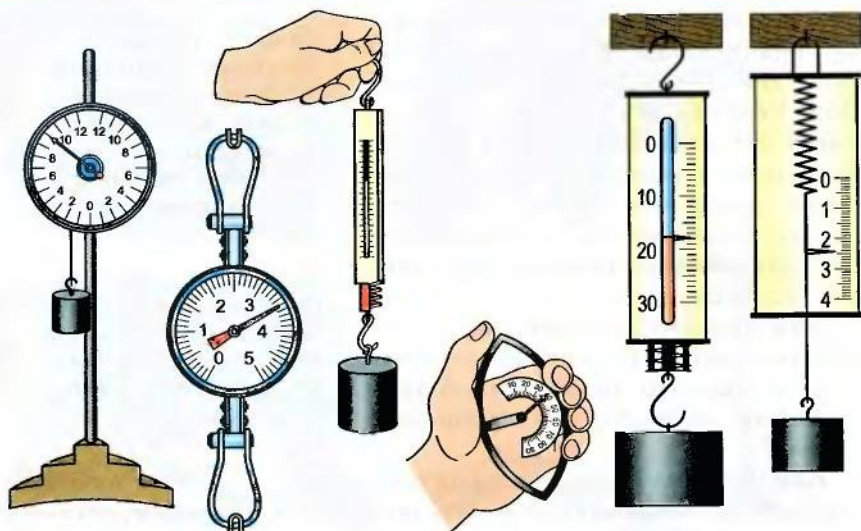


Рис. 35. Виды динамометров

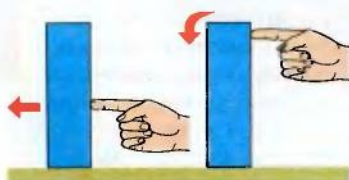


Рис. 36. Результат действия силы зависит от точки ее приложения

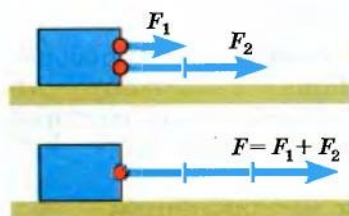


Рис. 38. Равнодействующая сил, действующих в одном направлении

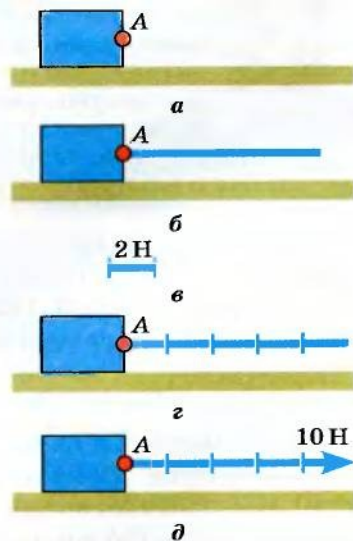


Рис. 37. Графическое изображение силы

Если высокий брусок, стоящий на столе, толкать в нижней части, то он будет скользить по поверхности стола. Если же к бруску приложить силу в верхней его части, то он просто перевернется (рис. 36).

Понятно, что направление падения бруска зависит от того, в каком направлении будем его толкать. Следовательно, сила имеет направление. От направления силы зависит изменение скорости тела, на которое эта сила действует.

Учитывая, что сила имеет направление и числовое значение, ее изображают в виде стрелки определенной длины и направления (вектора). Такая стрелка начинается в точке на теле, которая называется *точкой приложения силы*. На рисунке 37 изображена сила, значение которой равно 10 Н, направлена она слева направо и приложена в точке А.

Пользуясь графическим методом, можно производить различные математические операции с силами. Так, если к одной точке на теле приложены силы 2 Н и 3 Н, которые действуют в одном направлении, то их можно заменить одной силой, которая будет приложена в той же точке и действовать в том же направлении, а ее значение будет равно сумме значений каждой из сил (рис. 38). Вектор этой силы будет иметь длину, равную сумме длин двух векторов.

Возможен и другой случай, когда силы, приложенные в одной точке тела, действуют в противоположных направлениях. Тогда их можно заменить одной силой, направленной в направлении большей силы, а ее значение будет равняться разности значений каждой силы (рис. 39). Длина вектора этой силы будет равна разности длин векторов приложенных сил.

Сила, которой можно заменить действие нескольких сил, приложенных в определенной точке тела, называется *равнодействующей*.

Равнодействующая – это сила, действие которой равнозначно действию нескольких сил, приложенных к телу в определенной его точке.

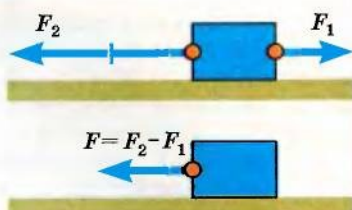


Рис. 39. Равнодействующая сил, действующих в противоположном направлении

1. Как можно изменить механическое состояние тела?
2. С какой целью употребляют понятие силы?
3. Что такое сила?
4. Какова основная единица силы?





5. Каким прибором измеряют силу?
6. Какие свойства силы?
7. Какую силу называют равнодействующей?
8. Какая будет равнодействующая двух сил, действующих вдоль прямой в одном направлении?
9. Какая будет равнодействующая сил, действующих вдоль прямой в противоположных направлениях? Определить ее направление.

Упражнение 5

1. Изобразить графически две силы 50 Н и 20 Н, приложенные к одной точке тела и действующие под углом 90° друг к другу.

2. На рисунке 40 изображена сила F_1 , равная 20 Н. Используя ее в качестве масштаба силы, найти значения сил F_2 и F_3 .

3. Большой железнодорожный состав иногда везут два тепловоза. Какую силу должен приложить к поезду один, более мощный тепловоз, если первый тепловоз действует на поезд с силой 180 кН, а второй – с силой 100 кН?

4. На тело вдоль одной прямой действуют три силы, равные 2 Н, 3 Н, 4 Н. Обозначив в тетради точку приложения этих сил, покажите направления сил для случаев, когда равнодействующие равны 1 Н, 3 Н, 5 Н соответственно.

5. Может ли равнодействующая сил 4 Н и 5 Н, действующих на тело вдоль одной прямой, равняться 2 Н, 3 Н, 9 Н, 10 Н?

48

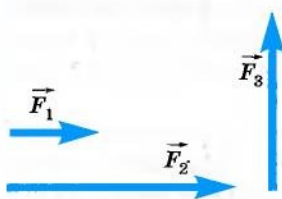


Рис. 40.

§ 14. Инертность тел. Масса

Всегда ли одинаковый результат действия силы

Результатом действия силы на тело является изменение его скорости или формы. Однако действие одной и той же силы не всегда сопровождается одинаковым эффектом. Он будет зависеть и от свойств тела, к которому приложена сила.

Разместим на полочке, закрепленной в штативе, два алюминиевых шарика (рис. 41). Упругую пластинку согнем, концы ее завяжем ниткой и введем между шариками. Если нитку перерезать, то пластинка распрямится и толкнет оба шарика, придав им определенные скорости. Измерив расстояния l_1 и l_2 , на которые отлетели шарика, увидим, что они равные:

$$l_1 = l_2.$$

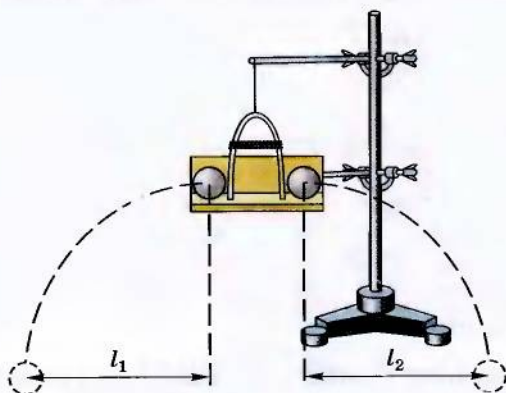


Рис. 41. Опыт с двумя одинаковыми алюминиевыми шариками

Если опыт повторить, поменяв один из алюминиевых шариков на стальной такого же диаметра (рис. 42), то расстояния, на которые сместятся шарик, будут различными:

$$l_1 < l_2.$$

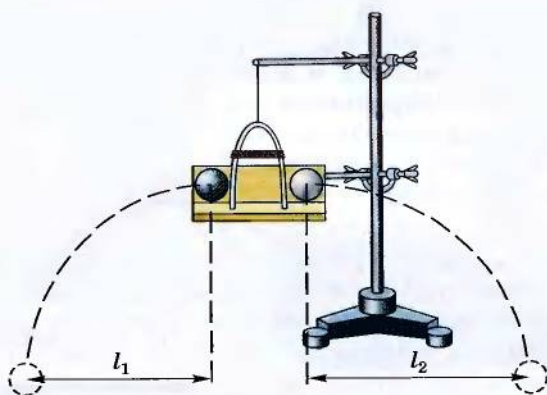


Рис. 42. Опыт с алюминиевым и стальным шариками одинакового размера

Таким образом, при действии одной и той же сжатой пружины за одинаковый интервал времени шарик приобрели различные скорости. Больше изменение скорости наблюдалось у алюминиевого шарика. Скорость же стального шарика изменялась меньше. С учетом подобных явлений одни тела называют более инертными (в нашем опыте – стальной шарик) и менее инертными (алюминиевый шарик).

Инертность – это свойство тела сохранять свое состояние движения или покоя.





Масса – это физическая величина, которая характеризует инертные свойства тела.

Что такое масса

Для количественного выражения инертности тел пользуются физической величиной, которую называют *массой*.

Очевидно, что масса стального шарика в предыдущем опыте была большей, чем алюминиевого, поэтому они и приобрели различную скорость.

Единицы массы

Как и всякая физическая величина, масса имеет единицу измерения. Основной единицей массы является килограмм (кг).

Килограмм равен массе международного прототипа килограмма.

Килограмм принадлежит к основным единицам Международной системы единиц (СИ). За единицу массы килограмм взята масса специально изготовленного образца (эталоны) (рис. 43). Он сделан из сплава платины и иридия и имеет форму цилиндра. Сохраняется эталон массы в Международном бюро мер и весов в г. Севре, который находится вблизи Парижа.



Рис. 43. Эталон килограмма

Если тело имеет массу 1 кг, то под действием силы 1 Н его скорость каждую секунду изменяется на 1 м/с.

Как и для других единиц измерения, для килограмма используют производные единицы:

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ кг};$$

$$1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг} = 10^{-6} \text{ кг};$$

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^3 \text{ кг};$$

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг} = 10^2 \text{ кг}.$$

Для прямого измерения массы используют различные весы. Среди них самые распространенные и самые простые – рычажные (рис. 44). На этих весах сравнивают взаимо-



Рис. 44. Лабораторные рычажные весы

действие с Землей тела и эталонных грузов, положенных на чашки весов. На практике используют также и другие весы, которые приспособлены к различным условиям работы и имеют различную конструкцию.

1. Одинаково ли изменяются скорости тел одинаковой массы под действием разных сил?
2. Что такое инертность тела? Какой физической величиной характеризуют инертные свойства тел?
3. Что такое масса? Какие существуют единицы массы?
4. С помощью какого прибора измеряют массу тела?

Упражнение 6

1. Масса одного шара равна 6 кг, а другого – 0,017 кг. Какой шар труднее остановить, если оба они катятся по горизонтальной поверхности с одинаковой скоростью?

2. Водитель грузового автомобиля, увидев красный сигнал светофора, тормозит раньше, чем водитель легковой машины, движущейся рядом с такой же скоростью. Почему?

3. На каждое из двух тел, которые двигались с одинаковыми скоростями, подействовала сила, равная 10 Н. Одно из тел остановилось через 20 с, а другое – через 5 с. Какое из этих тел имеет большую массу?

51

§ 15. Плотность вещества

Если на чашки весов положить алюминиевые цилиндры одинакового объема, то весы останутся в равновесии. Это свидетельствует о том, что их массы равны. Равность масс покажут весы и тогда, когда на обе чашки весов положить тела одинакового объема из олова, древесины или свинца. Таким образом, если тела имеют одинаковые объемы и изготовлены из одинакового вещества, то их массы равны.

Однако равновесие весов нарушится, если на одну чашку весов положить алюминиевый цилиндр, а на другую – свинцовый такого же объема. Равновесие можно восстановить, положив на чашку с алюминиевым цилиндром дополнительный груз или уменьшив объем свинцового цилиндра почти в 5 раз. Отношение объемов двух тел одинаковой массы, изготовленных из разных веществ, будет различным и зависит от рода вещества каждого тела.

Для сравнения отношения массы к объему различных тел используют физическую величину, которую называют *плотностью*.

Что такое плотность



Плотность однородного вещества – это физическая величина, которая определяется отношением массы вещества к его объему.

Для определения плотности вещества нужно массу однородного тела из этого вещества разделить на его объем:

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объем}}.$$

Обозначив плотность греческой буквой ρ («ро»), массу – латинской буквой m , а объем – латинской буквой V , получим формулу

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Для примера определим плотность латуни, если сплошной латунный цилиндр имеет массу 1,7 кг и объем 0,02 м³.

52

Дано:

$$V = 0,02 \text{ м}^3,$$

$$m = 1,7 \text{ кг}.$$

$$\rho = ?$$

Решение

По определению $\rho = \frac{m}{V}$. Подставив значение массы и объема, получим:

$$\rho = \frac{1,7 \text{ кг}}{0,02 \text{ м}^3} = 8500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ. Плотность латуни $8500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Из этого примера видно, что единицей плотности является килограмм на кубический метр $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$. Часто используют единицу грамм на кубический сантиметр. Между ними существует связь:

$$1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{1000 \text{ г}}{1\,000\,000 \text{ см}^3} = 10^{-3} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Для всех веществ плотность определена и составлены специальные таблицы. Читая эти таблицы, можно узнать, какую массу имеет единица объема определенного вещества.

Если при решении задачи найдено определенное значение плотности, то по таблице можно определить, из какого вещества изготовлено это тело.

Для неоднородных тел пользуются понятием средней плотности, когда учитывается общая масса тела и его объем, независимо от того, есть ли в теле полости. В этом случае по средней

плотности нельзя определить вещество тела, но можно предположить результаты его взаимодействия с другими телами.

Таблица

Плотность различных веществ

Вещество	Плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Твердые тела (при температуре 20 °С)	
Алюминий	2700
Графит	2300–2700
Древесина дуба	800
Железо	7800
Золото	19 300
Иридий	22 400
Латунь	8400–8700
Лед (при 0 °С)	880–920
Сталь	7600–7900
Никель	8900
Олово	7300
Парафин	870–910
Платина	21 500
Свинец	11 300
Серебро	10 500
Стекло	2200–2800
Жидкости (при температуре 20 °С)	
Вода	998,2
Нефть	800
Спирт этиловый	789,4
Ртуть	13 546
Газы (при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст.)	
Азот	1,25
Гелий	0,18
Водород	0,09
Кислород	1,43
Воздух (сухой)	1,293



1. Все ли тела одинаковой массы имеют одинаковый объем?
2. Все ли тела одинакового объема имеют одинаковую массу?
3. Что такое плотность вещества?
4. Назовите единицы плотности.
5. Какой физический смысл плотности вещества?
6. Как рассчитать массу тела, если известно вещество, из которого оно изготовлено?
7. Как определить объем тела, если известно вещество, из которого оно изготовлено?
8. Назовите единицы объема.

Упражнение 7

1. Из двух однородных тел одинакового объема масса второго тела в 7 раз меньше, чем масса первого. Плотность вещества какого тела больше и во сколько раз?

2. Объем куска металла равен 50 см^3 , а его масса – 355 г. Определить плотность этого металла. Какой металл имеет такую плотность?

3. Какова плотность жидкости, если масса 125 л равна 100 кг?

4. Из двух однородных тел одинаковых масс объем первого тела втрое больше объема второго. Вещество какого тела, взятое в объеме 1 м^3 , имеет меньшую массу и во сколько раз?

5. Определить массу тела объемом 250 см^3 , если плотность вещества, из которого оно изготовлено, равна $1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

6. Объем сплошного железного слитка составляет 750 дм^3 . Найти массу этого слитка.

7. Объем внутреннего пространства цистерны 60 м^3 . Сколько тонн нефти можно в нее налить?

8. В автомобильный бак для горючего при нормальном наполнении помещается 70 кг бензина. Определить объем бака в литрах.

9. Назовите два разных твердых вещества и такие их объемы, при которых массы тел были бы одинаковыми.

10. Во сколько раз объем ртути меньше по сравнению с объемом нефти такой же массы?

§ 16. Сила тяготения

Все тела возле Земли падают на ее поверхность, если их ничто не удерживает. В чем причина этого явления?

Как тела падают на Землю

Рассмотрим фотографию падения шарика, на которой положение шарика фиксировалось на пленке через равные интервалы времени (рис. 45). Если линейкой отмерить расстояние между изображениями шарика в различные моменты времени, то можно заметить, что эти расстояния постепенно увеличиваются. Это свидетельствует о том, что скорость шарика при падении постепенно увеличивается.

Как увеличивается скорость падающего тела

Если вспомнить определение силы, по которому сила изменяет скорость тела, то можно сделать вывод, что на шарик действует сила, направленная к Земле.

Силу, действующую на каждое тело со стороны Земли, называют силой тяготения.



Измерения показывают, что скорость тела, падающего на поверхность Земли при отсутствии сопротивления воздуха, каждую секунду увеличивается на $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Как рассчитать силу тяготения

Если знать массу тела, то можно рассчитать силу тяготения. Способ таких расчетов подсказывают результаты опытов.

Возьмем динамометр и подвесим к нему гирьку массой 102 г, стрелка динамометра остановится на отметке 1 Н. Если подвесить два таких груза, то динамометр покажет силу 2 Н и т. д. С этого опыта можно сделать вывод, что сила тяжести пропорциональна массе тела.

Сила тяготения пропорциональна массе тела:

$$F_{\text{тяг}} = gm.$$

Коэффициент пропорциональности g равен приблизительно

$$9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

Для расчетов при решении задач иногда принимают, что

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$



Рис. 45.
Ускоренное движение падающего шарика

Если знать такую зависимость силы тяготения от массы, то можно заранее рассчитать ее значение.

Например, необходимо определить, что покажет динамометр, если на его крючок повесить гирию массой 500 г.

Дано:

$$m = 500 \text{ г.}$$

$$F_{\text{тяг}} = ?$$

Решение

$$F_{\text{тяг}} = gm,$$

$$F_{\text{тяг}} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,5 \text{ кг} = 4,9 \text{ Н.}$$

Ответ. Стрелка динамометра покажет 4,9 Н.


Какая природа силы тяготения

Сила тяготения является проявлением общего закона природы, действующего во всей Вселенной закона всемирного тяготения. Открытый и сформулированный в XVII в. английским физиком Ньютоном, он утверждает, что сила гравитационного притяжения во Вселенной пропорциональна массам взаимодействующих тел и зависит от расстояния между ними.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

где R – расстояние между телами, m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел, $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная.

Сила тяготения, как проявление гравитационного взаимодействия Земли, является следствием взаимодействия всех тел с Землей. Поэтому в расчетах силы тяготения пользуются только массой данного тела. Характеристики Земли отображены в обобщенной форме в коэффициенте g .

- 
1. Как проявляется явление тяготения?
 2. Что характеризует сила тяготения?
 3. Как рассчитать силу тяготения?
 4. Каким законом описывается сила тяготения?
 5. С именем какого ученого связано изучение явления тяготения?

Упражнение 8

1. Какая сила является причиной падения капель дождя?
2. Какова масса сплошного латунного шара, если динамометр, к крючку которого он подвешен, показывает 49 Н?
3. Как изменятся показания динамометра, к которому подвешен свинцовый шар, если его перенести на Луну?

4. Земля имеет форму сплюснутого у полюсов шара. Где сила тяжести, действующая на тело массой 1 кг, больше: на полюсе или на экваторе?

5*. В ведро, подвешенное к динамометру, равномерной струей вливается вода. Начертите график изменения показаний динамометра со временем, если масса ведра 2 кг.

6. В вершинах равностороннего треугольника помещены три шара разной массы. Между какими шарами сила взаимодействия наибольшая?

§ 17. Деформация тел

Одним из признаков твердых тел является их свойство сохранять свою форму длительное время. Однако такое свойство наблюдается только тогда, когда на тело не действуют другие тела. Взаимодействуя с другими телами, оно изменяет свою форму. Это изменение не всегда заметно, однако оно всегда существует.

Что такое деформация

Явление деформации подчиняется действию определенных законов. Один из таких законов можно проиллюстрировать опытом. Повесим на штативе резиновую нить и измерим ее длину. Подвесим к нити груз определенной массы и увидим, что он начнет опускаться вниз, растягивая нить. Скорость его будет уменьшаться, и он в конце концов остановится, а длина нити будет больше начальной. По результатам опыта можно сделать вывод, что при деформации нити возникла сила, направленная в сторону, противоположную деформации.

Эту силу называли *силой упругости*.

Изменение формы или размеров тела называют деформацией.



Силу, возникающую при деформации, называют силой упругости.



Как рассчитать силу упругости

Силу упругости можно рассчитать, если известна деформация тела. Если начальную длину нити обозначить буквой l_0 , а длину после растяжения — l , то изменение длины нити будет равно

$$\Delta l = l - l_0.$$

В предыдущем опыте добавим еще одну гирьку. Нить растянется больше. Если измерим изменение длины нити для этого случая, то увидим, что она стала в два раза большей, чем до этого. Такая закономерность характерна для всех случаев незначительной деформации тел и отображает действие закона Гука.

В чем суть закона Гука

Математически эта зависимость записывается так:

$$F_{\text{упр}} = k \Delta l.$$

Здесь $F_{\text{упр}}$ – сила упругости; Δl – деформация тела; k – коэффициент упругости.



Сила упругости пропорциональна деформации тела и направлена всегда в противоположном деформации направлении.

58

Закон Гука можно проиллюстрировать с помощью графика (рис. 46). На нем зависимость силы упругости от деформации изображена прямой линией, поскольку сила пропорциональна деформации. На рисунке показана зависимость силы упругости от деформации для двух различных тел. Графики являются прямыми линиями, но имеют различный наклон, что свидетельствует о различном значении коэффициента упругости для различных тел.

Закон Гука выполняется для таких деформаций, после снятия которых тело приобретает предыдущие размеры и форму. Такие деформации называют *упругими*.

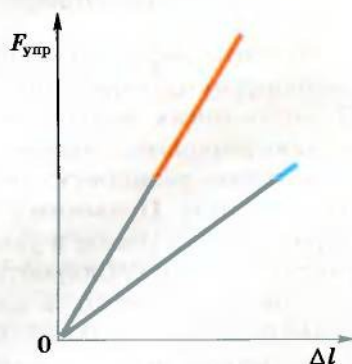


Рис. 46. Сила упругости пропорциональна деформации

В чем природа сил упругости

Возникновение силы упругости связано с силами взаимодействия между молекулами. При деформации изменяется расстояние между молекулами, а поэтому преобладают или силы притяжения (при растяжении тела), или силы отталкивания (при сжатии тела).

Силы упругости учитывают и используют в различных приспособлениях и машинах. Автомобили, железнодорожные ва-

гоны и другие транспортные средства имеют рессоры. Их использование делает движение более мягким, так как наезд колеса на камень или другое препятствие вызывает только деформацию рессоры и ощутимо не изменяет положения самого транспортного средства.

В странах, где часто бывают землетрясения, дома ставят на специальные пружины, которые во время толчка деформируются, а здание остается практически неподвижным.

1. Что такое деформация тела?
2. В каких случаях возникает деформация тела?
3. В каких случаях возникает сила упругости?
4. Как доказать, что при деформации тела возникает сила упругости?
5. От чего зависит значение силы упругости?
6. Как формулируется закон Гука?
7. При каких условиях действует закон Гука?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

59

Градирование шкалы динамометра

Цель. Исследовать зависимость силы упругости от деформации и изготовить шкалу динамометра.

Оборудование: лабораторный динамометр со шкалой, закрытой чистой бумагой, штатив, лабораторный набор гирь массой по 100 г, карандаш, линейка, лабораторный динамометр с открытой шкалой, тело неизвестной массы.



Указания к работе

Изготовление любого измерительного прибора всегда связано с градуированием его шкалы – нанесением делений, по которым определяется значение измеряемой величины.

Динамометр – это прибор для измерения силы. Поэтому для градуирования его шкалы следует измерить некоторые заранее известные значения силы. При этом удобно воспользоваться тем, что на тело массой 102 г действует сила тяжести, равная 1 Н. Подвешивая к пружине одну, две, три и т. д. такие гири, можно на шкале возле пружины обозначить положения стрелки, которые соответствуют ее растяжению под действием сил 1 Н, 2 Н, 3 Н и т. д. Более мелкие деления наносят, дробя полученные деления на меньшие части.

В границах достаточной точности можно воспользоваться гирьками промышленного производства массой 100 г.

Выполнение работы

1. Закрепите в штативе корпус динамометра с закрытой шкалой в вертикальном положении.

2. Горизонтальной чертой обозначьте на бумаге начальное положение стрелки и поставьте цифру 0.

3. Подвесьте к крючку на пружине груз массой 100 г.

4. Отметьте положение стрелки на бумаге и поставьте цифру 1.

5. Повторите п. 3, 4 для двух, трех и четырех таких же грузов.

6. Измерьте и сравните расстояния между соседними делениями и вывод запишите в тетрадь.

7. Расстояния между делениями разделите на 10 равных частей, обозначив их короткими черточками.

8. К крючку изготовленного таким образом динамометра присоедините лабораторный динамометр с фабричной шкалой и приложите к нему некоторую силу. Сравните показания обоих динамометров и вывод запишите в тетрадь.

9. К крючку изготовленного динамометра подвесьте тело неизвестной массы и измерьте действующую на него силу тяжести.

10. На основании результатов измерений (п. 9) найдите массу тела.

11. Результаты измерений и вычислений запишите в тетрадь, а шкалу приложите к отчету.

Упражнение 9

1. Почему пружины для динамометров изготавливают стальные, а не медные или оловянные?

2. На рисунке 47 изображена графическая зависимость между длиной пружины и силой упругости. Какова начальная длина пружины? Определить деформацию пружины, если сила упругости равна 100 Н. При какой длине пружины сила упругости равнялась бы 325 Н?

3. При удлинении пружины на 0,12 м возникла сила упругости, равная 0,04 Н. На сколько нужно удлинить пружину, чтобы сила упругости равнялась 1 Н?

4. В нерастянутом состоянии длина пружины равна 88 мм. В результате ее удлинения до 120 мм возникла сила упругости 120 Н. При какой длине пружины сила упругости будет 90 Н?

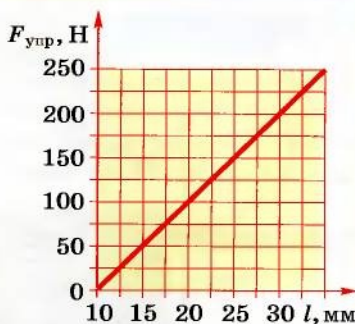


Рис. 47.

§ 18. Вес тела

Множество тел на Земле находятся в состоянии покоя относительно ее поверхности. Почему же тела, на которые всегда действует сила тяготения, не изменяют своего положения и скорости под действием этой силы?

Ответ на этот вопрос найдем при проведении опыта. С этой целью положим линейку на две подставки и поставим на нее груз (рис. 48). Линейка деформируется. Следовательно, груз подействовал на линейку и изменил ее форму, деформировал. А при деформации возникла сила упругости, которая уравновесила силу тяготения, и груз прекратил движение к Земле.

Закрепим в штативе резиновую нить, а к ее концу прикрепим шарик. Если отпустим шарик, то он начнет двигаться вниз и будет растягивать нить до тех пор, пока сила упругости не уравновесит силу тяготения.

В обоих случаях на груз и шарик действовала сила тяготения, поэтому они, в свою очередь, действовали на линейку или резиновую нить.

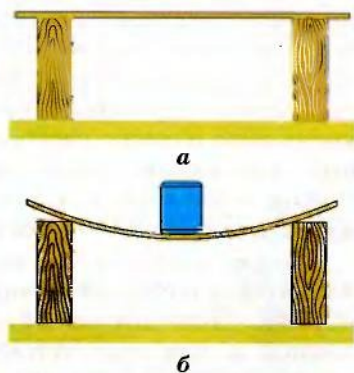


Рис. 48. Под действием груза линейка деформируется

Что такое вес тела

Вес зависит от механического состояния тела. Если тело неподвижно относительно опоры или подвеса или движется равномерно и

Силу, с которой тело действует на опору или подвес, называют весом тела.



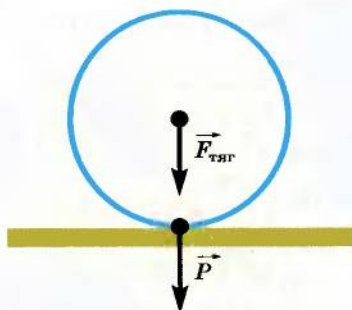


Рис. 49. Сила тяготения приложена к телу, а вес — к подставке

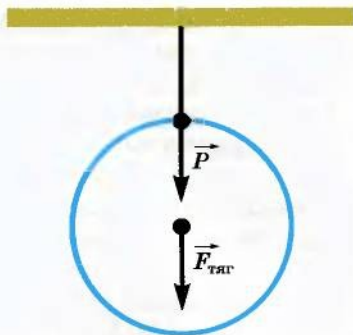


Рис. 50. Сила тяготения приложена к телу, а вес — к подвесу

прямолинейно, то вес по значению и направлению совпадает с силой тяготения.

Для этого случая можно записать, что

$$P = F_{\text{тяг}}; P = gt.$$

Однако между этими силами есть и существенные различия. Так, они приложены к различным телам. Если сила тяготения приложена к данному телу, то вес приложен к опоре или подвесу (рис. 49, 50).

Отличия проявляются и тогда, когда тело и опора свободно падают под действием силы тяготения. В этом случае вес исчезает и возникает состояние невесомости.

Такую особенность веса можно наблюдать в сравнительно простых опытах. Повесим на нити, закрепленной в штативе, металлический динамометр, к крючку которого прикреплены грузы. Стрелка покажет определенное значение веса грузов. Теперь перережем нить — динамометр с грузом начнет падать. В момент падения стрелка динамометра сместится на деление «ноль» (рис. 51). Таким образом, при свободном падении тела вес тела исчезает, возникает состояние невесомости.

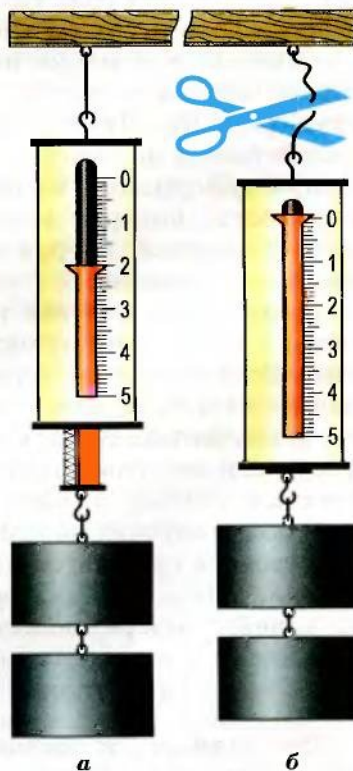


Рис. 51. Свободное падение динамометра с гирями

Невесомость ощущают пилоты и космонавты. Если космический корабль движется вокруг Земли, то он все время как бы падает на Землю и все тела в его кабине теряют вес (рис. 52). В таких условиях много обычных явлений происходит своеобразно. Так, вода вне сосуда приобретает шарообразную форму и свободно плавает в пространстве. Брошенный предмет будет двигаться от стенки к стенке прямолинейно, не останавливаясь.



Рис. 52. Невесомость в космическом корабле, летящем на околоземной орбите

1. Что такое вес тела?
2. Какая связь существует между силой тяготения и весом?
3. Где находится точка приложения веса тела?
4. Как рассчитать вес неподвижного тела?
5. При каких условиях возникает невесомость?
6. Каково различие между весом и силой тяготения?



Упражнение 10

1. Масса ведра со строительным раствором равна 20 кг. Определите ее вес.

2. Масса космонавта равна 70 кг. Определить силу тяготения, действующую на космонавта на околоземной орбите. Чему равен вес космонавта в этих условиях?

3. Когда подняли колоду, лежавшую на земле, под ней оказалась глубокая вмятина. Под действием какой силы образовалась эта вмятина?

4. **Экспериментальное задание.** Возьмите гирьку и привяжите к ней нить. Держите гирьку за нить и быстро опускайте ее вниз. С одинаковой ли силой действовал груз на руку при падении и в спокойном состоянии?

§ 19. Сила трения

Как наблюдать силу трения

Взаимодействие тел, вследствие чего изменяются скорости этих тел, происходит не только при их столкновении. В природе можно наблюдать множество примеров, когда одно тело скользит или катится по поверхности другого. О взаимодействии этих тел можно судить по тому, что скорость этих тел изменяется. Скатившись с горы, камень даже на ровной поверхности со временем остановится. Хоккейная шайба движется по льду в течение определенного времени, а потом останавливается.

Закрепим наклонно на столе доску, положим на нее шарик и отпустим. Шарик скатится, приобретя определенную скорость, прокатится по столу и, в конце концов, остановится. Если на стол положить стекло, то шарик прокатится на большее расстояние. Таким образом, причиной изменения скорости шарика является его взаимодействие со столом или стеклом.

64

В рассмотренных примерах скорости камня, шайбы, шарика уменьшались. Значит, на них действовала некоторая сила, направленная против движения. Эта сила возникла в результате взаимодействия тел, касающихся друг друга и осуществляющих взаимное перемещение. Движущийся камень взаимодей-

ствует с поверхностью Земли, шайба – с поверхностью льда, шарик – с поверхностью стола или стекла. При движении тела в жидкости или газе тоже возникает сила трения.



Силу, возникающую при относительном перемещении соприкасающихся тел, называют силой трения.

Как измерить силу трения

Опыты показывают, что сила трения может иметь различные значения. Измерить ее можно при помощи динамометра. Положим деревянный брусок на доску, присоединим к нему крючок динамометра и начнем тянуть за него. Стрелка динамометра начнет отклоняться от нулевой отметки, а когда брусок начнет двигаться равномерно, остановится на определенном делении. Это и будет значение силы трения при движении бруска по поверхности доски. Сила трения всегда пропорциональна силе, с которой прижимается одно тело к другому. Эту зависимость можно выразить формулой:

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения; N – сила реакции опоры; μ – коэффициент трения.

Коэффициент трения μ зависит от качества поверхностей соприкасающихся тел и от веществ, с которых они изготовлены.

Таблица

Коэффициент трения скольжения

Вещество	Значение коэффициента
Древесина по древесине	0,7
Кирпич по кирпичу	0,65
Сталь по стали	0,2
Сталь по льду	0,02

Почему возникает сила трения

Природу силы трения можно объяснить, если учесть свойства взаимодействующих тел. Поверхность каждого тела всегда имеет микроскопические неровности. При относительном перемещении двух тел эти неровности мешают взаимному смещению тел, что и проявляется как сила трения (рис. 53). Даже тщательная полировка не поможет преодолеть трение. Исследования показали, что трение даже будет возрастать. Так как в этом случае расстояния между молекулами тел уменьшаются, то можно сделать выводы, что трение связано с взаимодействием молекул.



Рис. 53. Трение возникает вследствие наличия неровностей на поверхностях

Виды трения

Различают три вида трения: *трение скольжения*, *трение качения* и *трение покоя*.

Трение скольжения возникает тогда, когда одно тело скользит по поверхности другого. Трение качения возникает при качении одного тела шарообразной или цилиндрической формы по поверхности другого тела. Сила трения скольжения всегда больше силы трения качения. Этот факт хорошо известен грузчикам, которые вместо того, чтобы тянуть бочку, катят ее.



§ 20. Как учитывают силы трения

Трение везде встречается в природе и может как содействовать, так и мешать деятельности человека. В каждом случае люди научились управлять этим явлением, создавая условия, когда силы трения уменьшаются или, наоборот, увеличиваются. Так, для увеличения безопасности движения автомобиля его шины изготавливают с шероховатой поверхностью, которая дополнительно имеет узорчатые углубления (рис. 54), что способствует увеличению силы трения колес об асфальт.

Во всех транспортных средствах есть тормоза, предназначенные для торможения, то есть для ускорения остановки автомобиля или поезда. Тормоза оснащены тормозными колодками, которые покрыты специальным материалом, коэффициент трения которого по стали велик (рис. 55).

В то же время, бывают случаи, когда силу трения нужно существенно уменьшить. Тогда трущиеся поверхности разделяют

66



Рис. 54. Для увеличения силы трения на поверхности скатов (шин) наносят рисунок – протектор

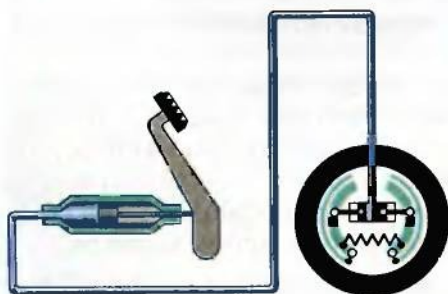


Рис. 55. Тормозные колодки



Рис. 56. Трение уменьшается, если между трущимися поверхностями поместить смазку

жидкостью – минеральной смазкой или даже водой, как это происходит в стиральных машинах. Слой жидкости разделяет трущиеся поверхности, и они не взаимодействуют друг с другом (рис. 56).



Рис. 57. Шариковый и роликовый подшипники

На различных деталях современных машин и механизмов устанавливают шариковые или роликовые подшипники качения (рис. 57). Как правило, это две стальные обоймы, между которыми находятся металлические шарики или цилиндрики – ролики. Такие подшипники существенно уменьшают трение, так как в них действуют только силы трения качения, которые при равных условиях значительно меньше сил трения скольжения. Заполненные смазкой шариковые и роликовые подшипники обеспечивают быстрое, бесшумное и экономное вращение деталей.

1. Почему возникает трение между двумя движущимися телами?
2. Какова природа сил трения?
3. Сравните силы трения скольжения и качения.
4. Как увеличить силу трения?
5. Как уменьшить силу трения?
6. Для чего используют роликовые или шариковые подшипники?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Измерение коэффициента трения

Цель. Освоить один из методов измерения коэффициента трения скольжения.

Оборудование: гладкая деревянная доска, деревянный брусок с крючком, гири массой по 100 г, металлический брусок с крючком, лабораторный динамометр.



Указания к работе

Если бы не было трения, то к движущемуся телу не нужно было бы прикладывать силу, чтобы обеспечивать его движение. Если существует трение, то для равномерного движения тела необходимо прикладывать дополнительную силу, компенсирующую силу трения. Значение этой силы равно значению силы трения. Если тело перемещать с помощью динамометра, то его показание будет равно значению силы трения.

Выполнение работы

68

1. К крючку динамометра прикрепите деревянный брусок и определите его вес.

2. Положите брусок на поверхность доски, прикрепите к нему динамометр и перемещайте его равномерно, определяя значение силы, которое показывает стрелка динамометра.

3. Повторите опыт для случая, когда на бруске будет 1, 2, 3 гирьки, масса каждой равна 100 г.

4. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица

№ опыта	Вес бруска P , Н	Сила реакции опоры N , Н	Сила трения F , Н	Коэффициент трения μ
1				
2				
3				
4				

5. Сравните значения коэффициента трения для различных измерений и сделайте вывод.

6. **Дополнительное задание.** Исследование повторите для бруска, поверхность которого покрыта бумагой.

§ 21. Рычаг

Взаимодействие может происходить через промежуточные тела

Взаимодействие может происходить не только при непосредственном контакте, но и при наличии промежуточных тел. Таких примеров можно привести большое количество. Так, если мастер забивает гвоздь в углублении, он ставит на головку гвоздя металлический стержень и по нему ударяет молотком (рис. 58). Молоток действует на стержень, который, в свою очередь, уже действует на гвоздь.



Рис. 58. Использование стального стержня для забивания гвоздя в углублении

Можно ли изменять значения силы

Если взаимодействие между телами происходит через промежуточные тела, то можно изменять силы взаимодействия между ними. Оно может изменить как направление силы, так и ее значение. Одним из примеров такого использования промежуточных тел для взаимодействия между телами является рычаг. В быту и на производстве можно наблюдать много таких примеров.

Часто можно видеть, как тяжелый предмет поднимают или перемещают с помощью металлического стержня (рис. 59). В этом случае стержень называют *рычагом*.



Рис. 59. Поднимание груза при помощи рычага

Что такое рычаг

Ось вращения рычага может проходить через один из его концов или посередине рычага – между точками приложения сил.



Рычагом называют жесткий стержень, имеющий ось вращения.

Под действием нескольких сил рычаг может вращаться или быть неподвижным. В последнем случае говорят, что рычаг уравновешен.

Как уравновесить рычаг

Выясним, при каких условиях рычаг, на который действует несколько сил, будет уравновешен.

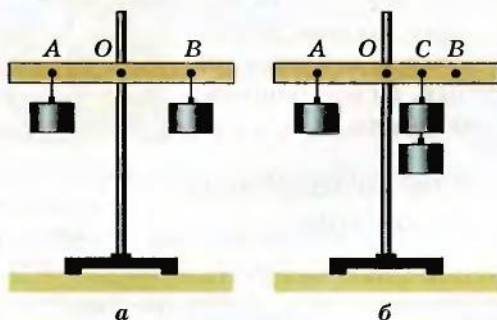


Рис. 60. Лабораторный рычаг

Для этого возьмем деревянную планку с отверстием посередине и поместим ее на оси, закрепленной в штативе (рис. 60). Это и будет рычаг. Слева от оси вращения повесим в точке A на расстоянии 10 см гирьку массой 102 г. В этом случае говорят, что точка A является точкой действия силы 1 Н. Под действием этой силы рычаг начнет вращаться против часовой стрелки. Для того чтобы он не вращался и оставался в горизонтальном положении, на другом конце рычага найдем такую точку B , при закреплении в которой гирьки массой 102 г рычаг перестанет вращаться. Измерив расстояние OB , увидим, что оно также равно 10 см. Таким образом, $OA = OB$, если $F_1 = F_2$. Если направление действия силы перпендикулярно к направлению оси вращения рычага, то расстояние от его оси вращения к направлению действия силы называют *плечом силы*.



Если силы, действующие на рычаг, находящийся в равновесии, равны, то равны и плечи этих сил.

Если левую гирьку оставить прикрепленной в точке A , а в точке B подвесить две такие гирьки массой по 102 г каждая, то равновесие рычага нарушится и он начнет вращаться. Достигнуть равновесия

в этом случае можно, изменяя положение точки подвеса двух гирек. Так можно установить новое положение точки подвеса C . Измерив оба плеча, увидим, что правое плечо OC в два раза меньше левого плеча OA .

$$OC = \frac{OA}{2}.$$

В случае равновесия рычага плечо большей силы меньше, и наоборот, плечо меньшей силы больше.

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{F_1}{F_2}.$$

В уравновешенном рычаге плечи сил обратно пропорциональны силам.



Используя свойства пропорции, получаем

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Что такое момент силы

Физическую величину, равную произведению силы на плечо, называют *моментом силы*. Единицей измерения момента силы является ньютон-метр (Н·м).

71

Сформулируем условие равновесия рычага в общем виде.

Рычаг пребывает в равновесии, если момент силы, вращающий рычаг по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающему рычаг против часовой стрелки.



Конструктивно рычаг может быть таким, что силы будут действовать по одну сторону от оси вращения. Условие равновесия для него будет такое же, как и для рычага, рассмотренного выше.

Используя условие равновесия рычага, можно рассчитывать силы, действующие на него, или плечи этих сил.

Задача. На одно из плеч рычага длиной 30 см действует сила 2 Н. Какая сила должна подействовать на другое плечо этого рычага длиной 15 см, чтобы он оставался неподвижным.

Дано:

$$F_1 = 2 \text{ Н},$$

$$l_1 = 30 \text{ см},$$

$$l_2 = 15 \text{ см}.$$

$$F_2 = ?$$

Решение

При условии равновесия рычага $F_1 l_1 = F_2 l_2$. Отсюда

$$F_2 = \frac{F_1 l_1}{l_2}, F_2 = \frac{2 \text{ Н} \cdot 30 \text{ см}}{15 \text{ см}} = 4 \text{ Н}.$$

Ответ. На второе плечо рычага должна подействовать сила 4 Н.



§ 22. Где используют рычаги

Рычаг известен человеку с того времени, когда человек взял палку, чтобы сбить плод с дерева. И вся следующая история человечества связана с использованием рычагов. Так, исследования историков показывают, что при строительстве пирамид древние египтяне использовали рычаги для поднятия тяжелых блоков на значительную высоту (рис. 61). Историкам науки известно, что древние римляне использовали рычаги для создания различных строительных и военных машин (рис. 62). Значительный вклад в теорию рычагов внес древнегреческий ученый и изобретатель Архимед. Сконструированные им машины помогали оборонять греческие города от захватчиков, подавать воду для орошения полей (рис. 63), перемещать значительные грузы на стройках, выполнять большое количество других подобных работ.

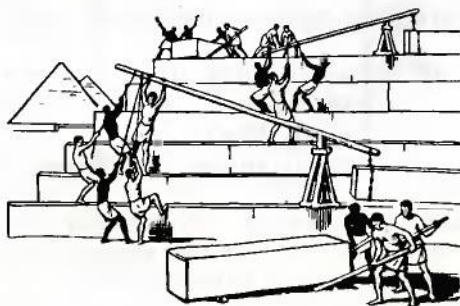


Рис. 61. Рычаг на строительстве применяли еще древние египтяне



Рис. 62. Рычаг использовали в древних военных машинах

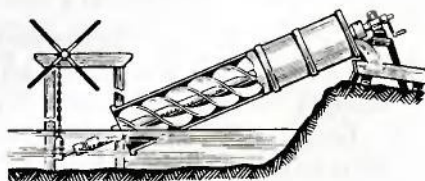


Рис. 63. Винт Архимеда

Рычаги широко используются и в современной технике, в самых разнообразных машинах.

Рычагом является стрела подъемного крана, используемого в строительстве. Она дает возможность получить выигрыш в силе или расстоянии. Момент силы, действующей на конце стрелы при подъеме груза, уравновешивается моментом противовеса, находящегося на противоположном конце стрелы.

Принцип рычага используется во многих устройствах и инструментах, которыми мы пользуемся ежедневно. На рисунке 64 изображены некоторые из них. На них легко найти части, исполняющие роль рычагов.

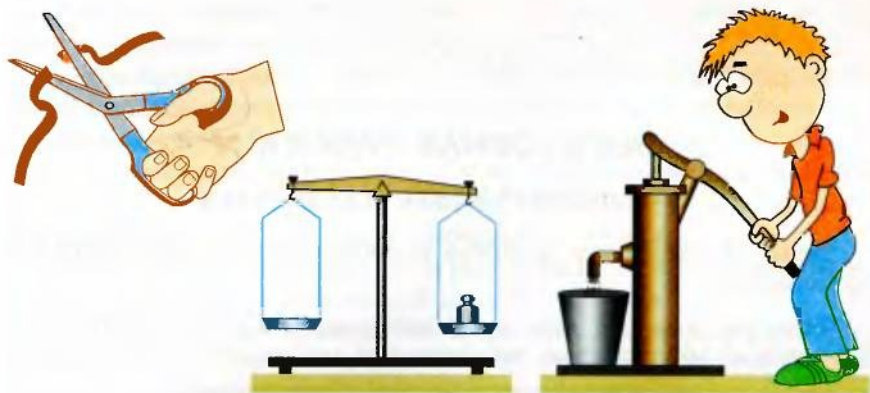


Рис. 64. Современные механизмы содержат рычаги

73

Рычаги можно найти и в живых организмах. По принципу рычага работают руки человека (рис. 65), ноги, голова.

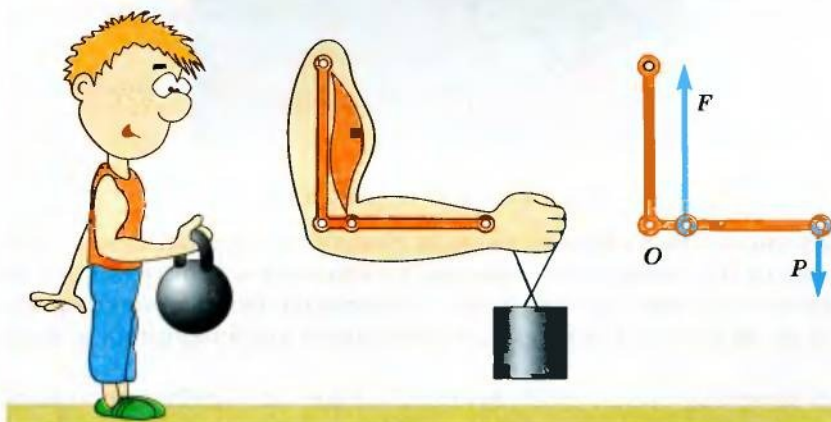


Рис. 65. Рычаги можно найти и в живых организмах



Архимед (около 287–212 гг. до н. э.) – известный древнегреческий ученый. Научные труды касаются математики, механики, физики и астрономии. Автор многих изобретений и открытий, в том числе машины для орошения полей, винта, рычагов, блоков, военных метательных машин и пр. В его труде «О плавающих телах» изложены основы гидростатики.





1. Что называют рычагом?
2. Что такое ось вращения рычага?
3. Что такое точка приложения силы?
4. Что такое плечо силы?
5. Когда рычаг находится в равновесии?
6. Какие типы рычагов существуют?
7. Для чего используют рычаги?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Исследование свойств рычага

Цель. Исследовать свойства рычага, выяснить условия его равновесия.

Оборудование: школьный лабораторный рычаг, штатив, набор гирек по 100 г каждая, лабораторный динамометр, линейка.



Указания к работе

Исследование свойств рычага связано с измерением основных его характеристик, в частности его плеч и действующих на них сил в условиях равновесия. Рычаг находится в равновесии, если он не поворачивается под действием приложенных к нему сил.

В качестве силы, действующей на рычаг, удобно использовать вес гирь, значение которого пропорционально их массе.

Измерять плечи удобно тогда, когда рычаг находится в горизонтальном положении. В этом случае плечо силы равно длине части рычага от точки приложения силы к оси вращения. Если действующая сила будет иной природы, чем вес, то для удобства выполнения работы нужно стремиться, чтобы она была перпендикулярной рычагу.

Полученные результаты для описанных условий имеют общий характер и справедливы для других случаев уравновешенного рычага.

Выполнение работы

1. Закрепите в штативе лабораторный рычаг. Поворачивая гайки на концах рычага, добейтесь его горизонтального положения.

2. На расстоянии 20 см от оси вращения на левой части рычага закрепите гирию массой 100 г.

3. На правой части рычага закрепите две гири массой по 100 г каждая и, передвигая подвес вдоль рычага, добейтесь его горизонтального положения. Измерьте плечи сил.

4. Переместив левую гирию ближе к оси вращения, найдите такое положение гирь на правой части рычага, чтобы он был в горизонтальном положении. Измерьте плечи сил.

5. К левому плечу рычага на расстоянии 10 см от оси вращения подвесьте три гири массой по 100 г каждая.

6. К крючку на правом плече рычага прикрепите динамометр и найдите такое его положение, при котором стрелка динамометра не выходит за пределы шкалы, а рычаг будет уравновешен в горизонтальном положении. Измерьте плечо и значение силы, действующей на правое плечо.

7. Результаты измерений запишите в таблицу, рассчитайте значения сил и моментов сил. Сравните значения моментов сил для каждого опыта и сделайте выводы.

Таблица

№ опыта	Левая часть рычага				Правая часть рычага			
	Масса гири m_1 , кг	Сила F_1 , Н	Плечо силы l_1 , м	Момент силы $F_1 l_1$, Н·м	Масса гири m_2 , кг	Сила F_2 , Н	Плечо силы l_2 , м	Момент силы $F_2 l_2$, Н·м
1								
2								
3								

Примечание. При расчетах веса гирь можно считать $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Упражнение 11

1. Какая сила должна действовать на рычаг, чтобы удержать в равновесии груз (рис. 66)?

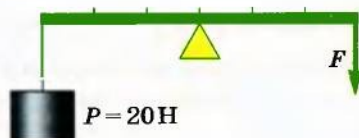


Рис. 66

2. Рассчитать силу F , с помощью которой можно уравновесить силу тяготения, действующую на шар, подвешенный к одному плечу рычага (рис. 67).

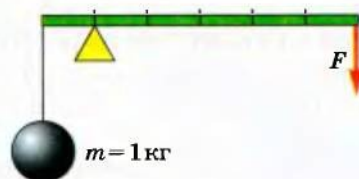


Рис. 67

76

3. Определить длину рычага AB , если он находится в положении равновесия (рис. 68).

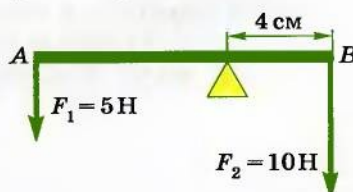


Рис. 68

4. Почему двери легче открыть, толкая их возле дверной ручки, а не возле петель, на которых они подвешены?

5. Почему нельзя копать лопатой, держа ее в одной руке? В чем роль другой руки? В каком месте лучше всего держать лопату другой рукой?

6. Где следует расположить опору, чтобы рычаг находился в равновесии (рис. 69)?

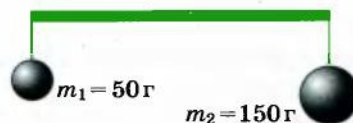


Рис. 69

§ 23. Блоки

Всегда ли удобно использовать рычаг

Поднять груз на значительную высоту с помощью рычага очень сложно. Чем высота больше, тем длиннее должен быть рычаг. Такого недостатка нет у блока.

Что такое блок

Блок — это устройство, состоящее из веревки, переброшенной через колесо, которое может вращаться на оси.

Обод колеса, как правило, имеет желоб, в котором прокладывается трос или веревка.

Ось блока может быть неподвижной или перемещаться вместе с колесом. В связи с этим блоки бывают *подвижными* и *неподвижными*.

Какой блок называют неподвижным

У неподвижного блока ось вращения не изменяет своего положения в пространстве. Она с помощью специальной обоймы закреплена на балке или на другой опоре (рис. 70). Если на конец веревки, переброшенной через блок, подействовать силой, то другой конец начнет двигаться вверх. Если к этому концу прикрепить груз определенной массы, то он будет подниматься вверх. Если на свободный конец веревки действует сила, направленная вниз, то на груз действует сила, направленная вверх. Измерение этих сил показывает, что они равны.

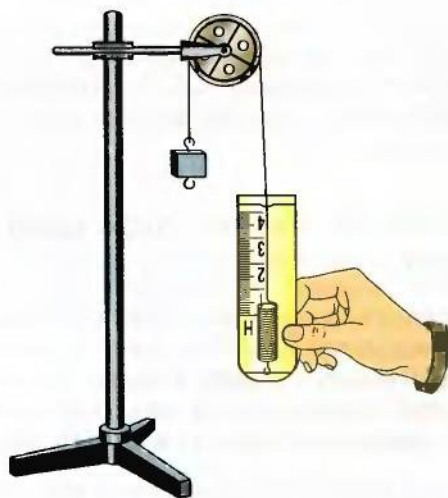


Рис. 70. Неподвижный блок



Неподвижный блок выигрыша в силе не дает, он только изменяет направление действия силы.

Почему неподвижный блок не дает выигрыша в силе

Такую особенность можно легко объяснить, учитывая, что неподвижный блок похож на равноплечий рычаг. Для этого перенесем точки действия сил вверх к точкам А и В, где веревка касается блока (рис. 71). Плечи этих сил OA и OB будут одинаковыми, как радиусы окружности. Согласно условию равновесия рычага силы F_1 и F_2 также должны быть одинаковыми. Опыт подтверждает эти выводы.

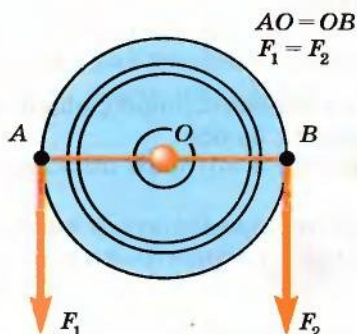


Рис. 71. Неподвижный блок как рычаг

Какой блок называют подвижным

Подвижным называют блок, ось которого перемещается в пространстве. При использовании такого блока обычно один конец веревки или троса закрепляют на опоре, а груз — на обойме, в которой блок закреплен. На рисунке 72 показан



Идеальный подвижный блок дает выигрыш в силе в два раза.

опыт с таким блоком. К оси легкого подвижного блока подвешен груз массой 102 г. Итак, на ось блока действует сила 1 Н. Стрелка динамометра, присоединенного к свободному концу веревки, показывает примерно 0,5 Н. Некоторые небольшие различия связаны с тем, что блок сам имеет вес и на него действует сила трения.

Почему подвижный блок дает выигрыш в силе

Такую особенность подвижного блока можно объяснить, учитывая свойства рычага (рис. 73). Диск блока можно считать рычагом длиной $2R$ (где R — радиус колеса). Ось вращения такого рычага проходит через точку А на ободу колеса, а точками приложения сил являются точки О и В. Так как $AB = 2OA$, то $F_1 = \frac{F_2}{2}$. Описанные выше свойства блоков используют во время решения практических задач.

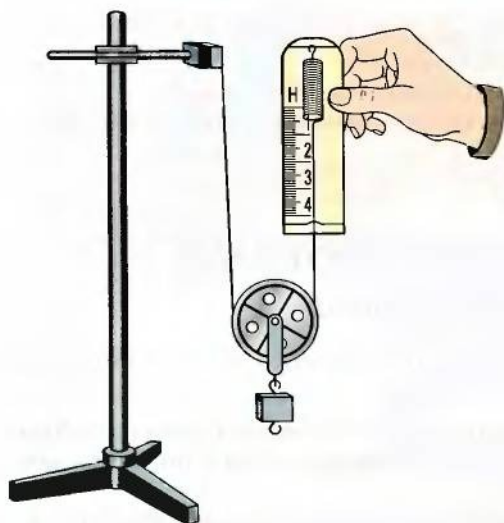


Рис. 72. Подвижный блок

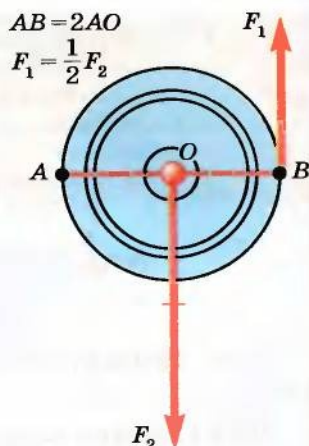


Рис. 73. Подвижный блок как рычаг

Задача. Определить вес груза, который удерживается системой подвижного и неподвижного блоков, если на свободный конец троса действует сила 300 Н (рис. 74).

Дано:
 $F = 300 \text{ Н.}$

$P = ?$

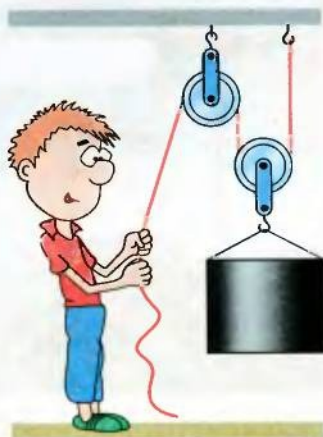



Рис. 74

Решение

Неподвижный блок выигрыша в силе не дает. Поэтому вычисления производим с учетом только подвижного блока, который дает выигрыш в силе в два раза. О массе блока в условии задачи не сказано, поэтому весом блока можно пренебречь по сравнению с весом груза. Таким образом,

$$P = 2F; P = 2 \cdot 300 \text{ Н} = 600 \text{ Н.}$$

Ответ. Вес груза равен 600 Н.

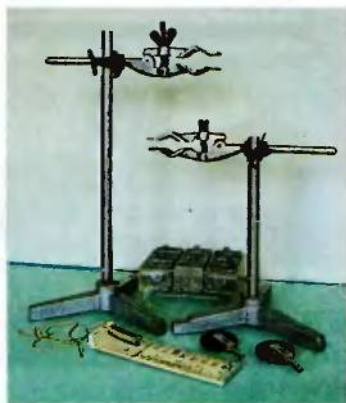
- 
1. Какое устройство неподвижного блока?
 2. Какое устройство подвижного блока?
 3. Какой из блоков дает выигрыш в силе? Почему?
 4. Какой блок дает возможность изменить направление действия силы?
 5. Где используются блоки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Изучение блоков

Цель. Исследовать свойства подвижного и неподвижного блоков.

Оборудование: подвижный и неподвижный блоки из лабораторного набора, два штатива, нить, набор гирь массой по 100 г, лабораторный динамометр.



Указания к работе

При выполнении работы штативы используются как неподвижные опоры. Блоки и нити закреплять в лапках штативов.

Выполнение работы

1. Один конец нити закрепите в лапке штатива.
2. В лапке другого штатива закрепите динамометр. Свободный конец нити пропустите через обойму блока и прикрепите к крючку динамометра так, чтобы обе части нити были параллельными.
3. К крючку обоймы блока подвесьте гирию массой 100 г и измерьте силу, приложенную к нити. Показания динамометра запишите в таблицу.
4. К крючку обоймы блока подвесьте две гири массой по 100 г каждая и измерьте силу натяжения нити.
5. Повторите п. 4 для трех гирь.
6. Результаты измерений запишите в таблицу и сделайте выводы.
7. Закрепите обойму блока в лапке штатива, пропустите через него нитку и с ее помощью поднимите три гири, измерив динамометром силу, действующую на свободный конец нити. Сделайте выводы.
- 8*. Спроектируйте и соберите установку, в которой неподвижный блок позволяет измерить силу, действующую на по-

движный блок, с вертикально расположенным динамометром. Сделайте выводы о действии неподвижного блока.

Таблица

№ опыта	Масса гирь m , кг	Вес гирь P , Н	Сила натяжения нити F , Н	Отношение P/F
1				
2				
3				

Упражнение 12

1. Почему разматывать нитку с полной катушки легче, чем с частично размотанной?

2. Определить силу, с которой давит на поверхность пола человек весом 0,69 кН, поднимающий с помощью неподвижного и подвижного блоков массу 130 кг.

3. Какой груз можно поднять с помощью подвижного блока весом 40 Н, если веревку тянуть с силой 0,2 кН?

81

§ 24. Наклонная плоскость



Перечень простых механизмов не ограничивается рычагами и блоками. Простым механизмом является также устройство, которое называют *наклонной плоскостью*. Это может быть любая плоскость, наклоненная под некоторым углом к горизонту. Использование наклонной плоскости дает возможность получить выигрыш в силе. В этом легко убедиться, проделав простой опыт.

К крючку динамометра прицепим брус массой 200 г и начнем равномерно поднимать вертикально вверх. Динамометр покажет силу примерно 2 Н.

Закрепим в штативе гладкую дощечку так, чтобы она была наклонена под некоторым углом к горизонту. Положим на нее брус и начнем равномерно его двигать по доске вверх. Показания динамометра будут заметно меньше, чем в первом случае. Поскольку такая доска может быть произвольной длины, то с ее помощью можно под-

Наклонная плоскость дает возможность получить выигрыш в силе, зависящий от угла ее наклона.



нять груз на любую высоту. При этом действующая на тело сила будет меньше, чем вес тела.

Чем меньше высота наклонной плоскости по сравнению с ее длиной, тем большим будет выигрыш в силе. Если длину наклонной плоскости обозначить l , а высоту — h , то их соотношение будет $\frac{l}{h}$. Соответственно отношение веса к действующей силе

будет $\frac{P}{F}$.

Для идеальной наклонной плоскости эти отношения равны:

$$\frac{l}{h} = \frac{P}{F}.$$

Из формулы видно, что для выигрыша в силе нужно сделать более длинную наклонную плоскость при той же самой высоте подъема.

Свойства наклонной плоскости используются во многих сферах производственной деятельности человека. Так, когда вывозят руду с глубоких карьеров, дорогу, по которой движутся автомобили — рудовозы, прокладывают по склону котлована, постепенно поднимая ее вверх.

Наклонную плоскость используют и для работ по погрузке транспорта (рис. 75).

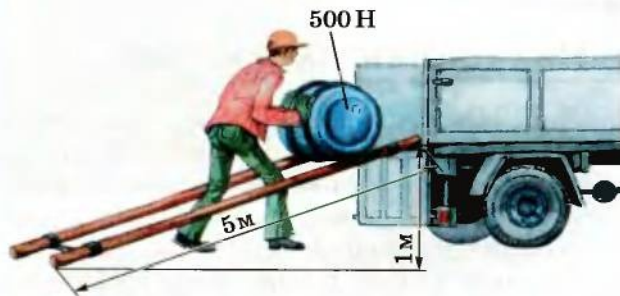


Рис. 75. Наклонная плоскость облегчает труд грузчиков

Отдельным видом наклонной плоскости является винт. Резьба, нанесенная на боковую поверхность цилиндра, образует определенный угол с его продольной осью (рис. 76), и это дает возможность получать выигрыш в силе.

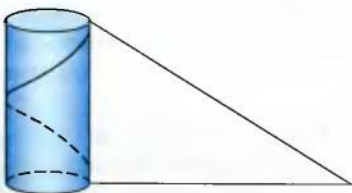


Рис. 76. Винтовая линия как наклонная плоскость

За один оборот винта гайка перемещается на расстояние, равное расстоянию между двумя соседними витками. Но каждая точка гайки перемещается на длину одного

витка, что значительно больше шага винта. Если шаг винта обозначить буквой d , а длину одного витка — $2\pi R$, где R — радиус витка, то получим соотношение

$$\frac{P}{F} = \frac{2\pi R}{d}.$$

Винты, как правило, дают значительный выигрыш в силе, поэтому их используют в различных технических устройствах для надежного соединения деталей.

Как пример использования винта могут быть слесарные тиски. Для прокручивания винта тисков прикладывается небольшая сила, а губки тисков будут действовать на тело со значительной силой (рис. 77).

Подобным образом действует и винтовой домкрат (рис. 78).

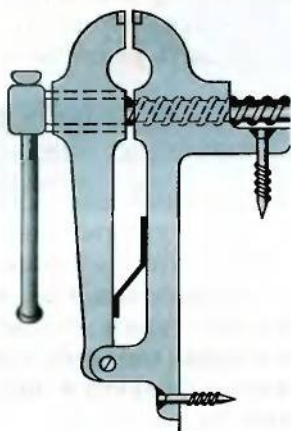


Рис. 77. Винт в слесарных тисках

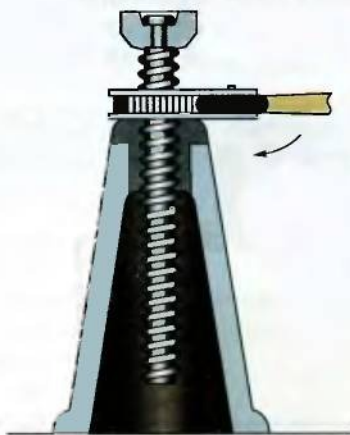


Рис. 78. Винтовой домкрат

1. Какой механизм называют наклонной плоскостью?
2. С какой целью используют наклонную плоскость?
3. Как рассчитать силу, которая действует на тело при перемещении его по наклонной плоскости?
4. Что общего у наклонной плоскости и винта?



Упражнение 13

1. Какую силу нужно приложить к колоде массой 210 кг, чтобы поднять ее на высоту 3 м с помощью идеальной наклонной плоскости длиной 9 м?

2. Какой вес бочки, если при поднятии ее на высоту 2 м наклонной плоскостью длиной 4 м действует сила 800 Н?

3. Какова высота наклонной плоскости, если ее длина равна 5 м, а для поднятия по ней тела весом 1,5 кН приложена сила 300 Н? Силу трения не учитывать.

4. Почему дорогу, ведущую на высокий перевал, делают в виде серпантина – отрезков, соединенных между собой и наклоненных под небольшим углом к горизонту?

§ 25. Механическое давление

Основным признаком действия силы является изменение скорости тела или его частей. Если в результате действия силы отдельные его части по-разному изменяют скорость, то тело деформируется. Особенностью деформации есть то, что при одной и той же силе она может быть различной.

84

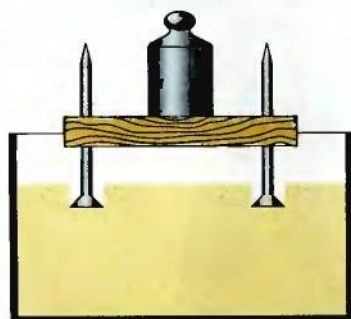


Рис. 79. Давление на песок создается шляпками гвоздей

От чего зависит деформация взаимодействующих тел

Возьмем широкий сосуд и наполним его увлажненным песком. Используя деревянную дощечку, изготовим столик, забив в нее гвозди (рис. 79). Поставим столик на песок шляпками гвоздей книзу. Под гвоздями образуются небольшие вмятины.

Перевернем столик и поставим его на песок остриями гвоздей (рис. 80).

Почему результаты опытов различны

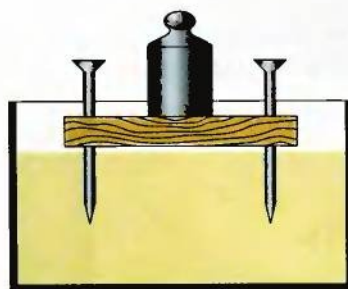


Рис. 80. Давление на песок создается остриями гвоздей

Результаты опытов можно легко объяснить, учитывая, что между песчинками существуют определенные силы взаимодействия. В первом опыте ножки столика имели значительную площадь опоры и действовали на большое количество песчинок, удерживаемых межмолекулярными силами. В результате этого на каждую песчинку действовала незначительная сила, которой

было недостаточно для разрушения связей. Во втором опыте сила действовала на небольшое количество песчинок, расположенных под острыми частями гвоздей. Понятно, что в этом случае на каждую песчинку действовала значительно бóльшая сила. Сил взаимодействия между песчинками стало недостаточно, чтобы уравновесить действующую силу, и связи между песчинками нарушились. Гвозди легко погрузились в песок.

Во всех подобных случаях очень сложно определить, на какое количество молекул действует сила. Но понятно, что чем больше поверхность взаимодействия между телами, тем большее количество молекул под ней находится. Поэтому условились рассчитывать силу, действующую на единицу площади поверхности тела. Это дает возможность проводить определенные расчеты и выяснять предполагаемые результаты действия силы.

Что такое давление

Физическую величину, которая равна силе, действующей на единицу площади поверхности, называют механическим давлением.



85

Что такое сила давления

Силу взаимодействия, которая действует перпендикулярно поверхности тел, называют *силой давления*. Именно эту силу используют для расчета давления.

Как рассчитать давление

При увеличении силы давление будет увеличиваться, то есть оно пропорционально силе давления. Если при одинаковой силе давления увеличивать площадь взаимодействия, то давление будет уменьшаться. Следовательно, давление обратно пропорционально площади взаимодействия. При коэффициенте пропорциональности, равному 1, формула для расчета давления будет такой:

$$p = \frac{F_d}{S},$$

где p – давление; F_d – сила давления; S – площадь поверхности, на которую действует сила.

Единицей измерения давления является давление силы 1 Н на площадь поверхности 1 м². Эту единицу называли *паскалем* (Па) в честь французского ученого Блеза Паскаля:

$$\frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}.$$



Блез Паскаль (1623–1662) – французский математик, физик и философ. Физические исследования касаются в основном гидростатики. Ему принадлежит открытие закона передачи давления жидкостью, он разработал принцип действия гидравлической машины, использовал ртутный барометр для предсказания погоды, создал счетную машину.

Давление 1 Па очень маленькое. Такое давление создает тело массой 102 г, действуя на поверхность 1 м². Поэтому в практике обычно используют кратные единицы:

1 гектопаскаль = 100 Па = 1 гПа;

1 килопаскаль = 1000 Па = 1 кПа;

1 мегапаскаль = 1 000 000 Па = 1 МПа.

В природе взаимодействуют различные тела. Поэтому и значения давления могут быть самыми разнообразными. Некоторые значения давления приведены в таблице.

Таблица

Различные значения давления в природе

Давление различных тел	Значение давления, Па
Воздух на высоте 800 км	10^{-8}
Танк на поверхность почвы	$1 \cdot 10^5$
Автомобиль на поверхность дороги	$0,3 \cdot 10^5$
Жало пчелы	$0,5 \cdot 10^8$
Взрыв водородной бомбы	10^{14}

Если знать давление, можно легко рассчитать силу давления или площадь поверхности, на которую оно действует:

$$F = pS; S = \frac{F}{p}.$$

Как можно изменить давление

Давление при необходимости можно произвольно изменять, увеличивая или уменьшая силу. На графике (рис. 81) видим, что давление пропорционально силе давления.

Однако изменять давление путем изменения силы давления не всегда удобно и возможно. Поэтому изменяют площадь, на которую действует сила давления. Если увеличивать площадь поверхности, то давление соответственно будет уменьшаться, и, наоборот, с уменьшением площади давление будет увеличи-



Рис. 81. Давление пропорционально силе давления

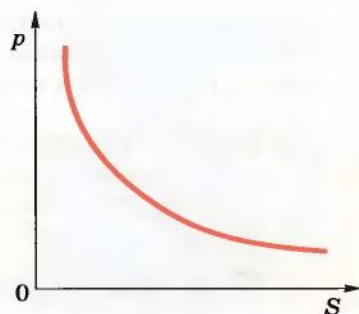


Рис. 82. Давление обратно пропорционально площади опоры

ваться. На графике (рис. 82) эта зависимость показана кривой, характерной для обратно пропорциональной зависимости.

§ 26. Как учитывают давление

87

Особенности давления учитывают в технике, на производстве, в быту. Создавая проект дома, архитектор прежде всего заботится о том, чтобы здание не погружалось в почву. Уменьшать массу дома можно только в определенных пределах, за пределами которых он теряет необходимую крепость. Поэтому в таких случаях строят фундамент, имеющий большую площадь опоры (рис. 83).

Чтобы не увязать в рыхлом снеге, пользуются лыжами, которые существенно увеличивают площадь опоры и уменьшают давление. Площадь конца иголки для шитья равна всего $0,001 \text{ мм}^2$. Поэтому для прокалывания плотной ткани достаточно даже незначительной силы.

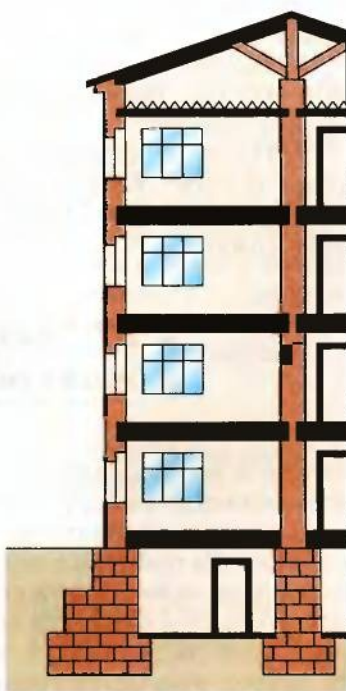



Рис. 83. Фундамент дома должен иметь большую площадь опоры

У всех режущих инструментов – ножей, ножниц, резцов – режущая поверхность имеет очень небольшую площадь, что обеспечивает значительное давление, необходимое для резания.

- 
1. Что такое давление?
 2. Какие единицы измерения давления?
 3. Как рассчитать давление?
 4. Какую силу называют силой давления?
 5. Как можно изменять давление?
 6. Как учитывают силу давления в технических устройствах?

Упражнение 14

1. С какой целью человек при шитье иглой надевает на палец наперсток – металлический колпачок специфической формы?

2. По тонкому льду человек может ползти, лежа на животе или на длинной доске. Почему опасно идти по такому льду?

3. Масса мраморной колонны античного храма равна 500 т, площадь основания – $12,5 \text{ м}^2$. Определить давление колонны на опору.

4. Масса трактора равна 12 т, а площадь опоры обеих гусениц – $2,4 \text{ м}^2$. Определить давление трактора на почву.

5. Площадь ступни человека равна 180 см^2 , а его масса – 72 кг. Определить давление этого человека на почву, если он стоит на двух ногах.

6. Каток, уплотняющий асфальт, создает давление $400\,000 \text{ Па}$. Площадь опоры катка – $0,12 \text{ м}^2$. Определить массу этого катка.

7. Площадь шляпки гвоздя равна $0,3 \text{ см}^2$, а площадь острия – $0,1 \text{ мм}^2$. Во время удара молотка по шляпке гвоздя создается давление 500 МПа . Определить давление острия гвоздя в этот момент.

§ 27. Давление газов и жидкостей. Закон Паскаля

Твердые тела сохраняют и объем, и форму. Жидкие тела не сохраняют форму, но сохраняют объем. Газообразные вещества не сохраняют ни форму, ни объем.

Давление твердого тела создается силой, действующей на это тело. Ее происхождение может быть различным. Это может быть сила тяжести или сила упругости. Направление действия такого давления всегда совпадает с направлением силы давления. Если на резиновую пленку положить любое твердое тело, то пленка прогнется только под ним и в направлении действия

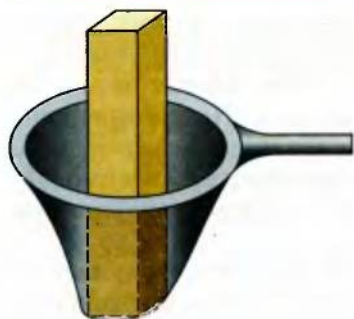


Рис. 84. Под действием бруска резиновая пленка прогибается в одном направлении

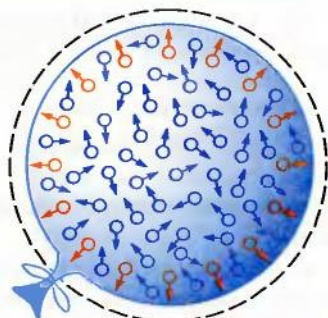


Рис. 85. Давление газа в резиновом шарике

веса тела (рис. 84). Давление твердых тел передается только в одном направлении: в направлении действия силы давления.

Давление могут создавать также газы и жидкости. Соединим резиновый шарик с насосом и начнем в него накачивать воздух. Шарик будет увеличивать свои размеры, приобретая форму шара. Это свидетельствует о том, что на внутренние стенки шарика действует определенная сила, которая создает давление (рис. 85). Причиной давления в этом случае является движение молекул. Пребывая в хаотическом движении, молекулы взаимодействуют между собой и со стенками шарика.

Чтобы понять, как это происходит, выполним такой опыт. Повесим вертикально на веревках доску и ударим по ней мячом. От удара мяча доска переместится на некоторое расстояние. В этом случае мы говорим, что на доску подействовала сила. Подобное происходит и тогда, когда в стенку сосуда ударяет молекула. Хотя масса молекулы ничтожна, и от ее удара стенка практически не изменит своего состояния, но в стенку сосуда ударяет огромное количество движущихся молекул, которые совместно ощутимо действуют на стенку, вследствие чего стенка изменяет свое состояние: деформируется или смещается.

Молекулы двигаются хаотически, поэтому давление газа действует во всех направлениях. В этом его отличие от давления твердых тел.

Количество взаимодействующих со стенкой молекул зависит от массы газа в данном объеме. Чем больше масса газа в данном объеме, тем больше его плотность и количество молекул в единице объема (концентрация молекул).

Давление газа является следствием движения молекул.



Давление газа зависит от его плотности.



Если в резиновый шарик насосом накачивать воздух, увеличивая его массу и плотность, то размеры шарика увеличатся.



Давление газа зависит от температуры.

Давление газа зависит также от температуры газа. Нагревание газа приводит к увеличению скорости молекул. Интенсивность их взаимодей-

ствия со стенкой будет большей, что приводит к увеличению давления.

Если надутый воздушный шарик в морозную погоду вынести из помещения, то его размеры существенно уменьшатся (рис. 86).

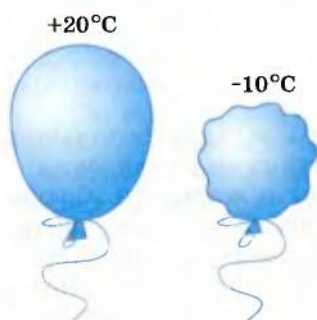


Рис. 86. Давление газа зависит от температуры

Давление газа постоянной массы зависит также от его объема. При увеличении объема давление газа уменьшается, а при уменьшении объема — давление увеличивается. Изменить объем газа можно, подействовав на него посторонней силой, которая создает определенное давление. Если не учитывать изменение объема, а учитывать только действие посторонней силы, при действии которой давление газа увеличивается, то можно сказать, что газ передает давление. присоеди-

ним к цилиндру с поршнем шар, имеющий отверстия по всей поверхности, и начнем перемещать поршень в цилиндре, сжимая в нем газ с некоторым количеством дыма (рис. 87). Мы увидим, что со всех отверстий шара выходят одинаковые струйки дыма. Следовательно, газ передает давление во все стороны одинаково.

Аналогичный опыт можно провести и с жидкостью и убедиться, что жидкость передает давление во всех направлениях одинаково.



Рис. 87. Газ передает давление во всех направлениях одинаково



Давление, действующее на жидкость, передается жидкостью во всех направлениях одинаково.

Объединив два предыдущих вывода, получим формулировку закона Паскаля, который касается как жидкостей, так и газов.

Давление, действующее на жидкость или газ, передается ими во всех направлениях одинаково.



Закон Паскаля действует только потому, что молекулы жидкости и газа слабо взаимодействуют между собой и могут свободно перемещаться в любом направлении.

Действие закона Паскаля не зависит от рода жидкости или газа.



1. Какое свойство общее для жидкостей и газов?
2. Как зависит давление газа от его плотности?
3. Почему давление газа зависит от температуры?
4. Каким образом газы передают давление?
5. Как жидкости передают давление?
6. Сформулируйте закон Паскаля.



Упражнение 15

91

1. В верхней части камеры колеса автомобиля воздух находится под давлением 210 кПа. Какое давление воздуха в нижней части камеры?

2. Почему, когда в колбу с тонкими стенками налита жидкость, ее закрывают пробкой так, чтобы пробка не давила непосредственно на жидкость?

3. Какое давление в камере колеса автомобиля, если на поршень насоса площадью 12 см^2 действует сила 240 Н?

§ 28. Гидравлическая машина

Закон Паскаля положен в основу принципа действия многих технических устройств и машин. Для случая использования закона Паскаля для жидкостей они получили название гидравлических машин.

Простейшая гидравлическая машина состоит из двух цилиндров, соединенных между собой трубкой. В каждом цилиндре находится поршень, плотно прилегающий к стенкам цилиндра. Под поршнями в цилиндрах находится какая-либо

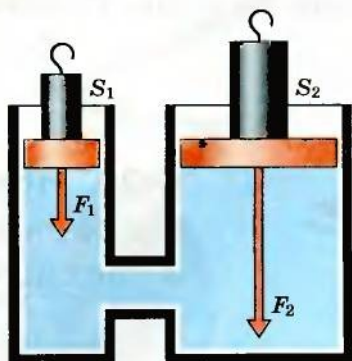


Рис. 88. Схема гидравлической машины

жидкость. Как правило, это минеральное масло (рис. 88). Использование жидкости обусловлено тем, что она мало сжимается.

Если нажать на один из поршней так, чтобы он сместился, создавая давление на жидкость, то второй поршень также сместится. Таким образом, согласно закону Паскаля давление, действующее на жидкость в первом цилиндре, будет передаваться жидкости во втором цилиндре. Благодаря этому давление поршень второго цилиндра сместится.

Ценным свойством гидравлической машины является возможность с ее помощью изменять значение силы. И такое изменение можно рассчитать.

Пусть площадь первого поршня равна S_1 . Если на него действует сила F_1 , то она создает давление p_1 :

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}.$$

Согласно закону Паскаля такое же давление, как во всей жидкости, будет действовать и на второй поршень: $p_1 = p_2$.

Так как

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2},$$

то

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

Из последней формулы можно сделать вывод, что, изменяя площади поперечного сечения цилиндров, можно изменять силу, действующую на них со стороны жидкости.

Чем больше площадь одного цилиндра по сравнению с площадью другого, тем большее изменение силы получим при использовании такой машины:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}; F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}.$$

§ 29. Использование гидравлической машины в технике

Одной из проблем, которые решает современная техника, является поднятие грузов большой массы и веса. Это может быть груженный автомобиль, железнодорожный вагон и даже целый дом. С этой целью используют специальные



приспособления – домкраты. Наиболее распространены домкраты, в которых используется принцип гидравлической машины (рис. 89). Он состоит из двух цилиндров разных диаметров и поршней, размещенных в них. Поршень малого диаметра одновременно является поршнем насоса, который нагнетает масло в цилиндр большого диаметра. Поскольку диаметр (площадь) второго поршня значительно больше, то и сила, действующая на него, будет значительно большей, чем сила, действующая на поршень малого диаметра. Пользуясь домкратом, водитель может самостоятельно поднять многотонный автомобиль.

Подобный принцип используется в тормозных системах современных автомобилей. Тормоза, получившие название гидравлических, имеют цилиндр малого диаметра 1 (рис. 90), поршень которого жестко связан с тормозной педалью, и цилиндры большого диаметра. Поршни 2 непосредственно действуют на тормозные колодки. Тормозные колодки, в свою очередь, с двух сторон сжимают диски, нахо-

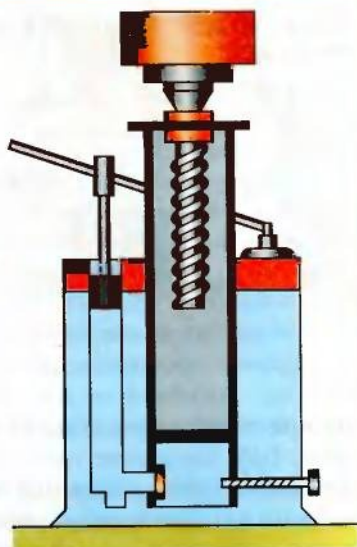


Рис. 89. Схема гидравлического домкрата



Рис. 90. Гидравлические тормоза автомобиля

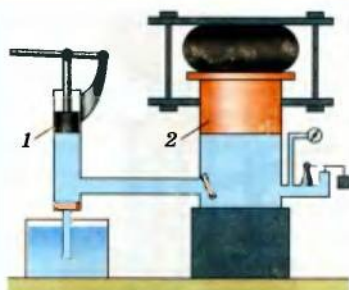


Рис. 91. Схема гидравлического пресса

дящиеся на каждом колесе 3. Вся тормозная система заполнена минеральным маслом. Такое строение тормозов дает возможность незначительным нажимом на педаль создать большую силу, которая действует на тормозные колодки (рис. 90).

Гидравлическими машинами являются и большинство рабочих механизмов современных транспортных, строительных и грузоподъемных машин. Типичным при-

мером такого механизма является гидравлический пресс (рис. 91). Он имеет цилиндры с поршнем 2 большого диаметра и насос 1, нагнетающий масло в него. Так как площадь рабочего цилиндра больше, чем площадь цилиндра насоса, то получают соответственный выигрыш в силе.

94

1. Какое устройство простейшей гидравлической машины?
2. На каком законе базируется принцип действия гидравлической машины?
3. При каких условиях гидравлическая машина дает выигрыш в силе?
4. Почему в гидравлических машинах используются жидкости, а не газы?
5. Какое устройство гидравлического домкрата?
6. Какое устройство гидравлических тормозов?

Упражнение 16

1. Сила давления, действующая на меньший поршень гидравлического пресса, равна 400 Н, площадь поршня — 5 см^2 . Определить силу, действующую на больший поршень, если его площадь равна 250 см^2 ?

2. На больший поршень гидравлического пресса площадью 2 дм^2 действует сила 10 Н. Определить силу давления, которая действует на уравновешенный меньший поршень, если его площадь равна 4 см^2 .

3. На меньший поршень уравновешенного гидравлического пресса действует сила 80 Н, а на больший поршень площадью 2400 см^2 передается сила давления 32 кН. Определить площадь меньшего поршня.

§ 30. Весовое давление жидкостей

На жидкости, как и на все тела на Земле, действует сила тяжести. По этой причине жидкость, находясь в сосуде или на поверхности какого-либо твердого тела, создает давление. Это давление называют *давлением жидкости*.

Давление жидкости имеет большое значение во многих природных явлениях и используется человеком в технологических процессах. Поэтому важно знать, как рассчитывать это давление, чтобы можно было предусмотреть последствия его действия. С этой целью рассмотрим жидкость, которая содержится в цилиндрическом сосуде правильной формы.

Поскольку на жидкость действует сила тяжести, то она имеет определенный вес, создавая действие силы давления на дно сосуда.

По определению давление равно отношению силы давления к площади поверхности, на которую оно действует:

$$p = \frac{F}{S}.$$

95

Силой давления в данном случае является вес жидкости:

$$F = P = gm.$$

Для цилиндрического сосуда масса жидкости равна:

$$m = \rho_p V = \rho_p Sh,$$

где h – высота уровня жидкости над дном сосуда; S – площадь дна сосуда; ρ_p – плотность жидкости.

Таким образом, давление жидкости на дно сосуда

$$p = \frac{F}{S} = \frac{gm}{S} = \frac{g\rho_p V}{S} = \frac{g\rho_p Sh}{S} = g\rho_p h.$$

Следовательно, давление жидкости на дно сосуда зависит только от высоты столба жидкости и ее плотности. Такой вывод получил в физике название парадокса Паскаля.

Согласно гидростатическому парадоксу давление жидкости не зависит от ее массы. Если два сосуда, в которых объем различный, а площадь дна одинаковая (рис. 92), заполнить определенной однородной жидкостью так, чтобы расстояние от дна к уровню поверхности было одинаковым, то окажется, что дав-

Давление жидкости зависит только от ее плотности и высоты столба.

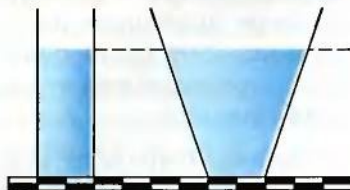


Рис. 92. Давление жидкости не зависит от формы сосуда

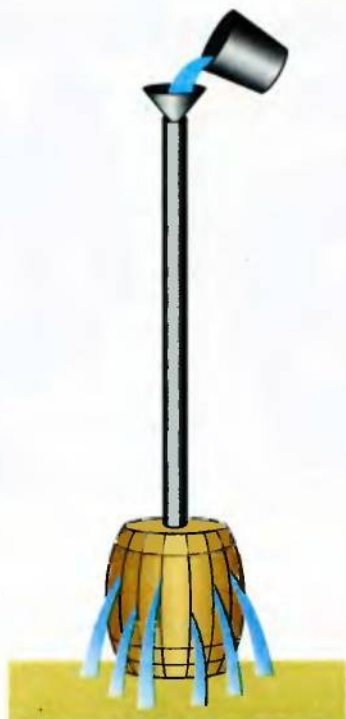


Рис. 93. Опыт Паскаля
с бочкой

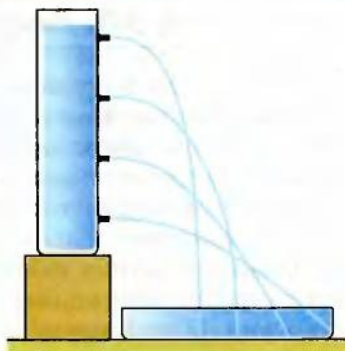


Рис. 94. Давление жидкости
зависит от высоты ее столба

ление на дно в обоих сосудах одинаковое, хотя в первом сосуде масса жидкости значительно меньше, чем во втором. Доказывая свое открытие, Паскаль опустил в полностью наполненную водой и герметически закрытую бочку тонкую длинную трубку с небольшим количеством воды и разрушил бочку (рис. 93).

Жидкость создает давление не только на дно, но и на любое тело,

опущенное в жидкость. Поэтому говорят, что давление жидкости действует и внутри ее. Этим жидкость похожа на газ. Но если в газе давление возникает в результате движения молекул, то в жидкости давление возникает и вследствие действия силы тяжести. Это приводит к тому, что в жидкости на разных глубинах различное давление. Чтобы убедиться в этом, возьмем высокий сосуд, в стенке которого на различной высоте имеются небольшие отверстия. Если в сосуд залить жидкость, то она будет выливаться через отверстия (рис. 94). Но скорость вытекания будет наибольшей там, где давление наибольшее. По мере приближения к поверхности давление будет уменьшаться. Этот опыт подтверждает одновременно зависимость давления жидкости от высоты столба жидкости и действие закона Паскаля.

Задача. Определить давление, которое действует на нижнюю и верхнюю поверхности кубика, находящегося в воде, если длина его ребра равна 5 см, а глубина погружения верхней грани – 10 см.

Дано:

$$a = 5 \text{ см},$$

$$h_1 = 10 \text{ см}.$$

$$p_1 - ?$$

$$p_2 - ?$$

Решение

На верхнюю грань кубика действует давление столба жидкости высотой h_1 :

$$p_1 = \rho_{\text{в}} h_1.$$

Давление жидкости на нижнюю грань определяется столбом жидкости высотой

$$h_2 = h_1 + a.$$

По закону Паскаля это давление действует снизу вверх:

$$p_2 = \rho_{\text{в}} h_1 = \rho_{\text{в}} (h_1 + a);$$

$$p_1 = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,98 \text{ кПа};$$

$$p_2 = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,15 \text{ м} = 1,47 \text{ кПа}.$$

Ответ. На верхнюю грань действует давление 0,98 кПа; на нижнюю — 1,47 кПа.



§ 31. Как человек исследует водные глубины

Жизнь человека тесно связана с процессами, происходящими в природных водоемах — реках, озерах, морях, океанах. Там не только живут различные животные, но и находятся полезные ископаемые, множество памятников человеческой культуры, по разным причинам в разные часы и эпохи оказавшиеся на дне. Понятно, что человек стремится исследовать водные глубины, чтобы использовать природные богатства и удовлетворить свое природное любопытство. Однако при этом человек сталкивается с действием давления жидкости, которое возрастает с увеличением глубины и существенно ограничивает глубину погружения человека в воду. Такое изменение давления с глубиной чувствуют люди, которые по своей профессии должны работать на значительных глубинах. Если в легком костюме водолаз может работать на глубине не более 100 м, то для исследования глубин морей и океанов, достигающих во многих случаях нескольких километров, приходится изготав-



Рис. 95. Батисфера

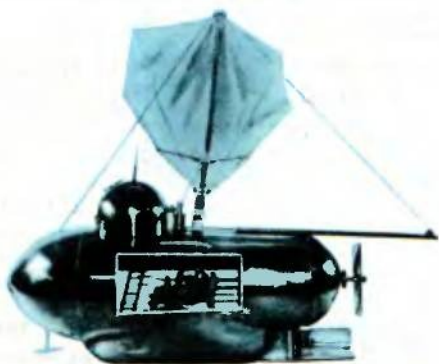


Рис. 96. Батискаф Пикара

ливать специальные скафандры или глубинные аппараты – батисферы и батискафы.

Батисфера (рис. 95) – это крепкий стальной шар с окном из толстого и крепкого стекла. Внутри шара находятся наблюдатели, которые поддерживают телефонную связь с людьми на поверхности моря. Батисферу опускают в море на прочном тросе, что обеспечивает безопасный спуск и подъем аппарата.

Батискаф (рис. 96) не связан тросом с кораблем. У него есть собственный двигатель, и он может перемещаться в любом направлении. Наибольшая глубина, на которую опускался человек в батискафе, превышает 10 км.

1. Назовите причину возникновения давления жидкости.
2. От чего зависит давление жидкости?
3. Как зависит давление жидкости от формы сосуда?
4. Как зависит давление жидкости от рода жидкости?
5. Как человек избегает действия на организм большого давления?

Упражнение 17

1. Вычислить давление жидкости, плотность которой равна $1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, на дно цилиндрического сосуда, если высота ее уровня составляет 10 см.

2. Высота водонапорной башни равна 75 м. Чему равно давление в водопроводной трубе у основания башни?

3. Водолаз погружается в море на глубину 90 м. Определить давление воды на этой глубине, если плотность морской воды $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

4. Когда батискаф опустился на некоторую глубину в океан, приборы показали давление 41,2 МПа. На какую глубину погрузился батискаф?

5. На какую глубину нужно опустить батискаф, чтобы давление воды на его поверхность составляло 6190 кПа?

6. Определить давление нефти на дно бака, если ее уровень находится на расстоянии 9,5 м от дна. Чему равна сила давления на дно бака, площадь которого 290 м²?

§ 32. Сообщающиеся сосуды

Два или больше сосуда, соединенные трубками и заполненные жидкостью, называют *сообщающимися сосудами*.

Что происходит в сообщающихся сосудах

Возьмем два цилиндрических стеклянных сосуда, соединенных между собой трубкой (рис. 97). В один из них (справа) поместим очень легкий поршень, который плотно прилегает к стенкам и может свободно перемещаться в трубке вверх и вниз.

Придержим поршень и начнем наливать воду в левый сосуд до тех пор, пока высота столба в нем не будет равна высоте h_1 . Под поршнем высота столба равна h_2 . Причем $h_1 > h_2$.

Если освободить поршень, то вследствие разности давлений поршень начнет подниматься вверх до тех пор, пока уровень жидкости в обоих сосудах не станет одинаковым. Это возможно тогда, когда высоты столбов жидкости в обоих сосудах будут одинаковыми:

$$p_1 = p_2;$$

$$\rho_p g h_1 = \rho_p g h_2;$$

$$h_1 = h_2.$$

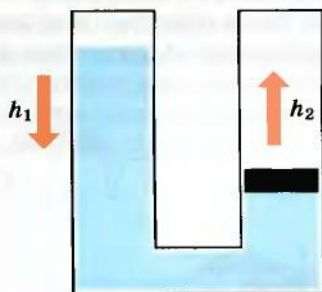


Рис. 97. Уровни жидкости в соединенных сосудах выравниваются

В сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне.



Очевидно, что так будет тогда, если в обоих сосудах будет находиться однородная жидкость.

Что происходит в сообщающихся сосудах с различными жидкостями

Если в сосудах будут различные жидкости и $\rho_1 < \rho_2$, то $h_1 > h_2$. Но всегда

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2,$$

или

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$



§ 33. Применение сообщающихся сосудов

Свойства сообщающихся сосудов повсеместно используют в быту, технике, на производстве.

Всем известный чайник с носиком является сообщающимися сосудами. Кончик носика расположен таким образом, что он находится на уровне крышки чайника. Поэтому залитая в чайник вода не выливается, когда сосуд стоит на горизонтальной поверхности (рис. 98).



Рис. 98. Чайники как сообщающиеся сосуды

Контролируют уровень воды в паровых котлах при ее нагревании при помощи водомерного стекла (рис. 99). Это стеклянная трубка, нижний конец которой расположен ниже уровня воды в котле. А верхний конец соединен с пространством котла над уровнем воды. По показателям водоизмерительного стекла можно узнать об уровне воды в котле, не открывая его.

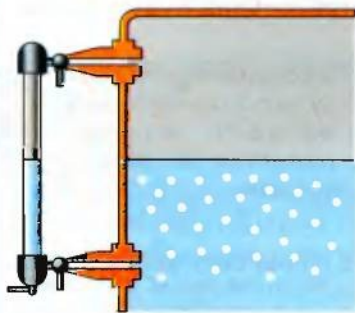


Рис. 99. Водомерное стекло

В небольших поселках действуют системы водопроводов, построенные по принципу сообщающихся сосудов (рис. 100). Обязательным элементом этой системы является так называемая водонапорная башня – металлический или бетонный резервуар, поднятый на такую высоту, чтобы уровень воды в нем был выше строений, в которые подается вода. Водяной насос наполняет ре-

зервуар водой, а с башни вода сама трубами поступает к потребителям соответственно закону сообщающихся сосудов.

По принципу сообщающихся судов работают шлюзы (рис. 101), с помощью которых суда преодолевают различные препятствия на реках: пороги, плотины, мели и пр. Шлюзы – это система камер с водонепроницаемыми воротами. Если судно идет вниз по течению, то оно заходит в верхнюю камеру, ворота которой после этого закрываются.

Вода из камеры выпускается в нижнюю камеру до тех пор, пока ее уровень не сравняется с уровнем воды в нижней камере. После этого открываются другие ворота, судно выходит из камеры и свободно плывет дальше по реке. Подобным способом суда поднимаются вверх против течения. Но в этом случае камера наполняется водой до тех пор, пока она не достигнет верхнего уровня воды в реке. Такие шлюзы, как правило, строят на судоходных реках, на которых построены водонапорные плотины.

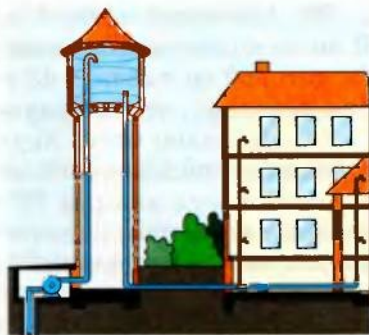


Рис. 100. Схема башенного водопровода

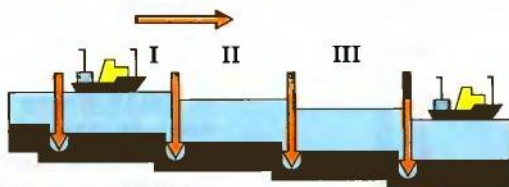


Рис. 101. Принцип действия шлюзов

1. Как распределяется вода в сообщающихся сосудах?
2. Как влияет плотность воды на положение ее уровня в сообщающихся сосудах?
3. Если сообщающиеся сосуды заполнены разными жидкостями, каким будет их уровень?
4. Как с помощью сообщающихся сосудов определить плотность жидкостей?
5. Какой закон природы действует в сообщающихся сосудах?

Упражнение 18

1. Почему водонапорная башня водопровода должна быть выше всех домов, в которые она подает воду?

2. Какой установится уровень воды в двух одинаковых сообщающихся сосудах, если в один из них налить бензин, а в другой – такой же объем воды?

3*. Нижнюю часть U-образной трубки заполнили ртутью. В левое колено налили керосин, а в правое – воду, высота столбика которой составляет 48 см. Какой высоты должен быть столбик керосина, чтобы вода оставалась на предыдущем уровне?

4*. Нижнюю часть двух высоких сообщающихся сосудов с площадью поперечного сечения $1,5 \text{ см}^2$ заполнили ртутью. В левый сосуд налили 75 г воды. Какой высоты должен быть столбик керосина, налитого в правый сосуд, чтобы ртуть оставалась на том же уровне?

§ 34. Атмосферное давление. Опыт Торричелли

Атмосфера Земли – это смесь различных газов, удерживающихся возле планеты благодаря действию силы тяжести на их молекулы, которые одновременно и непрерывно двигаются, создавая давление. Это давление называют *атмосферным*.

Доказать существование атмосферного давления можно при помощи простых опытов.

Какие последствия действия атмосферного давления

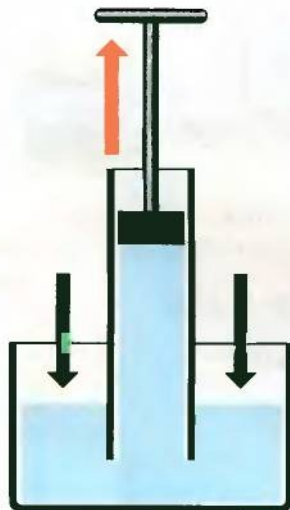


Рис. 102. Вода поднимается за поршнем вследствие действия атмосферного давления

Если взять трубку с поршнем, опустить ее одним концом в сосуд с водой и поднимать поршень вверх, то вода будет подниматься вслед за поршнем (рис. 102). Это возможно только тогда, когда давление воды в сосуде будет больше, чем под поршнем. За счет весового давления вода не сможет подниматься, так как уровень воды под поршнем выше, чем в сосуде, а поэтому и его давление больше. Вода должна вылиться обратно в сосуд. Следовательно, на жидкость в сосуде действует дополнительное давление, значение которого больше давления жидкости столба воды под поршнем. Это давление создают молекулы атмосферного воздуха. Действуя на свободную поверхность воды, атмосферное давление согласно закону Паскаля передается во всех направлениях одинаково.

Так как под поршнем воздуха нет, то вода будет заходить в трубку под действием неуравновешенного давления.

Каково значение атмосферного давления

Значение атмосферного давления достаточно большое. Убедиться в этом можно на многих опытах.

Возьмем два полых полушария, имеющие хорошо отшлифованные поверхности сечений. В одной из них есть специальный штуцер с краном, через который можно откачивать воздух.

Подвесим к штативу одно из полушарий, присоединим к нему снизу другое и начнем откачивать насосом через кран воздух из полости. Нижнее полушарие крепко прижмется к верхнему. Это возможно только тогда, когда давление в полости шара будет меньше давления снаружи.

В результате действия воздушного насоса, который откачивает воздух, давление в полости полушарий уменьшится, а наружное давление останется без изменений. Поэтому нижнее полушарие плотно прижмется к верхнему.

О значении силы при некотором уменьшении давления в шаре можно судить по массе груза, который может удерживаться, если его подвесить к нижнему полушарию. Если же открыть кран и в полость шара пойдет воздух, то нижнее полушарие вместе с грузом отпадет.

Как начали исследовать атмосферное давление

Подобный опыт провел и описал в 1654 г. немецкий физик, бургомистр города Магдебурга Отто Герике.



Отто Герике (1602–1686) – немецкий физик, который экспериментально изучал атмосферное давление. С помощью «магдебургских полушарий» он продемонстрировал действие атмосферного давления. Изучал также электрические явления, объяснил природу трения. Сконструировал первую электрическую машину.



Это событие осталось в истории науки благодаря образной гравюре того времени (рис. 103).

В современном производстве используют множество приспособлений, основанных на действии атмосферного давления. Для расчетов результатов их работы нужно знать значение атмосферного давления.



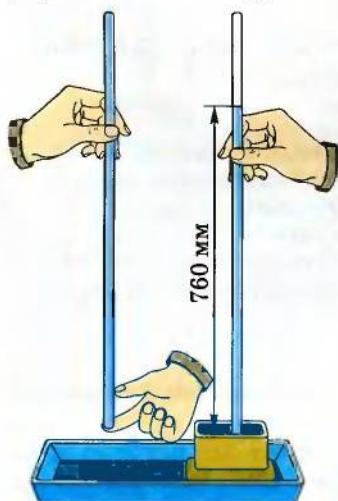
Рис. 103. Один из опытов Герике

Способ измерения атмосферного давления впервые предложил итальянский ученый Эванджелиста Торричелли.



Эванджелиста Торричелли (1608–1647) – итальянский ученый. Первым измерил атмосферное давление с помощью сконструированного им ртутного барометра. Доказал, что высота ртутного столба барометра равна примерно $\frac{1}{14}$ высоты водяного столба.

Он установил, что если закрытую с одной стороны трубку заполнить полностью ртутью, перевернуть ее и опустить в сосуд с ртутью, то выльется только часть этой ртути (рис. 104). Высота столба ртути в его опытах была примерно 760 мм. Результаты опыта дали возможность сделать вывод, что давление ртутного столба уравнивается атмосферным давлением,



которое действует на свободную поверхность ртути в сосуде. Атмосферное давление при таких условиях называют *нормальным*. С того времени в науку была введена единица измерения атмосферного давления – миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Как рассчитать атмосферное давление

Выразим значение давления столба ртути высотой 760 мм (нормальное) в системных единицах измерения давления – паскалях. Из предыдущих параграфов известно, что давление жидкости рассчитывается по формуле:

$$p = \rho_p g h.$$

Рис. 104. Опыт Торричелли

Учитывая, что плотность ртути $13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, получаем

$$p = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,76 \text{ м} = 101\,292,8 \text{ Па}.$$

1. Почему существует атмосферное давление?
2. Кто первым измерил атмосферное давление?
3. Почему не выливается ртуть из трубки в опыте Торричелли?
4. Какое атмосферное давление считается нормальным?
5. Как рассчитать значения атмосферного давления в паскалях по результатам опыта Торричелли?

Упражнение 19

1. Выразить в килопаскалях атмосферное давление 800 мм рт. ст.; 500 мм рт. ст.; 530 мм рт. ст.
2. Определить высоту столбика ртути, который уравнивается атмосферным давлением в 900 гПа; 1100 гПа; 970 гПа.
3. Какой длины должна быть трубка для проведения опыта Торричелли с использованием воды?
4. Какой высоты водяной столб уравновесит атмосферное давление 500 мм. рт. ст.?

§ 35. Барометры

Проводя опыты с трубкой с ртутью, Торричелли заметил, что высота столба ртути время от времени изменяется. Он сделал вывод, что атмосферное давление не остается постоянным — оно изменяется.

Особенно заметным было изменение высоты столбика ртути в опыте Торричелли, который показывал значение атмосферного давления перед изменением погоды. Заметив такое явление, ученый сделал вывод, что так можно предсказывать погоду. Чтобы не использовать каждый раз линейку для измерения высоты столба, к трубке прикрепили неподвижную шкалу с миллиметровыми делениями. Полученный прибор назвали барометром (латинское: *baros* — вес; *metro* — измеряю).

Барометр можно использовать
для измерения высоты

Используя ртутный барометр, французский ученый Блез Паскаль измерил атмосферное давление на различных высотах. Так, группа его учеников поднялась на гору То-де-Дам

(Франция) и выяснила, что с подъемом вверх высота ртутного столбика в барометре уменьшается. На вершине горы столбик ртути был на 7,5 см короче, чем у подножия.

Проведенные исследования показали, что по изменениям атмосферного давления можно рассчитать высоту подъема над уровнем моря. Если высота не превышает нескольких сот метров, то можно считать, что при подъеме на каждые 12 м атмосферное давление уменьшается на 1 мм ртутного столба, или на 100 Па каждые 8 м.

Задача. У подножия горы барометр показывает давление 740 мм рт. ст., а на вершине – 720 мм рт. ст. Определить высоту горы.

Дано:

$p_1 = 740$ мм рт. ст.,

$p_2 = 720$ мм рт. ст.

.....
 $H = ?$

Решение

Разность давлений у подножия горы и на ее вершине

$$p_2 - p_1 = 740 \text{ мм рт. ст.} - 720 \text{ мм рт. ст.} = 20 \text{ мм рт. ст.}$$

Так как каждые 12 м давление уменьшается на 1 мм рт. ст., то высота горы равна

$$H = 20 \text{ мм рт. ст.} \cdot \frac{12 \text{ м}}{1 \text{ мм рт. ст.}} = 240 \text{ м.}$$

Ответ. Высота горы равна 240 м.

При больших высотах давление изменяется по более сложному закону (рис. 105). Это связано с тем, что при подъеме вверх уменьшается не только высота столба воздуха, но и его плотность.

Барометры повсеместно распространены как средства предсказания погоды. Однако ртутные барометры оказались непригодными для этого из-за большой массы, ненадежности конструкции и токсичности ртути. В наше время пользуются барометрами без ртути, называемыми анероидами (рис. 106).

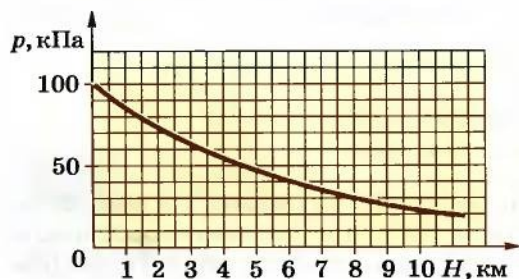


Рис. 105. Зависимость атмосферного давления от высоты над уровнем океана

Каково строение анероида

Основной частью анероида является металлическая коробочка 5 с волнистой поверхностью, из которой откачан воздух. Для того чтобы коробочку не смял атмосферный воздух, ее поверхность удерживается металлической пружиной 4. При изменении атмосферного давления коробочка деформируется, а специальный механизм 1 передает эти деформации стрелке 3, которая на шкале 2 показывает значение давления.

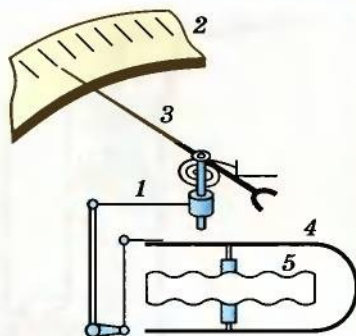


Рис. 106. Схема барометра – анероида

Шкала анероида градуируется посредством сопоставления его показателей с показателями ртутного барометра, являющимся фактически эталонным прибором.

По принципу анероида работает также альтиметр – прибор, которым измеряют высоту полета на небольших самолетах. Его шкала проградуирована непосредственно в единицах высоты.

107

1. Почему атмосфера удерживается возле Земли?
2. Одинаковая ли плотность воздуха на различных высотах?
3. Какая зависимость между высотой и атмосферным давлением?



Упражнение 20

1. Почему кабина высотных самолетов герметична?
2. В классе барометр показывает давление 760 мм рт. ст. Определить высоту школы над уровнем моря.

§ 36. Жидкостный поршневой насос

Одним из приборов, который действует благодаря атмосферному давлению, является жидкостный поршневой насос. Он состоит из цилиндра 2, поршня 3 и двух клапанов: впускного 1 и выпускного 4 (рис. 107).

Поршень плотно прилегает к внутренней поверхности цилиндра. Поэтому при его движении вверх (рис. 108) давление под ним вследствие увеличения объема уменьшается и жидкость под действием атмосферного давления заходит в цилиндр, открывая при этом впускной клапан.

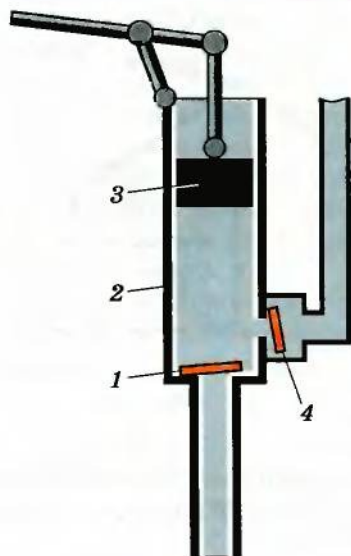


Рис. 107. Схема поршневого водяного насоса

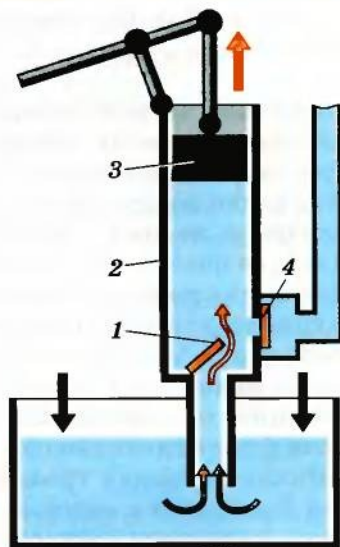


Рис. 108. Поршень насоса движется вверх

Выпускной клапан при этом закрывается, поскольку на него действует неуравновешенное атмосферное давление. Когда цилиндр заполнится водой (рис. 109), поршень начнет опускаться

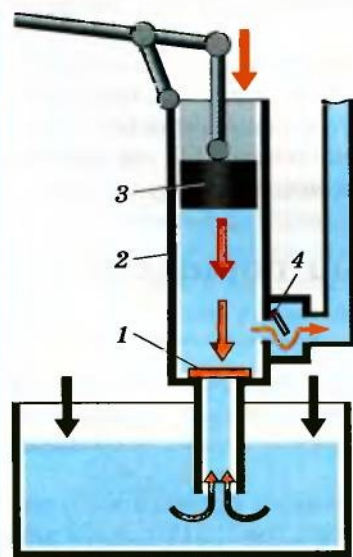


Рис. 109. Поршень насоса движется вниз

и создавать некоторое давление, которое согласно закону Паскаля передается на клапаны. Вследствие этого нижний клапан закрывается, а выпускной 4 открывается и выпускает жидкость из цилиндра наружу. Давление поршня на жидкость в цилиндре может быть достаточно большим, поэтому этот насос способен поднимать воду на значительную высоту, ограничение которой — только уровень совершенства и технологии изготовления насоса.

Однако всасывать воду этот насос может только с глубины, не превышающей 9,8 м. Только на такую высоту атмосферное давление может поднять воду. Поэтому для откачивания воды с глубоких колодцев насосы опускают на глубину значительно меньшую, чем 9,8 м.

1. Почему возможно действие поршневого насоса?
2. С каких частей состоит водяной насос?
3. Какое назначение клапанов?
4. Какое назначение поршня?
5. Почему ограничена высота размещения поршневого насоса над уровнем воды?
6. Как можно с помощью поршневого насоса поднять воду на высоту, превышающую 10 м?



§ 37. Выталкивающая сила. Закон Архимеда

При взаимодействии твердых неподвижных тел, действуя друг на друга, они только деформируются. И действие каждого из этих тел на другое характеризуется силой.

Как взаимодействуют твердое тело и жидкость

Если твердое тело взаимодействует с жидкостью, то оно проникает в жидкость. Что происходит в таком случае? Ответ на этот вопрос получим из опыта.

К резиновой нити прицепим груз и измерим длину нити, которая растягивается весом груза. Если же груз после этого опустить в воду, то станет заметным сокращение длины нити. Таким образом, вес тела в воде уменьшился. Это возможно только потому, что в жидкости на погруженное тело действует выталкивающая сила. Направление этой силы противоположно направлению действия силы тяжести.

Как рассчитать значение выталкивающей силы

Опыты показывают, что значение выталкивающей силы зависит как от характеристик погруженного тела, так и от свойств жидкости.

Возьмем металлический цилиндр и стакан, объем которого равен объему цилиндра. Прицепим их к крючку динамометра и определим вес цилиндра и стакана (рис. 110). Теперь полностью погрузим цилиндр в воду. Динамометр покажет уменьшение веса. Но если стакан полностью заполнить водой, то показания динамометра восстановятся. Таким образом, выталкивающая сила равна весу воды, объем которой равен объему тела. Если воду заменить насыщенным раствором соли в воде, то выталкиваю-



Рис. 110. Опыт, подтверждающий закон Архимеда

щая сила будет большей, так как большим будет вес воды, объем которой равен объему тела.

Если учесть, что вес жидкости $P = gm = \rho_p g V_T$, то для расчета выталкивающей силы можно использовать формулу

$$F_{\text{выталк}} = \rho_p g V_T,$$

где $F_{\text{выталк}}$ – выталкивающая сила; ρ_p – плотность жидкости; V_T – объем погруженного в жидкость тела или его части.

Зависимость, выраженная формулой для выталкивающей силы, называется *законом Архимеда*, сама выталкивающая сила – *силой Архимеда*.

От чего зависит сила Архимеда

Почему действует сила Архимеда в жидкости? Представим себе, что в жидкость погружено тело в виде прямоугольного бруска (рис. 111).



На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, которая равна весу жидкости в объеме погруженного тела или его погруженной части.

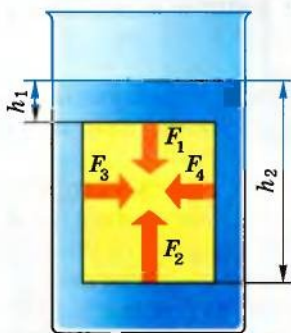


Рис. 111. Так возникает сила Архимеда

В результате действия силы тяжести в жидкости существует давление, которое согласно закону Паскаля действует во всех направлениях. В связи с этим на верхнюю грань бруска будет действовать сила $F_1 = \rho_p g h_1 S$, направленная вниз.

На нижнюю грань будет действовать сила $F_2 = \rho_p g h_2 S$, направленная вверх. Так как $h_2 > h_1$, то и $F_2 > F_1$. Равнодействующая этих сил направлена вверх. Это и будет сила Архимеда.

Действует сила Архимеда и в газах, так как в них давление тоже изменяется с высотой.

Окончательно закон Архимеда можно сформулировать так: *на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела.*

В газах сила Архимеда значительно меньше, чем в жидкостях, поскольку плотность газа намного меньше плотности жидкости.

1. Как действует жидкость на погруженное в нее тело?
2. Зависит ли сила Архимеда от плотности вещества, погруженного в жидкость?
3. Как зависит сила Архимеда от плотности жидкости или газа?
4. Как зависит сила Архимеда от объема тела, погруженного в жидкость?
5. Как формулируется закон Архимеда?
6. Действует ли сила Архимеда в условиях невесомости?
7. Почему возникновение силы Архимеда связывают с действием закона Паскаля?



Упражнение 21

111

1. Почему специально обученная собака легко вытаскивает из воды утопающего, а на берегу не может сдвинуть его с места?

2. Почему водяные растения могут существовать с мягкими и длинными стеблями?

3. Одинаков ли в воздухе вес тонны стали и тонны алюминия?

4. Одинаковая ли сила Архимеда действует на одно и то же тело, погруженное в воду, на Земле и на Луне?

5. В воду опустили медный брусок массой 10 г и тонкую медную пластинку такой же массы. Одинаковая ли выталкивающая сила действует в обоих случаях?

6. На крючке пружинного динамометра висит гиря объемом 130 см^3 и массой 1 кг. Что покажет динамометр, если гирю погрузить в воду? В бензин?

7. На тело, погруженное в воду, действует сила Архимеда, равная 2700 Н. С какой силой выталкивалось бы это тело керосином?

8. Объем воздушного шара равен 300 м^3 . Определить действующую на него выталкивающую силу воздуха.

9. На целиком погруженный в воду кусок пробки действует сила Архимеда, равная 49 Н. Определить объем куса пробки.

10. Один кубический метр пробки в воздухе весит 2000 Н. Чему равен его вес в безвоздушном пространстве?

11. Определить силу Архимеда, действующую на тело, если при полном погружении в керосин тело вытесняет 250 см^3 этой жидкости.

§ 38. Условия плавания тел

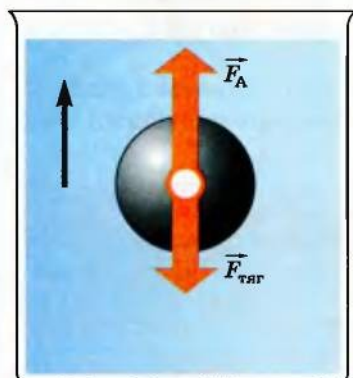


Рис. 112. Тело всплывает

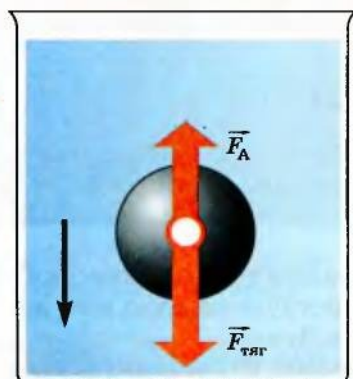


Рис. 113. Тело тонет

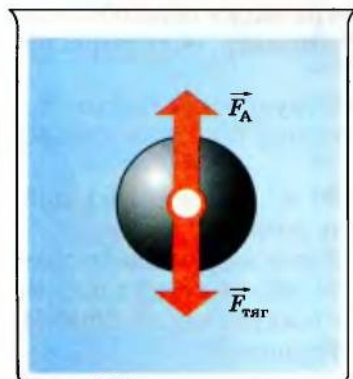


Рис. 114. Тело плавает в жидкости

Согласно закону Архимеда, на все тела, погруженные в жидкость, действуют выталкивающие силы, значение которых зависит от объемов этих тел и плотности жидкости. Таким образом, если тела имеют равные объемы, то и выталкивающие силы, действующие на них в данной жидкости, будут равными. Почему же тогда одни тела тонут в воде, а другие плавают?

Почему тела плавают или тонут

Для примера возьмем два шарика одинакового объема, но один металлический, а другой деревянный. Взвешивание их покажет, что вес деревянного шарика меньше веса металлического. Всплытие деревянного шарика, погруженного в жидкость, показывает, что равнодействующая силы тяжести и силы Архимеда направлена вверх, в направлении действия силы Архимеда. Таким образом, в этом случае сила Архимеда больше силы тяжести (рис. 112).

В случае с металлическим шариком равнодействующая направлена вниз, поскольку сила тяжести больше силы Архимеда (рис. 113).

При равенстве сил Архимеда и тяжести, действующих на погруженное в жидкость тело, равнодействующая равна нулю (рис. 114). Следовательно, в этом случае погруженное в жидкость тело будет находиться в равновесии в любой точке жидкости.

Однако измерить силу тяжести или силу Архимеда во всех случаях невозможно или это неудобно. По-

этому предсказать поведение тела в жидкости можно не всегда. Чтобы найти выход, сделаем расчеты.

Когда тела тонут в жидкости

На каждое тело в жидкости действуют две силы: сила Архимеда $F_A = \rho_{\text{ж}} g V_T$ и сила тяжести $F_{\text{тяж}} = \rho_T g V_T$.

Для случая, когда тело тонет в данной жидкости:

$$F_A < F_{\text{тяж}}; \quad \rho_{\text{ж}} g V_T < \rho_T g V_T;$$

$$\rho_{\text{ж}} < \rho_T.$$

Налитая в стакан с водой ртуть опускается на дно (рис. 115).

Подобным образом различные суда могут плавать по поверхности воды. Вес воды, вытесненной подводной частью судна, равен весу самого судна. Очевидно, что чем больший вес судна, тем больше глубина его погружения в воду.

Тело тонет, если его средняя плотность больше плотности жидкости.



Когда тела плавают в жидкости

113

Если тело плавает, то

$$F_A > F_{\text{тяж}},$$

или

$$\rho_{\text{ж}} g V_T > \rho_T g V_T.$$

Отсюда

$$\rho_{\text{ж}} > \rho_T.$$

Налитое в стакан подсолнечное масло всплывает на поверхность воды, так как его плотность меньше плотности воды (рис. 116). Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть в таблицу значений плотности на с. 53.

Тело плавает, если его средняя плотность меньше плотности жидкости.



Рис. 115. Ртуть тонет в воде и опускается на дно

Рис. 116. Растительное масло плавает на поверхности воды

Гидростатическое взвешивание

На этом принципе основан метод так называемого гидростатического взвешивания. Если в мензурку опустить деревянный брусок, то он будет плавать, но уровень воды поднимется. Объем этой воды равен объему погруженной части бруска, а ее вес – весу бруска. Зная объем и плотность воды, можно рассчитать вес воды и вес тела. Для случая, когда тело тяжелее воды, изготавливают специальный поплавков, дающий возможность телу плавать по поверхности воды.

- ?**
1. При каком условии твердое тело плавает в жидкости?
 2. При каком условии тело тонет в жидкости?
 3. Как предусмотреть поведение тела в жидкости, если его масса и объем неизвестны?
 4. На чем основано плавание судов?
 5. Как можно определить вес тела без динамометра и весов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Выяснение условий плавания тел

Цель. Экспериментально выяснить условия плавания тел.

Оборудование: мензурка с водой, пробирка с пробкой, рычажные весы с набором гирь, сухой песок, фильтровальная бумага, крючок из жесткой проволоки.



Указания к работе

Положение тела в жидкости зависит от направления равнодействующей силы тяжести и силы Архимеда. Все выводы, сделанные в § 38, касаются тел, полностью погруженных в воду. Сила тяжести определяется путем расчетов по известной массе, измеренной непосредственным взвешиванием тела.

Сила Архимеда рассчитывается по объему пробирки, который определяется по показаниям мензурки при полном ее погружении. В работе используется пробирка, объем которой остается постоянным. Поэтому и сила Архимеда будет постоянной во всех опытах. Массу пробирки (и соответственно силу тяжести, действующей на нее) изменяют, досыпая сухой песок. Для повышения точности при взвешивании пробирку каждый раз высушивают фильтровальной бумагой.

Металлический крючок дает возможность вынимать пробирку из воды, не погружая при этом руку в сосуд.

Выполнение работы

1. Определите цену деления мензурки.
 2. Подготовьте весы к взвешиванию.
 3. Открыв пробирку, насыпьте в нее сухой песок на $\frac{3}{4}$ ее объема.
 4. Закрыв пробирку пробкой, осторожно опустите ее в мензурку с водой.
 5. Наблюдая за пробиркой, определите, в каком состоянии она находится (тонет, плавает, всплывает).
 6. Определите объем пробирки по шкале мензурки.
 7. С помощью крючка выньте пробирку из воды и, высушив ее фильтровальной бумагой, измерьте массу пробирки на рычажных весах.
 8. Рассчитайте выталкивающую силу и силу тяжести, действующие на пробирку.
 9. Сравните силу тяжести и силу Архимеда.
 10. Постепенно отсыпая песок из пробирки, добейтесь, чтобы погруженная пробирка плавала в воде, не всплывая и не опускаясь на дно.
 11. Выньте пробирку из воды и, высушив ее фильтровальной бумагой, измерьте массу пробирки на весах.
 12. Рассчитайте выталкивающую силу и силу тяжести, действующие на пробирку с песком.
 13. Сравните силу тяжести и силу Архимеда для этого случая.
 14. Отсыпьте песок из пробирки, оставив его объем примерно равным $\frac{1}{5}$ объема пробирки.
 15. С помощью крючка погрузите пробирку в воду и отпустите.
 16. Проследите за поведением пробирки.
 17. Рассчитайте силу тяжести и силу Архимеда и сопоставьте их.
- Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу и сделайте выводы.

Таблица

Объем пробир- ки $V, \text{ м}^3$	Сила Архи- меда $F_A, \text{ Н}$	Масса пробирки с песком $m, \text{ кг}$	Сила тяжести $F_{\text{тяж}}, \text{ Н}$	Сравне- ние сил F_A и $F_{\text{тяж}}$	Наблюдае- мое явление

18. Дополнительное задание. Повторите п. 15. Измерьте объем погруженной части пробирки, рассчитайте силу Архимеда и сравните ее с силой тяжести. Сделайте выводы.

Упражнение 22

116

- Почему жир в горячем супе собирается на поверхности?
- Почему пустая стеклянная бутылка плавает на поверхности воды, а наполненная водой тонет?
- Почему мыльный пузырь, наполненный воздухом и опущенный в открытый сосуд с углекислым газом, не опускается на дно сосуда?
- Плавающий деревянный брусок вытесняет 0,5 л воды. Чему равен вес бруска?
- На поверхности воды в ведре плавает пустая медная кастрюля. Изменится ли уровень воды в ведре, если кастрюля утонет? Почему?
- Тело массой 2,5 кг, целиком погруженное в воду, вытесняет 2 кг воды. Утонет это тело или всплывет на поверхность?
- Как определить массу деревянного шара, имея мензурку с водой?
- Теплоход переходит из реки в море. Сравнить выталкивающие силы, действующие на него в реке и в море.
- Из лодки вышел человек массой 75 кг, а вместо него в лодку сели две девочки: масса одной – 32 кг, а второй – 37 кг. Как изменилась при этом глубина погружения лодки?
- Океанский нефтеналивной танкер вытесняет 82 800 т воды. Каков вес танкера с грузом? Чему равен объем его подводной части?
- Теплоход, вес которого 20 000 кН, имеет максимальный объем подводной части 6000 м³. Определить массу груза, который этот теплоход может перевезти.

§ 39. Плавание судов

Человек издавна мечтал о преодолении водного пространства. Сначала он приспособлял для этого деревянные колоды, плоты, а затем начал строить деревянные лодки и корабли.

Для изготовления современных судов используют различные металлы. Из металла изготавливается корпус судна, его конструктивные элементы. Вместе с этим большой объем судна не заполнен металлом. Поэтому его средняя плотность меньше плотности воды.

При погружении нижней части судна в воду возникает сила Архимеда, равняющаяся весу вытесненной воды. При условиях плавания эта сила всегда равна весу судна. Если судно нагружают, его вес увеличивается, и оно начинает погружаться в воду. Чем глубже погружается судно, тем большей становится сила Архимеда. Когда она будет равной весу судна, оно прекращает погружаться. Глубину, на которую погружается судно в воду, называют *осадкой* судна.

Осадка судна зависит от его веса и массы груза, находящегося на судне. Увеличение массы груза приводит к увеличению осадки. Осадка уменьшается, когда судно переходит из реки в море, где плотность воды равна примерно 1030 кг/м^3 .

Осадка может изменяться только в определенных пределах, когда судно еще держится на поверхности воды. Чтобы контролировать осадку судна, на его борт наносят горизонтальную линию, которая получила название *ватерлиния* (от голландских слов *water* – вода и *line* – линия) (рис. 117). Значение силы Архимеда, когда судно погрузилось по ватерлинию, называют *водотоннажностью* судна.

Численно водотоннажность равна силе тяжести, действующей на судно с грузом. Самая большая водотоннажность у современных танкеров. Она достигает $5 \cdot 10^6 \text{ кН}$ и больше. Вместе с грузом масса этих судов $500\,000 \text{ т}$ и больше.

Если от водотоннажности вычесть вес судна, то получим вес груза, который это судно может перевезти. Это *грузоподъемность* судна.

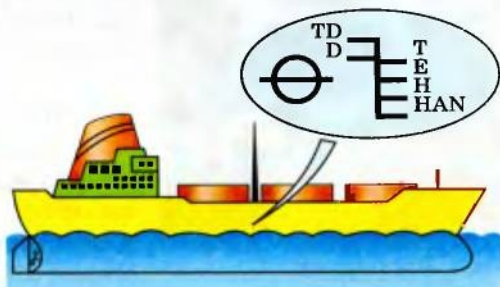


Рис. 117. Ватерлиния на корпусе морского судна

Водный транспорт очень удобен и экономически выгоден. Перевозка грузов водным транспортом значительно дешевле, чем другими видами транспорта. Поэтому для дальнейшего его развития необходимо создавать более совершенные суда и одновременно заботиться о состоянии водных артерий страны, которым очень вредят промышленные выбросы и загрязнения (отходы) с судов.

Украина имеет развитый речной и морской флот. Самой большой судоходной рекой Украины является Днепр, фарватером которой плавают даже судна типа «река – море», которые выходят из реки в море, не перегружая груз.

1. На чем основывается плавание судов?
2. Что такое осадка судна?
3. С какой целью на борт судна наносят ватерлинию?
4. Что показывает грузоподъемность судна?
5. Как определить вес груза, который находится на судне?
6. Почему широко используют перевозку грузов водным транспортом?

§ 40. Воздухоплавание

Практически каждому из нас приходилось наблюдать, как мыльные пузыри, наполненные теплым воздухом, поднимаются вверх и длительное время плавают в воздухе.

Чтобы понять причины плавления мыльных пузырьков и воздушных шариков, вместо одной из чашек равноплечих весов повесим стеклянную колбу, уравновесим ее и заполним горячим воздухом. Для этого подожжем спиртовку, и пламя подведем под отверстие горлышка колбы. Горячий воздух заполнит колбу, и равновесие весов нарушится. Если учитывать, что колба заполняется горячим воздухом, плотность которого меньше плотности холодного воздуха, то можно сделать вывод, что вес колбы уменьшается, а выталкивающая сила воздуха остается постоянной. Согласно с условиями плавания, шарик поднимается вверх на определенную



Рис. 118. Шар Монгольфье

высоту, когда газ в нем остынет, а давление атмосферного воздуха уменьшится в результате увеличения высоты над поверхностью Земли.

Описанное явление используется для создания аппаратов, которые могут плавать в воздухе и перевозить определенные грузы. Впервые такой шар построили во Франции в 1783 г. братья Монгольфье. Оболочку шара они сделали с крепкой бумаги, а внутреннюю полость заполнили горячим воздухом (рис. 118).

Позже шары стали делать с резины и наполнять водородом или гелием. Плотность этих газов меньше плотности воздуха, этим они похожи на горячий воздух, который применили братья Монгольфье.

Воздушный шар, заполненный водородом, гелием или горячим воздухом, может не только сам подняться в воздух, но и поднять определенный груз. Массу этого груза можно рассчитать, используя закон Архимеда и учитывая условия плавания тел.

Пусть шар, заполненный гелием, имеет объем $V = 100 \text{ м}^3$. Масса шара с гелием равна

119

$$m_r = \rho_r V; \quad m_r = 0,18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 100 \text{ м}^3 = 18 \text{ кг}.$$

Его вес равен

$$P_r = gm_r; \quad P_r = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 18 \text{ кг} = 176,4 \text{ Н}.$$

Вес воздуха такого же объема

$$P_v = gm_v = g\rho_v V; \quad P_v = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 100 \text{ м}^3 = 1274 \text{ Н}.$$

Согласно закону Архимеда, эта сила равна выталкивающей силе воздуха.

Таким образом, этот шар может поднять в воздух груз весом $1274 \text{ Н} - 176,4 \text{ Н} = 1097,6 \text{ Н}$. Эту силу называют *подъемной силой шара*.

Для удобства расчетов пользуются таким понятием, как подъемная сила 1 м^3 газа. Так, соответственно проведенным выше расчетам, подъемная сила 1 м^3 гелия равна

$$F_r = \frac{1097,6 \text{ Н}}{100 \text{ м}^3} \approx 11 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Поведение аэростата, как часто называют воздушный шар, отличается от поведения погруженного в жидкость тела, плот-

ность которого меньше плотности жидкости. Если в жидкости тело всплывает на самую поверхность, то аэростат поднимается только на определенную высоту. Плотность воздуха с увеличением высоты постепенно уменьшается, вследствие чего уменьшается и сила Архимеда. Как только сила Архимеда станет равной весу аэростата, он прекращает подниматься. Для дальнейшего подъема можно уменьшить вес аэростата, избавившись от балласта-груза, дополнительно положенного в аэростат. Возможно также подогреть газ, в результате чего увеличивается объем шара и уменьшается плотность газа в нем. Это увеличивает подъемную силу шара.

Аэростат не может самостоятельно перемещаться в горизонтальном направлении. Он двигается только под действием ветра, а пилот лишь руководит высотой подъема аппарата.

В начале XX в., когда авиация только начинала делать первые шаги, значительное распространение получили дирижабли (рис. 119). Это летательные аппараты, легче воздуха, как и воздушные шары. Их сигарообразная оболочка наполнялась водородом или гелием. Они были оборудованы двигателями и воздушными винтами и могли перевозить пассажиров на значительные расстояния независимо от направления ветра. И только успешное развитие авиации уменьшило роль воздухоплавания.



Рис. 119. Дирижабль

Сегодня воздушные шары небольших размеров используют для исследования верхних слоев атмосферы. Шары-зонды, в отличие от ракет, не загрязняют воздух, доставляют на большую высоту специальную аппаратуру, передающую на Землю результаты измерений с помощью радиопередатчика. Воздушные шары, наполненные теплым воздухом, используют спортсмены-любители.

1. По какому признаку подбирают газ для заполнения аэростата?
2. Какие газы обычно используют для заполнения оболочки аэростата?
3. Что такое подъемная сила аэростата?
4. Как рассчитать подъемную силу аэростата?
5. Почему воздушный шар может подниматься только на определенную высоту?
6. В чем преимущество использования воздушных шаров как транспортного средства?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Взвешивание тел гидростатическим методом

Цель. Определить плотность твердого тела и жидкости методом гидростатического взвешивания.

Оборудование: динамометр, стаканы с водой и подсолнечным маслом, резиновая нить (или пружина), швейная нить, карандаш, канцелярские кнопки, рычаг, линейка с миллиметровыми делениями, исследуемое тело.

Эта работа является заключительным этапом изучения механических явлений в 8 классе. Часть заданий учащиеся могут выполнить на уроке, а остальные – самостоятельно дома с последующим анализом на уроках (п. 3 и 4). Как неизвестное вещество можно использовать подсолнечное масло.

Теоретические сведения

Гидростатическое взвешивание издавна применяется для определения плотности различных веществ. Для этого используют закон Архимеда. Плотность твердых тел определяют двойным взвешиванием: сначала тело взвешивают в воздухе (при этом в большинстве случаев выталкивающей силой воздуха пренебрегают), а потом – в жидкости, плотность которой известна (например, в воде). Рассмотрим методы определения плотности.

1. Если исследуемое тело тонет в воде (его плотность ρ_t превышает плотность воды ρ_v), то в таком случае используют динамометр и стакан с водой.

Сначала исследуемое тело взвешивают в воздухе (рис. 120, а):

$$F_1 = F_T = mg = \rho_t V_t g.$$

В этом случае архимедовой силой, действующей на тело в воздухе, можно пренебречь, так как плотность воздуха намного меньше плотности тела и воды.

Потом тело опускают в стакан с водой (рис. 120, б), плотность воды известна ($\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$). В этом случае на тело,

кроме сил тяжести F_T и упругости пружины динамометра F_2 , действует сила Архимеда F_A :

$$F_2 = F_T - F_A = \rho_T V_T g - \rho_B V_T g.$$

Таким образом,

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\rho_T V_T g}{\rho_T V_T g - \rho_B V_T g} = \frac{\rho_T}{\rho_T - \rho_B};$$

$$\rho_T = \rho_B \frac{F_1}{F_1 - F_2}.$$

2. Для измерения плотности неизвестной жидкости можно воспользоваться также телом, которое не тонет в воде и исследуемой жидкости, например карандашом или другим телом правильной формы. Чтобы карандаш в жидкости занимал вертикальное положение, к его нижнему концу можно приколоть несколько кнопок или намотать несколько витков проволоки.

Если карандаш плавает в воде (рис. 121, а), то сила тяжести \vec{F}_T , действующая на него, равна силе Архимеда \vec{F}_A . В этом случае

$$\rho_T V_T g = \rho_B V_B g,$$

где $V_T = Sh$ — объем тела, а $V_B = S(h - h_1)$ — объем вытесненной телом воды (объем погруженной части тела).

Если тело опустить в неизвестную жидкость (рис. 121, б), плотность которой ρ , то

$$\rho_T Shg = \rho S(h - h_2)g.$$

С этого уравнения имеем

$$\rho(h - h_2) = \rho_B(h - h_1).$$

Отсюда

$$\rho_T = \rho_B \frac{h - h_1}{h - h_2}.$$

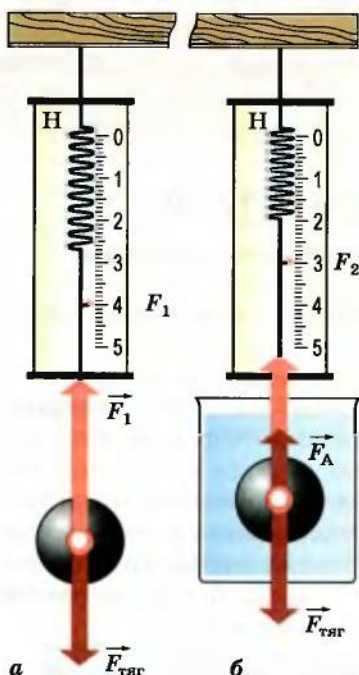


Рис. 120. Определение плотности тела, тонущего в воде

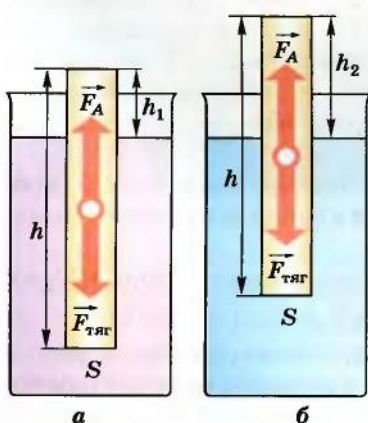


Рис. 121. Определение плотности неизвестной жидкости

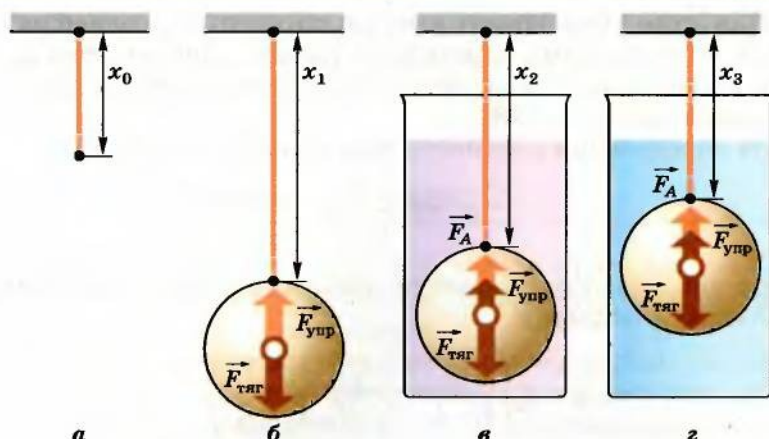


Рис. 122. Определение плотности жидкости

3. Плотность неизвестной жидкости можно определить с помощью резиновой нити, тела, которое тонет в воде и неизвестной жидкости, и линейки. Последовательность действий при этом показана на рисунке 122.

Длина резиновой нити (или пружины) без нагрузки x_0 (рис. 122, а). Если к ней прикрепить тело в воздухе (рис. 122, б), то сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ будет равна по значению силе упругости $F_{\text{упр}}$, возникшей в нити. Тело будет в состоянии равновесия.

Теперь, если тело опустить в воду (рис. 122, в), то на него будет действовать еще сила Архимеда:

$$F_{\text{тяж}} = F_A + F_{\text{упр}};$$

$$\rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g + \rho_{\text{в}} V_{\text{т}} g = k(x_2 - x_0).$$

Опустим тело в жидкость, плотность которой нужно определить (рис. 122, г).

4. Для определения плотности твердого тела или неизвестной жидкости можно использовать рычаг

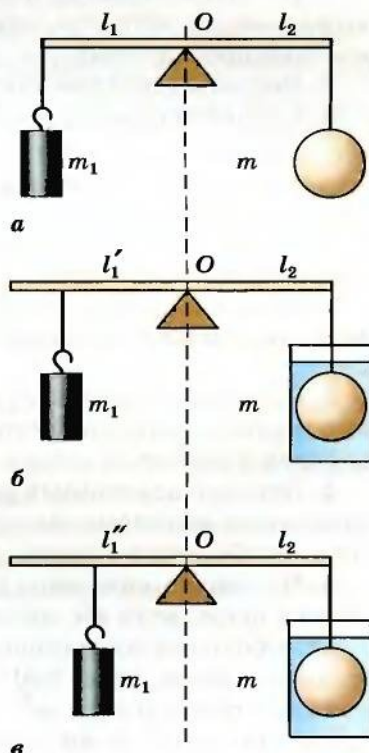


Рис. 123. Использование рычага для определения плотности

чаг. Для этого нужно иметь две гири, плотность одной из них массой m необходимо определить, рычаг, линейку, стаканы с водой и неизвестной жидкостью. Последовательность действий показана на рисунке 123.

Для определения плотности тела используем формулу

$$\rho_t = \rho_v \frac{l_1}{l_1 - l'_1}.$$

Для определения плотности неизвестной жидкости можно использовать формулу

$$\rho = \rho_v \left(\frac{l_1}{l_1 - l'_1} - \frac{l_1}{l_1 - l'_1} \cdot \frac{l''_1}{l'_1} + \frac{l''_1}{l'_1} \right).$$

Выполнение работы

1. Из теоретических сведений выберите один из методов определения плотности твердого тела и жидкости, спланируйте опыты и проведите их.

2. Расчеты сделайте в тетради.

3. Сделайте выводы и запишите их в тетрадь.

Упражнение 23

1. Объем воздушного шара равен 300 м^3 . Определить выталкивающую силу воздуха, действующую на него.

2. Шар-зонд объемом 8 м^3 перед запуском в верхние слои атмосферы заполнили гелием. Определить выталкивающую силу шара.

3. Определить подъемную силу детского воздушного резинового шарика, наполненного водородом, объем которого в шарике равен 3 дм^3 , если шарик с водородом имеет вес $0,034 \text{ Н}$.

4. Детский воздушный резиновый шарик объемом 4 дм^3 , наполненный метаном, имеет подъемную силу $0,009 \text{ Н}$. Определить вес оболочки с газом.

5. На воздушном шаре поднимают груз. Определить объем гелия в шаре, если вес груза равен $1,8 \text{ т}$.

6*. Оболочка воздушного шара, удерживаемого с помощью стального троса, весит 550 Н и содержит 350 м^3 газа, плотность которого равна $0,6 \text{ кг/м}^3$. Определить силу, достаточную для удержания шара за нижний конец троса, если вес троса равен $0,75 \text{ кН}$.

Главное в главе 2

- Любое изменение положения тела в пространстве называется механическим движением. Характер этого движения определяется выбором тела отсчета.

- Тело, находящееся в механическом движении, описывает траекторию, проходит определенный путь и имеет скорость.

- Механическое движение может быть равномерным и неравномерным, прямолинейным и криволинейным.

- Действие одного тела на другое характеризуется силой. Сила изменяет скорость тела.

- Вес является проявлением силы тяжести.

- Все физические тела имеют инертность, которая проявляется в постепенном изменении их скорости во времени под действием определенной силы.

- Инертные свойства тела характеризует масса.

- Для изменения силы используют простые механизмы: рычаг, блок, наклонную плоскость, винт, гидравлическую машину.

- Давление определяет действие силы на единицу поверхности.

- Давление в газе возникает вследствие хаотического движения молекул.

- Давление в жидкостях и газах передается во всех направлениях одинаково.

- В жидкости давление создается преимущественно в результате действия силы тяжести.

- Атмосферное давление является следствием движения молекул воздуха и действия на них силы тяжести.

- Выталкивающая сила возникает вследствие существования весового давления в жидкости или газе.

- Сила Архимеда равна весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела.

Глава 3



РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. МОЩНОСТЬ

Усвоив материал этого раздела, вы будете **знать**:

- какие существуют виды механической энергии, единицы измерения работы, мощности;
- что такое простые механизмы, использование машин и простых механизмов.

Вы сможете **объяснить**:

- закон сохранения и превращения энергии, «золотое правило» механики;
- превращение энергии в механических процессах.

Вы будете **уметь**:

- измерять мощность и КПД механизмов;
- пользоваться простыми механизмами.



§ 41. Механическая работа

Слово *работа* мы слышим очень часто: и когда говорим о действии каких-либо машин или механизмов, и когда описываем какие-либо события будничной жизни. Так, характеризуя деятельность грузчика, который переносит мешки с мукой, мы говорим, что он выполняет работу. Слово *работа* мы употребляем и тогда, когда объясняем принцип действия двигателя внутреннего сгорания, в котором горячий газ, образовавшийся при сгорании топливно-воздушной смеси, передвигает поршни в цилиндрах. Во всех упомянутых случаях слово *работа* используют тогда, когда тела изменяют свое состояние.

Что такое механическая работа

В физике используют понятие – механическая работа. Она выполняется всегда, когда тело перемещается под действием определенной силы. Так, под действием силы тяжести шарик падает на поверхность Земли. Говорят, что сила тяжести выполняет работу по перемещению шарика.

Пуля в стволе ружья перемещается в результате действия пороховых газов, вследствие чего летит на значительное расстояние.

Под действием силы упругости, которая возникает при растяжении тетивы лука, стрела приобретает значительную скорость и отлетает от лука. Но никто не скажет, что сила притя-

жения, которая действует на неподвижный камень, выполняет работу. Так как камень не изменяет своего состояния.

Поэтому считают, что работа выполняется только тогда, когда на тело действует сила и оно при этом осуществляет перемещение.

Механическая работа является физической величиной и ее можно рассчитать.

Как рассчитывают механическую работу

Представим, что на высоту 2 м нужно поднять сначала груз массой 5 кг, а затем – массой 10 кг. Очевидно, что во втором случае должна быть выполнена большая работа, чем в первом, поскольку к телу нужно приложить большую силу.

Большая работа будет выполнена и тогда, когда один и тот же груз нужно поднять на большую высоту, например, не на 2 м, а на 4 м.

Значение работы зависит от значения силы и пути, на котором действует эта сила. Это простая зависимость, и ее можно записать в виде формулы.

Если работу обозначить буквой A , силу – F , а путь – l , то

$$A = Fl.$$

Единицы работы

Соответственно определению установлена единица работы. Если действующая сила равна 1 Н и тело перемещается на 1 м, то при этом выполняется работа 1 Дж (джоуль).

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ ньютон} \cdot 1 \text{ метр},$$

или

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

Единица работы так названа в честь выдающегося физика, исследователя в области механики и теплоты Дж. Джоуля.



Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) – английский физик, один из ученых, открывших закон сохранения энергии. Научные труды выполнены в области электромагнетизма и теплоты.

Для удобства записей и расчетов используют такие кратные единицы работы, как килоджоуль (кДж) и мегаджоуль (МДж):

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} = 10^3 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж} = 10^6 \text{ Дж}.$$

Рассмотрим пример расчета выполненной работы как физическую задачу.

Задача. Рабочий перевез тележку на расстояние 25 м. Прикрепленный к ручке тележки динамометр показал, что рабочий прикладывал к тележке силу 200 Н. Какая работа выполнена?

Дано:

$$F = 200 \text{ Н},$$

$$l = 25 \text{ м}.$$

.....
A = ?

Решение

$$A = Fl,$$

$$A = 200 \text{ Н} \cdot 25 \text{ м} = 5000 \text{ Дж} = 5 \text{ кДж}.$$

.....
Ответ. Выполненная работа равна
..... 5 кДж.

Используя определение работы и соответствующую формулу, можно рассчитывать величины, от которых зависит работа.

Так, если известны работа и путь, на котором эта работа выполнена, можно определить силу:

$$F = \frac{A}{l}.$$

Аналогично можно определить путь, на котором выполнена работа:

$$l = \frac{A}{F}.$$

1. Что такое механическая работа?
2. От чего зависит значение работы?
3. Как рассчитать работу?
4. В каких единицах измеряется работа?



Упражнение 24

1. Сравните значения механической работы для таких случаев: а) тело равномерно поднимают на высоту 1 м; б) тело скользит по льду без трения на расстояние 1 м; в) тело перемещают по горизонтальной поверхности на расстояние 1 м. Какие силы при этом выполняют работу?

2. Пользуясь динамометром и линейкой, определите работу, которая выполняется при перемещении бруска на 1 м по горизонтальной поверхности.

3. Ящик весом 80 Н подняли из подвала глубиной 2 м, а потом перетянули по полу на расстояние 2 м. В каком случае выполнена большая работа?

4. Какую работу необходимо выполнить, чтобы поднять груз весом 10 Н на высоту 0,1 м?

5. Какая работа выполняется, когда кран поднимает груз массой 10 т на высоту 30 м?

6*. Автомобиль массой 1,5 т движется равномерно по горизонтальному участку пути длиной 200 м. Определить работу, которая выполняется на этом участке пути, если сила трения составляет 0,02 от веса автомобиля.

7*. Ученик, отпиливая кусок доски толщиной 2,4 см, перемещает пилу на расстояние 50 см, действуя с силой 50 Н. Какая работа будет выполнена, если с каждым движением в одну сторону пила углубляется в доску на 2 мм?

8. *Экспериментальное задание.* Рассчитайте, какую работу вы выполняете, поднимаясь по ступенькам на высоту 12 м.

§ 42. «Золотое правило» механики

130

Используя простые механизмы, можно изменять как силу, приложенную к телу, так и путь, от которого зависит значение работы. Означает ли это, что с помощью простых механизмов можно получить выигрыш в работе?

Дает ли выигрыш в работе простой механизм

Закрепим конец нити на крючке динамометра и прикрепим к ней груз массой 1 кг (рис. 124). Начнем равномерно поднимать его вверх. Динамометр покажет, что к нити приложена сила 9,8 Н. Поднимем груз на высоту 0,25 м и рассчитаем работу, которая при этом будет выполнена:

$$A = 9,8 \text{ Н} \cdot 0,25 \text{ м} = 2,45 \text{ Дж.}$$

Конец нити закрепим неподвижно на штативе и пропустим ее через подвижный блок, к которому прикреплен груз массой 1 кг.

К свободному концу нити прикрепим динамометр и обозначим на линейке положение точки присоединения динамометра (рис. 125). Постепенно будем поднимать динамометр до тех пор, пока груз не переместится на 0,25 м. Динамометр при этом будет показывать силу 4,9 Н, но путь, который прошла точка присоединения динамометра, будет равен 0,5 м. Выполненная работа в этом случае $A = 4,9 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} = 2,45 \text{ Дж}$.

Проанализировав результаты эксперимента, можно сделать вывод, что используя подвижный блок, мы получили выигрыш в силе в 2 раза, но проиграли в пути, на котором действо-

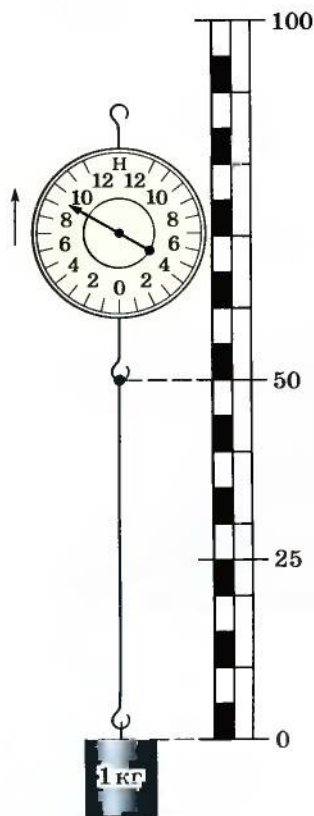


Рис. 124.
Измерение
работы при
поднимании
груза

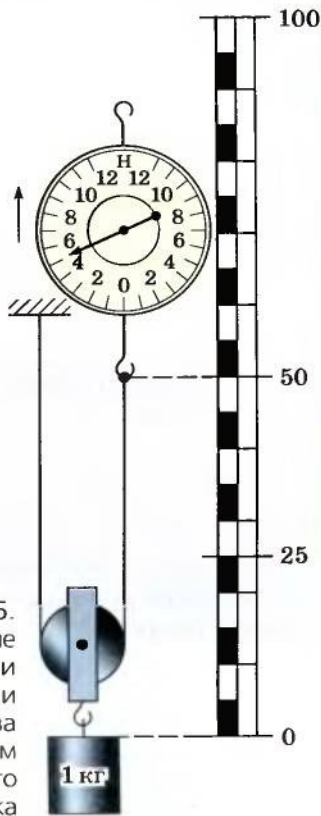


Рис. 125.
Измерение
работы при
поднимании
груза
с применением
подвижного
блока

вала эта сила, тоже в 2 раза. Работа оказалась одинаковой и в первом, и во втором случае.

Итак, поднимать груз при помощи подвижного блока легче, чем без него. Однако путь, на котором действует сила, будет соответственно большим.

Никакого выигрыша в работе блок не дал. Подобное явление можно наблюдать и при использовании рычага и наклонной плоскости. Такая закономерность была замечена учеными еще в античные времена и выражена в «золотом правиле» механики.

«Золотое правило» механики

При использовании простых механизмов оказывается, что при этом имеется даже некоторый проигрыш в работе. Так, выполняя работу с помощью простого механизма, нужно перемещать еще блок или рычаг,

Ни один простой механизм не дает выигрыша в работе. Если выигрываем в силе, то проигрываем в расстоянии.



имеющих определенный вес, преодолевать силы трения. Эту работу нельзя назвать полезной.

Как оценить качество простого механизма

Чтобы оценить качество какого-либо простого механизма, сравнивают полезную работу, которую необходимо выполнить без этого механизма, с работой, которая выполняется с использованием простого механизма.



Число, показывающее, какую часть от всей выполненной работы $A_{\text{в}}$ составляет полезная работа $A_{\text{п}}$, называют коэффициентом полезного действия (КПД):

$$\text{КПД} = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{в}}}.$$

132

В формулах КПД обозначают греческой буквой η («эта»).

Коэффициент полезного действия удобно выражать в процентах. Тогда

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{в}}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент полезного действия может иметь различные значения. Чем его значение больше, тем лучшим считается механизм. Но ни один исследователь или инженер не смог бы изготовить механизм с КПД большим или равным 100 %. И это не из-за несовершенства технологий. Просто этому мешают законы природы, которые человек не в силах изменить.

Таким образом, чтобы оценить качество механизма, необходимо сравнить выполненную и полезную работу.

Задача. С помощью подвижного блока массой 2 кг на высоту 5 м подняли груз массой 20 кг. Определить коэффициент полезного действия установки.

Дано:

$$m_1 = 20 \text{ кг},$$

$$m_2 = 2 \text{ кг},$$

$$l = 5 \text{ м}.$$

η — ?

Решение

$$\text{По определению } \eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{в}}} \cdot 100\%.$$

$$\text{Полезная работа } A_{\text{п}} = F_1 s = m_1 g l;$$

$$A_{\text{п}} = 20 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 980 \text{ Дж}.$$

Выполненная работа:

$$A_{\text{в}} = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot 2l = g(m_1 + m_2) \cdot l;$$

$$A_{\text{в}} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot (20 \text{ кг} + 2 \text{ кг}) \cdot 5 \text{ м} = 1078 \text{ Дж}.$$

$$\eta = \frac{980 \text{ Дж}}{1078 \text{ Дж}} \cdot 100\% = 91\%.$$

Ответ. $\eta = 91\%$.

1. Можно ли получить выигрыш в работе, пользуясь простыми механизмами?
2. Почему рычаг не дает выигрыша в работе?
3. Почему блок не дает выигрыша в работе?
4. Почему полезная работа на практике всегда меньше выполненной?
5. Что показывает коэффициент полезного действия?
6. Может ли КПД реального механизма иметь значение 100 % или больше?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Измерение КПД наклонной плоскости

Цель. Изучить свойства наклонной плоскости в экспериментальных условиях и определить ее КПД.

Оборудование: гладкая доска длиной 50 см, деревянный брусок, динамометр, набор гирь массой по 100 г каждая, штатив с лапкой, мерная лента.

Теоретические сведения

В технике, на производстве и в повседневной жизни используют простой механизм, который называется наклонная плоскость. Это устройство, в котором длинная доска или рейка положена так, что образует некоторый угол с горизонтом. Как правило, этот угол меньше 45° .

Использование наклонной плоскости позволяет получить выигрыш в силе. Выигрыш в работе, как утверждает «золотое правило» механики, получить невозможно. В реальных условиях тот, кто пользуется наклонной плоскостью, даже проигрывает в работе, поскольку при перемещении тела по наклонной плоскости выполняется дополнительная работа по преодолению трения.

Выполнение работы

1. Конец доски закрепите в штативе так, чтобы она образовала угол $15...20^\circ$ с горизонтом. Измерьте длину доски и высоту закрепленного в штативе конца.
2. Измерьте вес деревянного бруска с помощью динамометра.
3. Нагрузите деревянный брусок гирей массой 100 г и положите его на доску.
4. К бруску присоедините динамометр и начните его тянуть равномерно вверх по наклонной плоскости, следя за показаниями динамометра.
5. Повторите опыт с бруском, нагруженным сначала 2-мя, а потом 3-мя гирями.
6. Рассчитайте КПД наклонной плоскости и выигрыш в силе для каждого из трех опытов.
7. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

Таблица

№	Вес бруска P_0 , Н	Масса гирь m , кг	Вес гирь P_1 , Н	Вес бруска с гирями P , Н	Высота наклонной плоскости h , м	Полезная работа $A_{\text{п}}$, Дж	Сила тяги F , Н	Длина наклонной плоскости l , м	Выполненная работа $A_{\text{в}}$, Дж	КПД, %	Выигрыш в силе P/F
1											
2											
3											

8*. Увеличьте высоту закрепленного конца доски и повторите опыты согласно пунктам 1–6. Сравните значения КПД для двух случаев и сделайте выводы о зависимости КПД и выигрыша в силе от угла наклона наклонной плоскости.

Упражнение 25

1. Груз массой 25 кг равномерно поднимают с помощью неподвижного блока, прикладывая силу 270 Н. Определить КПД блока.

2. Поднимая с помощью неподвижного блока груз массой 5 кг на высоту 3 м, выполнили работу 160 Дж. Определить КПД блока.

3. Какой груз поднимают, пользуясь неподвижным блоком, если сила, приложенная к канату, равна 420 Н, а КПД блока равен 0,72.

4. Вычислить работу, выполненную при подъеме груза массой 30 кг на высоту 12 м с помощью неподвижного блока с $\text{КПД} = 90\%$.

5*. Пользуясь одним подвижным и одним неподвижным блоками, подняли равномерно груз массой 80 кг на высоту 8 м. Какая сила была приложена к свободному концу каната и какая работа выполнена при подъеме груза, если КПД устройства равен 80 %?

6*. Груз массой 120 кг подняли на высоту 0,2 м с помощью рычага. Отношение короткого плеча рычага к длинному равно 1 : 6. Какую силу приложили к длинному плечу рычага и на какое расстояние опустился его конец, если $\text{КПД} = 80\%$?

7*. Чтобы поднять груз массой 75 кг с помощью рычага с отношением плеч 2 : 5, к длинному плечу прикладывают силу 400 Н. Определить КПД рычага.

135

§ 43. Потенциальная энергия

В повседневной жизни можно обнаружить множество различных тел, при перемещении которых может выполняться работа. Так, выпавший из рук шарик начнет падать под действием силы притяжения, которая будет выполнять работу по перемещению шарика.

Сжатая пружина может поднять на определенную высоту груз. В этом случае сила упругости выполняет работу по перемещению груза.

Что такое энергия

Можно привести еще много разных примеров из природы, из повседневной жизни, из техники, в которых речь идет о телах, находящихся в таком состоянии, что при

Энергия – это физическая величина, показывающая, какая работа может быть выполнена при перемещении тела.



определенных условиях может выполняться работа при их перемещении. О таких телах говорят, что они обладают энергией. При различных условиях результат выполнения работы может быть разным. Поэтому и энергия может иметь различные значения и может быть рассчитана.

Единицы энергии

Поскольку речь идет о возможности выполнения работы, то энергию целесообразно измерять в таких же единицах, что и работу. Поэтому единицей энергии есть 1 Дж.

Виды механической энергии

В физике выделяют два вида механической энергии: потенциальную и кинетическую. Если тело неподвижно, но на него действует определенная сила, то говорят, что оно обладает потенциальной энергией.

Потенциальной энергией обладает тело, поднятое над поверхностью Земли, сжатая пружина, сжатый газ, речная вода в водоеме и другие тела.

Как рассчитывают потенциальную энергию

Рассчитывают потенциальную энергию с учетом природы сил, действующих на эти тела. Проще всего рассчитать потенциальную энергию тела, поднятого над поверхностью Земли, поскольку сила, действующая на него, остается практически постоянной на протяжении всего времени его движения под действием этой силы.

Пусть тело массой m находится на высоте h над землей. Если оно упадет на поверхность, то будет выполнена работа

$$A = Fh = mgh.$$

Следовательно, о таком теле можно сказать, что оно обладает потенциальной энергией

$$E_{\text{п}} = mgh.$$



Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли, пропорциональна массе тела и его высоте над поверхностью Земли.

При расчете потенциальной энергии важно помнить, что высота h является путем, который тело преодолеет в вертикаль-

ном направлении. Таким образом, всегда следует указывать, относительно какой поверхности определяется потенциальная энергия. Например, тело массой 2 кг, поднятое над столом на высоту 1,5 м, будет обладать потенциальной энергией, равной примерно 30 Дж, а потенциальная энергия этого тела, рассчитанная для высоты 3 м над полом, будет 60 Дж.

1. Какие тела обладают потенциальной энергией?
2. Как рассчитать потенциальную энергию тела, поднятого над поверхностью Земли?
3. Когда потенциальная энергия одного и того же тела может иметь различные значения?
4. Изменяется ли потенциальная энергия тела при его падении?

Упражнение 26

1. Какую энергию имеет кирпич, лежащий на самой высокой части заводской трубы?

2. Сваю забивают паровоздушным молотом, масса ударной части которого равна 1800 кг. При ударе о верхний конец сваи выполняется работа 27 кДж. На какую максимальную высоту поднимается ударная часть молота?

3. С помощью подъемника металлический груз массой 800 кг подняли на высоту 6 м, а потом дали ему свободно упасть. Вследствие удара металлического груза о верхний конец сваи она углубилась в грунт на 30 см. Определить силу сопротивления грунта.

4. Каким молотком – легким или тяжелым – можно забить гвоздь за меньшее количество ударов? Почему?

§ 44. Кинетическая энергия

Наблюдения явлений природы показывают, что работа может выполняться при движении тел. Так, движущийся тепловоз, стыкуясь с вагоном, перемещает его на некоторое расстояние. Выполняется работа и в том случае, когда брошенный камень разбивает лед. Выстреленная из ружья пуля пробивает доску и т. п. Если потенциальной энергией обладают тела, на которые действует сила, то в упомянутых выше случаях работа выполняется потому, что они осуществляли перемещение, двигались.

Какой энергией обладают движущиеся тела



Энергию движущегося тела называют кинетической энергией.

Кинетическая энергия является физической величиной, ее значение можно рассчитывать. Для этого необходимо знать, от каких физических величин она зависит.

Как рассчитывают кинетическую энергию

Поставим желоб под некоторым углом к поверхности стола. На некотором расстоянии от его нижнего конца поставим брусок. На средней части желоба разместим маленький стальной шарик и отпустим его. Скатившись по желобу, шарик ударится о брусок и переместит его на некоторое расстояние. Отметим расстояние, на которое сместился брусок.

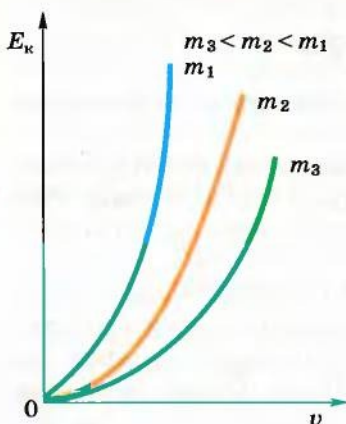


Рис. 126. Кинетическая энергия движущегося тела пропорциональна квадрату его скорости

Поместим шарик в верхней части желоба и отпустим его. В этом случае, скатившись желобом к основе, шарик приобрел большую скорость, чем раньше. Ударившись в брусок, он переместит его на большее расстояние, чем в предыдущем опыте, соответственно выполнив большую работу.

Таким образом, кинетическая энергия тела зависит от его скорости. Эта зависимость нелинейная, что заметно на графике зависимости кинетической энергии тела от его скорости. График имеет вид кривой линии (рис. 126).

Кинетическая энергия тела относительна

Как известно, скорость тела является относительной величиной и зависит от выбора тела отсчета. Поэтому и кинетическая энергия является величиной относительной. Если артиллерийский снаряд, попав в стену, причиняет значительные разрушения, то снаряд, посланный вдогонку сверхзвуковому самолету, не причинит ему существенных повреждений, поскольку скорость снаряда относительно самолета будет небольшой.

Последствия столкновения автомобилей в случае их движения навстречу друг другу будут всегда более ощутимы, чем тогда, когда один автомобиль догоняет другой.

Кинетическая энергия зависит и от массы тела. Если повторим предыдущие опыты с шариком большей массы, то увидим, что перемещения бруска в этом случае будут большим. Эта зависимость линейная, поэтому можно сказать, что кинетическая энергия тела пропорциональна его массе (рис. 127).

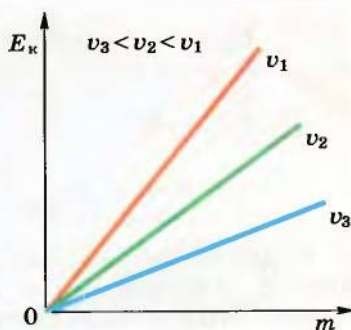


Рис. 127. Кинетическая энергия движущегося тела пропорциональна его массе

Как рассчитать кинетическую энергию

Чтобы рассчитать кинетическую энергию, используют формулу:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где m — масса тела; v — скорость тела.

Кинетическая энергия разных физических тел используется для выполнения механической работы. Так, опытные водители автомобилей время от времени отсоединяют двигатель от колес, выключая сцепление, и этим экономят топливо. Работа по преодолению сил трения выполняется за счет кинетической энергии автомобиля. Конструкторы работают над моделью городского автобуса, который начинает движение за счет энергии раскрученного во время стоянки большого маховика. Это дает возможность существенно уменьшить выбросы вредных газов в атмосферу и экономить топливо.

В южных областях Украины, в частности на Крымском полуострове, используют ветряные электростанции, которые работают за счет кинетической энергии потоков воздуха — ветра (рис. 128).



Рис. 128. Кинетическая энергия ветра используется для выполнения работы



1. Почему движущееся тело может выполнять работу?
2. Какая энергия называется кинетической?
3. Как зависит кинетическая энергия от скорости тела?
4. Как зависит кинетическая энергия от массы тела?

Упражнение 27

1. Два автомобиля с грузами одинаковой массы движутся по пути с одинаковыми скоростями относительно поверхности Земли. Что можно сказать об их энергии? Одинаковые ли энергии они будут иметь, если один из них увеличит скорость?

2. Почему спортсмен перед прыжком делает разбег?

3. Почему на дорогах легковым автомобилям разрешено ехать с большей скоростью, чем грузовым?

4. Два электропоезда движутся с одинаковой относительно Земли скоростью, но первый имеет шесть, а второй – девять вагонов. Какой из них обладает большей кинетической энергией?

140

5. Определить кинетическую энергию пули массой 5 г, вылетевшей из ружья со скоростью 500 м/с.

6. Определить скорость автомобиля, если известно, что его кинетическая энергия равна 50 кДж, а масса – 2,5 т.

7. Определить массу одного вагона, если кинетическая энергия поезда, состоящего из 25 вагонов, при скорости 79,2 км/ч равна 605 МДж.

§ 45. Закон сохранения и превращения механической энергии

Как для одного, так и для другого вида механической энергии есть общее свойство: при выполнении работы энергия тела всегда изменяется.

Как изменяется полная механическая энергия тела

Поднятый над поверхностью Земли мяч обладает определенной потенциальной энергией. При его падении эта энергия уменьшается. Однако в процессе падения увеличивается его скорость, то есть увеличивается его кинетическая энергия. В результате выполнения силой притяжения работы кинетическая энергия мяча увеличилась. Но уменьшилась потенциальная энергия. Таким образом, можно сказать, что кинетичес-

кая и потенциальная энергии связаны между собой. С увеличением кинетической энергии уменьшается потенциальная энергия, и наоборот. Брошенный вверх мяч вначале имеет большую скорость и соответственно кинетическую энергию. При поднятии мяча вверх увеличивается его потенциальная энергия, но скорость и кинетическая энергия постепенно уменьшаются.

Итак, тело одновременно может иметь как кинетическую, так и потенциальную энергию.

Сумму кинетической и потенциальной энергий тела называют полной механической энергией.



Какая связь между кинетической и потенциальной энергиями тела

Мерой изменения кинетической и потенциальной энергий является работа. При изменении потенциальной энергии тела, движущегося вниз, работа выполняется силой притяжения. За счет этой работы происходит увеличение кинетической энергии. Если на определенное тело не действуют силы трения, то его полная механическая энергия остается постоянной. Это один из важных законов природы, который необходимо учитывать при расчетах параметров движения тел.

Изобразим графически зависимость потенциальной и кинетической энергий. Если потенциальная энергия пропорциональна высоте, то графиком будет прямая линия (рис. 129). Кинетическая энергия будет уменьшаться с увеличением высоты, то есть будет обратно пропорциональна высоте. Эта зависимость выразится также прямой линией (рис. 130).

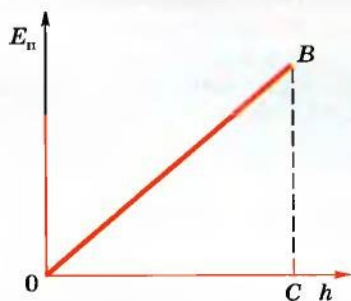


Рис. 129. Потенциальная энергия пропорциональна высоте

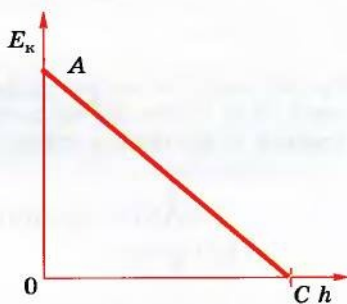


Рис. 130. Кинетическая энергия брошенного вверх тела уменьшается с высотой

Сумма кинетической и потенциальной энергий

Наложим оба графика друг на друга и определим сумму энергий для произвольной высоты (рис. 131). Несложно заметить, что сумма энергий для произвольной высоты над поверхностью Земли будет одинаковой. Это свидетельствует о том, что полная механическая энергия сохраняется при условии отсутствия сил трения. В этом смысл закона сохранения и

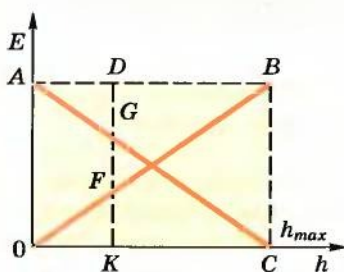


Рис. 131. Полная механическая энергия тела остается постоянной

превращения механической энергии. Отсутствующие превращения механической энергии в другие виды энергии постулируют, вводя понятие замкнутой системы. Все превращения механической энергии происходят в рамках этой системы. Замкнутую систему в определенной мере представляют маятник и Земля. При отсутствии сил трения в этой системе происходят непрерывные превращения потенциальной и кинетической энергий.

Как формулируется закон сохранения и превращения механической энергии

С этого определения можно сделать некоторые выводы. В частности, вывод о том, что механическая энергия не возникает и не исчезает. Она только превращается с одного вида в другой. Мерой превращения энергии с одного вида в другой является работа.

Сумма кинетической и потенциальной энергий изолированного тела в замкнутой системе, в которой отсутствуют силы трения, остается постоянной.

Энергия характерна всем явлениям природы

Понятие энергия является универсальным. Оно свойственно всем природным процессам. Так, если брусок при скольжении вниз по наклонной плоскости уменьшает свою скорость, пока полностью не остановится, то доска наклонной плоскости и сам брусок нагреваются. Расчеты энергии, которая превращается в тепловую, показывают, что изменение механической энергии

бруска равно тепловой энергии. Поэтому закон сохранения и превращения механической энергии является конкретным проявлением более общего закона природы – закона сохранения и превращения энергии.

Как формулируется закон сохранения и превращения энергии

Энергия не из чего не возникает и не исчезает бесследно. Она только превращается в равной мере с одного вида в другой.

Первооткрывателем этого закона, свойственного всем природным процессам, является английский естествоисследователь Роберт Майер.



Юлиус Роберт Майер (1814–1878) – английский естествоисследователь, первым открыл фундаментальный закон сохранения энергии при исследовании жизнедеятельности живых организмов в различных климатических условиях.

143

§ 46. Использование закона сохранения и превращения энергии

Закон сохранения и превращения энергии используется в различных отраслях техники и производства. Так, возле многих гидроэлектростанций построены так называемые гидроаккумулирующие станции (рис. 132). В период, когда потребление электроэнергии небольшое, вода с основного водо-

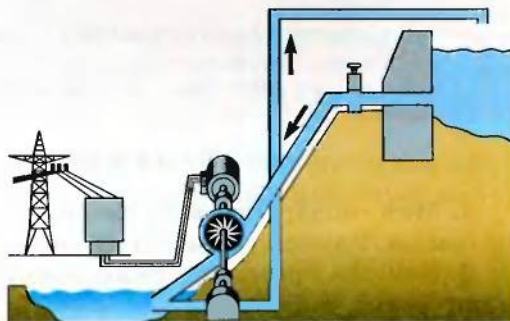


Рис. 132. Схема гидроаккумулирующей электростанции



Рис. 133. Одна из моделей вечного двигателя

ема не сливается сквозь плотину, а продолжает вращать лопасти турбин, соединенных с генераторами. Полученный электрический ток приводит в действие электрические двигатели насосов, которые накачивают воду в водоемы, расположенные выше уровня основного. В период увеличенного потребления электроэнергии вода из этого водоема вращает турбины и производит дополнительную энергию. Таким образом, кинетическая энергия падающей воды превращается в потенциальную энергию воды в аккумулярующем водоеме, которая потом снова превращается в кинетическую энергию падающей воды.

144

Открытие закона сохранения и превращения энергии стало причиной закрытия целого направления в науке, когда ученые пробовали создать устройство, которое выполняло бы работу без потребления энергии извне (рис. 133). Такой двигатель получил название вечного двигателя (*perpetuum mobile*). Закон сохранения и превращения энергии оказался настолько фундаментальным, что Парижская академия наук, одно из самых авторитетных научных заведений мира, еще в 1755 г. приняла решение не рассматривать все заявки и предложения, касающиеся вечного двигателя.



1. Какие превращения механической энергии происходят при падении тела в безвоздушном пространстве?
2. Как происходит превращение потенциальной энергии в кинетическую?
3. Как подтвердить сохранение энергии падающего тела?
4. Какая физическая величина является мерой превращения энергии?
5. Как формулируется закон сохранения и превращения механической энергии?
6. Почему невозможно построить вечный двигатель?

Упражнение 28

1. Мяч, подброшенный вверх, через некоторое время упал на землю. Какие превращения энергии происходят при этом?
2. Какими превращениями энергии сопровождается ход механических часов?

3. При скатывании санок с горы их скорость увеличивается. Почему?

4. Тело массой 2 кг поднято над землей на высоту 10 м. Определить потенциальную энергию этого тела. Какую потенциальную энергию оно будет иметь на высоте 5 м при свободном падении? Куда исчезла оставшаяся часть энергии?

5. Молот копра для забивания свай массой 600 кг поднимается на высоту 12 м. Определить кинетическую энергию молота в момент удара о сваю при его свободном падении без трения. Какая работа выполняется за один удар молота?

§ 47. Мощность

Механическая работа всегда связана с движением тел. А движение происходит во времени. Поэтому и выполнение работы, как и превращение механической энергии, всегда происходит на протяжении определенного времени.

145

Работа выполняется на протяжении
определенного времени

Простейшие наблюдения показывают, что время выполнения работы может быть разным. Так, школьник может подняться по лестнице на пятый этаж за 1–2 мин, а пожилой человек – не меньше чем за 5 мин. Грузовой автомобиль КрАЗ может перевезти определенный груз на расстояние 50 км за 1 ч. Но если этот груз частями начнет перевозить легковой автомобиль с прицепом, то потратит на это не меньше 12 ч.

Для описания процесса выполнения работы, учитывая его скорость, используют физическую величину, которая называется *мощностью*.

Что такое мощность

Мощность – это физическая величина, которая показывает скорость выполнения работы и равна отношению работы ко времени, за которое эта работа выполняется.



Так как при выполнении работы происходит превращение энергии, то можно считать, что мощность характеризует скорость превращения энергии.

Как рассчитать мощность

Для расчета мощности нужно значение работы разделить на время, за которое эта работа была выполнена:

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}.$$

Если мощность обозначить латинской буквой N , то формула для расчета мощности будет такой

$$N = \frac{A}{t}.$$

Единицы мощности

Для измерения мощности используется единица *ватт* (Вт). При мощности 1 Вт работа 1 Дж выполняется за 1 с:

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Единица мощности названа в честь английского механика Джеймса Уатта, который внес значительный вклад в теорию и практику построения тепловых двигателей.



Джеймс Уатт (1736–1819) – английский физик и изобретатель.

Главная заслуга Уатта в том, что он отделил водяной конденсатор от нагревателя и сконструировал насос для охлаждения конденсатора. Фактически он увеличил разность температур между нагревателем и конденсатором (холодильником), благодаря чему увеличил экономичность паровой машины. Позже теоретически это обоснует Сади Карно.

Он один из первых высказал предположение, что вода – это сложное вещество, состоящее из водорода и кислорода.

Как и для других физических величин, для единицы мощности существуют производные единицы:

$$1 \text{ микроватт} = 1 \text{ мкВт} = 0,000001 \text{ Вт} = 10^{-6} \text{ Вт};$$

$$1 \text{ милливатт} = 1 \text{ мВт} = 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$1 \text{ киловатт} = 1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мегаватт} = 1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт}.$$

Задача 1. Определить мощность подъемного крана, если работу 9 МДж он выполняет за 5 мин.

Дано:

$$A = 9 \text{ МДж},$$

$$t = 5 \text{ мин.}$$

.....
 $N = ?$

Решение

По определению $N = \frac{A}{t},$

поэтому

$$N = \frac{9 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{300 \text{ с}} = 3 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 30 \text{ кВт.}$$

Ответ. Мощность крана 30 кВт.

Задача 2. Человек массой 60 кг поднимается на пятый этаж дома за 1 мин. Высота пяти этажей дома равна 16 м. Какую мощность развивает человек?

Дано:

$$m = 60 \text{ кг},$$

$$l = 16 \text{ м},$$

$$t = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с.}$$

.....
 $N = ?$

Решение

По определению $N = \frac{A}{t}.$

Работа определяется $A = Fl,$

$$F = mg.$$

Тогда $N = \frac{mgl}{t};$

$$N = \frac{60 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 16 \text{ м}}{60 \text{ с}} = 160 \text{ Вт.}$$

Ответ. Человек развивает мощность 160 Вт.

147

Зная мощность и время, можно рассчитать работу:

$$A = Nt.$$

Скорость движения зависит от мощности

Мощность связана со скоростью соотношением:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fl}{t} = Fv,$$


где F – сила, которая выполняет работу; v – скорость движения.

Если известны мощность двигателя и значения сил сопротивления, то можно рассчитать возможную скорость автомобиля или другой машины, которая выполняет работу:

$$v = \frac{N}{F}.$$

Таким образом, из двух автомобилей при равных силах сопротивления большую скорость будет иметь тот, у которого мощность двигателя больше.

Каждый конструктор знает, что для увеличения скорости движения автомобиля, самолета или морского корабля нужно или увеличивать мощность двигателя, или уменьшать силы сопротивления. Поскольку увеличение мощности связано с увеличением потребления топлива, то средствам современного транспорта, как правило, придают специфическую обтекаемую форму, при которой сопротивление воздуха будет наименьшим, а все подвижные части изготавливают так, чтобы сила трения была минимальной.

- 
1. Всегда ли скорость выполнения работы постоянна?
 2. Какую физическую величину называют мощностью?
 3. Как вычислить мощность?
 4. Какая основная единица мощности?
 5. Назовите производные единицы мощности.
 6. Почему мощность связана со скоростью движения?
 7. Приведите примеры разной скорости выполнения работы.
 8. Как рассчитать работу, зная мощность?

Упражнение 29

1. Гирия часов имеет массу 0,8 кг и за сутки опускается на 120 см. Какова мощность такого механизма?
2. Кран равномерно поднимает груз массой 5 т на высоту 10 м за 20 с. Какую мощность развивает кран?
3. Какой должна быть мощность насоса, который перекачивает за сутки 1800 л воды из колодца глубиной 15 м?
4. Кран равномерно поднимает груз массой 3 т со скоростью $30 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$. Какую мощность развивает двигатель крана?
5. Трактор с постоянной мощностью 100 кВт развивает тяговое усилие 50 кН, 30 кН и 20 кН. Как при этом изменялась скорость трактора?
- 6*. Какой путь пройдет автомобиль за 1 ч, двигаясь равномерно и развивая силу тяги 900 Н и мощность 30 кВт?
7. Почему нагруженный автомобиль при одной и той же мощности двигателя движется медленнее ненагруженного?
8. *Экспериментальное задание.* Определить максимальную мощность, которую вы должны развить, чтобы подняться на третий этаж своего дома или школы.
- 9*. Тепловоз мощностью 3000 кВт тянет состав, развивая силу тяги 150 кН. Какое время необходимо для равномерного прохождения составом пути 48 км?

10*. За 3 ч равномерного движения электровоз проходит расстояние 216 км. Определить мощность электровоза, если он развивает силу тяги 200 кН.

11*. Подъемник мощностью 2 кВт поднимает груз со средней скоростью $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ на высоту 5 м. Какая при этом выполняется работа?

12. За какое время подъемник мощностью 10 кВт поднимает 2000 кг груза на высоту 20 м, если груз перемещается равномерно?

Главное в главе 3

- Существуют два вида механической энергии: кинетическая и потенциальная.

- Если тело перемещается или деформируется под действием силы, то выполняется механическая работа.

- Простыми механизмами являются рычаги и блоки.

- Ни один простой механизм не дает выигрыша в работе.

- Качество механизма определяется коэффициентом полезного действия, который определяет часть полезной работы в общей выполненной работе.

- Тело, при перемещении которого может быть выполнена работа, обладает энергией.

- Взаимодействующие тела обладают потенциальной энергией.

- Движущееся тело обладает кинетической энергией, которая зависит от скорости и массы тела.

- Потенциальная и кинетическая энергии могут превращаться друг в друга. Такие превращения происходят в равной мере, если отсутствуют силы трения.

- Сумму кинетической и потенциальной энергий называют полной механической энергией системы.

- В замкнутой системе при отсутствии сил трения сумма кинетической и потенциальной энергий остается постоянной.

- Закон сохранения и превращения энергии подтверждает невозможность существования вечного двигателя (perpetuum mobile).

- Мощность характеризует скорость превращения одного вида энергии в другой.

Глава 4



ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

Усвоив материал данной главы, вы будете **знать**:

- способы измерения температуры тел;
- физические величины, характеризующие тепловые процессы;
- природу теплообмена и виды теплопередачи.

Вы сможете **объяснить**:

- изменения агрегатного состояния вещества на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества;
- протекание таких тепловых процессов, как плавление и кристаллизация твердых тел, испарение и конденсация жидкостей, кипение;
- преобразования энергии во время протекания этих тепловых процессов;
- принцип действия тепловых машин и двигателей, их влияние на окружающую среду.

Вы будете **уметь**:

- вычислять количество теплоты для разных тепловых процессов;
- измерять физические величины, которые характеризуют тепловые процессы;
- решать задачи, применяя формулы количества теплоты и условия протекания тепловых явлений.



§ 48. Тепловое состояние тел. Теплообмен

В жизни мы часто наблюдаем явления и процессы, которые происходят благодаря передаче теплоты и связаны с обменом тепловой энергией. Они протекают по-разному: при непосредственном контакте тел с различной температурой, благодаря теплообмену между телами, в результате сгорания топлива и т. д. На основе многовекового опыта познания окружающего мира человечество осознало закономерности протекания тепловых явлений и процессов, обобщив их в виде понятий, законов, теорий теплоты.

Сильно нагретый предмет, опущенный в холодную воду, со временем охлаждается, а вода нагревается; лед, принесенный с улицы в теплую комнату, тает; солнечные лучи нагревают поверхность Земли, благодаря чему земная жизнь продолжается, и т. д.

Для определения теплового состояния тел человек сначала использовал свои ощущения, применяя такие слова, как холодное, теплое, горячее. Например, мы говорим: холодный лед, горячий песок, теплая вода и т. д. Однако оценить его таким образом можно лишь приблизительно и не всегда однозначно. В подтверждение этого выполним такой опыт.



а



б

Рис. 134. Ощущение человеком теплового состояния тела

Погрузим на некоторое время одну руку в горячую воду, а другую – в холодную (рис. 134, а). Затем обе руки поместим в воду при комнатной температуре (рис. 134, б) и попытаемся на основании своих ощущений установить, какая в сосуде вода – холодная или горячая? На удивление, мы не сможем этого сделать однозначно, поскольку наши ощущения будут разными: рука, которая находилась в горячей воде, будет чувствовать холод, а рука, находившаяся в холодной воде, будет ощущать тепло. Возникло противоречие. Ведь на самом деле температура воды в сосуде одинаковая.

Следовательно, мы убедились, что человек не всегда может однозначно определить тепловое состояние тел на основании своих ощущений. Для этого ему надо найти количественную меру – физическую величину, на основании которой можно объективно оценить, какое из тел и на сколько теплее или холоднее другого. Поэтому для характеристики теплового состояния тел

используют понятие температуры.

В природе тепловые процессы протекают согласно законам, связанным с теплообменом. Установлено, что тела, имеющие более высокую температуру, отдают теплоту менее нагретым, при этом остывая; менее нагретые тела получают теплоту и их температура при этом повышается. При таком теплообмене температуры тел со временем выравниваются. В обычных условиях теплота не может самопроизвольно перейти от менее нагретых тел к телам, температура которых выше.

Действительно, наш жизненный опыт подтверждает этот вывод. Когда мы кладем в холодильник пакет молока, его тем-

пература понижается и сравнивается с температурой холодильной камеры. Вместе с тем в результате теплообмена температура внутри холодильника немного повышается, и поэтому он включается для того, чтобы привести ее к норме.

Температура тела определяет его тепловое состояние: чем она выше, тем больше степень «нагретости» тела.

Таким образом, протекание тепловых процессов при теплообмене всегда происходит в направлении выравнивания температур. Со временем между телами устанавливается тепловое равновесие и их температуры становятся одинаковыми. Между телами, имеющими одинаковые температуры, теплообмен не происходит.

1. Приведите примеры нагревания или охлаждения тел и укажите, каким образом это происходит.
2. Объясните тепловые процессы, которые происходят после отключения электроплитки от сети.
3. В воде, температура которой $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, плавает лед, температура которого $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какие теплообменные процессы при этом происходят? Может ли лед отдавать теплоту воде, в которой он плавает? Будет ли происходить теплообмен, если температура воды и льда будет равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?
4. Могут ли в природе происходить процессы, когда менее нагретые тела отдают теплоту более нагретым?



153

§ 49. Температура тел. Измерение температуры тела

Тепловое состояние тела характеризуется его температурой. Чтобы ее определить, необходимо установить способ измерения данной физической величины и найти измеритель, с помощью которого она может быть определена количественно. По разным причинам мы не можем это сделать таким же образом, как при измерении длины или массы тела, т. е. сравнить свойство с эталоном. Поэтому температуру тел измеряют другим способом.

В 1742 г. шведский ученый А. Цельсий предложил измерять температуру на основе свойства тела расширяться при его нагревании. Он изобрел прибор, названный термометром, который состоял из маленькой колбочки-резервуара 3, заполненной жидкостью (спиртом или ртутью), тонкой капиллярной трубочки 2 и шкалы 1 (рис. 135). Цельсий предложил температур-

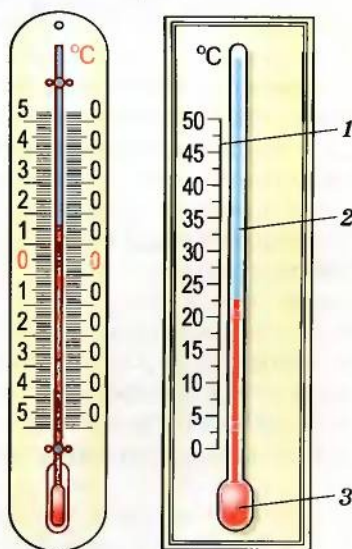


Рис. 135. Устройство термометра

ную шкалу, в которой «0» соответствовал температуре плавления льда, а температуру кипения воды обозначил «100»¹.

Принцип действия такого жидкостного термометра основывается на том, что благодаря контакту колбочки с телом, температуру которого следует измерить, между ними устанавливается тепловое равновесие, и температура колбочки становится равной температуре тела. Жидкость в колбочке вследствие изменения температуры будет либо расширяться (при нагревании),

либо уменьшать свой объем (при охлаждении). Поскольку изменение объема незначительно, чтобы его можно было зафиксировать, к колбочке присоединяют тонкую трубочку-капилляр. Благодаря ей можно визуально наблюдать даже незначительные изменения объема жидкости в колбочке, поскольку диаметр трубочки очень маленький.

Для того чтобы количественно определить температуру тела, необходимо установить размер единицы температуры и проградуировать температурную шкалу. Продемонстрируем это на опыте, который отражает ход рассуждений А. Цельсия в построении температурной шкалы, названной в его честь.

Сначала поместим термометр в сосуд с тающим льдом (рис. 136, а). Затем, через некоторое время, после установления теплового равновесия обозначим уровень жидкости в капиллярной трубочке меткой «0». После этого перенесем термометр в сосуд с кипящей водой (рис. 136, б). В результате нагревания жидкость в колбочке увеличит свой объем, уровень в капиллярной трубочке поднимется и остановится в точке, которую обозначим «100». Таким образом, мы зафиксировали значения, которые соответствуют температурам таяния льда и кипения воды. Очевидно, что при определенных условиях (нормальном атмосферном давлении, равном 760 мм рт. ст. или 101 293 Па) эти значения температуры легко воспроизвести, поскольку они постоянны.

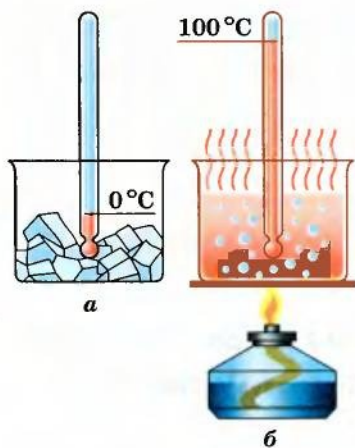


Рис. 136. Построение температурной шкалы Цельсия

¹ В действительности он построил обратную шкалу, ноль которой соответствовал температуре кипения воды, а 100 – температуре плавления льда. Однако со временем для удобства эти точки поменяли местами.

Если теперь разделить интервал между этими метками на 100 равных частей, то получим температурную шкалу, предложенную А. Цельсием. Единица температуры на этой шкале называется градусом Цельсия (обозначается $^{\circ}\text{C}$).

В быту мы, как правило, пользуемся температурной шкалой Цельсия, поскольку она удобна для измерения температур в пределах значений, привычных для жизнедеятельности человека (погодные условия, температура человеческого тела и т. п.). Вместе с тем в физике чаще применяют абсолютную шкалу температур, которую предложил английский ученый В. Томсон, лорд Кельвин. Ноль этой шкалы соответствует такому тепловому состоянию тела, при котором прекращается тепловое движение атомов и молекул. Установлено, что это происходит при температуре $-273,15^{\circ}\text{C}$. Эту температуру называют абсолютным нулем температуры.

Международной системой единиц в качестве основной единицы температуры принята единица абсолютной шкалы «кельвин» (обозначается К). По размеру кельвин равен градусу Цельсия: $1\text{ К} = 1^{\circ}\text{C}$. Перевод температуры из одной шкалы в другую производится по формуле: $T = t + 273$. Например, комнатная температура 20°C в абсолютной шкале температур будет равна 293 К. Отметим, что в большинстве измерений применяют признанную мировым сообществом единицу температуры – кельвин. Однако, в случаях, когда температуру определяют по шкале Цельсия, используют обозначение $^{\circ}\text{C}$.

Температуры таяния льда и кипения воды называют реперными точками шкалы Цельсия.



Температуру по абсолютной шкале температур обозначают буквой T , а по шкале Цельсия – t .



155

1. Почему при измерении температуры собственного тела человек должен держать термометр несколько минут?
2. Известный английский ученый И. Ньютон предложил прототип термометра, одной из реперных точек которого была температура тела человека. Предложите собственную конструкцию медицинского термометра и способ градуирования температурной шкалы, построенной на значениях температуры человеческого тела.
3. Когда мы снимаем показания термометра, то определяем температуру тела или температуру самого термометра?
4. Как известно, при измерении температуры изменяется не только объем жидкости, но и стеклянной колбочки, в которой она находится. Влияет ли это на показания термометра и как? Что следует сделать, чтобы это влияние было минимальным?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Измерение температуры разными термометрами

Цель. Овладеть навыками измерения температуры тел с помощью различных термометров.

Оборудование: разные виды термометров (рис. 137), химический стакан или калориметр, колба с теплой водой.

Указания к работе

Конструктивно все термометры состоят из измерительного элемента и температурной шкалы. В основе действия измерительного элемента лежит определенное его свойство, которое зависит от температуры. Например, для жидкостных термометров – это зависимость объема жидкости от температуры; для электрических термометров – зависимость силы тока от температуры.

До сих пор наиболее распространенными остаются жидкостные термометры. Однако в последнее время их начинают вытеснять электрические термометры, которые точнее и имеют более широкий диапазон измерения температур. Существуют также другие приборы для измерения температуры. Например, в металлургии температуру расплавленного металла определяют по его цвету.

Измерение температуры тела требует соблюдения определенных правил.

1. Прежде всего необходимо обеспечить надежный контакт термометра с телом, температуру которого измеряют, чтобы между ними происходил полноценный теплообмен.

2. Соприкасаться с телом должен лишь измерительный элемент, на-



Рис. 137. Разные виды термометров

пример колбочка с термометрической жидкостью. Не следует пытаться полностью погрузить термометр в исследуемое тело.

3. Надо выждать некоторое время, чтобы прекратился теплообмен между телом и термометром и их температуры сравнялись.

4. Следует помнить, что термометры – очень хрупкие измерительные приборы, и поэтому требуют бережного обращения с ними. Сразу после завершения измерения их надо класть в футляр или такое место, где возможно обеспечить их надежное хранение.

Выполнение работы

1. Ознакомьтесь с устройством различных термометров. Выясните особенности их применения при измерении температуры.

2. Определите диапазон измерения температуры каждого из термометров, цену деления и соответствующие единицы измерения температуры.

3. С помощью различных термометров измерьте температуру одного и того же тела, сравните результаты и сделайте вывод.

4. Определите погрешность измерения для каждого термометра и выясните, какой из них наиболее точный.

157

§ 50. Внутренняя энергия тел. Два способа изменения внутренней энергии

До сих пор тепловое состояние тел мы связывали с температурой и не выясняли, какое свойство характеризует эта физическая величина, от чего зависит и что определяет.

Как известно, атомно-молекулярное учение о строении вещества дает нам общее представление о зависимости хаотического движения атомов и молекул от температуры: чем она выше, тем быстрее движутся микрочастицы, из которых состоит тело.

Тепловое движение – это хаотическое (неупорядоченное) движение атомов, молекул и других микрочастиц, скорость которых зависит от температуры тела.



Следовательно, соотнося скорость движения атомов и молекул с температурой, мы можем констатировать, что это движение характеризует тепловое состояние тела, т. е. хаотическое движение микрочастиц, из которых состоит тело, является, по сути, тепловым движением.

Атомы и молекулы постоянно находятся в движении, поэтому они обладают кинетической энергией. В результате столкно-

вений между собой они имеют разные скорости, поэтому следует учитывать их среднюю кинетическую энергию, которая и определяет температуру тела. Этот вывод, сделанный Дж. Максвеллом в XIX в., положен в основу современной молекулярно-кинетической теории строения вещества.



Наличие внутренней энергии у всех тел обусловлено тепловым движением и взаимодействием атомов и молекул, из которых состоят тела.

Другое предположение, высказанное выдающимся немецким физиком Л. Больцманом о потенциальной энергии взаимодействия атомов и молекул, дополняет предыдущий вывод. Ведь согласно атомно-молекулярному учению микрочастицы взаимодействуют между собой. В газах – это кратко-

временные столкновения. В жидкостях и твердых телах – продолжительное взаимодействие, благодаря которому атомы и молекулы находятся в относительно устойчивых положениях.

158

Оба предположения, сделанные Дж. Максвеллом и Л. Больцманом, дают основание утверждать, что каждое тело обладает внутренней энергией, состоящей из кинетической энергии теплового движения атомов и молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.

Тепловые явления и процессы протекают таким образом, что, как правило, происходит изменение внутренней энергии или выполнение работы. Например, если нагревать какой-то предмет, то средняя кинетическая энергия его молекул возрастает, поскольку повышается температура тела. Следовательно, возрастает и внутренняя энергия тела.

Нам известно, что изменить температуру тела можно не только в результате передачи теплоты, но и за счет выполнения механической работы. Например, если молотком несколько раз ударить по металлической пластине, то она нагреется. Рассмотрим подробнее способы изменения внутренней энергии тела.



Теплопередача может происходить с поглощением теплоты или ее отдачей.

Одним из наиболее распространенных тепловых процессов является передача энергии от одних тел другим в результате теплообмена, когда более нагретые тела отдают теплоту менее нагретым. Этот процесс называется *теплопередачей*.

Количественно его характеризует физическая величина, которая называется *количеством теплоты* (обозначается Q).

Как и энергия, количество теплоты измеряется в джоулях (Дж). Для тепловых процессов это довольно маленькая единица. Например, для нагревания 1 г воды на 1 К необходимо затра-

тить 4,19 Дж теплоты. Поэтому используют кратные единицы количества теплоты – килоджоуль (кДж) и мегаджоуль (МДж):

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} = 10^3 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж} = 10^6 \text{ Дж}.$$

Раньше для измерения количества теплоты применяли единицу, которая называется *калорией* (от лат. *calor* – тепло). 1 калория равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 г воды для ее нагревания на 1 К. Сейчас эту единицу используют для определения энергетической ценности пищевых продуктов (ее можно найти на упаковках многих продуктов).

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ ккал} \approx 4200 \text{ Дж}.$$

При теплопередаче либо происходит повышение или понижение температуры тела, либо изменяется агрегатное состояние вещества (плавление твердых тел, испарение жидкостей и т. д.). Например, вода, помещенная в морозильную камеру холодильника, постепенно охлаждается, отдавая часть своей тепловой энергии камере; через определенное время, когда ее температура достигнет 0 °С, она начнет превращаться в лед. То есть в результате теплообмена вода теряет часть внутренней энергии, поэтому ее температура снижается, а затем изменяется ее агрегатное состояние. Изменение внутренней энергии в результате теплопередачи равно количеству теплоты, полученному телом или отданному им: $\Delta U = Q$.

Другой способ изменения внутренней энергии обусловлен выполнением работы. Убедимся в этом на опыте. Нальем в колбу миксера воду и измерим ее температуру. Затем включим миксер на несколько минут и снова измерим температуру воды после его выключения. Полученные результаты свидетельствуют, что она повысилась. Это можно объяснить лишь тем, что вследствие выполнения миксером работы (других процессов при этом не происходило) увеличилась средняя кинетическая энергия молекул воды. Очевидно, что в данном случае изменение внутренней энергии равно выполненной работе: $\Delta U = A$.

Многочисленные факты и жизненный опыт подтверждают, что существует лишь два способа изменения внутренней энергии тела – теплопередача и выполнение работы (рис. 138). Если эти два процесса



Рис. 138. Два способа изменения внутренней энергии тела

происходят одновременно, то изменение внутренней энергии тела будет равно сумме работы, выполненной над телом, и количества теплоты, переданного этому телу: $\Delta U = A + Q$.

Следовательно, на основании многолетнего опыта человечества и научных фактов можно утверждать, что все тела обладают внутренней энергией, которая состоит из кинетической энергии теплового движения атомов и молекул и потенциальной энергии их взаимодействия. Внутренняя энергия тела может изменяться в результате двух процессов – теплопередачи и выполнения работы.



1. Какими двумя способами можно изменить внутреннюю энергию тела? Приведите примеры для каждого из них.
2. На основании приведенных примеров выполнения работы объясните превращения энергии, которые при этом происходят.
3. Объясните теплообменные процессы, происходящие при таянии льда и нагревании образовавшейся воды.
4. Нагретый на солнце камень бросили в холодную воду. Каким образом будет происходить теплопередача? Когда она прекратится?
5. Молоток нагревается, если им забивать гвозди либо поместить его в огонь. Можно ли установить, каким из способов изменена его внутренняя энергия, если сам процесс нагревания мы не наблюдали?

§ 51. Виды теплопередачи

Известно, что теплота передается от более нагретых тел к менее нагретым. Однако нам пока что неизвестно, каким образом это происходит. Одинаково ли протекают теплообменные процессы в твердых телах, жидкостях и газах? Какова природа передачи теплоты? Чтобы ответить на эти вопросы, проведем эксперимент.

Возьмем железный гвоздь и стеклянную палочку и будем нагревать их концы в пламени газовой горелки (рис. 139). Через некоторое время мы почувствуем тепло. К пальцам, которые держат железный гвоздь, оно дойдет быстрее, и вскоре



Рис. 139. Нагревание железного гвоздя и стеклянной палочки в пламени горелки

мы не сможем гвоздь удержать, поскольку его температура значительно повысится. Стекланную же палочку мы еще долго сможем держать, хотя со временем и ее температура повысится до такой степени, что будет печь пальцы.

Рассмотрим механизм передачи теплоты в данном случае. Как известно, повышение температуры свидетельствует об увеличении средней кинетической энергии микрочастиц тела, из которых оно состоит. В пламени горелки молекулы воздуха имеют энергию значительно большую, чем молекулы не нагретых стекланной палочки и железного гвоздя. Поэтому во время столкновения они передают им часть своей энергии, вследствие чего температура концов палочки и гвоздя постепенно повышается. В свою очередь, микрочастицы нагретых концов палочки и гвоздя, получив дополнительную кинетическую энергию, частично отдают ее соседним атомам и молекулам, а те — далее.

Такая передача энергии в результате столкновения частиц происходит как бы по цепочке, последовательно слой за слоем, и со временем температура всех частей тела выравнивается. Поскольку атомы и молекулы твердых тел не перемещаются от одного конца к другому, то и переноса вещества при этом не происходит. Такой вид теплопередачи от более нагретых частей тела к менее нагретым, который вызывает выравнивание температур без переноса вещества, называется *теплопроводностью*.

Опытным путем мы убедились, что вещества имеют различную теплопроводность. У металлов она больше. Наилучшими проводниками теплоты являются медь и серебро. Значительно хуже тепло распространяется в древесине, кирпиче, тканях, бумаге и т. д. Существуют вещества, плохо проводящие теплоту: асбест, полистирол, вата и т. п. Их применяют для теплоизоляции, например при утеплении жилых помещений. Хуже всех проводят теплоту газы, особенно разреженные. Это их свойство применяют, в частности, в термосах, чтобы продолжительное время сохранять в них жидкости при постоянной температуре (рис. 140).

Существует также иной вид теплопередачи, который в отличие от теплопроводности сопровождается переносом вещества. Его называют *конвекцией*, и он присущ жидкостям и газам.

Для наблюдения конвекции в жидкости нальем в колбу воду и будем ее нагревать (рис. 141). Чтобы лучше видеть перемещение по-



Рис. 140. Устройство термоса

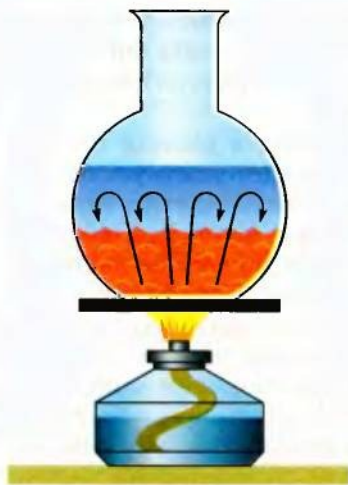


Рис. 141. Конвекция
в жидкостях

токов жидкости, бросим в воду два-три зернышка перманганата калия (в быту – марганцовки). Мы увидим, что нижние слои воды поднимаются вверх, а верхние опускаются вниз. Это можно объяснить тем, что нижние нагретые слои воды, плотность которых меньше, вытесняются наверх более тяжелыми холодными слоями, плотность которых больше. Поскольку имеет место разница плотностей, возникает выталкивающая сила, которая способствует перемешиванию холодных и теплых слоев воды. Перенос вещества конвекционными потоками происходит до тех пор, пока существует разность температур между слоями жидкости.

162

Конвекция обуславливает множество явлений природы и процессов, происходящих в повседневной жизни. Например, благодаря ей происходит обогрев комнаты от системы отопления: потоки теплого воздуха от обогревателя (радиатора) поднимаются вверх, а холодный воздух замещает его, нагревается от радиатора и вытесняется холодным воздухом. Такая циркуляция холодного и теплого воздуха выравнивает температуру в разных уголках комнаты и обеспечивает ее обогрев.

Кроме теплопроводности и конвекции, благодаря которым осуществляется теплопередача (с переносом вещества или без него), существует особый вид теплообмена, обусловленный излучением, подобно световому. Иногда его называют лучистым теплообменом. Тела не только излучают тепловую энергию, но и поглощают ее. Например, Земля поддерживает жизнедеятельную температуру благодаря солнечному излучению, которое она поглощает.

Тепловое излучение обусловлено преобразованием части внутренней энергии тел в энергию излучения; и наоборот, энергия поглощенного теплового излучения превращается во внутреннюю энергию. Энергия излучения зависит от многих факторов, в частности от температуры тела: чем она выше, тем больше энергии излучает тело. Действительно, если ладони рук поочередно подносить к холодному и нагретому предметам, например к чайнику, то мы почувствуем теплоту лишь от горячего чайника. Однако это не значит, что тела, имеющие низкую температуру, не излучают тепловую энергию. Просто следует учитывать, что энергия, которую они отдают, меньше той, ко-

торую излучают тела с более высокой температурой.

Лед тоже излучает теплоту! Почему же нам кажется, что от него «тянет холодом»? Такое ощущение возникает потому, что рука поглощает меньше тепловой энергии, чем сама излучает, ведь ее температура выше (рис. 142). Фактически нарушен баланс между получаемой энергией и той, которую рука отдает. Поэтому мы ощущаем холод, идущий ото льда.

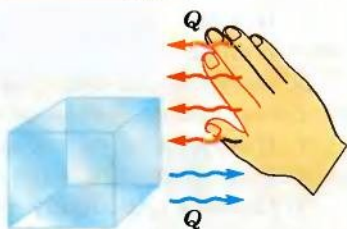


Рис. 142. Ощущение холода, идущего ото льда

Кроме температуры, тепловое излучение зависит также от цвета поверхности тела и ее состояния: шероховатые и черные поверхности излучают и поглощают теплоту лучше, чем гладкие и блестящие. Поэтому, например, рефрижераторы (автомобильные или железнодорожные холодильные камеры) красят в серебристый или белый цвет.

Следовательно, в зависимости от природы теплообмена различают три вида теплопередачи:

- *теплопроводность*, которая обусловлена взаимодействием атомов и молекул вещества и осуществляется без переноса вещества;
- *конвекция*, присущая теплообмену в жидкостях и газах, которая протекает путем перемешивания теплых и холодных потоков вещества;
- *тепловое излучение*, которое свойственно всем телам, поскольку они обладают внутренней энергией, часть которой преобразуется в энергию излучения.

163

1. Какие виды теплопередачи существуют в природе?
2. В чем состоит суть теплопроводности? Объясните ее механизм.
3. Правильно ли с физической точки зрения высказывание, что шуба греет?
4. В чем отличие теплопроводности и конвекции? Может ли в твердых телах теплопередача осуществляться за счет конвекции?
5. Чем объясняется образование морского бриза (ветра на границе воды и суши)?
6. Благодаря какому виду теплопередачи мы ощущаем теплоту костра?



Упражнение 30

1. Если закрытую пробкой пробирку нагревать на пламени, через определенное время пробка «выстрелит». Какие изменения энергии происходят во время этого опыта?

2. В жару жители пустынь одевают «теплую» (ватную или меховую) одежду. Чем это объясняется?

3. Каскадеры, исполняющие трюки с огнем, смазывают свое тело вазелином. Зачем они это делают?

4. Почему в сильный мороз металлические предметы кажутся нам на прикосновение более холодными, чем деревянные?

5. Почему сковороду делают из металла, а ручку к ней – из древесины или пластмассы?

6. Почему летом мы одеваем светлую одежду?

7. Почему в современных окнах ставят стеклопакеты – двойное стекло, из объема между поверхностями которого откачан воздух?

§ 52. Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества

164

Многочисленные факты свидетельствуют о том, что одним из следствий теплопередачи является изменение температуры тела. Действительно, если на плите подогревать воду в чайнике, то ее температура будет повышаться и в конечном итоге она закипит. Таким же образом кузнец раскаляет в горне деталь, которую собирается обрабатывать. Ее температура повышается вследствие передачи определенного количества теплоты, и чем больше она его получит (например, чем дольше ее будут нагревать), тем выше будет температура детали. Следовательно, в процессе теплопередачи изменение температуры тела Δt зависит от количества теплоты Q , переданного телу; и наоборот, количество теплоты Q , полученное телом, прямо пропорционально изменению температуры: $Q \sim \Delta t$.

Из курса математики известно, чтобы записать равенство, надо найти коэффициент пропорциональности:

$$Q = C \Delta t.$$

Коэффициент пропорциональности C называют *теплоемкостью тела*. Он показывает, какое количество теплоты необходимо передать (отобрать) данному телу, чтобы увеличить (уменьшить) его температуру на 1 К. Теплоемкость тела измеряется в джоулях на кельвин $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right)$.

Теплоемкость тела $500 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ означает, что для повышения его температуры на 1 К телу надо предоставить 500 Дж теплоты.

Можно убедиться, что теплоемкость тела зависит от его массы и рода вещества, из которого оно изготовлено (рис. 143). С этой целью сообщим телам разной массы, например ведру воды ($m = 10 \text{ кг}$) и стакану воды ($m = 200 \text{ г}$), одинаковое количество теплоты 1000 Дж (при этом достаточно влить в них около 2 г кипятка). Очевидно, что температура воды в ведре практически не изменится, а температура стакана с водой повысится приблизительно на 1 К .

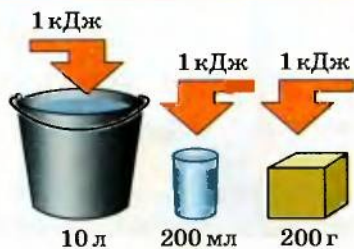


Рис. 143. Передача различным телам количества теплоты 1 кДж

Чем больше масса тела, тем большее количество теплоты необходимо ему передать, чтобы изменить температуру на 1 К .

Если теперь те же 1000 Дж теплоты передать телам одинаковой массы (например, 200 г), но изготовленным из различных веществ, то результат также будет отличаться. В данном случае температура железного предмета повысится на 10 К , свинцового – на 36 К , а масла – лишь на 3 К .

Следовательно, количество теплоты, поглощенное телом в результате теплопередачи, зависит от его массы, рода вещества и разности температур в конечном и начальном состояниях:

$$Q = cm(t - t_0) = cm\Delta t.$$

Если сравнить эту формулу количества теплоты с предыдущей, то можно убедиться, что существует величина $c = \frac{Q}{m\Delta t}$, которая не зависит от массы тела и характеризует, таким образом, теплоемкость вещества. Эту физическую величину назвали *удельной теплоемкостью вещества*. Она показывает, какое количество теплоты поглощает или отдает 1 кг вещества при изменении температуры тела на 1 К :

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}.$$

Из этой формулы можно установить, что удельная теплоемкость вещества измеряется в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Каждое вещество имеет определенное значение удельной теплоемкости (в таблице на форзаце приведены соответствующие значения). Это значит, что для разных веществ требуется

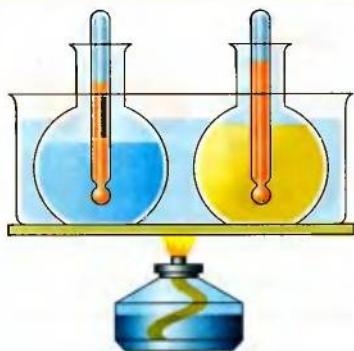


Рис. 144. Нагревание воды и подсолнечного масла в кювете

разное количество теплоты для изменения их температуры на 1 К. Подтвердим это утверждение опытным путем.

Возьмем две колбы и нальем в одну из них воду, а в другую подсолнечное масло равных масс. Чтобы теплопередача происходила в одинаковых условиях, поместим их в кювету с водой, которую будем нагревать на горелке (рис. 144). Теперь будем наблюдать за изменениями температуры воды и масла. Мы заметим, что температура масла растет быстрее, чем воды. Это значит, что для изменения температу-

ры подсолнечного масла на 1 К требуется меньшее количество теплоты, чем для воды.

166

Следовательно, физический смысл удельной теплоемкости вещества состоит в том, что эта физическая величина определяет, каким образом теплопередача влияет на тепловое состояние тела. Численное значение удельной теплоемкости вещества указывает, на сколько изменится при теплопередаче внутренняя энергия тела массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К. Например, значение удельной теплоемкости алюминия $900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ означает, что повышение температуры 1 кг алюминия на 1 К вызовет возрастание его внутренней энергии на 900 Дж.

1. Каков физический смысл теплоемкости тела и удельной теплоемкости вещества? В чем их отличие?
2. Запишите, чему равно соотношение между килоджоулем и мегаджоулем.
3. Что означает высказывание «теплоемкость тела равна $200 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ »?
4. Что означает высказывание «удельная теплоемкость вещества равна $2500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ »?
5. Телам одинаковой массы, одно из которых состоит из алюминия, а другое – из дерева, передано одинаковое количество теплоты. У какого из этих тел температура изменится больше?
6. В чем суть калориметрического метода измерения количества теплоты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Определение удельной теплоемкости вещества

Цель. Определить калориметрическим методом удельную теплоемкость вещества.

Оборудование: стакан с водой, калориметр, термометр, весы с разновесами, исследуемое тело (грузок), сосуд с горячей водой.

Указания к работе

С целью исследования теплообменных процессов применяют приборы, которые называются калориметрами (от лат. *calor* – тепло и греч. *metreo* – измеряю). Простейший калориметр состоит из тонкостенного цилиндра 3, внешнего сосуда 4, теплоизоляционной подставки 7, крышки 2 и термометра 1 (рис. 145).

Такое его устройство максимально сокращает внешние потери теплоты, которые сложно учитывать при измерениях. Он является основным средством в калориметрическом методе измерения. В основу этого метода положено равенство количества теплоты Q_T , отданного исследуемым телом, и количества теплоты Q_K , полученного калориметром и водой, находящейся в нем, в результате теплопередачи:

$$Q_T = Q_K.$$

Теплоемкость калориметра C является основной его характеристикой, которую экспериментально определяют заранее. Однако ее можно приблизительно рассчитать и с помощью формулы, если известна масса воды в калориметре m_v , масса тонкостенного цилиндра $m_{\text{ц}}$ и материал, из которого он изготовлен: $C = c_v m_v + c_{\text{ц}} m_{\text{ц}}$, где c_v – удельная теплоемкость воды; $c_{\text{ц}}$ – удельная теплоемкость материала цилиндра. Если учесть, что удельная теплоемкость цилиндра и его масса намного меньше массы и удельной теплоемкости воды в калориметре, то вторым слагаемым равенства можно пренебречь, поскольку он несущественно влияет на значение теплоемкости калориметра C . При таких условиях количество теплоты, отданное телом калориметру в результате теплообмена, равно количеству теплоты, которое получила вода в калориметре. Чтобы вычислить его, достаточно измерить изменение температуры воды:

$$Q_K = C \Delta t = c_v m_v \Delta t.$$

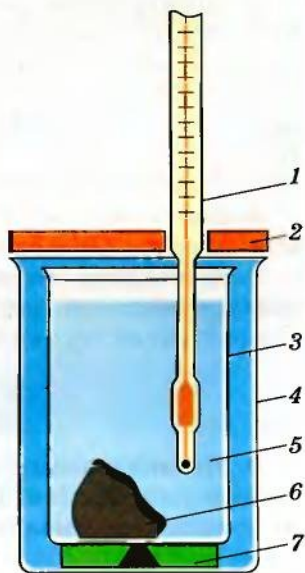


Рис. 145. Устройство калориметра

Выполнение работы

1. Налейте в калориметр холодную воду приблизительно на три четверти (так, чтобы при погружении исследуемого тела она не выливалась) и измерьте ее массу m_1 .

2. Определите начальную температуру воды в калориметре t_1 .

3. Измерьте с помощью весов массу тела m_2 , удельную теплоемкость которого вы будете определять.

4. Погрузите на несколько минут в горячую воду исследуемое тело, измерьте его температуру t_2 (это будет начальная температура тела), а затем перенесите тело в калориметр.

5. После того как настанет тепловое равновесие, вновь измерьте температуру воды в калориметре t_3 (это будет конечная температура тела).

6. Полученные данные запишите в таблице.

7. Вычислите количество теплоты Q_1 , полученное водой в калориметре: $Q_1 = c_1 m_1 (t_3 - t_1)$.

8. Вычислите затем удельную теплоемкость исследуемого тела c_2 , учитывая, что количество теплоты Q_2 , отданное телом, равно количеству теплоты Q_1 , полученному калориметром:

$$c_2 = \frac{Q_1}{m_2(t_2 - t_3)}.$$

9. По найденному значению удельной теплоемкости с помощью таблицы (см. форзац) определите, из какого вещества состоит исследуемое тело.

§ 53. Тепловой баланс

В жизненных ситуациях довольно часто возникает необходимость в определении значений физических величин, характеризующих теплообменные процессы после того, как настанет тепловое равновесие. Например, определить температуру после смешивания горячей и холодной воды, либо вычислить количество теплоты, полученное телом при теплопередаче, или найти, какую температуру будет иметь тело в результате теплообмена.



Для расчета тепловых процессов необходимо составить уравнение относительно количества теплоты, которое приобретают и отдают все тела, находящиеся в теплообменном процессе.

Во всех этих случаях надо составить уравнение, которое содержит неизвестные величины, и найти его решения относи-

тельно искомого. Для расчета теплообменных процессов применяют правила, позволяющие учитывать протекание тепловых явлений и процессов и находить искомые величины. Сформулируем их.

Во-первых, все тела, длительное время находящиеся в теплообменном процессе, достигают состояния теплового равновесия и их температуры выравниваются. На основании этого можно утверждать: если температура тела A равна температуре тела B , а температура тела B , в свою очередь, равна температуре тела C , то тела A и C также имеют одинаковые температуры.

Если $t_A = t_B$ и $t_B = t_C$, то $t_A = t_C$.

Во-вторых, следует учесть, что по закону сохранения энергии, который справедлив для всех явлений и процессов природы, теплота не может бесследно исчезнуть или возникнуть из ничего. В этой связи говорят об условии теплового баланса: в процессе теплопередачи одни тела отдают такое количество теплоты, какое получают другие тела.

$$Q_1^+ + Q_2^+ + Q_3^+ + \dots = Q_1^- + Q_2^- + Q_3^- + \dots$$

В-третьих, в физике принято приписывать положительное значение количеству теплоты, если тело его получает, и отрицательное значение, если оно отдает теплоту. На основании этого правила записывают уравнение теплового баланса: сумма количества теплоты, которое получили тела, равна сумме количества теплоты, которое другие тела отдали в результате теплопередачи.

Эти три правила определяют последовательность действий, которую целесообразно соблюдать при решении физических задач на расчет теплообменных процессов.

Шаг 1. Выяснить, какие тела участвуют в теплообмене.

Шаг 2. Выяснить, при какой температуре тела достигают состояния теплового равновесия. Если по условию задачи она не задана, обозначить ее буквой t .

Шаг 3. Установить, какие из тел отдают теплоту, а какие ее получают. Записать формулу количества теплоты для каждого из тел, находящихся в теплообменном процессе (при этом следует всегда от большего значения температуры отнимать меньшее).

Шаг 4. Составить уравнение теплового баланса. В левой его части записать сумму количества теплоты, которую получили тела при теплообмене, в правой – сумму количества теплоты, которую они отдали.

Шаг 5. Решить уравнение относительно искомой величины и найти ее значение.

Приведем примеры решения задач на расчет теплообменных процессов.

Задача 1. Какой станет температура воды, если смешать 100 г кипятка и 100 г воды, температура которой 20 °С?

Дано:

$$m_1 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг},$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг},$$

$$t_1 = 100 \text{ °С},$$

$$t_2 = 20 \text{ °С},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$t - ?$$

Решение

Согласно условию теплового баланса количество теплоты Q_1 , отдаваемое кипятком, равно количеству теплоты Q_2 , которое получает холодная вода, достигая температуры t , то есть $Q_1 = Q_2$.

$$Q_1 = cm_1(t_1 - t); Q_2 = cm_2(t - t_2).$$

$$cm_1(t_1 - t) = cm_2(t - t_2).$$

$$\text{Отсюда } 100 \text{ °С} - t = t - 20 \text{ °С};$$

$$2t = 120 \text{ °С}, t = 60 \text{ °С}.$$

Ответ. Температура воды будет равна 60 °С.

170

Задача 2. В алюминиевую кастрюлю массой 1,5 кг налили 800 г воды при комнатной температуре (20 °С). Сколько кипятка следует долить в кастрюлю, чтобы температура воды повысилась до 45 °С?

Дано:

$$t_1 = 100 \text{ °С},$$

$$c_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$m_2 = 800 \text{ г} = 0,8 \text{ кг},$$

$$t_2 = t_3 = 20 \text{ °С},$$

$$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$m_3 = 1,5 \text{ кг},$$

$$t = 45 \text{ °С},$$

$$c_3 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$m_1 - ?$$

Решение

В теплообмене участвуют алюминиевая кастрюля, кипяток и холодная вода. По условию теплового баланса количество теплоты Q_1 , отданное кипятком, равно количеству теплоты, которое получили холодная вода Q_2 и кастрюля Q_3 , нагреваясь до температуры 45 °С:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

$$Q_1 = c_1 m_1(t_1 - t); Q_2 = c_2 m_2(t - t_2);$$

$$Q_3 = c_3 m_3(t - t_3).$$

$$c_1 m_1(t_1 - t) = c_2 m_2(t - t_2) + c_3 m_3(t - t_3).$$

$$4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot m_1(100 \text{ °С} - 45 \text{ °С}) =$$

$$= 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,8 \text{ кг} \cdot (45 \text{ °С} - 20 \text{ °С}) +$$

$$+ 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 1,5 \text{ кг} \cdot (45 \text{ °С} - 20 \text{ °С}).$$

Отсюда $231\,000 \cdot m_1 = 117\,750$ кг;
 $m_1 \approx 0,51$ кг.

Ответ. Необходимо долить 0,51 кг кипятка.

Задача 3. В алюминиевый калориметр, масса которого 100 г, налили 100 г воды при комнатной температуре. Затем в него погрузили тело массой 150 г, температура которого 80°C . Через некоторое время температура в калориметре стала 27°C . Определить удельную теплоемкость тела, погруженного в калориметр.

Дано:

$$m_1 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг},$$

$$c_1 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг},$$

$$t_1 = t_2 = 20^\circ\text{C},$$

$$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$m_3 = 150 \text{ г} = 0,15 \text{ кг},$$

$$t_3 = 80^\circ\text{C},$$

$$t = 27^\circ\text{C}.$$

$$c_3 = ?$$

Решение

В результате теплообмена между калориметром, водой и телом температура в калориметре повысилась от 20 до 27°C . По условию теплового баланса количество теплоты Q_3 , отданное телом, равно сумме количества теплоты, которое получила вода в калориметре Q_2 и сам калориметр Q_1 , т. е.:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2.$$

$$Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1); Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2);$$

$$Q_3 = c_3 m_3 (t_3 - t).$$

$$c_3 m_3 (t_3 - t) = c_1 m_1 (t - t_1) + c_2 m_2 (t - t_2).$$

$$c_3 \cdot 7,95 \text{ кг} \cdot \text{К} = 3570 \text{ Дж};$$

$$c_3 = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Ответ. Удельная теплоемкость тела равна $450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, т. е. оно изготовлено из железа.

1. Докажите математически, что количество теплоты, отданное телом, является отрицательной величиной.
2. Какое утверждение является основанием условия теплового баланса?
3. Может ли хотя бы одно тело, пребывая в состоянии теплового равновесия с другими телами, иметь иную температуру, чем эти тела?
4. Сформулируйте правило, согласно которому составляют уравнение теплового баланса.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Сравнение количества теплоты при смешивании воды различной температуры

Цель. Опытным путем убедиться, выполняется ли уравнение теплового баланса при смешивании воды различной температуры.

Оборудование: калориметр, термометр, мерный цилиндр или мензурка, стакан, сосуд с водой.

Указания к работе

Как известно, уравнение теплового баланса предусматривает учет всех тел, которые участвуют в теплообмене. Однако на практике это сделать не всегда возможно, поскольку неизбежны потери некоторого количества теплоты в окружающую среду или иные процессы, тепловой эффект которых сложно учесть. Поэтому исследуя теплообменные процессы, в частности при смешивании воды различной температуры, важно по возможности уменьшить такие потери теплоты. Тогда и результаты будут точнее, и эксперимент более надежным.

Чаще всего для изучения теплообменных процессов используют калориметр с двойными теплоизолирующими стенками, обеспечивая таким образом уменьшение теплообмена калориметра с окружающей средой. Это дает возможность упростить уравнение теплового баланса, поскольку уменьшается число слагаемых. Кроме того, при выполнении опыта следует сокращать время на подготовительную работу и проводить его четко и слаженно. При этом важно вовремя зафиксировать состояние теплового равновесия, когда показания термометра будут оставаться постоянными.

В школьных условиях сложно обеспечить высокую точность калориметрических измерений. Поэтому вычисления целесообразно проводить лишь с двумя значащими цифрами.

Выполнение работы

1. С помощью мерного цилиндра или мензурки отмерьте 100 мл холодной воды (желательно комнатной температуры) и налейте ее в стакан. Измерьте ее температуру.

2. Налейте в калориметр приблизительно столько же горячей воды и измерьте ее температуру.

3. Осторожно налейте со стакана в калориметр холодную воду и через некоторое время, когда установится тепловое равновесие, измерьте температуру смеси.

4. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица

Масса холодной воды m_1 , г	Температура холодной воды t_1 , °C	Масса горячей воды m_2 , г	Температура горячей воды t_2 , °C	Температура смеси t , °C

5. Вычислите количество теплоты Q_1 , полученное холодной водой в результате теплопередачи:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1).$$

6. Вычислите количество теплоты Q_2 , отданное горячей водой:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t).$$

7. Сравните полученные значения и сделайте вывод.

173

Упражнение 31

1. Чему равна теплоемкость алюминиевого калориметра массой 150 г?

2. В результате охлаждения керосина на 30 °C выделилось 25,2 кДж теплоты. Найти массу керосина.

3. Для нагревания детали массой 10 кг от 20 до 120 °C надо такое же количество теплоты, какое выделяется при охлаждении 1 кг воды на 90 °C. Из какого вещества изготовлена эта деталь?

4. Стальному бруску объемом 300 см³ передано 117 кДж теплоты. На сколько изменилась температура бруска?

5. В железную кастрюлю массой 1,5 кг налили 2,5 кг воды, температура которой равна 20 °C. Какое количество теплоты необходимо передать кастрюле, чтобы вода в ней закипела?

6. В железный котел массой 10 кг налито 20 кг воды при температуре 10 °C. Какое количество теплоты необходимо передать котлу, чтобы вода закипела?

7. В кастрюле смешали 0,8 кг воды, температура которой 25 °C, и 0,2 кг кипятка. Какова температура смеси? Какое количество теплоты отдал кипяток? Какое количество теплоты получила вода?


8. В калориметр, в котором было 100 г воды при температуре 20 °C, налили воду, температура которой 80 °C. В результате температура в калориметре стала равной 30 °C. Сколько горячей воды налили в калориметр?

9. В калориметр, в котором находится 200 г воды при температуре 10 °С, положили медный брусок массой 50 г, температура которого 100 °С. Определить температуру калориметра.

§ 54. Теплота сгорания топлива. КПД нагревателя

Довольно часто люди получают тепловую энергию за счет химической реакции горения, которая сопровождается выделением определенного количества теплоты. Например, во время сгорания природного газа, используемого в быту, происходит химическая реакция окисления с выделением теплоты, в результате которой образуется оксид карбона CO_2 и вода. Расчет показывает, что при сгорании 1 м³ природного газа, состоящего на 90 % из метана CH_4 , выделяется примерно 40 МДж теплоты. Этого достаточно, чтобы нагреть почти 100 л воды от 0 до 100 °С.

Естественно, что разные вещества при горении выделяют разное количество теплоты. Наивысшую *теплотворную способность* имеют вещества, называемые топливом. Для ее характеристики применяют физическую величину, которая называется *удельной теплотой сгорания* топлива (обозначается q). Единицей удельной теплоты сгорания топлива является джоуль на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$. Значения удельной теплоты сгорания некоторых видов топлива приведены в таблице на форзаце.

 Химическая реакция, во время которой происходит окисление, сопровождаемое выделением теплоты, называется горением.

Существуют различные виды топлива: твердое (уголь, дрова, сланцы, торф), жидкое (бензин, мазут, керосин, дизтопливо, спирт), газообразное (метан, пропан, ацетилен).

Числовое значение удельной теплоты сгорания показывает, какое количество теплоты получают при сгорании 1 кг топлива. Например, при сжигании 1 кг сухих дров выделяется приблизительно 12 000 кДж теплоты. Для того чтобы вычислить количество теплоты, получаемое в результате сгорания произвольного количества топлива, необходимо удельную теплоту сгорания умножить на его массу:

$$Q = qm.$$

Задача. Какое количество теплоты выделится при сгорании 40 кг каменного угля? Сколько воды можно нагреть от 10 до 60 °С, используя это количество теплоты?

Дано:

$$m_1 = 40 \text{ кг},$$

$$q = 25\,000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{С},$$

$$t_2 = 60 \text{ }^\circ\text{С}.$$

$$Q - ?$$

$$m_2 - ?$$

Решение

$$Q = qm_1; Q = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} = 1000 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 1000 \text{ МДж}.$$

Из формулы количества теплоты $Q = cm_2(t_2 - t_1)$ находим массу воды:

$$m_2 = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)} = 4800 \text{ кг}.$$

Ответ. При сгорании 40 кг каменного угля выделится 1000 МДж теплоты; за счет этого количества теплоты можно нагреть 4800 кг воды от 10 до 60 °С.

175

В процессе теплопередачи часто применяют нагреватели, с помощью которых можно использовать полученную тепловую энергию от сгорания топлива – газовые горелки, спиртовки, различные печи и т. д. При этом получаемое от сгорания топлива количество теплоты частично идет на нагревание тел, а часть уходит на неэффективные потери (рассеивание в окружающую среду, обогрев самого нагревателя и т. д.). Поэтому вводят коэффициент полезного действия нагревателя, который определяет в процентном отношении ту часть теплоты $Q_{\text{п}}$, что пошла на нагревание, относительно всего количества теплоты Q , полученного от сгорания топлива:

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q} \cdot 100 \text{ } \%$$

КПД нагревателя характеризует эффективность использования тепловой энергии, полученной в результате сгорания топлива.



Как следует из формулы, чтобы повысить КПД нагревателя, надо увеличить полезно используемую часть тепловой энергии $Q_{\text{п}}$, т. е. уменьшить расход теплоты не по назначению.

1. Что такое горение?
2. Почему для получения тепловой энергии используют топливо?
3. В чем состоит физический смысл удельной теплоты сгорания топлива?
4. Используя таблицу значений удельной теплоты сгорания топлива (см. форзац), выясните, какое вещество имеет наибольшую, а какое – наименьшую теплотворную способность.
5. Оцените по теплотворной способности, чем выгоднее топить печь – углем или дровами.
6. На основании устройства любого нагревателя предложите конструктивное решение для повышения КПД нагревателя.

Упражнение 32

1. При полном сгорании бензина выделилось $1,63 \cdot 10^7$ кДж теплоты. Сколько бензина сгорело?

2. Сколько дров надо сжечь, чтобы получить такое же количество теплоты, как от сгорания 1,5 кг бензина?

3. Сколько керосина надо сжечь, чтобы нагреть 3 л воды от 20 °С до температуры кипения, если на эти цели идет 60 % энергии?

4. До какой температуры можно нагреть 50 л воды, температура которой 20 °С, если сжечь 100 г бензина? КПД нагревателя равен 50 %.

5. Чему равен КПД спиртовки, если для повышения температуры 0,5 л воды на 5 °С сожгли 1 г спирта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Определение КПД нагревателя

Цель. Экспериментально найти КПД нагревателя.

Оборудование: сосуд с водой, мензурка, алюминиевый стакан, термометр, весы с разновесами, нагреватель (сухое топливо или свеча).

Указания к работе

Чтобы определить КПД нагревателя, необходимо знать, какая часть количества теплоты, полученной от сгорания топлива, пошла на нагревание тела. С этой целью можно использовать нагревание воды в алюминиевом стакане с помощью какого-либо нагревателя (рис. 146).



Рис. 146. Определение КПД нагревателя

В данном случае количество теплоты, переданной стакану с водой, вычисляется по формуле: $Q_{\text{п}} = c_1 m_1 \Delta t + c_2 m_2 \Delta t$. Количество теплоты, полученной от сгорания топлива, можно вычислить по формуле: $Q = q m_3$. Сравнивая эти величины, можно найти КПД нагревателя:

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q} \cdot 100 \, \%.$$

Выполнение работы

1. Используя таблицы значений физических величин (см. форзац), найдите удельные теплоемкости воды c_1 и алюминия c_2 , удельную теплоту сгорания топлива нагревателя q .

2. С помощью весов измерьте массу алюминиевого стакана m_2 и массу нагревателя до его использования.

3. Налейте в стакан примерно 100–150 г воды и измерьте ее массу m_1 .

4. С помощью термометра определите начальную температуру воды.

5. Подожгите нагреватель и с его помощью нагревайте алюминиевый стакан с водой. После того как температура воды повысится на 20–25 °С, загасите нагреватель и определите массу использованного топлива m_3 как разность массы нагревателя до и после его использования.

6. Применив приведенные выше формулы, найдите КПД нагревателя.

7. Объясните, какие потери теплоты происходили во время опыта.

§ 55. Плавление твердых тел. Кристаллизация

Как известно, при определенных условиях тело может находиться в том или ином агрегатном состоянии – твердом, жидком или газообразном. В обычных условиях древесина, гранит, железо и другие металлы – это твердые тела; вода, бензин, ацетон – это жидкости; воздух, метан, кислород – газы. Вместе с тем изменение физических условий, в частности температуры тел, может вызвать качественные преобразования их свойств: твердые тела могут стать жидкостями, а жидкости, в свою очередь, образовать газообразный пар; и наоборот, газы могут стать сжиженными, а жидкости отвердеть.

Такие преобразования происходят вследствие теплопередачи, которая вызывает соответствующее изменение внутренней энергии тел. Если, например, твердому телу передать некото-

рое количество теплоты, то его температура начнет повышаться и со временем, при достижении определенного значения температуры, оно может начать плавиться. Тепловой процесс, в результате которого твердое тело переходит в жидкое состояние, называется *плавлением*.

У разных твердых тел процесс плавления протекает по-разному. Одни тела (их называют кристаллическими) начинают плавиться при строго определенной температуре, которая называется *температурой плавления*. У других тел (их называют аморфными) такой фиксированной температуры плавления не существует. Кристаллические тела имеют определенное значение температуры плавления. Например, у вольфрама она равна 3387°C , у стали ее значение равно $1300\text{--}1500^{\circ}\text{C}$, а ртуть плавится при -39°C .

Плавление происходит обязательно с поглощением некоторого количества теплоты. Если ее не сообщать телу, процесс плавления прекратится. Это объясняется тем, что для снижения взаимодействия между атомами и молекулами в твердом теле, которое удерживает их в связанном состоянии, необходима дополнительная энергия, способная разрушить упорядоченное связанное их размещение. Такая энергия может поступать твердому телу благодаря теплопередаче, в результате чего оно начинает постепенно плавиться. Во время этого процесса температура тела не изменяется, поскольку вся сообщаемая тепловая энергия идет на разрушение существующих связей атомов и молекул в твердом теле.

Лед, плавающий в воде при 0°C , будет таять лишь в том случае, если ему передать определенное количество теплоты, например, если температура воздуха будет выше и вследствие этого будет происходить теплообмен с окружающей средой.

Ввиду того, что у разных веществ сила взаимодействия атомов и молекул неодинакова, на их плавление идет разное количество теплоты. Поэтому для характеристики энергетических затрат, необходимых для перехода вещества из твердого состояния в жидкое, вводят физическую величину, которая называется *удельной теплотой плавления* (обозначается λ). Она равна количеству теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг вещества из твердого состояния в жидкое при температуре плавления. Удельная теплота плавления измеряется в джоулях на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$. Значения температуры плавления и удельной теплоты плавления для некоторых веществ приведены в таблице на форзаце.

Например, удельная теплота плавления льда равна $332 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Это означает, что 1 кг льда, находящемуся при температуре 0°C , необходимо передать 332 кДж теплоты, чтобы он полностью растаял.

Для того чтобы найти количество теплоты, необходимое для плавления твердого тела произвольной массы m при температуре плавления, надо удельную теплоту плавления вещества λ умножить на массу тела:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m.$$

Задача 1. Какое количество теплоты необходимо для того, чтобы расплавить 2 т чугуна при температуре плавления? Сколько каменного угля для этого надо сжечь, если считать, что вся выделившаяся при горении энергия пойдет на плавление чугуна?

Дано:

$$m_1 = 2 \text{ т} = 2000 \text{ кг},$$

$$\lambda = 96 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$q = 25\,000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$Q_1 - ?$$

$$m_2 - ?$$

Решение

По определению теплота плавления равна: $Q_1 = \lambda m_1$. Следовательно,

$$Q_1 = 96 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2000 \text{ кг} = \\ = 192 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 192 \text{ МДж}.$$

Поскольку по условию вся теплота от сгорания угля идет на плавление чугуна, то $Q_2 = Q_1$; $qm_2 = Q_1$. Отсюда

$$m_2 = \frac{192 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 7,7 \text{ кг}.$$

Ответ. Для плавления 2 т чугуна необходимо 192 МДж теплоты; чтобы получить такое количество теплоты, надо сжечь 7,7 кг каменного угля.

Переход вещества из твердого состояния в жидкое происходит вследствие передачи телу определенного количества теплоты. Обратный процесс – переход из жидкого состояния в твердое – происходит при условии, если жидкость будет терять энергию, например, в результате охлаждения. Процесс перехода жидкостей в твердое состояние называется *отвердеванием*.

Если в процессе плавления твердое тело поглощает энергию, то при кристаллизации, наоборот – жидкость отдает часть своей внутренней энергии. Как и в случае плавления, для характеристики этого процесса вводят понятие удельной теплоты

кристаллизации. Ее физический смысл схож с удельной теплотой плавления: это такое количество теплоты, которое выделяется при переходе 1 кг вещества из жидкого состояния в твердое при температуре кристаллизации. Экспериментально подтверждено, что удельная теплота плавления и удельная теплота кристаллизации имеют одно и то же значение. Следовательно, чтобы найти количество теплоты, которое выделяется при кристаллизации, необходимо удельную теплоту кристаллизации λ умножить на массу образовавшегося твердого тела m :

$$Q_{\text{кр}} = \lambda m.$$



Для превращения 1 кг вещества из твердого состояния в жидкое надо такое же количество теплоты, какое выделяется при образовании 1 кг твердого тела из жидкости.

180

Установлено, что кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление. Например, спирт кристаллизуется при -115°C , бензин при -60°C , подсолнечное масло при -16°C .

Задача 2. Какое количество теплоты отдает вода при 0°C , если образовалось 5 кг льда?

Дано:

$$m = 5 \text{ кг},$$

$$\lambda = 332 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$Q_{\text{кр}} = ?$$

Решение

По определению $Q_{\text{кр}} = \lambda m$.

$$Q_{\text{кр}} = 332 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ кг} = 1660 \text{ кДж}.$$

Ответ. При образовании 5 кг льда выделяется 1660 кДж теплоты.



1. Какой процесс называют плавлением? Укажите условия плавления твердых тел.
2. Назовите тепловые процессы, происходящие в доменной печи во время плавки.
3. В чем состоит физический смысл удельной теплоты плавления?
4. Какой тепловой процесс является обратным плавлению?
5. Почему в тихую погоду, когда выпадает снег, температура воздуха повышается?
6. Почему во время плавления кристаллических тел их температура не изменяется?

§ 56. Примеры решения задач

При решении задач на расчет тепловых процессов с учетом плавления и кристаллизации тел следует соблюдать общие правила составления уравнения теплового баланса (см. § 53). Вместе с тем надо учитывать и специфические особенности протекания этих тепловых процессов.

Во-первых, надо помнить, что плавление и кристаллизация происходят при условии достижения температуры плавления. Учитывая это, иногда необходимо дополнительно вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания или охлаждения тела до такой температуры.

Во-вторых, необходимо учитывать, что плавление будет происходить, если твердое тело получает некоторое количество теплоты, и наоборот, в процессе кристаллизации выделяется количество теплоты, равное потере внутренней энергии тела. При этом температура тела не изменяется.

Эти правила вместе с условием теплового баланса определяют последовательность действий, которых целесообразно придерживаться при решении задач на расчет тепловых процессов с учетом плавления и кристаллизации.

Шаг 1. Из условия задачи выяснить значения температуры тел, находящихся в теплообмене. Если она больше или меньше температуры плавления (кристаллизации), учесть это при составлении уравнения.

Шаг 2. Определить, какие тепловые процессы предусмотрены условием задачи. Записать формулы количества теплоты для каждого из них.

Шаг 3. Если в теплообменном процессе находится несколько тел, одни из которых поглощают теплоту, а другие выделяют ее, составить уравнение теплового баланса с учетом следующего правила: в левой части уравнения записать сумму количества теплоты, полученной телами в результате теплообмена; в правой его части – сумму количества теплоты, отданной ими при этом.

Шаг 4. Решить уравнение относительно искомой величины и найти ее значение.

Приведем примеры решения задач на расчет количества теплоты с учетом процессов плавления и кристаллизации.

Задача 1. Какое количество теплоты надо затратить, чтобы расплавить 10 кг алюминия, температура которого $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Дано:

$$m = 10 \text{ кг},$$

$$\lambda = 393 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{пл}} = 660^\circ\text{C},$$

$$c = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}.$$

 $Q - ?$

Решение

Чтобы расплавить алюминий, надо сначала нагреть его до температуры плавления (660°C), затратив количество теплоты $Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t_0)$.

Количество теплоты, необходимое для плавления алюминия: $Q_2 = \lambda m$.

Суммарно необходимо количество теплоты: $Q = Q_1 + Q_2$.

$$Q = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ кг} \cdot 640^\circ\text{C} + 393 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ кг} = 9\,690\,000 \text{ Дж}.$$

Ответ. Для плавления 10 кг алюминия необходимо 9,7 МДж теплоты.

182

Задача 2. Внутренняя энергия 5 кг воды комнатной температуры в результате охлаждения уменьшилась на 1 МДж. Какие тепловые процессы произошли при этом? Сколько образовалось льда в результате охлаждения?

Дано:

$$\Delta U = 1 \text{ МДж},$$

$$m_1 = 5 \text{ кг},$$

$$\lambda = 332 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$t_0 = 20^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{пл}} = 0^\circ\text{C},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}.$$

 $m_2 - ?$

Решение

В процессе охлаждения температура воды сначала понизилась до 0°C . На это ушла часть внутренней энергии, равная:

$$\begin{aligned} Q_1 &= cm_1(t_0 - t_{\text{пл}}) = \\ &= 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}} \cdot 5 \text{ кг} \cdot 20^\circ\text{C} = \\ &= 420\,000 \text{ Дж} = 0,42 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Дальнейшее уменьшение внутренней энергии привело к образованию некоторой массы льда m_2 : $Q_2 = \lambda m_2$.

Поскольку $Q_2 = 1 \text{ МДж} - 0,42 \text{ МДж} = 0,58 \text{ МДж}$, то

$$m_2 = \frac{580\,000 \text{ Дж}}{332 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}} = 1,75 \text{ кг}.$$

Ответ. Сначала произошло охлаждение воды до 0°C , а затем образовалось 1,75 кг льда.

Упражнение 33

1. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы расплавить 2,5 кг меди при температуре плавления?

2. Какое количество теплоты теряет 200 г алюминия во время кристаллизации и дальнейшего охлаждения его до комнатной температуры?

3. В воде массой 2 кг при температуре 0 °С плавает 0,5 кг льда. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы довести воду до кипения?

4. В воду, масса которой 1 кг и температура 60 °С, бросили лед, температура которого 0 °С. После того как лед растаял, температура воды стала 30 °С. Сколько льда бросили в воду?

5. Железный брусок, масса которого 0,5 кг и температура 400 °С, положили на глыбу льда при температуре –5 °С. Сколько воды при этом образовалось, если считать, что вся теплота пошла на плавление льда?

§ 57. Испарение и конденсация жидкостей

183

В жизни мы довольно часто наблюдаем переход жидкостей в газообразное состояние: высыхают лужи после дождя, сохнет выстиранное белье, летом уровень воды в открытых водоемах снижается и т. д. Явление, лежащее в основе этих процессов, называется *испарением*. С точки зрения атомно-молекулярного учения оно объясняется тем, что часть молекул, которые обладают достаточно высокой кинетической энергией, вылетают с поверхности жидкости, образуя пар — газообразное ее состояние.

Испаряются также и твердые тела (вспомните, что в морозную погоду мокрое белье, покрываясь ледяной коркой, все равно высыхает). У твердых тел процесс испарения называется *сублимацией*.



Энергетические затраты, идущие на испарение жидкостей, характеризует удельная теплота парообразования. Это физическая величина, которая определяется количеством теплоты, необходимым для испарения 1 кг жидкости при заданной температуре. Ее обозначают буквой r и измеряют в джоулях на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Численное значение удельной теплоты парообразования зависит от различных факторов, в частности от температуры

жидкости и давления окружающей среды. Например, удельная теплота парообразования воды при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) равна $2500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $2454 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, а при температуре кипения ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) – всего $2257 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Это значит, что для испарения 1 кг воды, взятой при

$0\text{ }^{\circ}\text{C}$, надо сообщить 2500 кДж теплоты, а при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – всего 2257 кДж. Значения удельной теплоты парообразования некоторых веществ при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении приведены в таблице на форзаце.

Для того чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для испарения жидкости произвольной массы m , надо удельную теплоту парообразования жидкости r умножить на ее массу:

$$Q_{\text{п}} = rm.$$

184

Наиболее интенсивно испарение происходит во время кипения жидкости. Для объяснения этого процесса наблюдаем, что произойдет с водой в прозрачной стеклянной колбе при ее нагревании (рис. 147).

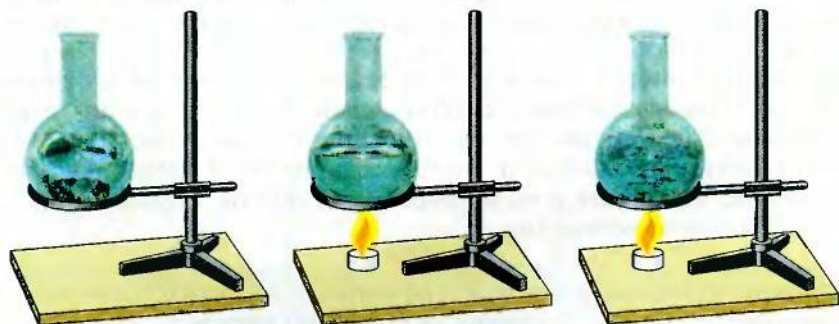


Рис. 147. Кипение воды

Вначале мы увидим, что на дне и стенках сосуда образуются маленькие пузырьки. Очевидно, что это воздух, которым насыщена вода в результате проникновения в нее молекул газа. Со временем, в результате нагревания объем воздушных пузырьков будет увеличиваться (рис. 148) и внутри их образуется водяной пар, т. е. будет происходить внутреннее испарение жидкости.

Перед закипанием воды мы услышим характерный шум: увеличиваясь в размере, пузырьки под действием силы Архимеда начнут всплывать и лопаться, с шумом выбрасывая в воз-

дух накопившийся в них водяной пар. То есть начнется кипение. Замечено, что при этом температура жидкости остается постоянной. Температура, при которой кипит жидкость, называется температурой кипения. Постоянное ее значение объясняется тем, что все количество теплоты, переданное жидкости, идет на внутреннее испарение во всем ее объеме. Следовательно, *кипение – это внутреннее испарение жидкости, в результате которого образовавшийся внутри нее пар вырывается наружу.*

Для каждого вещества температура кипения имеет свое определенное значение, зависящее от различных факторов. В частности, она зависит от внешнего давления, поскольку пузырькам необходимо преодолеть его противодействие, чтобы вырваться наружу. Поэтому с увеличением давления будет возрастать и температура кипения, и наоборот, с его уменьшением она будет снижаться. Например, в высоких горах вода кипит при более низкой температуре, чем при нормальном атмосферном давлении.

Таким образом, увеличивая внешнее давление, можно повышать температуру кипения жидкости. В быту это свойство используют в кастрюлях-скороварках: благодаря плотно прилегающей крышке, внутри такой кастрюли дополнительное давление может достигать 2–5 гПа, повышая тем самым температуру кипения воды до 120–150 °С. В специальных котлах-автоклавах из-за высокого давления воду нагревают до 250–300 °С.

В природе наряду с испарением наблюдается также обратный процесс, когда при определенных условиях газ превращается в жидкость. Например, летним утром часто выпадает роса, осенью при резком снижении температуры воздуха образуется туман и т. д. Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое называется конденсацией. Для того чтобы это произошло, нужны центры конденсации, роль которых в газах играют различные порошинки, примеси и т. п. Как правило, конденсация происходит на поверхности жидкостей или твердых тел.

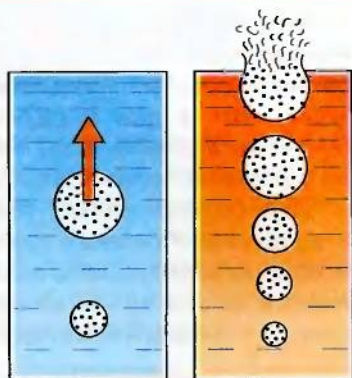


Рис. 148. Образование пузырьков пара во время кипения жидкости

Образование туч объясняется конденсацией водяного пара в атмосфере.



В отличие от испарения, когда теплота поглощается, при конденсации теплота высвобождается. Количество теплоты, выделяемое при конденсации, вычисляется по такой же формуле, что и для испарения (как взаимообратный процесс): $Q_{\text{п}} = rm$. Установлено, что удельная теплота конденсации равна удельной теплоте парообразования.

При определенных условиях возможна конденсация вещества из газообразного сразу в твердое состояние. Например, зимой из водяного пара, находящегося в воздухе, образуются снежинки и изморозь на деревьях либо прекрасные узоры на стекле в морозную погоду.



186

1. Проанализируйте, как удельная теплота парообразования зависит от температуры.
2. В чем состоит физический смысл удельной теплоты парообразования? Что значит ее значение $520 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$?
3. Как называется процесс, обратный испарению? Чем они отличаются друг от друга с энергетической точки зрения?
4. В чем состоит сущность процесса кипения?
5. Почему температура кипения зависит от внешнего давления?
6. Почему в горах вода кипит при более низкой температуре, чем у подножия?
7. Каким образом можно повысить температуру кипения жидкости?

§ 58. Примеры решения задач

При решении задач на расчет количества теплоты с учетом испарения и конденсации, как и для любых тепловых процессов, следует придерживаться правил составления уравнения теплового равновесия (см. § 53). Вместе с тем существуют особенности протекания этих процессов, которые целесообразно также учитывать.

Во-первых, надо помнить, что испарение жидкостей, в отличие от плавления и кристаллизации, происходит при любой температуре. Поэтому при вычислении количества теплоты следует выбирать соответствующее значение удельной теплоты парообразования для заданной условием задачи температуры. Если оно не указано, то из таблицы берут значение как для температуры кипения, однако учитывают, что жидкость необходимо нагреть до этой температуры. В таком случае общее количество теплоты равно $Q_1 + Q_2 = cm\Delta t + rm$.

Во-вторых, при составлении уравнения следует учитывать, что испарение требует определенных затрат теплоты, а конденсация сопровождается выделением определенного количества теплоты.

В-третьих, конденсация происходит при некоторых физических условиях, зависящих от температуры и давления. Несоблюдение этих условий, указанных в задаче, исключает возможность протекания самого явления.

Задача 1. Какое количество теплоты надо затратить, чтобы нагреть 5 кг воды от 0 °С до температуры кипения и полностью ее испарить при нормальном атмосферном давлении?

Дано:

$$m = 5 \text{ кг},$$

$$t_1 = 0 \text{ °С},$$

$$t_2 = 100 \text{ °С},$$

$$r = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = ?$$

Решение

По условию задачи воду сначала надо нагреть от 0 до 100 °С, а затем испарить. Следовательно, $Q = cm(t_2 - t_1) + rm$.

$$Q = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 5 \text{ кг} \cdot 100 \text{ °С}$$

$$+ 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ кг} = 13\,600\,000 \text{ Дж} =$$

$$= 13,6 \text{ МДж}.$$

Ответ. Для нагревания и испарения 5 кг воды потребуется 13,6 МДж теплоты.

Задача 2. Воде массой 2 кг при комнатной температуре (20 °С) передано 1050 кДж теплоты. Сколько воды при этом испарилось?

Дано:

$$Q = 1050 \text{ кДж},$$

$$m_1 = 2 \text{ кг},$$

$$r_{20} = 2450 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$r_{100} = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$t_1 = 20 \text{ °С},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$m_2 = ?$$

Решение

Поскольку в условии задачи не сказано, каким образом происходило испарение – с нагреванием до кипения или при комнатной температуре, рассмотрим оба случая.

1) Если испарение происходило при температуре 20 °С, то $Q = r_{20} \cdot m_2$. Отсюда $m_2 = 0,43 \text{ кг}$.

2) Если сначала воду нагрели до температуры кипения, а затем испарили, то $Q = cm_1(t_2 - t_1) + r_{100} \cdot m_2$. Отсюда $m_2 = 0,17 \text{ кг}$.

Ответ. В зависимости от способа испарения, используя 1050 кДж теплоты, можно испарить 0,43 кг или 0,17 кг воды.

Задача 3. Какое количество теплоты выделится при конденсации 200 г водяного пара при температуре 100 °С? Сравните его с количеством теплоты, необходимым для нагревания воды такой же массы от 0 до 100 °С.

Дано:

$$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг},$$

$$t_1 = 0 \text{ °С},$$

$$t_2 = 100 \text{ °С},$$

$$r = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q_{\text{к}} - ?$$

Решение

$$\begin{aligned} \text{По определению } Q_{\text{к}} &= rm = \\ &= 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,2 \text{ кг} = 460 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Для нагревания воды от 0 до 100 °С необходимо передать ей

$$\begin{aligned} Q &= cm\Delta t = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 100 \text{ °С} = \\ &= 84 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

$$\text{Следовательно, } \frac{Q_{\text{к}}}{Q} = 5,5.$$

Ответ. При конденсации водяного пара выделяется 460 кДж теплоты. Это в 5,5 раза больше, чем необходимо для нагревания воды такой же массы от 0 до 100 °С.

Задача 4. В калориметр, в котором находится 1 л воды при 10 °С, впустили 100 г водяного пара, температура которого 100 °С. Какая температура воды установится в калориметре после наступления теплового равновесия?

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг},$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг},$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

$$r = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

$$t_1 = 10 \text{ °С},$$

$$t_2 = 100 \text{ °С}.$$

$$t - ?$$

Решение

В теплообменном процессе находятся вода и водяной пар. В результате конденсации водяной пар и образовавшаяся при этом вода отдают теплоту, а находящаяся в калориметре вода ее поглощает. Запишем уравнение теплового баланса:

$$cm_1(t - t_1) = rm_2 + cm_2(t_2 - t).$$

Сделав определенные преобразования и решив уравнение относительно неизвестного t , получим:

$$\vdots \quad 4620 \, t = 314 \cdot 10^3.$$

$$\vdots \quad \text{Отсюда } t = 68 \, ^\circ\text{C}.$$

\vdots *Ответ.* Температура воды будет рав-
 \vdots на $68 \, ^\circ\text{C}$.

Упражнение 34

1. Какое количество теплоты следует передать $50 \, \text{г}$ воды, температура которой $0 \, ^\circ\text{C}$, чтобы довести ее до кипения и половину превратить в пар?

2. В алюминиевый калориметр массой $0,2 \, \text{кг}$, в котором находится $150 \, \text{г}$ воды при температуре $10 \, ^\circ\text{C}$, впустили пар при температуре $100 \, ^\circ\text{C}$. Сколько надо водяного пара, чтобы в калориметре установилась температура $50 \, ^\circ\text{C}$?

3. Какой была температура воды, если для нагревания $500 \, \text{г}$ воды и превращения $100 \, \text{г}$ ее в пар было затрачено $420 \, \text{кДж}$ теплоты?

4. В сосуд, в котором находится $2 \, \text{кг}$ льда при температуре $-10 \, ^\circ\text{C}$, впустили $0,2 \, \text{кг}$ водяного пара при температуре $100 \, ^\circ\text{C}$. Расплавится ли весь лед полностью?

189

§ 59. Объяснение изменения агрегатных состояний вещества на основе атомно-молекулярного учения

Как известно, вещество находится в одном из агрегатных состояний – твердом, жидком или газообразном – в зависимости от характера движения и взаимодействия атомов и молекул. Поглощение или потеря телом определенного количества теплоты может привести к изменению его агрегатного состояния. Как следствие, изменяется и его внутренняя энергия. Объясним, каким образом это происходит, на примере воды.

Возьмем лед массой $1 \, \text{кг}$ при температуре $-40 \, ^\circ\text{C}$ и будем наблюдать за тем, что произойдет в результате поглощения им некоторого количества теплоты (рис. 149).

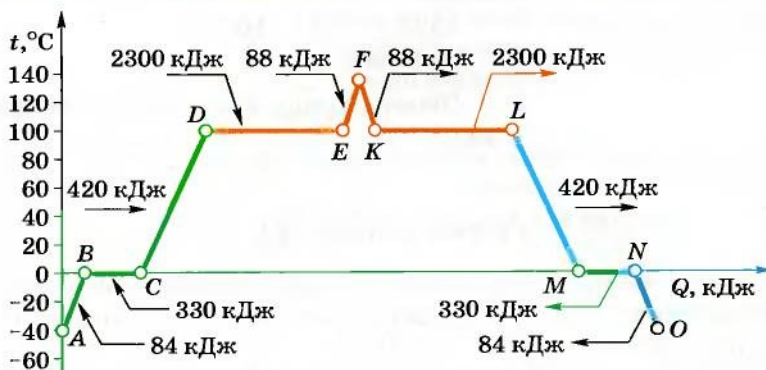


Рис. 149. График изменения агрегатного состояния воды (масштаб для значений количества теплоты не выдержан)

Участок AB – нагревание льда, участок BC – таяние льда.

Вначале термометр будет фиксировать повышение температуры льда от -40°C до 0°C (температура плавления льда), однако он не будет таять. Происходит это потому, что у льда молекулы жестко связаны между собой и могут лишь колебаться в узлах кристаллической решетки. Очевидно, что повышение температуры льда будет влиять на подвижность молекул, однако потенциальная энергия их взаимодействия значительно превосходит кинетическую энергию колебаний, и поэтому связи не разрываются и форма твердого тела сохраняется. При достижении температуры плавления (точка В) потенциальная и кинетическая энергии становятся приблизительно равными, следовательно, молекулярные связи могут разрушаться – лед начинает таять при условии, что ему сообщают теплоту. Образуется смесь воды и льда, температура которой не изменяется (участок ВС), пока весь лед не растает (точка С).

Участок CD – нагревание воды, участок DE – испарение воды.

Дальнейшая передача теплоты будет сопровождаться нагреванием воды, молекулы которой станут более подвижными. Кинетическая энергия молекул воды будет незначительно превышать потенциальную энергию их взаимодействия, поэтому отдельные из них смогут вылететь из жидкости, образуя пар. При достижении температуры кипения (точка D) она не изменяется и все полученное количество теплоты идет на преодо-

ние межмолекулярного взаимодействия и превращение воды в водяной пар (переход жидкости в газообразное состояние).

Участок EF – нагревание пара.

В данном случае кинетическая энергия молекул намного превышает потенциальную энергию их взаимодействия. Если сосуд закрыт, то дальнейшее сообщение теплоты приведет к повышению температуры водяного пара. Молекулы воды будут свободно перемещаться в предоставленном им пространстве и взаимодействовать лишь при столкновении. Чем выше температура пара, тем быстрее они будут перемещаться, следовательно, тем больше будет их кинетическая энергия.

Рассмотрим теперь обратные процессы, которые будут происходить, когда тело теряет определенное количество теплоты.

Участок FK – охлаждение пара, участок KL – конденсация пара.

Если водяной пар охлаждать (участок FK), то кинетическая энергия его молекул будет уменьшаться. Через некоторое время настанет момент (точка K), когда пар начнет конденсироваться. В зависимости от давления это может происходить при разной температуре, ведь температура кипения жидкостей зависит от давления. При нормальном давлении (760 мм рт. ст.) конденсация пара наступит при температуре 100 °С. В данном случае средняя кинетическая и потенциальная энергии молекул станут приблизительно равными, и молекулы воды будут взаимодействовать между собой с такой силой, что образуется жидкость. Конденсация продолжается до тех пор, пока у пара отбирают теплоту и его внутренняя энергия уменьшается. При этом температура пара остается постоянной (участок KL), поскольку изменение внутренней энергии равно количеству теплоты, которое теряет пар при охлаждении.

Участок LM – охлаждение воды.

После того как весь пар сконденсируется, дальнейшее отбирание теплоты вызовет охлаждение воды (участок LM) до температуры кристаллизации (у воды она равна 0 °С). Молекулы воды теряют подвижность, их кинетическая энергия будет уменьшаться. Настанет момент (точка M), когда потенциальная энергия взаимодействия начнет превосходить кинетическую энергию, и тогда происходит кристаллизация, образование льда.



Участок *MN* – кристаллизация воды, участок *NO* – снижение температуры льда.

На протяжении всего этого процесса температура остается постоянной, равной температуре плавления льда, поскольку количество теплоты, отобранное у воды, равно изменению ее внутренней энергии. После того как вода полностью перейдет в твердое состояние (точка *N*), дальнейшее уменьшение внутренней энергии вследствие потери количества теплоты приведет к снижению температуры льда (участок *NO*).

Следовательно, из графика изменения агрегатных состояний вещества видно, что протекание обратных тепловых процессов (охлаждение, конденсация, кристаллизация) происходит симметрично процессам, какие наблюдались при сообщении теплоты (нагревание, плавление, испарение)¹. При этом:

а) температуры плавления и кристаллизации вещества одинаковые;

б) количество теплоты, необходимое для плавления вещества, равно количеству теплоты, которое выделяется в процессе кристаллизации такой же массы вещества;

в) пар конденсируется при той же температуре, при которой вода кипит;

г) количество теплоты, поглощаемое в процессе испарения жидкости, равно количеству теплоты, которое выделяется при конденсации пара такой же массы.

192



1. Объясните, что произойдет, если прекратить нагревание воды в точке *C* графика (см. рис. 149). Будет ли испаряться вода в таком случае?
2. Что произойдет, если прекратить теплообмен в точке, находящейся посередине участка *BC*?
3. Опишите тепловые процессы, которые произойдут в реальных условиях после того, как прекратить теплопередачу во время кипения воды. Почему ее температура будет снижаться?
4. В кювету с расплавленным металлом при температуре плавления бросают кусок такого же металла при комнатной температуре. Что произойдет, если теплообмен будет проходить лишь между ними?
5. Весной в озере плавает льдина. Опишите все тепловые процессы, происходящие с ней.

¹ График будет симметричен, если передача и отбирание теплоты происходят одинаково в количественном отношении, а потерями энергии можно пренебречь.

§ 60. Превращение тепловой энергии в механическую.

Принцип действия тепловых машин

Издавна человек задумывался над тем, как сделать механизмы, которые помогали бы ему выполнять тяжелую работу. Сначала он использовал простые механизмы – рычаги, наклонную плоскость, различные передающие механизмы, блоки и т. п.

С тех пор как человечество познало закономерности тепловых явлений, ученые стремились найти способы использования тепловой энергии, в частности преобразования ее в механическую.

В 1784 г. английский изобретатель Дж. Уатт создал первый паровой двигатель, который на протяжении долгого времени применялся в качестве универсального двигателя, приводящего в движение паровозы и пароходы, даже первые автомобили. В 1766 г. русский изобретатель И. И. Ползунов создал паровую машину, которая долгие годы работала на одном из горнодобывающих заводов Урала.

Принцип действия тепловых машин объясним на основе эксперимента. Возьмем цилиндр с поршнем, положим на него груз, например гирю, и начнем нагревать газ в цилиндре под поршнем (рис. 150).

Тепловая машина – это механизм, выполняющий механическую работу за счет тепловой энергии.

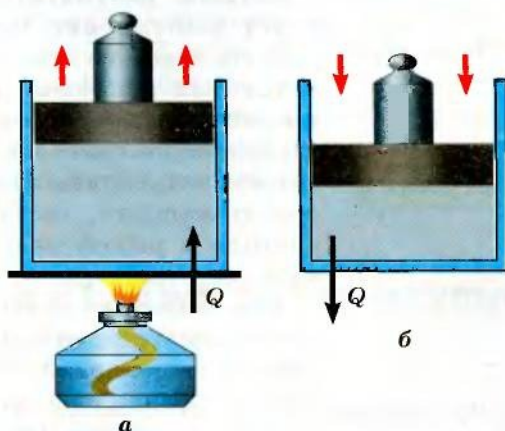


Рис. 150. Выполнение работы в результате нагревания газа в цилиндре с поршнем

С повышением температуры газа поршень начнет постепенно перемещаться вверх, поскольку вследствие нагревания газ расширяется. Следовательно, в процессе теплопередачи газ под поршнем выполняет механическую работу, поднимая груз на некоторую высоту.

Если нагревание газа прекратить, то в результате теплообмена с окружающей средой он будет остывать, его объем уменьшится и поршень опустится вниз.

На таком способе преобразования тепловой энергии в механическую путем выполнения работы основывается действие тепловых машин. Это двигатели внутреннего сгорания, паровые и газовые турбины, дизельные и турбореактивные двигатели и т. д. Со времен их изобретения они постоянно совершенствуются, но их принцип действия неизменно основывается на общих закономерностях преобразования тепловой энергии в механическую.

В 1824 г. французский ученый С. Карно предположил, что тепловая машина конструктивно должна состоять из нагревателя (источника теплоты), рабочего тела, которое собственно и выполняет работу (например, пар в паровых двигателях либо смесь воздуха и паров бензина в двигателях внутреннего сгорания), и охладителя (рис. 151). Такая машина может выполнять работу при условии, что температура охладителя ниже температуры нагревателя.

В 1851 г. английский физик В. Томсон (лорд Кельвин) открыл закон, сыгравший решающую роль в создании тепловых машин. Он установил, что в природе невозможен процесс, единственным результатом которого будет выполнение механической работы лишь за счет охлаждения источника тепловой энергии, без нагревания окружающих тел. Это утверждение означает, что нельзя создать вечный двигатель, т. е. тепловую машину, которая бы превратила в работу всю ее внутреннюю энергию.

Как известно, согласно закону сохранения энергии механическая работа, выполненная тепловой машиной, равна разности количества теплоты Q_1 , переданного нагревателем рабочему телу, и количества теплоты Q_2 , которое рабочее тело



Рис. 151. Принцип действия тепловой машины

отдает охладителю: $A = Q_1 - Q_2$. Следовательно, каждая тепловая машина характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД), который определяет ее способность преобразовывать тепловую энергию в механическую работу. По определению КПД тепловой машины равен отношению выполненной работы A к сообщенному ей количеству теплоты Q_1 :

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Поскольку $Q_1 > Q_2$, то можно сделать вывод, что КПД тепловых машин всегда меньше 1.

Чаще всего КПД выражают в процентах. Тогда необходимо численное значение КПД умножить на 100 %. Тепловые двигатели имеют невысокий КПД, как правило, 20–30 %.

1. За счет чего газ выполняет работу в результате теплопередачи?
2. Какие механизмы называют тепловыми машинами?
3. Из каких конструктивных элементов состоит тепловая машина?
4. Какой фундаментальный вывод положен в основу действия тепловой машины?
5. Почему нельзя создать вечный двигатель?
6. Что характеризует эффективность работы тепловой машины? Почему КПД всегда меньше 1?

195



Упражнение 35

1. Двигатель внутреннего сгорания автомобиля имеет мощность 37 кВт, а его КПД равен 20 %. Какое количество бензина он потребляет за 1 ч работы?

2. Двигатель трактора может развивать мощность 60 кВт, потребляя при этом за 1 ч в среднем 18 кг дизельного топлива. Определить КПД этого двигателя.

§ 61. Двигатель внутреннего сгорания

Одним из наиболее распространенных видов тепловой машины является двигатель внутреннего сгорания (ДВС), широко применяемый сейчас в различных транспортных средствах, в частности, в автомобилях.

В современных двигателях различают карбюраторные ДВС и дизельные (названные в честь их создателя, немецкого инженера Р. Дизеля).

Рассмотрим принцип действия четырехтактного двигателя внутреннего сгорания (рис. 152). Основным его элементом является цилиндр с поршнем, где происходит сгорание топлива (отсюда название двигателя). Как правило, их несколько. Поэтому говорят о двух-, четырех-, восьмицилиндровых двигателях.

- I такт* – впуск топливной смеси.
- II такт* – сжатие смеси.
- III такт* – рабочий ход.
- IV такт* – выпуск отработанных газов.

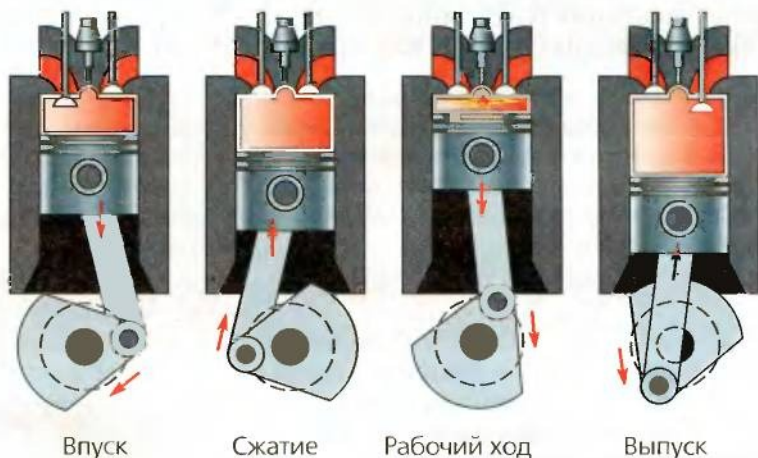


Рис. 152. Схема работы четырехтактного ДВС

Цилиндр имеет два или больше отверстий с клапанами – впускным и выпускным. Работа ДВС основывается на четырех последовательных процессах – тактах, которые непрерывно повторяются. *Первый такт* – это впуск топливной смеси, осуществляемый через впускной клапан, когда поршень перемещается вниз. После того как он достигнет нижней точки, всасывание топлива прекращается и оба клапана закрываются. Во время *второго такта*, когда поршень движется вверх, происходит сжатие смеси, вследствие чего ее температура повышается. В верхней точке поршня смесь зажигается искрой от электрической свечи (в карбюраторных двигателях) или самовоспламеняется от высокой температуры сильно сжатого газа (в дизельных двигателях). Смесь воспламеняется, ее температура резко возрастает, давление газа растет, в результате чего он толкает поршень вниз. Начинается *третий такт* – рабочий

ход, во время которого собственно и выполняется работа. С помощью специального соединения – кривошипно-шатунного механизма – движение поршня передается коленчатому валу, а через него – к колесам автомобиля. Выполняя работу, газ расширяется, охлаждаясь при этом. После прохождения поршнем нижней точки открывается выпускной клапан, поршень по инерции движется вверх, выполняя *четвертый такт* – выпуск отработанных газов. На этом рабочий цикл четырехтактного двигателя заканчивается и начинается следующий цикл работы ДВС с первого такта.

В связи с тем, что из четырех тактов ДВС лишь один – рабочий, двигатель имеет инерционный механизм. Как правило, это маховик, за счет своих инерционных свойств передает приобретенную энергию коленчатому валу. Благодаря этому обеспечивается выполнение остальных тактов ДВС.

1. Какие существуют виды двигателей внутреннего сгорания?
2. Назовите процессы, происходящие с топливной смесью в ДВС.



197

§ 62. Паровая и газовая турбины

С целью преобразования тепловой энергии в механическую на тепловых и атомных электростанциях применяют турбины. Их, как основной движущий элемент, применяют также в газотурбинных двигателях, используемых в авиации. В зависимости от рабочего тела (пара или газа) различают паровые и газовые турбины.

В основу действия турбин положена издавна известная идея вращения колеса с лопастями под давлением водяного пара или газа. Эту идею человек реализовал в работе ветряков и водяных мельниц: поток воздуха или воды действует на лопасти или ковши колеса мельницы и вынуждает их вращаться (рис. 153).

В паровых турбинах преобразование энергии происходит за счет разности давлений водяного пара на входе (вводящий паропровод 1) и выходе (выводящий паропровод 2) (рис. 154). Поэтому они имеют блоки высокого и низкого давления. На пути водяного пара находятся несколько рабочих колес 3 с лопастями. Пар, производимый паровым котлом теплоэлектростанции, направляется под высоким давлением по вводящему

Слово «турбина» происходит от латинского *turbo* – вихрь, вращение с большой скоростью.



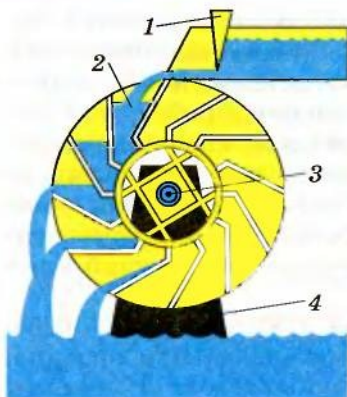


Рис. 153. Колесо водяной мельницы:

- 1 – регулирующая заслонка
2 – ковш; 3 – рабочий вал;
4 – опора

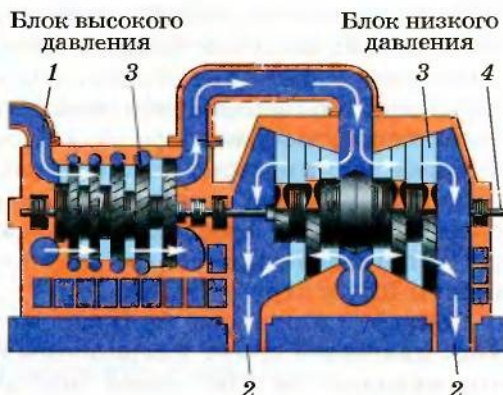


Рис. 154. Паровая турбина

198

паропроводу 1 на рабочие колеса с лопастями. Под его действием турбина вращается.



Теплоэнергетическая установка преобразует тепловую энергию в механическую.

Таким образом, тепловая энергия водяного пара, образованного в теплоэнергетическом блоке электростанции, благодаря турбине превращается в механическую. В свою очередь, с помощью особого устройства, которое называется генератором, механическая энергия преобразуется в электрическую.

Паровые турбины современных теплоэлектростанций развивают мощность до 1300 МВт.



Газовая турбина отличается от паровой тем, что в ней есть специальная камера сгорания, благодаря которой повышается энергетическая эффективность установки.

В газовых турбинах дополнительно устанавливают специальную камеру сгорания, в которую впрыскивается топливо. Сжатый в ней воздух имеет очень высокую температуру, и поэтому попавшее в нее топливо воспламеняется. В результате стремительного повышения температуры газ действует на лопасти рабочего колеса, вращая его. Часть энергии газовая турбина отдает компрессору, нагнетающему воздух в камеру сгорания. Другая ее часть идет на выполнение работы движущим

элементом газотурбинного двигателя, например, винтом самолета, колесом автомобиля, валом электрогенератора и т. д.

Мощность современных газовых турбин достигает 100–150 МВт.

1. Какие бывают турбины? Каким образом их различают?
2. Что является основным элементом турбины?
3. Какие процессы положены в основу действия паровой турбины?
4. В чем состоит конструктивное отличие паровой и газовой турбин?
5. Где применяются паровые и газовые турбины?



§ 63. Экологические проблемы применения тепловых машин

199

Широкое применение тепловых машин в жизнедеятельности человека привело к обострению экологических проблем, связанных с выбросами в атмосферу вредных веществ. Среди них особенное место занимает диоксид карбона CO_2 , опасный тем, что способствует образованию «парникового эффекта», вследствие чего температура Земли повышается. По данным международных исследований, по сравнению с 1961 г. средняя температура воздуха на Земле возросла почти на 1°C . Основной причиной изменения климата нашей планеты ученые считают рост выбросов диоксида карбона в атмосферу.

В мире сегодня из разных источников в атмосферу попадает почти 30 млрд тонн CO_2 , а лесами поглощается лишь 4 млрд тонн; доля Украины в этом общепланетном процессе составляет 1,1 %. Почти половина выбросов CO_2 в атмосферу принадлежит производителям энергии – тепловым электростанциям, работающим на угле, нефти и газе (рис. 155). Выбросы автомобильного и иного транспорта составляют 24,1 %. Остальное – это производственная деятельность (заводы и фабрики), процессы жизнеобеспечения и т. д.

В природе сейчас нарушено динамическое равновесие восстановления кислорода в реакциях фотосинтеза. Если не принимать необходимых мер по улучшению экологической ситуации, такое положение может привести к ужасным катастрофам, которые угрожают всему человечеству. Поэтому в последнее время мировым сообществом предлагаются меры, направленные на уменьшение выбросов CO_2 в атмосферу.

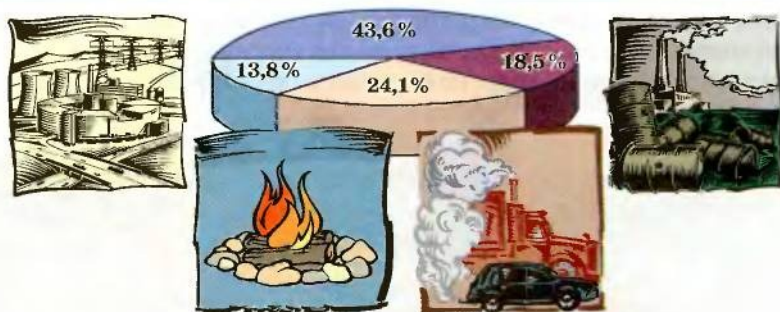


Рис. 155. Источники выбросов CO_2 в атмосферу

В частности, сегодня производители автомобильных двигателей уделяют много внимания техническому усовершенствованию ДВС, например, использованию различных катализаторов и фильтров, улучшающих экологические показатели двигателей. Например, на одной из выставок автомобиль «Mercedes-Benz E-320» был награжден за внедрение топливной системы, уменьшающей выбросы диоксида карбона на 80 % и приведение их к экологическим нормам «Евро-5». Однако такие усовершенствования происходят в основном за счет уменьшения мощности и КПД двигателей, что ухудшает их технические характеристики.

Использование современных технологий в ДВС не может в целом снять проблему выбросов CO_2 , поскольку продуктами сгорания в этих двигателях остаются нефтепродукты (бензин или дизельное топливо). Поэтому в последнее время в автомобилестроении ищут иные подходы. Например, производители автомобилей «Toyota» выпускают машины с гибридным приводом, в котором используется два типа двигателей – электрический и ДВС. Электродвигатели конструктивно вмонтированы в каждое колесо и помогают основному двигателю, создавая дополнительную тягу.

Предлагаются также конструктивные решения в виде электромобилей, работающих от аккумуляторных батарей. Однако незначительный ресурс обычных кислотных аккумуляторных батарей (сегодня это приблизительно 300–400 км на одном заряде батареи), а также проблемы их утилизации не позволяют пока сделать электромобили массовыми. Вместе с тем продолжаются поиски компактных и легких аккумуляторов, например, на так называемых водородных элементах, которые позволят решить эту проблему.

В последнее время инженеры ведущих автомобильных фирм «Ford» и «Volvo» производят двигатели, способные работать,

как на бензине, так и на альтернативном виде топлива – биоэтаноле или их смеси, что снижает выбросы CO_2 до 30–80 %.

Однако использование всех этих видов топлива не может окончательно решить экологические проблемы применения ДВС, поскольку продукты сгорания все равно будут содержать вредные вещества. Поэтому сейчас ведутся поиски восстанавливающихся источников энергии. Одним из них является водород (водород), который считают одним из наиболее перспективных видов топлива, способным заменить бензин и дизтопливо. Водородные двигатели считаются экологически чистыми, поскольку продуктом сгорания в них является водяной пар, не вызывающий вредных выбросов CO_2 . Кроме того, водород сгорает в камере практически полностью в широком диапазоне температур, и поэтому в отношении эффективности использования может быть идеальным топливом.

Экологические проблемы применения тепловых машин не ограничиваются лишь их конструктивными усовершенствованиями с целью уменьшить вредные выбросы. Важнейшей проблемой является также возобновление энергетических запасов, которые беспрерывно расходуются в процессе человеческой деятельности. Ведь полезные ископаемые воссоздаются природой на протяжении веков, а расходуются практически мгновенно. Их запасы не беспредельны и требуют рационального использования. В Украине основным источником энергоресурсов (83,4 %) остаются тепловые электростанции, работающие на угле, нефти или газе. Доля атомной энергетики составляет 16,1 %; меньше 1 % принадлежит возобновляемым источникам энергии. Мировые тенденции развития энергетики говорят о том, что для жизнедеятельности человека надо искать альтернативные источники, которые основываются на воспроизводстве природных ресурсов: воде, солнце, ветре и т. д.

Не менее важной является проблема утилизации отходов жизнедеятельности человека, экономного использования энергоресурсов. В настоящее время во многих странах мира пытаются решить проблему утилизации бытовых отходов, которых становится все больше, а также возможность получения энергии в результате экологически «чистого» сжигания мусора. Это становится важным не только для больших городов, но и для малых селений и городков. Ведь планета Земля – это общий наш дом. Мы живем на разных континентах, в разных городах и селах. Но наш мир – глобальный, взаимосвязанный прежде всего экологическими проблемами. Нарушение динамического равновесия в одной его части неизменно отражается природными катаклизмами на всей планете.



1. Почему выбросы диоксида карбона в атмосферу вредны?
2. Почему необходимо усовершенствовать ДВС?
3. Каковы направления инженерных поисков в последнее время в автомобилестроении?
4. Почему экологические проблемы являются общечеловеческими?

Главное в главе 4

Протекание тепловых явлений и процессов в природе происходит по определенным законам, которые человечество познавало на протяжении своей многовековой истории.

● Тепловое состояние тел определяет температура, характеризующая среднюю кинетическую энергию хаотического движения атомов и молекул. Температуру тел измеряют при помощи термометров, которые могут быть проградуированы за разными шкалами. Одной из самых распространенных является шкала Цельсия, в которой $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствует температуре таяния льда, а $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температуре кипения воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.). Единицей температуры в Международной системе единиц является кельвин (обозначается К), по размеру равный градусу Цельсия (обозначается $^{\circ}\text{C}$).

● Тепловые явления и процессы всегда протекают так, что более нагретые тела отдают теплоту менее нагретым и со временем их температуры выравниваются.

● Внутренняя энергия тела обусловлена тепловым движением и взаимодействием атомов и молекул, из которых оно состоит. Ее можно изменить двумя способами: за счет выполнения работы либо в результате теплопередачи. В природе существует три вида теплопередачи – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

● Следствием теплообмена между телами может быть: повышение или снижение их температуры, изменение агрегатного состояния вещества или выполнение механической работы.

● Тепловые процессы характеризуются количеством теплоты, переданным телу. Количество теплоты, сообщенное телу, определяется его теплоемкостью и изменением температуры: $Q = C\Delta t$. Теплоемкость тела равна произведению удельной теплоемкости вещества на массу тела: $C = cm$. Отсюда в общем виде количество теплоты вычисляется по формуле: $Q = cm\Delta t$.

● В теплообменных процессах выполняется условие теплового баланса: сумма количества теплоты, полученного телами в результате теплообмена, равна сумме количества теплоты, которое отдали другие тела, находящиеся в теплообмене.

• Различные виды топлива имеют разную теплотворную способность, которая характеризуется удельной теплотой сгорания топлива. Количество теплоты, выделяемое при горении, равно произведению удельной теплоты сгорания топлива на его массу: $Q = qm$. Коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя вычисляется в процентах как отношение количества теплоты $Q_{\text{п}}$, которое пошло на нагревание, к полному количеству теплоты Q , полученному в результате сгорания топлива:

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q} \cdot 100 \%.$$

• Изменение агрегатных состояний вещества определяют тепловые процессы, которые сопровождаются поглощением или выделением некоторого количества теплоты. В частности, во время плавления или кристаллизации твердых тел, происходящих при определенной температуре, количество теплоты равно произведению удельной теплоты плавления вещества на массу тела: $Q = \lambda m$. Количество теплоты при испарении или конденсации жидкости вычисляется как произведение удельной теплоты парообразования на массу жидкости или пара: $Q = rm$.

• Для преобразования тепловой энергии в механическую существуют тепловые машины, конструктивно состоящие из источника тепловой энергии (нагреватель), рабочего тела, превращающего полученное количество теплоты Q_1 в механическую работу A , и охладителя, которому рабочее тело отдает неиспользованную часть тепловой энергии Q_2 . Тепловые машины характеризуются коэффициентом полезного действия:

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

который всегда меньше 1.

• В основу принципа действия тепловых машин положены фундаментальные законы природы. В частности, закон сохранения и превращения энергии гласит, что невозможен такой тепловой процесс, единственным результатом которого было бы выполнение механической работы лишь за счет охлаждения источника тепловой энергии, без каких-либо изменений в окружающей среде. Это значит, что нельзя создать так называемый вечный двигатель, который способен превратить всю переданную ему тепловую энергию в работу.

Алфавитный указатель

А

Анероид 107
 Архимед 72
 Атмосфера 102
 Атмосферное давление 102
 Аэростат 120

Б

Барометр 105
 – ртутный 105
 Батискаф 98
 Батисфера 98
 Блок неподвижный 77
 – подвижный 78
 Больцман Л. 158

В

Ватерлиния 117
 Ватт 146
 Вес 61
 Вечный двигатель 144
 Водотоннажность 117
 Воздухоплавание 118
 Всемирное тяготение 55

Г

Галилей Г. 17
 Герике О. 103
 Герц Г. 31
 Гидравлическая машина 91
 Гравитационное взаимодействие 56
 График изменения агрегатного
 состояния вещества 190
 – механического движения 19
 – энергии 138
 Графическое изображение силы 46
 – скорости 20, 21
 Грузоподъемность 117

Д

Давление 84
 – атмосферное 102
 – газа 89
 – жидкости 95
 Двигатель внутреннего сгорания 195
 Движение вращательное 11
 – криволинейное 12
 – механическое 6
 – неравномерное 20
 – поступательное 10
 – прямолинейное 12
 – равномерное 18
 Деформация 57
 Джоуль Дж. 128

Динамометр 45
 Дирижабль 120
 Домкрат 83

Е

Единицы времени 9
 – давления 85
 – давления атмосферного 106
 – количества теплоты 128
 – массы 50
 – момента силы 71
 – мощности 146
 – плотности вещества 52
 – пути 15
 – работы 128
 – силы 45
 – скорости 16
 – температуры 154
 – энергии 136

З

Закон Архимеда 109
 – всемирного тяготения 55
 – Гука 58
 – Паскаля 91
 – сохранения и превращения
 энергии 140
 «Золотое правило» механики 130

И

Измерение атмосферного давле-
 ния 104
 – массы 50
 – температуры 153
 Инертность 49
 Инерция 49
 Испарение 183

К

Калориметр 167
 Калориметрический метод 167
 Карно С. 194
 Кельвин 155
 Кипение 185
 Колебания 34
 Количество теплоты 164
 Конвекция 161
 Конденсация 185
 Коэффициент полезного действия
 (КПД) нагревателя 175

М

Майер Р. 143
 Максвелл Дж. 158
 Масса 50
 Материальная точка 11

Маятник математический 33
– физический 32
Международный эталон кило-
грамма 50
Механическое движение 6
Момент силы 71
Мощность 145

Н

Наклонная плоскость 81
Насос жидкостный 106
Невесомость 63
Ньютон И. 45

О

Опыт Герике 103
– Паскаля 96
– Торричелли 104
Осадка судна 117
Отвердевание 179
Относительность движения 6
– скорости 17
– формы траектории 13

П

Паскаль 85
Паскаль Б. 86
Передача давления 90
Период вращения 26
– колебаний 31
Плавание суден 117
– тел 112
Плавление твердых тел 177
Плечо силы 70
Плотность вещества 51
Подшипники 67
Подъемная сила в газе 119
Путь 14

Р

Работа механическая 127
– полезная 132
– силы тяготения 55
Рычаг 69

С

Сила 45
– Архимеда 110
– давления 85
– подъемная 119
– равнодействующая 47
– трения 64
– тяготения 55
– упругости 57
Скорость движения 15
– средняя 21
Сообщающиеся сосуды 99
Сублимация 183

Т

Температура кипения 184
– плавления 178
– тела 153
Тепловая машина 193
Тепловое движение 157
– состояние тела 151
Тепловой баланс 168
Теплоемкость тела 164
Теплообмен 151
Теплопередача 160
Теплопроводность 163
Теплота сгорания топлива 174
Термометр 153
Томсон В., лорд Кельвин 155
Торричелли Э. 104
Точка приложения силы 47
Траектория движения 11
Трение 65
Турбина газовая 197
– паровая 197
Тяготение 55

У

Уатт Дж. 146
Удельная теплоемкость вещества 164
Удельная теплота кристаллиза-
ции 180
– – парообразования 183
– – плавления 178
– – сгорания топлива 174
Уравнение теплового баланса 168

Ц

Цельсий А. 153
Цена деления шкалы 59

Ч

Частота вращения 26
– колебаний 31

Ш

Шкала 59
– температурная абсолютная 155
– температурная Цельсия 153
Шлюзы 101

Э

Экологические проблемы приме-
нения тепловых машин 199
Энергия внутреннего тела 155
– кинетическая 138
– потенциальная 136

Ответы к упражнениям

Упражнение 4. 4. 2460 км; 5. 100 с; 6. 1,2 с; 7. 20 м/с.

Упражнение 7. 2. 730 кг/м³; 3. 800 кг/м³; 5. 2,85 кг; 6. 5850 кг; 7. 48 т; 8. 100 л; 10. В 17 раз.

Упражнение 8. 2. 5 кг.

Упражнение 9. 3. 0,3 м; 4. 112 мм.

Упражнение 10. 1. 19,6 Н; 2. 686 Н; 0.

Упражнение 11. 1. 20 Н; 2. 2,45 Н; 3. 12 см; 6. 25 см от правого конца.

Упражнение 12. 2. 53 Н; 3. 420 Н.

Упражнение 14. 3. 392 кПа; 4. 49 кПа; 5. 196 кПа; 6. 4898 кг; 7. 150 000 МПа.

Упражнение 15. 1. 210 кПа; 3. 200 кПа.

Упражнение 16. 1. 20 кН; 2. 0,2 Н; 3. 6 см².

Упражнение 17. 1. 1764 Па; 2. 735 кПа; 3. 908,46 кПа; 4. 4083 м; 5. 613,24 м; 6. 74 480 Па; 21,6 МН.

Упражнение 18. 3. 0,6 м; 4. 0,625 м.

Упражнение 19. 1. 106,6 кПа; 66,64 кПа; 70,6 кПа. 2. 675 мм; 825 мм; 728 мм; 3. 10,36 м; 4. 6,8 м.

Упражнение 20. 2. 48 м.

Упражнение 21. 6. 8,5 Н; 7. 2,16 кН; 8. 3,8 кН; 9. 0,005 м³; 10. 2,013 кН; 11. 1,96 Н.

Упражнение 22. 4. 4,9 Н; 6. Утонет; 9. Уменьшилась; 10. 811,44 МН; 80 388 м³; 11. 38,8 МН.

Упражнение 23. 1. 3,8 кН; 2. 87,024 Н; 3. 0,004 Н; 4. 0,042 Н; 6. 10066,7 Н.

Упражнение 24. 4. 1 Дж; 5. 980 кДж; 6. 6 кДж; 7. 300 Дж.

Упражнение 25. 1. 90,7 %; 2. 91,9 %; 3. 30,9 кг; 4. 3,92 кДж; 5. 490 Н; 6. 245 Н; 1,2 м; 7. 73,5 %.

Упражнение 26. 2. 1,53 м; 3. 156,8 кН.

Упражнение 27. 5. 625 Дж; 6. 20 м/с; 7. 100 т.

Упражнение 28. 4. 196 Дж; 98 Дж; 5. 70,56 кДж.

Упражнение 29. 1. 0,0001 Вт; 2. 24,5 кВт; 3. 3,06 Вт; 4. 14,7 кВт; 5. 2 м/с; 5 м/с; 6. 120 км; 9. 2400 с; 10. 4 МВт; 11. 2,5 кДж; 12. 39,22 с.

Упражнение 30. 1. Внутренняя энергия воздуха в пробирке уменьшится за счет выполнения газом работы. 2. Потому что ватная и меховая одежда является плохим проводником теплоты, предохраняя таким образом человеческое тело от высокой температуры окружающей среды. 3. Чтобы уменьшить теплопроводность тела. 4. Потому что теплопроводность металлов лучше, чем у древесины, и отбор ими теплоты происходит более интенсивно. 5. Потому что древесина и пластмасса имеют плохую теплопроводность. 6. Чтобы уменьшить поглощение тепловой энергии солнечного излучения. 7. Потому что разреженный газ является плохим проводником теплоты, лучше сохраняя тем самым температуру в помещении.

Упражнение 31. 1. 135 Дж/К; 2. 0,4 кг; 3. $c = 380$ Дж/кг · К; это медь; 4. 110 К; 5. 894 кДж; 6. 8 МДж; 7. 40 °С; 50,4 кДж; 8. 20 г; 9. 12 °С.

Упражнение 32. 1. 370 кг; 2. 5,5 кг; 3. 14 г; 4. 30 °С; 5. 40 %.

Упражнение 33. 1. 530 кДж; 2. 194 кДж; 3. 1200 кДж; 4. 0,275 кг; 5. 0,26 кг.

Упражнение 34. 1. 77,4 кДж; 2. 13 г; 3. 7,5 °С; 4. Нет.

Упражнение 35. 1. 15 кг; 2. 30 %.

СОДЕРЖАНИЕ

Дорогой друг!	3
---------------	---

Глава 1. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

§ 1. Механическое движение и пространство. Относительность движения	5
§ 2. Механическое движение и время	8
§ 3. Физическое тело и материальная точка	10
§ 4. Траектория движения тела	11
§ 5. Путь, который проходит тело	14
§ 6. Скорость движения тела	15
§ 7. Средняя скорость	20
Лабораторная работа № 1. Измерение средней скорости движения тела	23
§ 8. Движение точки по окружности	25
§ 9. Вращение твердого тела	27
Лабораторная работа № 2. Измерение периода и частоты вращения твердого тела	28
§ 10. Колебательные движения. Амплитуда, период и частота колебаний	30
§ 11. Физический и математический маятники	32
Лабораторная работа № 3. Исследование колебаний ниточного маятника	33
§ 12. Звуковые и ультразвуковые колебания и их использование	34
Лабораторная работа № 4. Изучение характеристик звука	40
Главное в главе 1	41

Глава 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 13. Взаимодействие тел. Сила	43
§ 14. Инертность тел. Масса	48
§ 15. Плотность вещества	51
§ 16. Сила тяготения	54
§ 17. Деформация тел	57
Лабораторная работа № 5. Градуирование шкалы динамометра	59
§ 18. Вес тела	61
§ 19. Сила трения	64
§ 20. Как учитывают силы трения	66
Лабораторная работа № 6. Измерение коэффициента трения	67
§ 21. Рычаг	69
§ 22. Где используют рычаги	72
Лабораторная работа № 7. Исследование свойств рычага	74
§ 23. Блоки	77
Лабораторная работа № 8. Изучение блоков	80
§ 24. Наклонная плоскость	81
§ 25. Механическое давление	84
§ 26. Как учитывают давление	87
§ 27. Давление газов и жидкостей. Закон Паскаля	88
§ 28. Гидравлическая машина	91
§ 29. Использование гидравлической машины в технике	92
§ 30. Весовое давление жидкостей	95
§ 31. Как человек исследует водные глубины	97
§ 32. Сообщающиеся сосуды	99
§ 33. Применение сообщающихся сосудов	100
§ 34. Атмосферное давление. Опыт Торричелли	102

§ 35. Барометры	105
☞ § 36. Жидкостный поршневой насос	107
§ 37. Выталкивающая сила. Закон Архимеда	109
§ 38. Условия плавания тел	112
<i>Лабораторная работа № 9. Выяснение условий плавания тел</i> ..	114
☞ § 39. Плавание судов	117
☞ § 40. Воздухоплавание	118
<i>Лабораторная работа № 10. Взвешивание тел гидростатическим методом</i>	121
<i>Главное в главе 2</i>	125

Глава 3. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. МОЩНОСТЬ

§ 41. Механическая работа	127
§ 42. «Золотое правило» механики	130
<i>Лабораторная работа № 11. Измерение КПД наклонной плоскости</i>	133
§ 43. Потенциальная энергия	135
§ 44. Кинетическая энергия	137
§ 45. Закон сохранения и превращения механической энергии ..	140
☞ § 46. Использование закона сохранения и превращения энергии	143
§ 47. Мощность	145
<i>Главное в главе 3</i>	149

Глава 4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

§ 48. Тепловое состояние тел. Теплообмен	151
§ 49. Температура тел. Измерение температуры тела	153
<i>Лабораторная работа № 12. Измерение температуры разными термометрами</i>	156
§ 50. Внутренняя энергия тел. Два способа изменения внутренней энергии	157
§ 51. Виды теплопередачи	160
§ 52. Количество теплоты. Удельная теплоемкость вещества	164
<i>Лабораторная работа № 13. Определение удельной теплоемкости вещества</i>	167
§ 53. Тепловой баланс	168
<i>Лабораторная работа № 14. Сравнение количества теплоты при смешивании воды различной температуры</i>	172
§ 54. Теплота сгорания топлива. КПД нагревателя	174
<i>Лабораторная работа № 15. Определение КПД нагревателя</i> ..	176
§ 55. Плавление твердых тел. Кристаллизация	177
§ 56. Примеры решения задач	181
§ 57. Испарение и конденсация жидкостей	183
§ 58. Примеры решения задач	186
§ 59. Объяснение изменения агрегатных состояний вещества на основе атомно-молекулярного учения	189
§ 60. Превращение тепловой энергии в механическую. Принцип действия тепловых машин	193
§ 61. Двигатель внутреннего сгорания	195
§ 62. Паровая и газовая турбины	197
§ 63. Экологические проблемы применения тепловых машин	199
<i>Главное в главе 4</i>	202
<i>Алфавитный указатель</i>	204
<i>Ответы к упражнениям</i>	206