



П.Ф. Пшеничка
С.В. Мельничук

ФИЗИКА

7



ББК 22.3я72
П 93

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ від 20.07.2015 № 777)*

**Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено**

Пшенічка П. Ф., Мельничук С. В.
П 93 Фізика : підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів з навчанням російською мовою / П. Ф. Пшенічка, С. В. Мельничук. – Чернівці : Букрек, 2015. – 248 с. : іл.
ISBN 978-966-399-708-7

ББК 22.3я72

ISBN 978-966-399-708-7

© Пшенічка П. Ф., Мельничук С. В., 2015
© Видавничий дім «Букрек», 2015

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Физика – это удивительная наука, которая дает возможность разглядеть в обычных предметах и явлениях скрытую сущность и является основой техники, а также всех естественных наук. Чем занимается физика, вы поймете, прочитав уже первый параграф учебника. Вы также ознакомитесь с самыми интересными и важными открытиями, которые были сделаны в физике за последние сто лет и последнее десятилетие.

Предлагаем несколько советов, как пользоваться учебником

Прежде всего условные обозначения:



– творческое задание



– тема для исследования



– упражнение



– опыт



– из истории науки



– интересные факты

Физика в первую очередь – экспериментальная наука. В учебнике описано множество интересных и захватывающих *опытов*, которые вполне возможно осуществить самостоятельно дома. Надеемся, что это доставит вам удовольствие.

Основной материал параграфов, на который необходимо обратить внимание, выделен **полужирным** шрифтом. В конце каждого параграфа есть *творческие задания* для наиболее любознательных, *контрольные вопросы* для самоконтроля и *упражнения с устными и письменными задачами*. Если они окажутся вам по силам, значит вы хорошо усвоили материал.

Среди задач есть не только простые, но и средней сложности, и даже довольно сложные. Чтобы решить их, необходимо более внимательно изучить теорию, а, возможно, и прибегнуть к помощи справочников и хорошенько поразмыслить. Сложные вопросы и разделы теории в учебнике отмечены звездочкой *.

Реальная жизнь значительно интересней любого учебника! Именно поэтому мы включили в него темы для исследований, которые помогут понять суть настоящих физических проблем.

Так как язык современной физики довольно сложен, в конце учебника находится словарь физических терминов, цель которого – помочь понять и усвоить научную терминологию.

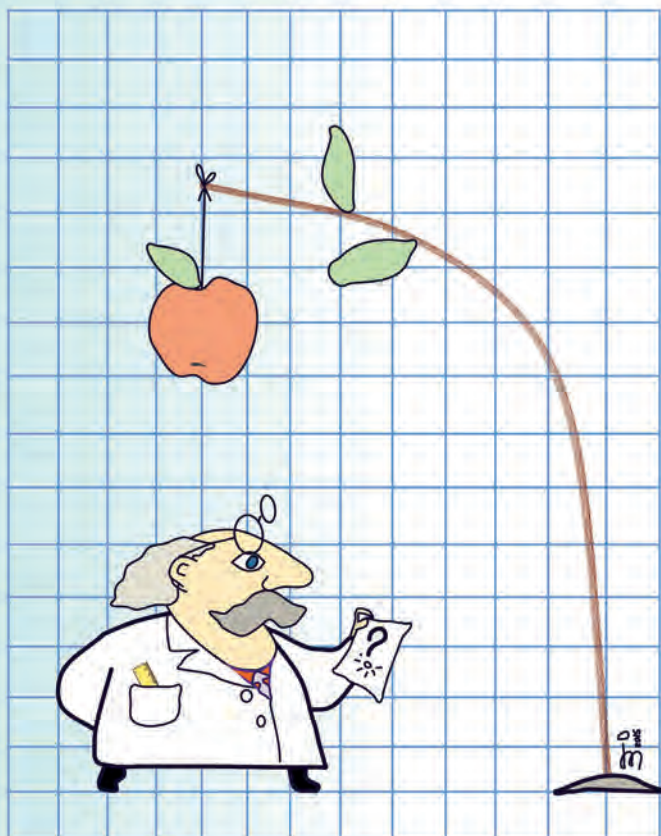
Успехов вам!

Раздел 1

ФИЗИКА как естественная наука

наука

физика – естественная



§ 1. ФИЗИКА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА О ПРИРОДЕ. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

ЧТО ИЗУЧАЕТ ФИЗИКА

Человек по своей природе очень любознателен. Его интересует все, что происходит вокруг: почему на смену весне приходит лето, а затем – осень; почему светит Солнце; почему день сменяется ночью; откуда утром появляется роса; какие наименьшие частицы в мире, а какие наибольшие; из чего состоит Вселенная; что ожидает нас в будущем и еще многие, многие вопросы.

На эти вопросы отвечает физика – наука, которая дает возможность понять природу, потому что уже в самом названии кроется ее суть. *Physis* в переводе с греческого значит «природа». Природу изучает не только физика, но и биология, химия, география, астрономия. Чем же особенна физика?

Физика - это наука, которая изучает самые простые и вместе с тем самые общие свойства и законы движения объектов окружающего мира.

За этим сухим определением из энциклопедии кроется огромный мир науки. Вы будете знакомиться с ней постепенно, открывая для себя все новые и новые вершины физики.

КАК ФИЗИКИ ИЗУЧАЮТ ПРИРОДУ. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Вы, наверное, давно заметили, что мир вокруг нас постоянно меняется. Яблоки с дерева падают вниз, а шары, наполненные гелием, поднимаются вверх. **Изменения в природе называют явлениями.**

События происходят в определенном порядке, то есть с течением времени: во время грозы сначала вспыхивает молния (рис. 1.1), а после нее слышатся раскаты грома. Почему так происходит, в чем здесь причина?

Явления имеют разную природу. Падение яблока и полет воздушного шара – это механические явления. Таяние снежинки в ладони – тепловое явление. Гром – звуковое явление, а молния – световое, электрическое и множество других сопутствующих явлений.

Физика основывается на фактах, полученных в результате наблюдений. Наблюдения часто быва-



Рис. 1.1. Явление молнии

ют случайными, но факты добывают в итоге целенаправленно проведенных **экспериментов** и **исследований** с использованием специальных **приборов**, проводя соответствующие **измерения**. Полученные факты анализируют и пытаются объяснить. Так появляются предположения, которые в науке называют **гипотезами**. Проверенные многими исследователями гипотезы становятся **теориями**.

Физики изучают явления природы, используя разнообразные приборы, и объясняют их физическими теориями.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Наблюдаем за небом

Когда мы смотрим на звездное небо, нас поражает грандиозность и величие Космоса. Люди наблюдают за небом уже много тысячелетий. Но по-настоящему поняли и объяснили увиденное именно физики.

Солнце – ближайшая к нам звезда – это раскаленный газовый шар, диаметр которого приблизительно 1,5 млн. км. Наша планета находится от нее на расстоянии 150 млн. км. Температура на «поверхности» Солнца достигает 6000 градусов, а в центре – уже 15 млн. градусов. При таких температурах происходят термоядерные реакции, которые позволяют звезде излучать энергию на протяжении десятков миллиардов лет. Откуда же все это стало известно?!

Оказывается, свет переносит значительную информацию о звезде, в частности: а) ее температуре; б) приближается она к нам или отдаляется; в) скорости ее движения и г) из каких веществ она состоит.



а)



б)



в)

Рис. 1.2. Телескопы: а) оптический телескоп Галилея, б) зеркальный телескоп Ньютона, в) современный телескоп

Физические приборы, установленные на телескопах, позволяют измерять все эти физические величины. Первый оптический (линзовый) телескоп построил итальянский физик Галилео Галилей, а первый зеркальный телескоп – английский физик Исаак Ньютон. Физики научились расшифровывать информацию, которую приносит не только видимый свет, но и невидимое инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, радиоволны, а также рентгеновские и гамма-лучи.

Галактики

Современные телескопы (рис. 1.2) позволяют увидеть звездные системы – галактики, которые находятся от нас на огромных расстояниях. На рис. 1.3 изображена фотография нашей «соседки» – Галактики М 31, которая наблюдается в созвездии Андромеды.

При ясной погоде темной ночью на небе можно разглядеть светлую полосу, которая тянется через весь небосклон – Млечный путь. Она содержит такое огромное количество звезд, что наш глаз их не различает. Это наша Галактика (или Млечный путь), которая насчитывает около 200 млрд. звезд и имеет диаметр 100 000 световых лет (световой год – это расстояние, преодолеваемое светом за один год). Этот своеобразный звездный диск делает один оборот в 250 млн. лет. Наша Солнечная система (Солнце и планеты, которые вращаются вокруг него) расположена довольно далеко от центра Галактики (около 26 000 световых лет).



Рис. 1.3. Галактика М 31 находится так далеко от нас, что свет от нее доходит к нам приблизительно за 2,8 млн. лет (за одну секунду свет преодолевает 300 000 км). Это одно из ближайших к нам звездных скоплений, и наша Галактика – Млечный путь (Galaxy – лат. «молоко») – очень на нее похожа

Расстояние от самых отдаленных галактик до нас свет преодолевает примерно за 14 млрд. лет. Это значит, что мы видим их такими, какими они были миллиарды лет назад. Таким образом, мощный телескоп, как своеобразная машина времени, дает возможность заглянуть в прошлое Вселенной.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Физики изучают явления природы с помощью физических приборов.
- ⇒ Изменения в природе называются явлениями.
- ⇒ Физика – это наука, которая изучает самые простые и вместе с тем самые общие свойства и законы движения объектов окружающего мира.
- ⇒ При изучении явлений окружающего мира физики наблюдают, проводят опыты и вычисления, на основании которых создают физические теории.
- ⇒ Полученные физиками знания дают нам возможность понимать окружающий мир и способствуют прогрессу человечества.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 1.1. Внимательно рассмотрите *рис. 1.1*. Сколько вопросов вы сможете задать о явлении молнии, изображенном на рисунке?
- 1.2. Где находятся самые большие в мире телескопы? Каковы их размеры и характеристики?
- 1.3. Какое основное отличие телескопов, сконструированных двумя выдающимися физиками – Ньютоном и Галилеем?



УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Что изучает физика?
2. Приведите примеры физических явлений: **а)** механических, **б)** звуковых, **в)** тепловых, **г)** электрических и **д)** световых.
3. Для каких потребностей в физике используют приборы?
4. Как ученые определяют состав звезд, их температуру и скорость?
5. Назовите несколько разновидностей телескопов, при помощи которых исследуют Вселенную (используйте разные источники информации – Интернет, энциклопедии и тому подобное).
6. Почему телескоп можно назвать своеобразной «машиной времени»?
7. Какое расстояние называют «световым годом»?
8. Какое расстояние (в километрах) от нас до Солнца?
9. Какая температура на: **а)** поверхности и **б)** в центре Солнца, **в)** Почему слово «поверхность» в тексте параграфа взято в кавычки?
10. Что собой представляет Млечный путь?
11. Сколько звезд насчитывает наша Галактика?
12. Насколько далеко от нас находится «край» Вселенной?
13. Почему мы сначала видим молнию и только потом слышим гром?
14. Во сколько раз расстояние от Земли до Солнца больше диаметра Солнца?
15. Рассчитайте, какое расстояние в километрах проходит свет за: **а)** одну минуту, **б)** один час, **в)** одни сутки, **г)** *один год?
16. Во сколько раз Солнце больше Земли?
17. Выразите скорость света в м/с.
- * 18. Почему телескопы строят высоко в горах или выносят за пределы атмосферы?
- * 19. На какое расстояние от Земли уже распространились в космосе сигналы наших радиостанций?
- * 20. Почему, когда мы смотрим ночью на звездное небо, оно кажется похожим на сферический купол? Так и говорят: «небесная сфера».

§ 2. НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА. ВЕЩЕСТВО И ПОЛЕ

Окружающий нас мир материален. Материя – это все то, что реально существует в природе и может быть выявлено человеком. В настоящее время различают два вида материи – вещество и поле. Вещество состоит из маленьких частиц – молекул, которые состоят из атомов. А те, в свою очередь, состоят из электронов, протонов и нейтронов. Поле осуществляет передачу взаимодействия между частицами, из которых состоит вещество. Поле действует на расстоянии, и его не видно. Но, например, если мы подпрыгнем, то гравитационное поле вернет нас назад.

ИСТОРИЯ ИДЕИ О НЕДЕЛИМЫХ АТОМАХ

Мыслители Древней Греции – Левкипп и Демокрит (V в. до н. э.) изложили гипотезу (догадку) о том, что вещества, из которых состоят окружающие тела, сами состоят из невидимых маленьких частиц. То есть вещество не сплошное, а имеет «зернистую» структуру и разделяется на простейшие составляющие – атомы, которые далее уже невозможно разделить («атомос» по-гречески – неделимый). Возможно, эта идея была заимствована из опыта строительства, ведь разнообразные по форме сооружения построены всего из нескольких видов кирпича.

В начале XX в. атомарная гипотеза была наконец математически доказана Альбертом Эйнштейном и Марианом Смолуховским, а также экспериментально обоснована Жаном Перреном.

Как видите, для установления того «простого» факта, что миллионы разных веществ состоят лишь из сотни разного «сорта» атомов, понадобилось около 2500 лет.

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ

Атомы оказались не такими уж неделимыми. В 1911 г. международной группе ученых под руководством английского физика Эрнеста Резерфорда удалось установить, что в центре атома есть маленькое ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Вокруг ядра с огромной скоростью вращаются электроны (рис. 2.1), подобно тому, как планеты вращаются вокруг Солнца. Ядро атома состоит из протонов и нейтронов. Их масса приблизительно одинакова (нейтрон немного тяжелее). Протон обладает положительным зарядом, а нейтрон (нейтральный) – нет.

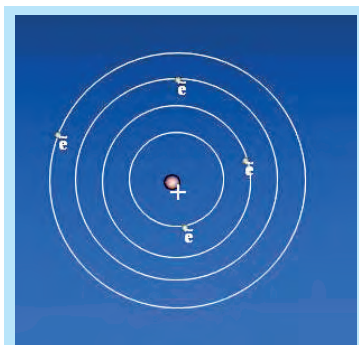


Рис. 2.1. Модель атома Э. Резерфорда

Электрон намного легче протона и нейтрона (приблизительно в 2000 раз) и обладает отрицательным зарядом. Поскольку заряды противоположных знаков притягиваются, то ядро достаточно сильно удерживает около себя электроны – то есть атомы крепкие, и разрушить их непросто.

Числовые значения зарядов протона и электрона одинаковы. Это наименьшие электрические заряды, которые существуют в природе. Их называют элементарными. Количество протонов в ядре равняется количеству электронов, которые вращаются вокруг ядра, поэтому атом в целом электрически нейтрален.

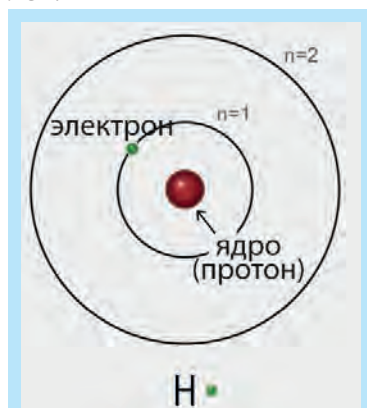


Рис. 2.2. Модель атома Гидрогена, созданная Н. Бором

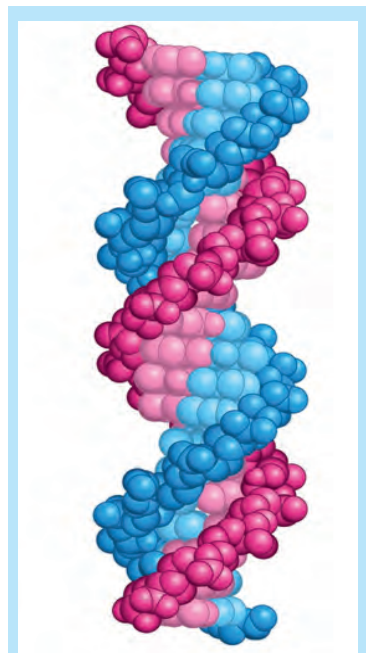


Рис. 2.3. Модель молекулы ДНК

Впервые теорию, которая хорошо описывала свойства простейшего из атомов – атома Гидрогена, создал датчанин Нильс Бор. Позже с помощью квантовой физики удалось также описать свойства более сложных атомов.

Каждый атом имеет специальное наименование и обозначение (символ). Например: Гидроген (H), Кислород (O), Аурум (Au). Атомы разных видов отличаются своими химическими свойствами и массой. Сегодня известно 118 видов атомов, но мы знаем намного больше разных веществ. Почему так? Дело в том, что вещества по большей части состоят из молекул.

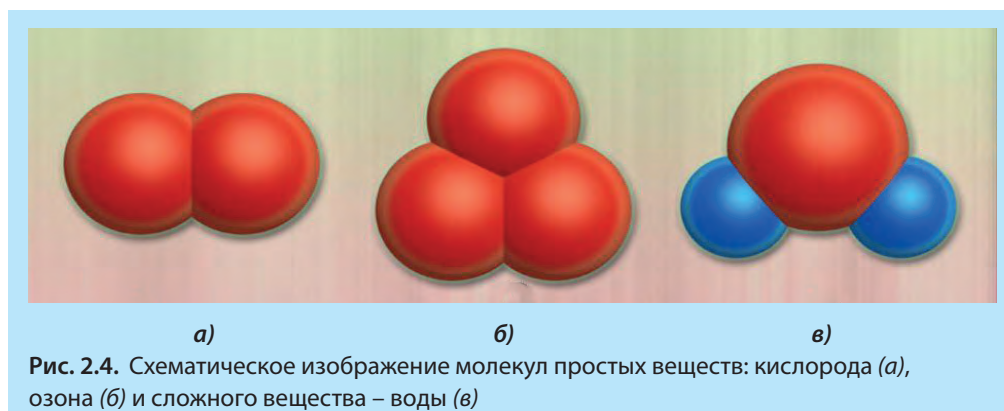
Молекулой называется наименьшая частица вещества, которая имеет его основные химические свойства и состоит из атомов.

Каждая молекула – это комбинация определенных атомов. Например: молекула воды состоит из двух атомов Гидрогена и одного атома Кислорода (H_2O); молекула азота – из двух атомов Нитрогена (N_2).

Есть вещества, молекулы которых состоят из очень большого количества атомов (сотни и даже тысячи). Это молекулы органических веществ. Одно из таких веществ – ДНК, молекулы которой передают наследственный код живых организмов (рис. 2.3). Внутри живой клетки ДНК содержится в свернутом состоянии. Если бы ее удалось вытянуть в линию, то она достигала бы двух метров.

ПРОСТЫЕ И СЛОЖНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Простые вещества состоят исключительно из атомов одного химического элемента. Например: кислород состоит из двух атомов Кислорода (O_2), а озон – из трех атомов этого же Кислорода (O_3), золото – из одного атома Аурума.



В состав молекул сложных веществ входят атомы разных элементов. Например: газ метан состоит из одного атома Карбона и четырех атомов Гидрогена (CH_4), вода состоит из одного атома Оксигена и двух – Гидрогена (H_2O).

ПРОМЕЖУТКИ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ И АТОМАМИ

Между молекулами и атомами существуют промежутки. Это легко доказать, проводя опыт.



ОПЫТ 2.1

Смешайте 100 мл воды и 100 мл спирта, определите объем смеси. Объем смеси будет меньше, чем 200 мл. Это происходит потому, что при смешивании молекулы воды проникают в промежутки между молекулами спирта.

Чтобы представить, как это происходит, можно провести еще один опыт.



ОПЫТ 2.2

Насыпьте в стакан пшена столько, чтобы он был заполнен наполовину. Добавьте столько же гороха. Стакан заполнен до краев. А теперь осторожно перемешайте горох с пшеном и обратите внимание на общий объем смеси – он уменьшился.

РАЗМЕРЫ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

Молекулы и атомы очень малы. Их размеры составляют приблизительно 10^{-10} м (0,000 000 000 1 м). Размер молекулы воды, например, 3×10^{-10} м (0,000 000 000 3 м). Если представить, что молекулу воды увеличили до размера яблока, то величина яблока будет сравнима с размерами Земли. В одной чайной ложке воды приблизительно столько же молекул H_2O , сколько чайных ложек воды в Мировом океане (всех вместе взятых морях и океанах Земли).

Размер ядра атома приблизительно в 10 000 раз меньше, чем размер атома. Между ядром и электронами есть незаполненное пространство – вакуум (пустота). Но там действует электрическое поле.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Волновая природа материи

Заряженные частицы взаимодействуют при посредничестве электрических и магнитных полей, а ядерные частицы (протоны и нейтроны) – через ядерное поле.

Планетарная модель, схематически изображенная на *рис. 2.5*, несколько упрощает строение атома. Расчеты показали, что электрон в атоме Гидрогена должен за одну миллионную долю секунды сделать миллиард оборотов вокруг ядра, то есть в приемлемом для нас масштабе времени электрон должен был бы почти одновременно находиться во всех точках своей траектории.

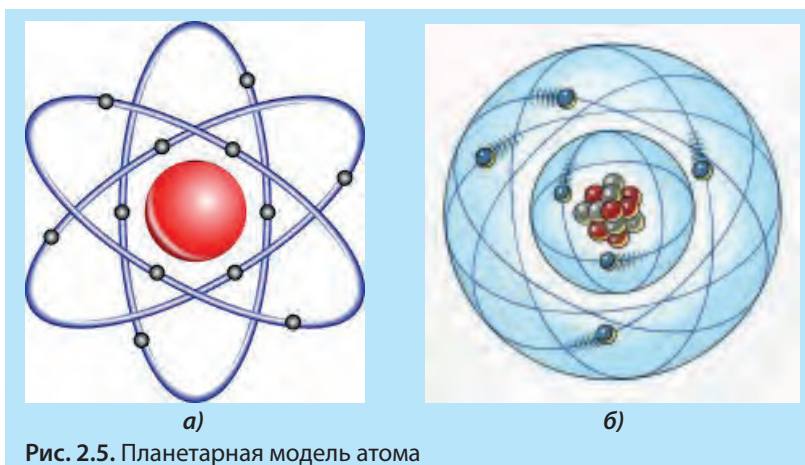


Рис. 2.5. Планетарная модель атома

Квантовая механика уточнила представление ученых об атоме. Электроны атомных оболочек согласно новой теории уже больше напоминают волны и образуют так называемое электронное облако. На *рис. 2.6* синим цветом изображена область электронного облака, где вероятность пребывания электронов наибольшая, а старая орбита – это просто место, где электроны бывают чаще всего. Взаимодействие ядра и электронного облака в атоме осуществляется через электрическое поле, которое по своей силе во много раз превосходит поле молнии.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Материя состоит из вещества и поля. Вещество состоит из молекул и атомов.
- ➔ Молекула – это наименьшая частица вещества, которая имеет ее основные химические свойства и состоит из атомов.
- ➔ Атомы состоят из ядра, в котором находятся протоны и нейтроны, и электронов, которые вращаются вокруг ядра с огромной скоростью, образуя электронное облако (оболочку).
- ➔ Ядро и электроны удерживаются в атоме при посредничестве электрического поля.
- ➔ Частицы ядра (протоны и нейтроны) скреплены ядерным полем.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 2.1. Древний мыслитель Лукреций Кар (99–55 гг. до н. э.) утверждал в своей поэме «О природе вещей», что «существуют только атомы и пустота». Насколько он был прав и в чем, по вашему мнению, ошибался?
- 2.2. Чем отличаются химические элементы, которые входят в состав таблицы Менделеева?



УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Из чего состоит вещество?
2. Из чего состоят молекулы, атомы?
3. Из каких частиц состоят атомные ядра?
4. Какие силы действуют между: а) протонами, б) протонами и электронами?
5. Чем отличаются простые вещества от сложных?
6. Какое поле «склеивает» протоны и нейтроны в ядре?
7. Почему протоны не разлетаются из ядра атома, ведь они имеют одинаковый электрический заряд и отталкиваются?
8. Чем отличаются разные вещества друг от друга?
9. Во сколько раз один метр больше атома Гидрогена?
10. Во сколько раз атом Гидрогена больше своего ядра?
11. Какая наука объясняет строение сложных атомов?
12. Какой вид материи находится между ядром атома и электронной оболочкой?
- * 13. Во сколько раз масса протона больше массы электрона?
- * 14. Можно ли точно указать размеры атома?
- * 15. Действуют ли ядерные силы между электронами

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО УЧЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (МКТ)

Если бы случилась мировая катастрофа и все научные знания оказались бы уничтоженными, будущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза. Какое утверждение с наименьшим количеством слов несло бы больше всего информации? Этот вопрос задал своим слушателям на лекции известный физик Ричард Фейнман.

Многие ученые считают именно такие утверждения очень важным:

Все тела состоят из маленьких частиц (атомов), которые непрерывно и беспорядочно двигаются и взаимодействуют между собой.

Эти утверждения являются основными положениями атомно-молекулярного учения. Доказать их истинность сейчас нетрудно.

Фото атомов и молекул, сделанные с помощью электронных микроскопов, говорят сами за себя.

ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ И АТОМОВ

В 1990-х годах ученым удалось сконструировать электронный микроскоп, который осуществляет съемку движения молекул газа в режиме реального времени. Подтверждением того, что молекулы и атомы находятся в постоянном движении, является такое интересное явление, как диффузия (от лат. *diffusio* – распространение, растекание) – процесс взаимного проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого.



а)



б)

Рис. 3.1. Электронные микроскопы: а) первый; б) современный сканирующий



ОПЫТ 3.1

Попросите товарища поставить на расстоянии 1 м флакон с духами. Определите, через какое время вы почувствуете запах.



ОПЫТ 3.2

Наберите в стакан холодной воды и капните туда 2–3 капли пищевого красителя. Определите, через какое время жидкость в стакане станет однородно окрашенной. Повторите опыт с горячей водой. Сравните полученные промежутки времени.

Эти и другие опыты свидетельствуют о том, что диффузия происходит в газах, жидкостях и даже твердых телах. Скорость диффузии зависит от скорости движения молекул вещества и промежутков между молекулами.

Явление диффузии очень распространено в природе. Благодаря ему происходит дыхание всех живых организмов. Кислород из воздуха попадает в водоемы и в почву.

Обмен питательными веществами в живом организме – это тоже диффузия.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ И АТОМАМИ

Все окружающие тела состоят из молекул и атомов. Но в одних эти молекулы свободно парят в пространстве, например, молекулы кислорода или углекислого газа в воздухе. А другие держатся «кучкой», вместе. Например, стол, шкаф, стакан с водой и тому подобное. Чтобы растянуть, разорвать эти тела на отдельные молекулы, надо приложить силу. Это происходит потому, что между молекулами и атомами существует взаимодействие. Они на малых расстояниях друг к другу притягиваются, а если их слишком прижать – будут отталкиваться.

Почему же осколки разбитой тарелки не скрепляются? Да потому, что при сжатии осколков только незначительная часть атомов приблизится на такое расстояние, чтобы подействовали силы притяжения. Однако этих сил будет недостаточно, чтобы удерживать осколки вместе. Чтобы заполнить промежутки между атомами и чтобы подействовало межатомное притяжение, используют клей.



ОПЫТ 3.3

Сложите два листа бумаги и поднимите один из них над столом. Второй лист соскользнет вниз.

Смочите водой оба листа и опять сложите их. Попробуйте поднять за кончик один из них. Второй лист, прилипнув к первому, поднимется вместе с ним.

Молекулы воды и бумаги приблизились настолько, что подействовало межмолекулярное притяжение.

Межмолекулярное (межатомное) отталкивание мешает нам сжать твердые тела и жидкости, потому что молекулы в них размещены довольно плотно. А газы достаточно легко сжимаются (до определенного предела), потому что у них есть «запас» расстояния между молекулами.



ОПЫТ 3.4

Наберите в шприц без иглы воды так, чтобы в нем не было воздуха. Плотно закройте пальцем отверстие для иглы и попробуйте сжать поршень воды.

Повторите опыт, набрав в шприц воздух.

До какого предела удалось сжать воду и воздух?

В зависимости от силы взаимодействия между молекулами и атомами вещество может находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии.



Рис. 3.2. Графит и алмаз состоят из одинаковых атомов

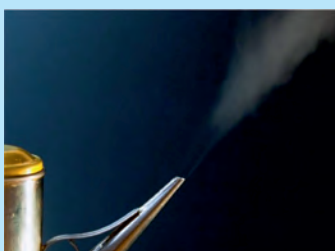


Рис. 3.3. Во время кипения вода превращается в пар



Рис. 3.4. Жидкий азот кипит при -196°C

Знание атомно-молекулярного учения приносит чрезвычайную пользу. Например, известно, что графит и алмаз состоят из одних и тех же атомов Карбона (рис. 3.2), но очень отличаются своими свойствами: графит мягкий, а алмаз – необычайно твердый. Когда исследователи поняли строение этих веществ, стало ясно, как можно из дешевого графита сделать алмаз. Современная обрабатывающая промышленность уже немыслима без инструмента, в котором используются искусственные алмазы.

ТВЕРДОЕ, ЖИДКОЕ И ГАЗО-ОБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Вещество может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии, которые называют агрегатными состояниями. Охлаждая воду, получим при 0°C лед. Если нагревать лед, то при 0°C он начнет превращаться в воду. Доведенная до кипения вода начинает превращаться в пар (рис. 3.3). А если водяной пар привести в контакт с холодным телом, например, перед носиком кипящего чайника держать холодную ложку или тарелку, то есть пар осуществил обратное превращение.

Следовательно, в воде есть что-то такое, что не изменяется при ее переходе из жидкого состояния в твердое или газообразное. Дело в том, что лед, вода и водяной пар состоят из одних и тех же молекул, молекул H_2O .

Если расплавить сталь, получится очень горячая жидкость. Охлаждая газ азот, входящий в состав воздуха, до минус 196°C , получим прозрачную и очень холодную жидкость. На рис. 3.4 показано, как кипящий жидкий азот из термоса переливают в стакан..

Каждое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Агрегатное состояние вещества зависит от температуры и от того, насколько сильно взаимодействуют молекулы.

В твердом теле молекулы (атомы) сильно взаимодействуют между собой, колеблются около

своего места равновесия и образуют правильную пространственную структуру – кристалл. Поэтому твердые тела имеют определенную форму и объем (рис. 3.5). В твердом и жидком состоянии молекулы расположены почти вплотную друг к другу. Взаимодействие молекул в жидкости достаточно сильное для того, чтобы они держались вместе как единое целое, но недостаточное для поддержания формы – жидкости текут. Жидкость в обычных условиях приобретает форму сосуда, в котором она находится, то есть сохраняет объем, но не имеет собственной формы (рис. 3.6)

Газ не имеет ни формы, ни объема и полностью заполняет сосуд, в котором находится (рис. 3.7). Расстояние между молекулами вещества в газообразном состоянии приблизительно в десять раз больше, чем в жидком и твердом, поэтому из одного кубического сантиметра воды можно запросто получить один кубический дециметр водяного пара.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Все вещества состоят из молекул, атомов.
- ➔ Атомы и молекулы находятся в постоянном беспорядочном движении и взаимодействуют между собой.
- ➔ В зависимости от энергии взаимодействия атомов (или молекул) вещество может находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 3.1. Почему графит нужно не только сильно сжать, а еще и сильно нагреть, чтобы превратить его в алмаз?
- 3.2. Объясните механизм растворения соли или сахара в воде.
- 3.3. Какова структура фуллеренов C_{60} , карбоновых нанотрубок и графена?



УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Какое утверждение является очень важным в физике?
2. Какие науки, кроме физики, изучают строение вещества?
3. Чем отличается молекула от атома?

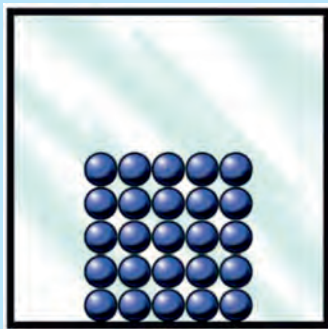


Рис. 3.5. Модель твердого состояния

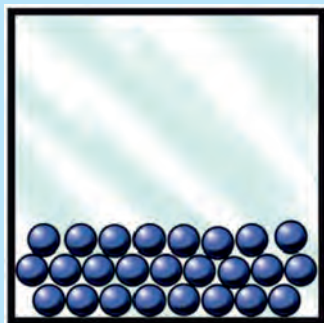


Рис. 3.6. Модель жидкого состояния

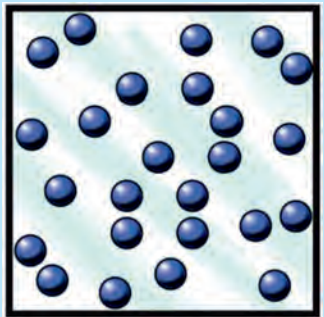


Рис. 3.7. Модель газообразного состояния

4. Сколько атомов содержит молекула углекислого газа?
5. Изменяются ли молекулы воды при переходе в твердое или газообразное состояние?
6. Графит и алмаз: что у них общего и чем они отличаются?
7. Чем отличаются друг от друга молекулы разных веществ?
8. Что общего и какие отличия в строении молекул воды и углекислого газа?
9. Какие атомы и в каком количестве содержит молекула C_2H_5OH ?
- * 10. Почему вода является хорошим растворителем?
11. Как изменяется расстояние между молекулами воды при испарении?
12. В каком агрегатном состоянии находятся: а) вода; б) лед; в) водяной пар; г) туман?
13. Можете ли вы привести пример из вашего опыта, который свидетельствует о существовании промежутков между атомами и молекулами?
- * 14. Почему сахар растворяется в горячей воде быстрее, чем в холодной?
- * 15. В каких случаях вода может сохранять не только объем, но и форму?
- * 16. Почему водяной пар (то есть газ) не видно, а туман можно видеть?

§ 4. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ – СИ

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ



Рис. 4.1. Явление движения

Явления природы и свойства тел в физике описывают с помощью терминов, например: движение, траектория, состояние спокойствия. Описывая движение (рис. 4.1), можно указать, куда движется тело (вперед, назад или вверх), большое оно или маленькое; движется по прямой или поворачивает (влево или вправо), а может, вообще не движется. Такая характеристика движения является качественной.

Нас интересуют и количественные характеристики: с какой скоростью двигался автомобиль, какое расстояние он проехал. Количественной характеристикой тела или явления является физическая величина. Физическая величина описывает определенное свойство тела или явления. Она характеризуется числовым значением и единицей измерения. Например: автомобиль проехал путь в 30 километров. Сокращенно можно записать $S = 30 \text{ км}$.

Каждая физическая величина имеет свое название и символ, которым она обозначается.

Чтобы описать явление падения определенного тела, можно применить такие физические величины, как масса тела, высота, время падения. Физические величины обычно обозначают латинскими или греческими буквами. Массу тела обозначают буквой « m », высоту – буквой « h », время – буквой « t ». Например, если тело массой 2 килограмма упало с высоты 5 метров за одну секунду, то пишут: $m = 2 \text{ кг}$, $h = 5 \text{ м}$, $t = 1 \text{ с}$, употребляя общепринятые сокращения: кг – килограмм, м – метр, с – секунда.

Если нас интересует единица измерения физической величины, а не ее числовое значение, то эту величину пишут в квадратных скобках. Например, диаметр трубы составляет $d = 3,2 \text{ см}$, а название единицы измерения (размерность): $[d] = \text{см}$.



ОПЫТ 5.2

Почему нужно измерять

Начертите на листе бумаги горизонтальный отрезок. Потом проведите от середины этого отрезка перпендикулярный к нему отрезок такой же длины «на глаз». Измерьте длину отрезков линейкой, и вы убедитесь, что вертикальный отрезок короче. Вот почему нужно проводить измерения.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Прямые измерения физических величин осуществляют с помощью приборов. Длину измеряют линейкой, время – с помощью часов, массу – на весах. Для определения размеров очень малых тел или больших расстояний используют более сложные приборы. Измерить физическую величину – значит сравнить ее с определенной мерой, которая является копией общепринятого образца-эталоны. Эталоны немногие, и хранятся они в специальных метрологических лабораториях.



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Для измерения времени использовали вытекание или капанье воды в сосуд с делениями или пересыпание песка – водяные или песочные часы (рис. 4.2). Движение Солнца по небу давало возможность измерять время с помощью солнечных часов (рис. 4.3). Такими часами люди пользовались несколько тысячелетий, однако они имели существенный недостаток – были довольно неточными.

В настоящее время появились очень точные кварцевые часы, которые отсчитывают время в наручных часах, мобильном телефоне или компьютере. Для потребностей навигации и науки используют атомные часы, которые «ходят» настолько точно, что допускают ошибку в одну секунду за 500 000 лет!



Рис. 4.2. Песочные часы



Рис. 4.3. Солнечные часы

Для измерения длины надо иметь образец, длина которого соответствует общепринятым единицам измерения. Сейчас это 1 м. Эталон (образец) метра хранится в метрологических лабораториях, главная из которых находится в г. Севре (Франция).

Измерить длину можно еще и в других единицах измерения – канцелярскими скрепками, например, или спичками и сказать: мой рост составляет 80 скрепок или 36 спичечных коробков. Однако у других людей скрепки или спички могут оказаться другого размера, что усложнит обмен информацией. В

давние времена так и было: пользовались футами (длина ступни – 30 см), дюймами (длина последней фаланги большого пальца, приблизительно 2,5 см), ярдами, пядями, саженьями, локтями.

Инициаторами перехода на метрическую систему единиц были французы. Согласно договоренности, один метр определили как одну сорокамиллионную часть длины меридиана, который проходит через Париж. Для определения длины меридиана достаточно было измерять его часть, которая простирается от юга Испании до севера Норвегии. Начался этот процесс во время Великой французской революции. Днем рождения метрической системы мер считают 10 декабря 1799 г.

На территории нашей страны метрическая система мер была введена специальным декретом 14 сентября в 1918 г. Переход на новые стандарты измерений связан с изменением привычек, необходимостью переиздания справочников, переоборудования метрических лабораторий, с переподготовкой персонала и тому подобным. Все это стоит довольно дорого. США, например, переход на новые стандарты обошелся в 11 млрд. долларов.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ – СИ

В связи с потребностью международного сотрудничества в 1960 году большинство стран мира подписали соглашение о единой Международной системе единиц измерения SI – Systeme International (на русском языке – СИ).



Рис. 4.4. Эталон метра хранится в Международном бюро мер и весов в Париже



Рис. 4.5. Эталон килограмма

В СИ есть 7 основных единицы измерения, которые обеспечены соответствующими эталонами. Остальные единицы измерения могут быть выражены через основные единицы. Для начала нам понадобятся три основные единицы: метр, килограмм и секунда.

Эталон метра изображен на *рис. 4.4*. Это рельс определенного профиля, длина которого составляет одну сорок миллионную часть меридиана, проходящего через Париж. Первый эталон метра был изготовлен во Франции в 1795 году.

В 1983 году эталон длины был изменен: теперь метр определен как расстояние, которое проходит свет в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды.

Эталон килограмма – цилиндр из платиново-иридиевого сплава, высота которого равна его диаметру и составляет 39 мм (*рис. 4.5*).

С эталоном секунды вы ознакомитесь в 11 классе..

Таблица 4.1

Величина	Символ	Размерность	
		рус.	междунар.
Длина	l	$м$	m
Масса	m	$кг$	kg
Время	t	$с$	s
Площадь	$S,$	$м^2$	m^2
Объем	V	$м^3$	m^3
Скорость	v	$м/с$	m/s

Площадь в СИ измеряют в $м^2$ (квадратные метры), объем – в $м^3$ (кубические метры).

В *таблице 4.1* единицы площади, объема и скорости являются производными единицами, их размерности происходят от основных единиц измерения.

В расчетах используют также кратные и дольные единицы.

Кратные единицы – это единицы, которые больше основных единиц в 10, 100, 1000 и больше раз. Например: $1\text{ дм} = 10\text{ см} = 10^1\text{ см}$, $1\text{ м} = 100\text{ см} = 10^2\text{ см}$, $1\text{ км} = 1000\text{ м} = 10^3\text{ м}$, $1\text{ кг} = 1000\text{ г} = 10^3\text{ г}$.

Дольные единицы – это единицы, которые меньше основных единиц в 10, 100, 1000 и больше раз: $1\text{ см} = 0,01\text{ м} = 10^{-2}\text{ м}$, $1\text{ мм} = 0,1\text{ см} = 10^{-1}\text{ см}$.

С единицами времени несколько иначе: $1\text{ мин.} = 60\text{ с}$, $1\text{ час} = 3600\text{ с}$. Дольными являются лишь $1\text{ мс (миллисекунда)} = 0,001\text{ с} = 10^{-3}\text{ с}$ и $1\text{ мкс (микросекунда)} = 0,000001\text{ с} = 10^{-6}\text{ с}$.

Для обозначения кратных и дольных единиц используют приставки (*табл. 4.2*).

Таблица 4.2

Приставки для обозначения кратных и дольных единиц

Кратность	Приставка		Обозначение		Пример
	русское	международное	русское	международное	
10^2	гекто	hecto	г	h	5 гПа (гектопаскаль) = 500 Па
10^3	кило	kilo	к	k	6 кг (килограмм) = 6000 г
10^6	мега	mega	М	M	2 МДж (мегаджоуль) = 2 000 000 Дж
10^9	гига	giga	Г	G	1 ГГц (гигагерц) = 1 000 000 000 Гц
Дольность					
10^{-1}	деци	deci	д	d	дм – дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см – сантиметр
10^{-3}	милли	milli	м	m	мл – миллилитр
10^{-6}	микро	micro	мк	μ	мкм – микрометр, микрон
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм – нанометр

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Физические величины количественно описывают свойства тел и явлений.
- ⇒ Физические величины характеризуются названием, символом, числовым значением и единицей измерения.
- ⇒ В международной системе единиц измерения (СИ) основные механические единицы измерения физических величин – метр, килограмм и секунда.
- ⇒ Измерить физическую величину – значит сравнить ее с мерой-эталоном.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 4.1. Какие космические явления или объекты можно использовать в качестве очень точных часов? Подготовьте небольшое сообщение на эту тему.
- 4.2. В какой последовательности происходят любые события? Напишите небольшое сообщение на тему «Что такое время»?



УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Движение, расстояние, время, траектория. Какие из этих терминов являются физическими величинами, а какие – понятиями?
2. Как характеризуют физические величины?
3. С какой целью была создана Международная система единиц измерения (СИ)?

4. Зачем нужны эталоны?
5. Назовите известные вам типы часов. Какой из них наиболее точно измеряет время?
6. В каких учреждениях хранятся эталоны?
7. Почему нужно проводить измерения?
8. Какие единицы измерения называют производными?
9. Выразите диаметр двухдюймовой трубы в сантиметрах.
10. Выразите $1/6$ часа в минутах.
11. Подайте в основных единицах 245 мм, 3,5 км, 4 ч, 8 мин.
12. Запишите с помощью кратных или дольных единиц такие значения физических величин: 6 400 000 м (радиус планеты Земля), 3 844 000 000 м (среднее расстояние от Земли до Луны), 0,0000003 (диаметр наименьшей известной бактерии – микоплазмы).

§ 5. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ. ПОГРЕШНОСТИ

ИЗМЕРЕНИЯ. ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ ШКАЛЫ ПРИБОРА

При измерении разных физических величин мы получаем их числовые значения с определенной точностью. Например, при определении размеров листа бумаги (длины, ширины) мы можем указать их с точностью до миллиметра; размеры стола – с точностью до сантиметра, размеры дома, стадиона – с точностью до метра.

Нет необходимости указывать размеры стола с точностью до миллиметра, а размеры стадиона с точностью до сантиметра или миллиметра. Мы сами в каждой ситуации, опыте и эксперименте определяем, с какой точностью нам нужны данные физические величины. Однако очень важно оценивать, насколько точно мы определяем физическую величину, какую ошибку (погрешность) в ее измерении допускаем.

При измерении мы не можем определить истинное значение измеряемой величины, а только пределы, в которых она находится.

▶ ПРИМЕР 5.1

Измерим ширину стола рулеткой с сантиметровыми и миллиметровыми делениями на ней (рис. 5.1). Значение наименьшего деления шкалы называют ценой деления и обозначают буквой C . Видно, что цена деления рулетки $C = 1$ мм (или 0,1 см).

Совместим нулевое деление рулетки с краем стола и посмотрим, с каким значением шкалы линейки совпадает второй край стола (рис. 5.1). Видно, что ширина стола составляет чуть больше 70 см и 6 мм, или 706 мм. Но результат наших измерений мы запишем с точностью до 1 мм, то есть $L = 706$ мм.

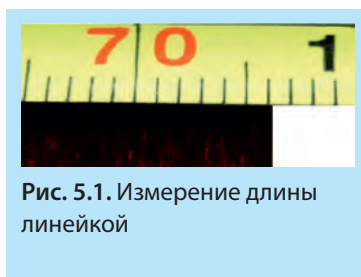


Рис. 5.1. Измерение длины линейкой

АБСОЛЮТНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ Δ (ДЕЛЬТА)

Из рис. 5.1 видно, что мы допускаем определенную погрешность и определить ее «на глаз» достаточно трудно. Эта погрешность составляет не более половины цены деления шкалы рулетки. Эту погрешность называют погрешностью измерения и помечают ΔL («дельта эль»). В данном эксперименте ее можно записать

$$\Delta L = \frac{1}{2} C = 0,5 \text{ мм}$$

Сам результат измерения принято записывать таким образом: ширина стола $L = (706,0 \pm 0,5) \text{ мм}$, читают: 706 плюс-минус 0,5 мм. Эти 0,5 мм в нашем примере называют абсолютной погрешностью. Значения измеряемой величины (706,0 мм) и абсолютной погрешности (0,5 мм) должны иметь одинаковое количество цифр после запятой, то есть нельзя записывать $706 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$.

Такая запись результата измерения означает, что истинное значение измеряемой величины находится между 705,5 мм и 706,5 мм, то есть $705,5 \text{ мм} \leq L \leq 706,5 \text{ мм}$.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ε (ЭПСИЛОН)

Иногда важно знать, какую часть составляет наша погрешность от значения измеряемой величины. Для этого разделим 0,5 мм на 706 мм. В результате получим: $\frac{0,5 \text{ мм}}{706 \text{ мм}} = 0,0007$. То есть наша ошибка составляет 0,0007 долю ширины стола, или $0,0007 \cdot 100\% = 0,07\%$. Это свидетельствует о достаточно высокой точности измерения. Эту погрешность называют относительной и обозначают греческой буквой ε (эпсилон):

$$\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L} \quad (5.1)$$

Относительная погрешность измерения свидетельствует о качестве измерения. Если длина какого-то предмета равна 5 мм, а точность измерения – плюс-минус 0,5 мм, то относительная погрешность будет составлять уже 10%.

СТАНДАРТНАЯ ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫВОДЫ

Таким образом, абсолютная погрешность в примере 5.1. составляет $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$, а результат измерений следует записать в стандартном виде: $L = (706,0 \pm 0,5) \text{ мм}$. Опыт выполнен с относительной погрешностью 0,0007 или 0,07%.

На точность измерения влияет много факторов, в частности:

1. При совмещении края стола с делением шкалы рулетки мы неминуемо допускаем погрешность, поскольку делаем это «на глаз» – смотреть можно под разными углами.
2. Не вполне ровно установили рулетку.
3. Наша рулетка является копией эталона и может несколько отличаться от оригинала.

Все это необходимо учитывать при проведении измерений.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Измерения в физике всегда неточны, и надо знать пределы погрешности измерений, чтобы понимать, насколько можно доверять результатам.
- ➔ Абсолютную погрешность измерения можно определить как половину цены деления шкалы измерительного прибора.
- ➔ *Относительная погрешность есть частное от деления абсолютной погрешности на значение измеряемой величины: $\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L}$ и указывает на качество измерения. Ее можно выразить в процентах.



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Подготовьте сообщение на тему «Как впервые была измерена длина земного меридиана».



УПРАЖНЕНИЕ 5

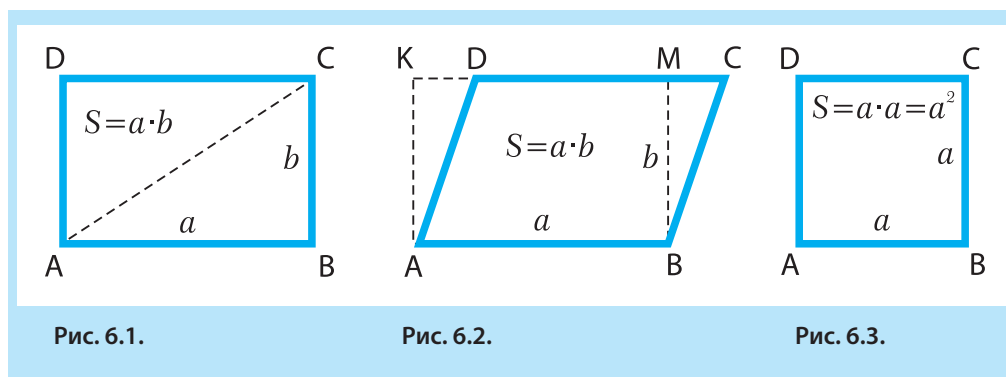
1. Какую цель ставит перед собой исследователь, измеряя определенную физическую величину?
2. Назовите причины, по которым измерения размеров предметов или расстояний можно провести только с определенной точностью.
3. Когда лучше использовать рулетку вместо линейки?
4. Какие приборы используют для измерения больших расстояний?
5. Как можно измерить при помощи негибкой линейки: а) диаметр мяча; б) периметр овального стола?
6. Почему недостаточно определять абсолютную погрешность измерений, а нужно узнать еще и относительную погрешность?
7. Высота, с которой упал мячик, составляет: $h = (1,55 \pm 0,01)$ м. Какая абсолютная и относительная погрешность измерения?
8. Масса предмета составляет 50 г и измерена с относительной погрешностью 0,02. а) Какая абсолютная погрешность измерения? б) Запишите результат измерения в стандартном виде.
9. Длина стола, измеренная линейкой с сантиметровыми делениями, составляет приблизительно 50 см. Запишите результат измерения в сантиметрах и определите относительную погрешность..

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ И ОБЪЕМА

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПРОСТЫХ ФИГУР

В повседневной жизни нам довольно часто приходится иметь дело с определением таких величин, как площадь и объем. Представьте себе, что вам необходимо сделать ремонт в квартире (или доме): побелить стены и потолок, покрасить пол. Чтобы закупить необходимое количество материалов, нужно определить площадь поверхностей и объем краски.

Из уроков математики вам известно, как находить площадь некоторых фигур: квадрата, прямоугольника, параллелограмма.



Площадь прямоугольника ABCD (рис. 6.1) вычисляется по формуле:

$$S = a \cdot b, \quad (6.1)$$

где a – ширина прямоугольника, b – высота.

Площадь параллелограмма ABCD (рис. 6.2) также находится по формуле 6.1.

Площадь квадрата найти легко, поскольку его ширина и высота одинаковы:

$$S = a \cdot a = a^2 \quad (6.2)$$

Из рис. 6.1 видно, что площадь прямоугольного треугольника ABC можно найти по формуле:

$$S = \frac{1}{2} a \cdot b \quad (6.3)$$

Проблема определения площади круга была решена еще в Древней Греции. Для этого нужно знать радиус круга и число «пи», приблизительное значение которого $\pi \approx 3,14$.

Площадь круга равняется

$$S = \pi \cdot R^2 \quad (6.4)$$

Значение числа π можно получить, если разделить длину круга L на его диаметр. Причем не имеет значения, каков размер круга и в каких единицах измерены длина и диаметр (нужно только, чтобы это были одни и те же единицы).

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПРОСТЫХ ФИГУР

Каждое тело занимает определенный объем. Чем большую часть пространства занимает тело, тем больше его объем. Объем обозначают буквой V (от *volute* – объем). Чтобы найти объем прямоугольного бруска или ящика (математики называют эту геометрическую фигуру параллелепипедом) со сторонами a , b и h , надо их перемножить (рис. 6.4):

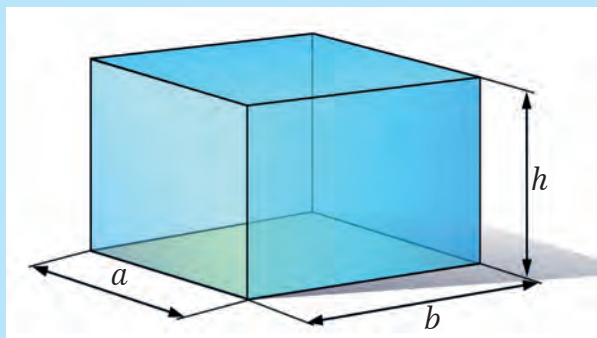


Рис. 6.4. Параллелепипед

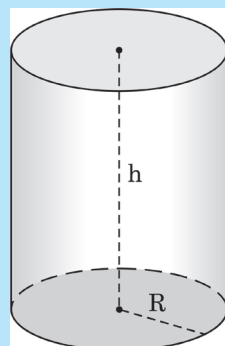


Рис. 6.5. Цилиндр

$$V = a \cdot b \cdot h \quad (6.4)$$

Поскольку $S = a \cdot b$, где S – это площадь основания ящика, то формулу (6.4) можно переписать и так:

$$V = S \cdot h \quad (6.5)$$

У куба все ребра равны, потому его объем равняется:

$$V = a \cdot a \cdot a = a^3 \quad (6.6)$$

Объем цилиндра (рис. 6.5) с радиусом основания R и высотой h можно также определить по формуле (6.5), то есть:

$$V = S \cdot h = \pi R^2 \cdot h \quad (6.7)$$

Объем шара (рис. 6.6)

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (6.8)$$

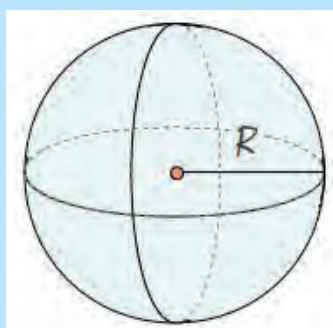
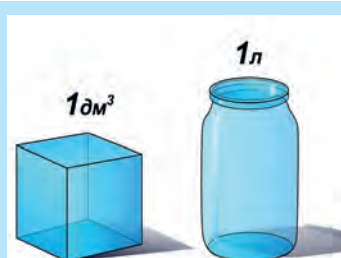


Рис. 6.6. Шар

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМА

Поскольку длину сторон измеряют в единицах длины (метр, дециметр, сантиметр и т. д.), то единицы измерения объема – это единицы длины, возведенные в третью степень.

Куб с ребром 1 м имеет объем 1 м^3 (один кубический метр). Один литр (1 л) по определению – это объем куба с ребром 1 дм (рис. 6.7), то есть $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ (дециметр кубический). Один литр

Рис. 6.7. Один литр – это 1 дм^3

равен 1000 кубических сантиметров: $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$. Объем в один сантиметр кубический еще называют миллилитром, то есть тысячной частью литра ($1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$).

Напомним, что дециметр – это десятая часть метра, а сантиметр – сотая часть метра

Таблица 6.1

$1 \text{ м}^3 = 1\,000 \text{ л}$	$1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$
$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$	$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$
$1 \text{ дм}^3 = 1\,000 \text{ см}^3$	$1 \text{ л} = 1\,000 \text{ мл}$
$1 \text{ см}^3 = 1 \text{ мл}$	$1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

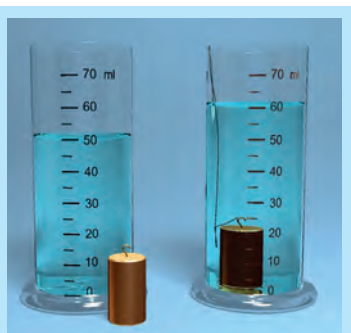


Рис. 6.8. Деления мензурки определяют объем в миллилитрах (то есть в см^3)

Прибор для измерения объема называют мензуркой, или мерным цилиндром (рис. 6.8). Мензурка – это прозрачный сосуд с нанесенными делениями, которые обозначают объем в миллилитрах. Дома у вас наверняка есть мерный стакан, то есть та же мензурка. Литровой или поллитровой банкой, или стаканом (250 мл) также можно пользоваться, если не нужна большая точность. С помощью мензурки можно определить объем жидкости и тела неправильной формы. Для этого в мензурку нужно налить воду и определить объем этой воды. Потом полностью погрузить тело в воду и запомнить новое значение объема. Разница измеренных значений равна объему тела.



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ



Существует легенда, согласно которой первым такой способ определения объема изобрел древнегреческий ученый Архимед. Произошло это во время размышлений над довольно сложной задачей, предложенной царем Гиероном. Идея решения возникла тогда, когда Архимед влез в ванну и заметил, что уровень воды поднялся. Ученый понял, что вытесненный объем воды как раз равен объему погруженного в нее тела. Восторженный Архимед выпрыгнул из ванны и выбежал на улицу с криком «Эврика! Эврика!», что в переводе с древнегреческого значит «Нашел! Нашел!».



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

6.1. Определите объем тела неправильной формы, которое не помещается в мензурку.



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1. Определите площадь ступни вашей ноги.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Площадь тел правильной формы равна произведению основы на высоту и измеряется в квадратных единицах длины $S = a \cdot b$.
- Объем тел правильной формы определяется как произведение площади основы на высоту и измеряется в кубических единицах $V = S \cdot h$.
- Объем тел произвольной формы определяют с помощью мензурки
- Площадь круга определяют по формуле $S = \pi \cdot R^2$.
- Объем шара равен $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.



УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Сколько миллилитров в одном литре?
2. Вычислите площадь прямоугольника со сторонами 5 и 4 см.
3. Вычислите площадь круга диаметром 10 см.
4. Вычислите объем параллелепипеда со сторонами 6 см, 5 см и 4 см.
5. Вычислите объем цилиндра, площадь основы которого $S = 30 \text{ см}^2$, а высота 8 см.
6. Как определяют объем тел произвольной формы?
- * 7. Как можно определить с помощью негибкой линейки объем мяча?
- * 8. Как вычислить площадь неправильной фигуры?

§ 7. ВКЛАД УКРАИНСКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИЕ И СТАНОВЛЕНИЕ ФИЗИКИ

Формулы, законы, теории – это открытия, которые были сделаны в определенное время. За каждым открытием стоит человек или группа людей. Благодаря кропотливому научному труду эти мыслители совершили научные открытия, результатами которых мы пользуемся ежедневно. Среди них почетное место занимают украинские ученые. Они внесли весомый вклад в развитие ракетной техники, атомной энергетики и исследования космоса. Украина сегодня входит в «клуб» космических государств и принимает участие в ряде престижных



Рис. 7.1.
В рамках проекта
«Морской
старт» стартует
украинская ракета
«Зенит»

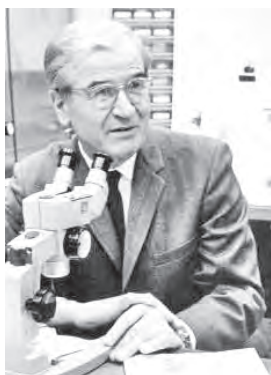
международных космических проектов. Среди них «Морской старт – Sea Launch» (рис. 7.1). В Украине развивается кораблестроение, авиастроение, машиностроение, материаловедение и много других жизненно важных отраслей, к которым прямое отношение имеет физическая наука. У нас строят самые большие в мире самолеты и турбины. Рассказать обо всех украинских ученых невозможно, однако с некоторыми из них познакомиться необходимо.



Иван ПУЛЮЙ (1845–1918) – выдающийся физик и электротехник, родился в городке Гримайлове на Тернопольщине, работал в Венском и Пражском технических университетах, был советником императора Австро-Венгрии. Он, сделав особенную лампу, открыл и исследовал неизвестные в то время X-лучи (теперь рентгеновские лучи). Он также занимался строительством ряда электростанций в Чехии, руководил внедрением трамвая в Праге.



Николай БОГОЛЮБОВ (1909–1992) – выдающийся физик-теоретик, родился в Киеве, учился в Киевском университете. В пятнадцатилетнем возрасте Боголюбов написал первый научный труд, а в следующем году был принят в аспирантуру Украинской академии наук, в 20 лет получив степень доктора математических наук. Известен как математик и физик-теоретик, исследовал вопросы строения материи.



Александр СМАКУЛА (1900–1983). Родился в селе Доброводы Збаражского района на Тернопольщине. Блестяще завершил учебу в украинской гимназии в Тернополе и выехал на учебу в Геттингенский университет. Работал в известной оптической фирме «Цейсс» и Массачусетском технологическом институте (MIT, США). Крупнейшее его открытие – «просветление оптики», суть которого заключается в том, что поверхность линзы покрывают тоненькой пленкой, которая уменьшает количество отраженного света. Такие линзы отблескивают сиреневым цветом и ими оснащены фотоаппараты, бинокли и другие оптические приборы..



Георгий ШАРПАК (1924–2010). Родился в г. Дубровица (в настоящее время Ровенская обл.). Когда Георгию было 8 лет, семья эмигрировала во Францию. Учился в горной школе, а потом в знаменитом Колледже де Франс. С 1959 г. работал в Европейском центре ядерных исследований в Швейцарии (ЦЕРН). Там он разработал устройства для регистрирования частиц, порожденных в специальных ускорителях (коллайдерах). Дрейфовые камеры Шарпака сейчас используются в детекторах ATLAS и CMS. За свои разработки Георгий Шарпак в 1992 г. получил Нобелевскую премию.



Абрам ЙОФФЕ (1880–1960) – выдающийся физик и организатор науки. Родился в г. Ромны на Сумщине. Основатель и директор физико-технического института АН СССР в Петербурге. Его основное направление в науке – физика полупроводников и диэлектриков. Учился в Петербурге (Россия), Мюнхене (Германия). Инициатор создания физико-технических институтов в Харькове и Днепропетровске. Учениками А. Ф. Йоффе были Игорь Курчатов и Яков Зельдович (ведущие специалисты советского атомного проекта), будущие Нобелевские лауреаты Николай Семенов (химия), а также Игорь Тамм, Петр Капица, Лев Ландау и Жорес Алферов (физика).



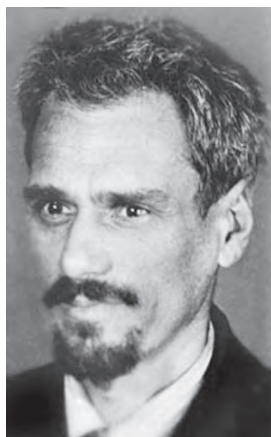
Игорь КУРЧАТОВ (1902–1960). В 1920 г. закончил с золотой медалью Симферопольскую гимназию. Учился в Таврическом университете в г. Симферополе. Курчатов учредил и стал первым директором Института атомной энергии (ИАЭ). Под его руководством построены циклотрон и уран-графитовый котел, на котором были получены первые весовые порции плутония. В 1949 г. коллектив под руководством Курчатова создал советскую атомную бомбу, покончив с монополией США в этой области.



Анатолий АЛЕКСАНДРОВ (1903–1994). Родился на Киевщине, в г. Тараще. Работал учителем в киевских школах, а затем в Киевском медицинском институте. В годы Второй мировой войны Александров вместе с Игорем Курчатовым руководил работами по защите кораблей от магнитных мин и торпед, благодаря чему во время войны ни один корабль, снаряженный этой защитной системой, не погиб. При участии Александрова были разработаны и построены атомные энергетические установки для трех ледоколов и реакторы на быстрых нейтронах РБМК1000.



Георгий ГАМОВ (1904–1963) – выдающийся физик XX в. Родился в Одессе, в учительской семье, происходящей от потомков запорожских казаков Лебединцов, чем очень гордился. В 1921 г. поступил на математическое отделение физико-математического факультета Одесского университета и одновременно подрабатывал вычислителем в Одесской астрономической обсерватории. Продолжил образование в Петроградском университете, который досрочно (за три года) окончил. Уже в 24 года он выполнил работу нобелевского уровня, разработав теорию альфа-распада. В 1928 г. ученый получил стипендию Рокфеллера на обучение в Геттингенском университете (Германия). В 1934 г. Гамов эмигрировал в США, где работал над проектом создания водородного оружия. Он разработал модель «горячей Вселенной» (теорию Большого Взрыва). Является автором многих научно-популярных книг: «Мистер Томпкинс в Стране Чудес» (1939), трилогии «Рождение и смерть Солнца» (1949), «Биография Земли» (1941), «Рождения Вселенной» (1952), «Раз, два, три... бесконечность» (1947), «Тридцать лет, которые всколыхнули физику» (1966).



Юрий КОНДРАТЮК (1897–1942) – ученый-изобретатель, один из теоретиков космонавтики, космических полетов и основ конструирования космических кораблей. Родился в г. Полтаве. Учился во Второй Полтавской мужской гимназии и закончил ее с серебряной медалью. Независимо от Константина Циолковского разработал основы космических полетов и конструирования межпланетных кораблей. В работе «Завоевания межпланетных пространств» (1929) вывел основное уравнение полета ракеты, рассмотрел наиболее энергетически выгодные траектории космических полетов, изложил теорию многоступенчатых ракет. Результаты научных трудов Юрия Кондратюка были использованы при планировании высадки американских астронавтов

на Луну в 1969 г. На обратной стороне Луны есть кратер, названный именем Кондратюка.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Творческий ум инженеров, изобретателей и ученых содействует развитию науки, техники и технологий.
- Ученые-физики украинского происхождения внесли значительный вклад в технический прогресс как своих стран, так и всего человечества.
- Наше настоящее и будущее существенно зависят от состояния и развития науки и технологий



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 7.1. Исследуйте, с какой целью создан проект «Морской старт».
- 7.2. Напишите небольшое сообщение об одном из украинских ученых.



УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Какие области науки и техники развиваются в Украине на мировом уровне?
2. Назовите украинских ученых, которые работали в области ядерной физики.
3. Каких украинских ученых современности вы знаете?

§ 8. СВЯЗЬ ФИЗИКИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ. ФИЗИКА В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ, ПРОИЗВОДСТВЕ И БЫТУ

ПОЧЕМУ ВАЖНО ЗНАТЬ ФИЗИКУ

Физика – это интересная и увлекательная наука. Она дает возможность понять окружающий мир, приучает к логическому мышлению и развивает творческие способности.

Величайшие открытия в биологии – генная инженерия, клонирование, расшифровка строения молекулы ДНК, которая передает код наследственности, – были бы невозможны без таких физических приборов, как рентгеновские аппараты, ультрацентрифуги, холодильные установки, электронные микроскопы и многих других.

Интересно, что существование молекулы ДНК задолго до ее открытия предсказали австрийский физик Эрвин Шредингер и американский физик украинского происхождения Георгий Гамов.

Лазерные прицелы и аппараты ночного видения служат военным, а лазерные ножи – врачам. Лазерные шоу украшают праздники.

Особенно важной для жизни общества является роль физики в создании новых источников энергии: от батареек и электрогенераторов до атомных и термоядерных станций.

Бурное развитие физики в XX в. обусловило появление новых научных дисциплин: химическая физика и физическая химия, биофизика, биоэнергетика, бионика и инженерная генетика, астрофизика, космология и космическая физика, медицинская физика...

XX век оказался веком неожиданных и увлекательных открытий в физике. Все они получили практическое использование и существенно изменили жизнь человеческого общества.

ФИЗИКА – ОСНОВА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Компьютерами сегодня пользуется каждый: от школьника и бухгалтера до инженера и ученого. Появление современных компьютеров стало возможным благодаря исследованиям физиков в отрасли полупроводниковых материалов и нанотехнологий. То, что физика уже давно проникла в производство, технику, медицину, быт и индустрию развлечений, еще раз подтверждает: знание физики пригодится каждому человеку.

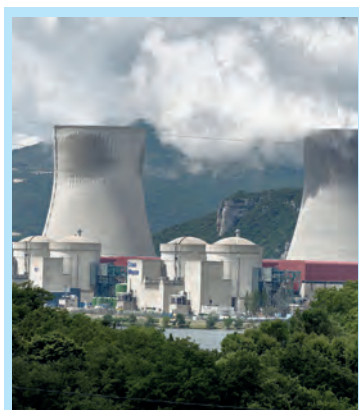


Рис. 8.1. Атомные электростанции – основа современной энергетики

СОЗДАНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Одна из проблем человечества – получение достаточного количества энергии. После открытия законов ядерной физики человечество получило невиданное могущество, которое дало возможность решения энергетического кризиса (атомные электростанции (рис. 8.1)). Однако при этом также возникла угроза самоуничтожения (атомное и водородное оружие). Открытие антивещества обещает дать в сотни раз более мощные источники энергии, чем ядерные.

Зимой ведром угля можно обогреть квартиру на один вечер. Одно ведро урана (если высвободить всю ядерную энергию, которая в нем содержится) может обеспечить полумиллионный город светом и теплом на протяжении года!

ВЫХОД В КОСМОС. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

При помощи ракет удалось преодолеть земное притяжение, построить космические станции и даже побывать на Луне (рис. 8.2). Первый искусственный спутник был запущен в 1957 г. в Советском Союзе, а советский космонавт Юрий Гагарин стал первым человеком, который побывал в космосе. Космическим аппаратам удалось сфотографировать с близкого расстояния многие планеты Солнечной системы. На Марс, Венеру, Луну и даже на спутник Сатурна Титан удалось высадить дистанционно управляемые аппараты (рис. 8.3).



Рис. 8.2. Человек ступил на поверхность Луны

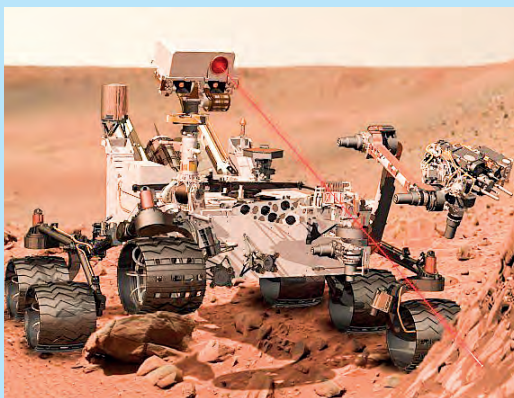


Рис. 8.3. Марсоход Curiosity совершил посадку на Красной планете

Создание космических аппаратов нуждается в новых технологиях. Однако приборы и материалы космической промышленности можно применять, например, для изготовления искусственных суставов в медицине или для производства горных лыж и автомобильных двигателей. Это, как оказалось, приносит большую прибыль. Поэтому развитые страны вкладывают в научные исследования огромные средства. Так, программа «Аполлон» – высадка человека на Луну – обошлась американцам в 25 млрд. долларов. Но прибыль от высоких технологий составила 4 доллара на каждый затраченный. Это в 20 раз эффективнее, чем аналогичные вложения в промышленность. Следовательно, вкладывать деньги в развитие новых технологий, образование и фундаментальные исследования (те, которые лежат в основе всех других) выгодно.

РАДИО, ТЕЛЕВИДЕНИЕ, ИНТЕРНЕТ

Радио и телевидение – чудо, к которому мы уже привыкли и воспринимаем его как должное. Существование радиоволн предсказал еще в XIX в. английский физик Джеймс Клерк Максвелл. Прошло 14 лет, прежде чем немецкий физик Генрих Герц открыл эти волны, и еще 8 лет, пока российский физик Александр Попов изобрел способ их использования – радиоприемник. Отсюда берут свое начало современные радио и телевидение, мобильная телефонная связь, электронная почта и «всемирная паутина» – «www» – Интернет. Интересно, что Интернет был создан в Европейском центре ядерных исследований ЦЕРН в 1995 году (рис. 8.4).



Рис. 8.4. «Отец» Интернета Тим Бернес Ли из Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН)

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

В первой половине XX в. физики открыли новый класс материалов, названных полупроводниками. А в 1948 г. на основании этих материалов был создан важнейший элемент всех электронных приборов – транзистор. Именно за открытие транзистора американский физик Джон Бардин был удостоен самой престижной в мире ученых Нобелевской премии.



Рис. 8.5. Современный портативный компьютер

Однако настоящая революция в изготовлении компьютеров началась в 1970-ые годы, когда ученые и технологи научились выращивать миллионы транзисторов на небольших полупроводниковых пластинках, площадь которых равна площади ногтя. Сегодня персональные компьютеры (рис. 8.5) можно расположить на столе, а некоторые модели даже в кармане. Да и выполнять они могут миллиарды и триллионы операций в секунду. Например, объемы памяти компьютеров уже исчисляются в Мб (мегабайтах) и Тб – терабайтах, а в суперкомпьютерах – в петабайтах (Пб).

ОПТИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА (ЛАЗЕРЫ)

В 1964 году Нобелевские премии за открытие лазера получили американец Чарльз Таунс и советские физики Николай Басов и Александр Прохоров.

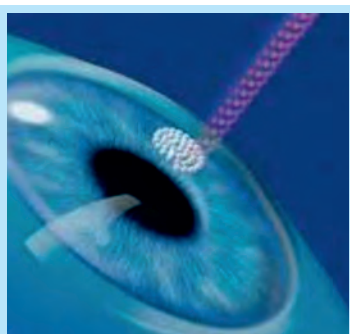


Рис 8.6. Лазерная коррекция зрения

Лазеры проникли буквально во все сферы жизни, включая медицину, сельское хозяйство, бытовую радиоэлектронику и даже индустрию развлечений. При помощи лазерного луча делают сложные операции на глазу человека (рис. 8.6).

Однако наиболее интересное применение лазеров для демонстрации объемного кино и объемного телевидения еще впереди. Мощные волоконные линии, которые используются в магистралах для передачи информации, в том числе и для работы Интернета, – это также область применения лазеров.

Это далеко не все достижения физической науки. А сколько их еще впереди!

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Физика – универсальная наука. Физические приборы и теории используются в других науках.
- ➔ Физика – основа техники и технологии. Благодаря новым материалам и источникам энергии происходит прогресс.
- ➔ Физические теории объясняют окружающий мир и расширяют наше мировоззрение.

- Самые крупные открытия в физике XX века сделаны в области атомной и ядерной физики.
- Прогресс в создании физических теорий способствовал возникновению новых отраслей техники и технологии.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 8.1. Мы являемся свидетелями перехода от ламп накаливания к газосветным лампам («экономкам») и далее к светодиодным источникам. Какие преимущества в новых источниках света? Напишите небольшое сообщение на эту тему.
- 8.2. Чем принципиально отличается свет лазера от света других источников?
- 8.3. Как работает система GPS?
- 8.4. Чем антивещество отличается от вещества?
- 8.5. Как мобильный телефон соединяет вас с другим абонентом?

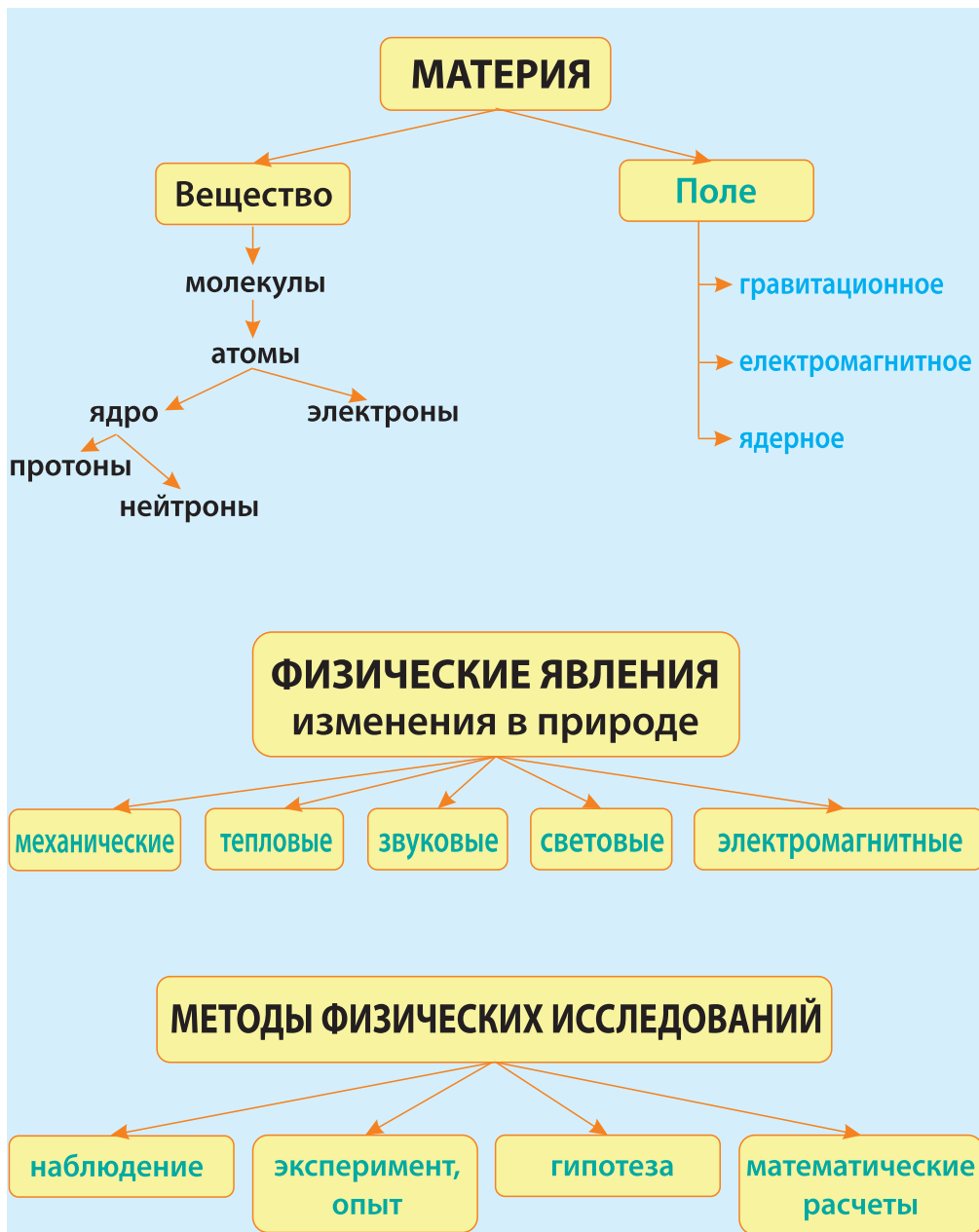


УПРАЖНЕНИЕ 8

1. Какое влияние на современную энергетику имеет ядерная физика?
2. На каких небесных телах побывали космические аппараты?
3. Перечислите устройства, в которых используются транзисторы и микросхемы.
4. Какие приборы дают возможность видеть атомы и молекулы?
5. Приведите примеры применения лазеров.
6. Толщина волоса приблизительно 0,1 мм. Какими станут размеры волоса (в км) и атома Водорода (в см), если их увеличить в миллиард раз?
- * 7. Откуда принимает телепрограммы «тарелка»?
- * 8. Назовите основную деталь компьютера, которая управляет всей его работой.
- * 9. Какие лучи используют во флюорографии?
- * 10. Какой рекорд скорости поезда на магнитной подвеске?

ИТОГИ РАЗДЕЛА 1

ФИЗИКА КАК ЕСТЕСТВЕННАЯ НАУКА



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Наименование	Символ	Единицы измерения, СИ	Формула	Приборы
длина	L	м (метр)		линейка
площадь: прямоугольника, параллелограмма квадрата треугольника круга	S	м^2 (метр квадратный)	$S = a \cdot b$ $S = a \cdot b = a^2$ $S = \frac{1}{2} a \cdot b$ $S = \pi \cdot R^2$	палетка, линейка
объем параллелепипеда цилиндра шара	V	м^3 (метр кубический)	$V = S \cdot h$ $V = a \cdot b \cdot h$ $V = \pi R^2 \cdot h$ $V = \frac{4}{3} \pi R^3$	линейка, мензурка

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ
АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО УЧЕНИЯ

- 1 Все тела состоят из молекул, атомов.
- 2 Молекулы, атомы непрерывно и беспорядочно двигаются.
- 3 Молекулы, атомы взаимодействуют между собой

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

газообразное



жидкое



твердое



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

1. Физика – это наука о:

А	Б	В	Г
космосе	технике	измерениях	природе

2. Какой из терминов является физической величиной:

А	Б	В	Г
часы	плавление	путь	траектория

3. Какое из утверждений является правильным?

А	Б	В	Г
Измерение температуры тела – это наблюдение	Таяние льда – это физическое явление	Кислород – это физическая величина	Радуга – это физический прибор

4. Какое из приведенных слов означает вещество: 1. Железо. 2. Масса. 3. Вода. 4. Радиоволна.

А	Б	В	Г
1, 4	1, 3	2, 4	2, 3

5. Какие физические явления наблюдаются во время молнии?

А	Б	В	Г
световые	электрические	звуковые	все указанные

6. Какое из равенств является неправильным?

А	Б	В	Г
640 см = 6,4 м	30 мин = 900 с	0,46 м = 4,6 дм	2,4 л = 2400 мл

7. Расположите физические величины в том же порядке, в котором указаны их единицы измерения: м, кг, с, м/с. 1. масса; 2. время; 3. скорость; 4. расстояние.

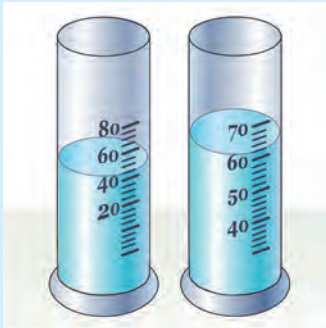
А	Б	В	Г
1, 3, 2, 4	1, 2, 3, 4	2, 3, 1, 4	4, 1, 2, 3

8. Расположите следующие физические понятия и термины: падение мяча, линейка, самолет, масса, килограмм в правильном порядке. 1. Физическое явление. 2. Физическое тело. 3. Измерительный прибор. 4. Единица измерения. 5. Физическая величина.

А	Б	В	Г
1, 2, 3, 4, 5	2, 3, 1, 4, 5	1, 3, 2, 5, 4	4, 2, 3, 5, 1

9. Какие объемы воды налиты в мензурки:

А	Б	В	Г
1 – 42 мл, 2 – 62 мл	1 – 45 мл, 2 – 61 мл	1 – 45 мл, 2 – 62 мл	1 – 42 мл, 2 – 61 мл



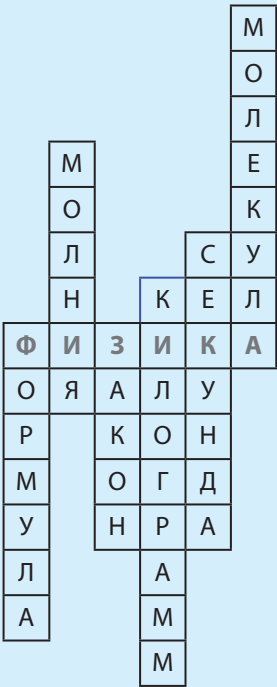
10. Какова длина бруска? Выберите результат, учитывая абсолютную погрешность.

А	Б	В	Г
$L = (3 \pm 0,5) \text{ см}$	$L = (2 \pm 1) \text{ см}$	$L = (2,0 \pm 0,5) \text{ см}$	$L = (3,0 \pm 0,5) \text{ см}$



11. Какой объем воды можно налить в бассейн, если его длина 5 м, ширина 40 дм, а высота 120 см? Сколько ведер воды придется налить в бассейн, если вместимость одного ведра 10 л?

12. Составьте вопросы к кроссворду:

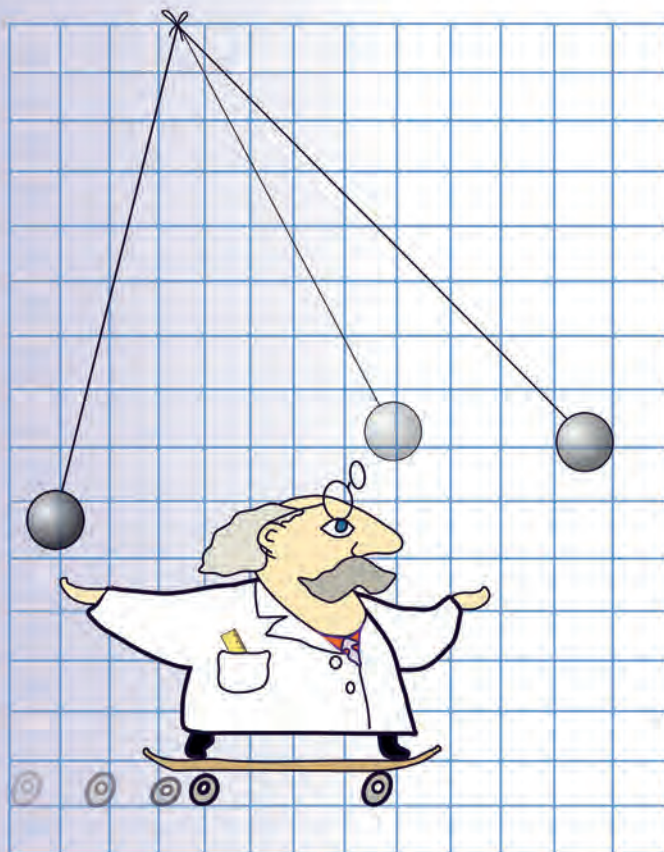


Раздел 2

Механическое движение

движение

механическое



§ 9. КАК ОПИСЫВАЮТ МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Хотя каждый имеет определенное представление о движении, сначала нужно договориться о точных терминах, которые мы будем употреблять, описывая разнообразные движения тел.

АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО

Телом в физике принято называть такой предмет, который имеет массу, форму и способно двигаться как единое целое. Это может быть камень, столб, автомобиль, мяч, планета, самолет и тому подобное. Но что делать, когда форма тела несколько изменяется? При этом понятно, что мяч легче деформируется, чем камень.

Рассмотрим колесо железнодорожного вагона (рис. 9.1) и для простоты представим себе, что оно вообще недеформирующееся. Расстояние между любыми точками такого тела не изменяется, и его называют абсолютно твердым телом. Понятно, что в действительности таких тел не существует, это просто удобное упрощение.

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Бывает так, что в процессе движения размеры, форма и внутреннее строение тела не имеют большого значения. Например, если автомобиль длиной 10 м должен преодолеть расстояние 100 км, то его собственной длиной можно пренебречь, условно считая автомобиль просто точкой. При этом допускают, что масса данной точки равна массе автомобиля, а саму точку называют материальной. Следовательно, **материальная точка – это тело, размерами которого в некоторых обстоятельствах можно пренебречь**. Самолет, который летит в небе (рис. 9.1), или спутник на космической орбите можно рассматривать как материальные точки.

Такие упрощения, как материальная точка, часто используют в физике и называют физической моделью.

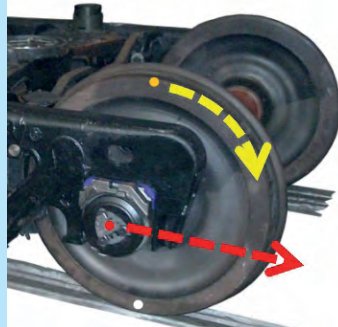


Рис. 9.1. Разные точки одного и того же тела могут двигаться по-разному



Рис. 9.2. След от реактивного самолета

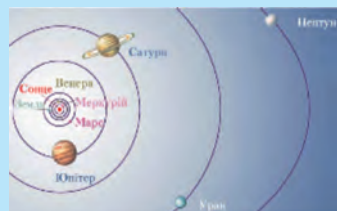


Рис. 9.3. Кеплер доказал, что орбиты (траектории) планет являются эллипсами



Рис. 9.4. В этом случае размеры автомобиля имеют значение

ПРИМЕР 9.1

Рассмотрим, какой путь должен преодолеть автомобиль длиной 10 м, чтобы переехать мост длиной 40 м. Очевидно, что для этого нужно проехать путь $40 \text{ м} + 10 \text{ м} = 50 \text{ м}$. То есть в данном случае автомобиль нельзя рассматривать как не имеющий размеров. Для человека, который двигается по мосту, это расстояние будет мало отличаться от 40 м.



Рис. 9.5. Рельсы железной дороги указывают траекторию движения поезда



Рис. 9.6. Кабины колеса обозрения двигаются поступательно

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТРАЕКТОРИЯ. ПУТЬ

Механическим движением называют изменение положения тела относительно других тел в пространстве со временем.

Движение тела проще описать, если тело рассматривать как материальную точку. Линию, описываемую материальной точкой во время движения, называют траекторией. Иногда можно увидеть, где пролегает траектория движения. След, тянувшийся за реактивным самолетом (рис. 9.2), или рельсы железной дороги (рис. 9.5) дают некоторое представление о траектории движения этих тел.

Орбиты, по которым двигаются планеты вокруг Солнца, то есть их траектории, были рассчитаны в XVII в. немецким астрономом И. Кеплером, который доказал, что они являются эллипсами (рис. 9.3).

Тело в своем движении вдоль траектории может еще и вращаться. Такое движение описать сложнее, потому что разные точки тела могут двигаться по-разному. Например, красная точка на колесной паре (рис. 9.1) движется по прямой, желтая точка описывает окружность вокруг центра колеса, а белая точка в данный момент вообще не движется.

Но и здесь существует простой случай. Рассмотрим движение кабин колеса обозрения (рис. 9.6). Ось, к которой они прикреплены, движется по окружности, но сами кабины передвигаются так, что их пол остается горизонтальным. В таком случае все точки кабины описывают одинаковые траектории, и нет необходимости заменять ее материальной точкой.

Если тело движется так, что любая прямая на нем остается параллельной самой себе, то такое движение называют поступательным. В дальнейшем, где это не суть важно, будем употреблять термин «тело», имея в виду материальную точку.

ТЕЛО ОТСЧЕТА

Когда мы едем на автомобиле, то изменяем свое положение относительно дороги, деревьев, домов или других автомобилей – мы движемся относительно этих тел. Однако мы не изменяем свое положение относительно собственного автомобиля, то есть относительно него мы не движемся.

Объекты, относительно которых мы определяем свое движение, называют телами отсчета.



Рис. 9.7. Космонавтам на МКС кажется, будто они зависли в пространстве, хотя в действительности их скорость составляет 8 км/с

Понятно, что **скорость и траектория тела существенно зависят от выбора тела отсчета**. Если такого тела нет или оно очень далеко, то вообще трудно установить, движемся мы или находимся в состоянии покоя. Космонавтам на международной космической станции МКС (рис. 9.7) кажется, будто они зависли в пространстве, хотя в действительности их скорость очень большая и составляет 8 км/с относительно Земли. То же самое ощущают пассажиры самолета, летящего на значительной высоте.

Сидя в комнате, мы не чувствуем, что двигаемся вместе с Землей относительно Солнца с огромной скоростью – 30 км/с. Следовательно нужно сделать вывод, что механическое движение – относительно.

СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Если мы хотим точнее описать движение, то одного тела отсчета мало, нужен еще способ определения положения подвижного объекта в пространстве и часы для отсчета времени. Причем необходимо иметь по крайней мере двое часов, которые «идут» одинаково (то есть синхронизированы) – одни, связанные с подвижным объектом, а вторые – с телом отсчета. Все это вместе называют **системой отсчета**.

Система отсчета – это тело отсчета, связанная с ним навигационная система (например, GPS), которая позволяет определить положение подвижного объекта в пространстве в любой момент времени.



ОПЫТ 9.1

Начертите на листе бумаги для чертежа две линии, как это указано на рис. 9.8. Сверните прямоугольник линиями наружу и склейте вдоль пунктирной линии, образовав цилиндр. а) Какие траектории образовали синяя и красная линии? б) Как можно вычислить длину этих траекторий?

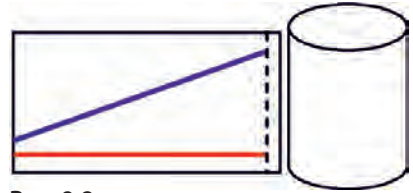


Рис. 9.8

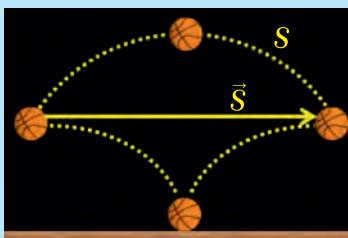


Рис. 9.9. Разным траекториям движения тела может отвечать та же самая конечная точка перемещения

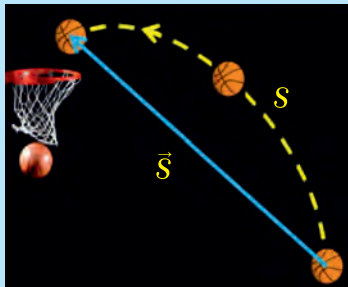


Рис. 9.10. Траектория движения мяча, его путь S и перемещение

ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ. СКАЛЯРЫ И ВЕКТОРЫ

Независимо от того, как движется тело – по прямой или по кривой – пройденный им путь равен длине траектории (рис. 9.9). Величина пройденного пути не зависит от направления движения. Куда бы ни двигалось тело – вперед или назад – пройденный им путь только возрастает. Путь помечают буквой « S » и измеряют в СИ в метрах.

Нас может также интересовать, насколько далеко переместилось тело в своем иногда довольно запутанном движении. Например, на рис. 9.9 нижняя линия может изображать траекторию мяча, который ведет баскетболист, ударяя его о пол. Верхняя линия – мяч, брошенный верхом другому игроку, а средняя траектория образуется, когда игрок просто несет с собой мяч. Но во всех случаях перемещение мяча одинаковое.

Чтобы найти перемещение баскетбольного мяча, брошенного в кольцо (рис. 9.10), соединяем начало и конец движения направленным отрезком прямой, при этом стрелка указывает на конечную точку.

Перемещением называют направленный отрезок прямой, который соединяет начальное и конечное положение тела. Такие «направленные» отрезки в математике называют векторами. Следовательно, перемещение – вектор.

На рисунке 9.10 желтая пунктирная линия изображает траекторию мяча, длина которой обозначена « S ». Синяя стрелка изображает вектор перемещения мяча. Перемещения, в отличие от пути, помечают « \vec{S} », где стрелка над буквой значит, что это «вектор». Величину перемещения измеряют в метрах, как и путь, однако их числовые значения, как видим, не всегда совпадают.

Если физическая величина характеризуется только числовым значением и нет необходимости указывать ее направление, то она называется **скаляр-**

ной физической величиной, или скаляром. Когда для полного определения величины нужно указать не только числовое значение, но и направление, то ее называют **векторной физической величиной, или просто вектором.**

Например, перемещение – это вектор, а путь и время – скаляры.

СЛОЖЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ – ЭТО УМЕНИЕ ПРАВИЛЬНО РИСОВАТЬ СТРЕЛКИ

На рисунках, как вы уже видели, векторы изображают стрелками (рис. 9.11). Условимся, что длина стрелки в определенном масштабе равна величине вектора. Пусть перемещение материальной точки (желтая точка) из A в B (синяя стрелка) составляет 4 м вправо, а из B в C (черная стрелка) 1 м вправо. Тогда общее перемещение из A в C (красная стрелка) будет составлять 5 м вправо (рис. 9.12).

В векторной форме последовательные перемещения точки из A в B, а потом в C записывают так:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \quad (9.1)$$

Если движение происходит по прямой в одну сторону, то пройденный путь совпадает с величиной перемещения, то есть $s_1 + s_2 = s$ и общий путь также составляет 5 м.

Если тело переместилось сначала влево на 4 м, а потом вправо на 1 м, как показано на рисунке 9.13, то общее перемещение все равно записывают как сумму векторов $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$, но величина перемещения в итоге составляет 3 м. Весь пройденный путь в этом случае опять равняется $s = s_1 + s_2 = 5$ м. В этом случае величина общего перемещения не совпадает с пройденным точкой путем.

Два вектора считаются одинаковыми, если их величины и направления одинаковы. Вектор, противоположный данному, но равный ему по величине, помечают знаком «-» и записывают так: $\vec{s}_2 = -\vec{s}_1$ (рис. 9.14).

Если точка двигается в определенной плоскости из A в B, а потом из B в C (рис. 9.15), общее перемещение и здесь обозначают как $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$, но теперь расчет общего перемещения сложнее. В данном случае можно, например, длину стрелок изобразить в определенном масштабе, а затем линейкой измерить длину общего перемещения и по масштабу определить его настоящую величину (смотрите пример 9.2).

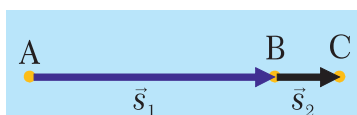


Рис. 9.11

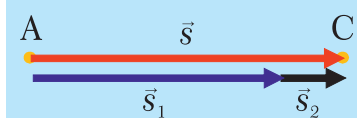


Рис. 9.12

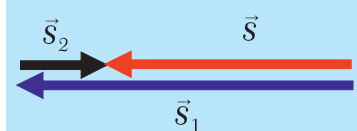


Рис. 9.13

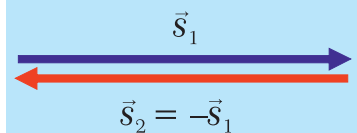


Рис. 9.14

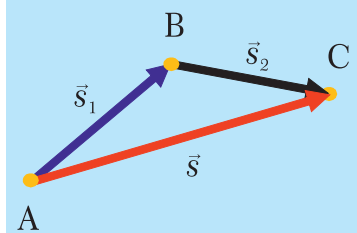


Рис. 9.15

Подобно перемещениям другие векторные величины (скорость, ускорение, сила) складываются так же. Правило сложения векторов можно сформулировать следующим образом:

Чтобы сложить два вектора, нужно из конца стрелки первого вектора провести второй вектор. Вектор суммы соединяет начало первого вектора с концом второго.

Порядок (алгоритм) сложения векторов изображен на *рисунке 9.16*.

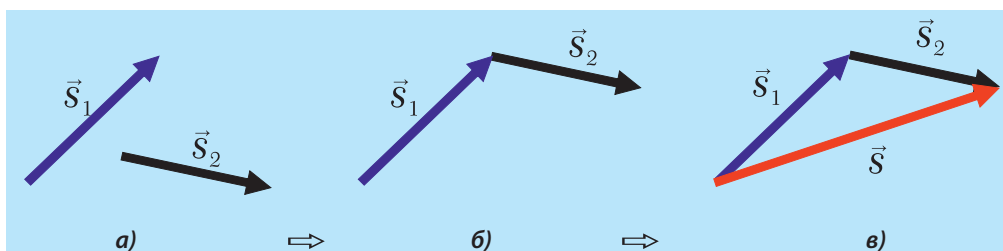
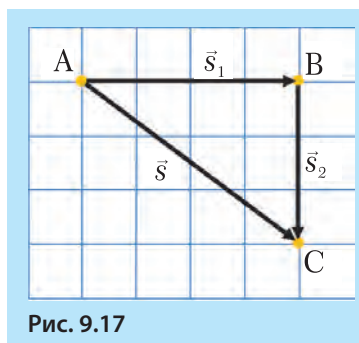


Рис. 9.16. а) Чтобы сложить два вектора \vec{s}_1 и \vec{s}_2 , нужно \Rightarrow б) вектор \vec{s}_2 параллельно перенести так, чтобы его начало совпало с концом вектора \vec{s}_1 . \Rightarrow в) затем соединить начало первого вектора с концом второго и получить вектор суммы \vec{s} : $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

► ПРИМЕР 9.2

Перемещения, изображенные на *рис. 9.17*, состоялись последовательно из точки А в точку В, а затем в точку С. Нужно определить все перемещения, если известно, что одной клеточке соответствует 1 м.

Решение. Очевидно, что s_1 содержит четыре клеточки, следовательно, $s_1 = 4$ м. Аналогично $s_2 = 3$ м. Общее перемещение АС ($\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$) является гипотенузой треугольника АВС и по величине равно 5 м. В этом можно убедиться, измерив линейкой длину отрезка АС – она составляет ровно 5 клеточек. Второй способ заключается в расчете длины гипотенузы по теореме Пифагора: $s^2 = s_1^2 + s_2^2$, откуда следует $s^2 = 25$, следовательно $s = 5$ м.



КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Материальная точка – это тело, размерами которого при определенных условиях можно пренебречь.
- ➔ Механическим движением называют изменение положения тела относительно других тел со временем.
- ➔ Система отсчета позволяет определить положение тела в пространстве и описать его движение.
- ➔ Путь измеряют вдоль траектории – это скалярная физическая величина.

- Перемещение – векторная физическая величина, которая соединяет начальное и конечное положения материальной точки и указывает на направление изменения положения точки.
- Чтобы сложить два вектора, нужно из конца стрелки первого вектора провести второй. Вектор суммы соединяет начало первого вектора с концом второго.



УПРАЖНЕНИЕ 9

1. Чем отличаются понятия твердого и абсолютно твердого тела?
2. Можно ли считать автомобиль, который находится в гараже, материальной точкой?
3. По какой траектории движется желтая точка железнодорожного колеса (рис. 9.1) относительно *а)* центра колеса, *б)* железнодорожного полотна (начертите)?
4. Зачем вводят понятие материальной точки?
5. Какую траекторию описывает Земля, двигаясь вокруг Солнца?
6. Каким является движение: *а)* колеса обозрения, *б)* кабины колеса обозрения?
7. Какие траектории описывает каждая точка кабины колеса обозрения?
8. Каким является движение качели – поступательным или вращательным?
9. Почему космонавты на МКС видят звезды даже днем?
10. Объясните, что такое «тело отсчета». Приведите примеры.
11. Почему космонавты не чувствуют движения космической станции?
12. Начертите траекторию муравья, который дошел от центра минутной стрелки часов до ее конца за 1 мин.
13. Что мы оплачиваем, когда путешествуем самолетом: путь или перемещение?
14. Можно ли считать автомобиль материальной точкой, когда он переезжает через мост длиной 15 м?
15. В каком случае путь и перемещение совпадают по величине?
16. Автомобиль, двигаясь по прямому шоссе из пункта А в пункт В, проехал 60 км, а затем повернул и проехал 20 км в противоположном направлении.
а) На каком расстоянии от пункта А находится автомобиль? *б)* Какова величина общего перемещения автомобиля? *в)* Каков общий путь автомобиля?
г) Начертите векторы всех перемещений автомобиля.
17. Какое наименьшее и какое наибольшее перемещения можно получить, прибавляя два перемещения, величина которых равна 3 м и 7 м?
18. Каким будет результат сложения двух перемещений, если они равны по величине и противоположны по направлению?
19. Вертолет, двигаясь на постоянной высоте, переместился на 30 км на север, а потом на 40 км на восток. *а)* Изобразите на рисунке маршрут вертолета, выбрав масштаб: 1 см = 100 км. *б)* Какой путь преодолел вертолет? *в)* Изобразите перемещение вертолета на рисунке. *г)* Какова будет величина общего перемещения вертолета?
20. Путь, длина, траектория, перемещение, скорость, время. Из перечисленных терминов укажите *а)* физические, *б)* скалярные, *в)* векторные величины.
- * 21. Сформулируйте правило вычитания векторов, используя правило сложения.

§ 10. РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

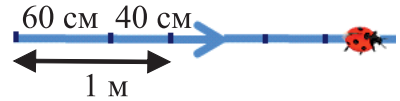
РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Равномерным называют движение вдоль прямой в одном направлении, при котором движущаяся точка совершает одинаковые перемещения за любые одинаковые промежутки времени. То есть мы должны следить за тем, чтобы перемещения были одинаковыми – как за большие, так и за насколько угодно малые (но одинаковые) промежутки времени.

▶ ПРИМЕР 10.1. «Хитрый жук»

«Хитрый жук» летит по прямой в одном направлении и каждую секунду преодолевает 1 м пути. Можно ли утверждать, что он движется равномерно?

Для этого нужно посмотреть, одинаковы ли также его перемещения за каждые 0,5 с. Может случиться так, что за первые 0,5 с каждой секунды он пролетает 60 см, а за следующие 0,5 с – только 40 см. В таком случае движение жука не является равномерным.



СКОРОСТЬ

Скорость – это векторная физическая величина, которая характеризует скорость перемещения и направление движения материальной точки относительно выбранной системы отсчета. Она равна отношению перемещения \vec{s} , которое прошло тело, ко времени, в течение которого происходило это перемещение:

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

Во время равномерного движения скорость тела одинакова по величине и направлению независимо от того, какой по величине отрезок времени или пути мы выбрали.

Можно сказать и так: **движение с постоянной по значению и направлению скоростью является равномерным и прямолинейным.**

Поскольку скорость – это вектор, то ее обозначают буквой \vec{v} и чаще всего измеряют в м/с или км/ч. Если нас интересует только величина скорости, то ее обозначают $|\vec{v}|$ (читают «модуль вэ») или просто v .

В английском языке эта скорость имеет специальное название «speed», от которого происходит слово «спидометр» – измеритель скорости. Скорость как вектор в английском языке называют «velocity» – отсюда и обозначение величины буквой « \vec{v} » и название «велосипед».

Поскольку при равномерном движении величина (модуль) перемещения $|\vec{s}|$ совпадает с величиной пройденного пути s , то мы для начала будем рассматривать скорость по пути. Чтобы более кратко выражать свои мысли, физики пользуются языком математики, то есть представляют физические зако-

номерности или понятия в виде формул. **Скоростью по пути будем называть физическую величину, которая равна отношению пройденного пути ко времени, за которые этот путь был пройден.** То есть, чтобы найти модуль скорости « v » тела, нужно модуль перемещения (то есть пройденный путь « s ») разделить на затраченное время « t »:

$$v = \frac{s}{t} \quad (10.1)$$

Такой способ определения скорости впервые предложил известный швейцарский математик Леонард Эйлер. Согласно формуле (10.1) **путевая скорость точки показывает расстояние, которое прошло тело за единицу времени.**

Зная скорость и затраченное время, из (10.1) можем найти пройденный телом путь:

$$s = v \cdot t \quad (10.2)$$

Затраченное время, зная пройденный путь и скорость движения, можно найти при помощи формулы:

$$t = \frac{s}{v} \quad (10.3)$$

За единицу скорости в Международной системе единиц (СИ) принята скорость такого равномерного движения, при котором материальная точка за 1 с перемещается на 1 м:

$$[v] = \frac{m}{c}$$

Напомним: если нас интересует единица измерения физической величины, а не ее числовое значение, то эту величину пишут в квадратных скобках. Например: $v = 54 \text{ км/ч}$, а $[v] = \text{км/ч}$.

КОНВЕРТАЦИЯ ЕДИНИЦ СКОРОСТИ

Если автомобиль движется, например, со скоростью 54 км/ч, а нам надо узнать, какой путь он проходит за одну секунду, необходимо 54 км разделить на количество секунд в 1 часу. Один час равен 60 мин, а 1 мин – 60 с. Таким образом, за 1 с автомобиль преодолет расстояние $54 \text{ км} : 3600 = 0,015 \text{ км}$. Поскольку 1 км равен 1000 м, то это значит, что за 1 с автомобиль проходит 15 м, или, другими словами, его скорость – 15 м/с.

И наоборот, если нам нужно узнать, сколько км/ч составляет скорость 10 м/с (скорость спринтера-рекордсмена), нужно это число умножить на 3600 и разделить на 1000. Получим 36 км/ч.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

▶ ПРИМЕР 10.2 «Автомобиль»

С какой скоростью движется автомобиль по автострате, если за три часа он, двигаясь равномерно, проехал 270 км?

Сокращенная запись задачи и решения:

Дано:

$$s = 270 \text{ км}$$

$$t = 3 \text{ ч}$$

$$v = ?$$

Решение:

 Исходя из формулы $v = \frac{s}{t}$ находим:

$$v = \frac{270 \text{ км}}{3 \text{ ч}} = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Ответ: Скорость автомобиля равняется 90 км/ч.

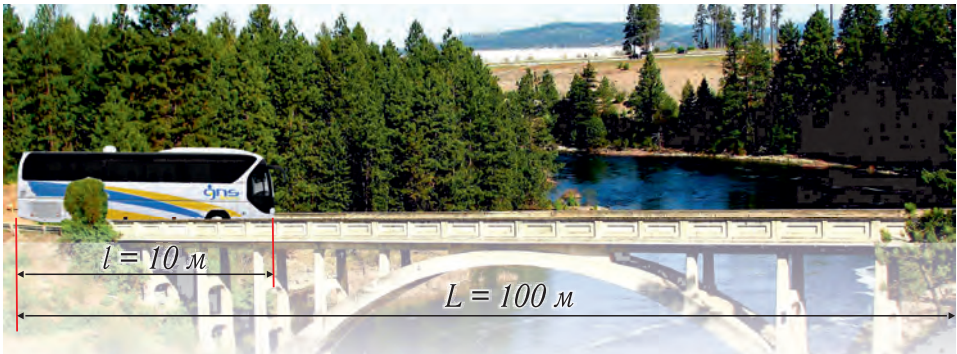
ПРИМЕР 10.3. «Автобус на мосту» (рис. 10.1)


Рис. 10.1. Автобус на мосту

Какое время затратит автобус длиной $l = 10 \text{ м}$, который движется со скоростью $v = 72 \text{ км/ч}$, чтобы переехать мост длиной $L = 100 \text{ м}$? Решите задачу в двух случаях: **а)** считая автобус материальной точкой, **б)** не считая автобус материальной точкой. Определите относительную погрешность, допущенную при применении модели материальной точки.

Дано:

$$l = 10 \text{ м}$$

$$v = 72 \text{ км/ч}$$

$$L = 100 \text{ м}$$

$$t = ?$$

Решение:

а) будем считать автобус материальной точкой.

 Тогда $t = \frac{L}{v}$. Преобразуем км/ч в м/с:

$$v = \frac{72 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \text{ Получаем: } t = \frac{100 \text{ м}}{20 \text{ м/с}} = 5 \text{ с.}$$

б) Решим задачу точнее, не считая автобус материальной точкой. Автобус находится на мосту (рис. 10.2) от момента, когда только коснулся его передними колесами, и до момента, когда съехал с него задними колесами. Для этого ему придется пройти путь $L + l = 110 \text{ м}$.

$$\text{Тогда: } t = \frac{L + l}{v}; \quad t = \frac{110 \text{ м}}{20 \text{ м/с}} = 5,5 \text{ с.}$$

Абсолютная погрешность при приближенном решении составляет $5,5 \text{ с} - 5 \text{ с} = 0,5 \text{ с}$.

Относительная погрешность составляет: $0,5 \text{ с} / 5 \text{ с} = 0,1$, или $0,1 \cdot 100\% = 10\%$.

Ответ. Автобус проедет мост за 5,5 с. Если считать его материальной точкой, то приближенный ответ составляет 5 с. При использовании модели материальной точки погрешность равняется 10%.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Движение с постоянной по значению и направлению скоростью называют равномерным.
- Скоростью по пути называют отношение пройденного пути к затраченному на это времени (при равномерном движении).
- Физический смысл скорости – она показывает пройденный за единицу времени путь.
- Скорость, путь или время движения можно вычислить, пользуясь формулой $v = \frac{s}{t}$.



УПРАЖНЕНИЕ 10

1. Какие измерения надо провести, чтобы определить опытным путем скорость велосипедиста?
2. Тело движется равномерно со скоростью 360 км/ч. Что это значит?
3. Какое движение называют равномерным?
4. По какой формуле рассчитывают путь тела, если известна скорость его равномерного движения и затраченное время?
5. По какой формуле рассчитывают время движения тела, если известна его скорость и пройденный путь?
6. Путь или перемещение показывает счетчик на спидометре?
7. Как движется автомобиль, если стрелка спидометра постоянно перемещается по шкале?
8. Какова скорость автомобиля в м/с, если он движется со скоростью: 18 км/ч, 54 км/ч, 72 км/ч, 90 и 108 км/ч?
9. За какое время (в секундах) автомобиль, который движется со скоростью 54 км/ч, проедет расстояние 300 м?
10. Каким транспортным средством надо воспользоваться, чтобы перегнать звук? Скорость звука составляет приблизительно 330 м/с.
11. Сколько времени (в секундах) потребуется поезду длиной $l = 350 \text{ м}$, который движется со скоростью $v = 54 \text{ км/ч}$, чтобы проехать мост длиной $L = 100 \text{ м}$?
12. Существует два рекорда скорости езды на велосипеде: 60 км/ч и 268 км/ч.
а) Как такое может быть? б) Запишите приведенные скорости в м/с.
- * 13. Жук движется по прямой, за каждую секунду преодолевая один сантиметр. Можно ли назвать такое движение равномерным?
14. Сколько метров за секунду пролетает пассажирский лайнер, который движется со скоростью 900 км/ч?
15. Скорость искусственного спутника Земли 8 км/с. а) Что означает это число? б) Выразите скорость спутника в км/ч и сравните ее со скоростью самолета (800 км/ч) и военного истребителя (2500 км/ч).

§ 11. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

ДВИЖЕНИЕ И СПОКОЙСТВИЕ – ПОНЯТИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ

Когда говорят, что движение относительно, то имеют в виду, что **перемещение, скорость и траектория тела зависят от того, относительно каких тел отсчета определяется движение.**

Мало сказать, что тело двигается, следует еще указать, относительно какого тела отсчета происходит это движение. В зависимости от того, где находится наблюдатель, мы получим разные ответы.

Самолет-истребитель может дозаправиться в воздухе лишь в том случае, если его скорость совпадает по направлению и равна по значению скорости самолета-заправщика (рис. 11.1). Хотя самолеты движутся очень быстро, относительно друг друга они находятся в состоянии спокойствия.



Рис. 11.1. Заправка в полете



Рис. 11.2. Движение и спокойствие относительно

Иногда, сидя в поезде, который еще не отправился (рис. 11.2) и посмотрев в окно на соседний поезд, вы можете подумать, что уже поехали. Но выглянув в противоположное окно, замечаете, что вокзал на месте. Так двигались вы или нет? – такой вопрос не имеет смысла. Относительно вокзала не двигались, а относительно соседнего поезда – двигались (как и он относительно вас).

В задачах «на относительность движения» надо уметь представить себя либо на месте одного наблюдателя, либо на месте другого. Такая манера размышления похожа на работу актера, который играет разные роли в фильмах или спектаклях и должен каждый раз «вживаться» в чужой образ. В повседневной жизни также очень важно уметь представить себя на месте другого человека и проанализировать ход его мыслей.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «НА ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ»

▶ ПРИМЕР 11.1

Если стоять на эскалаторе (рис. 11.3), который движется со скоростью 2 м/с, то мы будем двигаться относительно стен вместе с эскалатором со скоростью 2 м/с. Если мы идем в направлении движения эскалатора со ско-

ростью 0,5 м/с, то двигаемся относительно стен уже со скоростью 2,5 м/с. Если пойти в том же темпе против движения эскалатора, то он повезет нас назад со скоростью 1,5 м/с.



Рис. 11.3. Эскалатор

ПРИМЕР 11.2

Вы едете на автомобиле со скоростью 40 км/ч, а вас догоняет другой автомобиль, скорость которого 60 км/ч (рис. 11.4). Хотя скорость догоняющего автомобиля относительно дороги довольно большая, вы замечаете, что сближение идет медленно. Скорость автомобиля, который догоняет вас, с вашей точки зрения всего 20 км/ч. Обозначим скорость второго автомобиля относительно первого $v_{21} = 20$ км/ч (читают «вэ два-один»). Если бы задний автомобиль ехал с такой же скоростью, как ваш, он вообще не мог бы вас перегнать.



Рис. 11.4. Во время обгона скорость сближения этих автомобилей составляет:
 $v_{21} = 20$ км/ч

ПРИМЕР 11.3

Рассмотрим ситуацию, когда вы едете на автомобиле со скоростью 40 км/ч, а второй автомобиль движется вам навстречу (рис. 11.5). Теперь скорость сближения большая: $v_{21} = 100$ км/ч. Почему так получается?



Рис. 11.5. Во время движения навстречу скорость сближения увеличивается: $v_{21} = 100$ км/ч

а) Сначала рассмотрим движение с точки зрения наблюдателя, который находится на неподвижной дороге. Он может рассуждать так. За один час первый автомобиль проедет 40 км, а второй навстречу первому 60 км. Таким образом, за один час они сближаются на 100 км. Следовательно, скорость их взаимного сближения составляет 100 км/ч.

б) А вот как рассуждали бы вы как наблюдатель, который находится в первом автомобиле. Движение относительно, потому вы с таким же успехом можете считать, что ваш автомобиль не движется, а дорога вместе со встречным автомобилем движется навстречу вам со скоростью 40 км/ч. Встречный автомобиль, кроме того, движется относительно дороги со скоростью 60 км/ч в том же направлении. Если к скорости дороги прибавить скорость второго автомобиля, то получим 100 км/ч.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Перемещение, скорость и траектория тела зависят от того, относительно каких тел отсчета определяется движение.
- ⇒ Если одно тело догоняет другое, то они сближаются медленно.
- ⇒ Если тела двигаются навстречу друг другу, то они сближаются быстро.



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

11.1. С какой скоростью движется Солнечная система относительно центра Галактики, и с какой – вместе с Галактикой?



УПРАЖНЕНИЕ 11

1. В чем заключается относительность движения?
2. Можно ли двигаться относительно одних тел и быть в покое относительно других? Приведите примеры.
3. Почему мы не чувствуем движения Земли?
4. Почему Солнце движется по небу на протяжении дня?
5. С какой скоростью движется пассажир, если он сидит за столиком в вагоне поезда?
6. Почему скорость встречного автомобиля увеличивается, как будто скачком, в тот момент, когда он проезжает возле вашего автомобиля?
7. Зависит ли вид траектории тела от выбора тела отсчета? Приведите примеры.
8. Начертите траекторию груза, сброшенного с самолета, с точки зрения летчика, который летит параллельным курсом с такой же скоростью, и с точки зрения наблюдателя на земле.
9. С какой скоростью нужно двигаться по эскалатору, чтобы: а) оставаться неподвижным относительно стен? б) двигаться рядом с пассажиром встречного эскалатора?
10. Скорость велосипедиста 36 км/ч, а скорость встречного ветра 4 м/с. Определите скорость ветра относительно велосипедиста (в м/с).
11. Скорость эскалатора 0,75 м/с. Найдите время, за которое пассажир переместится на 20 м относительно стен, если он идет в направлении движения эскалатора со скоростью 0,25 м/с.
12. Колонна войск во время похода растянулась на 400 м и движется со скоростью 5 км/ч. Из конца колонны к ее началу посылают с поручением ве-

- лосипедиста, скорость которого 25 км/ч. Выполнив поручение, он сразу же возвращается назад. Сколько времени (в мин.) было затрачено на поездку?
13. Два поезда движутся по параллельным путям навстречу друг другу. Их скорость – 72 км/ч и 54 км/ч соответственно. Пассажир, который находится в первом поезде, заметил, что второй поезд проехал мимо него за 6 с. Какова длина второго поезда?
 14. Вагон шириной 2,4 м движется со скоростью 15 м/с. Его навывлет пробивает пуля, которая летела перпендикулярно движению вагона. Смещение отверстий в стенках составляет 6 см. Какова была скорость пули?
 15. Эскалатор метро поднимает пассажира за 1 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается за 3 мин. Сколько времени будет подниматься пассажир по движущемуся эскалатору?
 16. Эскалатор опускает пассажира, который идет вниз по нему, за 1 мин. Если пассажир будет идти вдвое быстрее, то он преодолеет этот путь за 45 с. Сколько времени затратит пассажир, стоящий на эскалаторе?
 - * 17. Мальчик бежит по эскалатору. В первый раз он насчитал 50 ступенек. Во второй раз, двигаясь в том же направлении со скоростью, втрое большей, он насчитал 75 ступенек. а) По или против движения эскалатора движется мальчик? б) Сколько ступенек насчитает мальчик на неподвижном эскалаторе?
 - * 18. Трактор движется со скоростью 3 м/с. Найдите скорость точки А на верхней части гусеницы и точки В на нижней части гусеницы в определенный момент времени относительно: а) земли; б) трактора.
 - * 19. Представьте, что вы со скоростью 10 см/с двигаете по гладкому столу массивную цепочку длиной 50 см, держа ее за один из концов (точка А на рис. 11.6), и в какой-то момент остановили руку. Одна часть цепочки остановится, а другая часть (которая постепенно укорачивается) будет продолжать свое движение мимо точки А. а) Какой отрезок цепочки остановится через 3 с? б) Через какое время с момента остановки руки остановится вся цепочка? Не берите в расчет уменьшение скорости цепочки в результате трения.

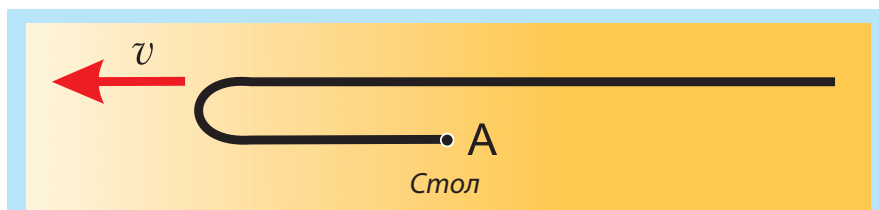


Рис. 11.6. Цепочка, вид сверху

§ 12. ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ И НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Проведем «воображаемый эксперимент». Рассмотрим случай, когда вы плывете в моторной лодке по озеру со скоростью 4 м/с. Представим, что в другой раз в той же лодке вы плывете вниз по течению реки (рис. 12.1). Пусть скорость течения составляет 1 м/с (конечно, относительно берега). Проплывая мимо дерева, вы включаете секундомер. На каком расстоянии от дерева вы окажетесь через 10 с?



Рис. 12.1. Скорость лодки относительно плота и берегов разная

В озере вы проплыли бы за это время 40 м. В реке же, даже с выключенным мотором, течение снесло бы вас на 10 м. В итоге вы оказываетесь на расстоянии 50 м от дерева: вы переместились на 40 м за счет работы двигателя и еще на 10 м вас снесло течение. Следовательно, скорость вашей лодки относительно берега равняется 5 м/с. Чтобы найти скорость лодки относительно берега, нужно к скорости лодки относительно воды (то есть в стоячей воде) прибавить скорость течения относительно берега.

ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Если перемещение лодки относительно воды вниз по течению обозначить \vec{s}_1 , а перемещение вместе с водой – \vec{s}_2 , то общее перемещение относительно берега будет составлять $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$. В этом случае $\vec{v} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}$, откуда следует:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2. \quad (12.1)$$

Уравнение (12.1) называют законом сложения скоростей. Физический смысл закона такой: скорость лодки (рис. 12.2) относительно берега (красная стрелка) равна скорости лодки относительно воды (синяя стрелка) плюс скорость течения (переносная скорость) относительно берега (черная стрелка). В нашем при-

мере скорость лодки относительно воды составляет 4 м/с, переносная скорость равна 1 м/с, а скорость лодки относительно берега составляет 5 м/с.

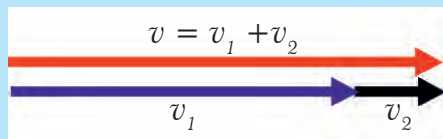


Рис. 12.2. При относительном движении скорости складываются

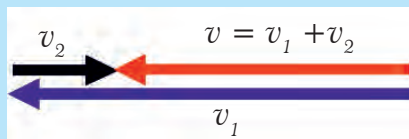


Рис. 12.3. При движении против течения векторы опять складываются

Посмотрим, какой будет скорость лодки относительно берега, если лодка плывет против течения. За те же 10 с в стоячей воде вы проплыли бы 40 м. Вода снесла вашу лодку вниз по течению на 10 м. В итоге вы сместились относительно дерева лишь на 30 м. Ваша скорость относительно берега теперь составляет 3 м/с, то есть $4 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с} = 3 \text{ м/с}$. Но векторные скорости опять складываются (рис. 12.3): скорость лодки относительно берега (красная стрелка) равна скорости лодки относительно воды (относительная скорость – синяя стрелка) плюс (согласно правилам движения векторов) скорость течения (переносная скорость) относительно берега (черная стрелка).

Оба случая мы рассматривали с точки зрения наблюдателя, который находится на берегу.

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЛОДКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ВОДЫ НЕ ЗАВИСИТ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Теперь представим себе, что каждый раз, когда наша лодка проплывает мимо дерева, там находится еще и плот. Плот не имеет двигателя и двигается вниз по течению со скоростью течения. Выясним, какой будет ваша скорость относительно наблюдателя, находящегося на плоту. В первом случае, когда вы плывете вниз по течению, через 10 с вы окажетесь на расстоянии 50 м от дерева и 40 м от плота, поскольку за те же 10 с течение снесло его на 10 м вниз.

Во втором случае, двигаясь мимо дерева вверх против течения, вы опять окажетесь на расстоянии 40 м от плота, поскольку сместились против течения на 30 м относительно берега, а плот течение снесло на 10 м вниз.

Оказывается, что, двигаясь вниз по течению или вверх против течения, за 10 с вы перемещаетесь относительно плота одинаково. Это значит, что ваша скорость относительно плота одна и та же, куда бы вы ни двигались. В этом нет ничего удивительного. Ведь для того, чтобы двигаться, лопасти двигателя должны отталкиваться от воды и двигать лодку. Скорость этого движения относительно воды не зависит от того, движется вода (как в реке) или она стоячая (как в озере).

ПОДВИЖНАЯ И НЕПОДВИЖНАЯ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА РАВНОПРАВНЫ

Движение лодки с точки зрения наблюдателя на берегу и с точки зрения наблюдателя на плоту выглядит по-разному. Но оба они по-своему правы. Прав-

да, при расчетах может оказаться удобнее наблюдать за лодкой с плота, а не с берега или наоборот. Решая задачи, вы научитесь выбирать «выгодные» тела отсчета.

▶ ПРИМЕР 12.1. «Вертолет»

Пролетая над пунктом А, пилот догнал воздушный шар, который сносило ветром по курсу вертолета (рис. 12.4). Через 0,5 часа пилот повернул назад и позже встретил воздушный шар на расстоянии 30 км от пункта А. Какой была скорость ветра?

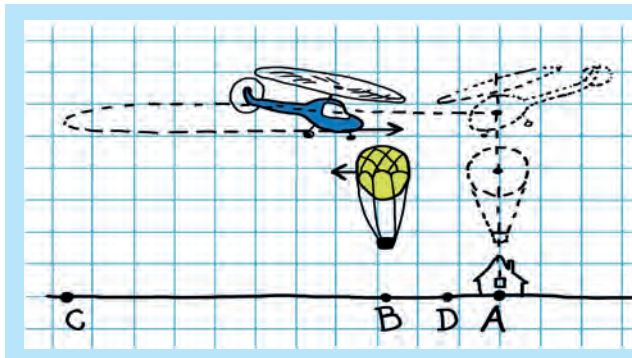


Рис. 12.4. Относительно шара вертолет движется с одинаковой скоростью

а) Решение в системе отсчета «земля». Пусть точка С – место разворота вертолета через $t_{AC} = 0,5$ ч после встречи с воздушным шаром над пунктом А, а точка В – место повторной встречи вертолета и шара через время t_{CB} после разворота вертолета в точке С. Пусть u – скорость ветра, v – скорость вертолета относительно воздуха. Тогда $v + u$ – скорость вертолета относительно земли в направлении АВС, $v - u$ – скорость вертолета относительно земли в направлении СВ (против ветра):

$$S_{AC} = (v + u) \cdot t_{AC}; \quad S_{CB} = (v - u) \cdot t_{CB}; \quad S_{AB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB}).$$

В тот момент времени, когда вертолет был в точке С, шар находился в некоторой промежуточной точке D. За то время, пока вертолет долетел из точки С в точку В, шар переместился из D в В. Скорость воздушного шара равна скорости ветра u . Очевидно, что $S_{AC} - S_{CB} = S_{AB}$. Подставив сюда выражения для S_{AC} , S_{CB} и S_{AB} , получим: $(v + u) \cdot t_{AC} - (v - u) \cdot t_{CB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB})$. После несложных преобразований находим, что $t_{AC} = t_{CB}$. Тогда $(t_{AC} + t_{CB}) = 1$ час, а скорость ветра равна $u = 30$ км/ч.

Ответ: Скорость ветра равна 30 км/ч.

Соотношение $t_{AC} = t_{CB}$ кажется довольно странным. Но его содержание становится понятным, если решить задачу иначе.

б) Решение с точки зрения тела отсчета «воздушный шар». Относительно воздуха шар не двигается. Скорость вертолета относительно шара одна и та же в произвольном направлении (то есть равна v), поэтому время отдаления вертолета от шара (0,5 ч) равна времени его приближения к нему. Все время полета шара от А до В равна 1 час, и решение задачи очевидно.

Эта задача показывает, насколько удобным может быть удачный выбор системы отсчета.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Векторная скорость равна отношению перемещения ко времени движения: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.
- ➔ Скорость тела относительно неподвижной системы отсчета равняется сумме относительной и переносной скоростей тела: $\vec{v}_{\text{неподв.}} = \vec{v}_{\text{относ.}} + \vec{v}_{\text{переносная}}$.



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

12.1. Сформулируйте критерий, согласно которому можно выбрать «наилучшую» систему отсчета.



УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Чем скорость по перемещению отличается от скорости по пути?
2. Куда направлена векторная скорость?
3. В чем заключается закон сложения скоростей?
4. Почему в примере 12.1. более выгодно рассуждать с точки зрения наблюдателей, которые находятся на воздушном шаре?
5. Вы находитесь в лодке, вокруг вас вода, туман, берега не видно, до дна достать невозможно. Как определить – река это или озеро? (Это дискуссионная задача; не верится, но не существует методов определения движения в этом случае!).
6. Какую форму имеют волны, образованные брошенным в реку камнем, с точки зрения наблюдателя, находящегося: а) на берегу; б) на плоту?
7. Вода несет лодку рядом с плотом вниз по течению. Что легче сидящему на веслах: отстать на 10 м от плота или на столько же перегнать его?
8. Двигаясь на катере вниз по течению реки, вы потеряли спасательный круг. 5 мин. спустя, развернув катер, вы плывете назад. Через сколько времени после разворота вы подберете круг?
9. Между двумя пунктами, расположенными на берегу реки на расстоянии 100 км друг от друга, курсирует катер. Плывая по течению, катер затрачивает 4 ч, а против течения – 10 ч. Определите: а) скорость течения; б) скорость катера относительно воды.
10. Моторная лодка проходит расстояние между пунктами А и В за 3 ч, а плот – за 12 ч. Сколько времени потребуется лодке на обратный путь?
- * 11. Мимо пристани проплывает плот. В этот момент к деревне, находящейся на расстоянии 15 км вниз по течению от пристани, отправляется моторная лодка. Она приходит к деревне через 45 мин. и, возвращаясь назад, встречает плот на расстоянии 9 км от деревни. Найдите: а) скорость течения; б) скорость лодки относительно воды. Считайте, что лодка в деревне не задержалась.
- * 12. Моторная лодка проходит одно и то же расстояние туда и обратно вдоль берега реки и в озере. В каком случае она затратит на преодоление всего пути больше времени?

§ 13. ГРАФИКИ ПУТИ И СКОРОСТИ

ГРАФИК СКОРОСТИ

В физике и математике применяют три способа представления информации о связи между разными величинами: а) в виде формулы, например, $s = v \cdot t$; б) в виде таблицы; в) в виде графика (рисунка).

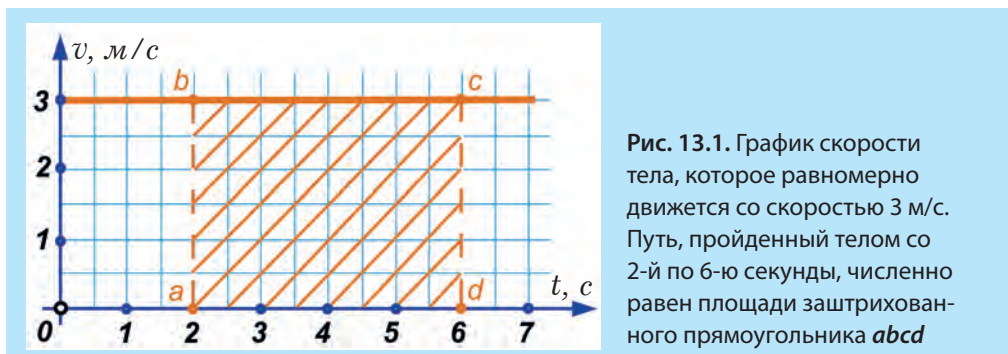


График скорости отображает зависимость скорости от времени $v(t)$ и изображается с помощью двух взаимно перпендикулярных осей. Вдоль горизонтальной оси будем откладывать время, а вдоль вертикальной – скорость (рис. 13.1). Нужно заранее продумать масштаб, чтобы рисунок не был слишком большим или слишком маленьким. На конце оси указывают букву, которая обозначает величину, откладываемую на ней. Около буквы ставят единицу измерения этой величины. Например, около оси времени указывают $t, с$, а около оси скорости – $v(t), м/с$. Выбирают масштаб и наносят деления на каждую ось.

Рассмотрим равномерное движение тела со скоростью 3 м/с, то есть числовое значение скорости будет постоянным на протяжении всего времени движения. Сокращенно это записывают так: $v = const$ (константа, то есть постоянная величина). В нашем примере она равна трем: $v = 3 м/с$. Вы уже знаете, что информацию о зависимости одной величины от другой можно представить в виде таблицы (массива, как говорят в информатике):

$t, с$	0	1	2	3	4	5	6	7
$v, м/с$	3	3	3	3	3	3	3	3

Из таблицы видно, что во все указанные моменты времени скорость равняется 3 м/с. Пусть масштаб оси времени 2 кл. = 1 с, а оси скорости 2 кл. = 1 м/с. График зависимости скорости от времени (сокращенно говорят: график скорости) приведен на рисунке 13.1.

С помощью графика скорости можно находить путь, который тело проходит за определенный интервал времени. Для этого надо сопоставить два факта: с одной стороны, путь можно найти, умножив скорость на время, а с другой –

произведение скорости на время, как видно из рисунка, – это площадь прямоугольника со сторонами t и v .

Например, со второй до шестой секунды тело двигалось на протяжении четырех секунд и прошло $3 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ м}$. Это площадь прямоугольника $abcd$, длина которого равна 4 с (отрезок ad вдоль оси времени) и высота 3 м/с (отрезок ab вдоль вертикали). Площадь, правда, несколько непривычная, поскольку измеряется не в м^2 , а в м. Следовательно, **площадь под графиком скорости численно равна пройденному пути за определенное время**.

ГРАФИК ПУТИ

График пути $s(t)$ можно изобразить, пользуясь формулой $s = v \cdot t$, то есть в нашем случае, когда скорость составляет 3 м/с : $s = 3 \cdot t$. Построим таблицу:

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5
$s, \text{м}$	0	3	6	9	12	15

Вдоль горизонтальной оси опять откладывают время ($t, \text{с}$), а вдоль вертикальной – путь. Около оси пути пишем: $s, \text{м}$ (рис. 13.2).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ НА ГРАФИКЕ ПУТИ

Изобразим теперь на одном рисунке два графика, которые будут соответствовать движению со скоростями 3 м/с (прямая 2) и 6 м/с (прямая 1) (рис. 13.3). Видно, что, чем больше скорость тела, тем круче линия точек графика.

Существует и обратная задача: имея график движения, нужно определить скорость и записать уравнение пути (рис. 13.3). Рассмотрим прямую 2. От начала движения и до момента времени $t = 2 \text{ с}$ тело прошло путь $s = 6 \text{ м}$. Следовательно, его скорость: $v = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Выбор

другого интервала времени ничего не изменит, например, на момент $t = 4 \text{ с}$ путь, пройденный телом от начала движения, составляет $s = 12 \text{ м}$. Отношение опять равняется 3 м/с . Но так и должно быть, поскольку тело движется с постоянной скоростью. Поэтому проще всего было бы выбрать интервал времени 1 с, ведь путь, пройденный телом за одну секунду, численно равен скорости. Путь, пройденный первым телом (график 1) за 1 с равен 6 м, то есть скорость

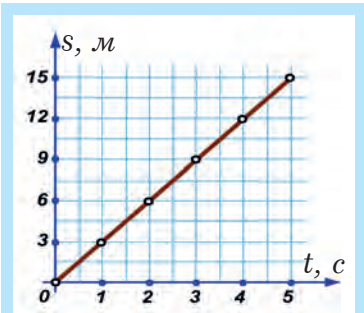


Рис. 13.2. График пути. Остальные точки, кроме шести, указанных в таблице, поставлены, исходя из предположения, что движение на протяжении всего времени было равномерным

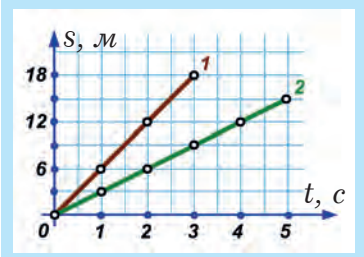


Рис. 13.3. График пути в случае разных скоростей

первого тела – 6 м/с. Соответствующие зависимости пути от времени у этих двух тел будут:

$$s_1 = 6 \cdot t \text{ и } s_2 = 3 \cdot t.$$

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ В физике применяют три способа представления информации: графический, аналитический (формулами) и таблицей (массивом). Третий способ больше приспособлен для решения на компьютере.
- ⇒ Путь численно равен площади под графиком скорости.
- ⇒ Чем круче график $s(t)$, тем больше скорость.



УПРАЖНЕНИЕ 13

1. Как определяют путь на графике скорости?
2. Можно ли записать формулу зависимости пути от времени, имея график $s(t)$?
3. Изменится ли угол наклона графика пути, если масштаб на осях уменьшить вдвое?
4. Почему график пути равномерного прямолинейного движения изображается прямой?
5. Какое из тел (рис. 13.4) имеет наибольшую скорость?
6. Как можно определить путь по графику скорости?
7. а) Чем отличаются графики пути для тел, которые двигаются с разными скоростями? б) Что в них общего?
8. По графику (рис. 13.1) найдите путь, пройденный телом от начала первой до конца третьей секунды.
9. Какой путь прошло тело (рис. 13.2) за: а) две секунды; б) четыре секунды? в) Укажите, где начинается третья секунда движения, и где она заканчивается.
10. Изобразите на графике скорости и пути движение со скоростью: а) 4 м/с; б) 2 м/с.
11. Запишите формулу зависимости пути от времени для движений, изображенных на рис. 13.3.
12. а) Найдите скорости тел по графикам (рис. 13.4); б) запишите соответствующие уравнения пути и скорости. в) Постройте графики скорости для этих тел.
13. Постройте графики пути и скорости для тел, движения которых заданы уравнениями: $s_1 = 5 \cdot t$ и $s_2 = 6 \cdot t$. Чему равны скорости тел?



Рис. 13.4

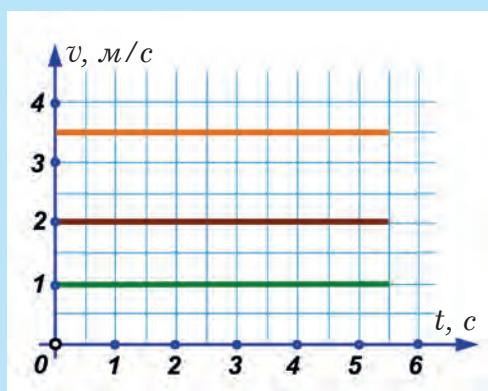


Рис. 13.5

14. По графикам (рис. 13.5) определите: *а)* скорости тел; *б)* пути, пройденные ими за первые 5 с. Запишите уравнения пути и постройте соответствующие графики для всех трех движений.

* 15. Начертите график пути движения первого тела относительно второго (рис. 13.3).



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

- 13.1. Начертите графики скорости и пути для случая, когда скорость тела равномерно увеличивается или уменьшается.

§ 14. НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Тела двигаются равномерно прямолинейно только в том случае, когда они движутся прямолинейно, с постоянной скоростью и в одном направлении, а это происходит редко. Преимущественно скорость движения по разным причинам меняется. Движение, при котором скорость тела изменяется, называют **неравномерным**.

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Для описания неравномерного движения используют понятие *средней скорости* v_{cp} . Чтобы найти среднюю путевую скорость за данный интервал времени (t), нужно весь пройденный телом путь (s) разделить на все затраченное время (включая время остановок).

Формула для расчета средней скорости v_{cp} та же, что и для равномерного движения:

$$v_{cp} = \frac{s}{t}, \quad (14.1)$$

но смысл величин s и t другой: s – это весь пройденный телом путь, а t – все затраченное на это время.

Среднюю скорость движения необходимо знать, если мы хотим оценить общее время, необходимое для путешествия. **Если бы тело двигалось равномерно со скоростью, равной средней скорости, то оно прошло бы весь путь за все время неравномерного движения.**

* Если в формулу (14.1) вместо пройденного пути « s » подставить вектор перемещения \vec{s} , то получим **среднюю скорость перемещения**:

$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}$, которая по величине всегда меньше, чем средняя скорость пройденного пути, кроме случая, когда движение проходит по прямой и постоянно направлено в одну и ту же сторону. Тогда эти скорости равны.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

► ПРИМЕР 14.1. «Машинист»

Представьте себя машинистом, который ведет 12-вагонный поезд из пункта **А** в пункт **В** со средней скоростью $v_{cp} = 60 \text{ км/ч}$. Поезд делает 8 остановок, на которые затрачивает в целом $t_1 = 40$ мин. Расстояние между пунктами **А** и **В**: $s = 240 \text{ км}$. а) Сколько времени t поезд будет находиться в движении? б) За какое время t_2 пройдены первые 120 км? в) Сколько лет машинисту?

Решение.

а) Чтобы найти полное время путешествия, нужно весь пройденный путь – 240 км – разделить на среднюю скорость – 60 км/ч. Следовательно, полное время путешествия составляет 4 часа. От этого значения надо отнять время, которое было затрачено на остановки. В итоге получим: 3 часа и 20 мин.

б) Информации, приведенной в условии, недостаточно, чтобы ответить на этот вопрос. Мы не можем узнать, сколько времени займет половина дороги, поскольку средняя скорость на этом отрезке может быть другой, и она нам неизвестна. Отрицательный ответ в физике, если он достаточно аргументирован, также имеет ценность.

в) Сколько лет машинисту?

Подсказка. Третий вопрос и сложнее, и проще других. Он не требует числовых расчетов, а только вашего внимания.

► ПРИМЕР 14.2. «Улитка на столбе»

Улитка начинает ползти вверх по столбу, высота которого 6 м. За 12 дневных часов она равномерно продвигается вверх на 2 м, а ночью, во время сна, равномерно съезжает вниз на 1 м.

а) За какое наименьшее время улитка достигнет вершины столба?

б) Определите перемещение и путь улитки за 4 суток, скорость преодоления пути и скорость перемещения.

Решение.

а) Быстрый и неправильный ответ – за 6 суток. На самом деле улитка достигает вершины быстрее. За 4 суток она окажется на высоте 4 м. Этой высоты она достигнет на рассвете пятого дня после ночного отдыха. За пятый день она поднимется на 2 м и, следовательно, достигнет вершины. Всего ей нужно для преодоления этого пути $4 \cdot 24 + 12 = 108$ часов.

б) За сутки улитка перемещается на 2 м вверх и на 1 м вниз, то есть общий путь составляет 3 м. Весь путь за 4 суток составит $s = 12 \text{ м}$, а перемещение –



лишь 4 м. Вектор перемещения соединяет начало столба и точку на высоте 4 м и направлен вверх. Средняя скорость преодоления улиткой пути составляет 3 м в сутки (2 м вверх и 1 м вниз: $v_{cp} = 3 \text{ м/сутки}$). Средняя скорость перемещения за сутки равна 1 м/сутки.

▶ ПРИМЕР 14.3. «Маршрутный автобус»

Между двумя городами курсирует автобус. Из города **А** в город **В** он едет с постоянной скоростью 40 км/ч, а назад возвращается с постоянной скоростью 60 км/ч. Считая время разворота очень малым, найдите среднюю скорость движения на всем пути **А-В-А**.

Подсказка. Ответ 50 км/ч неправильный. Средняя скорость определяется как отношение всего пройденного пути к полному времени движения. Сложность этой задачи заключается еще и в том, что в условии не дано ни времени движения, ни расстояния между городами. Будьте смелее и введите их в решение.

Решение. Обозначим расстояние между городами **А** и **В** буквой « s ». Скорость движения из **А** в **В** обозначим v_1 , время – t_1 , а скорость и время при возвращении **В** в **А** – как v_2 и t_2 соответственно. Согласно условию:

$$v_{cp} = \frac{s + s}{t_1 + t_2} \quad (14.2)$$

Подставим время t_1 и t_2 в формулу 14.2:

$$v_{cp} = \frac{2s}{\frac{s}{v_1} + \frac{s}{v_2}} = \frac{2s}{s \frac{v_1 + v_2}{v_1 v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/ч.}$$

Ответ. Средняя скорость автобуса на всем маршруте составляет 48 км/ч.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Движение с переменной скоростью называют неравномерным.
- ➔ Средней скоростью v_{cp} за некоторое время называют отношение всего пройденного пути ко всему затраченному времени t (включительно с остановками).
- ➔ Если двигаться равномерно со средней скоростью, то за все время движения будет пройден весь путь.

УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Определите среднюю скорость падения воздушного шарика с высоты. Опишите:

1. Какие приборы вы использовали?
2. По какой формуле вычислили среднюю скорость?
3. Запишите значение средней скорости шарика.

4. Объясните, почему движение шарика не является равномерным.
5. Назовите факторы, которые существенно повлияли на точность определения скорости.



УПРАЖНЕНИЕ 14

1. Чем средняя скорость при неравномерном движении отличается от скорости равномерного прямолинейного движения?
2. Почему равномерное движение проще описывать, чем неравномерное?
3. Чему равна средняя скорость движения при равномерном движении?
4. Автомобиль ехал 2 часа со скоростью 60 км/ч, потом сделал остановку на 0,5 ч и продолжил движение со скоростью 80 км/ч в течение 1,5 часа. Какой была средняя скорость автомобиля на всем пути?
5. Туристы прошли по равнине расстояние 5 км за 1,5 ч, потом остановились на отдых на 0,5 ч и продолжили движение в горы, пройдя еще 3 км за 2 ч. С какой средней скоростью двигались туристы на всем маршруте?
6. Почему нельзя сказать ничего определенного о скорости и пути тела при неравномерном движении за произвольный интервал времени, даже если известны средняя скорость и полное время движения?
7. Постройте приблизительный график скорости и пути тела (без чисел и масштаба), которое: *а)* увеличивает скорость; *б)* уменьшает скорость; *в)* сначала увеличивает, а затем уменьшает скорость.
8. Вы покатались на велосипеде (без трюков!) и поставили его на место. *а)* Чему равно окончательное перемещение? *б)* Какое колесо велосипеда прошло больший путь – переднее или заднее? **Подсказка.** Пронаблюдайте за траекториями переднего и заднего колес (это легко сделать, намочив их), и вы все поймете.
- * 9. Человек, находящийся на расстоянии 20 м от забора, начинает равномерно приближаться к нему со скоростью 1 м/с. Одновременно с человеком к забору бежит собака со скоростью 2 м/с. Собака добежит до забора и возвращается обратно к человеку и т. д. Какой путь пробежит собака, пока человек дойдет до забора?
- * 10. Первая машина ехала половину всего времени движения со скоростью 40 км/ч, а оставшееся время – со скоростью 60 км/ч. Вторая машина двигалась столько же времени, как и первая, но с постоянной скоростью 50 км/ч. Какая из машин преодолела большее расстояние?
- * 11. Автомобиль проехал первую половину пути со скоростью 40 км/ч, а вторую – со скоростью 60 км/ч. Автобус все время ехал со скоростью 50 км/ч. Какая из машин потратила на всю дорогу меньше времени?
- * 12. Докажите с помощью графика скорости, что при неравномерном движении средняя скорость меньше наибольшего значения скорости на данном промежутке времени.
- * 13. Объясните без вычислений, почему в примере 15.2 средняя скорость меньше чем 50 км/ч.

§ 15. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Обращение искусственного спутника по круговой орбите вокруг Земли можно рассматривать как вращение материальной точки. Вращение стрелок часов (рис. 15.1) и колеса велосипеда (рис. 15.2) можно рассматривать как вращение абсолютно твердого тела вокруг оси. Многие детали машин и механизмов осуществляют вращательное движение, потому что его очень просто реализовать.

Тело может вращаться вокруг оси, которая лежит вне его пределов (например, обруч) или вокруг нескольких осей: наша планета Земля вращается одновременно вокруг собственной оси и вокруг Солнца.

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ

Рассмотрим равномерное вращение тела, когда каждый оборот осуществляется за одно и то же время. Время, на протяжении которого тело осуществляет один оборот, называют периодом вращения и обозначают буквой T . Период измеряют в единицах времени: секундах, минутах, часах, сутках, месяцах, годах. Например, период вращения Земли вокруг собственной оси равен одним суткам, тогда как период вращения секундной стрелки часов составляет 60 с (рис. 15.1), или 1 мин. Если за время t тело сделало N оборотов, то его период вращения T определяется так:

$$T = \frac{t}{N} \quad (15.1)$$

КАЖДАЯ ТОЧКА ТЕЛА, КОТОРАЯ ВРАЩАЕТСЯ ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ, ОПИСЫВАЕТ ОКРУЖНОСТЬ

Длина траектории, которую проходит точка за один оборот, – это длина окружности (рис. 15.3). Отношение длины окружности l к ее диаметру d является постоянным числом, то есть не зависит от диаметра. Отношение $\frac{l}{d}$ обозначают греческой буквой π (читается «пи»):



Рис. 15.1. Разные стрелки вращаются с разным периодом



Рис. 15.2. Колесо велосипеда вращается вокруг оси и одновременно движется вперед

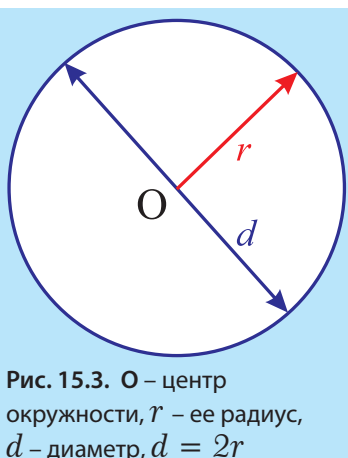


Рис. 15.3. O – центр окружности, r – ее радиус, d – диаметр, $d = 2r$

$$\pi = \frac{l}{d} \approx 3,14 \quad (15.2)$$

Исходя из определения числа π , можно записать формулу для вычисления длины окружности, описанной точкой:

$$l = \pi \cdot d \quad (15.3)$$

Поскольку $d = 2r$, длину окружности можно выразить через радиус:

$$l = 2\pi \cdot r \quad (15.4)$$

СКОРОСТЬ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ ПО ОКРУЖНОСТИ

Скорость материальной точки при равномерном движении по окружности (ее еще называют линейной скоростью) можно вычислить, если разделить путь, пройденный точкой за период (длину окружности) на соответствующее время движения (период):

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (15.5)$$

ПРИМЕР 15.1

Определите линейную скорость точек экватора при вращении Земли вокруг своей оси. Радиус земного шара $R = 6\,400$ км, период вращения 24 часа.

Дано:

$$R = 6\,400 \text{ км}$$

$$T = 24 \text{ ч}$$

$$v = ?$$

Решение:

По формуле $v = \frac{2\pi R}{T}$, подставив в нее числовые значения, находим:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6\,400 \text{ км}}{24 \text{ ч}} = 1675 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Ответ. Скорость движения точек экватора составляет 1 675 км/ч. Отметим, что это вдвое больше, чем скорость авиалайнера.

ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

Количество оборотов за единицу времени называют частотой вращения и обозначают буквой « n ». Чаще всего частоту вращения измеряют в оборотах в секунду или оборотах в минуту. Если за время t тело сделало N оборотов, то частота равна:

$$n = \frac{N}{t} \quad (15.6)$$

Сравнив формулы (15.1) и (15.6), видим, что частота и период – взаимно обратные величины:

$$T = \frac{1}{n}, \quad n = \frac{1}{T} \quad (15.7)$$

► ПРИМЕР 15.2

За 5 с колесо велосипеда радиусом 50 см сделало 20 оборотов. Чему равны его: **а)** период вращения; **б)** частота вращения; **в)** скорость точек обода?

Дано:

$$t = 5 \text{ с}$$

$$R = 50 \text{ см}$$

$$N = 20$$

$$v = ?$$

Решение:

а) По формуле $T = \frac{t}{N}$, $T = 5 \text{ с} : 20 = 0,25 \text{ с}$.

б) Формула $n = \frac{N}{t}$ дает: $n = 20 : 5 \text{ с} = 4 \text{ (1/с)}$.

Читают: 4 оборота в секунду. Слово «оборот» в формулах не пишут – нужно догадаться самому

в) Применяя вместе формулы

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ та } n = \frac{1}{T}, \text{ получаем:}$$

$$v = 2\pi R \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 4 \text{ (1/с)} = 12,56 \text{ м/с} \approx 12,6 \text{ м/с}$$

Ответ:

а) $T = 0,25 \text{ с}$; **б)** $n = 4 \text{ (1/с)}$;

в) $v = 12,56 \text{ м/с} \approx 12,6 \text{ м/с}$.



ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Вал автомобильного двигателя может вращаться с частотой 500–5000 оборотов в минуту, в зависимости от того, насколько сильно водитель жмет на педаль акселератора (педаль «газа»). В автомобиле есть устройство, которое измеряет частоту – тахометр.

Вал турбины реактивного двигателя делает 30 000 оборотов за минуту, центрифуга стиральной машины – несколько сотен оборотов в минуту, а ультрацентрифуга в биологических лабораториях – до полумиллиона оборотов в минуту.



Рис. 15.4. Вал турбины реактивного двигателя делает 30 000 оборотов в минуту

ОКРУЖНОСТЬ И ЭЛЛИПС

Окружность – это плоская замкнутая кривая, все точки которой равноудалены от некоторой заданной точки, которая называется центром окружности. Расстояние от любой точки окружности до центра называют радиусом окружности r . Отрезок, который соединяет две точки на окружности и проходит через ее центр, называется диаметром – d . Окружность можно начертить циркулем.



ОПЫТ 15.1

Другой способ начертить окружность заключается в том, что вы, воткнув в плоскую поверхность булавку, набрасываете на нее петлю (рис. 15.5) и, натягивая ее заточенным кончиком карандаша, проводите им по поверхности, получая окружность. Центр окружности можно назвать его фокусом, а окружность – однофокусной фигурой.

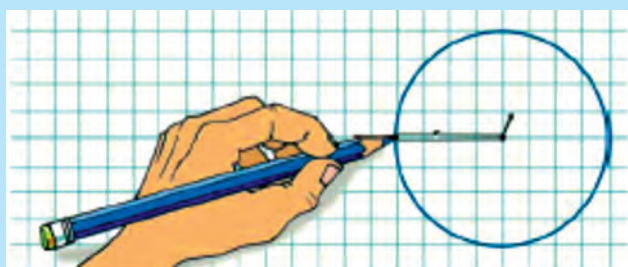


Рис. 15.5. Окружность можно рассматривать как однофокусную фигуру



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

МОЖНО ЛИ В ШКОЛЬНОМ ВОЗРАСТЕ СДЕЛАТЬ ОТКРЫТИЕ?

Речь пойдет об английском физике Джеймсе Кларке Максвелле, который 150 лет тому назад открыл радиоволны.

Любуясь как-то в музее формой овальных ваз, которые сохранились от древних этрусков, четырнадцатилетний Максвелл задумался над тем, нельзя ли нарисовать эллипс так же просто, как и окружность. И вот что он придумал. Если, как в опыте 15.1, петлю накинуть на две иглы, воткнутые в бумагу на некотором расстоянии одна от другой, а длину нити сделать немного больше удвоенного расстояния между иглами и, натягивая концом карандаша нить, провести замкнутую кривую, то получим двухфокусную фигуру – эллипс (рис. 15.6). Точки, где находятся иглы (F_1 и F_2), и являются фокусами эллипса. Сумма расстояний $r_1 + r_2$ от произвольной точки эллипса до фокусов одинакова для всех точек данного эллипса.

Эллипс имеет две взаимно перпендикулярных оси – малую и большую. Точка O – центр эллипса – лежит на пересечении его осей. Большая ось эллипса проходит через оба фокуса, а отрезок OB (или OA) называют большой полуосью эллипса. Орбиты планет, спутников планет и большинства искусственных спутников Земли – эллипсы.

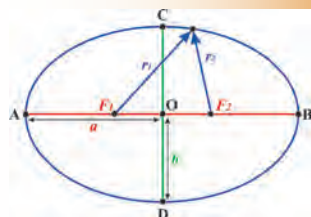


Рис. 15.6. a – большая полуось, b – малая полуось эллипса

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Время, за которое тело осуществляет один оборот, называют периодом вращения: $T = \frac{t}{N}$.
- ⇒ Количество оборотов за единицу времени называют частотой вращения: $n = \frac{N}{t}$.
- ⇒ Частота и период – взаимно обратные величины: $T = \frac{1}{n}$, $n = \frac{1}{T}$.
- ⇒ Скорость материальной точки при равномерном движении по окружности вычисляют по формуле: $v = \frac{2\pi r}{T}$.



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

15.1. Как опытным путем определить частоту вращения волчка (рис. 15.7)?

* 15.2. Почему волчок не падает, когда вертится?



Рис. 15.7. Почему волчок не падает, когда вертится?



УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Что называют: а) периодом вращения; б) частотой вращения; в) равномерным вращением?
2. От чего зависит скорость вращения материальной точки?
3. Как называют прибор, который измеряет частоту вращения?
4. Назовите свойства окружности.
5. Опишите два способа построения окружности.
6. Чему равно отношение длины окружности к ее радиусу?
7. Как можно вычислить частоту вращения, зная период?
8. Определите длину экватора Земли, если ее радиус составляет 6400 км.
9. Длина окружности равна 62,8 см. Какой радиус окружности?
10. Вал двигателя совершает 2400 оборотов за минуту. а) Какова частота (в оборотах в минуту) вращения вала? б) Какова скорость точки (в м/с), удаленной от оси вращения на 20 см?

11. Искусственный спутник Земли движется по круговой орбите на расстоянии 600 км от поверхности планеты со скоростью 7,9 км/с. Какой период (в мин) вращения спутника?
12. Мотоциклист движется по окружности радиусом 50 м со скоростью 90 км/ч. За какое время он проходит один круг?
13. Мальчик вращает каштан на нити длиной 50 см, делая 2 оборота за секунду. а) Какой период вращения каштана? б) Какова скорость каштана?
14. Чему равен период вращения часовой стрелки часов?
15. При каком условии эллипс превратится в окружность?
16. Параллели на глобусе являются окружностями (рис. 15.8). Где находятся центры этих окружностей и в каких пределах изменяется их радиус?
17. Параллели и меридианы являются окружностями. Чем они различаются?
18. Маленькое зубчатое колесико вращается против часовой стрелки с частотой 10 оборотов в секунду (рис. 15.9). а) В какую сторону и с какой частотой вращается большое колесико? б) Какой период вращения колесиков?
19. Крайнее левое колесико (рис. 15.10) вращается по часовой стрелке. а) В какую сторону вращается крайнее правое колесико? б) Сравните частоту вращения крайних колесиков.

- * 20. Допустим, что Земля является идеальным шаром, радиус которой 6400 км. Охватим экватор нерастягивающейся нитью так, чтобы она прилегала к поверхности во всех точках. Затем увеличим длину нити на 1 м. Между нитью и экватором образуется промежуток. Допустим, что он везде будет одинаковым. а) Сможет ли в него проскочить мышь? б) Каким будет результат, если мы повторим такой же опыт с мячом?

- * 21. Ведущая зубчатая передача велосипеда (рис. 15.11), которая связана с педалями, втрое больше зубчатки, связанной с колесом. Радиус колеса 40 см, а спортсмен делает один оборот педалями за одну секунду. а) Какова частота вращения ведущего колеса? б) С какой скоростью (в км/ч) движется велосипедист.

- * 22. Начертите эллипс с полуосями 6 см и 4 см.



Рис. 15.8



Рис. 15.9

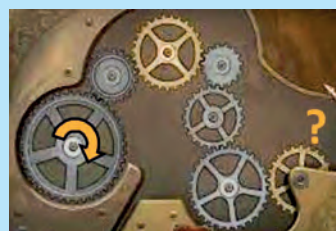


Рис. 15.10



Рис. 15.11

§ 16. ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ И ЛУНЫ

Солнечная система состоит из Солнца и восьми планет (рис. 16.1), которые вращаются вокруг него. Планеты подразделяются на две группы: планеты земной группы и планеты-гиганты. Планеты земной группы – Меркурий, Венера, Земля, Марс – имеют твердую оболочку и состоят преимущественно из тяжелых элементов. Внешние планеты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун – состоят из газов, преимущественно водорода и гелия; их еще называют газовыми гигантами из-за огромных размеров. Внутренние и внешние планеты разделены поясом астероидов.



Рис. 16.1. Солнце – Меркурий – Венера – Земля – Марс. Пояс астероидов. Юпитер – Сатурн – Уран – Нептун – газовые гиганты

СОСТАВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

До 2006 года в состав Солнечной системы входила еще одна планета – Плутон. Но из-за того, что космические аппараты открыли за Плутоном еще несколько небесных тел приблизительно таких же размеров, было решено ограничить число планет до восьми. Кроме того, Плутон имеет вытянутую орбиту, которая сильно наклонена к плоскости вращения других планет.

На протяжении тысячелетий астрономы наблюдали за довольно сложным движением Солнца, Луны и планет на фоне звездного неба и считали, что все они движутся вокруг Земли. В 1543 году польский астроном Николай Коперник предложил выбрать телом отсчета Солнце, учитывая более простой способ описания движения планет. Согласно гелиоцентрической системе Коперника Земля и другие планеты вращаются вокруг Солнца. Траектория каждой из планет Солнечной системы является эллипсом, а Солнце находится в одном из фокусов этого эллипса.

ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ ВОКРУГ СОЛНЦА

Орбиты большинства планет лежат практически в одной плоскости, которая называется плоскостью эклиптики (рис. 16.2), и вращаются в одну и ту же сторону. Солнце лежит в этой же плоскости и вращается вокруг собственной оси в том же направлении, что и планеты. Плоскость орбиты Плутона наклонена к плоскости эклиптики под углом 17° .

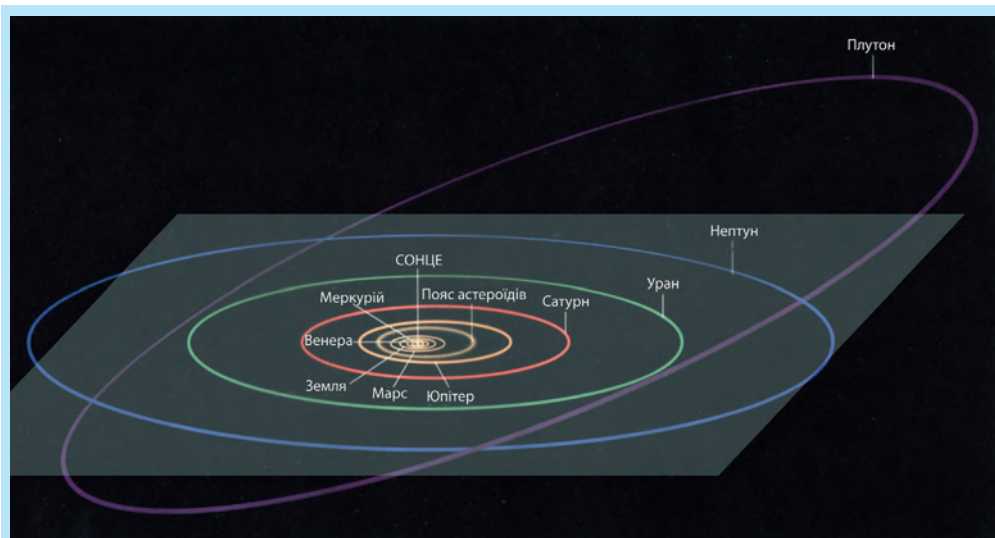


Рис. 16.2. Орбиты планет. Плоскость эклиптики выделена. Орбита Плутона явно выделяется наклоном и вытянутостью

Однако орбиты планет, кроме Плутона, настолько мало отличаются от окружностей, что только чрезвычайно кропотливые расчеты Кеплера, которые он завершил в 1609 году, дали возможность установить это отличие. История этого открытия такова.



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Датский астроном Тихо Браге достиг невиданной для своего времени точности измерений положения планет на небе. Он завещал результаты собственных астрономических наблюдений своему сотруднику, немецкому астроному И. Кеплеру. Анализируя данные о движении Марса, Кеплер определил, что планета движется по орбите неравномерно – если бы планета двигалась по окружности, то такого не могло бы быть. Первый закон Кеплера утверждает: планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце. Ему понадобилось пять лет, чтобы вычислениями доказать этот факт.



В нижеприведенной таблице указаны основные данные о Солнечной системе.

Таблица 16.1

Основные данные о планетах Солнечной системы и Плуtone

	Радиусы небесных тел, км	Длительность суток относительно звезд	Большая полуось орбиты, км	Период обращения вокруг Солнца
Меркурий	2570	88 суток	57,9 млн	88 суток
Венера	6310	243 сутки	108 млн	224,7 суток
Земля	6380	23 ч 56 мин 4с	149 млн	365, 26 суток
Марс	3430	24 ч 37 мин 23 с	228 млн	687 суток
Юпитер	71800	9 ч 50 мин 30с	778 млн	11,9 лет
Сатурн	60300	10 ч 14 мин	1,43 млрд	29,5 лет
Уран	26700	11 ч	2,87 млрд	84 лет
Нептун	24800	16 ч	4,50 млрд	164,8 лет
Плутон	2743	6 суток 9 ч	5,90 млрд	247,7 лет

Период обращения Земли вокруг собственной оси равняется 24 часам и называется **солнечными сутками**, или просто **сутками**. Периоды обращения других планет и Луны указаны в таблице в земных сутках.

Год – это период обращения планеты вокруг Солнца. Земной год равняется 365,26 земным суткам. Периоды обращения остальных планет указаны в земных сутках или в земных годах.

За миллиарды лет вращения Луны вокруг Земли она замедлила обращение вокруг своей оси настолько, что сейчас обращена к нам всегда одной своей стороной, и потому совершает один оборот вокруг собственной оси за один месяц.

Земля также замедляет свое суточное вращение (главным образом из-за вызываемых Луной приливов в океане и жидком ядре Земли), но происходит это очень медленно, хотя 3,5 млрд лет назад земные сутки составляли лишь 6 часов.

ЛУНА – ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

Кроме Меркурия и Венеры, все другие планеты Солнечной системы имеют естественные спутники. У Земли это Луна. Наблюдая за движением Луны, можно заметить, что за сутки она смещается на фоне звездного неба на восток приблизительно на 13° . Засекая минимальное время, через которое Луна опять займет свое предыдущее положение относительно звезд (позиция 2 на рис. 16.3), можно определить звездный период обращения Луны вокруг Земли: 27,3 суток (27 суток 7 часов и 43 мин). Надо понимать, что лучи от звезд идут практически параллельно, из-за огромного расстояния к ним.

Если определить промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны (например полной и следующей полной Луной – позиция 3 на *рис. 16.3*), то получим ее солнечный период обращения, который длится приблизительно 29,5 суток (29 суток 12 ч 44 мин).



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 16.1. Объясните с помощью *рис. 11.3*, почему период обращения Луны вокруг Земли равен 27,3 суток относительно неподвижных звезд, и 29,5 сутки относительно Солнца.
- 16.2. Объясните с помощью рисунка, почему период обращения Земли вокруг оси относительно неподвижных звезд составляет 23 ч 56 мин. и 24 ч относительно Солнца.
- 16.3. Напишите реферат об истории исключения Плутона из семейства планет Солнечной системы.



Рис. 16.3. Луна – Земля – Солнце

СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Траекторию Луны вокруг Земли можно приближенно считать окружностью (*рис. 16.4*). Лучи света от Солнца идут практически параллельно, из-за огромного расстояния к нему.

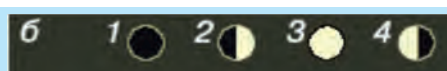
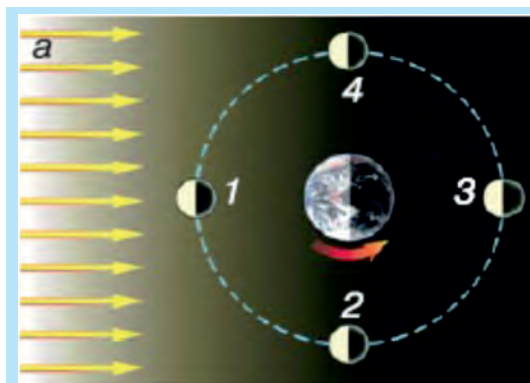


Рис. 16.4. Фазы Луны.

3 – полная Луна, 2 – первая четверть, 4 – последняя четверть, 1 – рождение новой Луны

Солнечные затмения возможны, когда Луна оказывается между Солнцем и Землей на одной линии. Угловые размеры Луны и Солнца практически одинаковы (то есть кажутся одинаковыми по размеру). Во время полного солнечного затмения Луна закрывает Солнце.

Лунное затмение возможно, когда Земля оказывается между Солнцем и Луной на одной линии. Казалось бы, что солнечные и лунные затмения должны происходить ежемесячно, но это не так. Плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости эклиптики под углом 5° , поэтому в большинстве случаев, когда Луна оказывается между Солнцем и Землей, солнечного затмения не проис-

ходит, поскольку Луна находится выше или ниже плоскости эклиптики. Однако в определенные моменты времени (попробуйте объяснить это с помощью рисунка) Земля, Луна и Солнце все же могут оказаться на одной прямой, которая лежит одновременно и в плоскости эклиптики, и в плоскости орбиты Луны. В таком случае можно наблюдать солнечное или лунное затмение.

ФАЗЫ ЛУНЫ

Интересно следить за фазами Луны. На *рис. 16.4 а* изображено положение Луны относительно Земли в разные моменты ее движения по околоземной орбите. Рисунок сделан с позиции наблюдателя, который находится в космосе выше плоскости орбиты Луны прямо над Северным полюсом Земли. Земля вращается вокруг своей оси против часовой стрелки (с запада на восток). В ту же сторону вращается по своей орбите и Луна. *Рис. 16.4 б* показывает Луну такой, какой ее видит земной наблюдатель. Полная луна наблюдается в положении 3, когда земной наблюдатель видит ее полностью освещенной. В этой же позиции можно наблюдать лунное затмение (если Луна лежит в плоскости эклиптики). В положении 2 земной наблюдатель видит освещенной правую половину Луны – это первая четверть. В положении 4 земной наблюдатель видит освещенной левую половину Луны – это последняя четверть. В положении 1 диска Луны не видно, но уже на следующий день справа на диске появится узенький светящийся серп молодой луны. Если в положении 1 Луна будет находиться еще и в плоскости эклиптики, то в некоторых точках Земли можно наблюдать солнечное затмение.

Таблица 16.2

Основные данные о Луне

Радиус Луны	Период обращения вокруг Земли		Радиус орбиты Луны
	Звездный период	Солнечный период	
1740 км	27,3 суток	29,5 суток	380 000 км

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Восемь планет Солнечной системы движутся вокруг солнца по эллипсам, которые мало отличаются от окружностей.
- Все планеты двигаются практически в одной плоскости (плоскости эклиптики).
- Солнечные и лунные затмения происходят, когда Солнце, Луна и Земля одновременно находятся на одной прямой и в одной плоскости.



ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

- 16.1-3.** С помощью каких наблюдений можно заметить: а) суточное вращение Земли? б) движение Луны вокруг Земли? в) движение Земли вокруг Солнца?
- 16.4.** Почему все планеты вращаются в одну и ту же сторону, а их орбиты лежат практически в одной плоскости?



УПРАЖНЕНИЕ 16

1. Сколько планет входит сейчас в состав Солнечной системы?
2. Назовите две причины, по которым Плутон исключили из состава планет Солнечной системы.
3. Почему мы видим только одну сторону Луны?
4. Почему замедляется суточное вращение Земли?
5. Почему звездный и солнечный периоды обращения Луны вокруг Земли отличаются между собой?
6. Назовите четыре основных фазы Луны.
7. Куда смещается Луна на протяжении ночи на фоне ночного звездного неба?
8. Раскрутите на столе сырое и вареное яйцо. Чем отличаются их вращения? Попробуйте объяснить это явление.
9. Какой период вращения секундной и минутной стрелок часов?
10. С какой скоростью движется Луна вокруг Земли, если ее звездный период обращения составляет 27,3 земных суток, а средний радиус орбиты 380 000 км?
11. а) Укажите на *рис. 16.4*, в какой точке орбиты Луны и при каких условиях может произойти солнечное затмение? б) В какой точке орбиты Луны может произойти лунное затмение?
12. За сколько минут свет от Солнца доходит до Земли?
13. Найдите (приблизенно) отношение радиуса Земли к радиусу Луны, выразив его целым числом.
14. Найдите (приблизенно) отношение радиуса орбиты Луны к радиусу Земли, выразив его целым числом.
- * 15. Какие закономерности и особенности в периодах обращения планет вокруг Солнца вы заметили, изучая таблицу 16.1?
- * 16. В 12 часов минутная и часовая стрелки совпадают. Через какое минимальное время их положения опять совпадут?
- * 17. Искусственный спутник вращается вокруг Земли в направлении с запада на восток. Что больше: время обращения спутника относительно Земли или относительно неподвижных звезд?

§ 17. КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. МАЯТНИКИ

Колебание часто можно наблюдать в природе и технике. Колеблются легкие при дыхании, колеблется маятник механических часов и поршни автомобильного двигателя.

НИТЯНОЙ МАЯТНИК

Удобнее всего наблюдать и изучать колебания при помощи устройства, которое называют нитяным маятником. Этот маятник состоит из нити, к которой прикреплен шарик (*рис. 17.1*), где L – длина нити маятника, 2 – положение равновесия – скорость шарика здесь наибольшая.



ОПЫТ 17.1

Прикрепим к одному концу тонкой нити длиной один метр пластилиновый шарик диаметром приблизительно 1 см, а второй конец привяжем, например, к люстре.

В состоянии равновесия нить вертикальна (положение 2 на рис. 17.1), то есть она совпадает с отвесной линией. Отклоним шарик вправо (положение 1 на рис. 17.1) на небольшое, сравнительно с длиной нити, расстояние (например, 10 см) и отпустим. Шарик начнет двигаться сначала медленно, а затем все быстрее в направлении к положению равновесия, проскочит это положение и начнет отклоняться влево, уменьшая свою скорость, пока не остановится в точке 3. Затем шарик начнет двигаться вправо, опять пройдет положение равновесия и остановится в крайней правой точке. Движения такого типа, которые периодически повторяются, называют колебаниями, а устройство, которое мы использовали, – маятником.

Движение шарика от крайнего правого положения до крайнего левого и назад называют одним полным колебанием (1-2-3-2-1 на рис. 17.1). Далее все повторится сначала. Если наблюдать за шариком достаточно долго, то мы заметим, что расстояния, на которые она отклоняется влево и вправо, постепенно уменьшаются. Причиной этого являются силы трения. В конце концов колебания прекратятся.

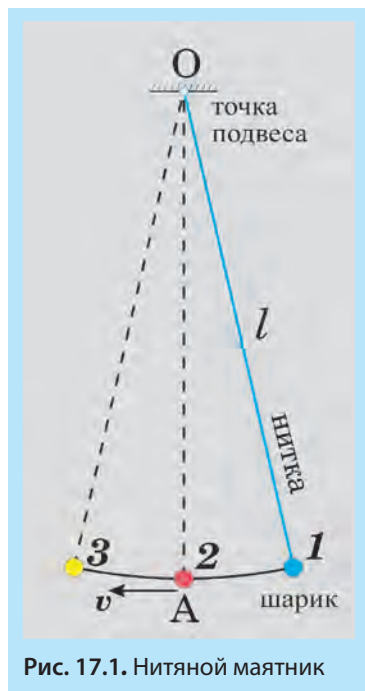


Рис. 17.1. Нитяной маятник

АМПЛИТУДА, ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

Траектория движения шарика – дуга окружности, центр которой находится в точке подвеса, а радиус равен расстоянию от точки подвеса к центру шарика. Наибольшее отклонение от положения равновесия называют амплитудой колебаний. Обозначим амплитуду буквой A . В нашем примере это длина дуги между точками 1 и 2.

Время, на протяжении которого шарик осуществляет одно полное колебание, называют периодом колебаний и обозначают буквой T . В СИ период измеряют в секундах. Если за время « t » шарик осуществил « N » полных колебаний, то период будет определяться так:

$$T = \frac{t}{N} \quad (17.1)$$

Количество полных колебаний, осуществляемых шариком за единицу времени, называют частотой и обозначают греческой буквой ν («ню»). Согласно этому определению

$$\nu = \frac{N}{t} \quad (17.2)$$

Частоту измеряют в герцах (Гц). Один герц – это частота колебаний, при которой за одну секунду тело осуществляет одно полное колебание, то есть 1 Гц = одно колебание в секунду (пишут 1/с). Единица измерения частоты колебаний названа в честь немецкого физика Генриха Герца, который в 1887 году путем опытов доказал существование радиоволн.

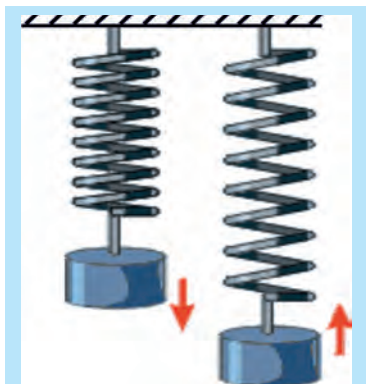


Рис. 17.2. Пружинный маятник

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК

Другая простая колебательная система – это пружинный маятник. Он состоит из пружины, к которой прикреплено тело. Такой маятник колеблется с определенной частотой и амплитудой (рис. 17.2), которые зависят от массы грузика и упругих свойств пружины.

СТРОБОГРАММА

Колебания бывают не только механические, как у нитяного маятника, но и электрические. В электрической розетке, например, «колеблется» напряжение, то есть периодически изменяется с частотой 50 Гц.

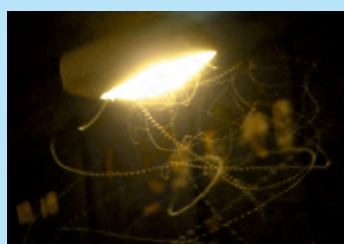


Рис. 17.3. Стробограмма траекторий насекомых

На рис. 17.3 вы можете видеть фотографию странных траекторий насекомых в свете настольной лампы. Если внимательно присмотреться, то видно, что траектории не сплошные. Так случилось потому, что лампа, которая питается от источника переменного напряжения, мигает с частотой, равной двойной частоте напряжения, то есть 100 Гц. Такая частота незаметна для нашего глаза, но ее «замечает» фотокамера.

Сто раз в секунду лампа зажигается и столько же раз гаснет. Пока света мало, насекомого на снимке не видно. Время экспозиции цифровой фотокамеры составляло несколько секунд, поэтому траектория и вышла «пунктирной». Такого вида фотографии называют стробоскопическими.



Рис. 17.4. Упражнение на турнике

Есть специальные лампы-стробоскопы, частоту миганий которых можно менять. Вы, наверное, видели их на дискотеках. Стробогаммы используют спортивные тренеры (рис. 17.4), а при помощи стробоскопа настраивают частоту колебаний поршней автомобильного двигателя.



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

В 1584 году двадцатилетний итальянец Галилео Галилей проделал чрезвычайно интересное наблюдение. Подвешивая к нити то кусок свинца, то кусок пробки, он доказал, что маятники одинаковой длины колеблются с одинаковыми периодами независимо от массы грузов. Он также заметил, что период колебаний маятника почти не зависит от амплитуды (по крайней мере, пока амплитуда мала по сравнению с длиной нити).

Поскольку период колебаний маятника не зависит ни от амплитуды малых колебаний, ни от массы шарика, то его, очевидно, можно применять для измерения времени. В старину координаты кораблей в морях и океанах определяли по солнцу и звездам, причем для определения долготы нужны точнейшие часы. Неточно измеренное время и, соответственно, ошибки в определении координат приводили к ошибкам в определении расстояний, а это, в свою очередь, могло спровоцировать аварии.

Потери торгового флота были настолько значительными, что во многих морских государствах обещали крупные денежные премии за создание точного морского хронометра.

В Голландии, например, была обещана премия 20 000 золотых гульденов, а в Великобритании – 20 000 фунтов стерлингов.

Двое ученых, независимо друг от друга, догадались, что маятник, благодаря постоянному периоду, может стать основной деталью точных часов. Это были уже упоминавшийся итальянец Галилео Галилей и голландец Кристиан Гюйгенс. Первые маятниковые часы по чертежам Гюйгенса были изготовлены в 1656 году.

Изобретателем морского хронометра стал англичанин Джон Гаррисон, который получил часть обещанной правительством премии (12 000 фунтов стерлингов).

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Наибольшее отклонение от положения равновесия называют амплитудой колебаний.
- Время, на протяжении которого осуществляется одно полное колебание, называют периодом колебаний.
- Количество полных колебаний за единицу времени называют частотой.
- Период колебаний нитяного маятника не зависит ни от амплитуды малых колебаний, ни от массы шарика.



ТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 17.1. Выясните, почему при частоте изменения напряжения в розетке 50 Гц лампа накаливания мигает с частотой 100 Гц.
- 17.2. Изготовьте маятник, взяв тонкую резинку длиной 1 м и прикрепив к ней пластилиновый шарик диаметром 1 см. а) Наблюдая за колебаниями маятника влево-вправо при разных амплитудах, определите, чем отличаются эти колебания от колебаний маятника на нити. б) Исследуйте небольшие колебания груза на резинке вверх-вниз (без раскачивания влево-вправо). От чего зависит период этих колебаний?



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

17.1. Изготовьте нитяной маятник с периодом колебаний 1 с и определите с его помощью площадь вашего кухонного стола.



УПРАЖНЕНИЕ 17

1. Приведите примеры колебаний в природе и технике.
2. Из чего состоит нитяной маятник?
3. Что называют амплитудой колебаний?
4. Дайте определение единице частоты колебаний 1 Гц.
5. Дайте определение периоду колебаний.
6. При каком условии период колебаний маятника не зависит от амплитуды?
7. Почему вознаграждение за создание точного морского хронометра было таким большим?
8. Какой смысл имеет частота 50 Гц?
9. С какой частотой колеблются качели, если за 2 мин они совершат 40 колебаний?
10. Маятник сделал 20 колебаний за 1 мин. **а)** Каков период колебаний маятника (в секундах)? **б)** Какова частота колебаний этого маятника (в Гц)?
11. Как можно проверить, что период колебаний маятника не зависит от массы шарика?
12. Почему маятник можно использовать для конструирования часов?
13. Используя *рисунок 17.4*, укажите, в каком положении гимнаста его скорость: **а)** наибольшая; **б)** наименьшая.
14. Почему траектории насекомых на *рис. 17.3* имеют вид пунктирных линий?
15. С какой частотой мигает лампа накаливания?
- * 16. Высотные здания и подвесные мосты раскачиваются подобно маятнику. От чего может зависеть период их колебаний?
- * 17. Некоторая точка струны колеблется с частотой 440 Гц и амплитудой 2 мм. Какое расстояние (в м) пройдет эта точка за 5 секунд?

ИТОГИ РАЗДЕЛА 2

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ –

это изменение положения тела относительно других тел
в пространстве со временем.

ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

По форме траектории

- прямолинейное
- криволинейное

По скорости

- равномерное
- неравномерное

Перемещение, скорость, траектория зависят от того,
в какой СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА изучается движение тела.

СИСТЕМА ОТСЧЕТА

тело
отсчета

система координат,
связанная с телом отсчета

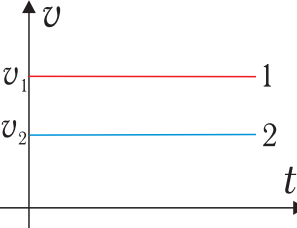
набор синхронизированных
часов

ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Скорость тела относительно неподвижной системы равна сумме
скоростей тела в движущейся системе и скорости движущейся
системы

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

РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

График движения	График скорости	Связь между графиком скорости и путем
		
$v_1 > v_2$	$v_1 > v_2$	Путь численно равен площади фигуры под графиком $v(t)$

Форма траектории	Путь	Время	Скорость
ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ			
Прямая линия	$s = v \cdot t$	$t = \frac{s}{v}$	$v = \frac{s}{t}$
ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ			
Прямая линия	$s = s_1 + s_2 + \dots + s_n$	$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$	$v_{cp} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$
ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ			
Окружность	Движение за период $l = 2\pi R$, где R – радиус окружности	Период $T(c)$ $T = \frac{t}{N}$; $T = \frac{1}{n}$ N – количество оборотов t – время N -оборотов	Скорость при движении по окружности $v = \frac{2\pi R}{T}$ Оборотная частота $n (1/c)$ $n = \frac{N}{t}$; $n = \frac{1}{T}$
КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ			
Отрезок прямой, дуга окружности	$l \approx 4A$, где A – амплитуда колебаний	Период $T (c)$ $T = \frac{t}{N}$; $T = \frac{1}{\nu}$	Частота ν (Гц) $\nu = \frac{N}{t}$; $\nu = \frac{1}{T}$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

1. Которая из указанных скоростей – 72 км/ч или 25 м/с – больше:

А	Б	В	Г
72 км/ч	25 м/с	они одинаковые	нельзя сравнивать

2. Какова траектория движения Луны вокруг Земли?

А	Б	В	Г
прямая	окружность	эллипс	спираль

3. Может ли путь точки относительно перемещения: 1) быть большим, 2) быть меньшим, 3) равняться?

А	Б	В	Г
1	2 и 3	3	1 и 3

4. За сколько времени поезд длиной 200 м переедет мост длиной 100 м? Скорость поезда 54 км/ч.

А	Б	В	Г
1 мин	30 с	20 с	0,5 мин

5. Мяч упал с высоты 2 м и подпрыгнул на высоту 1,5 м. Определите путь и перемещение мяча.

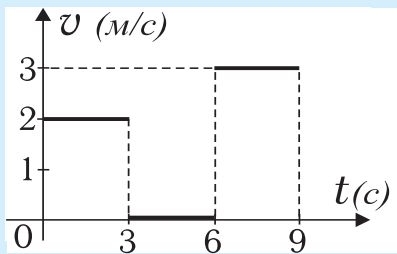
А	Б	В	Г
3,5 м и 1,5 м	0,5 м и 2,5 м	2,5 м и 0,5 м вверх	2,5 м и 0,5 м вниз

6. Тело первые 30 м своего пути прошло за 2 с, а следующие 30 м – за 0,05 мин. Какова средняя скорость тела?

А	Б	В	Г
15 м/с	12 м/с	600 м/мин	0,5 км/ч

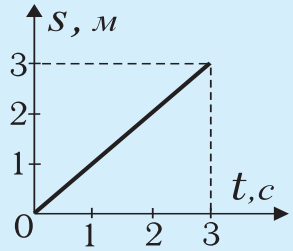
7. По данному графику вычислите приблизительное значение средней скорости тела за 3 с и 9 с:

А	Б
6 м/с и 2 м/с	2 м/с и 1 м/с
В	Г
3 м/с и 3 м/с	6 м/с и 3 м/с



8. По данному графику определите скорость и перемещение тела за 2 с.

А	Б
3 м/с и 2 м	2 м/с и 3 м
В	Г
1 м/с и 1,5 м	1 м/с и 2 м

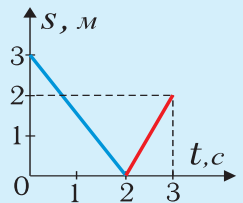
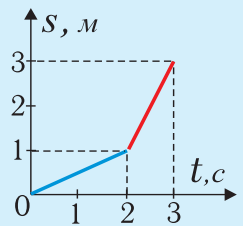


9. Сколько оборотов совершит колесо велосипеда диаметром 50 см, если он проехал расстояние 62,8 м?

А	Б	В	Г
20	30	40	50

РЕШИТЕ ЗАДАЧИ

1. Какое расстояние преодолает велосипедист, движущийся со скоростью 30 км/ч, за 30 мин?
2. Два поезда движутся по параллельным колей в одну сторону. Их скорость составляет 72 км/ч и 54 км/ч соответственно. Пассажир, который находится в первом поезде, заметил, что второй поезд проехал около него за 20 с. Какова длина второго поезда?
3. Скорость велосипедиста 18 км/ч, а скорость попутного ветра 3 м/с. Найдите скорость ветра относительно велосипедиста.
4. Дан график зависимости пути точки от времени.
 а) Какой путь прошла точка за 2 с? б) Какой путь прошла точка за 3 с? в) Какова величина скорости точки за первые две секунды? г) Какова величина скорости точки за последнюю секунду?
5. Дан график зависимости перемещения точки от времени.
 а) Какой путь прошла точка за 3 с и в какую сторону она двигалась (вперед или назад)? б) Какова величина перемещения точки за 3 с? в) Какова величина скорости точки за первые две секунды? г) Какова величина скорости точки за последнюю секунду?
6. Какова средняя скорость поезда, если за пять с половиной часов он преодолел расстояние 300 км? Общее время остановок составляет 30 мин.



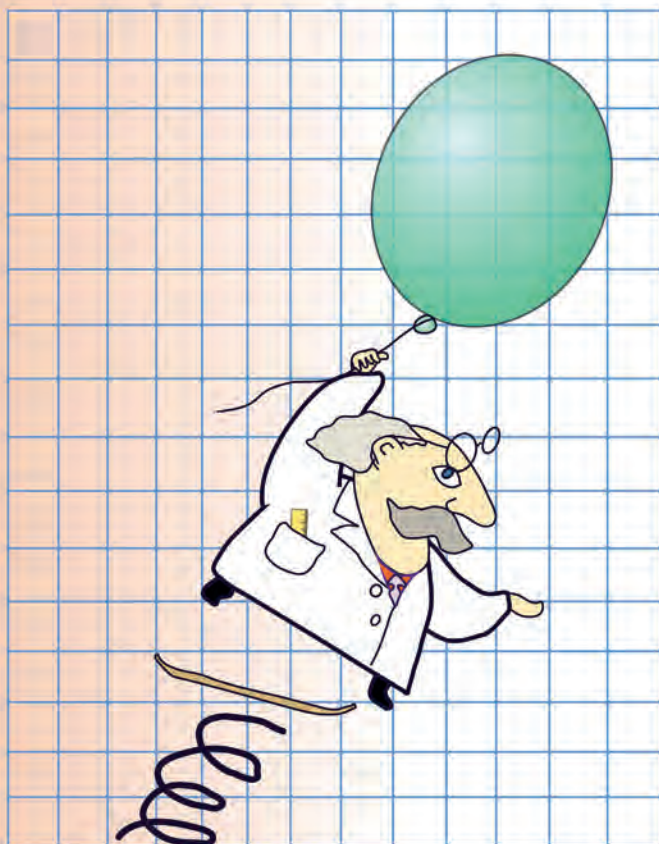
7. Во сколько раз период вращения часовой стрелки больше периода вращения минутной стрелки часов?
8. Определите путь, который проходит за 2 ч конец минутной стрелки длиной 1,5 см.
9. Скорость поезда 72 км/ч. Сколько оборотов за 1 с совершают колеса вагона, диаметр которых 80 см?
10. На какой угол вокруг своей оси поворачивается Земля за 1 час?
11. Рассчитайте скорость точек экватора (в км/ч) в их суточном вращении вместе с Землей.
12. Известно, что Луна, вращаясь вокруг Земли, постоянно повернута к ней одной своей стороной. Каков период вращения Луны вокруг ее собственной оси?

Раздел 3

Взаимодействие тел Сила

сила

взаимодействие тел



§ 18. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИЛ. ИНЕРТНОСТЬ И ИНЕРЦИЯ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

В окружающем мире мы наблюдаем самые разнообразные взаимодействия тел. Если выпустить из рук какой-нибудь предмет, то он будет падать вниз с увеличивающейся скоростью, потому что его притягивает Земля. Вследствие трения шайба, скользящая по льду, останавливается (рис. 18.1). Наэлектризованная трением расческа притягивает мелкие бумажки. При ударе пластилинового шарика о стену он изменяет свою форму (деформируется).

Таким образом, **взаимодействием двух тел называют явление, при котором тела изменяют характер своего движения (величину или направление скорости) или деформируются (изменяют форму).**



Рис. 18.1. Вследствие трения шайба, скользящая по льду, останавливается

ИНЕРТНОСТЬ



ОПЫТ 18.1

Положим на гладкую поверхность стола массивную книгу – например, энциклопедию. Привяжем к ней сложенную вдвое швейную нить, оставив свободным конец длиной 30–40 см (рис. 18.2). Натянем конец нити и плавно приведем книгу в движение, медленно передвигая ее по столу. Убедимся, что нить достаточно крепкая, чтобы преодолевать трение. Теперь повторим опыт, но отпустим нить, а потом резко дернем за ее конец. В этом случае нить разорвется, даже если ее сложить втрое или вчетверо, а книга практически не сдвинется с места.



Рис. 18.2. Инертность книги не позволяет резко увеличить ее скорость

В этом простом опыте мы сталкиваемся с двумя эффектами: 1) при взаимодействии тел их скорость начинает изменяться, и 2) свойством тел «противиться» изменению скорости, которую называют инертностью. **Инертность – это свойство тела не изменять свою скорость мгновенно.**

Книга не смогла сразу набрать скорость, которую мы придали нити, в результате чего нить удлинилась и разорвалась. Мы специально предложили взять массивную книгу, чтобы опыт легко удался.

В случае изменения телом его скорости, масса тела является количественной мерой его инертности, то есть чем больше масса тела, тем тяжелее увеличить или уменьшить его скорость. По этой причине очень опасно пере-

бегать дорогу перед движущимся транспортом. Как бы ни были эффективными тормоза автомобиля, он не может остановиться мгновенно и проезжает до полной остановки определенный **тормозной путь**.

ДВИЖЕНИЕ ПО ИНЕРЦИИ

Инерцией называется явление сохранения телом своей скорости (как по направлению, так и по величине) при отсутствии взаимодействия с другими телами.

Для того, чтобы перемещать тяжелый ящик по полу, надо приложить значительное усилие. Однако, если хорошо подумать, то становится понятно, что усилие в этом случае нужно только для компенсации трения.

Галилео Галилей был первым, кто заметил, что равномерное прямолинейное движение может происходить без взаимодействия с другими телами. Он предложил опыт, который подтверждает эту мысль.

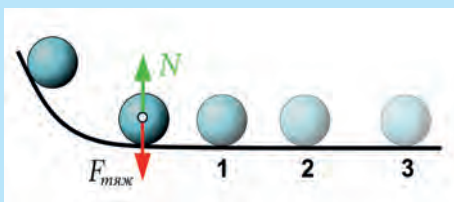


Рис. 18.3. Чем меньше сила трения, тем дальше катится шар. В случае компенсации сил или их отсутствия тело никогда не остановится



Рис. 18.4. Даже брошенный с небольшой скоростью, шар боулинга достигает цели

Пустим массивный шар катиться с небольшой горки, которая плавно переходит в горизонтальную плоскость (рис. 18.3). Сначала горизонтальная поверхность была глиняной, и шар остановился в точке 1. По деревянному настилу шар прокатился дальше и остановился в точке 2. Наиболее далеко (точка 3) шар катился по гладкому мраморному полу. Если представить, что трение и сопротивление воздуха вообще отсутствуют, то логично допустить, что шар никогда не остановится. Опыт Галилея демонстрирует игра в боулинг. Гладкий пол позволяет массивному шару достигать цели, даже если его бросить с небольшой скоростью (рис. 18.4).

Реально взаимодействие тел полностью устранить невозможно, потому опыт Галилея можно назвать мысленным. Если на тело действуют силы, но они взаимно уравновешены, то движение по инерции возможно. Об этом идет речь в первом законе Ньютона.

Первый закон Ньютона: существуют такие системы отсчета, относительно которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на это тело не действуют другие тела или их действие скомпенсировано. Такие системы называют инерциальными.

Первый закон Ньютона не может быть доказан теоретически, но его справедливость подтверждается некоторыми экспериментальными фактами, а также справедливостью следствий данного закона, поэтому, аналогично аксиомам в геометрии, этот закон называют постулатом о существовании инерциальных систем отсчета.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Взаимодействием двух тел называют явление, при котором тела изменяют характер своего движения (величину или направление скорости) или деформируются (изменяют форму).
- Инертностью называется свойство тела не изменять свою скорость
- мгновенно.
- Инерцией называется явление сохранения телом своей скорости (как по направлению, так и по величине) при отсутствии взаимодействия с другими телами или в случае компенсации действия внешних сил.



УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Какие изменения могут происходить с телами при их взаимодействии?
2. Что называют «инертностью»?
3. Какое движение называют движением «по инерции»?
4. Может ли двигаться тело, которое не взаимодействует с другими телами?
5. На столе лежит книга. С какими телами она взаимодействует?
6. Почему автомобиль не может мгновенно: а) остановиться; б) тронуться с места; в) повернуть?
7. Каменщик отколол часть кирпича, держа его в руке и ударяя по нему молотком. а) Почему руке при этом не больно? б) Почему откалывается именно та часть кирпича, в которую ударяет молоток?
8. В вагоне поезда на столике лежит мячик. Что будет происходить с мячиком в случае, когда поезд: а) движется равномерно; б) останавливается; в) набирает скорость; г) стоит на остановке?
9. Ковер вытряхивают, ударяя по нему палкой. Объясните, вследствие чего пыль вылетает из ковра, а не «вбивается» в него?
10. Для чего на сидениях автомобиля нужны: а) подголовники; б) ремни безопасности; в) воздушные подушки?
11. Может ли автомобиль с выключенным двигателем двигаться равномерно: а) по горизонтальному шоссе; б) вниз по склону??
- * 12. Два вагона разной массы столкнулись на маневровом участке колеи. На какой вагон действовала большая сила?
- * 13. На расстоянии полметра от берега находится шестиместная лодка. Какому пассажиру легче прыгнуть на берег: первому или последнему? Назовите две причины.

- * 14. Почему на большой скорости опасно тормозить передним колесом велосипеда?
- * 15. Почему легче забить гвоздь, ударяя по нему молотком, а не просто нажимая на него?

§ 19. МАССА ТЕЛА. ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Все материальные тела притягиваются к Земле. Тела одинаковой массы одинаково притягиваются к Земле, потому это свойство используют при измерении массы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА

Массу тела обозначают буквой m и определяют с помощью рычажных весов. Весы (рис. 19.2) состоят из коромысла, которое может свободно вращаться вокруг оси, находящейся посередине и закрепленной на вертикально размещенной опоре. К концам коромысла подвешены две чаши весов, которые перед взвешиванием должны занимать горизонтальное положение, то есть находиться в равновесии.



Рис. 19.1. Эталон 1 кг



Рис. 19.2. Массу тела определяют с помощью рычажных весов



Рис. 19.3. Набор разновесов для взвешивания

На одну чашу весов кладут тело, массу которого хотят определить, а на другую – разновесы (рис. 19.3), масса которых известна. Разновесы подбирают так, чтобы возобновилось равновесие весов. Суммарная масса всех разновесов равняется искомой массе тела.

В качестве эталона массы сначала взяли массу 1 литра (1 л) дистиллированной воды при температуре 4°C. Это вода, очищенная от солей и пылинок, ее используют в аптеках при изготовлении лекарств, доливают в автомобильный аккумулятор. Сейчас эталоном массы является цилиндр (высота 39 мм, диаметр 39 мм) из платиново-иридиевого сплава (90% платины, 10% иридия). Это – 1 кг

(килограмм) – основная единица массы в СИ. Разновесы, которые используют при определении массы, – копии эталона. Используют как большие, так и меньшие, чем 1 кг, единицы массы (табл. 19.1).

Таблица 19.1

Соотношение между единицами массы

1 т (тонна) = 1 000 кг	1 кг = 0,001 т
1 кг = 1 000 г (грамм)	1 г = 0,001 кг
1 г = 1 000 мг (миллиграмм)	1 мг = 0,001 г
1 мг = 1 000 мкг (микрограмм)	1 мкг = 0,000 001 г

Таблица 19.2

Массы некоторых тел

Тело	Масса
Крылышко мухи	50 мкг
Мячик для настольного тенниса	2,5 г
Футбольный мяч	400 г
Велосипед	12–14 кг
Человек (в среднем)	70 кг
Легковой автомобиль	1 500 кг
Слон	4 т
Трактор	10 т
Пассажирский вагон	50 т
Кит	100 т

✳ АТОМНАЯ ЕДИНИЦА МАССЫ

В атомной физике используют атомную единицу массы (а. е. м.). 1 а. е. м. равняется $\frac{1}{12}$ части массы атома Карбона. Обозначение химического элемента Карбона – С (Carbon).

Массы протона и нейтрона приблизительно равняются 1 а. е. м. Масса атома Гидрогена – 1 а. е. м., Карбона – 12 а. е. м., Урана – 238 а. е. м. Масса электрона в 1836 раз меньше, чем масса протона.

ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Плотность вещества – это масса единицы объема этого вещества. Обозначим объем буквой V , а массу некоторого количества однородного вещества – m . Их отношение назовем плотностью и обозначим греческой буквой ρ (читается «ро»). Тогда формула плотности будет такой:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (19.1)$$

Чаще всего используют такие единицы плотности: кг/м^3 та г/см^3 .

ПРИМЕР 19.1

Масса одного литра воды приблизительно равняется 1 кг , это значит, что плотность воды равняется 1 кг/л . Поскольку литр – это 1000 см^3 , а $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$, то $1 \text{ кг/л} = 1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Зная плотность вещества, из которого состоит тело, и объем этого тела, можно найти его массу:

$$m = \rho \cdot V \quad (19.2)$$

ПЛОТНОСТЬ ТЕЛА

Тело может иметь полости, то есть не быть сплошным, или состоять из веществ разной плотности. В этом случае можно определить среднюю плотность тела, разделив всю массу тела на весь объем. Так плотность корабля, корпус которого сделан из стали, меньше плотности воды (иначе он бы не плавал), потому что внутри много пустот.

Чтобы получить плотности веществ в кг/м^3 , нужно данные, приведенные в таблице 19.3, умножить на 1000. Например, плотность льда: $0,9 \text{ г/см}^3 = 900 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 19.3

Плотности некоторых веществ в твердом, жидком и газообразном состояниях (кг/дм^3 или г/см^3)

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА					
Рыхлый снег	0,1	Пробка	0,24	Пенобетон	0,5-0,9
Дерево	0,8	Лед	0,9	Резина	0,92
Бумага	0,7–1,2	Плексиглас	1,2	Песок	1,7
Алюминий	2,7	Алмаз	3,5	Стекло	2,4–2,6
Медь	8,9	Сталь	7,85	Серебро	10,49
Свинец	11,34	Уран	19,0	Золото	19,29
Платина	21,45	Иридий	22,42	Осмий	22,6
Тело человека $\approx 1 \text{ г/см}^3$					
ЖИДКОСТИ					
Вода (4°)	0,999973	Вода (10°)	0,99970	Вода (20°)	0,99820
Вода (50°)	0,9981	Вода (100°)	0,95835	Тяжелая вода	1,105
Морская вода	1,03	Спирт	0,83	Бензин	0,78
Керосин	0,8	Ртуть	13,546	Нефть	0,8

ГАЗЫ (0°С, 760 мм рт. ст.)					
Водород	0,09	Гелий	0,18	Азот	1,25
Воздух	1,29	Кислород	1,43		
ПРОДУКТЫ					
Сахар	1,61	Соль	2,17	Мука	0,4–0,55
Картошка	1,06	Раст. масло	0,91		



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Твердые тела и жидкости очень трудно сжать, потому их плотность мало изменяется. Плотность же газов в значительной степени зависит от давления и температуры. В XIX в. некоторые газы удалось превратить в жидкости с помощью сжатия. А вот водород и гелий никак не поддавались сжижению, хотя их сжимали до плотностей, превышающей плотность воды.



ОПЫТ 19.1

Определите опытным путем плотность листа бумаги формата А4. Сравните полученный результат с данными, указанными на обертке данной пачки бумаги.



ОПЫТ 19.2

Определите массу своего тела и по ней вычислите свой объем.



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 19.1. С помощью атомно-молекулярной теории попробуйте объяснить, почему плотности разных твердых веществ различаются между собой.
- 19.2. Введите величину, которая показывает, какой объем приходится на единицу массы, и запишите формулу для ее расчета.
- 19.3. Постройте график зависимости плотности воды от температуры, используя данные из таблицы 19.3. Найдите в справочниках плотность воды в промежуток температуры от 0°C до 4°C и по этим данным постройте график.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Массу тела определяют на рычажных весах и измеряют в СИ в кг.
- Массу единицы объема вещества называют плотностью. Плотность определяют по формуле $\rho = \frac{m}{V}$.



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

- 19.1. Изготовьте устройство, плотность которого можно изменять: от значения, меньшего плотности воды, до значения, большего плотности воды. Внешний объем устройства при этом изменяться не должен.



УПРАЖНЕНИЕ 19

1. С помощью какого прибора определяют массу тел?
2. Какую единицу массы используют в СИ?
3. Найдите в таблице 19.3 вещества с наибольшей и наименьшей плотностью.
4. Как держатся на воде военные крейсера, изготовленные из стали?
5. Сравните массы электрона, протона и нейтрона.
6. Сравните плотности платины и иридия. Объясните физический смысл плотностей этих материалов.
7. Какую массу имеет: а) 1 м³; б) 1 см³; в) 1 дм³ и г) 1 мл воды?
8. Плотность железа равняется 7,87 г/см³. а) Что означает это число? б) Какова плотность железа в кг/м³? в) Почему плотность железа в центре Земли значительно больше (≈ 10 г/см³), чем на поверхности?
9. Почему плотность человеческого тела мало отличается от плотности воды?
10. Определите массу золотого слитка объемом 3,4 см³.
11. Что имеет большую плотность: одно зерно или горсть зерна?
12. Что имеет большую плотность: атом или атомное ядро?
13. Какова масса сплошной железной конструкции объемом 6 м³?
14. Какую приблизительно плотность имеет платиново-иридиевый сплав?
15. Свинцовая и железная пули имеют одинаковый объем. Масса какой пули больше?
16. Стекланный и медный кубики имеют одинаковую массу. Объем какого тела больше?
17. Медный и алюминиевый стержни одинакового диаметра имеют одинаковую массу. Какой из них длиннее?
18. Сможете ли вы поднять пробковый куб, длина стороны которого равняется 1 м?
19. Назовите две возможных причины, по которым плотность стали больше плотности алюминия.
20. Один литр некоторой жидкости имеет массу 830 г. а) Какова плотность жидкости? б) Что это за жидкость?
21. Масса сплошного алюминиевого куба 2,7 кг. а) Каков объем куба? б) Какова площадь поверхности куба? в) Какой станет масса куба, если все его размеры уменьшить вдвое??
- * 22. Почему плотность веществ в твердом и жидком состоянии практически не зависит от внешнего давления?
- * 23. Оцените массу воздуха в вашей комнате и сравните ее с вашей собственной массой.
- * 24. Сплав золота и серебра имеет массу 131,4 г и объем 10 см³. Какую массу золота он содержит? $\rho_{\text{д}} = 19300$ кг/м³, $\rho_{\text{с}} = 10,5$ г/см³.
- * 25. Как можно найти толщину тонкой пластинки прямоугольной формы, если есть весы и известны длина и ширина этой пластинки?

§20. СИЛЫ В ПРИРОДЕ. СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТРЫ

СИЛА

Мы ежедневно наблюдаем действие разных сил. Когда мы несем чемодан, то хорошо чувствуем, как он тянет руку вниз, растягивая мышцы. Именно деформация (растяжение) и напряжение наших мышц дает нам ощущение силы.

Чемодан действует на руку, потому что его притягивает вниз Земля, а не падает он только потому, что действие на него со стороны руки направлено вверх и компенсирует (уравновешивает) действие силы тяжести.

Силой называется количественная мера взаимодействия тел. Ее обычно обозначают буквой F (от англ. *force* - сила), но в некоторых случаях используют индексы и другие буквы. Сила является векторной физической величиной и на рисунках ее изображают стрелкой, которая указывает направление действия силы. Напомним, что векторные величины помечают полужирными буквами или буквами со стрелками над ними.

Равнодействующая двух одинаковых по величине и противоположных по направлению сил, которые действуют на одно и то же тело и лежат на одной прямой, равняется нулю, то есть они компенсируют друг друга. Это значит, что эти силы, действуя вместе, не нарушат состояние покоя тела, а только деформируют его.

Прямую, которая совпадает с вектором силы, называют **линией действия силы**. Точку на теле, где размещено начало вектора силы, принято называть **точкой приложения силы** (рис. 20.1).

СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, ТРЕНИЯ И УПРУГОСТИ

В повседневной жизни мы чаще всего сталкиваемся с действием сил тяжести, трения и упругости. Величину силы в СИ измеряют в ньютонах (Н). Так почтен выдающийся английский физик Исаак Ньютон, который впервые детально исследовал силу притяжения.

На рис. 20.2 изображен груз, подвешенный на тросе к потолку. На груз действует сила тяжести ($F_{\text{тяж}}$), направленная вертикально вниз. Не па-

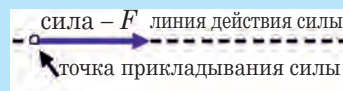


Рис. 20.1. Три характеристики вектора силы

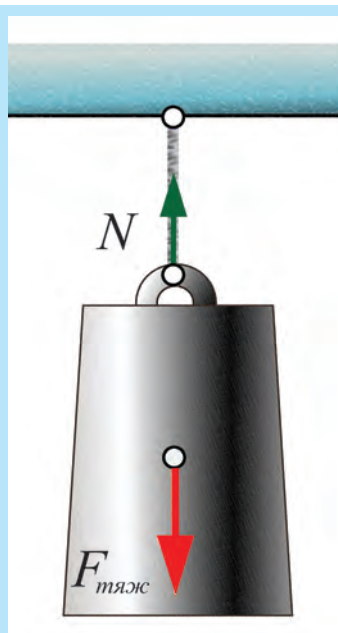


Рис. 20.2. Груз, подвешенный на тросе



Рис. 20.3. При сжатии или растяжении пружины возникает сила упругости



Рис. 20.4. Сила тяжести и сила реакции опоры компенсируют друг друга

дает груз потому, что на него со стороны троса действует вверх **сила упругости**, которая возникла в результате растяжения троса. Эту силу называют **силой натяжения** и обозначают буквой T . Силу упругости легко почувствовать, сжимая или растягивая пружину (рис. 20.3).

РАВНОВЕСИЕ СИЛ

В нашем примере (рис. 20.2) сила тяжести и сила натяжения равны по величине и противоположны по направлению. В сумме эти векторы сил дают ноль, и тело находится в состоянии покоя (не падает). Сила натяжения T возникла в тросе потому, что груз его растягивает. **Характерным признаком действия на тело силы является его деформация. Деформацией называют изменение размеров и формы тела.**

Если положить чемодан на диван, то легко заметить, что диван прогибается (рис. 20.4). Пружины дивана сжимаются до тех пор, пока сила N , которая действует на чемодан со стороны опоры (дивана), не уравнивает силу тяжести $F_{тяж}$. С этого момента чемодан будет находиться в равновесии. Силу N называют реакцией опоры (слово «реакция» означает «обратное действие»).

Случай, когда на тело действуют две равные по величине и противоположные по направлению силы, является самым простым примером компенсации сил. Следует заметить, что в приведенном примере чемодан также деформируется. Например, под действием сил $F_{тяж}$ и N (рис. 20.4) чемодан немного сплющивается по вертикали и становится толще по горизонтали. Следовательно, под действием сил, которые компенсируются, тело находится в состоянии покоя и только деформируется.



ОПЫТ 20.1

Сожмите вместе два волейбольных мяча и убедитесь, что они оба при этом деформируются. Дайте ответ на вопрос: **а)** Как зависит величина деформации мячей от величины силы, с которой их сжимают? **б)** Если один из мячей сильнее накачали, то какой из них деформируется сильнее? **в)** Если мячи имеют разные размеры, то как зависит величина вмятины от радиуса мяча?

ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Деформацией называют изменение формы и размеров тела. Перечислим виды деформации. Деформация растяжения-сжатия возникает, например, если

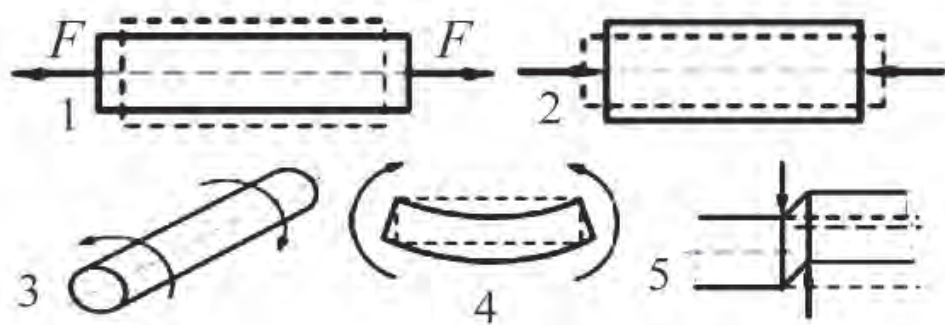
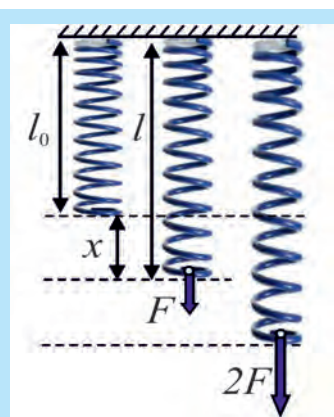


Рис. 20.5. Виды деформаций

мы растягиваем или сжимаем пружину (рис. 20.5, случай 1, 2). Если концы линейки поворачивать в разные стороны – получим деформацию кручения (случай 3). Согнув линейку дугой, вы произведете деформацию изгиба (случай 4). Строгая ножом деревянную палочку, мы осуществляем деформацию сдвига (случай 5).

Подвесим легкую пружину так, чтобы она могла свободно занять вертикальное положение (рис. 20.6). Длину пружины в недеформированном состоянии обозначим l_0 . Потянем свободный конец пружины с некоторой силой F вниз. Длину пружины после удлинения обозначим через l . Разность $l - l_0$ называют **удлинением** и обозначают буквой « x ».

Рис. 20.6. l_0 – длина недеформированной пружины, l – длина деформированной пружины. Удлинение $x = l - l_0$

УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

Деформация называется **упругой**, если после прекращения действия полекших деформацию сил тело **восстанавливает свою форму и размеры**.

Сила, приложенная к пружине, будет растягивать ее до тех пор, пока направленная вверх сила упругости не уравновесит эту силу. Если прекратить действие внешней силы, то сила упругости возвращает пружине форму и размер, которые она имела до начала опыта.

Приложим к пружине вдвое большую силу и убедимся, что удлинение стало вдвое больше. Втрое большая сила даст втрое большее удлинение.

ЗАКОН ГУКА

До тех пор, пока пружина сохраняет упругие свойства, удлинение пружины прямо пропорционально величине силы, которая ее деформирует, и направлено в противоположную направлению силы сторону. Этот простой закон по-

ведения упругих тел, открытый английским физиком Робертом Гуком, назван в его честь – законом Гука. В математической форме его можно записать так:

$$F = kx, \quad (20.1)$$

где F – это растягивающая пружину сила, а x – удлинение пружины. Коэффициент пропорциональности « k » называют жесткостью пружины, и его можно определить из формулы (20.1) как:

$$k = \frac{F}{x} \quad (20.2)$$

Жесткость измеряют в Н/м, если « x » измерять в метрах; или Н/см, если « x » измеряли в сантиметрах. Жесткость показывает, какую силу надо приложить к пружине, чтобы она удлинилась на единицу длины.

ПРИМЕР 20.1

Жесткость пружины $k = 0,5 \text{ Н/см}$. а) Какой физический смысл указанного значения жесткости? б) Составьте таблицу зависимости силы F и жесткости k от удлинения x этой пружины. в) Начертите график зависимости силы от удлинения.

Решение. а) Жесткость $0,5 \text{ Н/см}$ значит, что сила $0,5 \text{ Н}$ растягивает пружину на 1 см . Чем больше жесткость, тем тяжелее пружину растягивать или сжимать.

б)

$x, \text{ см}$	2	4	6	8	10
$F, \text{ Н}$	1	2	3	4	5
$k, \text{ Н/см}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

в) См. рис. 20.7.

Замечание. Жесткость не зависит от приложенной силы и от величины удлинения, то есть является постоянной величиной для данной пружины. Это означает также, что графиком $F(x)$ при упругих деформациях является прямая.

Задание. Постройте на том же рисунке (рис. 20.4) график зависимости величины деформирующей силы от удлинения пружины, жесткость которой 1 Н/см .

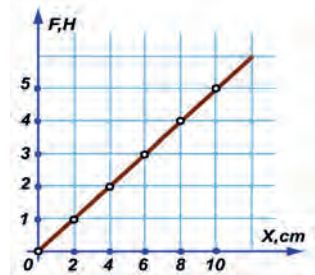


Рис. 20.7. График $F(x)$

ДИНАМОМЕТР ИЗМЕРЯЕТ СИЛУ

Прямо пропорциональная зависимость между деформацией « x » и деформирующей силой « F » позволяет использовать пружину для измерения силы. Прибор, с помощью которого измеряют величину силы, называют динамометром. Этот термин происходит от двух греческих слов: *динос* – сила и *метр*он – измерять.

Основной деталью динамометра является стальная пружина. Сталь выбрана потому, что это достаточно упругий материал. К свободному концу пружины прикреплен стрелка, которая двигается вдоль шкалы с делениями, напротив ко-

торых указана величина силы (рис. 20.8). Динамометр имеет ограничитель, который не позволяет пружине удлиняться за пределы прямой пропорциональности

▶ ПРИМЕР 20.2

а) Какая жесткость пружины динамометра (рис. 20.8), если расстояние между нулевой и первой отметкой шкалы составляет 2,5 см? **б)** С какой силой действует на пружину батарейка?

Решение. **а)** Согласно формуле (20.2) $k = 1\text{ Н} / 2,5\text{ см} = 0,4\text{ Н/см}$. **б)** Цена деления шкалы динамометра составляет 0,1 Н. Следовательно, он показывает силу 1,9 Н. Стандартная запись результата измерения силы:

$$F = (1,90 \pm 0,05)\text{ Н}$$

Замечание. Начальное положение стрелки динамометра не совсем точно совпадает с нулем шкалы, потому груз действует на пружину с несколько меньшей силой, чем указывает стрелка. Можно попробовать оценить поправку.



Рис. 20.8. Измерение силы

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

При строительстве кораблей, самолетов, домов, мостов, башен используют балки, которые служат опорами или же перекрытием. Проведем простой опыт, идея которого совершила революцию в строительной индустрии.



ОПЫТ 20.2

Возьмем длинный резиновый ластик и воткнем в него несколько иголок так, чтобы они выступали из обеих сторон (рис. 20.9). Согнем ластик, моделируя прогиб балки. Видно, что с одной стороны концы иголок сблизились,

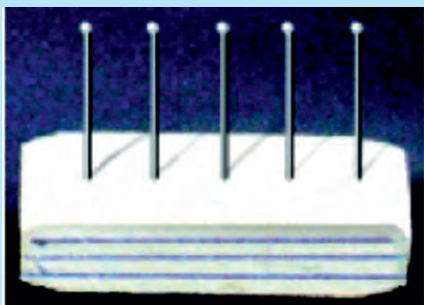


Рис. 20.9. Деформация изгиба показывает, что внутренняя часть ластика не деформируется

а с другой – разошлись. Это свидетельствует о том, что нижняя сторона нашей «балки» сжимается, а верхняя – растягивается.

А что происходит с серединой балки? Очевидно, что она деформируется мало. Это значит, что внутренняя часть балки может быть пустой без существенного вреда для прочности балки. Круглую сплошную балку можно заменить трубой, прямоугольную – П-образной, Т-образной, волнистой (как шифер) или же похожей на рельсы, из которых монтируют железнодорожные пути.

Вы наверняка видели, что железобетонные плиты, которыми перекрываются этажи многоэтажных домов, имеют внутри трубоподобные пустоты (рис. 20.10). Эти «хитрости» дают следующие выгоды: *а)* уменьшение затрат материала; *б)* уменьшение веса конструкции; *в)* улучшение тепло- и звукоизоляции.

Второй идеей, которая существенно изменила способ строительства, стало использование армированного железными прутьями бетона. Дело в том, что железо хорошо выдерживает деформацию растяжения, а бетон крепок «на сжатие». Таким образом, железобетон выдерживает любые деформации

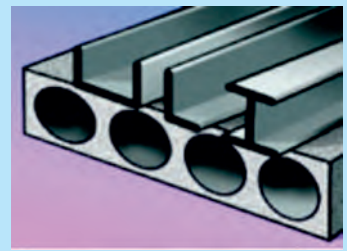


Рис. 20.10. Конструкции разных профилей



ОПЫТ 20.3

а) Возьмите лист бумаги и положите его края на две опоры (ими могут быть два стакана или две спичечных коробки). Получите что-то похожее на мост. Под действием собственного веса он прогнется. **б)** Затем сложите лист, сделав его гофрированным (рис. 20.11). Какой максимальный груз из спичечных коробок может выдержать такая конструкция??

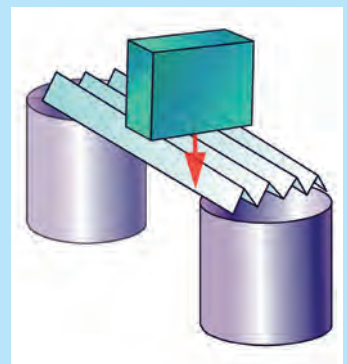


Рис. 20.11. Гофрированная бумага выдерживает значительный груз



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 20.1. Найдите способ определения прочности внешней части спичечной коробки в различных направлениях.
- 20.2. Постройте модель подвешенного моста.
- 20.3. Как изготавливают и где используют «предварительно напряженный бетон»? Подготовьте на эту тему реферат.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Силой называется количественная мера взаимодействия тел.
- ⇒ Деформацией называют изменение размеров или формы тел. Существуют деформации растяжения-сжатия, изгиба, сдвига, кручения.
- ⇒ Закон Гука позволяет описать все виды деформации.
- ⇒ Формула закона Гука для упругой деформации растяжения-сжатия: $F = kx$.
- ⇒ Силу измеряют динамометром. Основная деталь прибора – стальная пружина.
- ⇒ Знание физики деформаций привело к революции в строительной индустрии



УПРАЖНЕНИЕ 20

1. В каком случае две силы компенсируют друг друга?
2. Назовите признаки деформации тела.
3. С какими силами мы чаще всего встречаемся в повседневной жизни?
4. При каких деформациях выполняется закон Гука?
5. Назовите два признака того, что деформация тела является упругой.
6. Какое свойство пружины позволяет использовать ее в примере для измерения силы?
7. Как деформируется средняя часть балки при деформации изгиба?
8. Какую еще выгоду, кроме прочности и малого веса, можно получить от пустых внутри перекрытий?
9. Почему не прогибается гофрированный лист бумаги?
10. Рама велосипеда сделана из трубок. Почему это выгодно?
11. Почему пружину динамометра изготавливают из стали, а не из меди?
12. Начертите профиль сечения железнодорожного рельса и объясните, почему он именно такой.
13. Как деформируется: **а)** трос подвесного моста; **б)** сам мост; **в)** пилоны (столбы, к которым крепятся тросы)?
14. Найдите жесткость пружины, которая удлинится на 3 см под действием силы 36 Н. Выразите жесткость в Н/см.
15. Какую силу необходимо приложить к пружине жесткостью 20 Н/см, чтобы удлинить ее на 3 см?
16. Постройте два графика зависимости силы упругости пружин от удлинения для пружин, жесткости которых: **а)** 2 Н/см; **б)** 4 Н/см.
17. По графику зависимости деформирующей пружины силы от удлинения определите жесткость пружины (рис. 20.12).
18. Запишите значение силы F , которую показывает динамометр (рис. 20.13), определив цену деления, а также абсолютную и относительную погрешность измерения

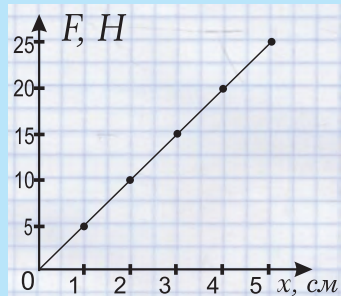


Рис. 20.12.

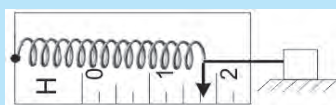


Рис. 20.13

- * 19. Если две одинаковые пружины жесткостью k соединить последовательно одну за другой, то какова будет жесткость составной пружины?
- * 20. Предложите способ измерения изгиба балки.



Роберт Гук (Robert Hooke, 1635–1703) родился в 1635 г. на острове Уайт в семье церковного служителя. После окончания школы учился в Оксфордском университете. Начиная работать как ассистент известного физика Роберта Бойля, помогая ему конструировать воздушный насос. Гук построил большой зеркальный телескоп и открыл звездное скопление в созвездии Ориона – так называемую Трапецию Ориона, а также впервые заметил, что Юпитер вращается вокруг собственной оси. Кроме того, Гук усовершенствовал микроскоп и изучал строение кристаллов, в частности снежинок; ввел понятие «клетка» в биологии;

рассматривал возможность создания искусственных волокон; в 1672 году открыл дифракцию света и, чтобы объяснить это явление, предложил волновую теорию света. Гук оказался первым, кто доказал, что тела при нагревании расширяются, и изложил гипотезу, что воздух состоит из маленьких частиц, расположенных на относительно больших расстояниях. Он также догадался, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам и притягиваются к нему с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния от планеты до Солнца (но не сумел этого доказать). Гук предложил использовать для исследования силы тяжести маятник. В 1660 году ученый открыл закон упругих деформаций, то есть доказал, что упругое удлинение твердых тел пропорционально прилагаемой силе. Он даже сделал попытку теоретически объяснить свой закон взаимодействием атомов, из которых состоят тела, и показал, что жесткость пружины зависит не только от материала пружины, но и от ее длины и площади сечения. Гук применил закон упругих деформаций для исследования часовых пружин.

§21. УСКОРЕНИЕ. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛ. II И III ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

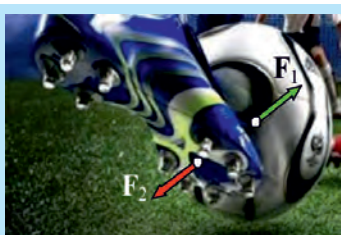


Рис. 21.1. Сила F_1 действует на мяч, сила F_2 – на ногу

Когда футболист бьет ногой по мячу, то мяч резко увеличивает свою скорость, в то время как скорость ноги при ударе несколько уменьшается (рис. 21.1). При этом выполняется важный закон природы, который еще называют **третьим законом Ньютона**: в инерциальной системе отсчета силы, с которыми тела действуют друг на друга, одинаковы по величине и противоположны по направлению. Это можно коротко записать так:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (21.1)$$

Знак « $-$ » указывает на то, что силы противоположны. Кроме того, силы взаимного действия направлены вдоль одной прямой и приложены к разным телам. В нашем примере сила F_1 действует на мяч вперед, а сила F_2 – на ногу футболиста назад. Линии действия этих сил совпадают. Ньютон сформулировал III-й закон очень просто: **действие равняется противодействию**.

РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛ

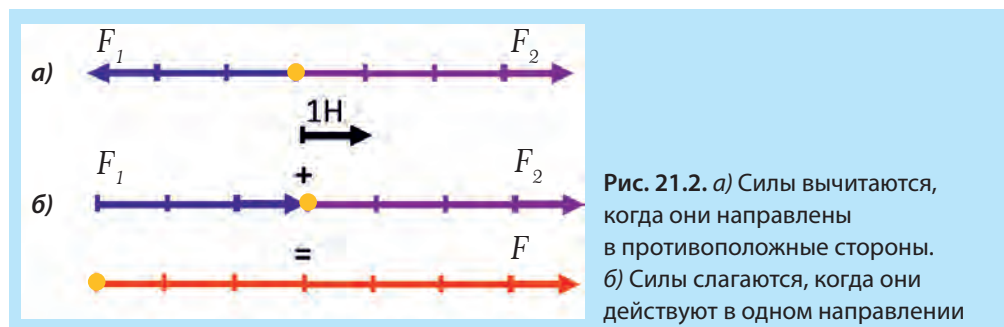
Равнодействующей называется сила, результат действия которой на тело совпадает с результатом одновременного действия всех приложенных к телу сил.

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИЛ. СЛОЖЕНИЕ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ВДОЛЬ ОДНОЙ ПРЯМОЙ

Рассмотрим силы, которые действуют вдоль одной прямой.

а) Когда силы направлены в одну сторону, то величина их равнодействующей равняется сумме величин этих сил и направлена в ту же сторону.

б) Если силы противоположно направлены, то величина их равнодействующей равняется разности величин этих сил и направлена в сторону большей силы..



На рис. 21.2 выбран масштаб, при котором 1 см отвечает силе 1 Н. Тогда сила $F_1 = 4h$ будет изображена вектором, длина которого составляет 4 см, а сила $F_2 = 3h$ – вектором, длина которого составляет 3 см.

Равнодействующую сил F_1 и F_2 обозначим как F , это записывают так: $F = F_1 + F_2$.

В случае а) результат общего действия сил F_1 и F_2 на данное тело будет такой же, как у силы F величиной 1 Н, направленной вправо. В случае б), когда силы F_1 и F_2 действуют в одном направлении, их равнодействующая равняется сумме этих сил, то есть 7 Н, и направлена так же, как и векторы этих сил.

СЛОЖЕНИЕ СИЛ, НАПРАВЛЕННЫХ ПРОИЗВОЛЬНЫМ ОБРАЗОМ

Силы складываются как векторы, то есть так же, как перемещение и скорости (рис. 21.3). При сложении сил принято проводить их из одной точки (точки приложения), как на рис. 21.4. Очевидно, что результаты сложения сил по правилу треугольника и правилу параллелограмма одинаковы. На рис. 21.5. изо-

бражен частный случай, когда силы направлены под прямым углом. В любом случае равнодействующая сила $F = F_1 + F_2$. Как уже говорилось в предыдущих параграфах, получить численное значение суммы сил, направленных произвольным образом, можно, выбрав длину стрелок в определенном масштабе.

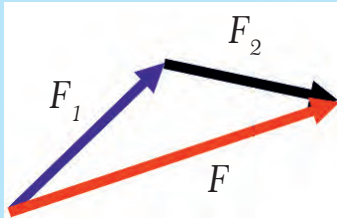


Рис. 21.3. Сложение сил по правилу треугольника

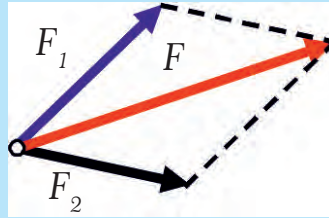


Рис. 21.4. Сложение сил по правилу параллелограмма

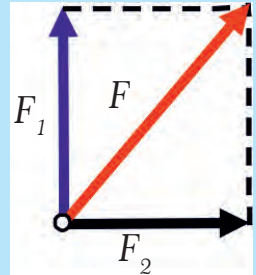


Рис. 21.5. Сложение сил, направленных под прямым углом

ПРИМЕР 21.1

На тело в точке А (рис. 21.6) действуют три силы, пронумерованы как 1, 2 и 3. Каким будет результат действия этих сил на тело?

Решение. Найдем равнодействующую сил 1 и 3. Из рис. 21.7 видно, что равнодействующая этих сил есть вектор силы 4, который компенсирует силу 2. Следовательно, равнодействующая сил в точке А равняется нулю и тело не изменит своего состояния движения.

УСКОРЕНИЕ

В случае, когда действующие на тело силы не компенсируются, его скорость изменяется и оно движется неравномерно. Для полного описания неравномерного движения необходимая величина, которая бы показывала, как быстро изменяется скорость во времени. Эту величину называют ускорением и обозначают буквой « a » (от англ. *acceleration* – ускорение).

Пусть тело, двигаясь прямолинейно, имело в некоторый начальный момент времени « t_0 » скорость « v_0 », а в более поздний момент времени « t » его скорость стала равна « v ». За промежуток времени « $t - t_0$ » скорость тела изменилась на величину « $v - v_0$ ». Ускорение – это векторная фи-

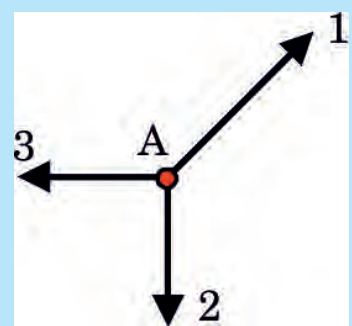


Рис. 21.6. На тело в точке А действуют три силы

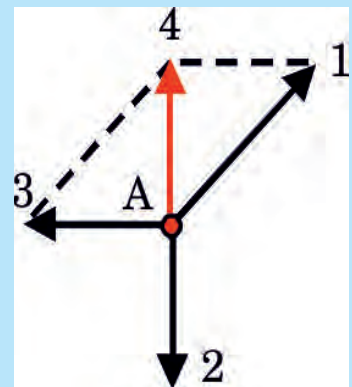


Рис. 21.7. Заменяем силы 1 и 3 равнодействующей 5

зическая величина, которая равняется отношению изменения скорости тела к промежутку времени, за который состоялось это изменение:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (21.2)$$

Ускорение показывает, на сколько изменяется (увеличивается или уменьшается) скорость тела за единицу времени.

▶ ПРИМЕР 21.2

Скорость тела за 5 с равномерно увеличилась от 6 м/с до 21 м/с. Чему равно ускорение тела?

Дано:

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$v = 21 \text{ м/с}$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$$a = ?$$

Решение:

Согласно формуле 21.2:

$$a = \frac{21 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Этот результат значит,}$$

что за каждую секунду скорость тела увеличивалась на $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Ответ. Ускорение тела $a = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (читают: три метра за секунду в квадрате или, как говорят пилоты, три метра в секунду за секунду).

Именно в профессии военного летчика и космонавта учитывать ускорение очень важно, поскольку самолет (рис. 21.8) и ракета (рис. 21.9) могут двигаться с большими ускорениями, что, в свою очередь, приводит к значительным перегрузкам (увеличению веса тела). Почти предельные перегрузки чувствует летчик при катапультировании, когда кресло покидает кабину под действием пороховых зарядов, действующих подобно ракетам. Значительные ускорения и, соответственно, перегрузки, чувствуют на крутых виражах бобслеисты, горнолыжники и пилоты гоночных машин Формулы-1 (рис. 21.10).



Рис. 21.8. Ускорение самолету придают мощные двигатели



Рис. 21.9. Ракета стартует с большим ускорением



Рис. 21.10. Сила тяги ускоряет автомобиль, а силы трения и сопротивления воздуха уменьшают его скорость

► ПРИМЕР 21.3

Скорость тела за 3 с равномерно уменьшилась с 12 м/с до 6 м/с. Чему равно ускорение тела?

Дано:

$$v_0 = 12 \text{ м/с}$$

$$v = 6 \text{ м/с}$$

$$t = 3 \text{ с}$$

$$a = ?$$

Решение:

Согласно формуле 21.2,

$$a = \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3 \text{ с}} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Этот результат значит,}$$

что за каждую секунду скорость тела

уменьшалась на $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Ответ. Ускорение тела: $a = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

СИЛА И УСКОРЕНИЕ

Если силы, которые действуют на тело, не компенсируются, то тело одновременно и деформируется, и изменяет свою скорость (то есть движется с ускорением). Уточним определение силы: **сила – это векторная физическая величина, которая является следствием действия на тело других тел и вызывает деформацию и ускорение..**



ОПЫТ 21.1

Рукой прижмите к столу часть упругой линейки. На конец линейки, выходящий за пределы стола, положите ластик (стирательную резинку), нажмите на этот конец немного вниз и отпустите – ластик подлетит вверх. Поясните: **а)** какая сила распрямила линейку; **б)** почему ластик подлетел вверх? **в)** почему он потом упал?

► ПРИМЕР 21.4

Когда автомобиль трогается с места, сила тяги должна превысить силы, которые мешают движению (надо сильно жать на педаль акселератора).

Когда же автомобиль набрал нужную скорость, водитель жмет на акселератор только в той мере, чтобы сила тяги, действующая на автомобиль вперед, компенсировала силу трения и силу сопротивления воздуха, которая на большой скорости становится существенной.

При таких условиях ускорение становится равным нулю (то есть скорость не изменяется), и автомобиль движется равномерно. (На рис. 21.10 силы, мешающие движению, изображенные зеленой стрелкой, а сила тяги – красной).

СИЛА, МАССА И УСКОРЕНИЕ

Ускорение тела зависит от величины равнодействующей тех сил, которые на него действуют, и от массы тела. Чем больше, например, масса автомобиля, тем медленнее он будет набирать скорость при данной силе тяги, то есть меньшим будет его ускорение. Масса тела является мерой инертности этого тела, и чем больше масса, тем большее усилие нужно приложить, чтобы изменить скорость тела, то есть придать ему ускорение. Этот факт отображен во **втором законе Ньютона: в инерциальной системе отсчета тело движется с ускорением, прямо пропорциональным равнодействующей сил, которые действуют на тело, и обратно пропорциональным массе тела. Направление ускорения совпадает с направлением равнодействующей.**

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (21.3)$$

где m – масса тела, \vec{a} – его ускорение, а \vec{F} – равнодействующая сил тяги и сил трения, то есть их разность (потому что они противоположны).

Формула (21.3) показывает, что ускорение « a » тела будет тем большим, чем больше равнодействующая сил, которые на него действуют (при неизменной массе), и ускорение « a » будет тем меньше, чем больше масса тела (при неизменной равнодействующей силе).

В зависимости от того, направлена равнодействующая сила вперед или назад, тело будет увеличивать или уменьшать свою скорость.

Силу измеряют в ньютонах (Н), массу в килограммах (кг), а ускорение в м/с^2 . Согласно формуле $F = m \cdot a$: $\text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2$ – это значит, что равнодействующая сила 1 Н придает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 в направлении, совпадающем с направлением равнодействующей силы.

ПРИМЕР 21.5

Сила тяги автомобиля составляет $F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$, а сила сопротивления $F_{\text{сопр}} = 1800 \text{ Н}$. Масса автомобиля 1500 кг. а) Какое ускорение развивает автомобиль? б) Каким станет ускорение автомобиля, когда сила сопротивления вырастет до 4800 Н?

Дано:

$$F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$$

$$\text{а) } F_{\text{сопр}1} = 1800 \text{ Н}$$

$$\text{б) } F_{\text{сопр}2} = 4800 \text{ Н}$$

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$a - ?$$

Решение:

а) Величина равнодействующей силы:

$$F = F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}1} = 3000 \text{ Н. Из формулы 21.3}$$

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

$$\text{Вычисления дают: } a = \frac{3000 \text{ Н}}{1500 \text{ кг}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

б) Когда сила сопротивления вырастет до 4800 Н, равнодействующая F станет равной нулю, в результате чего и ускорение будет равняться нулю: $F = 0 \Rightarrow a = 0$. То есть автомобиль начнет двигаться равномерно.

Ответ. а) Ускорение автомобиля: $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. б) $a = 0$, движение равномерное.

СТОЛКНОВЕНИЕ ТЕЛ

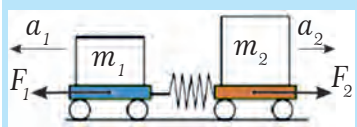


Рис. 21.11. $F_1 = F_2$; $m_2 > m_1$,
поэтому $a_2 < a_1$

При столкновении (рис. 21.11), согласно III-му закону Ньютона, тела действуют друг на друга с одинаковыми по модулю и противоположно направленными силами независимо от их массы (формула 21.1). Если учесть также II закон Ньютона (формула 21.3), то выходит, что при столкновении ускорение тела большей массы будет меньшим. В результате математических преобразований получаем:

$$m_1 \cdot a_1 = -m_2 \cdot a_2 \quad (21.4)$$

Это соотношение справедливо при любом взаимодействии.

Рассмотрим простой случай, когда начальные скорости взаимодействующих тел равны нулю.

▶ ПРИМЕР 21.6

Две тележки массой m_1 и m_2 , находящиеся на горизонтальной поверхности (рис. 21.12), скреплены пружиной, которая в начале опыта удерживается в сжатом состоянии нитью. После того, как нить пережгли, пружина растолкнула тележки, придав им некоторые скорости v_1 и v_2 .

Во сколько раз будут отличаться скорости тележек?

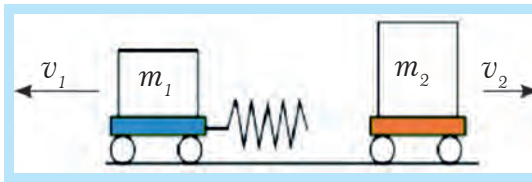


Рис. 21.12. $m_2 > m_1$,
тому $v_2 < v_1$

Решение. В этом упрощенном случае формула (21.2) дает такие результаты: $a_1 = \frac{v_1 - 0}{t - 0} = \frac{v_1}{t}$, $a_2 = \frac{v_2}{t}$ – очевидно, что время взаимодействия одинаково. Тогда с помощью формулы (21.4) получаем: $m_1 \cdot v_1 = -m_2 \cdot v_2$, где знак «-» указывает на то, что тележки разъехались в разные стороны. Следовательно, $\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2}$. Знак «-» в этом соотношении не ставится.

Ответ: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2}$ – скорость второй тележки во столько же раз больше скорости первой тележки, во сколько раз масса первой тележки больше, чем масса второй тележки. Или коротко: отношение скоростей обратно пропорционально отношению масс.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Сила – это векторная физическая величина, которая является следствием действия на тело других тел и вызывает деформацию и ускорение.

- Ускорение показывает изменение скорости тела в единицу времени.
- **Второй закон Ньютона:** ускорение, которое получает тело, прямо пропорционально равнодействующей сил, которые действуют на него, и обратно пропорционально массе тела.
- **Третий закон Ньютона:** силы, с которыми тела действуют друг на друга, одинаковы по величине и противоположны по направлению.
- При взаимодействии тел их ускорения противоположно направлены и обратно пропорциональны их массам..



УПРАЖНЕНИЕ 21

1. Как движется мячик, выпущенный из рук на некоторой высоте?
2. Как можно определить ускорение и что для этого надо знать?
3. Как изменится ускорение тела, если: *а)* при неизменной массе увеличить равнодействующую силу? *б)* при неизменной равнодействующей силе увеличить массу тела?
4. Почему педаль газа в автомобиле называют акселератором?
5. Приведите примеры движения с ускорением в быту и технике.
6. В какие моменты чувствуют ускорение пилоты гоночных машин?
7. Как изменяется скорость мяча и ноги футболиста при ударе (*рис. 21.1*)?
8. Как изменяется скорость прыгуна в высоту, когда он летит вверх, и когда падает вниз?
9. Когда парашютист движется ускоренно, а когда равномерно?
10. Почему автомобиль уменьшает скорость при торможении?
11. В течение трех секунд тело увеличило скорость с 6 м/с до 18 м/с. Найдите: *а)* ускорение тела; *б)* объясните смысл полученного числа.
12. Скорость тела уменьшилась на 8 м/с за 2 с. Каким было его ускорение?
13. Двигатель автомобиля массой 2000 кг на старте развивает силу 16 000 Н. *а)* Каково ускорение автомобиля? *б)* Какой будет его скорость через две секунды? Силами сопротивления можно пренебречь.
14. Почему, когда мы прыгаем из лодки на берег, лодка начинает двигаться от берега?
15. Как выразить единицу измерения силы через основные единицы СИ?
16. Массу автомобиля увеличили в пять раз, не изменяя силу тяги двигателя. Как изменится его ускорение?
17. Как изменится ускорение тела, если его массу и значение равнодействующей силы увеличить в одинаковое количество раз?
18. На протяжении трех секунд тело массой 5 кг увеличило скорость с 6 км/с до 18 м/с. Определите величину силы, которая действовала на тело.
19. На тело массой 2 кг действует направленная вправо равнодействующая сила 10 Н. *а)* Какой будет направление ускорения и его величина? *б)* На сколько вырастет скорость тела за две секунды?
20. Какой была равнодействующая сила, которая действовала на менее мощный автомобиль в примере 23.2, если за 10 с он со старта набрал скорость 72 км/ч? Масса автомобиля 1500 кг. Какую скорость набрал более мощный автомобиль?
21. Какова масса тела, если сила 24 Н придала ему ускорение 6 м/с²?
- * 22. Пусть в примере 21.6 масса первой тележки 200 г, а второй 500 г. Какой будет скорость второй тележки после высвобождения пружины, если первая тележка приобрела скорость 100 см/с?

- * 23. Объясните причину «отдачи», то есть «отскакивания назад» пушки или ружья во время выстрела.
- * 24. Какая скорость отдачи ружья массой 2,8 кг, если пуля массой 10 г вылетает из ствола со скоростью 420 м/с?
- * 25. Почему при выстреле из ружья его нужно крепко прижимать к плечу?
- * 26. Как меняется скорость парашютиста в затяжном прыжке, если он выпрыгнул из самолета на очень большой высоте и долго не открывает парашют?
- * 27. Мотоцикл тронулся с места, равномерно набирая скорость. Через время $t = 5$ с он приобрел скорость $v = 20$ м/с. а) Начертите график скорости мотоцикла и вычислите путь, который он прошел за 5 с. б) Найдите среднюю скорость мотоцикла v_{cp} за 5 с, выразив ее через максимальную скорость v .
- * 28. На тело в точке А (рис. 21.13) действуют четыре силы, пронумерованные как 1, 2, 3 и 4. Величина четвертой силы составляет 5 Н. а) Какова величина равнодействующей этих сил и куда она направлена? б) Какую силу нужно убрать, чтобы тело находилось в состоянии покоя?
- * 29. Величина вектора силы F_1 равняется 2 Н (рис. 21.14). а) Какова величина и направление равнодействующей всех трех сил? б) Чему равняется величина силы F_2 и F_3 ?

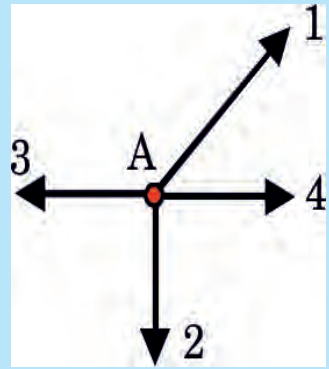


Рис. 21.13

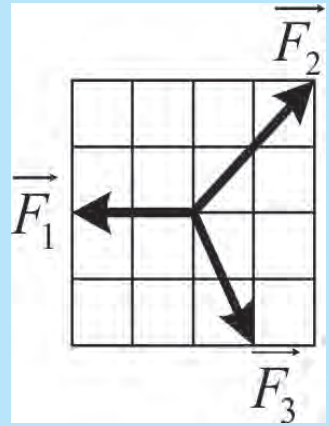


Рис. 21.14

§22. СИЛА ТЯЖЕСТИ. ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ

Где бы мы ни находились – высоко в горах, на равнине или в глубокой шахте – везде на нас действует сила тяжести. Интересно, почему же мы не проваливаемся «сквозь землю»?

СИЛА, С КОТОРОЙ ТЕЛО ДЕЙСТВУЕТ НА ОПОРУ

Рассмотрим тело 1 (рис. 22.1), которое находится в равновесии на горизонтально расположенной подставке 2. Подставкой в реальной жизни может быть дорога, пол или кресло.

На тело действует вертикально вниз со стороны Земли сила тяжести $F_{тяж}$ в результате чего со стороны тела на подставку перпендикулярно к поверх-

ности действует сила давления F_N . Обратное действие подставки на тело (реакция опоры N) является силой упругости и возникает в результате деформации тела и подставки.

Сила тяжести $F_{тяж}$ и сила реакции опоры N в случае равновесия тела уравнивают друг друга, то есть они равны по величине и противоположны по направлению.

Сила F_N (действие тела на подставку) и сила N (противодействие подставки) всегда равны по величине и противоположны по направлению. Этот факт хорошо проверен на опытах и является следствием **третьего закона Ньютона**. Таким образом, тело, уравновешенное на горизонтальной подставке, действует на опору с силой F_N , которая по величине и направлению равняется силе тяжести $F_{тяж}$.

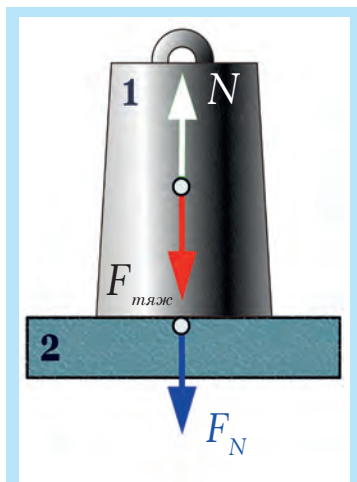


Рис. 22.1. Тело 1 на подставке 2

СИЛА, С КОТОРОЙ ТЕЛО ДЕЙСТВУЕТ НА ПОДВЕС

Рассмотрим тело, подвешенное на тросе (рис. 22.2). На тело действует со стороны Земли сила притяжения $F_{тяж}$, в результате чего оно тянет трос вниз. Трос деформируется (растягивается) и действует на тело с силой натяжения, которую принято обозначать буквой T . Если тело уравновешено, то силы $F_{тяж}$ и T должны компенсировать друг друга (то есть они равны по величине и противоположны по направлению). Силы T и T_1 , которые действуют на тело и потолок также равны, если пренебречь массой троса.

Силу F_N и T_1 обычно обозначают буквой P и называют весом. **Вес – это сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес в результате действия силы тяжести и движения опоры или подвеса с ускорением.**

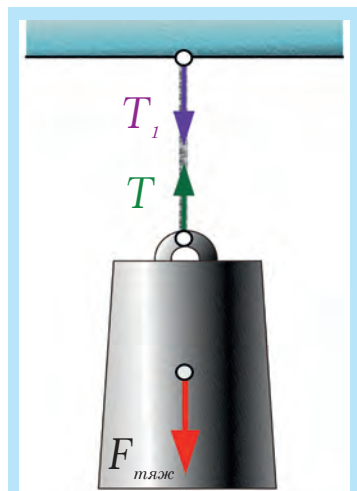
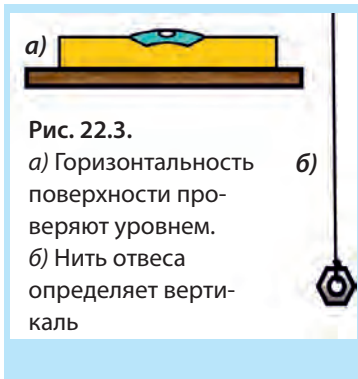


Рис. 22.2. Груз, подвешенный на тросе

ПРОЦЕДУРА ВЗВЕШИВАНИЯ

Когда нужно **взвесить** тело, его кладут на чашу пружинных весов или подвешивают к пружине динамометра. Взвешивание требует соблюдения определенной процедуры. В частности, поверхность чашки должна быть горизонтальной, а пружина динамометра – размещенной вдоль вертикали. Кроме того, весы или динамометр должны быть неподвижными относительно тела отсчета (помещение, в котором происходит взвешивание).



Уточним понятие «вертикаль». **Вертикаль** – это линия, которая совпадает с нитью отвеса (рис. 22.3). Отвес легко изготовить, подвесив на нитке гайку.

Плоскость, перпендикулярную к вертикали, называют **горизонтальной**. Горизонтальность поверхности проверяют с помощью уровня – устройства, которое содержит несколько выгнутой кверху трубку с водой, в которой находится пузырек воздуха. Поверхность воды в нем почти всегда горизонтальна.



Рис. 22.4. Под действием силы тяжести скорость парашютистов увеличивается

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

В природе можно наблюдать движение, которое происходит с постоянным по величине ускорением. Это движение тела, когда никакие другие силы, кроме тяжести Земли, на него не действуют. Такое движение называют свободным падением, и его можно реализовать, например, в вакууме. Движение парашютистов в затыжном прыжке лишь напоминает свободное падение (рис. 22.4).

Если тело свободно падает, то есть двигается только под воздействием силы тяжести (например, в вертикальной трубке, из которой выкачали воздух), его скорость равномерно возрастает на $9,8 \text{ м/с}$ за каждую секунду (ускорение составляет $9,8 \text{ м/с}^2$). Ускорение свободного падения обозначают буквой « g ». Если тело подбросить вверх, то его скорость будет уменьшаться на $9,8 \text{ м/с}$ за каждую секунду (то есть его ускорение – $9,8 \text{ м/с}^2$).

На рис. 22.5 изображен опыт с трубкой Ньютона. При наличии воздуха в трубке дробинка опережает перышко из-за сопротивления воздуха. Если откачать из трубки воздух, то перышко и дробинка падают одинаково (случай «а» и «б»). Рядом (случай «в») – фотография демонстрационного прибора, с помощью которого этот опыт можно показать. Удивительным в нем является то, что **тела разной массы падают в вакууме с одинаковым ускорением**.

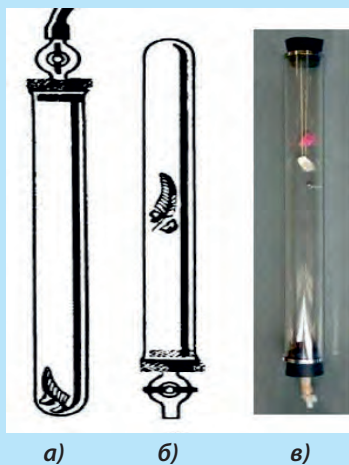


Рис. 22.5. Трубка Ньютона

► ПРИМЕР 22.1

Камешек выпустили из рук на высоте 25 м. **а)** Какова будет его скорость через 1 с и 2 с? **б)** Какое расстояние камешек пролетит за первую секунду и за две секунды? Считайте, что камешек свободно падает с ускорением $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение. **а)** Поскольку скорость тела при движении вниз растет на 10 м/с за каждую секунду, то в конце первой секунды скорость камешка будет составлять 10 м/с, а через две секунды – 20 м/с. **б)** Поскольку скорость камешка за первую секунду падения равномерно возрастет до 10 м/с, то его средняя скорость равняется среднему арифметическому от начальной и конечной скоростей, то есть 5 м/с. Следовательно, пройденное им за первую секунду расстояние равняется 5 м.

Аналогично, за две секунды средняя скорость составляет 10 м/с и пройденное расстояние равняется 20 м.

► ПРИМЕР 22.2

Стрела при выстреле из лука вертикально вверх вылетает со скоростью 30 м/с. Какими будут скорость стрелы (v) и ее высота (h) через 1, 2, 3, ..., 6 с? Считайте, что стрела движется с постоянным по величине ускорением $g = -10 \text{ м/с}^2$.

Решение. В данном случае ускорение стрелы отрицательно, то есть ее скорость каждую секунду уменьшается на 10 м/с. Через секунду скорость станет 20 м/с, через две секунды 10 м/с, и так далее. Будет удобно записать результаты расчетов в таблицу:

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$v, \text{ м/с}$	30	20	10	0	-10		
$h, \text{ м}$	0	25	40				

Через три секунды скорость стрелы равняется нулю, то есть она достигла наивысшей точки своей траектории и дальше будет падать вниз. Через четыре секунды скорость стрелы составляет -10 м/с, знак «-» показывает, что стрела изменила направление движения. Средняя скорость стрелы за первую секунду равняется: $(30 + 20)/2 = 25 \text{ м/с}$, следовательно, она достигнет высоты $25 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} = 25 \text{ м}$.

Задание. Остальные клеточки таблицы заполните самостоятельно.

СИЛА ТЯЖЕСТИ И МАССА

Поскольку при свободном падении сила тяжести придает телу ускорения g , то согласно формуле 21.3 второго закона Ньютона можно записать, что:

$$F_{\text{тяж}} = mg \quad (22.1)$$

Таким образом, зная массу тела, по формуле (22.1) можно вычислить силу тяжести, которая на него действует.

► ПРИМЕР 22.3

Если ваша масса равняется 50 кг, то сила тяжести, которая действует на вас, составляет $F_{\text{тяж}} = 50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 490 \text{ Н}$. В случае, когда опора, на которой вы стоите, горизонтальная и не движется с ускорением, ваш вес P также будет составлять 490 Н ($P = 490 \text{ Н}$).

Нужно только помнить, что **вес – это сила, которая действует на опору либо подвес, а сила тяжести действует на тело.**

Если нужно по данной массе тела найти силу тяжести, которая действует на это тело, то пишут: $F_{\text{тяж}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. В таком случае g используют как коэффициент пропорциональности для перехода от единиц массы к единицам силы. Но если хотят подчеркнуть, что сила тяжести придает свободно падающему телу ускорение $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, то пишут $F_{\text{тяж}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. При не очень точных расчетах g округляют до $10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.



Рис. 22.6. Вес тем больше, чем больше масса тела

► ПРИМЕР 22.4

С какой силой действует на подставку тело массой 1 кг?

Решение: по формуле $F_{\text{тяж}} = mg$, $F_{\text{тяж}} = 1 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 9,8 \text{ Н}$. Следовательно, $P = F_{\text{тяж}} \approx 10 \text{ Н}$.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Если человека массой, скажем, 60 кг спросить, сколько он весит, то ответ, скорее всего, будет 60 кг, хотя правильно было бы сказать: приблизительно 600 Н. Такая путаница возникает из-за того, что когда-то массу и вес измеряли в одинаковых единицах – килограммах.

НЕВЕСОМОСТЬ

Если телу 1 и подставке 2 (рис. 22.1) предоставить возможность вместе свободно падать, то деформации, вызванные взаимодействием этих тел, исчезают, то есть силы F_N и N становятся равными нулю. Такое состояние называют **невесомостью**. Невесомость наступает потому, что подставка и тело падают с одинаковым ускорением, независимо от того, какова их масса.

Невесомость одинаково наступает при свободном падении вниз или вертикальном движении. То есть если подбросить тело, то его вес равняется нулю как на стадии подъема, так и на спуске.

Когда космический корабль выходит на околоземную орбиту и выключает двигатели, наступает невесомость. Человек довольно плохо переносит это состояние, и в будущем планируют делать космические станции в виде вращающейся «баранки», внутри которой будет создан искусственный вес (рис. 22.7).



Рис. 22.7. Будущие космические станции будут вращаться



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Вес можно искусственно увеличить, как это делается в центрифуге стиральной машины. В научных лабораториях используют ультрацентрифуги (рис. 22.8), где вес предметов может возрастать в полмиллиона раз по сравнению с нормальным, который численно всегда равняется mg .



Рис. 22.8. Вес тела в ультрацентрифуге может превышать нормальный в 70 000 раз



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

22.1. Объясните механизм «отжима» воды из мокрого белья в центрифуге стиральной машины.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Силу, с которой тело действует на горизонтальную опору или вертикально размещенный подвес, называют весом.
- Сила тяжести, которая действует на тело со стороны Земли, пропорциональна массе тела и рассчитывается по формуле $F_{\text{тяж}} = mg$.
- В системе отсчета, которая не ускоряется, вес тела: $P = mg$. При свободном падении тел наступает невесомость.
- Тело, которое находится в состоянии свободного падения, движется около поверхности Земли с ускорением: а) $+9,8 \text{ м/с}^2$, когда летит вниз; б) $-9,8 \text{ м/с}^2$, когда летит вверх.



УПРАЖНЕНИЕ 22

1. Как зависит сила, с которой Земля притягивает предметы, от их массы?
2. Каковы сила тяжести и сила реакции опоры в случае равновесия тела на горизонтальной поверхности?
3. Что называют весом тела?

4. Какое движение называют свободным падением?
5. Назовите две особенности свободного падения.
6. Как изменяется скорость тел, которые свободно падают?
7. При каких условиях наступает невесомость?
8. Влияет ли воздух на движение падающих тел?
9. Почему деформируется тело, которое стоит на неподвижной подставке?
10. В каком случае шкаф не проваливается сквозь пол?
11. Коробку, в которой находится жук, подбросили вверх. С какого момента жук станет невесомым?
- * 12. Можно ли взвесить тело на весах в кабине космической станции?
13. Сравните силы N и $F_{тяж}$ (какая из них больше?), которые действуют на человека в лифте, для таких случаев: а) лифт не движется; б) лифт равномерно движется вверх.
14. Каков вес тела, масса которого 100 кг? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
15. Зная собственную массу, вычислите свой вес.
16. На железнодорожную платформу со стороны груза действует сила 20 000 Н. Какова масса груза? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
17. Тело массой $m = 2 \text{ кг}$ свободно падает около поверхности Земли. а) Чему равна сила тяжести, которая действует на тело? б) Каков вес тела? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
- * 18. К шнуру, переброшенному через неподвижный блок, прикреплены тела массой $m_1 = 3 \text{ кг}$ и $m_2 = 5 \text{ кг}$ (рис. 22.9). а) С какой силой действует тело массой 3 кг на шнур? б) С какой силой действует тело массой 5 кг на шнур? в) С какой силой действует тело массой 5 кг на пол?
- * 19. Какое расстояние проходит камешек в примере 22.1 за вторую секунду своего падения? Попробуйте написать формулы, по которым сделаны расчеты скорости и пройденного расстояния.
- * 20. В примере 22.2 определите: а) каковы будут скорость стрелы через 5 и 6 с и высота, соответственно, через 3, 4, 5 и 6 с? б) Какие закономерности вы заметили, полностью заполнив таблицу? в) В этой задаче мы делали расчеты устно и воспользовались записью в таблицу. Попробуйте написать формулы, по которым сделаны эти расчеты.

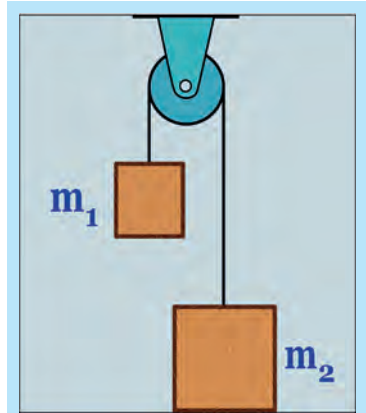


Рис. 22.9. Каков вес грузов?

§23. СИЛЫ ТРЕНИЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

ТРЕНИЕ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

Явление трения играет важную роль в нашей повседневной жизни, в природе и технике. Обратите внимание, как трудно идти или ехать на автомобиле в гололед, когда сила трения незначительна. Если бы исчезло трение, мы не могли бы усидеть на стуле, а гвозди не держались бы в стене. Увеличение силы трения бывает жизненно необходимым (рис. 23.1).

Так же важно во многих случаях уменьшить трение. Шариковые подшипники уменьшают трение в осях многих деталей машин и механизмов (рис. 23.2). А как чудесно скользят лыжи и коньки!



ОПЫТ 23.1

Положим на книгу, которая лежит на столе, коробку спичек. Начнем поднимать один конец книги, увеличивая угол наклона (рис. 23.3). Некоторое время коробка будет неподвижной, но при определенном угле наклона она начнет соскальзывать вниз.

Приведенный опыт вызывает по крайней мере два вопроса: *а)* почему коробка не скользит при малых углах и *б)* почему коробка при больших углах начинает скользить?

Одна из причин возникновения силы трения – это шершавость обеих соприкасающихся поверхностей (рис. 23.4). Маленькие неровности, которые обуславливают шершавость поверхностей, цепляются друг за друга при движении тела или при попытке сдвинуть его с места.

ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Трение, которое возникает при скольжении тела, называют **трением скольжения**. Несложные опыты показывают, что **сила трения скольжения $F_{тр}$ прямо пропорциональна величине силы реакции опоры N** . Вектор силы трения скольжения направлен параллельно плоскости соприкосновения в сторону, противоположную направлению движения



Рис. 23.1. Надежность торможения зависит от силы трения



Рис. 23.2. Шариковый подшипник



Рис. 23.3. Сила трения покоя не дает коробке соскользнуть

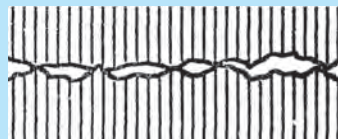


Рис. 23.4. Одна из причин трения – неровности поверхностей

$$F_{тр} = \mu \cdot N, \quad (23.1)$$

где μ (мю) – коэффициент пропорциональности, который зависит от материала поверхностей (табл. 23.1) и качества их обработки и называется коэффициентом трения.

Коэффициент трения скольжения μ можно определить как отношение силы трения скольжения к величине силы реакции опоры:

$$\mu = \frac{F_{тр}}{N} \quad (23.2)$$

Величина коэффициента трения зависит от материала скользящих поверхностей и рельефа поверхности. Коэффициент трения является безразмерной величиной.

*Сила трения скольжения очень **слабо зависит** от площади прикосновения скользящих поверхностей тел и скорости движения.*

Когда тело двигают по горизонтальной поверхности, сила реакции опоры численно равняется силе тяжести $F_{тяж}$ и весу тела P . В этом случае можно записать формулу для расчета силы трения скольжения так:

$$F_{тр} = \mu \cdot P = \mu \cdot m \cdot g \quad (23.3)$$

Таблица 23.1

Коэффициенты трения

Материалы	
Дерево по дереву	0,25
Сталь по стали	0,20
Резина по бетону	0,75
Сталь по льду	0,05
Сталь по стали, смазанные маслом	0,05

ТРЕНИЕ ПОКОЯ

Когда некая параллельная к поверхности сила тяги F безрезультатно пытается сдвинуть тело с места (рис. 23.5), то понятно, что эта сила уравновешена какой-то другой силой, которая точно равняется прикладываемой силе по величине и противоположна ей по направлению. Эту силу называют **силой трения покоя**.



Рис. 23.5. Сила трения покоя равна силе, пытающейся двигать тела

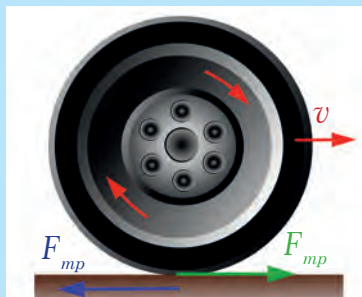


Рис. 23.6. Трение покоя толкает ведущее колесо

Сила трения покоя заставляет автомобиль двигаться и поворачивать. Она удерживает в покое тело, которое находится на наклонной плоскости. Благодаря этой силе мы ходим. Сила, с которой шина ведущего колеса автомобиля в месте соприкосновения с дорогой **действует на поверхность дороги**, направлена **назад**. Эта сила вызывает появление силы трения покоя, которая действует на колесо вперед, создавая силу тяги автомобиля (рис. 23.6).

Подобное явление отмечаем и при ходьбе.

ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Трение, которое действует на катящееся колесо, называют трением качения. Оно гораздо меньше трения скольжения, поэтому почти все виды наземного транспорта имеют колеса, а оси механизмов установлены на шариковые подшипники. Трение качения тем меньше, чем больший радиус колеса и чем тверже поверхности колеса и дороги. Оно также пропорционально силе реакции поверхности и зависит от материала обеих поверхностей.



ОПЫТ 23.2

Положите круглый карандаш на наклонную поверхность сначала вдоль, а затем – поперек нее (рис. 23.7). Убедитесь, что скатываться он начинает при значительно меньших углах, чем скользить.



Рис. 23.7. Трение качения значительно меньше, чем трение скольжения



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 23.1. Установите, как изменится сила трения скольжения, если поверхность покрыть пылью или мелким порошком (используйте пудру, которую настрогали из мела или грифеля карандаша). Попробуйте изложить определенные гипотезы относительно причин влияния пыли на величину силы трения.

ВЯЗКОЕ ТРЕНИЕ

Во время движения в жидкости или в газе возникает вязкое трение, которое гораздо меньше даже трения качения. Существуют специальные транспортные средства на «воздушной подушке», которые «летают» над землей или поверхностью воды. Примером могут быть скоростные паромы и некоторые виды военных десантных катеров. Проходят испытания поезда на «магнитной подушке», которые удерживаются в воздухе силами магнитного поля (рис. 23.8). По своей быстротходности они приближаются к самолетам. **Важная особенность, которая существенно**



Рис. 23.8. Сила вязкого трения возникает при движении в жидкости или в газе

выделяет вязкое трение, заключается в том, что у него а) нет трения покоя, б) величина вязкого трения растет с увеличением скорости движения.

Трущиеся детали машин смазывают маслами, чтобы сделать трение вязким и уменьшить потери энергии.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Сила трения скольжения прямо пропорциональна величине силы реакции опоры $F_{тр} = \mu \cdot N$.
- ⇒ Вектор силы трения скольжения направлен параллельно плоскости соприкосновения в сторону, противоположную направлению движения.
- ⇒ Сила трения покоя равняется и противоположна той силе, которая не может сдвинуть тело с места.
- ⇒ Трение качения намного меньше трения скольжения.
- ⇒ Вязкое трение возникает при движении в жидкости или газе. Не существует вязкого трения покоя.



УПРАЖНЕНИЕ 23

1. В каких случаях нужно: а) увеличить, б) уменьшить трение?
2. Перечислите известные вам виды трения.
3. Почему в машинах так широко используются шариковые подшипники?
4. Почему смазочные материалы значительно уменьшают трение?
5. От чего зависит величина коэффициента трения скольжения?
6. Как зависит сила трения скольжения от веса тела?
7. Почему конькобежцы и велосипедисты надевают костюмы из очень «гладкой» ткани?
8. Почему рыбы «скользкие»?
9. В каких случаях сила трения совпадает с направлением скорости?
10. Почему колеса автомобиля пробуксовывают, когда он трогается с места при гололеде?
11. В каких пределах может изменяться сила трения покоя?
12. Почему на скользкой дороге опасно делать резкий поворот на автомобиле?
13. Почему колеса железнодорожных вагонов чугунные, а рельсы – стальные?
14. Почему у вездеходов и колесных тракторов большие колеса?
15. На столике в вагоне поезда лежат книга и яблоко. Почему, когда поезд тронулся, книга осталась неподвижной, а яблоко покатилося назад?
16. Почему человек не может сдвинуть с места железнодорожный вагон, но сдвинет лодку такой же массы?
17. Во сколько раз уменьшится сила трения между стальными деталями после смазывания маслом?
18. Какую силу нужно приложить к санкам массой 80 кг, чтобы сдвинуть их с места на ледяной поверхности? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
19. Какая сила трения возникнет, если 10-тонный грузовик резко затормозит?
- * 20. Какая разновидность силы трения: а) удерживает на повороте спортсмена на роликовых коньках? б) мешает ему двигаться?

- * 21. Деревянный брусок массой 0,2 кг равномерно тянут по горизонтальной деревянной поверхности с помощью динамометра. Найдите удлинение пружины (в см), коэффициент жесткости которой 100 Н/м, $g = 10$ Н/кг.

§24. ДАВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ НА ПОВЕРХНОСТЬ. СИЛА ДАВЛЕНИЯ

Об атмосферном давлении часто сообщают синоптики в прогнозах погоды, артериальное давление измеряет врач. В физике **давлением называют физическую величину, которая численно равняется силе давления на единицу площади поверхности** (рис. 24.1). Давление обозначают буквой « P » (от англ. *pressure* – давление).

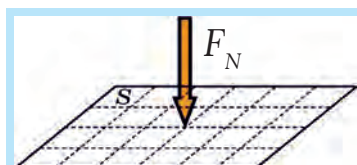


Рис. 24.1. Давление численно равняется силе, которая действует на единицу площади

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Чтобы вычислить давление, нужно величину перпендикулярной поверхности силы давления F_N разделить на площадь этой поверхности S :

$$p = \frac{F_N}{S}$$

(24.1)

В отличие от силы, давление – **скаляр**. В СИ, где силу измеряют в H (ньюто-не), а площадь – в $м^2$, давление измеряется в $\frac{H}{м^2}$.

Сила давления величиной в 1 Н, которая действует на площадь в 1 $м^2$, создает давление величиной в 1 Паскаль, то есть $Па = Н/м^2$. Единица давления названа в честь французского физика и математика, изобретателя первой механической вычислительной машины, гидравлического пресса и медицинского шприца, философа и писателя Блеза Паскаля.

Один Паскаль – очень маленькое давление (сравним с нормальным атмосферным давлением 760 мм рт. ст., которое составляет 101 325 Па, или приблизительно 100 000 Па = 10^5 Па).

В технике часто применяют более удобную единицу давления: **одна физическая атмосфера** (атм), 1 атм = 101 325 Па точно, или $\approx 100\,000$ Па. Например, давление в камере автомобильного колеса составляет приблизительно 2 атм.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ДАВЛЕНИЕ

Если идти пешком по глубокому снегу – ноги проваливаются, а если на лыжах – нет. Сила давления на снег одна и та же. В чем же разница? А в том, что давление, которое создают на снег лыжи, намного меньше, поскольку их пло-

щадь значительно больше площади подошв. Следовательно, такая величина, как давление, в данном случае лучше объясняет явление, чем сила давления.

Увеличить давление, как видно из формулы (24.1), можно: или увеличивая силу давления, или уменьшая площадь поверхности, на которую действует сила. Например, пчела (рис. 24.2) при укусе создает большое давление, поскольку площадь жала очень мала. Трактор (рис. 24.3) или даже танк давят на поверхность более слабо, чем мы при ходьбе, из-за большой площади гусениц.

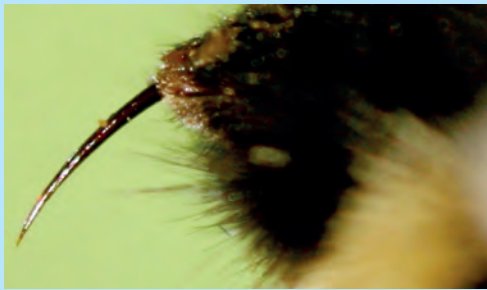


Рис. 24.2. Тонкое жало пчелы проникает сквозь кожу



Рис. 24.3. Трактор оказывает меньшее давление, чем нога человека

ПРИМЕР 24.1

Сравним давление, которое создают каблучки девушки и нога слона (рис. 24.4).

$g \approx 10 \text{ Н/кг}$	Девочка	Слон
Масса (m)	50 кг	4 000 кг
Сила тяжести (mg)	500 Н	40 000 Н
Сила давления (F_N)	500 Н	40 000 Н
Площадь опоры (S)	2 см ²	1 000 см ²
Давление ($p = F_N/S$)	250 Н/см ²	40 Н/см ²



Рис. 24.4. Кто «сильнее»?

Массы девушки и слона, а также площади каблучка и ступни слона взяты приблизительно (как это делают в оценочных задачах).

ПРИМЕР 24.2

Пусть острый конец иглы имеет линейные размеры 0,1 мм (не очень острая игла). Тогда площадь острия будет составлять приблизительно 0,01 мм². Если иглу придавить гирей 10 кг, то давление, с которым она будет давить на стол, будет в 100 000 раз больше атмосферного. Под таким давлением и при температуре 2300°C в 1955 году впервые получили искусственные алмазы.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Очень большое давление – 400 000 атм с помощью гидравлического пресса впервые получил американский инженер Бриджмен. Сверхсильные давления на больших площадях получают с помощью взрыва. Во время взрыва атомной бомбы создается давление в 10 000 миллиардов атм.



Рис. 24.5. Перси Бриджмен

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЗАДАЧА 24.1

Оцените ваше давление на пол. Напомним, что площадь подошвы, получив ее отпечаток на листе бумаги в клеточку, можно подсчитать способом, указанным на рис. 24.6. Для этого нужно к числу целых клеточек прибавить половину числа нецелых клеточек и полученное число умножить на площадь одной клеточки. Сторона клеточки составляет 0,5 см.

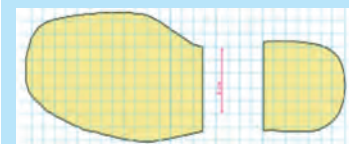


Рис. 24.6. Способ приблизительного вычисления площади подошвы

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Давление численно равно силе давления на единицу площади поверхности.
- Давление равняется отношению величины силы давления к площади поверхности: $p = \frac{F_N}{S}$.
- **Нормальное атмосферное давление** составляет 760 мм рт. ст., что равняется 101 325 Па, то есть приблизительно 100 000 Па = 10^5 Па.
- **Одна физическая атмосфера** (атм): 1 атм = 101 325 Па.



УПРАЖНЕНИЕ 24

1. Как вычисляют давление?
2. Какая единица измерения давления в СИ?
3. В каком направлении действует сила давления?
4. Почему лыжи меньше проваливаются в снег?
5. Приведите примеры, когда давление лучше объясняет явление, чем сила давления.
6. Почему площадь фундамента для здания пытаются сделать как можно большей?
7. Каким образом можно быстро изменить свое давление на поверхность?
8. Для чего ножи, иглы и гвозди делают острыми?
9. Каким образом маленькому комару удается проколоть кожу человека?
10. Как можно определить площадь поверхности неправильной формы?
11. Почему перед поездкой по мягкой грунтовой дороге водитель вездехода уменьшает давление в шинах автомобиля?
12. Как нужно расположить на столе спичечную коробку, чтобы создать: **а)** наименьшее; **б)** наибольшее давление? Сделайте рисунок.

13. Рассчитайте давление (в Па), которое создает на дорогу одно колесо четырехколесного грузового автомобиля массой 8 тонн. Площадь соприкосновения колеса с дорогой – 400 см^2 , $g = 10 \text{ Н/кг}$.
14. Какое давление оказывает ученик, масса которого 60 кг, на пол? Общая площадь подошв обуви ученика равняется 300 см^2 . Считайте, что $g = 10 \text{ Н/кг}$.
15. На какую площадь должна действовать сила 600 Н, чтобы создать давление 2400 Па?
16. Площадь острого конца иглы равняется $0,01 \text{ мм}^2$. Какое давление создает игла во время шитья, если на нее действует сила 5 Н?
- * 17. Во сколько раз увеличится: а) сила давления; б) давление сплошного кубика на подставку, если его линейные размеры увеличить в два раза, не изменяя плотность кубика?

§25. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

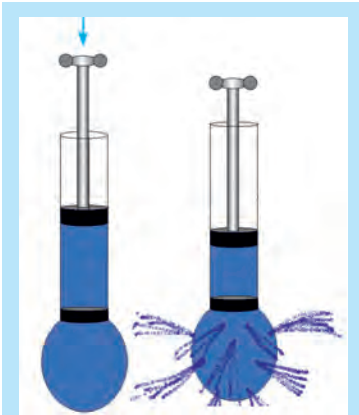


Рис. 25.1. Сила давления действует во всех направлениях

ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Сила давления в жидкостях и газах действует во всех направлениях. Это можно продемонстрировать на простом опыте (рис. 25.1). Нужно крепко насадить на шприц мячик от настольного тенниса и сделать в нем иглой ряд симметрично находящихся отверстий. Потом наполнить цилиндр шприца и мячик водой. Если нажать на поршень вниз, то вода брызнет из отверстий во все стороны.

Объясним детальнее: сначала давление выросло около поршня, затем давление выросло и во всех других точках воды. Сила давления около отверстий направлена перпендикулярно поверхности мячика, а ее величина пропорциональна давлению:

$$F_N = p \cdot S \quad (25.1)$$

Закон Паскаля: давление в жидкостях и газах передается во все точки и во всех направлениях одинаково.

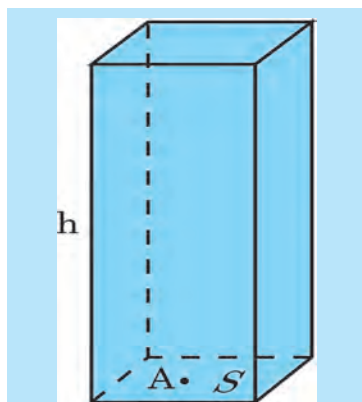
ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Вычислим давление в некоторой точке А, которая находится на глубине h в жидкости, плотность которой – ρ . Мысленно выделим прямоугольный столб жидкости высотой h , который опирается на поверхность площадью S (рис. 25.2). Объем выделенной геометрической фигуры можно вычислить по формуле $V = S \cdot h$. Сила давления столба жидкости F_N равняется силе тяжести, которая действует на всю массу m жидкости выделенного объема и может быть

вычислена как mg . Массу жидкости вычислим по формуле $m = \rho \cdot V$. Тогда сила давления выделенного столба жидкости будет представлять: $F_N = \rho \cdot S \cdot h \cdot g$. Давление жидкости на глубине h согласно формуле (26.1) будет составлять:

$$p = \rho g h \quad (25.2)$$

Это формула **гидростатического давления** (*гидро-*, лат. – вода, *статикос*, греч. – неподвижный). Чтобы получить по этой формуле давление в паскалях (то есть в Н/м²), надо плотность выразить в кг/м³, а глубину – в метрах..



Мал. 26.2. Чем выше столб жидкости h , тем больше давление в точке А

▶ ПРИМЕР 25.1

Найдите давление столба воды высотой 10 м. Примем $g = 10 \frac{H}{кг}$.

Дано:

$$h = 10 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$$

$$g = 10 \frac{Н}{кг}$$

$$p = ?$$

Решение:

Согласно формуле $p = \rho g h$,

$$p = 1000 \frac{кг}{м^3} \cdot 10 \frac{Н}{кг} \cdot 10 \text{ м}$$

$$\text{Окончательно } p = 100\,000 \frac{Н}{м^3} = 100\,000 \text{ Па}$$

Ответ: давление столба воды высотой 10 м составляет приблизительно 100 000 Па.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС

Обратите внимание, что *давление, которое создается столбом жидкости, зависит только от плотности жидкости и высоты столба, и не зависит от площади, которая сокращается при математических преобразованиях. Этот результат на первый взгляд кажется неожиданным, поэтому его называют гидростатическим парадоксом (парадокс – утверждение, которое кажется неправильным или невозможным).*

Давление жидкости не зависит от формы сосуда, в которой она находится, а только от высоты столба жидкости и ее плотности. Это утверждение можно продемонстрировать с помощью сообщающихся сосудов – прибора, состоящего из трубок разной формы и сечения, соединенных между собой и размещенных в вертикальной плоскости (рис. 25.3). Если жидкость неподвижна (статична), то она во всех сосудах устанавливается на одинаковом горизонтальном уровне. Водопроводная система или чайник – примеры сообщающихся сосудов.

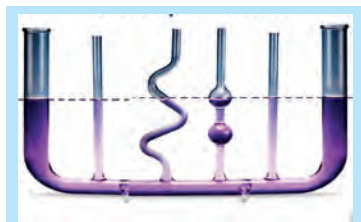


Рис. 25.3. Уровень жидкости в сообщающихся сосудах одинаковый

Таблица 25.1

Плотность некоторых жидкостей

Жидкость	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Вода	1000	1,00
Растит., машинное масло	900	0,90
Спирт	800	0,80
Ртуть	13 600	13,60
Жидкий воздух (при -194°C)	860	0,86



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Паскаль в свое время поразил своих сограждан таким опытом, проведенным при всеобщем обозрении (рис. 25.4). Ученый заявил, что нарушит герметичность самой прочной бочки одной кружкой воды. Бочка должна была иметь герметичную крышку с латунной вставкой, в которой сделано отверстие с нарезанной резьбой определенного диаметра. Перед началом опыта бочку нужно было доверху наполнить водой. Цех бондарей (так называют мастеров, изготавливающих бочки) принял вызов. В определенный день бочка наивысшего качества была наполнена водой, и в нее вкрутили трубу высотой несколько метров. Внутренний диаметр трубы был таков, что туда помещалась как раз одна кружка воды. На втором этаже здания, вблизи которого проводился опыт, в трубку вставили лейку и влили всю воду, которая была в кружке. К удивлению присутствующих, бочка треснула по швам, и из нее брызнула вода!



Рис. 25.4. Опыт Паскаля

▶ ПРИМЕР 25.2

Давайте выясним, что произошло в опыте с бочкой. Допустим, что она имела форму цилиндра (для упрощения расчетов) высотой $H = 1$ м и диаметром немного меньше 70 см (для того, чтобы длина периметра крышки составляла приблизительно 2 м: $L = \pi d$). При высоте трубки 3,5 м давление столба воды в центре бочки (добавляем еще 0,5 м) равнялось:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4 \text{ м} \approx 40\,000 \text{ Па} .$$

Около дна давление немного больше, около крышки – меньше, средняя сила давления, действующая на боковую поверхность бочки (площадь которой равняется 2 м²) будет равняться:

$$F_N = p \cdot S = 40\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 2 \text{ м}^2 = 80\,000 \text{ Н} .$$

С такой силой будет действовать на опору груз массой приблизительно 8 000 кг, то есть 8 тонн! Действие такой значительной силы ни одна деревянная бочка не выдержит.



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

25.1. Как можно контролировать горизонтальность заливки фундамента дачного дома? Из-за большой длины фундамента обычный уровень не годится, зато можно воспользоваться длинным резиновым шлангом и двумя стеклянными трубками (рис. 25.5).



Рис. 25.5. Шланг и две трубки

ГЛУБИННЫЕ АППАРАТЫ



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Впервые погружения на значительную глубину осуществил швейцарский физик и инженер Огюст Пикар. Еще с детства он увлекался книгами о морских путешествиях. Батискаф, построенный Пикаром, опустился в 1948 году на глубину 1 400 м, выдержав огромное давление воды. В 1953 году батискаф «Триест» достиг глубины 3 150 м. В 1957 году советский аппарат «Витязь» опустился на глубину 10 022 м. В 1960 году «Триест», в котором находился сын Огюста Пикара Жак, опустился в Марианскую впадину в Тихом океане на глубину 10 916 м. Аппараты Пикара были автономными и не нуждались в тросе, который связывал бы их с кораблем. Дело в том, что трос такой длины не может выдержать даже собственного веса. Строительство глубинных аппаратов требует решения очень сложных инженерно-технических проблем, актуальных и в наше время.



Рис. 25.6. Батискаф – аппарат для глубинных погружений

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Давление в жидкостях и газах передается во все точки и во всех направлениях одинаково (закон Паскаля).
- ➔ Давление жидкости вычисляется по формуле $p = \rho gh$.
- ➔ Давление жидкости не зависит от формы сосуда (гидростатический парадокс).



УПРАЖНЕНИЕ 25

1. Как передается давление в жидкостях и газах?
2. По какой формуле рассчитывается гидростатическое давление?
3. От чего зависит давление столба жидкости?
4. Как устанавливается жидкость в сообщающихся сосудах?
5. В чем суть гидростатического парадокса?

6. Почему батискафы, рассчитанные на глубоководное погружение, нельзя опускать на тросе?
7. Почему в сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одинаковом уровне?
8. Почему резервуар с водой в водопроводной системе пытаются установить как можно выше?
9. Какое давление действовало на батискаф Пикара на глубине 10,9 км?
10. Вычислите давление столба ртути высотой 1 м.
11. Во сколько раз изменится давление жидкости на дно цилиндрического сосуда, если туда вместо воды налить: *а)* такую же массу ртути; *б)* такой же объем ртути?
12. Почему боковые стенки ведра (рис. 25.7) расширяются вверх?
13. Аквариум, имеющий форму куба со стороной 0,5 м, доверху заполнен водой. Рассчитайте: *а)* массу воды в аквариуме; *б)* давление воды на дно; *в)* среднюю силу давления на одну стенку.
14. В кастрюлю, доверху заполненную водой, опустили гирию, которая не касается дна. *а)* Изменится ли давление воды на дно и стенки? *б)* Рассмотрите случай, когда кастрюля заполнена не полностью, и вода не выливается.
15. В U-образной трубке сначала находилась ртуть (рис. 25.8). В правую часть трубки доливают столбик воды высотой 20 см. *а)* Почему уровень воды в правой части трубки оказался выше, чем уровень ртути в левой части? *б)* Какой перепад высот между уровнем воды в правой части трубки и уровнем ртути в левой части?
16. Жидкость полностью заполняет трубу высотой 2 м и внутренним диаметром 1 см. Какими будут вес жидкости и давление на дно, если это: *а)* вода; *б)* ртуть; *в)* масло?
17. Сравните давление жидкости на дно сосудов 1, 2 и 3 (рис. 25.9). Жидкость везде одинакова. Поясните ответ.



Рис. 25.7

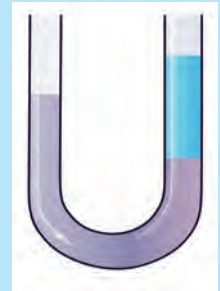


Рис. 25.8



Рис. 25.9

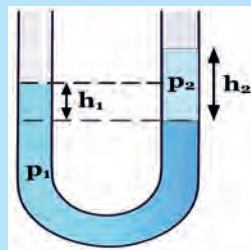


Рис. 25.10

- * 18. Пуля из винтовки, которая летит горизонтально, пробивает в стакане два маленьких отверстия. Почему, когда стакан полон воды, попадание пули разорвет стакан на мелкие осколки?
- * 19. На весах уравновешен стакан с водой. Почему, если в воду окунуть палец, не касаясь стенок или дна стакана, то равновесие нарушится? Вода из стакана не выливается.

- * 20. В открытую U-образную трубку (рис. 25.10) налита жидкость плотностью ρ_1 . После того, как в правую часть трубки долили столбик жидкости высотой h_2 и плотностью ρ_2 , разность уровней жидкости ρ_1 стала h_1 . а) Плотность какой жидкости больше? б) Вычислите плотность жидкости ρ_2 , считая известными величины ρ_1, h_1 и h_2 .



Блез Паскаль (Blaise Pascal, 1623–1662) – французский математик, механик, физик, философ и писатель. Он сформулировал закон передачи давления, известный в настоящее время как закон Паскаля, доказал, что давление жидкости на дно сосуда не зависит от формы сосуда, а только от уровня жидкости.

Паскаль создал первую механическую вычислительную машину (один из распространенных языков программирования – Pascal – назван в его честь именно по этой причине). Было изготовлено около 50 экземпляров такой машины, даже налажено их серийное производство.

Паскаль изобрел гидравлический пресс, медицинский шприц, предложил идею регулярного городского транспорта, который курсирует улицами городов по установленным маршрутам.

Паскаль изучал проблемы вакуума и равновесия жидкостей, определил плотность воздуха, повторил и усовершенствовал опыты с ртутным барометром, установил, что атмосферное давление зависит от высоты. У своего дома Паскаль установил водяной барометр, который позволял всем желающим наблюдать за изменением атмосферного давления.

§26. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

АТМОСФЕРА

Мы находимся на дне воздушного океана, который называется атмосферой (рис. 26.1), а над нами – примерно стокилометровый слой воздуха. Столб воздуха создает давление благодаря тому, что воздух притягивается к Земле. Для расчета этого давления формулу $p = \rho \cdot h \cdot g$ можно применить только приближенно для не слишком больших h , поскольку воздух легко сжимается.

Существует простое приближенное правило: около поверхности Земли давление уменьшается на 1 мм рт. ст. при поднятии вверх на каждые 12 метров.

Мы не замечаем давления атмосферы только потому, что воздух внутри наших легких имеет та-



Рис. 26.1. Воздушная оболочка Земли – атмосфера



Рис. 26.2. Аквалангист дышит сжатым воздухом

кое же давление – таким образом, силы давления снаружи и внутри уравнивают друг друга.

Совсем другое дело, когда вы нырнули глубоко в воду. Давление воды настолько большое, что вашу грудную клетку сожмет сила, которая не даст вам вдохнуть, даже если у вас есть акваланг. Поэтому аквалангист дышит сжатым воздухом, давление которого нужно регулировать так, чтобы он равнялся внешнему давлению воды на тело (рис. 26.2).



ОПЫТ 26.1

Возьмите пустую упаковку из-под сока и ртом «откачайте» из нее воздух (рис. 26.3). В определенный момент она «сомнется». Давление внутри уменьшилось, следовательно, внешнее атмосферное давление деформирует не очень крепкий картон.



Рис. 26.3. Сила атмосферного давления сминает коробку

ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

Воздух кажется невесомым, и поэтому опыт итальянского физика и математика Эванджелиста Торричелли (ученика Галилея) поразил современников. Он заполнил запаянную с одного конца стеклянную трубку длиной около метра ртутью. Потом закрыл отверстие пальцем и, перевернув трубку, поместил открытый конец на небольшую глубину в чашку со ртутью, придерживая трубку в вертикальном положении. После того, как он открыл отверстие, часть ртути вылилась, но столб ртути высотой приблизительно 76 см все равно остался в трубке (рис. 26.4). В пространстве над столбиком ртути ничего не осталось, там был вакуум, или, как это в то время называли, торричеллиева пустота. Торричелли догадался, что столб ртути удерживается силой давления атмосферы. Следовательно, столб ртути высотой 76 см уравнивает, словно на чаше весов, вес столба воздуха высотой в сто километров.

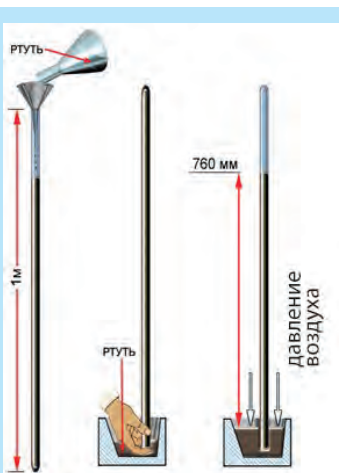


Рис. 26.4. Опыт Торричелли



ОПЫТ 26.2

Наберите полную стеклянную бутылку воды. Закройте отверстие пальцем, переверните бутылку и окуните ее горлышко в чашку с водой,

придерживая бутылку другой рукой. Потом палец уберите. Вода вообще не выливается, хотя вы точно повторили опыт Торричелли.

Сравните плотности воды и ртути и попробуйте оценить, какой длины должна быть трубка, чтобы опыт Торричелли можно было повторить с водой.



ОПЫТ 26.3

Окуните стеклянную трубку частично в воду и закройте верхнее отверстие пальцем. Потом выньте трубку из воды (рис. 26.5). Почему вода не выливается из трубки? Сравните давление воздуха в трубке с атмосферным давлением. Отпустите палец. Почему теперь вода выливается?



Рис. 26.5. К опыту 26.3

МАГДЕБУРГСКИЕ ПОЛУШАРИЯ

Чтобы продемонстрировать землякам силу атмосферного давления, бургомистр города Магдебург Отто фон Герике провел эффектный опыт (рис. 26.6). Это было в 1654 году, в присутствии императора Фердинанда III. По заказу Герике были изготовлены два хорошо подогнанных друг к другу полых внутри медных полушария, из которых можно было сложить герметичный шар диаметром 14 дюймов (35,5 см). В одном из полушарий была трубка для откачивания воздуха, и каждое из полушарий имело на поверхности крепкое кольцо. Полушария совместили и откачали воздух из шара, который при этом образовался. Для этого использовали вакуумный воздушный насос, изобретенный тем же Герике. Давление атмосферы настолько сильно сжало полушария, что две упряжки по восемь коней в каждой не смогли их разорвать!



Рис. 26.6. Опыт с магдебургскими полушариями

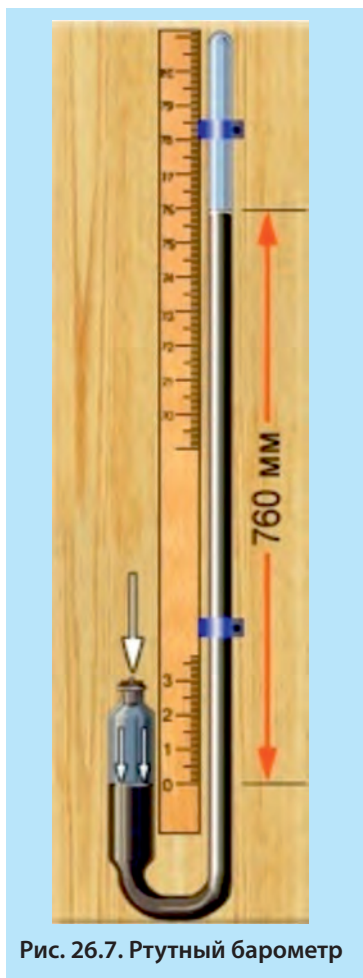


Рис. 26.7. Ртутный барометр

РТУТНЫЙ БАРОМЕТР

Прикрепив рядом с трубкой линейку (рис. 26.7), Торричелли заметил, что уровень ртути ежедневно изменяется. Следовательно, изменяется давление атмосферы. Фактически, Торричелли изготовил первый прибор для измерения атмосферного давления – **ртутный барометр**. Сегодня прогноз погоды не может обойтись без сообщения о величине атмосферного давления, значительное уменьшение которого может предугадать сильный ветер или даже ураган.

Паскаль повторил опыт Торричелли и установил, что атмосферное давление уменьшается в зависимости от высоты. Возле своего дома он смонтировал **водяной барометр** с трубой, высота которой достигала почти 11 м. Вода была подкрашена красным вином для удобства наблюдений за изменением уровня.

Поскольку испарения ртути ядовиты, ртутный барометр требует особо осторожного обращения с ним. Кроме того, он громоздок. Поэтому барометр Торричелли используется только в лабораториях. Величину атмосферного давления традиционно измеряют в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.). Давление атмосферы, при котором высота столбика ртути в барометре составляет 760 мм, принято называть нормальным. Пишут: $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ (или 760 мм Hg). Чтобы выяснить, сколько «паскаль» составляет нормальное **атмосферное давление**, нужно воспользоваться формулой гидростатического

давления (26.2), подставив туда плотность ртути и высоту ртутного столбика, выраженную в метрах:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м} \approx 100\,000 \text{ Н/м}^2 = 100\,000 \text{ Па}.$$

БАРОМЕТР-АНЕРОИД

Для измерения атмосферного давления в быту преимущественно пользуются барометром-анероидом («анероид» значит «безжидкостный»). Вполне возможно, что он есть и у вас дома (рис. 26.8). Чувствительным элементом в этом барометре является металлическая герметичная коробочка, в которой давление воздуха несколько меньше атмосферного. Одна стенка крепится к корпусу, а другая посредством системы рычагов и зубчатых колес двигает стрелку прибора.

Чувствительность анероида достаточно большая – стрелка заметно смещается, если его поднять или опустить на несколько метров. Можно проградуировать шкалу анероида непосредственно в единицах высоты и получим выотомер – **альтиметр**. Такими приборами пользуются пилоты и альпинисты.

Если к стрелке барометра прикрепить перо, касающееся поверхности барабана, который вращается и на который натянута специальная бумага в клеточку, то получим барограф (рис. 26.9). Барабан вращается с помощью часового механизма и делает один оборот за сутки. Прибор позволяет получить график изменения давления со временем.

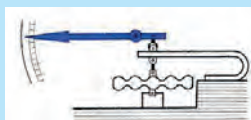


Рис. 26.8. Барометр-анероид. Принцип действия



Рис. 26.9. Барограф

▶ ПРИМЕР 26.1

Вычислите давление столбика ртути высотой 1 мм (то есть 0,001 м). Примите $g = 10 \text{ Н/кг}$.

Дано:

$$h = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$$

$$\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$p = ?$

Решение:

Согласно формуле $p = \rho g h$,

$$p = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Ответ: давление столбика ртути высотой 1 мм приблизительно равно 133 Па.

▶ ПРИМЕР 26.2

Столбик ртутного барометра установился на высоте H над уровнем ртути в чашке (рис. 26.10). Какое давление в ртути в точке А, находящейся на высоте h над уровнем ртути в чашке?

Решение. Очевидно, что давление ртути на уровне поверхности в чашке составляет $\rho \cdot g \cdot H$. При поднятии вверх высота столба ртути уменьшается – следовательно, уменьшается и давление. В точке А давление станет меньше давления внизу на $\rho \cdot g \cdot h$. Следовательно, давление ртути в точке А составляет: $P_A = \rho \cdot g \cdot H - \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (H - h)$.

Ответ. давление ртути в точке А составляет $P_A = \rho \cdot g \cdot H - \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (H - h)$.

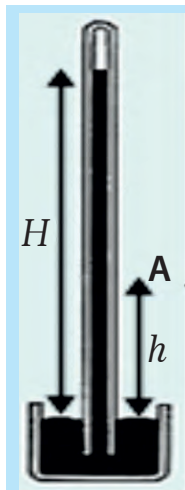


Рис. 26.10



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

26.1. Попробуйте объяснить, почему в жидкостях и газах давление передается во всех направлениях, а в твердых телах – нет.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Столбик ртути в барометре Торричелли удерживается силой атмосферного давления.
- ⇒ Столб атмосферы высотой 100 км оказывает такое же давление, как столб ртути высотой 760 мм
- ⇒ Нормальное атмосферное давление составляет $p_0 = 760$ мм рт. ст., или приблизительно 100 000 Па.
- ⇒ Одна атмосфера (внесистемная единица измерения давления, как и мм рт. ст.) : 1 атм = 101 325 Па (точно).



УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Почему сминается пластиковая бутылка, если из нее откачать воздух?
2. Почему мыльный пузырь имеет шарообразную форму?
3. В чем преимущества барометра-анероида по сравнению со ртутным?
4. Каковы сходства и отличия барометра и альтиметра?
5. Для чего служит барограф?
6. Можно ли повторить опыт Торричелли с трубкой, длина которой: **а)** менее 1 м; **б)** более 1 м?
7. В каких случаях важно знать величину атмосферного давления или характер его изменения?
8. Почему в горах атмосферное давление меньше, чем на уровне моря?
9. В ванной комнате часто прикрепляют к стене различные предметы с помощью пластиковых присосок. За счет каких сил они «прилипают» к поверхности?
10. Как можно с помощью барометра измерить высоту дома?
11. Как изменится атмосферное давление при опускании в глубокую шахту?
12. Почему при быстром снижении самолета (или автомобиля на горной дороге) возникают неприятные ощущения в ушах?
13. Почему в опыте 26.2 вода не выливается из бутылки?
14. Выразите в Па давление столбика: **а)** 10 см воды; **б)** 1 см ртути.
15. У подножия горы барометр показывал 754 мм рт. ст., а на вершине – 724 мм рт. ст. **а)** Какова высота горы? **б)** Почему результат расчета приблизительный?
16. Что случится, если в трубке ртутного барометра сделать отверстие: **а)** ниже уровня ртути; **б)** выше уровня ртути?
17. Какой вес вы должны уравновесить, удерживая рукой бутылку в опыте 26.2: одной только бутылки, или бутылки вместе с находящейся в ней водой?
18. Рассчитайте высоту столба воды в водяном барометре, сконструированном Паскалем, при нормальном атмосферном давлении. Какой длины трубу надо взять для такого барометра?

19. Выразите в Па единицу измерения давления «1 мм водяного столба».
20. Почему бутылка сильногазированной воды такая «твердая»?
21. Почему пенятся «шипучие» напитки, если резко откупорить бутылку?
22. На поршень площадью 6 см^2 действует газ, находящийся под давлением 10 атм. Какая сила действует на поршень?
23. Рассчитайте приблизительное значение давления в озере на глубине 10 м. $g = 10 \text{ Н / кг}$. (Подсказка: ответ 100 000 Па неправильный).
- * 24. Оцените массу земной атмосферы, считая известными нормальное атмосферное давление и радиус Земли. Площадь поверхности шара вычисляется по формуле $S = 4 \pi R^2$, радиус Земли составляет 6 400 км..
25. Через какое время после начала работы компрессорной станции вырастет давление в трубе газопровода в месте, находящемся на расстоянии 660 км от станции? Скорость звука в газе 330 м/с.
26. Выберите наибольшее значение давления: 1) 750 мм рт. ст.; 2) 1 атм; 3) $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
27. Площадь потолка в комнате 20 м^2 . Какая сила давления и в каком направлении действует на потолок, если давление воздуха 100 000 Па??
- * 28. В U-образной стеклянной трубке, запаянной с правой стороны, находится ртуть. Определите давление воздуха p в правой части трубки (рис. 26.11). p_0 – атмосферное давление.
29. В открытой с одного конца тонкой трубке находится воздух, который закрыт столбиком ртути длиной $h = 4 \text{ см}$ (рис. 26.12). Атмосферное давление $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$. Каково давление p (в мм рт. в.), в случае, когда: а) трубка расположена горизонтально, б) трубка расположена вертикально, открытым концом кверху, в) трубка расположена вертикально, открытым концом книзу?

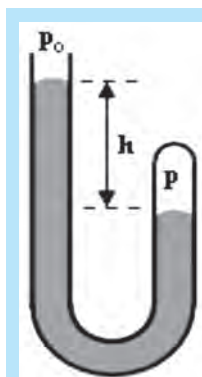
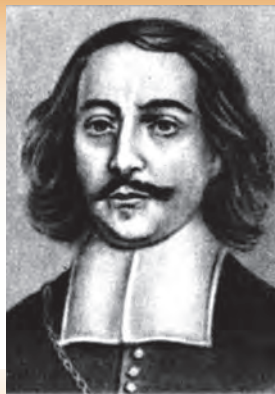


Рис. 26.11



Рис. 26.12



Отто фон Герике (1602–1686, Otto von Guericke). Родился в г. Магдебург. Немецкий физик, инженер и политический деятель. Изучал естественные науки в университете города Лейпцига, право в университете города Йена, математику и механику в городе Лейдене. С 1631 года служил инженером в армии шведского короля Густава II. С 1646 по 1681 год избирался бургомистром города Магдебурга и членом магистрата города Бранденбурга.

В 1650 году Отто Герике сконструировал вакуумный насос. Опыты с вакуумом поразили современников, поскольку в те времена ученые утверждали, что пустого места в пространстве в принципе не может существовать. Он выяснил, что свет распространяется и в пустоте, а звук – нет. Колокольчик в вакууме не звонил, животные погибали, свеча гасла, рыба раздувалась. Выяснилось, что кислород необходим для дыхания и горения.

Когда Герике откачал насосом воздух из жестяной коробки, она была смята атмосферным давлением. Герике организовал показ знаменитого опыта с «Магдебургскими полушариями», демонстрируя соотечественникам давление атмосферы, в которое тогда также никто не верил.

Отто фон Герике изобрел электростатическую машину и выяснил, что сера светится при сильной электризации, то есть открыл явление люминесценции.

Герике также изучал астрономию и предложил гипотезу о том, что кометы прилетают к нам из окраин Солнечной системы. Это предположение позднее подтвердили астрономы-профессионалы.

§ 27. МАНОМЕТРЫ. НАСОСЫ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

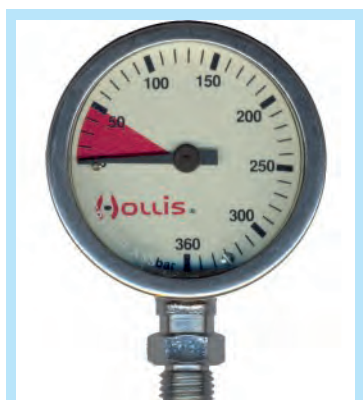


Рис. 27.1. Металлический манометр

МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ МАНОМЕТР

Манометром называют прибор, предназначенный для измерения давлений, которые значительно больше или меньше атмосферного. Металлический манометр состоит из согнутой в виде дуги эластичной металлической трубки, один конец которой запаян, а другой – соединен с резервуаром, в котором измеряется давление. Когда воздух или другой газ под большим давлением входит в трубку, она немного распрямляется и посредством системы рычагов и зубчатых колес вращает стрелку прибора по часовой стрелке (рис. 27.1). Если давление в трубке меньше атмосферного, то трубка свертывается и вращает стрелку прибора в направлении против часовой стрелки. Таким манометром, например, измеряют давление в камерах автомобильных колес.

ЖИДКОСТНЫЕ МАНОМЕТРЫ

Жидкостные манометры позволяют измерять давление с большей точностью, чем металлические. Они состоят из выгнутой в виде буквы U стеклянной трубки, две стороны которой называют соответственно левым и правым коленами манометра. В трубку наливают жидкость. Как правило, это ртуть, но используются и водяные манометры. Одно колено манометра соединяют трубкой с резервуаром, в котором надо измерить давление, а другое открыто, и на поверхность жидкости в трубке действует давление атмосферы (это так называемый *открытый манометр*).

Рассмотрим случай, когда уровень жидкости в правом колене манометра выше, чем в левом (рис. 27.2). Это значит, что давление «р» в баллоне больше атмосферного на величину $\rho \cdot g \cdot h$, то есть $p = p_a + \rho \cdot g \cdot h$, где p_a – атмосфер-

ное давление, а ρ – плотность жидкости в манометре. Если уровень жидкости в правом колене ниже, то давление в баллоне меньше атмосферного на величину $\rho \cdot g \cdot h$.



Рис. 27.2. Открытый жидкостный манометр

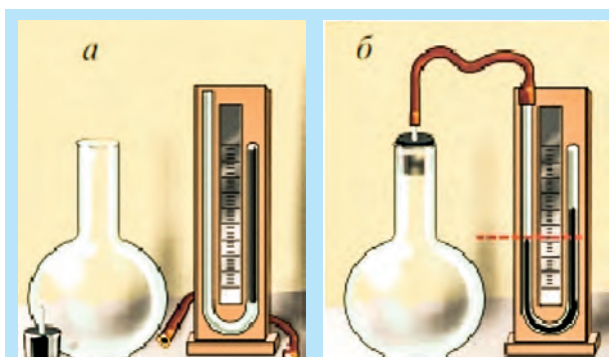


Рис. 27.3. Закрытый манометр измеряет малые давления

У манометра, который предназначен для измерения очень малых давлений, правое колено запаяно и полностью заполнено жидкостью перед началом измерений (рис. 27.3а) – это так называемый укороченный манометр. На рис. 27.3б над ртутью в правом колене – вакуум, поэтому давление в колбе равняется избыточному давлению столбика ртути над линией равновесия (пунктир), то есть $\rho \cdot g \cdot h$.

ПОЧЕМУ ВОДА СЛЕДУЕТ ЗА ПОРШНЕМ

Набирайте в шприц воду, следя за тем, как вода поднимается за поршнем (рис. 27.4). Люди несколько тысячелетий не могли понять этого явления! Древнегреческий ученый Аристотель объяснял его так: когда поршень движется вверх по трубке насоса, под ним образуется пустота, которую вода вынуждена заполнить. Люди тогда просто не могли представить себе возможность существования ничем не заполненного пространства, то есть вакуума. Как выяснилось после опытов Торричелли, Паскаля и Герике, воду «вдавливает» под поршень сила атмосферного давления, действующая на свободную поверхность воды в сосуде и передающаяся во все точки и во всех направлениях, в частности – вверх. Когда начали закачивать воду на большую высоту, оказалось, что природа «боится» пустоты только до высоты, которая приблизительно составляет 10,5 м, а дальше «отказывается» следовать за поршнем, поскольку сила давления столба воды уравнивает силу атмосферного давления.



Рис. 27.4. Вода движется за поршнем насоса, потому что ее туда «втискивает» сила атмосферного давления

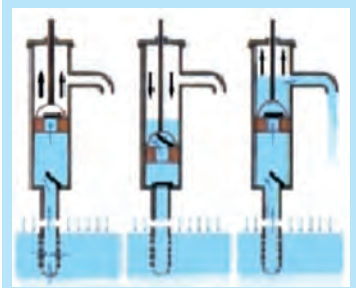


Рис. 27.5. Клапаны водяной помпы пропускают воду вверх и не дают ей «убежать» вниз

ПОРШНЕВЫЕ НАСОСЫ

Рассмотрим конструкцию и принцип действия водяного насоса – обычной ручной водяной помпы. Она состоит из цилиндра с поршнем и двух клапанов (рис. 27.5). Входной клапан находится в верхней части трубы, соединяющей насос с водоносным слоем почвы, и впускает воду вверх по ходу поршня, но не выпускает назад при движении поршня вниз. Второй клапан находится в поршне и пропускает воду вверх, когда поршень движется вниз. При следующем ходе поршня вверх верхний клапан закрывается и часть воды, которая находится над ним, выливается в ведро.



Рис. 27.6. Винт Архимеда позволяет перекачивать пульпу (смесь глины и воды)

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Интересную конструкцию насоса изобрел Архимед (рис. 27.6). «Винт Архимеда» находится в трубе, один конец которой надо опустить в воду. При вращении винта в определенном направлении вода начинает подниматься вверх по трубе. Подобная конструкция применяется в домашней ручной мясорубке.

ВОЗДУШНЫЕ НАСОСЫ И КОМПРЕССОРЫ

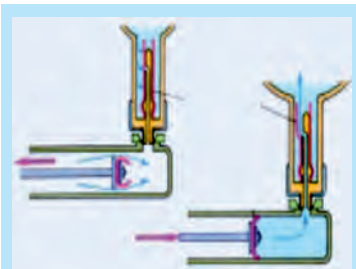


Рис. 27.7. Велосипедный насос

Чтобы накачать воздух в футбольный мяч, камеру велосипеда или автомобиля, используют воздушные насосы (рис. 27.7). Задание состоит в том, чтобы накачать в камеру воздух до определенного давления и сделать так, чтобы назад из камеры он не выходил. Поршень насоса сделан из кожи так, что его распирает при нагнетании воздуха. В этом случае края поршня крепко прижимаются к стенкам цилиндра и не дают воздуху «убежать». При обратном ходе поршня давление в цилиндре уменьшается, потому что клапан не выпускает воздух из камеры. Края кожи сминаются, и воздух опять заполняет пространство под поршнем.

Для лучшей герметизации поршень и стенки цилиндра должны быть смазаны специальным маслом. Пространство под поршнем через систему вентиля и трубочек соединено со штуцером (трубка, к которой присоединяют шланг насоса при накачке камеры).



ОПЫТ 27.1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМА»

Закройте отверстие шприца (без иглы) пальцем и потяните за ручку поршня. Что вы чувствуете, держа ручку рукой? Отпустите поршень и он резко вернется на предыдущее место. Объясните опыт.

Поршневой компрессор (от латинского *compressus* – сжатый) – это нагнетательный воздушный насос, поршень которого приводится в действие двигателем. Он используется для подачи сжатого воздуха в пневматические инструменты. Вы, наверное, видели (и слышали!) как работают пневматический молоток или отвертка. С помощью компрессора накачивают автомобильные шины, перегоняют природный газ в газопроводах, распыляют краску пульверизатором. Специальный кривошипно-шатунный механизм двигает поршень компрессора «туда-сюда», а два клапана – впускной и выпускной – вынуждают воздух двигаться в нужном направлении (рис. 27.8).



Рис. 27.8. Поршневой компрессор

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

Гидравлические устройства, например гидроусилитель руля в автомобиле, широко применяются в современной технике. Из названия понятно, что речь идет об устройствах, которые используют жидкость и многократно усиливают начальное действие. Легко нажав на гидравлический тормоз (рис. 27.9), можно остановить грузовой автомобиль или поезд. Гидравлический подъемник поднимает и удерживает автомобиль (рис. 27.10). Гидравлический пресс штампует какой угодно профиль, даже из толстого стального листа.

Все эти машины и механизмы действуют по единому принципу – принципу гидравлического пресса, изобретенного Паскалем. Гидравлический пресс состоит из двух цилиндров разных диаметров (рис. 27.11). Внутри цилиндров двигаются поршни. Цилиндры герметически соединены между собой и заполнены жидкостью (как правило, минеральным маслом).

Пусть на меньший поршень площадью S_1 действует сила F_1 . Поршень давит на жидкость, создавая в ней давление $p = F_1/S_1$.

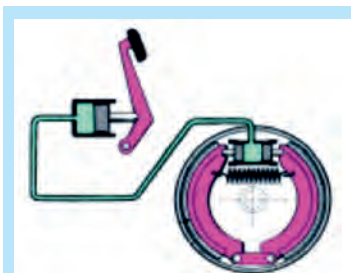


Рис. 27.9. Гидравлический тормоз автомобиля



Рис. 27.10. Гидравлический подъемник

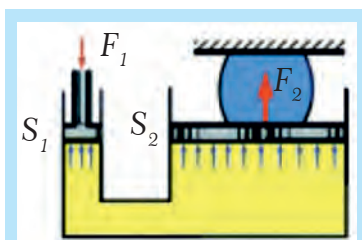


Рис. 27.11. Схема строения гидравлического пресса

По закону Паскаля, это давление передается во все точки жидкости. Тогда на второй поршень, площадь которого больше и равняется S_2 , будет действовать сила $F_2 = p \cdot S_2 = F_1 \cdot S_2/S_1$.

Следовательно, усилие, которое развивает второй поршень, во столько же раз больше начального, во сколько раз площадь большего поршня больше площади меньшего поршня:

$$F_2/F_1 = S_2/S_1 \quad (27.1)$$

В мощных гидравлических машинах малый поршень является частью насоса, который быстро накачивает жидкость в цилиндр с большим поршнем. Если заменить в прессе жидкость воздухом, он тоже будет работать. Такие устройства называют **пневматическими**. Поскольку воздух легко сжимается, то пневматические тормоза действуют «мягче».

В общественном транспорте двери открываются и закрываются пневматическими устройствами, потому вы не пострадаете, даже если окажетесь в их плену.

Сервоскелет – довольно экзотическое устройство, которое состоит из гидравлических трубок с поршнями и имеет вид скелета. Вы одеваете эту конструкцию на себя – и каждое ваше движение повторяется и усиливается многократно. Можно, например, подойти к многотонной грузовой машине и поднять ее «руками».



ОПЫТ 27.2 «ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА»

Соедините отверстия двух одноразовых шприцев разного диаметра пластиковой трубкой (рис. 27.12). Сначала произведите опыты с воздухом. Нажмите на меньший по диаметру поршень. Какой из поршней легче двигать? Какой из них перемещается на большее расстояние? Потом наберите в систему воду и повторите опыты.



Рис. 27.12. Модель пресса



ТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

27.1. Опишите работу сердца как насоса. Как происходит нагнетание крови в сосуды и как работают сердечные клапаны? Как регулируется частота, с которой «бьется» сердце? Как измеряют артериальное давление?

27.2. По какому принципу действует гидравлический домкрат?

КРАТКИЕ ИТОГИ

⇒ Манометры используют для измерения давлений значительно больше или меньше атмосферного.

- Вода следует в трубе за поршнем насоса, потому что ее туда «вгоняет» атмосферное давление.
- Гидравлический пресс усиливает действие во столько раз, во сколько площадь большого поршня больше площади малого поршня: $F_2/F_1 = S_2/S_1$.



УПРАЖНЕНИЕ 27

1. Каково назначение манометров?
2. Почему вода следует за поршнем насоса?
3. Как действует велосипедный насос?
4. Будет ли работать в вакууме поршневой жидкостный насос?
5. Для чего нужны компрессоры?
6. Какие инструменты называют пневматическими?
7. Из каких основных частей состоит гидравлический или пневматический усилитель?
8. За счет чего происходит усиление исходного действия в гидравлическом прессе, и во сколько раз?
9. Почему в гидравлическом прессе используют жидкость, а не воздух?
10. Как из воздушного нагнетательного насоса сделать насос, который создает вакуум?
11. Уровень воды в открытом колене манометра на 20 см выше уровня воды в колене, которое подсоединено к баллону (рис. 27.2). Каково давление в баллоне? Атмосферное давление 100 000 Па, $g = 10$ Н/кг.
12. Уровень воды в открытом колене водяного манометра на 15 см ниже уровня воды в колене, которое подсоединено к баллону. Каково давление в баллоне? Атмосферное давление 100 000 Па, $g = 10$ Н/кг.
13. В подсоединенном к резервуару колене укороченного ртутного манометра уровень на 2 см ниже, чем в запаянной части трубки (рис. 27.3 б). Каково давление в колбе? Атмосферное давление представляет $p_0 = 100\,000$ Па, плотность ртути 13 600 кг/м³, $g = 10$ Н/кг.
14. Может ли уровень ртути в закрытой части укороченного манометра быть ниже, чем в подсоединенной к колбе (рис. 27.3б)?
15. При атмосферном давлении, равняющемся 750 мм рт. ст., манометр показывает давление в шинах автомобиля в 3,4 раза больше, чем атмосферное. Какая сила действует на каждые 100 см² поверхности шины?
16. а) Почему с помощью поршневого насоса можно поднять воду только на высоту около 10,5 м и не выше? б) Придумайте несколько способов поднять воду с помощью поршневого насоса на высоту 20 м и больше.
17. Объем воздуха в цилиндре компрессора уменьшился втрое. Как при этом изменилась плотность воздуха?
18. Какое давление в озере на глубине 40 м? Атмосферное давление 100 000 Па, $g = 10$ Н/кг.
19. В гидравлическом прессе площадь малого поршня составляет 5 см², а большого – 1 м². Какой максимальный выигрыш в силе может дать этот пресс?
20. Малый поршень гидравлического пресса опускается на 25 см за один ход, а большой при этом поднимается на 5 мм. Какую силу развивает большой поршень, если на малый действует сила 200 Н? Выберите правильный ответ: а) 1000 Н; б) 400 Н; в) 10 000 Н; г) 40 Н.

§28. ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ. ЗАКОН АРХИМЕДА

ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА

Попробуйте погрузить мяч в воду. Вы почувствуете довольно значительное противодействие силы, пытающейся его оттуда вытолкнуть. Оказывается, что и на тела, которые тонут, также действует выталкивающая сила. На воздушные шары, наполненные горячим воздухом или гелием, действует выталкивающая сила окружающего воздуха, благодаря которой они летают.



ОПЫТ 28.1

Подвесьте к динамометру тело, которое тонет, например, большую батарейку или наполненную монетами коробочку от фотопленки, и запомните показания прибора. Потом опустите тело в воду (рис. 28.1). Стрелка динамометра покажет меньшую силу. Разница показаний динамометра равняется выталкивающей силе, которую называют силой Архимеда и обозначают F_A .

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости, которая вытеснена этим телом.

Для тел, «погруженных» в газ, выталкивающая сила значительно меньше, чем в жидкости.

Закон Архимеда можно выразить формулой. Если плотность жидкости обозначить $\rho_{\text{ж}}$, а объем тела – буквой V , и считать, что тело погрузилось полностью, то объем вытесненной жидкости равняется объему тела. Найдём массу вытесненной жидкости: $m_{\text{жс}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V$. Вес вытесненной жидкости будет равняться $P = \rho_{\text{ж}} \cdot V \cdot g$. Следовательно, силу Архимеда можно вычислить по формуле:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V \quad (28.1)$$



Рис. 28.1. Вес погруженного в жидкость тела уменьшается

ПОЧЕМУ ВОЗНИКАЕТ ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА

Сначала объясним возникновение выталкивающей силы для случая, когда тело имеет форму параллелепипеда или цилиндра (рис. 28.2 а), площадь верхней и нижней грани которых обозначим буквой S , а высоту – буквой H . На рис. 28.2б изображено только вертикальное сечение тела, погруженного

в жидкость. **Силы давления**, которые действуют на поверхность тела со стороны жидкости, изображены черными стрелками. Приведем основные логические шаги наших рассуждений:

1. Силы давления действуют перпендикулярно поверхности.

2. Чем глубже, тем сильнее жидкость давит на поверхность тела.

3. Силы давления на боковую поверхность тела уравновешенны, и ими можно пренебречь (при условии, что тело не сжимается).

4. Силы давления, которые действуют на нижнюю часть тела, направлены вверх, и они больше сил давления, которые действуют вниз, на верхнюю часть тела. Разность этих сил действует вверх – это и является причиной возникновения выталкивающей силы.

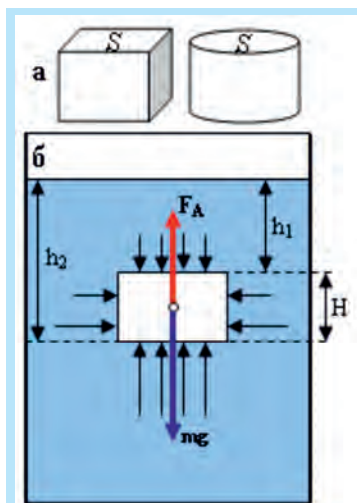


Рис. 28.2. Утворення виштовхувальної сили

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ

1. Сила давления на **нижнюю грань** равняется произведению давления столба жидкости высотой h_2 на площадь грани S : $F_2 = \rho_{\text{жс}} g h_2 \cdot S$ и направлена вертикально **вверх**.

2. Сила давления на **верхнюю грань** равняется произведению давления столба жидкости высотой h_1 на площадь грани S : $F_1 = \rho_{\text{жс}} g h_1 \cdot S$ и направлена вертикально **вниз**.

3. Равнодействующая двух противоположных сил F_1 и F_2 равняется их разности и направлена в сторону большей силы, то есть вертикально вверх – это и есть **сила Архимеда**: $F_A = F_2 - F_1$.

4. Подставляем значение сил: $F_A = \rho_{\text{жс}} g h_2 \cdot S - \rho_{\text{жс}} g h_1 \cdot S$. Одинаковые величины можно вынести за скобки: $F_A = \rho_{\text{жс}} g \cdot S \cdot (h_2 - h_1)$. Заметим, что $h_2 - h_1 = H$. Следовательно: $F_A = \rho_{\text{жс}} g h \cdot H$.

5. Произведение $S \cdot H$ – это объем тела, и в то же время объем вытесненной жидкости: $V = S \cdot H$, то есть $F_A = \rho_{\text{жс}} g \cdot V$ – мы получили формулу (29.1).

6. Произведение плотности жидкости на объем вытесненной жидкости – это ее масса: $m_p = \rho_{\text{жс}} V$, а произведение массы жидкости на g равняется ее весу. Таким образом, **величина выталкивающей силы равняется весу вытесненной жидкости**: $F_A = m_{\text{жс}} g$.

ЛОГИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ФОРМУЛЫ (28.1).

Представим, что мы оставили только невесомую поверхность-оболочку данного тела (пунктирная линия), и заполнили ее той же жидкостью, в которой оно плавает (рис. 28.3). Но определенный объем жидкости, находящийся в той же

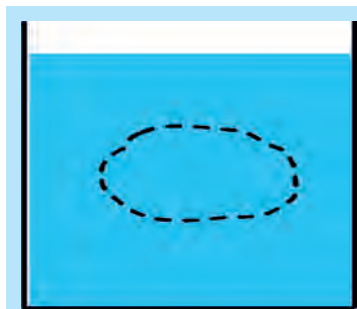


Рис. 28.3

жидкости, пребывает в равновесии. Это значит, что сила тяжести, действующая на жидкость внутри оболочки, уравнивается выталкивающей силой, возникшей за счет сил давления со стороны жидкости на поверхность тела.

Следовательно, выталкивающая сила равняется весу жидкости в объеме тела и направлена противоположно ему, то есть вертикально вверх.



ОПЫТ 28.2

Опустите в пол-литровую банку с водой очищенную картофелину. Она утонет. Растворите соль в воде, пока картофелина не всплывет. Потом добавляйте воды, пока картофель опять не утонет. Объясните наблюдаемые явления.

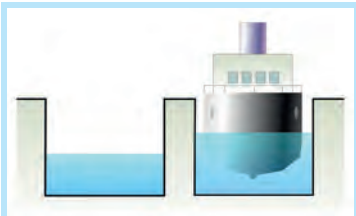


Рис. 28.4. Парадокс Архимеда: корабль может плавать в малом количестве воды



Рис. 28.5. Корабль в шлюзе

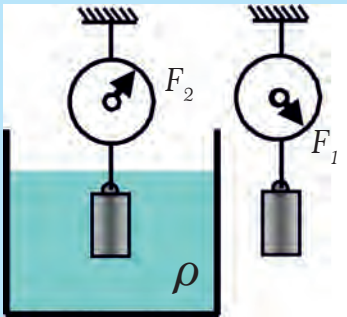


Рис. 28.6. Гидростатическое взвешивание

ПАРАДОКС АРХИМЕДА

Сила Архимеда, действующая на корабль, равна весу вытесненной им воды. Но количество воды, в которой корабль плавает, может быть значительно меньше количества воды, которое он должен вытеснить, чтобы плавать. Опыт, объясняющий этот парадокс, изображен на рис. 28.4. Подобная ситуация случается, когда корабль находится в шлюзе (рис. 28.5).

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ

Гидростатическим называют взвешивание тела, погруженного в жидкость. Выталкивающая сила (рис. 28.6) равняется разности веса тела в воздухе (F_1) и в жидкости (F_2):

$$F_A = F_1 - F_2. \quad (28.2)$$

С другой стороны, $F_A = \rho \cdot V \cdot g$, а вес тела в воздухе равняется силе тяжести, которая действует на тело, то есть: $F_1 = m_T g = \rho_T V g$. Подставив два последних выражения в формулу (28.2), получаем:

$$\rho_{\text{жс}} V g = \rho_T V g - F_2 \quad (28.3)$$

Формула (28.3) позволяет вычислить плотность тела, если известны плотность жидкости и объем тела. Гидростатическое взвешивание позволяет также определить плотность жидкости при известной плотности тела.

Замечание. Мы не учитывали при получении формул выталкивающую силу воздуха, которая в таких опытах намного меньше сил F_1 и F_2 .

ОСОБЫЕ СЛУЧАИ

1. Случалось, что подводная лодка опускалась на глинистое дно и больше не могла подняться, в результате чего погибал экипаж. Это происходило из-за того, что при отсутствии действия силы давления воды на дно тела выталкивающая сила не возникает. Наоборот, силы давления в таком случае прижимают тело ко дну (рис. 28.7).

2. Если тело прилипло к стенке сосуда, то выталкивающая сила уже не действует вертикально вверх (в такой ситуации находятся улитки, которые ползают по стенке аквариума).

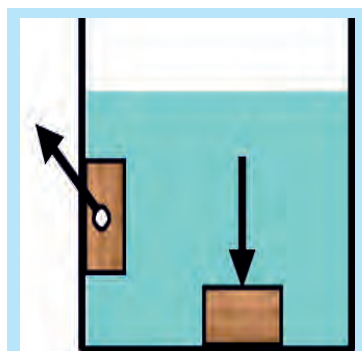


Рис. 28.7. Особые случаи



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

28.1. Одной из проблем точного взвешивания является то, что в воздухе на тела действует выталкивающая сила. Эта сила действует на взвешиваемое тело и на разновесы. Опишите два способа решения этой проблемы – найдите их.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и численно равная весу жидкости, которая вытеснена этим телом.
- ➔ Сила Архимеда возникает из-за действия на поверхность тела сил давления со стороны жидкости или газа. Эта сила не зависит от того, что находится внутри тела.



УПРАЖНЕНИЕ 28

1. Куда направлена сила Архимеда?
2. Какова причина возникновения выталкивающей силы?
3. Действует ли сила Архимеда на тела, которые тонут?
4. Какова величина силы Архимеда?
5. Какая сила поднимает воздушный шар?
- * 6. Как доказать, что выталкивающая сила направлена вертикально вверх?
- * 7. Почему мыльные пузыри летом опускаются вниз, а зимой поднимаются вверх?
8. Почему кит погибает, если его выбрасывает на берег?
9. Одно из племен в бассейне Амазонки как-то столкнулось с такой проблемой. Нужно было погрузить в лодку столько золота, сколько весил священный гиппопотам, пасущийся на травке неподалеку от берега. Как это можно было бы сделать?
10. Два погруженных в жидкость тела имеют одинаковый объем, но различную форму и массу. Как отличаются действующие на них выталкивающие силы?

- * 11. Из-за действия выталкивающей силы воздуха масса тела, измеренная при взвешивании на весах, несколько отличается от его настоящей массы – в большую или меньшую сторону?
- 12. Что весит больше: тонна железа или тонна дерева?
- 13. Если подводная лодка «сядет» на мягкое глинистое дно, она уже не сможет подняться. Куда пропала сила Архимеда?
- * 14. Отличаются ли выталкивающие силы, которые действуют на батискаф на глубине 100 м и 10 000 м?
- 15. Кастрюля до краев заполнена водой. Какой объем воды выльется, если в нее поместить тело объемом 0,5 л и массой: а) 0,4 кг; б) 0,6 кг? Тело полностью помещается в кастрюлю.
- * 16. ААлюминиевое тело массой 54 г подвесили к динамометру. Какими будут показания динамометра, если: а) тело находится в воздухе; б) тело погружено в воду? Плотность алюминия составляет 2,7 г/см³. Цена деления динамометра – 0,1 Н.
- 17. Найдите объем куска железа, который в воде весит 13,6 Н. Плотность железа – 7,8 г/см³.
- 18. а) Вычислите выталкивающую силу, которая действует на коробку от фотопленки (рис. 28.1). б) Вычислите среднюю плотность коробки вместе с находящимися внутри монетами, если ее диаметр составляет 3,1 см, а высота – 4,8 см. Считайте коробку цилиндром.
- 19. На рычаге, который находится в воздухе, уравновесили алюминиевый и железный шары одинакового объема, подвесив их на нитях. Нарушится ли равновесие рычага, если оба шара окунуть в жидкость?
- 20. В каком направлении и почему действует выталкивающая сила на тело, которое прилипло к боковой стенке сосуда и находится под водой? Объясните ответ с помощью рисунка.
- * 21. Сплошное однородное тело, погруженное в жидкость плотностью ρ_1 , весит F_1 , а в жидкости плотностью ρ_2 его вес составляет F_2 . Определите плотность вещества, из которого сделано тело.
- * 22. В один из двух одинаковых цилиндрических сообщающихся сосудов, частично заполненных водой, поместили деревянный шарик массой 20 г. При этом в другом сосуде уровень воды поднялся на 2 мм. Чему равняется площадь поперечного сечения одного из цилиндров?
- 23. Льдина массой 100 кг плавает в воде. Какая масса льда находится над водой? Плотность льда $\rho_{\text{л}}=900 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_{\text{в}}=1000 \text{ кг/м}^3$.

§29. УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

По рекам, озерами, морям и океанам плавают катера, яхты, торговые и пассажирские корабли, танкеры, крейсеры, ледоколы, авианосцы... Все они должны быть сконструированы так, чтобы держаться на поверхности воды, и при этом выдерживать непогоду и даже шторм. Подводные лодки должны плавать как на поверхности, так и под водой. Следовательно, рассмотрим условия плавания тел.

УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ

Когда корабль плавает на поверхности воды, его вес точно уравновешен выталкивающей силой, которая равняется весу воды, вытесненной погруженной частью корабля, находящейся ниже ватерлинии (верхняя граница красной полосы, рис. 29.1). Масса вытесненной кораблем воды называется его тоннажностью.

У тела, которое плавает на поверхности, в воду погружена только некоторая часть его объема. Независимо от того, погружено это тело незначительно или сильно – выталкивающая сила равняется силе тяжести (рис. 29.2), то есть обе силы, действующие на тело, уравновешиваются. Если надавить на плавающее тело, оно погрузится глубже, но выталкивающая сила вырастет, и после того, как мы перестанем на него давить, оно опять всплывет. Следовательно, тело будет плавать (или всплывать), если выталкивающая сила больше или по крайней мере равняется силе тяжести:

$$F_A \geq m_T g, \quad (29.1)$$

где m_T – масса тела.

Рассмотрим предельный случай, когда тело полностью погрузилось в жидкость, но находится в зависшем состоянии, то есть не тонет и не всплывает. Поскольку теперь $F_A = m_T g$, можно записать, что $\rho_{ж} \cdot V \cdot g = \rho_T V_T g$, или, после сокращения одинаковых величин:

$$\rho_{ж} = \rho_T \quad (29.2)$$

Оказывается, все зависит только от соотношения между плотностью тела ρ_T и плотностью жидкости $\rho_{ж}$: *тело тонет, если его плотность больше плотности жидкости, в которую оно погружено.*

Аналогично: тело плавает, если его плотность меньше плотности жидкости.



Рис. 29.1. Ватерлиния корабля

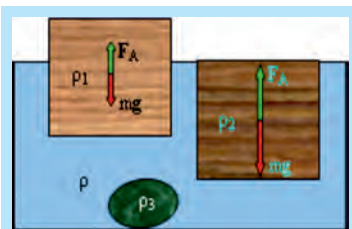


Рис. 29.2. Если тело плавает, сила Архимеда уравновешена силой тяжести

Если плотность тела равняется плотности жидкости, то оно может находиться на произвольной глубине в зависшем состоянии.

▶ ПРИМЕР 29.1

Тело массой 200 г плавает в воде. Какую массу воды вытесняет тело?

Решение. Поскольку тело плавает, его вес равен весу вытесненной воды. Таким образом, масса тела и масса вытесненной жидкости также равны.

Ответ: плавающее тело вытесняет массу воды, которая равна массе тела..

▶ ПРИМЕР 29.2

Тело плавает в воде, погрузившись $\frac{2}{5}$ своего объема в воду. Какова плотность тела?

Решение. Из таблиц известно, что плотность воды равняется 1000 кг/м^3 . Обозначим объем тела V , плотность тела ρ_m , плотность воды ρ_B . Тогда объем вытесненной воды составляет $\frac{2}{5}V$. Масса тела $m_T = \rho_m \cdot V$ должна быть такой же, как масса вытесненной воды $m_B = \rho_B \cdot \frac{2}{5}V$, поскольку тело плавает. Следовательно: $\rho_T \cdot V = \rho_B \cdot \frac{2}{5}V$, откуда следует, что $\rho_T = \frac{2}{5}\rho_B$.

Ответ: плотность тела составляет $\frac{2}{5}$ плотности воды, то есть $\rho_T = \frac{2}{5}\rho_B$.



ОПЫТ 29.1 «КАРТЕЗИАНСКИЙ ВОДОЛАЗ»

Этот опыт придумал французский физик, математик и философ Рене Декарт (фамилия Декарта на латыни звучит как Картезиус). Возьмите пипетку и наберите в нее столько воды, чтобы она едва плавала (рис. 29.3). Потом поместите пипетку в пластиковую бутылку, заполненную на три четверти своего объема водой, и плотно закрутите крышку. Если вы сожмете бутылку, пипетка начнет тонуть, и вы можете, изменяя давление на бутылку, двигать пипетку вниз или вверх, или держать ее неподвижной на определенной глубине.

Обратите внимание, что при сжатии бутылки (увеличение давления воздуха) уровень воды в пипетке повышается, то есть в пипетку заходит вода, а при уменьшении давления в бутылке вода из пипетки выходит.



Рис. 29.3. «Картезианский водолаз», сделанный из пипетки и пластиковой бутылки

Научитесь опускать и поднимать «водолаза», а также удерживать его в зависшем состоянии между дном и поверхностью воды.

- Почему при сжимании бутылки водолаз погружается?
- Зависит ли результат опыта от того, в каком месте вы сжимаете бутылку?
- В каком месте бутылки находится пипетка, когда она кажется увеличенной?



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

29.1. Опустите «картезианского водолаза» на глубину 2–3 см и резко перестаньте давить на бутылку. При всплытии пипетка «ударится» о поверхность воды и изменит направление движения, то есть поверхность воды ведет себя как упругая пленка (если опыт не удастся, уменьшите глубину погружения). Объясните поведение поверхности воды в этом опыте.

29.2. Из фольги изготовьте баржу и исследуйте, при какой конструкции она выдерживает наибольший вес.

ПОДВОДНАЯ ЛОДКА

Подводная лодка (рис. 29.4) может менять свою плотность. Внутри лодки есть балластные цистерны; если туда набрать воду, то плотность лодки становится больше плотности воды, и она начинает погружаться. Для того, чтобы лодка начала всплывать, надо «продуть балласт», то есть вытеснить с помощью сжатого воздуха воду из цистерн за пределы лодки. Тогда плотность лодки опять становится меньше плотности воды. Двигаясь под водой, лодка маневрирует с помощью руля глубины и руля поворотов, которые действуют подобно крыльям самолета



Рис. 29.4. Если тело плавает, сила Архимеда уравновешена силой тяжести

ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

Воздушные шары (рис. 29.5) летают, потому что в воздухе также действует выталкивающая сила. Поскольку плотность воздуха невелика, то и сила Архимеда мала. Для человека среднего роста и телосложения (масса 70 кг, вес – приблизительно 700 Н) выталкивающая сила составляет около 1 Н, что в 700 раз меньше его веса.

Чтобы воздушный шар мог подняться, он должен иметь большой объем, а также его нужно за-



Рис. 29.5. Монгольфьер заполняют горячим воздухом

полнить газом, плотность которого меньше плотности воздуха (водяной пар, горячий воздух, водород или гелий). Подъемная сила, действующая на шар, должна быть больше веса газа, которым он заполнен, а также оболочки и поднимаемого груза

▶ ПРИМЕР 29.3

Воздушный шар объемом V , заполненный газом плотностью ρ , вытесняет такой же объем воздуха плотностью ρ_0 . Найдем величину подъемной силы воздушного шара. Массой оболочки можно пренебречь.

Подъемная сила равняется разности силы Архимеда $F_A = \rho_0 \cdot g \cdot V$ и веса газа $\rho V g$, которым заполнен шар:

$$F = \rho_0 \cdot g \cdot V - \rho \cdot g \cdot V = (\rho_0 - \rho) \cdot g \cdot V \quad (29.3)$$

Из формулы (29.3) видно, что чем меньше плотность газа, которым заполняют шар, и чем больший объем шара, тем большей будет подъемная сила.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Если тело плавает, то выталкивающая сила равняется силе тяжести, которое действует на тело.
- ➔ Тело тонет, если его плотность больше плотности жидкости, в которую оно погружено, и плавает, если его плотность меньше плотности жидкости.



УПРАЖНЕНИЕ 29

1. Каково условие того, что тело: а) плавает, б) тонет?
2. Какую массу воды вытесняет корабль?
3. Какими газами следует заполнять воздушные шары?
4. При каком условии пипетка в опыте 29.2 «зависнет» внутри бутылки?
5. Каково назначение подводных лодок?
6. Сравните плотность тел ρ_1 , ρ_2 и ρ_3 с плотностью жидкости ρ , в которой они находятся (рис. 29.2).
7. Поскольку «картезианский водолаз» плавает, его плотность меньше плотности воды. За счет чего увеличивается плотность пипетки, когда мы сжимаем бутылку?
8. Почему дым поднимается вверх?
9. Чтобы нырнуть, кит должен увеличить свою плотность. Как он это делает?
10. Рыбы иногда пускают пузырьки изо рта. Когда именно они это делают: когда всплывают или когда ныряют?
11. Будет ли действовать на тело выталкивающая сила, если пропадет сила тяжести?
12. Почему в кабине космической станции зажженная спичка или свеча быстро гаснут?
13. Почему воздушный шар, заполненный водородом, имеет большую подъемную силу, чем шар, заполненный гелием?
14. Почему оболочку стратостатов заполняют газом только частично?
15. Почему теннисный мячик, погруженный в воду, поднимается на поверхность, воздушный шар останавливается, не достигнув верха атмосферы?

16. Какую массу воды вытесняет тело, которое плавает, если его масса 200 г?
17. Пламя горелки у монгольфьера отрегулировано так, что шар завис в воздухе. Что можно сказать о массе шара вместе с горячим воздухом внутри, а также о массе вытесненного шаром воздуха?
18. Можно ли добраться до Луны на воздушном шаре?
19. Будет ли плавать в воде стеклянная бутылка, наполненная водой; будет ли плавать бутылка, наполненная ртутью, в ртути?
20. Тело плавает, погрузившись на треть своего объема в воду. Чему равняется плотность тела?
21. Определите объем плавающей в море льдины площадью 160 м^2 , если высота части льдины, находящейся над поверхностью воды, равняется 1 м. Плотность льда – $0,9 \text{ г/см}^3$.
- * 22. В цилиндрический сосуд с площадью дна S налита жидкость плотностью ρ . На сколько поднимется уровень жидкости в сосуде, если в него поместить тело массой m , которое плавает, не касаясь дна?
23. Деревянный кубик лежит на дне стакана. Всплывет ли он, если в стакан налить воды? Вода не проникает под кубик.
24. Вы держите на нити воздушный шарик, наполненный гелием. а) Какие силы компенсируются, не давая шарiku взлететь? б) Почему шарик ускорится, если отпустить нить?
- * 25. В деревянной коробочке, которая плавает в сосуде с водой, находится железный шарик. Как изменится уровень воды в сосуде, если шарик бросить в воду?
26. Воздушный шар объемом 1 м^3 заполнен гелием, и может поднять груз весом 1 кг. Какой максимальный груз он поднимет, если его наполнить водородом? Выберите правильный ответ: а) 2 кг; б) 1,3 кг; в) 1,21 кг; г) 1,12 кг; д) 1,09 кг. Плотность воздуха – $1,29 \text{ кг/м}^3$, гелия – $0,18 \text{ кг/м}^3$, водорода – $0,09 \text{ кг/м}^3$.



ИСТОРИИ НАУКИ

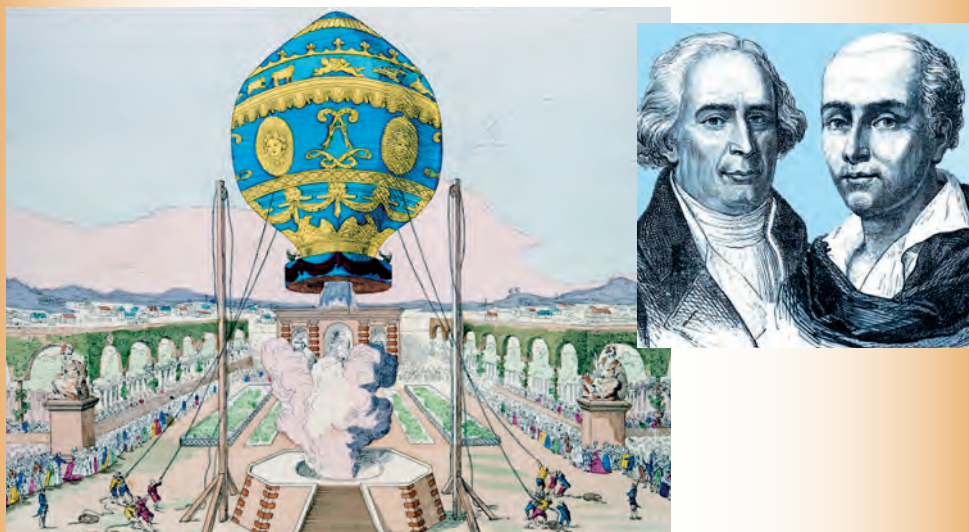
БРАТЬЯ МОНГОЛЬФЬЕ

С давних времен люди мечтали о возможности летать, как птицы, и придумывали для этого замысловатые устройства и машины, которые махали крыльями. Но случилось так, что впервые человек оторвался от Земли и поднялся в воздух с помощью воздушного шара, который изобрели братья Монгольфье.



Люди мечтали летать, как птицы

В конце XVIII века двое французских мальчиков, братья Жозеф и Жак Монгольфье, занимались опытами, наполняя бумажные пакеты горячим воздухом и паром из кипящего чайника. Они решили, что, поскольку пар поднимается вверх, образуя тучи, то и легкий мешок, наполненный паром, также должен летать. Летать ребята мечтали с детства. Жак в девять лет прыгнул с зонтиком с крыши сарая и получил синяки.



Опыты длились несколько лет, и наконец был проведен полет шара на открытом воздухе в присутствии мэра и жителей городка. Мешок, пошитый из старой юбки, подвесили отверстием вниз над очагом, разожженным из влажной соломы. Мешок раздулся, взлетел высоко в воздух и опустился за несколько километров от села. Братья были в восторге, но не понимали, почему их шар через некоторое время после начала полета падает.

В действительности же горячий воздух расширяется, и его часть, которая остается в шаре, весит меньше, чем воздух снаружи. В итоге выталкивающая сила становится больше веса шара. В полете воздух остывает, и подъемная сила постепенно уменьшается.

Известный французский физик Шарль в декабре 1783 года осуществил двухчасовой полет на шаре, наполненном водородом. Такой воздушный шар хорошо летает, потому что водород очень легкий, но при контакте с воздухом он легко воспламеняется, потому что такие шары огнеопасны. Позже шары начали заполнять безопасным гелием. В наше время огромные шары, изготовленные из новейших легких материалов и наполненные горячим воздухом, нагреваемым с помощью газовых горелок, – монгольфьеры, участвуют в спортивных соревнованиях.

ИТОГИ РАЗДЕЛА 3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. СИЛЫ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

Изменение скорости движения тела

Ускорение $a \left(\frac{M}{c^2} \right)$ – физическая величина, показывающая изменение скорости тела за единицу времени

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Деформация – изменение формы и размеров тела

упругая

пластичная

растяжение

сжатие

изгиб

сдвиг

кручение

СИЛА – физическая величина, являющаяся количественной мерой взаимодействия F, N

Гравитационное взаимодействие

СИЛА ТЯЖЕСТИ

$$F_{тяж.} = m \cdot g$$

$g = 9,81 \text{ Н/кг}$

Электромагнитное взаимодействие
(силы молекулярного взаимодействия)

СИЛА УПРУГОСТИ

$$F_{упр.} = k \cdot x$$

(закон Гука)

Вес тела

$$P = m \cdot g$$

СИЛА ДАВЛЕНИЯ

$$F = p \cdot S$$

Выталкивающая сила (сила Архимеда)

$$F_A = \rho_{жид./газа} \cdot g \cdot V_{погр.}$$

СИЛА ТЕРЯ

сила трения покоя

$$F_{тр.покоя} = F_{прил.}$$

сила трения скольжения

$$F_{т.ск.} = \mu N$$

сила трения качения

$$F_{т.кач.} \ll F_{т.ск.}$$

сила сопротивления среды

РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА – результирующая действия всех сил на данное тело

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Скомпенсированные силы $\vec{F} = 0$

СОСТОЯНИЕ ПОКОЯ

ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПО ИНЕРЦИИ
скорость движения
изменяется

РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ
ДВИЖЕНИЕ

Нескомпенсированные силы

$$\vec{F} \neq 0$$

НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ
скорость движения
изменяется по значению
или по направлению

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

I ЗАКОН

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело хранит состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано. Такие системы отсчета называются инерциальными

II ЗАКОН

Пускорение, которое приобретает тело, прямо пропорционально равнодействующей силе и обратно пропорционально массе тела:

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

III ЗАКОН

В инерциальной системе отсчета силы, с которыми тела действуют друг на друга, одинаковы по величине и противоположны по направлению

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Давление в жидкостях и газах передается во все точки и во всех направлениях одинаково

Сообщающиеся сосуды

$$S_1 = h_1$$

$$S_2 = h_2$$

Гидравлические машины

$$F_1 = S_1$$

$$F_2 = S_2$$

ЗАКОН АРХИМЕДА

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, которая направлена вертикально вверх и равняется весу жидкости/газа, вытесненного этим телом

$$F_A = \rho_{\text{жид./газа}} \cdot g \cdot V$$

Плавание судов

$$\rho_{\text{тела}} < \rho_{\text{жид.}}$$

Воздухоплавание

$$\rho_{\text{тела}} < \rho_{\text{газа}}$$

Нормальное атмосферное давление $p_a = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101 \text{ кПа}$

1 атм = 101 325 Па

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

1. То, что лед плавает на поверхности воды, значит, что плотность льда:

А	Б	В	Г
больше плотности воды	меньше плотности воды	они одинаковы	нельзя сравнивать

2. То, что над водой находится 0,1 часть объема айсберга, значит, что его плотность составляет:

А	Б	В	Г
0,1 плотности воды	1,1 плотности воды	0,9 плотности воды	равна плотности воды

3. Кусок льда плавает в стакане с водой. Как изменится уровень воды после того, как лед растает?

А	Б	В	Г
повысится	не изменится	понижится	не хватает данных

4. Размеры медного куба увеличили втрое. Во сколько раз изменились его масса и плотность?

А	Б	В	Г
масса и плотность увеличились втрое	масса увеличилась в шесть раз, плотность увеличилась втрое	масса увеличилась в девять раз, плотность не изменилась	масса увеличилась в девять раз, плотность уменьшилась втрое

5. Стальной шар объемом 1 дм^3 опускают в сосуд, до краев заполненный водой. Какая масса воды выльется?

А	Б	В	Г
1 кг	7,8 кг	2,5 кг	0,5 кг

6. Каков вес тела, масса которого 50 кг?

А	Б	В	Г
50 Н	49 Н	500 Н	490 Н

7. Под воздействием силы 3 Н пружина удлинилась на 2 см. Какова жесткость пружины в Н/см?

А	Б	В	Г
6	1,5	3	5

8. По данному графику $v(t)$ определите величину силы, действовавшей на тело массой 2 кг на протяжении 3 с (рис. 1):

А	Б
3 Н	2 Н
В	Г
1 Н	0

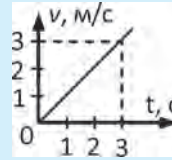


Рис. 1

9. Какая сила толкает человека вперед во время бега?

А	Б	В	Г
сила тяжести	сила реакции опоры	трение покоя	трение скольжения

10. По какому признаку можно определить, что на тело действует нескомпенсированная сила? Тело движется:

А	Б	В	Г
равномерно	с ускорением	равномерно прямолинейно	пребывает в равновесии

11. Парашютист массой 80 кг опускается равномерно с открытым парашютом. Какова величина силы сопротивления воздуха, действующей на него?

А	Б	В	Г
80 Н	800 Н	0	180 Н

9. Плотность жидкости в три раза больше плотности тела. Какая часть объема тела будет находиться над поверхностью жидкости, в которой оно плавает?

А	Б	В	Г
1/3	2/3	1/2	1/4

РЕШИТЕ ЗАДАЧИ

1. Действие силы на тело прекратилось. Сохранит ли оно: а) ускорение, б) скорость?
2. Какая сила может заставить автомобиль массой 2 000 кг увеличить скорость с 10 м/с до 20 м/с за 5 с?
3. Тело массой 2 кг находится на горизонтальной плоскости. Коэффициент трения составляет 0,3. На тело действует горизонтальная сила F , $g = 10$ Н/кг. Определите силу трения для двух случаев: а) $F = 2$ Н, б) $F = 4$ Н.
4. Какую величину равнодействующей двух сил 10 Н и 14 Н можно получить, если они направлены: а) в одну сторону, б) в противоположные стороны?
5. Какая сила не дает развязываться узлам на шнурках ботинок?
6. Подвешенный к тросу груз действует на него с силой 19,6 Н. Какова масса груза?
7. Мальчик массой 50 кг несет рюкзак массой 15 кг. С какой силой мальчик давит на дорогу?
8. Массу снаряда в пушке увеличили вдвое, не изменив количество пороха в гильзе. Как изменилось ускорение снаряда при выстреле?
9. На автомобиль, движущийся равномерно по горизонтальной дороге, действует сила тяги 2 кН и сила трения 0,5 кН. Какая сила сопротивления воздуха действует на автомобиль?
10. Санки массой 80 кг движутся равномерно под действием горизонтальной силы 40 Н. Какой коэффициент трения санок о лед?
11. Сопоставив факт падения яблока и движение Луны вокруг Земли, Ньютон предположил, что причина этих явлений одна – земное тяготение. Чем было это предположение: физическим законом, гипотезой или теорией?
12. Под действием одинаковой силы 5 Н первая пружина удлинилась на 2 см, а вторая – на 2,5 см. Сравните жесткости пружин.
13. Какое усиление можно получить на гидравлической машине, где отношение площадей поршней составляет 1:20?
14. На какой глубине в озере давление воды составляет 300 000 Па? $g = 10$ Н/кг.
15. Какую силу надо приложить к камню массой 10 кг, чтобы оторвать его от дна, если на него действует выталкивающая сила 30 Н? $g = 10$ Н/кг.
16. Каков приблизительный объем человека массой 45 кг?
17. В сосудах с одинаковыми площадями дна (рис. 2) находится вода, уровни которой одинаковы и равняются

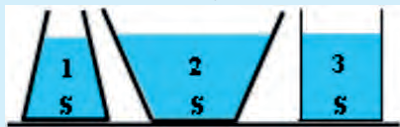


Рис. 2.

h. В котором из сосудов наибольшими являются: а) масса воды, б) давление на дно, в) сила давления на дно? г) В каком сосуде сила давления на дно равняется силе тяжести, которая действует на воду?

18. Два тела разной плотности плавают в воде. а) Которое из тел глубже погружено в воду? б) На которое из тел действует большая выталкивающая сила?

19. Почему при нормальном атмосферном давлении воду поршневым насосом нельзя поднять выше, чем на 10,3 м?

20. Два тела разной массы, но одинакового объема полностью погрузили в воду. Сравните выталкивающие силы, которые действуют на тела.

21. Алюминиевое и железное тела одинаковой массы полностью погрузили в воду. Сравните выталкивающие силы, которые действуют на тела.

22. Судно, погруженное в озеро по ватерлинию, имеет массу 10000 кг. Какой объем воды оно вытесняет?

23. На дно площадью 20 см^2 цилиндрического сосуда с водой положили алюминиевое тело. При этом уровень воды поднялся на 5 см. а) Какова масса тела? б) С какой силой тело давит на дно сосуда? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

24. На весах, которые находятся в герметичном сосуде, алюминиевое тело уравновешено стальными разновесами. Куда сдвинется чаша весов, на которой находится тело, если из сосуда выкачать воздух?

25. В U-образную стеклянную трубку (рис.3), закрытую с правой стороны пробкой, налита вода (ρ). Определите давление воды: а) на пробку, б) в нижней части трубки. Атмосферное давление – p_0 .

26. В горизонтальной закрытой тонкой трубке (рис. 4) находится воздух, разделенный столбиком ртути длиной $h = 3 \text{ см}$. Давление воздуха $p_2 = 750 \text{ мм рт. ст.}$ Каково давление p_1 , в случае, когда: а) трубка горизонтальна, б) трубка вертикальна, p_1 наверху, в) трубка вертикальна, p_2 наверху?

27. Подвешенное за нить к потолку тело массой $m = 0,5 \text{ кг}$ и плотностью 2500 кг/м^3 полностью погружено в воду и находится в равновесии

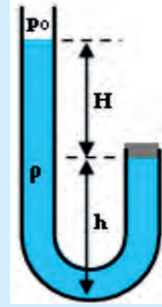


Рис. 3

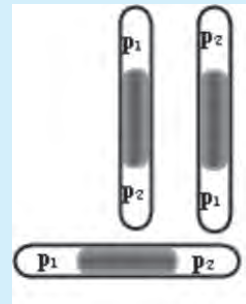


Рис. 4

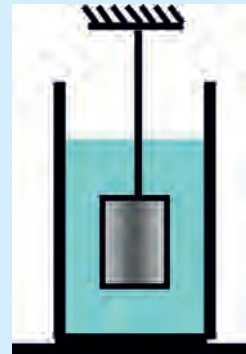


Рис. 5

(рис. 5). **а)** Сколько сил действует на тело, и каковы они по величине и направлению? **б)** Чему равняется равнодействующая F сил, которые действуют на тело? **в)** С какой силой и в каком направлении тело действует на нить в точке подвеса?

28. В сосуде с ртутью плавает стальное тело. Изменится ли глубина погружения тела в ртуть, если в сосуд долить воду?

29. В цилиндрический сосуд массой 300 г, в котором находится вода плотностью? Сосуд с жидкостью уравновешен на весах (рис. 7). После того, как в воду опустили подвешенное на нити металлическое тело, равно-

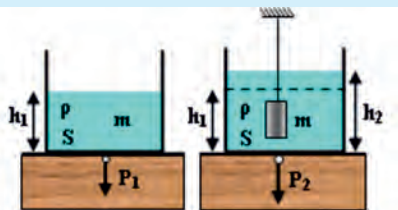


Рис. 6



Рис. 7

весие нарушилось. **а)** Почему чаша с сосудом опустилась, ведь тело висит на нити и не касается дна сосуда? **б)** Каким должен быть вес дополнительного груза, который уравновесил бы весы в новой ситуации?

30. В сосуде с водой (рис. 8) плавает коробка, в которой находится стальное тело. Как изменится уровень воды, если тело переместить на дно сосуда?

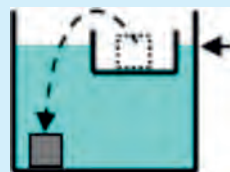


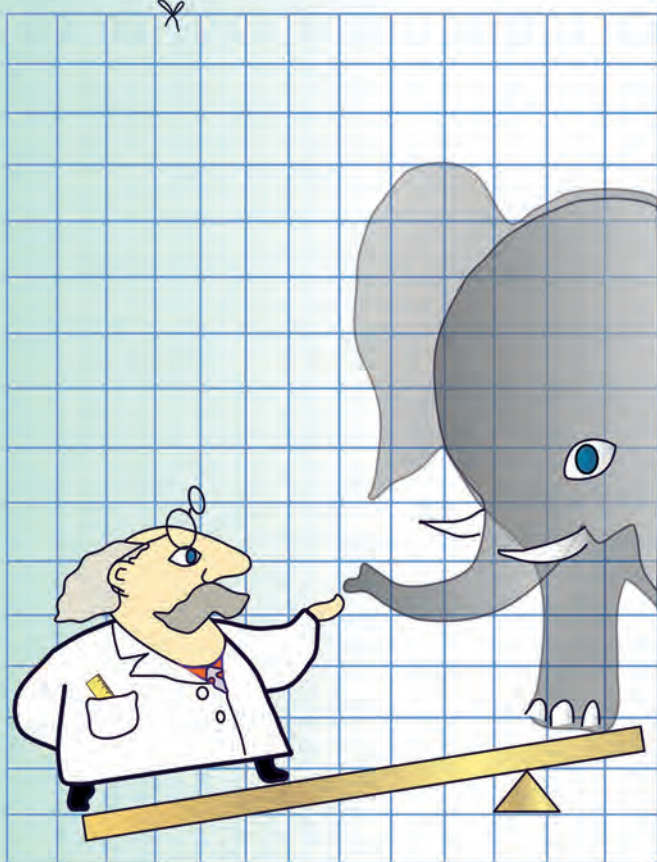
Рис. 8

Раздел 4

Механическая работа и энергия

энергия

механическая работа



§30. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. МОЩНОСТЬ

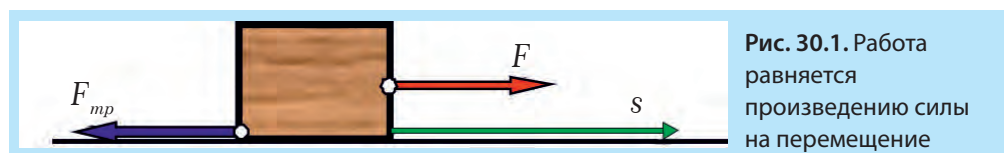
МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

Если на тело действует сила F и тело под действием этой силы осуществляет перемещение s в направлении действия силы, то при этом выполняется работа A , которую вычисляют по формуле:

$$A = F \cdot s, \quad (30.1)$$

где A – работа, а F – сила, направленная параллельно вектору перемещения \vec{s} (рис. 30.1). Формула дает правильный результат лишь при условии, что сила остается постоянной в течение всего процесса перемещения.

Таким образом, работа равняется произведению силы на величину перемещения.



В СИ работа измеряется в джоулях (*Дж*). Единица названа в честь английского физика Джеймса Джоуля, который впервые доказал, что теплота – это разновидность энергии. Согласно формуле (30.1) $Дж = Н \cdot м$: работа величиной в один джоуль (*Дж*) выполняется силой один ньютон (H), которая перемещает тело в направлении действия силы на один метр ($м$).

Если на тело действует несколько сил, то работа каждой силы вычисляется отдельно. Когда сила действует в противоположном перемещению направлении, то ее работа считается отрицательной. Такой может быть, например, работа силы трения: $A_{тр} = -F_{тр} \cdot s$.

Если сила направлена перпендикулярно перемещению, то ее работа равна нулю. Мы, например, не указали на рис. 30.1 силу реакции опоры N и силу тяжести mg , поскольку работу эти силы не выполняют.

► ПРИМЕР 30.1

Тело переместили на расстояние $s = 2 м$, двигая его равномерно в горизонтальном направлении под действием силы $F = 3Н$. Вычислите работу силы F и силы трения $F_{тр}$.

Дано:

$$m = 10 кг$$

$$s = 2 м$$

$$F = 3 Н$$

$$A_F = ?$$

$$A_{тр} = ?$$

Решение.

Работу силы F вычислим по формуле

$$A_F = F \cdot s = 3Н \cdot 2м = 6 Дж.$$

Поскольку тело движется равномерно, то сила F компенсирует действие силы $F_{тр}$, то есть равна ей по величине (и противоположна по направлению):

$$F_{тр} = F = 3Н$$

Работа силы трения равна:

$$A_{тр} = -F_{тр} \cdot s = -3Н \cdot 2м = -6 Дж.$$

Ответ: Работа силы F равна 6 Дж , работа силы трения равна -6 Дж .

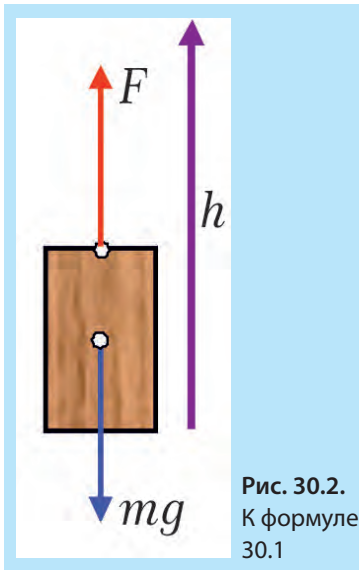


Рис. 30.2.
К формуле
30.1

РАБОТА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ

Если тело равномерно поднимают вверх, преодолевая силу тяжести « mg », или опускают вниз под действием силы тяжести (рис. 30.2), то работа вычисляется по той же формуле (31.1), но перемещение обозначают буквой h :

$$A = mg \cdot h. \quad (30.1)$$

При подъеме работа силы тяжести отрицательна, а работа поднимающей силы – положительна.

ПРИМЕР 30.2

Какая работа была выполнена краном, поднявшим бетонную плиту массой 400 кг на высоту 5 м ? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

Дано:

$$m = 400 \text{ кг}$$

$$h = 2 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$A_{\text{тяж}} = ?$$

Реш'язання.

Очевидно, что кран должен действовать на плиту вверх с силой F , не меньшей, чем mg .

Работу силы F , которая приложена к плите со стороны крана, вычислим по формуле:

$$A_F = F \cdot h = mg \cdot h = 20\,000 \text{ Дж}.$$

Ответ: Кран выполнил работу $20\,000 \text{ Дж}$ (20 кДж).

ГРАФИК СИЛЫ

Начертим график зависимости величины силы « F » от перемещения « s » для случая, когда величина силы не изменяется, а направление силы совпадает с направлением перемещения (рис. 30.3). Легко заметить, что произведение $F \cdot s$ совпадает по численному значению с площадью прямоугольника $abcd$, то есть **работа может быть вычислена как площадь фигуры на графике зависимости силы от перемещения $F(s)$** .

Этот новый способ вычисления работы может пригодиться в случае, когда сила изменяется в процессе перемещения. Если мы растягиваем пружину с некоторой силой F , то величина этой силы увеличивается по мере увеличения удлинения пружины согласно закону Гука. Следовательно, вычислять работу по формуле (30.1) уже нельзя.

Начертим график силы для случая удлинения пружины (рис. 30.4). Работа численно равняется площади треугольника abc , где $ab = x$ – удлинение, а отрезок $bc = F$ – максимальная сила, которая удерживает пружину в удлиненном состоянии.

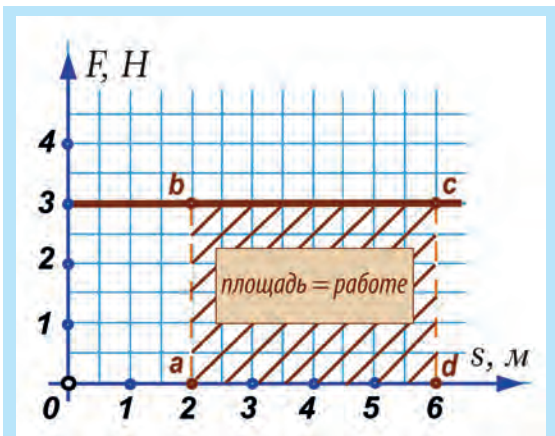


Рис. 30.3. Площадь под графиком силы численно равняется работе

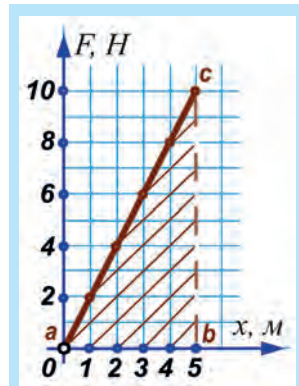


Рис. 30.4. Работа по удлинению пружины численно равняется площади треугольника abc

Таким образом, работа по удлинению пружины равняется:

$$A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x \quad (30.2)$$

Учитывая, что $F = k \cdot x$, формулу (31.2) можно записать и так:

$$A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad (30.3)$$

МОЩНОСТЬ

Скорость выполнения работы называют мощностью и обозначают буквой P . Мощность равняется отношению работы ко времени, в течение которого эта работа была выполнена:

$$P = \frac{A}{t}, \quad (30.4)$$

где A – работа, выполненная за время t .

В СИ мощность измеряется в ваттах (Вт) в честь английского ученого и инженера Джеймса Ватта, который построил первую паровую машину. Согласно (30.4) $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$: при мощности один ватт за одну секунду выполняется работа один джоуль.

На практике часто используются большие единицы мощности – киловатт (кВт) и мегаватт (МВт): $1 \text{ кВт} = 1\,000 \text{ Вт}$, $1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}$.

Если в формуле (31.4) « A » заменить на $F \cdot s$ и учесть, что $v = s / t$, то получим новую полезную формулу, которая позволяет найти мощность, зная силу и скорость:

$$P = F \cdot v \quad (30.5)$$

По формуле (30.5) можно вычислить мощность машины в данный момент времени. Более мощные машины выполняют работу быстрее. Например, мощный двигатель дает возможность автомобилю двигаться с большим ускорением, что улучшает возможности маневрирования.

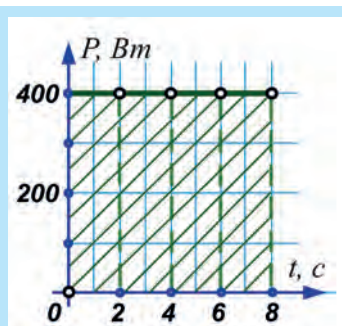


Рис. 30.5. Площадь под графиком $P(t)$ численно равняется работе

По формуле (30.4) можно получить новое выражение для вычисления работы:

$$A = P \cdot t, \quad (30.6)$$

которое справедливо, если мощность машины постоянна на протяжении времени t .

Если построить график зависимости мощности от времени (при постоянной мощности), то станет очевидно, что на графике зависимости мощности от времени площадь фигуры, ограниченной графиком и осью абсцисс, равняется работе (рис. 30.5).

ПРИМЕР 30.3

Электросчетчик (рис. 30.6) определяет потребленную энергию в $\text{кВт} \cdot \text{ч}$. Что это за физическая величина?

Решение: Согласно формуле (30.6), это – работа. Выразим $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ в Дж:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

Ответ: $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ равен работе $3\,600\,000 \text{ Дж}$, або $3,6 \text{ МДж}$.

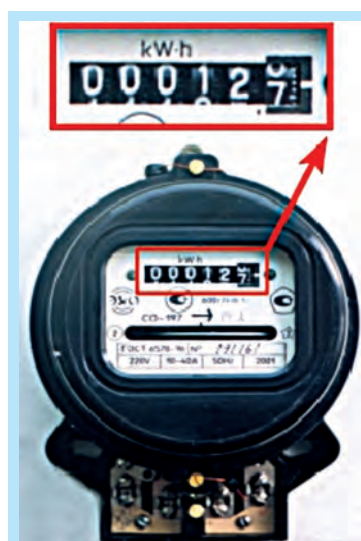


Рис. 30.6. Электросчетчик

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Механическая работа равняется произведению силы на величину перемещения: $A = F \cdot s$.
- ⇒ Когда сила действует в противоположном перемещению направлении, то ее работа считается отрицательной.
- ⇒ Если сила направлена перпендикулярно к перемещению, то ее работа равняется нулю.
- ⇒ Мощность равняется отношению работы ко времени, в течении которого эта работа была выполнена: $P = A / t$.
- ⇒ Работа переменной силы может быть вычислена по площади под графиком $F(s)$.



УПРАЖНЕНИЕ 30

1. При каком условии формула работы дает правильный результат?
2. Какой физический смысл имеет единица работы Дж?
3. В каких случаях сила не выполняет работу?
4. В каких случаях сила выполняет отрицательную работу?
5. Работа какой силы отрицательна?
6. По какой формуле вычисляют работу силы тяжести?
7. Как можно вычислить работу силы, которая изменяется по величине?
8. Как называют физическую величину, которая характеризует скорость выполнения механической работы?
9. Как можно вычислить работу, зная мощность и время работы?
10. Как можно вычислить работу, зная силу тяги автомобиля и его скорость?
11. Перечислите три разных способа расчета работы.
12. В чём преимущество использования мощных машин?
- * 13. **Выполняет ли работу человек, который держит в руке тяжелый чемодан?**
14. Какую работу выполняет сила 10 Н, которая перемещает тело на расстояние 5 м?
15. Какую работу надо выполнить, чтобы ящик массой 40 кг равномерно переместить на 2 м по горизонтальному полу? Сила прикладывается в направлении перемещения. Коэффициент трения ящика о пол равен 0,6. $g = 10 \text{ Н/кг}$.
16. Мяч массой 100 г подбросили на высоту 5 м. Найдите работу силы тяжести при движении мяча: а) вверх; б) вниз.
17. Какую работу нужно выполнить, чтобы поднять из канавы глубиной 5 м на поверхность бетонную глыбу объемом 0,6 м³? Плотность бетона 2600 кг/м³.
18. Найдите работу, которую надо выполнить, чтобы удлинить пружину жесткостью 400 Н/м на 0,02 м.
19. Как изменяется мощность двигателя автомобиля при нажатии на педаль газа?
20. Объясните с помощью формулы (30.5), почему на крутом подъеме необходимо переключиться на пониженную передачу?
21. Какова мощность двигателя, который выполняет работу 3 600 Дж за 1 минуту?
22. Подъемный кран поднял груз 5 т на высоту 16 м за 1 минуту. Какова мощность двигателя крана?
23. Вычислите работу двигателя по графику мощности, приведенному на рис. 30.5: а) за 4 с; б) за 8 с.
- * 24. **Бетонный блок объемом 2 м³ подняли под водой на высоту 1 м. Вычислите выполненную работу. Плотность бетона 2600 кг/м³.**

§31. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ВИДЫ



Рис. 31.1. Использование энергии ветра

ПОНЯТИЕ ЭНЕРГИИ

Понятие энергии – одно из важнейших не только в физике. От количества выработанной энергии и способа ее получения зависит качество нашей жизни. Вспомним такие выражения, как тепловая энергия, энергетический кризис, оплата электроэнергии, энергичный человек, объединенные энергетические системы.

Мы привыкли, что энергия – это определенный ресурс, позволяющий улучшить быт. Производство и распределение энергии всесторонне касается жизни человека. Поэтому надо знать, как она производится, передается и хранится.

Вот некоторые свойства энергии:

1. Тело может иметь, получать и отдавать энергию.
2. Существует множество видов энергии (механическая, тепловая, электрическая...), и она может переходить из одного вида в другой.
3. При определенных условиях энергия может сохраняться.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Если тело может выполнить работу, то оно имеет энергию. Чтобы иметь энергию, нет необходимости выполнять работу, достаточно иметь такую возможность.

Величина энергии равняется максимальной работе, которую тело при определенных обстоятельствах может выполнить. Как и работа, энергия измеряется в Дж.

Есть два вида механической энергии: *потенциальная* и *кинетическая*. Обозначим энергию буквой E . Нижний индекс (значок) в выражениях для энергии около буквы E будет означать: « K » – кинетическая, « P » – потенциальная.



Рис. 31.2. Колесо автомобиля имеет две кинетических энергии – вращательную и поступательную

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Кинетическая энергия (E_K) – это энергия движущихся тел («кинема» по-гречески означает «движение»). Это может быть энергия ветра, потока воды, вращательная энергия массивного маховика. Вычислить кинетическую энергию можно по формуле:

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (31.1)$$

где « m » – масса тела, а « v » – его скорость.

Тело, которое участвует одновременно в двух движениях – поступательном и вращательном – имеет две кинетических энергии, как, например, колесо автомобиля (рис. 31.2). Поступательное движение центра колеса происходит со скоростью автомобиля, а вращательная скорость увеличивается от нуля (центр) до скорости автомобиля (на уровне протектора шин). Возможно, вы видели в фильмах, как продолжают вертеться колеса у перевернувшегося автомобиля – поступательной энергии уже нет, а вращательная еще есть.

▶ ПРИМЕР 31.1

Сравните кинетические энергии: **а)** легкового автомобиля массой 1 500 кг, который движется со скоростью 72 км/ч; **б)** снаряда массой 3 кг, летящего со скоростью 500 м/с.

Решение:

а) Скорость автомобиля $72 \text{ км/год} = 20 \text{ м/с}$. Кинетическая энергия

$$\text{автомобиля: } E_{k1} = \frac{1500 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 300\,000 \text{ Дж, или } 300 \text{ кДж.}$$

Объясним, как получили Дж: $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = (\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2)\text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$.

б) Кинетическая энергия снаряда:

$$E_{k2} = \frac{3 \text{ кг} \cdot 250\,000 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 337\,000 \text{ Дж (375 кДж)}.$$

Замечание. Обратите внимание, что масса снаряда в 500 раз меньше массы автомобиля, в то время как его скорость больше лишь в 25 раз. Однако кинетическая энергия снаряда оказалась больше, поскольку выражение

$\frac{m \cdot v^2}{2}$ зависит от скорости в квадрате, в то время как масса входит в формулу в первой степени.

Кинетическую энергию ветра используют очень давно. В наше время модернизированные ветряные мельницы вырабатывают значительное количество электричества (рис. 31.3). Электротранспорт преобразует часть своей энергии движения в электрическую энергию, когда уменьшает скорость перед остановкой.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Потенциальная энергия тела (E_p) – это **энергия возможности** (от англ. *potential* – потенциал, возможность). Такую энергию имеют неподвижные тела вследствие взаимодействия и взаимного расположения.

Потенциальная энергия тяжести. Рассмотрим неподвижное тело массой m , которое нахо-



Рис. 31.3. Кинетическую энергию ветра ветросиловые установки преобразуют в электрическую энергию

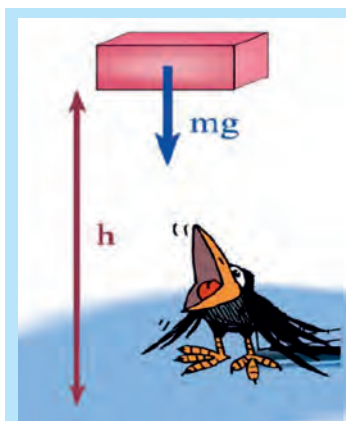


Рис. 31.4. Потенциальную энергию тяжести тело имеет уже потому, что притягивается Землей и находится на определенной высоте



Рис. 31.5. Энергия поднятой плотинной воды

дится на высоте h (рис. 31.4). На это тело действует сила тяжести mg , и если дать телу возможность упасть, то эта сила выполнит работу $A = mgh$. Поскольку запас энергии равняется наибольшей работе, которую тело может выполнить при данных условиях, то **энергия тела, находящегося на некоторой высоте над землей**, составляет:

$$E_p = mgh \quad (31.2)$$

Тело, находясь на некоторой высоте « h », имеет энергию уже только потому, что оно притягивается Землей и может упасть. Тело, лежащее на полу, не имеет потенциальной энергии относительно пола, хотя на него действует сила тяжести. Заметим, что начало отсчета высоты « h » может быть разным, поэтому о потенциальной энергии тяжести можно говорить лишь по отношению к выбранному начальному (**нулевому**) уровню.

Если тело находится ниже нулевого уровня, например, в яме, то его **потенциальная энергия отрицательна**. Это значит, что за счет этой энергии тело не может выполнить работу при перемещении на нулевой уровень. Более того, чтобы поднять тело на этот уровень, придется кому-то выполнять положительную работу, которая по величине равняется потенциальной энергии тела.

Потенциальную энергию люди также используют издавна. Вспомните водяные мельницы или старинные часы с гирями. Когда строят гидроэлектростанцию (ГЭС), то реку перекрывают плотиной, чтобы поднять уровень воды (рис. 31.5). Падая вниз, вода вращает турбины генераторов и выполняет работу. Чем выше плотина и чем больше воды несет река, тем больше электроэнергии производит ГЭС.

▶ ПРИМЕР 31.2

Какова масса тела, поднятого на высоту 20 м, если его потенциальная энергия составляет 300 кДж?

Решение. Очевидно, что речь идет о потенциальной энергии тяжести, поэтому $E_p = mgh$.

Отсюда $m = E_p / (gh) = 300\,000 \text{ Дж} / (10 \text{ Н/кг} \cdot 20 \text{ м}) = 1500 \text{ кг}$.

Ответ: масса тела равна 1 500 кг или 1,5 т.

Замечание. 300 кДж – это кинетическая энергия автомобиля из примера 30.1. Интересно, что если бы автомобиль на каком-либо трамплине под-

прыгнул вертикально вверх, а его кинетическая энергия полностью перешла в потенциальную, то он смог бы подняться на высоту 20 м.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ УПРУГО ДЕФОРМИРОВАННОГО ТЕЛА

Если удлинение пружины жесткости « k » составляет « x », то она может выполнить работу $A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$ (або $A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$) при условии, что пружине будет дана возможность вернуться в недеформированное состояние. Следовательно, потенциальная энергия деформированной пружины составляет:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x \text{ или } E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2, \quad (31.3)$$

где « F » – сила, которая удерживает пружину в удлиненном на « x » состоянии.

Накручивая пружину механических часов, мы сообщаем ей запас потенциальной энергии, которая затем будет затрачена на приведение в движение механизма и стрелок. Часы остановятся после того, как пружина опять распрямится и истратит свою энергию.

ПОЛНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Тело может одновременно иметь несколько видов механической энергии: как потенциальной, так и кинетической. Полная механическая энергия « E » тела равняется сумме поступательной и вращательной кинетических энергий, а также потенциальных энергий упругой деформации и тяжести:

$$E = E_{\text{Кинет.}} + E_{\text{Квращ.}} + E_{\text{Ртяж.}} + E_{\text{Рупруг.}} \quad (31.4)$$

ПРИМЕР 31.3

Самолет массой 30 т летит на высоте 10 000 м со скоростью 720 км/ч. Вычислите его полную механическую энергию ($g = 10 \text{ Н/кг}$).

Дано:

$$h = 10\,000 \text{ м}$$

$$v = 720 \text{ км/ч}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$E = ?$$

Решение.

Самолет имеет поступательную кинетическую энергию и потенциальную энергию тяготения. Следовательно, полная механическая энергия составляет:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + mgh,$$

Преобразуем скорость самолета в единицы СИ:

$$720 \text{ км/ч} = 200 \text{ м/с}.$$

$$E = \frac{30\,000 \text{ кг} \cdot (200 \text{ м/с})^2}{2} + 30\,000 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 10\,000 \text{ м} =$$

$$= 600\,000\,000 \text{ Дж} + 3\,000\,000\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ МДж}$$

Ответ: полная механическая энергия самолета равна 3600 МДж.

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Энергия характеризует возможность тела выполнить работу. Величина энергии равняется наибольшей работе, которую тело может выполнить при данных условиях.
- ➔ Есть два вида механической энергии – кинетическая (энергия движущихся тел) и потенциальная (энергия возможности).
- ➔ Кинетическая энергия вычисляется по формуле: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$.
- ➔ Потенциальная энергия тяготения вычисляется по формуле $E_p = mgh$; упругой деформации – $E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$ або $E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$. Полная механическая энергия тела « E » равняется сумме кинетических и потенциальных энергий тела.



УПРАЖНЕНИЕ 31

1. При каком условии тело имеет энергию?
2. Какой вид энергии имеют: **а)** тело, поднятое на некоторую высоту; **б)** деформированное тело; **в)** движущееся тело?
3. Какую работу надо выполнить, чтобы: **а)** тело массы « m » поднять на высоту « h », **б)** пружине жесткости « k » придать удлинение « x », **в)** телу массы « m » придать скорость « v »?
4. Какие виды механической энергии имеет летящий самолет?
5. Как вычисляют полную механическую энергию?
6. На одинаковой высоте находятся железное и алюминиевое тела одинакового объема. Какое из них имеет большую потенциальную энергию?
7. Какой вид энергии имеют: **а)** ветер, **б)** поднятая плотиной вода, **в)** вода, падающая на лопасти турбины ГЭС?
8. Как могут два тела разной массы иметь одинаковую кинетическую энергию?
9. Почему трудно бегать по песку?
10. Скорость тела увеличилась в пять раз. Во сколько раз увеличилась его кинетическая энергия?
11. Чем отличается потенциальная энергия люстры, вычисленная относительно стола и относительно пола?
12. Удлинение одной из двух одинаковых пружин втрое больше, чем другой. Во сколько раз отличаются их потенциальные энергии?
13. Две пружины разной жесткости растянуты одинаково. Во сколько раз отличаются их потенциальные энергии?
14. Тело массой 4 кг находится на высоте 10 м. Вычислите энергию этого тела.
15. Тело массой 8 кг движется со скоростью 18 км/ч. Вычислите энергию этого тела.
16. Пружина жесткостью 150 Н/см сжата на 4 см. Каков запас энергии пружины?
17. Вертолет массой три тонны поднялся на высоту 200 м. Какую работу выполнили его двигатели и на что она затрачена? $g = 10$ Н/кг.
- * 18. Какой будет потенциальная энергия пружины динамометра, если ее растянуть от нулевой отметки до отметки: **а)** 1 Н; **б)** 2 Н? Жесткость пружины 200 Н/г.

- * 19. Пружину сначала удлинили из недеформированного состояния до отметки 10 Н, а потом до отметки 20 Н. Во сколько раз работа во втором случае больше, чем в первом? Решите задачу также с помощью графика.

§32. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

В природе и технике постоянно происходят преобразования энергии из одного вида в другой. Перекрывая реку плотиной гидроэлектростанции, добиваются того, что вода поднимается на значительную высоту и приобретает огромную потенциальную энергию. Падая вниз, вода увеличивает свою кинетическую энергию, за счет которой она вращает лопасти гидротурбин. Те, в свою очередь, вращают электрогенераторы, которые производят электрическую энергию.

Рассмотрим для примера падение мячика с определенной высоты (рис. 32.1). Когда мячик опускается, его потенциальная энергия уменьшается, скорость растет, а с ней растет и кинетическая энергия. Около самой земли потенциальная энергия уменьшится до нуля и полностью перейдет в кинетическую энергию, которая достигнет своего наибольшего значения. Далее кинетическая энергия начнет переходить в энергию упругой деформации мячика, который сжимается.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Многочисленные и достаточно точные опыты показали, что кинетическая энергия увеличивается ровно настолько, насколько уменьшается потенциальная, если только можно пренебречь работой силы трения, то есть сумма потенциальной и кинетической энергии остается постоянной (сохраняется) при отсутствии силы трения. Другими словами, полная механическая энергия тела сохраняется, если на тело не действуют силы трения, или если они малы и ими можно пренебречь.



Рис. 32.1. Переход потенциальной энергии мяча в кинетическую энергию



Рис. 32.2. Потенциальная энергия деформированного лука перешла в кинетическую энергию стрелы, которая в свою очередь перешла в потенциальную энергию тяжести

Если $E_1 = E_{K1} + E_{P1}$ – полная механическая энергия тела в одном состоянии, а $E_2 = E_{K2} + E_{P2}$ – в другом состоянии, то $E_1 = E_2$, то есть энергия сохраняется при условии отсутствия действия сил трения.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

▶ ПРИМЕР 32.1

Скорость стрелы во время выстрела из лука (рис. 32.2) составляет 20 м/с. На какую наибольшую высоту она может подняться? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:

$$v = 720 \text{ км/ч}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$h = ?$$

Решение.

В качестве нулевого уровня потенциальной энергии выбираем место выстрела. В таком случае на момент выстрела тело имеет лишь кинетическую энергию, и его полная энергия составляет:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

При достижении наивысшей точки скорость тела стала равняться нулю, и полная энергия состоит только из потенциальной: $E_2 = mgh$. Сила трения об воздух мала, и ею можно пренебречь, поэтому $E_1 = E_2$, что дает:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = mgh. \text{ Отсюда } h = \frac{v^2}{2g} = \frac{400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 20 \text{ м}.$$

Ответ: При условии отсутствия трения стрела может подняться на высоту 20 м.

Обсуждение результатов.

а) Высота 20 м была достигнута при условии отсутствия трения (то есть потерь энергии). Реальная высота подъема будет несколько меньшей.

б) Масса тела в процессе расчета сократилась. Это значит, что тело произвольной массы, которому придали скорость 20 м/с, достигнет высоты 20 м. Если этот факт вас удивляет, то попробуйте решить этот парадокс.

▶ ПРИМЕР 32.2

Тело массой 3 кг падает с высоты 8 м. Какова будет его скорость в момент касания поверхности? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение. Подобно предыдущей задаче, $mgh = \frac{m \cdot v^2}{2}$, отсюда:

$$v^2 = 2gh, v^2 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 8 \text{ м} = 160 \text{ м}^2/\text{с}^2, v = 16 \text{ м/с}.$$

Ответ: тело достигнет скорости 16 м/с.

▶ ПРИМЕР 32.3

Игрушечный пружинный пистолет, жесткость пружины которого 1 Н/см, зарядили шариком массой 20 г и сжали пружину на 10 см. С какой скоростью вылетит шарик при выстреле?

Решение. Прежде чем решать задачу, надо перевести единицы измерения в систему СИ:

$$1 \text{ Н/см} = 100 \text{ Н/м}, \quad 20 \text{ г} = 0,02 \text{ кг}, \quad 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}.$$

Энергия сжатой пружины составляет $E_1 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$. Когда пружина выровнялась, то потенциальная энергия деформации пружины перешла в кинетическую энергию шарика, которая равна $E_2 = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Согласно закону сохранения энергии, должно выполняться равенство $E_1 = E_2$, то есть

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{m \cdot v^2}{2}. \quad \text{Отсюда } v^2 = \frac{k \cdot x^2}{m}, \quad v^2 = \frac{100 \text{ Н/м} \cdot 0,01 \text{ м}^2}{0,02 \text{ кг}} = 50 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

$v \approx 7 \text{ м/с}.$

Ответ: шарик будет иметь скорость приблизительно 7 м/с.

ЭНЕРГИЯ И РАБОТА

Напомним, что работу можно вычислить:

1. По формуле $A = F \cdot s$, если сила постоянна.
2. По графику силы – как площадь под графиком.
3. Через мощность, как $A = P \cdot t$. Исходя из определения энергии, можно еще одним способом вычислять работу:
4. **Работа силы равняется изменению энергии тела** в результате действия этой силы.

Если полная энергия тела увеличивается, то это значит, что какая-то сила выполняет положительную работу. Тогда **увеличение полной энергии тела равняется работе** этой силы: $A = E_2 - E_1$. Если полная энергия тела уменьшается, то это значит, что некая сила выполняет отрицательную работу. Сила трения скольжения, например, выполняет отрицательную работу, и потому в равенстве $A_{\text{тр}} = E_2 - E_1$, $A_{\text{тр}} < 0$, поскольку $E_2 < E_1$.

Таким образом, **изменение механической энергии является следствием выполнения работы, а выполнение работы приводит к изменению энергии.**



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 32.1.** Исследуйте, как отскакивает теннисный мячик от разных предметов: стола, тетради, ковра, ракетки, камней на берегу реки и т. п. Может ли мячик подпрыгнуть на высоту, большую, чем та, с которой он упал?

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Энергия не возникает из ничего и не исчезает бесследно. Она лишь переходит из одного вида в другой.
- ➔ Закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия тела не изменяется, если нет потерь на трение.
- ➔ Механическая работа может быть вычислена как изменение полной механической энергии.



УПРАЖНЕНИЕ 32

1. Какие преобразования энергии происходят при падении мяча?
2. За счет какой энергии работают турбины ГЭС?
3. При каких условиях сохраняется полная механическая энергия тела?
4. Если полная энергия тела сохраняется, то как изменяется потенциальная энергия тела при уменьшении его кинетической энергии?
5. Какие способы вычисления механической работы вы знаете?
6. Мяч падает с определенной высоты. Как изменяются его: а) кинетическая; б) потенциальная; в) полная энергия? Трением можно пренебречь.
7. Почему мяч, который упал с некой высоты на землю и отскочил, уже не может подняться на предыдущую высоту?
8. Почему мяч, который упал в песок, вообще не подскакивает?
9. Куда делась потенциальная энергия силы тяжести мяча в момент наибольшей деформации при падении на пол (рис. 32.1)?
10. Известны высота, с которой упал мяч, его масса и скорость в момент падения. Как можно найти работу силы трения о воздух при падении мяча?
- * 11. Какую скорость нужно придать мячику, чтобы подбросить его вверх на высоту 5 м? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
12. Какую скорость могла бы приобрести капля дождя, упав с высоты 2 км, если бы не было сил трения и сопротивления воздуха? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
- * 13. Пружинный пистолет стреляет шариками массой 5 г. Перед выстрелом пружина жесткостью 5 Н/см сжимается на 10 см. а) Какую энергию имеет сжатая пружина? б) Какую скорость имеет шарик в момент вылета из дула? в) На какую максимальную высоту можно выстрелить таким пистолетом? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
14. Какую работу нужно выполнить, чтобы натянуть тетиву лука в примере 32.1? Масса стрелы составляет 200 г.
15. Потенциальная энергия тела при его падении уменьшилась на 20 Дж. На какую величину увеличилась его кинетическая энергия, если считать трение очень малым?
16. Автомобиль массой 1,5 т увеличил скорость с 36 км/ч до 54 км/ч за 5 с. Какую среднюю мощность развивал при этом двигатель?
17. Стартуют два автомобиля. За одно и то же время после старта первый набрал скорость, вдвое большую скорости второго. Во сколько раз средняя мощность двигателя первого автомобиля больше, чем двигателя второго автомобиля?
18. Скорость автомобиля массой 5 тонн, движущегося по горизонтальной дороге, уменьшилась с 72 км/ч до 54 км/ч. Какую работу выполнила сила трения?
19. Какой физической величине соответствует выражение: $F \cdot s / t$?

§33. МОМЕНТ СИЛЫ. УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

Рычаг – простейший и едва ли не самый древний механизм, используемый человеком. Ножницы, кусачки, лопата, двери, весло, руль и рычаг переключения передач в автомобиле – все они действуют по принципу рычага. Уже при строительстве египетских пирамид рычагами поднимали камни массой свыше 10 тонн.

РЫЧАГ. ПРАВИЛО РЫЧАГА

Рычагом называют стержень, который может вращаться вокруг некоторой неподвижной оси. Ось O перпендикулярна к плоскости рисунка 33.1. На правое плечо рычага длиной l_2 действует сила F_2 , а на левое плечо рычага длиной l_1 действует сила F_1 . Длину плеч рычага l_1 и l_2 измеряют от оси вращения O до соответствующих линий действия сил F_1 и F_2 .

Пусть силы F_1 и F_2 таковы, что **рычаг не вращается**. Опыты показывают, что в этом случае выполняется условие

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad (33.1)$$

Перепишем это равенство по-другому:

$$F_1/F_2 = l_2/l_1 \quad (33.2)$$

Смысл выражения (33.2) таков: во сколько раз плечо l_2 длиннее плеча l_1 , во столько же раз величина силы F_1 больше величины силы F_2 . Это утверждение называют правилом рычага, а отношение F_1/F_2 – **выигрышем в силе**.

Получая выигрыш в силе, мы проигрываем в расстоянии, поскольку нужно сильно опустить правое плечо, чтобы немного поднять левый конец плеча рычага.

Зато весла лодки закреплены в уключинах так, что мы тянем за короткое плечо рычага, прикладывая значительную силу, но зато получаем выигрыш в скорости на конце длинного плеча (рис. 33.2).

Если силы F_1 и F_2 равны по величине и направлению, то рычаг будет пребывать в равновесии при условии, что $l_1 = l_2$, то есть ось вращения, находится посередине. Конечно, никакого выигрыша в силе в этом случае мы не получим. Руль автомобиля устроен еще интереснее (рис. 33.3).

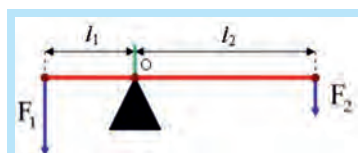


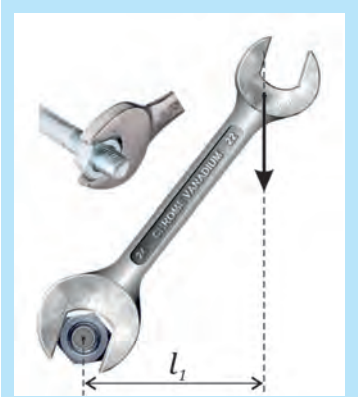
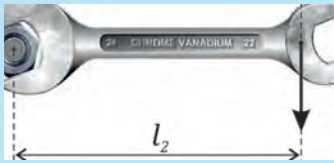
Рис. 33.1. Рычаг



Рис. 33.2. Весла дают выигрыш в скорости



Рис. 33.3. Сколько рычагов вы видите на этой фотографии?


 Рис. 33.4. Плечо l_1 силы F

 Рис. 33.5. Плечо l_2 максимальное из возможных

МОМЕНТ СИЛЫ. УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

Плечом силы l называют кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы. В случае на рис. 33.4, когда линия действия силы F образует острый угол с гаечным ключом, плечо силы l_1 меньше плеча l_2 в случае на рис. 33.5, где сила действует перпендикулярно ключу.

Произведение силы F на длину плеча l называют моментом силы и обозначают буквой M :

$$M = F \cdot l \quad (33.3)$$

Момент силы измеряется в Н·м. В случае на рис. 33.5 гайку повернуть легче, потому что момент силы, с которой мы действуем на ключ, больше.

Из соотношения (33.1) следует, что в случае, когда на рычаг действуют две силы (рис. 33.1), условие отсутствия вращения рычага заключается в том, что момент силы, которая пытается его вращать по часовой стрелке ($F_2 \cdot l_2$), должен равняться моменту силы, которая пытается вращать рычаг против часовой стрелки ($F_1 \cdot l_1$).

Если на рычаг действует более двух сил, правило равновесия рычага звучит так: **рычаг не вращается вокруг неподвижной оси, если сумма моментов всех сил, которые вращают тело по часовой стрелке, равняется сумме моментов всех сил, которые вращают его против часовой стрелки.**

Если моменты сил не уравновешены, рычаг вращается в ту сторону, куда его вращает больший по сумме момент.

ПРИМЕР 33.1

К левому плечу рычага длиной 15 см подвесили груз массой 200 г. На каком расстоянии от оси вращения нужно подвесить груз массой 150 г, чтобы рычаг находился в равновесии?

Дано:

$$m_1 = 200 \text{ г}$$

$$m_2 = 150 \text{ г}$$

$$l_1 = 15 \text{ см}$$

$$l_2 = ?$$

Решение.

Момент первого груза (рис. 33.6) равен:

$$M_1 = m_1 g \cdot l_1.$$

Момент второго груза: $M_2 = m_2 g \cdot l_2$.

Согласно правилу равновесия рычага,

$$M_1 = M_2 \text{ или } m_1 g \cdot l_1 = m_2 g \cdot l_2. \text{ Отсюда } l_2 = \frac{m_1 \cdot l_1}{m_2}.$$

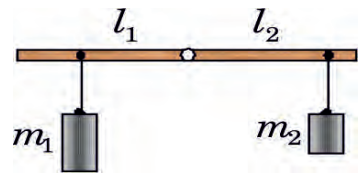


Рис. 33.6

$$\text{Вычисление: } l_2 = \frac{200 \text{ г} \cdot 15 \text{ см}}{150 \text{ г}} = 20 \text{ см.}$$

Ответ: длина правого плеча рычага в положении равновесия составляет 20 см.



ОПЫТ 33.1

Оборудование: легкий и достаточно крепкий провод длиной приблизительно 15 см, скрепки, линейка, нить.

Ход работы. Наденьте на провод нитяную петлю. Примерно посередине провода туго ее затяните. Затем подвесьте провод на нити (прикрепив нить, скажем, к настольной лампе). Установите провод в равновесии, передвигая петлю.

Нагрузите рычаг с двух сторон от центра цепочками из разного количества скрепок и добейтесь равновесия (рис. 33.7). Измерьте длины плеч l_1 и l_2 с точностью до 0,1 см. Силу будем измерять в «скрепках». Запишите результаты в таблицу.



Рис. 33.7. Исследования равновесия рычага

N_1 – скрепок слева	l_1 , см	N_2 – скрепок справа	l_2 , см	$A = N_1 \cdot l_1$, скр. · см	$B = N_2 \cdot l_2$, скр. · см

Сравните величины А и В. Сделайте выводы.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Проблемы точного взвешивания

Рычаг используют в весах, и от того, насколько точно совпадает длина плеч, зависит точность взвешивания.

Современные аналитические весы могут взвешивать с точностью до одной десятичной части грамма, то есть до 0,1 мкг (рис. 33.8). Причем есть две разновидности таких весов: одни для взвешивания легких грузов, другие – тяжелых. Первую разновидность вы можете увидеть в аптеке, ювелирной мастерской или химической лаборатории.

На весах для взвешивания больших грузов можно взвешивать грузы весом до тонны, но при



Рис. 33.8. Современные аналитические весы

этом они остаются очень чувствительными. Если ступить на такие весы, после чего выдохнуть воздух из легких, то весы среагируют.

Ультрамикровесы измеряют массу с точностью до $5 \cdot 10^{-11}$ г (пять стотомиллиардных долей грамма!).

При взвешивании на очень точных весах возникает много проблем:

а) как ни старайся, плечи коромысла все равно не одинаковы.

б) чаши весов хотя и мало, но отличаются по массе.

в) начиная с определенного порога точности, весы начинают реагировать на выталкивающую силу воздуха, которая для тел обычных размеров очень мала.

г) при размещении весов в вакууме от этого недостатка можно избавиться, но при взвешивании очень маленьких масс начинают чувствоваться удары молекул воздуха, откатать который полностью невозможно никаким насосом.

ДВА СПОСОБА ПОВЫСИТЬ ТОЧНОСТЬ НЕРАВНОПЛЕЧНЫХ ВЕСОВ

1. Метод тарирования. Уравновесим груз с помощью сыпучего вещества, например, песка. Потом снимем груз и разновесами уравновесим песок. Очевидно, что масса разновесов равняется истинной массе груза.

2*. Метод поочередного взвешивания. Взвешиваем груз на чаше весов, которая находится, например, на плече длиной l_1 . Пусть масса разновесов, которая приводит к уравновешиванию весов, равняется m_2 . Потом взвесим этот же груз в другой чаше, которая находится на плече длиной l_2 . Получим несколько иную массу разновесов m_1 . Но в обоих случаях настоящая масса груза равняется m . При обоих взвешиваниях выполнялись условия: $m \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$ и $m \cdot l_2 = m_1 \cdot l_1$. Решая систему этих уравнений, получим: $m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$.



ТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

33.1. Сконструируйте весы, на которых можно взвесить песчинку, и опишите проблемы, с которыми вы столкнулись при выполнении этого задания..

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ➔ Плечом силы l называют кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.
- ➔ Моментом силы называют произведение силы на плечо: $M = F \cdot l$.
- ➔ Рычаг не вращается, если сумма моментов всех сил, которые вращают тело по часовой стрелке, равняется сумме моментов всех сил, которые вращают его против часовой стрелки.



УПРАЖНЕНИЕ 33

1. В каком случае рычаг дает выигрыш в силе?
2. В каком случае легче закрутить гайку: *рис. 33.4* или *33.5*?
3. Почему дверная ручка максимально удалена от оси вращения?
4. Почему согнутой в локте рукой можно поднять больший груз, чем вытянутой?
5. Длинный стержень более легко удерживать в горизонтальном положении, держа его за середину, чем за конец. Почему?
6. Прикладывая силу 5 Н к плечу рычага длиной 80 см, мы хотим уравновесить силу 20 Н. Какой должна быть длина второго плеча?
- * 7. Допустим, что силы (*рис. 33.3*) одинаковы по величине. Почему они не уравновешиваются?
8. Какой предмет можно уравновесить на весах так, чтобы со временем равновесие нарушилось само собой, без внешних воздействий?
- * 9. Есть 9 монет, одна из них – фальшивая. Она тяжелее других. Предложите процедуру, с помощью которой фальшивую монету можно однозначно выявить за минимальное количество взвешиваний. Разновесы для взвешивания отсутствуют.
10. Почему груз, масса которого меньше порога чувствительности весов, не нарушает их равновесия?
11. Зачем точное взвешивание проводят в вакууме?
- * 12. В каком случае точность взвешивания на рычажных весах не будет зависеть от действия силы Архимеда?
13. Как определяют длину плеча рычага?
14. Как вычисляют момент силы?
15. Сформулируйте правила равновесия рычага.
16. Что называют выигрышем в силе в случае рычага?
17. Почему гребец берется за короткое плечо рычага?
18. Сколько рычагов можно увидеть на *рис. 33.3*?
19. Какие весы называют аналитическими?
20. Объясните смысл формулы (33.2).



ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

До наших времен дошла история о том, как царь Сиракуз Гиерон приказал построить большой трехпалубный корабль – триеру (*рис. 33.9*). Но когда корабль был готов, оказалось, что его не удастся сдвинуть с места даже усилиями всех жителей острова. Архимед придумал механизм, который состоял из рычагов и позволял спустить корабль на воду одному человеку. Об этом событии рассказал римский историк Витрувий.



Рис. 33.9. Триера

§34. ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Машина – это устройство, которое осуществляет механическое движение для преобразования энергии. Термин «машина» (лат. *machina*) означает механизм, устройство, конструкция. Термин «механизм», в свою очередь, происходит от греческого «механе» – двигать.

Простая машина – это механизм, который изменяет направление или величину силы без потребления энергии.



Рис. 34.1. Подвесная дорога



Рис. 34.2. Блок изменяет направление действия силы

Сложные машины, которыми сейчас пользуются, содержат так называемые простые механизмы. Простые механизмы можно разделить на две группы:

1. Рычаг, блок, ворот, лебедка, кабестан, полиспаст: их работа сводится к принципу действия рычага.
2. Наклонная плоскость, винт и клин, работу которых можно свести к принципу наклонной плоскости.

БЛОК КАК РЫЧАГ

Блок – колесо с желобом и осью вращения – используется в кранах (рис. 34.1), экскаваторах, подвесных дорогах и т. п. По желобу движется трос, который тянет или поддерживает грузы. Если ось блока закреплена, то он называется неподвижным (рис. 34.2) и используется для изменения направления действия силы.

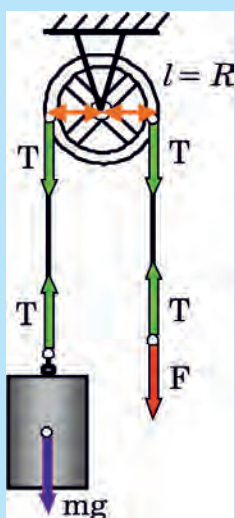


Рис. 34.3. Неподвижный блок – это тот же рычаг

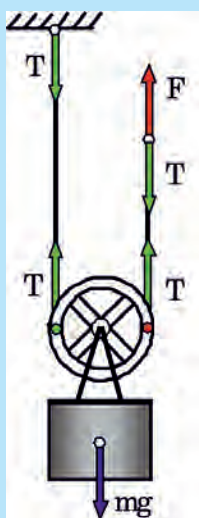


Рис. 34.4. Подвижный блок дает двукратный выигрыш в силе

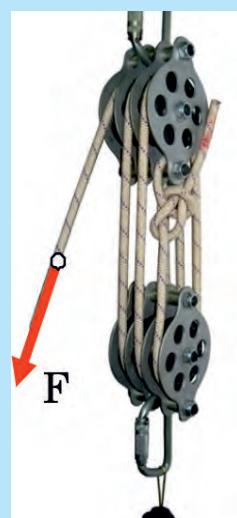


Рис. 34.5. Полиспаст

У рычага есть недостаток – он имеет ограниченное пространство действия. Повернув плечо рычага на некоторый небольшой угол, нужно вернуть его в предыдущее положение и начинать все сначала. Блок позволяет сделать процесс выполнения работы непрерывным. Рассмотрим принцип действия неподвижного блока с помощью *рис. 34.3*. Сила F , с которой мы действуем на правый конец троса вниз, позволяет поднимать груз вверх, и это удобнее, чем непосредственно поднимать груз.

Сила тяжести mg уравновешена направленной вверх силой натяжения левого конца троса T . Такие же по величине силы натяжения T действуют со стороны троса вниз на блок. Плечи этих сил (они указаны оранжевыми стрелками) одинаковы – следовательно, выигрыша в силе мы не получили. Правый конец троса можно тянуть также в сторону или горизонтально, в таком случае блок называют направляющим.

ПОДВИЖНЫЙ БЛОК

Рассмотрим *рис. 34.4*. Направленная вверх сила F , которая действует на правый конец троса, уравновешена силой натяжения троса T , направленной вниз. Величина сил натяжения в любой точке троса одинакова. Две направленные вверх силы натяжения T , действующие на блок, уравновешивают силу тяжести mg , которая действует на груз вниз. Следовательно, величина силы натяжения в тросе вдвое меньше веса груза. Прикладывая силу F , мы получаем выигрыш в силе в два раза.

Если тянуть за ось блока вниз с некоторой скоростью, то правый конец троса будет двигаться со вдвое большей скоростью, то есть подвижный блок можно использовать и для выигрыша в скорости.

Можно объяснить выигрыш в силе, который дает подвижный блок и по-другому: плечо силы F относительно точки O вдвое больше плеча силы mg .

Если применить много подвижных блоков, соединив их в две группы, то получим полиспаст (*рис. 34.5*). Полиспаст дает многократный выигрыш в силе.



ОПЫТ 34.1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛОСИПЕДА»

Пусть кто-нибудь удерживает велосипед, чтобы он не опрокинулся. Установите педали так, чтобы одна из них занимала самое нижнее положение. Куда начнет двигаться велосипед, если вы потянете за эту педаль назад, действуя с силой параллельно дороге? Дайте сначала ответ, рассуждая теоретически, а потом проверьте вашу теорию на опыте.



ТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 34.1. Какой наибольший выигрыш в скорости можно получить при передаче усилия педалей на ведущее колесо, и при каких условиях? Получите числовой результат на конкретном велосипеде.
- 34.2. Каким образом сохраняет равновесие велосипедист во время езды?

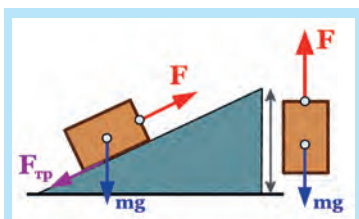


Рис. 34.6. Перемещать тело по наклонной плоскости легче, чем поднять вертикально вверх

34.6), тем меньше, чем меньший угол наклона плоскости к горизонту, и она всегда меньше силы тяжести $F_{\text{тяж}} = mg$, которая действует на тело. Тяжелые каменные блоки, из которых строили египетские пирамиды, тянули вверх по наклонной насыпи. Чем выше становилась пирамида, тем более длинной приходилось делать насыпь.

Разновидностями наклонной плоскости являются клин, винт, лемех плуга, шнек мясорубки (дальний потомок винта Архимеда).

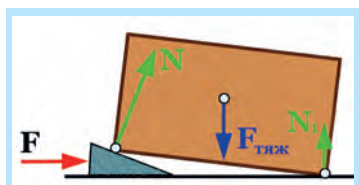


Рис. 34.7. Сила N , которая поднимает ящик, больше силы F , с которой мы подбиваем клин

КЛИН

Вместо того, чтобы тянуть тело по наклонной плоскости, можно наклонную плоскость двигать под телом. Так делают, когда нужно приподнять очень тяжелый предмет (рис. 34.7). Чем более острый клин, тем с меньшей силой его надо подбивать (но и тем меньший эффект подъема).

Клин под действием не слишком большой силы удара молотка распирает половинки колоды, действуя на них со значительно большей силой. Подобным образом топор или колун расщепляют полено. Нож также является разновидностью клина, и чем острее он будет, тем легче им резать.

ВИНТ

Следующей модификацией наклонной плоскости является винт. Резьба винта является наклонной плоскостью, обвивающей цилиндр. Наклон такой плоскости можно сделать очень маленьким (за счет малого шага винта), а саму плоскость – очень длинной.



ОПЫТ 34.2

Начертите на листе бумаги для чертежей наклоненную прямую АВ, оставив полосу для склеивания шириной 0,5 см, как указано на рис. 34.8. Сверните лист в цилиндр и склейте его так, чтобы точка В оказалась в точности над точкой А. Вы убедитесь, что прямая АВ превратилась в спираль.

Шаг спирали (расстояние АВ на поверхности цилиндра) будет тем меньшим, чем меньше угол, под которым вы провели линию АВ на листе.

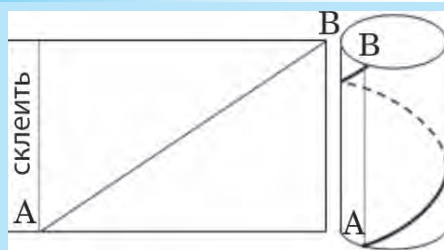


Рис. 34.8. Прямая АВ при свертывании листа в цилиндр превращается в винтовую линию (склеить)

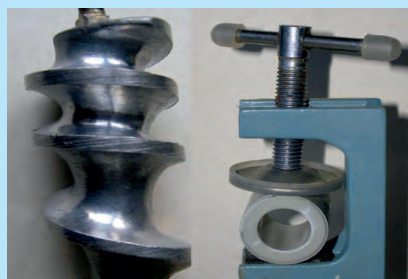


Рис. 34.9. Шнек мясорубки и винт струбины – разновидности наклонной плоскости

Гайка, двигаясь по винту болта, может поднимать груз, вес которого значительно больше усилия, которое прикладывают, чтобы поворачивать винт или гайку.

Винтовые подъемники вы можете увидеть в автомастерских, небольшие винтовые домкраты есть в каждом автомобиле. С помощью винтовых устройств зажимают детали в тисках и двигают суппорты токарных и фрезерных станков. На рис. 34.9 приведены фотографии шнека домашней ручной мясорубки и струбины (разновидность тисков)..

КРАТКИЕ ИТОГИ

- ⇒ Неподвижный блок позволяет изменить направление действия силы.
- ⇒ Подвижный блок дает выигрыш в силе.
- ⇒ Чем меньше угол наклона наклонной плоскости – тем больше выигрыш в силе.



УПРАЖНЕНИЕ 34

1. Как и для чего используют неподвижный блок?
2. Почему неподвижный блок не дает выигрыша в силе?
3. Какой выигрыш в силе дает подвижный блок?
4. Почему при строительстве пирамиды с увеличением высоты приходилось удлинять насыпь?
5. На каком виде транспорта в старину использовали блоки?
6. Где в практической деятельности люди используют клин?
7. От чего зависит выигрыш в силе при движении тела по наклонной плоскости?
8. Что называют «выигрышем в силе»? Поясните ответ формулой.
9. Какой выигрыш в силе дает полиспаст, изображенный на рис. 34.5?
10. Перечислите простые механизмы, которые используются в трансмиссии велосипеда.
11. Поясните рисунком, почему в процессе езды изменяется момент силы F , с которой велосипедист жмет на педали.

12. Объясните: *а)* почему переключение на меньшую по диаметру зубчатку, связанную с задним колесом, позволяет велосипедисту двигаться быстрее; *б)* почему теперь надо прикладывать большее усилие, чтобы вращать педали?
13. Почему надо так долго крутить ручку домкрата, чтобы хоть немного приподнять корпус автомобиля?
14. Какие два простых механизма использованы в винтовом домкрате?
- * 15. Объясните, почему винт и винтовой домкрат являются частными случаями наклонной плоскости?
16. На поверхности вертикально расположенного цилиндра две точки разместили так, что они расположены: *а)* в одной горизонтальной плоскости; *б)* на одной вертикали; *в)* произвольным образом. Что представляет собой линия минимальной длины, которая соединяет эти точки? Дайте ответ для каждого из трех указанных случаев.
17. Как влияет величина шага винта домкрата на выигрыш в силе, который он может дать?
- * 18. Прикладывая силу F , с помощью подвижного блока удерживают тело массой $m = 10$ кг (рис. 34.10). Какова величина силы F ? $g = 10$ Н/кг.
- * 19. Тело массой $m = 500$ г находится в равновесии (рис. 34.11). Масса блока $M = 100$ г. Масса нити значительно меньше массы тела и блока. С какой силой и в каком направлении нить действует: *а)* на тело m ? *б)* на пол в точке D ? *в)* Каков вес тела m ? *г)* С какой силой и в каком направлении (вверх или вниз) нить действует на блок в точках B и C ? *д)* С какой силой и в каком направлении подвес блока действует на потолок? $g = 10$ Н/кг.

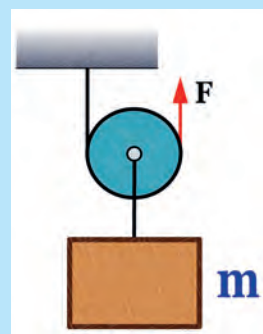


Рис. 34.10

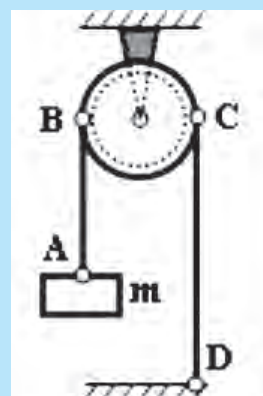


Рис. 34.11

§35. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМОВ (КПД)

В большинстве устройств, машин и механизмов происходит передача и преобразование энергии. Для характеристики этих машин с точки зрения их полезности вводится коэффициент полезного действия.

КПД

Коэффициентом полезного действия машины или механизма (сокращенно – КПД) называют умноженное на 100% отношение полезной работы $A_{\text{пол.}}$, которую выполняет машина, ко всей энергии, затраченной на выполнение этой работы $A_{\text{затр.}}$:

$$КПД = \frac{A_{пол.}}{A_{затр.}} \cdot 100 \% \quad (35.1)$$

ПРИМЕР 35.1

Максимальный коэффициент полезного действия лампы накаливания составляет 5%. Это значит, что из 100% потребляемой электроэнергии в свет преобразуется 5%, а остальные преобразуются в тепло.

Пусть с помощью наклонной плоскости мы подняли определенный груз массы « m » на высоту « h ». Полезная работа заключается в поднятии груза на определенную высоту h и составляет: $A_{пол.} = mgh$. Но была выполнена работа не только по поднятию груза, но и по преодолению силы трения скольжения при движении по плоскости. Следовательно, затраченная работа равняется: $A_{затр.} = A_{пол.} + |A_{тр.}|$. Работа силы трения взята по модулю, поскольку она отрицательна.

Затраченная работа всегда больше полезной, поэтому КПД реальной машины не может достичь 100%, а тем более превысить его. Желательно, и это задача огромной экономической важности, добиться того, чтобы затраты на выполненную работу ненамного превышали полезную работу, то есть чтобы КПД машин был как можно более высоким. В таблице 35.1 приведены данные о КПД некоторых машин и устройств.

Таблица 35.1

Коэффициент полезного действия некоторых машин и механизмов, %

Солнечная батарея	до 6 – 40	Топливный элемент	до 85
Мускулы	14 – 27	Гидротурбина	до 90
Холодильник	40 – 50	Электродвигатель	до 99
Газовая турбина	до 40		
Дизельный двигатель	до 50	Лампа накаливания	0,7 – 5
Паровая турбина	до 60	Лампа дневного света	до 15
Ветрогенератор	до 60	Светодиоды	до 35

ПРИМЕР 35.2

Используя рис. 34.6, получите формулу для расчета КПД наклонной плоскости.

Решение. Полезная работа при применении наклонной плоскости заключается в том, чтобы поднять тело на высоту h . Следовательно,

$$A_{пол.} = mgh. \text{ Затраченная работа равна: } A_{затр.} = F \cdot L. \text{ Таким образом,}$$

$$КПД = \frac{mgh}{F_2 \cdot L} 100 \%.$$

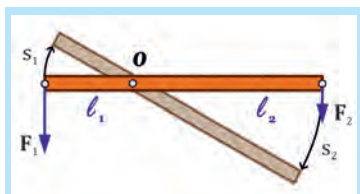


Рис. 35.3. Плечо, на которое действует большая сила, описывает при вращении рычага более короткую дугу, поэтому выполняется равенство $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$

«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Пусть рычаг под действием сил F_1 и F_2 находится в равновесии. Это значит, что:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2. \quad (35.2)$$

Медленно повернем рычаг в направлении действия силы F_2 на некоторый небольшой угол. Конiec рычага при этом опишет дугу длиной s_2 . Другой конiec рычага при этом опишет дугу длиной s_1 (рис. 34.3). При этом силы F_1 и F_2 должны постоянно действовать перпендикулярно рычагу. Поскольку обе части рычага повернулись на один

и тот же угол, а концы описали дуги радиусами l_1 и l_2 , то выполняется равенство:

$$l_1/l_2 = s_1/s_2 \quad (35.3)$$

Это значит, что более длинное плечо описывает и более длинную дугу. Из равенств (35.2) и (35.3) следует, что:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 \quad (35.4)$$

Равенство (35.4) значит, что работа силы F_1 равняется работе силы F_2 . Следовательно, рычаг дает выигрыш в силе, но не дает выигрыша в работе.

«Золотое правило» механики: выигрывая с помощью некоторого механизма в силе, мы обязательно проигрываем в расстоянии (и наоборот).

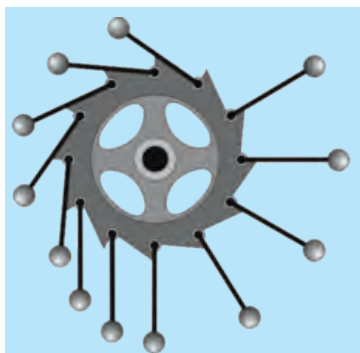


Рис. 35.4. Проект вечного двигателя

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – «PERPETUUM MOBILE»

Perpetuum mobile (лат.) – вечное движение. Столетиями изобретатели пытались придумать конструкцию машины, которая бы работала вечно (рис. 35.4), но ни одна из них не функционировала.

Иногда даже довольно сложно разобраться, в чем же ошибался творец того или иного проекта вечного двигателя. Как только стало понятно, что закон сохранения энергии является универсальным законом природы, научные учреждения перестали принимать к рассмотрению проекты таких машин. Впервые так поступила французская Академия наук в 1848 году.

Вечный двигатель первого рода – это машина, выполняющая работу, большую затраченной на выполнение этой работы энергии.

Но ни один из известных на сегодняшний день механизм или машина не дают выигрыша в работе.



ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

35.1. Каков теоретический предел скорости движения велосипедиста при отсутствии сил сопротивления? От чего он зависит?

КРАТКИЕ ИТОГИ

- Коэффициентом полезного действия машины или механизма называют отношение полезной работы, которую выполняет машина, ко всей энергии, затраченной на выполнение этой работы.
- «Золотое правило» механики: выигрывая с помощью некоторого механизма в силе, мы обязательно проигрываем в расстоянии (и наоборот).
- По закону сохранения энергии невозможно создать вечный двигатель первого рода.



УПРАЖНЕНИЕ 35

1. Почему затраченная работа всегда больше полезной?
2. В каких пределах лежит КПД машин и механизмов?
3. Можно ли с помощью наклонной плоскости получить выигрыш в работе?
4. Почему французская Академия наук отказалась рассматривать проекты «вечных» двигателей?
5. Какой двигатель называют «вечным двигателем первого рода»?
6. Какие машины согласно табл. 35.1 имеют наивысший КПД?
7. Какие машины наиболее выгодно использовать?
8. Вычислите КПД машины, которая затратила 10 000 Дж энергии, выполнив полезную работу 8 500 Дж.
9. Потенциальная энергия тела в начале падения составляет 200 Дж. Какой будет кинетическая энергия тела на момент, когда потенциальная энергия составит 75 Дж? Потерями энергии можно пренебречь.
10. Выгодно ли, с точки зрения расходов энергии, использовать наклонную плоскость?
11. Почему КПД вечного двигателя должен быть больше или равняться 100%?
12. В какую сторону должен вращаться «вечный» двигатель, изображенный на рис. 35.4?
13. Почему, согласно замыслу изобретателя, «вечный» двигатель, изображенный на рис. 35.4, должен вращаться по часовой стрелке?
14. Какую полезную работу при затрате 6 000 Дж энергии топлива выполнит дизельный двигатель, КПД которого 40%?
15. Полезная работа, выполненная с помощью определенного механизма, равняется 200 Дж. Чему равняется затраченная работа, если работа силы трения составила 40 Дж?
16. Прикладывая силу 20 Н к плечу рычага длиной 110 см, удалось поднять груз массой 10 кг, прикрепленный ко второму плечу рычага длиной 20 см, на высоту 5 см. Чему равняются: а) полезная работа; б) работа сил трения; в) КПД рычага? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
17. Почему рычаг может дать выигрыш в силе, но не позволяет получить выигрыш в работе?
- * 18. Почему преодолевать расстояние на велосипеде быстрее и легче, чем идти пешком?

§36. РАЗВИТИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА



Рис. 36.1. Затыжной прыжок

НЕОБЫЧНОСТЬ ОБЫЧНОГО

Несколько лет тому назад австрийский парашютист совершил затыжной прыжок из стратосферы с высоты 39 км (рис. 36.1). Поскольку воздух на такой высоте сильно разрежен, то падение довольно долго было почти свободным.

Свободное падение – удивительное и не до конца изученное явление. Во-первых, свободно падающее тело ничего не весит – оно находится в состоянии невесомости. Во-вторых, и это самое удивительное, – все свободно падающие тела, независимо от массы, падают одинаково, то есть с одинаковым ускорением. Возможно, все

эти мысли промелькнули в голове смельчака, который не побоялся прыгнуть вниз почти из космоса, чтобы почувствовать радость свободного полета.



Рис. 36.2. Пизанскую башню Галилей использовал для проверки гипотезы Аристотеля

ГИПОТЕЗЫ НУЖНО ПРОВЕРЯТЬ

В воздухе более тяжелые тела опережают легкие, и об этом свидетельствует наш повседневный опыт. Выдающийся ученый древнего мира Аристотель в свое время изложил гипотезу о том, что более тяжелые тела и в вакууме будут падать быстрее. Лишь через 2000 лет итальянский физик Галилео Галилей осмелился проверить гипотезу Аристотеля. Он стал первым в истории ученым, который попробовал подтвердить свое предположение о независимости ускорения свободного падения от массы тела при помощи опыта. Бросая тела различной массы с наклонной Пизанской башни (рис. 36.2), Галилей заметил, что при условии малого сопротивления воздуха **тела разной массы падают практически с одинаковым ускорением.**

ОТЛИЧИЕ АНТИЧНОГО МЫШЛЕНИЯ ОТ СОВРЕМЕННОГО

Оказывается, люди не всегда исследовали физические явления одинаково. В античном мире не было принято проверять гипотезы опытным путем, а только теоретическими рассуждениями.

Еще одно отличие – во времена Древней Греции не было места для вакуума. Ум тогдашних ученых не принимал пустого пространства. Аристотель считал, что вода следует за поршнем насоса потому, что природа «боится» пустоты.

Такая теория не давала возможности строить систему водопровода в сегодняшнем понимании этого слова. В знаменитых римских акведуках (рис. 36.3) вода текла ручейком по наклонному желобу. То, что вода может опускаться в трубе, а потом опять подниматься – не приходило людям в голову.

Только опыты Торричелли (рис. 36.4) показали, что существует атмосферное давление, и что оно очень большое. На каждый квадратный метр поверхности действует сила, которую создавал бы груз весом в 10 тонн. Обратите внимание, что мир меняют не только новые знания и факты, но и новый способ мышления.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВАКУУМНОГО НАСОСА

То, что нам сегодня кажется привычным, когда-то было удивительным. Мы уже говорили о том, какие интересные опыты показывал своим соотечественникам бургомистр города Магдебурга Отто фон Герике. Он смог это сделать, пользуясь изобретенным им вакуумным насосом.

Около поверхности земли наблюдать свободное падение сложно – мешает воздух. Но выдающийся английский физик Исаак Ньютон использовал вакуумный насос, чтобы выкачать воздух из стеклянной трубы, и наблюдал, как свинцовая дробинка и перышко падали вместе. Таким образом Ньютон подтвердил наблюдения Галилея: **тела разной массы в состоянии свободного падения падают одинаково.**

Казалось бы, что со свободным падением уже все ясно, но еще Ньютона, а впоследствии и Эйнштейна беспокоила загадка массы.

ЗАГАДКА ДВУХ МАСС

Если мы не можем мгновенно ускорить или остановить тело, то это потому, что при изменении скорости начинает проявлять себя инертная масса. Когда тяжелый чемодан оттягивает нам руку вниз, сигнализирует о себе гравитационная, то есть «тяжелая» масса. Причем обе массы у каждого тела одинаковы. А вот этот факт как раз и не очевиден!

В городе Бремене есть лаборатория, в которой исследуют свободное падение в вакуумной трубе высотой 140 м (рис. 36.5). Это гигантский вариант трубки



Рис. 36.3. Акведук – античный водовод



Рис. 36.4. Давление атмосферы и вакуум

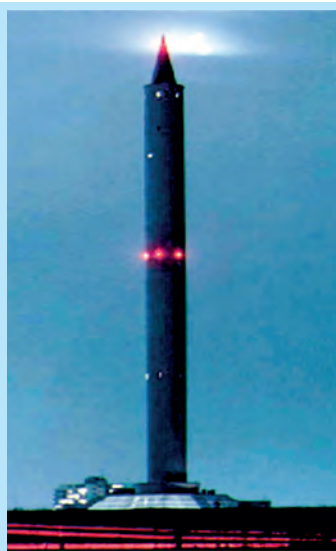


Рис. 36.5. 140-метровая башня для исследования свободного падения



Рис. 36.6. Радиотелескоп



Рис. 36.7. Столкновение галактик

Ньютона. Ее еще называют пятисекундной трубой, потому что время падения в этой трубе длится приблизительно 5 с.

На что надеются исследователи? Они надеются, что, увеличив точность измерения, удастся заметить хоть и малое, но различие между инертной и гравитационной массами тела. Пока что их усилия безуспешны.

ТЕМНАЯ МАССА

Ученые еще не успели до конца разобраться со свободным падением, а от астрофизиков и исследователей в области ядерной физики одновременно пришли данные о возможности существования третьей разновидности массы, которую пока что называют темной, и которую имеющиеся приборы неспособны воспринимать.

Каждый шаг вперед в науке дает новые факты и загадки, которые начинают изучать уже другие поколения исследователей. Два нанограмма протонов в такой супермашине как коллайдер удалось за десять часов разогнать почти до скорости света. Но, если подумать, то один грамм протонов нужно будет разгонять в течение миллионов лет – таково нынешнее состояние нашей науки с точки зрения будущего!

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Астрофизики установили, что Вселенная расширяется, большинство галактик отдаляются от нас и друг от друга, а скорость самых отдаленных объектов достигает 240 000 км/с. Это привело ученых к мысли о том, что наша Вселенная появилась около 15 млрд. лет назад в результате гигантского взрыва. Отголосок этого взрыва «звучит» до сих пор, а «услышать» его можно с помощью очень чувствительных антенн радиотелескопов (рис. 36.6), которые постоянно прослушивают космическое пространство.

В разных отдаленных уголках Вселенной можно наблюдать рождение и гибель звезд, а также катастрофы чрезвычайного масштаба – взрывы сверхновых звезд и столкновения целых галактик (рис. 36.7).

ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ АСТРОФИЗИКИ

Сила тяжести действует на расстоянии, но как она передается от тела к телу – не совсем понятно. Гравитационная сила вызывает только притяжение, и еще никогда не наблюдалось отталкивания. Сейчас, благодаря эффекту гравитационного линзирования (рис. 36.8), появились данные, свидетельствующие об ускоренном расширении Вселенной, а это можно объяснить разве что наличием **антигравитации** и **«темной энергии»**.

Вращение края нашей Галактики происходит значительно быстрее, чем это рассчитано по имеющимся в настоящее время формулам, что свидетельствует о существовании **скрытой («темной») массы**, которую современные приборы даже не способны воспринять.

Звезды бывают намного больше и горячее Солнца, а бывают и совсем маленькими и сравнительно холодными. Некоторые из них сжимаются силами притяжения до такой степени, что один кубический сантиметр вещества так называемой нейтронной звезды весит сто миллионов тонн. Другие сжимаются еще больше и исчезают из поля зрения, превращаясь в **«черную дыру»**, которая не выпускает из своей сферы действия даже свет. Все эти чрезвычайно интересные данные получены с помощью спектрометров и цифровых фотокамер. Приборы эти работают круглосуточно – как на Земле, так и в космосе.

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Современные *системы связи* дают возможность получать информацию от разнообразных устройств, даже не выходя из дома – через систему Интернет. Именно так с американского космического телескопа «Хаббл» (рис. 36.9) получена фотография галактики М 30.

На орбите находится и украинский телескоп «Астрон-1», а космический аппарат «СИЧ-1М» (рис. 36.10) исследует Мировой океан. Эти сложные приборы и аппараты спроектировали украинские физики. Полученная информация обрабатывается и анализируется. Вот так и появляются малые и большие открытия.

ЧТО ДВИЖЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЯМИ

В наш век воздушных лайнеров и космических ракет людей трудно чем-либо удивить. Но всегда достойна удивления человеческая лю-

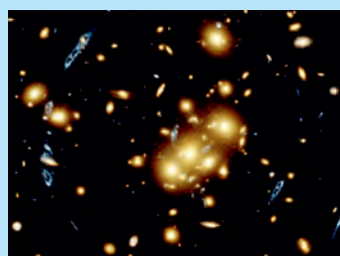


Рис. 36.8. Гравитационные линзы, образованные притяжением отдаленных галактик, свидетельствуют о новом виде энергии



Рис. 36.9. Снимки, сделанные космическим телескопом «Хаббл», очень четкие, потому что не мешает атмосфера



Рис. 36.10. Украинский космический аппарат «СИЧ-1М»

бознательность. Вспомним еще раз о том, что первыми оторвались от земли воздушные шары, которые построили братья Монгольфье, потому что очень хотели летать.

Внизу, около открытого отверстия шара, они разожгли огонь из соломы и шерсти. Когда воздух внутри разогрелся, шар взлетел и поднялся на высоту 1 000 м, пробыв в воздухе 10 минут. Он приземлился за полторы мили (2,4 км) от места старта.

В сентябре 1782 года в Версале состоялся полет подобного шара в присутствии короля и королевы Франции, придворных и послов разных стран. Первыми пассажирами были овца, петух и утка. Полет длился 23 минуты, а шар пролетел 9 км. Посол России во Франции Барятинский писал «о поднятии на воздух великой тягости посредством дыма»: «Величие сего зрелища и чувствование, какое происходило в нескольких ста тысячах народа, описать никак невозможно, ибо радость, страх, ужас и восторг видимы были на всех лицах».



Исаак Ньютон (Isaac Newton, 1643–1727) – английский физик и математик. Открыл закон всемирного тяготения, разложил белый свет на цвета и сформулировал три основных закона механики. Его научный труд «Основы натуральной философии» – один из наиболее выдающихся в истории науки.

Ньютон родился в 1643 г. в небольшой английской деревне Вулсторп. В детстве любил мастерить различные механические устройства, самостоятельно построил маленькую мельницу. В 12 лет его отдали на обучение в городскую школу близлежащего городка Грэнтем. Сначала он учился посредственно, но в старших классах начал упорно работать и стал лучшим учеником.

Затем Ньютон учился в Тринити-колледже. И по сегодняшний день у входа в ворота колледжа растет яблоня в память о яблоке, которое «повлекло» открытие закона тяготения. В возрасте 27 лет Ньютон стал профессором Кембриджского университета. Этот университет славится физической и математической школой и поныне. В 1668 г. Ньютон сконструировал первый зеркальный телескоп (рис. 37.10), который затем усовершенствовал. За это изобретение его избрали членом Лондонского королевского общества (Английская академия наук). На основании убедительных экспериментов по разложению белого света на семь составных цветов он разработал теорию света.

В 1688 г. Ньютона избрали членом английского парламента, и он два года провел в Лондоне. Позже Ньютона назначили директором Монетного двора Англии (в наше время это должность министра финансов). Он провел очень важную для страны денежную реформу и довольно жестко боролся с казнокрадами.

В 1703 г. его избрали президентом Лондонского королевского общества, а в 1705 г. королева Анна впервые в истории Англии присвоила ему титул дворянина и подарила имение.

Ньютон был оригинальным человеком, и о нем рассказывают много интересных историй. Друзья, которые посещали Ньютона, заметили, что калитка около его дома

довольно трудно открывается. Оказалось, что Ньютон присоединил к ней водяную помпу, и каждый посетитель накачивал немного воды в резервуар на чердаке.

Ньютон не любил отвлекаться от работы, и, чтобы кошка ему не докучала, просясь в дом, сделал в дверях небольшое отверстие. Когда появились котята, он сделал еще семь меньших отверстий, потому что котята поднимали страшный шум, когда кошка пролезала в свое отверстие без них.

§37. ВЛИЯНИЕ ФИЗИКИ НА ОБЩЕСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Все окружающее нас пространство заполнено радиоволнами, которые поступают не только от радио- и телевизионных станций, но и из космоса – от галактик и квазаров, на протяжении миллионов и миллиардов лет, днем и ночью. Однако еще 150 лет назад никто о них ничего не знал, кроме одного человека – Джеймса Клерка Максвелла, который открыл существование электромагнитных волн.

ОТ ОТКРЫТИЯ – К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ

Радиовещание, каким мы его понимаем в настоящее время, существует уже около 100 лет. Таким образом, инопланетные цивилизации, способные принять радиопередачи земных радиостанций, должны находиться от нас на расстоянии не больше, чем 100 световых лет. Те, которые проживают дальше, даже не подозревают о нашем существовании! Это не так уж и далеко, именно на таком расстоянии мощные телескопы могут установить наличие у звезды планет.

На самом деле радиосвязь осуществляется довольно сложным способом через систему ретрансляторов, телевизионных спутников и волоконно-оптических линий.

Вполне возможно, что в природе существуют способы телекоммуникации намного лучшие и более надежные, чем радиоволны, но мы ничего о них не знаем.

Всего 50 лет назад телевизор мог принять максимум 12 телевизионных каналов, а реально их было не более шести, и качество изображения было не из лучших. Сами телевизионные приемники были громоздкими, а размеры экранов – маленькими.



Этому радиоприемнику всего 60 лет



Этому телевизору – 50 лет

Сравните с сегодняшними возможностями – тысячи каналов, изображения высокой четкости, 3d-изображения, возможность принять сигнал даже на карманный прибор через Интернет.

УСКОРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Чтобы теоретические знания воплотились в создание паровой машины, понадобилось около 100 лет. Путь радио – от идеи к широкому потреблению – также занял около 100 лет, фотографии – 110 лет. В последние 20 лет наблюдается небывалое ускорение технического и технологического прогресса. Мобильные телефоны системы / с использованием технологии связи 3G создали около 10 лет назад. Пять лет тому назад появились смартфоны, три года назад – планшеты.



Возможно, через 20 лет этот экран также вызовет улыбку



Смартфон



Планшеты появились совсем недавно



Рис. 37.1. Стремительный переход от пленок к «цифре»

В области фотографии произошла настоящая революция. Состоялся сначала переход к машинной печати фотографий, а впоследствии – к созданию цифровых фотоаппаратов и цифровых изображений (рис. 37.1). А еще не так давно специалисты спорили, хватит ли имеющихся в мире запасов серебра для изготовления фотопленок! Основой новых технологий является микроэлектроника и исследования в области полупроводниковых материалов.

ВОЗМОЖНОСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Инженеров давно беспокоит идея космического лифта – троса, который свяжет наземную станцию с геостационарным спутником (рис. 37.2) и заменит дорогие ракеты. По этому тросу длиной 36 000 км будет передвигаться лифт и перевозить грузы на космическую станцию. До недавнего времени эта идея принадлежала к фантастическим, поскольку стальной трос рвется под собственным весом уже при длине 6 км.

Появление в 1991 году углеродных нанотрубок (рис. 37.3) прибавило изобретателям оптимизма. Новый материал будет втрое легче и в 120 раз крепче

стали. Такой нанотрос диаметром 1 мм сможет выдерживать груз 10 т, и это не предел.

Многие лаборатории целенаправленно создают материалы с заранее заданными свойствами, и эта область науки приобретает промышленный размах.

Совсем недавно создан еще один удивительный материал – аэрогель (рис. 37.4). Он крепче кирпича, и почти такой же по плотности, как воздух. Он очень плохо проводит тепло, и его можно будет использовать в качестве идеального теплоизолятора.

РОБОТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В последние десятилетия происходит бурное развитие новых отраслей механики, в частности – робототехники. Например, современное производство автомобилей почти полностью роботизировано (рис. 37.5).

Многие лаборатории и компании интенсивно работают над созданием роботов, которые могут ходить и самостоятельно учиться. Роботы освободили людей от тяжелой и однообразной работы. Появляется все больше заводов, где можно увидеть только единичных инженеров и техников, занятых преимущественно творческим трудом. Повысилось качество продукции, ведь роботы не ошибаются.

Появление машин с искусственным интеллектом ведет к созданию надежных систем управления. Уже появились автомобили, которые ездят без водителя, а компьютерные программы давно обыгрывают гроссмейстеров. Инженеры создают управляемых на расстоянии роботов, которые изучают другие планеты и могут проводить самостоятельные исследования (рис. 37.6).

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Историки науки заметили, что большинство открытий были сделаны не по непосредственной практической необходимости, а просто из любопытства.

На самом деле происходит постоянное взаимодействие между развитием науки и ее применением на практике. Без конструкторского



Рис. 37.2. Космический лифт



Рис. 37.3. Углеродные нанотрубки намного легче и крепче стали



Рис. 37.4. Аэрогель имеет плотность воздуха и прочность кирпича



Рис. 37.5. Роботы освободили людей от тяжелого и однообразного труда



Рис. 37.6. Марсоход

бюро Антонова не было бы у нас таких самолетов, а без большого желания летать – не было бы конструкторов.

Украина обладает значительными достижениями в развитии как практической, так и теоретической механики. У нас строят самые большие в Европе и мире самолеты (рис. 37.7), космические ракеты, оптические и радиотелескопы, тепловые, атомные и гидроэлектростанции.

Сложность созданных машин и механизмов поражает воображение (рис. 37.8). Эти области науки и техники требуют большого количества научных и инженерных кадров, которые способны придумать что-то новое.



Рис. 37.7. Чтобы чего-то достичь – нужно мечтать



Рис. 37.8. Турбореактивный двигатель современного самолета содержит около 6000 высокотехнологичных деталей

ТЕХНИЧЕСКИЙ И НАУЧНЫЙ ПРОГРЕСС ТРЕБУЮТ НОВЫХ ИДЕЙ

Классическая механика, созданная более чем 300 лет тому назад Исааком Ньютоном, с ее абсолютным и незыблемым пространством и временем в 1905 году столкнулась с драматическими испытаниями со стороны новой механики Альберта Эйнштейна, в которой временем можно управлять, замедляя его почти до нуля при больших скоростях. Это открыло принципиальную возможность путешествий в будущее, и дело только в техническом воплощении выводов теории относительности.

Однако у теории Эйнштейна есть фундаментальное ограничение, которое уже 100 лет не дает покоя любителям науки и ученым – скорости света в вакууме не может достичь ни один объект, кроме света. Но это не остановило американского физика украинского происхождения Олексу-Мирона Биланюка, который создал теорию «таххионов» – частиц, которые могут двигаться со скоростью, большей, чем световая.

И хотя пока существование этих частиц не подтверждено экспериментально, не исключено, что именно кто-то из вас это сделает.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ. КОЛЛАЙДЕР

В ЦЕРНе, на границе между Швейцарией и Францией, неподалеку от г. Женевы находится самый большой и самый дорогой на сегодняшний день физический прибор, построенный для исследования глубинных свойств материи. Эта уникальная машина работает по новейшим технологиям. В кольцевом тоннеле длиной почти 27 км и расположенном на средней глубине 100 м находятся две трубки (рис. 37.9), внутри которых двигаются навстречу друг другу два пучка протонов. Вакуум в трубках в 10 раз глубже, чем в космосе.

Протоны удерживаются на круговой орбите 9500 сверхпроводящими магнитами, обмотки которых охлаждены до температуры -271°C .

По трубам, в которых находятся сверхпроводящие кабели, течет жидкий гелий, находящийся в сверхтекучем состоянии, а ток в кабеле составляет около 12000 А (двигатели троллейбуса или трамвая потребляют 200–300 А).

Протоны в количестве две миллиардных доли грамма ускоряются в течение десяти часов до скорости, составляющей 99,9999991 % скорости света. Кольцо ускорителя протоны проходят 11000 раз в секунду. В результате это мизерное по массе количество частиц приобретает энергию, которую имеет скоростной поезд массой 140 тонн на скорости 150 км/ч (рис. 37.10).

Для установки CMS, построенной для изучения протон-протонных столкновений и поиска бозона Хиггса, харьковский Институт монокристаллов создал 22 тысячи детекторов из радиационно устойчивой пластмассы. Кроме того, Украина поставляет железо для магнитов и уникальные кристаллы.

С помощью коллайдера ученые уже сегодня получают и хранят **антивещество** (антиводород), учатся лечить рак с помощью протонов и антипротонов, открыли частицу Хиггса (6 июля в 2012 г.), пытаются понять природу темной материи и темной массы.



Рис. 37.9. Система охлаждения и две трубки, по которым двигаются протоны



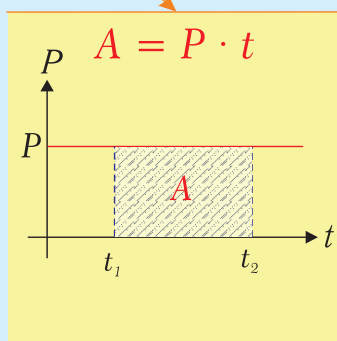
Рис. 37.10. Этот 140-тонный поезд на скорости 150 км/ч. имеет такую же энергию, как две миллиардных доли грамма протонов, разогнанных почти до скорости света

ИТОГИ РАЗДЕЛА 4

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

$$A, \text{ Дж}$$



$$A = E_2 - E_1$$

МОЩНОСТЬ

$$P, \text{ Вт}$$

характеризует
скорость
выполнения
работы

$$P = \frac{A}{t}$$

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$$

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

характеризует способность тела выполнять работу

$$E = E_K + E_P, \text{ Дж}$$

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

энергия движущихся тел

$$E_K = \frac{mv^2}{2}$$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

энергия возможности

Потенциальная энергия тела,
находящегося на некоторой высоте

$$E_P = mgh$$

Потенциальная энергия
упруго деформированного тела

$$E_P = \frac{kx^2}{2}$$

МОМЕНТ СИЛЫ $M, \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$M = F \cdot l$$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Энергия не возникает из ничего и не исчезает бесследно. Количество ее остается постоянным. Она только переходит из одного вида в другой, или от одного тела к другому

Полная механическая энергия тела (системы) не изменяется, если нет потерь на трение

Тело находится в состоянии равновесия, если:

Равнодействующая всех сил, действующих на тело, равняется нулю

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

Сумма моментов всех сил, действующих на тело, равняется нулю

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

РЫЧАГ



Выигрыш в силе зависит от соотношения плеч

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



БЛОК

НЕПОДВИЖНЫЙ

Выигрыша в силе не дает

ПОДВИЖНЫЙ

Выигрыш в силе в два раза

НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ



Выигрыш в силе определяется высотой h и длиной l наклонной плоскости

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

ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО МЕХАНИКИ:

ВЫИГРЫВАЯ С ПОМОЩЬЮ НЕКОТОРОГО МЕХАНИЗМА В СИЛЕ, МЫ ОБЯЗАТЕЛЬНО ПРОИГРЫВАЕМ В РАССТОЯНИИ (И НАОБОРОТ)

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗМОВ (КПД)

$$\eta = \frac{A_{\text{пол.}}}{A_{\text{затр.}}} \cdot 100 \%$$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

1. Какую работу выполняет сила 20 Н, которая перемещает тело на расстояние 5 м в направлении своего действия?

А	Б	В	Г
4 Дж	80 Дж	100 Дж	5

2. Какова мощность двигателя, выполняющего работу 2 400 Дж за 2 минуты?

А	Б	В	Г
20 Вт	1200 Вт	120 Вт	4800 Вт

3. Тело массой 5 кг находится на высоте 4 м. Какова энергия этого тела?

А	Б	В	Г
40 Дж	10 Дж	20 Дж	200 Дж

4. Мяч падает с некоторой высоты. Как изменяется его полная механическая энергия? Трением можно пренебречь.

А	Б	В	Г
увеличивается	уменьшается	не изменяется	невозможно определить

5. Мяч упал с высоты 2 м и подпрыгнул на высоту 1,5 м. Определите путь и перемещение мяча.

А	Б	В	Г
3,5 м и 1,5 м	0,5 м и 2,5 м	2,5 м и 0,5 м вверх	2,5 м и 0,5 м вниз

6. Кинетическая энергия тела при его полете вверх уменьшилась на 100 Дж. Как изменилась его потенциальная энергия, если считать трение очень малым?

А	Б	В	Г
уменьшилась на 100 Дж	увеличилась на 100 Дж	не изменилась	уменьшилась на 50 Дж

РЕШИТЕ ЗАДАЧИ

1. Масса тела $m = 2$ кг. Какова масса тела m_1 ? (рис. 4.1)

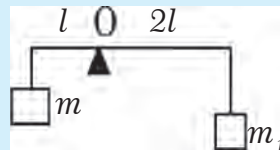


Рис. 4.1

2. Определите мощность силы 50 Н, под действием которой тело переместилось на 4 м за 10 с.
3. Скорость велосипедиста уменьшилась с 5 м/с до 2 м/с. Как изменилась его кинетическая энергия? Масса велосипедиста вместе с велосипедом равняется 80 кг.
4. Прикладывая силу 25 Н к плечу рычага длиной 20 см, мы хотим уравновесить силу 10 Н. Какой должна быть длина второго плеча рычага?
5. Какую полезную работу выполнила машина, если затраченная работа составляет 2 000 Дж, а ее КПД равняется 60%?

6. Масса груза $m = 5$ кг, масса блока $M = 500$ г, массой нити можно пренебречь (рис. 4.2). а) Какая сила F требуется, чтобы равномерно поднимать груз? С какой силой и в каком направлении нить действует: б) на потолок в точке А, в) на блок в точке В?

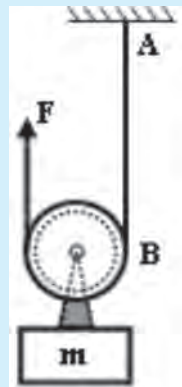


Рис. 4.2.

7. Ведро с цементом массой 25 кг поднимают с помощью неподвижного блока на высоту 5 м, действуя на свободный конец бечевки вниз с силой 250 Н. Запишите формулы для определения: а) полезной и б) затраченной работы. Запишите окончательную формулу для вычисления КПД использованного устройства. Вычислите числовое значение КПД.

8. При равномерном движении груза массы $m = 1$ кг по наклонной плоскости (рис. 4.3) к нему прикладывают силу $F = 4$ Н. Определите КПД наклонной плоскости, длина которой $l = 1$ м, а высота $h = 20$ см. Считайте, что $g = 10$ Н/кг.

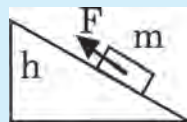


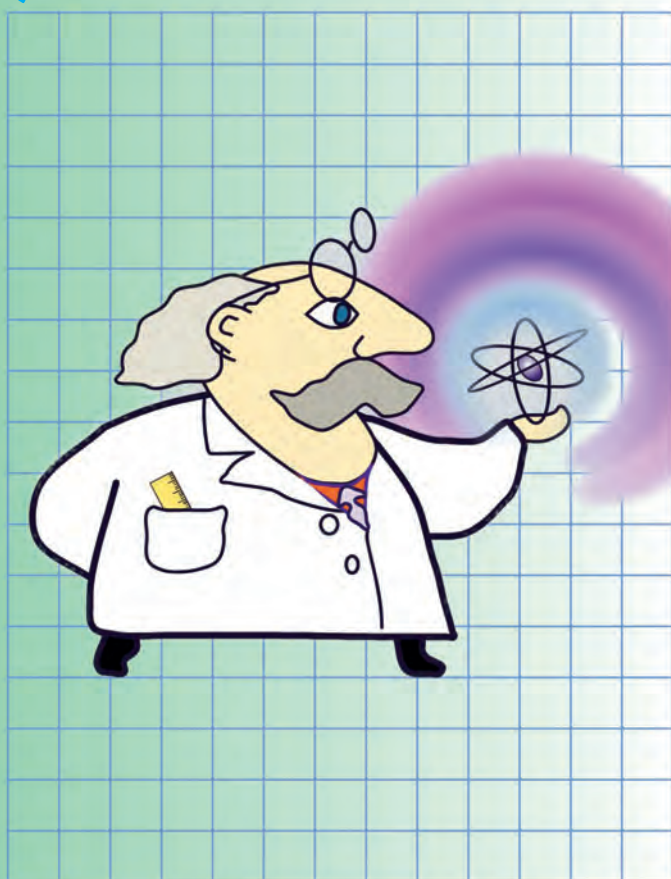
Рис. 4.3

9. Найдите кинетическую энергию тела массой 300 г, которое упало с высоты 2 м, непосредственно перед ударом о землю.
10. Каковы кинетическая и потенциальная энергии стрелы массой 50 г, выпущенной вертикально вверх со скоростью 30 м/с через 2 с после начала движения?
11. Мячик бросили вниз с высоты 1 м. Какой была начальная скорость мячика, брошенного вертикально вниз с высоты 1,2 м, если от пола он отскочил на высоту 1,5 м? Потерями энергии можно пренебречь.

Лабораторные работы

работы

лабораторные



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Ознакомление с измерительными приборами. Определение цены деления шкалы прибора

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять цену деления приборов; выполнять измерения; выполнять запись результатов в таблицу.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	линейка; мензурка; термометр; брусок; стакан с водой.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	измерить физическую величину значит сравнить ее с величиной, принятой за единицу. В случае линейки это 1 см или 1 мм; для мензурки – 1 мл или 1 см ³ ; для термометра – 1°С. Каждый из указанных измерительных приборов имеет шкалу с делениями. Цена деления обозначается буквой <i>C</i> (например: $C_{\text{лин}} = 1 \text{ мм}$, $C_{\text{менз}} = \dots$, $C_{\text{терм}} = \dots$). Обозначение внизу около буквы называют индексом. Индекс «лин.», например, означает «линейки», то есть $C_{\text{лин}}$ – цена деления линейки..

ХОД РАБОТЫ

1. **Схема опыта:** начертите участок шкалы прибора, на котором вы определяете цену деления. Пример: *рис. 3*.
2. Выберите на шкале прибора два разных числовых значения. Занесите в таблицу величину меньшего (*A*) и большего (*B*) значений, а также их разность (*B – A*).
Посчитайте количество делений *n* между отметками, отвечающими значениям *A* и *B*, и также занесите в таблицу. Определите цену деления (*C*) прибора с помощью формулы $C = (B - A)/n$ (например, на шкале термометра: $A = 20$, $B = 30$, $n = 10$. $C_{\text{терм}} = 1^{\circ}\text{C}$).
3. Запишите в таблицу значение единицы измерения каждой физической величины (например: мм, мл, °С).
4. Измерьте длину бруска.

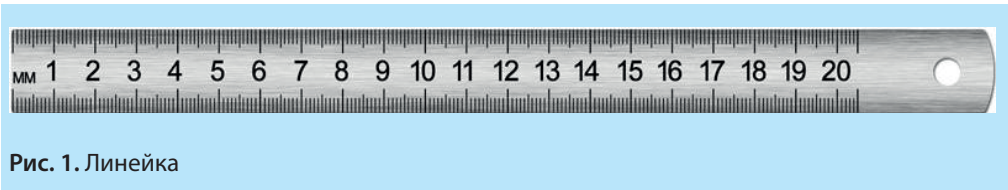


Рис. 1. Линейка

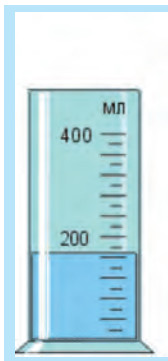


Рис. 2. Мензурка



Рис. 3. Термометр

5. Налейте воду в мензурку и определите объем воды.
6. Измерьте температуру воды.
7. Запишите измеренные величины в таблицу (например, $V = 120 \text{ мл}$, $t^\circ = 23^\circ\text{C}$).

Прибор	Физическая величина	A	B	(B–A)	Единица измерения	n	C	Значение величины
Линейка	Длина							$l =$
Мензурка	Объем							$V =$
Термометр	Температура							$t^\circ =$

ВЫВОД

Укажите, какие физические величины и какими приборами вы научились измерять. (Например: в этой лабораторной работе мы научились измерять температуру воды термометром, и так далее).

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Каковы пределы измерения линейкой (рис. 1)?
2. Какой объем воды налит в мензурку (рис. 2)?
3. Какую температуру показывает термометр (рис. 3)?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Измерение объема твердых тел, жидкостей и сыпучих материалов

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять объем твердых тел, жидкостей и сыпучих материалов; выполнять измерения; выполнять запись результатов в таблицу; оценивать погрешность измерения; записывать результаты измерений в стандартном виде.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	линейка; мензурка; стакан с водой; песок.

ХОД РАБОТЫ

- 1. **Схема опыта:** начертите участок шкалы прибора, на котором вы будете определять цену деления (например: рис. 2).
- 2. Определите цену деления измерительных приборов.
- 3. Измерьте длину, ширину и высоту бруска, вычислите его объем ($V = a \cdot b \cdot c$).
- 4. Насыпьте песок в мензурку и определите его объем.
- 5. Определите объем воды с помощью мензурки.
- 6. Запишите измеренные и вычисленные значения объема в таблицу.
- 7. Определите погрешности измерения объема воды и запишите их значение в таблицу (абсолютная погрешность равняется половине цены деления шкалы прибора).

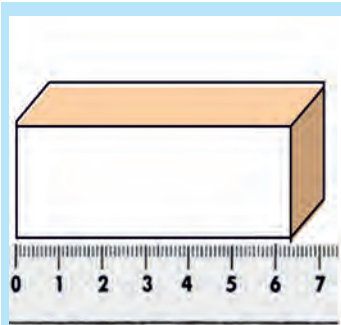


Рис. 1

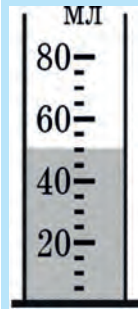


Рис. 2

	Прибор	Цена деления	Объем, см ³	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %
Брусок	линейка				
Песок	мензурка				
Вода	мензурка				

ВЫВОДЫ

1. Укажите, какие физические величины и какими приборами вы научились измерять (например: в этой лабораторной работе мы научились измерять объем ..., с помощью линейки ...)
2. Запишите значение объема воды в стандартном виде (например:
 $V = V_{\text{ср}} \pm \Delta V = (90 \pm 5) \text{ см}^3$).
3. Перечислите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Какова длина бруска, изображенного на *рис. 1*? Результат запишите в стандартном виде.
2. Каков объем налитой в мензурку воды (*рис. 2*)? Результат запишите в стандартном виде.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Измерение размеров малых тел разными способами

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять размеры тел методом рядов.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	линейка (C = 1 мм); пшено; провод; микрофотография.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<p>Размер малых тел можно с большой точностью (0,001 мм) определять с помощью микрометра (рис. 1). Однако размеры малых тел можно измерять и обычной линейкой, если этих тел много. Это так называемый метод рядов.</p> <p>а) Суть этого способа заключается в том, что некоторое количество одинаковых по размеру тел (10–30) складывают впритык друг к другу в ряд. Измерив линейкой длину этого ряда l и разделив l на количество тел n, можно определить диаметр d одного тела: $d = \frac{l}{n}$.</p> <p>б) Диаметр тонкого провода можно измерять, намотав его на цилиндрическую палочку, ручку или карандаш.</p> <p>в) Метод рядов можно применить для вычисления размеров атомов на изображениях, полученных с помощью электронного микроскопа.</p>

ХОД РАБОТЫ

1. Начертите схему опыта (как на рис. 4).
2. Сложите крупинки пшена в ряд вдоль линейки (рис. 4) и вычислите их диаметр d .
3. Подобным образом вычислите диаметр провода (рис. 2).
4. На микрофотографии (рис. 3), полученной с помощью сканирующего тоннельного микроскопа (СТМ), атомы золота находятся на поверхности монокристалла графита в строгом порядке, но не всегда подряд. Вы должны придумать способ как можно более точного вычисления их диаметра. Масштаб задан в нм – нанометрах (1 нм составляет одну миллиардную долю метра).
5. Определите размеры атомов золота в нанометрах.



Рис. 1. Микрометр.

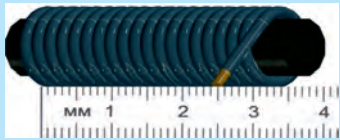


Рис. 2. Провод, намотанный на стержень

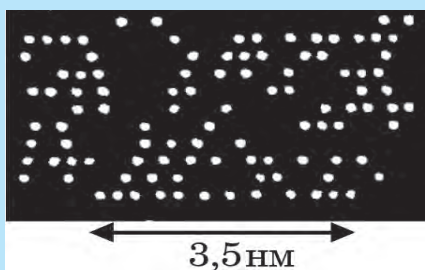


Рис. 3. Изображение атомов золота: СТМ



Рис. 4. Схема опыта с пшеном

6. Определите абсолютную погрешность измерений в каждом опыте и запишите в таблицу.

	Диаметр, d	Единица измерения	Цена деления, C	Абсолютная погрешность
Пшено		мм		
Провод		мм		
Атомы		нм		

ВЫВОДЫ

1. Объясните, какую физическую величину и какими методами вы научились измерять.
2. Запишите значение диаметра для всех измерений в стандартном виде.
3. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Каков диаметр провода (рис. 2)? Результат запишите в стандартном виде.
2. С какой точностью может измерять микрометр (рис. 1)?
3. Почему атомы золота выстроились такими ровными рядами (рис. 2)?
Подсказка: это касается строения поверхности кристалла графита.

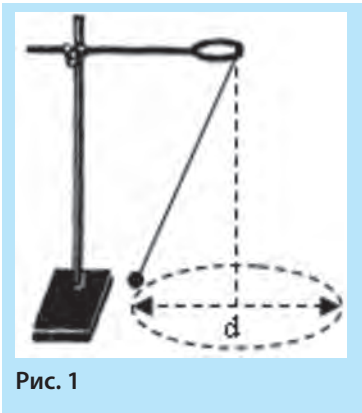
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение периода вращения и скорости движения по окружности

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять период вращения и линейную скорость движения тела по окружности.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	штатив, шарик на нити, секундомер, циркуль, лист бумаги формата А4, линейка.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	период вращения определяют по формуле: $T = \frac{t}{N}$ (1), где t – время, за которое тело совершило N оборотов. Линейную скорость движения по окружности определяют по формуле: $v = \frac{\pi d}{T}$ (2), где d – диаметр окружности, T – период вращения.

ХОД РАБОТЫ

1. Начертите схему опыта.
2. Подвесьте шарик на нити к штативу.
3. Начертите на листе бумаги окружность радиусом $R = 10\text{ см}$ и поместите центр окружности под неподвижным шариком.
4. Толкните шарик так, чтобы он двигался над линией окружности.
5. Определите время t , за которое шарик совершит определенное количество оборотов N .
6. Вычислите по формуле (1) период вращения шарика T .
7. Вычислите по формуле (2) скорость движения шарика v .
8. Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.



$d,$ <i>см</i>	$t,$ <i>с</i>	N	$T,$ <i>с</i>	$v,$ <i>см/с</i>

ВЫВОДЫ

1. Укажите, какие физические величины вы научились измерять.
2. Запишите значение периода вращения шарика (например, $T = 3,2$ с).
3. Запишите значение скорости вращения шарика.
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Какое движение называют вращательным?
2. Вычислите по данным опыта частоту вращения шарика.
- * 3. В данном опыте шарик, как правило, не описывает точной окружности. Какой, по вашему мнению, на самом деле была траектория шарика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Исследование колебаний нитяного маятника

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять период колебаний нитяного маятника; исследовать зависимость периода колебаний от амплитуды колебаний и массы груза.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	штатив, нить; два шарика разной массы; секундомер.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<p>исследовать зависимость между двумя величинами значит выяснить, увеличивается или уменьшается одна величина при увеличении или уменьшении другой. Если изменение одной величины не приводит к существенным изменениям другой величины, то зависимости между ними нет. Это особенно заметно, когда изменение данной физической величины приводит к случайным и небольшим изменениям другой – в большую и меньшую сторону. Заметим, что для таких исследований требуется провести большое количество опытов.</p> <p>Период колебаний определяют по формуле: $T = \frac{t}{N}$ (1), где t – время, за которое тело совершило N полных колебаний. Одним колебанием называют движение шарика маятника от точки 1 к точке 3 и обратно к точке 1, то есть 1-2-3-2-1. Амплитуда A (рис. 1) – это расстояние между точками 1 и 2 (или 2 и 3). Длина нити – l, масса шарика – m.</p>

ХОД РАБОТЫ

1. Начертите схему опыта.
2. Подвесьте шарик на нити к штативу.
3. Выберите такую длину нити, чтобы расстояние от точки подвеса к центру шарика составило 25 см.
4. Отклоните шарик в положение 1.
5. Отпустите шарик и определите время t , за которое шарик осуществит определенное количество колебаний N (пусть $N = 20$ полных колебаний).
6. Вычислите по формуле (1) период колебаний шарика T . Обязательное условие: амплитуда колебаний должна быть значительно мень-

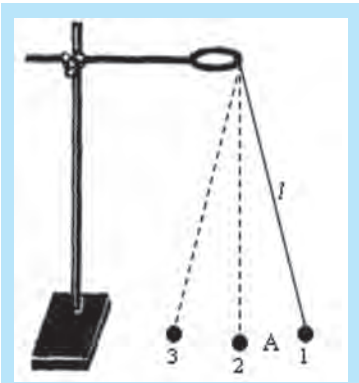


Рис. 1

ше длины нити (приблизительно в 10 раз, например: при амплитуде 2 см длина нити должна составлять 20 см и более).

I. Исследование зависимости периода колебаний шарика данной массы от амплитуды колебаний:

1. Определите период колебаний для двух значений амплитуды (A_1 и A_2), которые отличаются приблизительно в два-три раза.

II. Исследование зависимости периода колебаний с одинаковой амплитудой от массы шарика:

1. Определите период колебаний для двух значений массы шариков (m_1 и m_2), которые отличаются приблизительно в два-три раза при одинаковой амплитуде колебаний.
2. Данные опытов запишите в единую для обоих опытов таблицу:

Амплитуда	t, c	N	T, c	Масса шарика	t, c	N	T, c
$A_1 =$				$m_1 =$			
$A_2 =$				$m_2 =$			

ВЫВОДЫ

1. Укажите, какую физическую величину вы научились измерять.
2. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.
3. Какой оказалась зависимость периода колебаний от: а) амплитуды колебаний при данной массе шарика; б) массы шарика при данной амплитуде колебаний?

Выберите один вариант ответа для каждого исследования: I – зависит, II – не зависит.

Если при увеличении массы или амплитуды шарика в два-три раза период изменился в незначительной мере, то зависимость отсутствует. Если наблюдается значительное изменение периода при изменении массы или амплитуды, тогда зависимость есть, и ее нужно указать: например, увеличение амплитуды колебаний втрое ведет к увеличению (а возможно, уменьшению) периода колебаний в 1,5 раз.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Насколько, по сравнению с периодом колебаний, зависит разность периодов для: а) двух разных амплитуд; б) двух разных масс?
2. Какое движение называют колебательным?
3. Вычислите по данным одного из опытов частоту колебаний шарика $\nu = \frac{1}{T}$.
- * 4. Исследуйте зависимость периода колебаний от длины нити. Выполните два опыта, в которых длина нити отличается в 4 раза. Например, используйте как первый опыт результат, полученный при длине нити 25 см, а второй раз – при $l = 100$ см. Сделайте выводы. Напомним, что длину нити измеряют от точки подвеса до центра шарика.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Измерение массы тел методом
взвешивания

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять массу тел с помощью рычажных весов
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	весы рычажные; разновесы; тела для взвешивания (монеты, резинка, карандаш и т. п.).
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<p>а) Чтобы взвесить тело, нужно сравнить массу тела с эталоном. Роль эталона выполняют разновесы, которые находятся в специальной коробке (рис. 4).</p> <p>б) Перед взвешиванием нужно убедиться, что стрелка весов указывает на ноль (рис. 3). Если это не так, нужно установить равновесие с помощью специальных винтов (рис. 2, вверху слева и справа), или нагрузить более легкую чашу кусочками бумаги до установления равновесия.</p> <p>в) Равноплечные весы уравновешены, если масса тела на одной чаше равняется массе разновесов на другой чаше.</p> <p>г) Абсолютная погрешность взвешивания равняется половине массы наименьшего разновеса. Маленькие разновесы следует брать пинцетом.</p>

ХОД РАБОТЫ

Схема опыта (как на рис. 1).

1. Рассмотрите разновесы от наибольшего к наименьшему.
2. Запишите значение абсолютной погрешности взвешивания в таблицу (например, пусть масса наименьшего разновеса – 1 г. Тогда $\Delta m = 0,5 \text{ г}$).
3. Уравновесьте весы.
4. Положите взвешиваемое тело на одну чашу весов (правая чаша на рис. 1).
5. Нагружайте разновесами другую чашу до установления равновесия (стрелка прибора указывает на ноль).
6. Определите общую массу разновесов – это и есть масса тела.

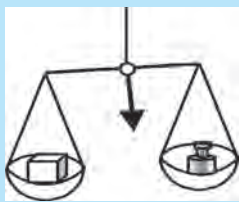


Рис. 1



Рис. 2. Весы и разновесы



Рис. 3. Монеты еще не уравновешены



Рис. 4. Набор разновесов и тела для взвешивания

7. Запишите массу тела в таблицу вместе со значениями абсолютной и относительной погрешностей взвешивания.

	Масса, $г$	Абсолютная погреш- ность, $\Delta m, г$	Относительная погрешность, $\epsilon, \%$
Тело 1			
Тело 2			
Тело 3			

ВЫВОДЫ

1. Укажите, какую физическую величину и каким прибором вы научились измерять.
2. Запишите значение массы каждого тела (или набора тел) в стандартном виде (например, $m = 25,3 \pm 0,5 г$).
3. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений..

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Какой была наибольшая и наименьшая масса разновесов?
2. Какую наибольшую массу можно было определить на весах?
- * 3. Почему на весах нельзя определить массу очень легкого тела, например, песчинки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Определение плотности вещества
(твердых тел и жидкостей)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять плотность твердых и жидкостей.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	весы рычажные; разновесы; мерный цилиндр; твердое тело – металлический цилиндр; стакан с водой; стакан с подсоленной водой.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<p>1. Абсолютная погрешность взвешивания Δm равняется половине массы наименьшего разновеса.</p> <p>2. Относительная погрешность определения массы: $\varepsilon(m) = \frac{\Delta m}{m}$.</p> <p>3. При вычитании или сложении измеренных величин их абсолютные погрешности суммируются. Следовательно, абсолютная погрешность определения объема твердого тела $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$.</p> <p>4. Относительная погрешность определения объема твердого тела: $\varepsilon = \frac{\Delta V}{V}$. Плотность тела: $\rho = \frac{m}{V}$.</p> <p>5. Относительная погрешность при делении или умножении равняется сумме относительных погрешностей измеренных величин: $\varepsilon(\rho) = \varepsilon(m) + \varepsilon(V)$.</p> <p>6. Абсолютная погрешность при непрямым измерениях равняется произведению относительной погрешности на значение вычисленной величины. В этой работе: $\Delta \rho = \varepsilon(\rho) \cdot \rho$.</p>

ХОД РАБОТЫ

1. Определение плотности вещества твердого тела.

- 1. Схема опыта (как на рис. 1).
- 2. Определите на весах массу металлического цилиндра.
- 3. Запишите массу тела в таблицу вместе со значением абсолютной и относительной погрешности взвешивание.
- 4. Налейте в мерный стакан воды и запишите в таблицу начальное значение объема V_1 .
- 5. Поместите металлический цилиндр в мерный стакан и запишите новое значение объема V_2 .

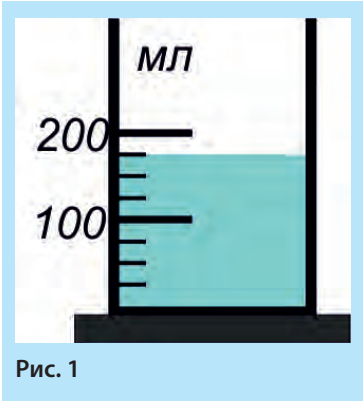


Рис. 1

- Определите объем тела $V = V_2 - V_1$ и запишите значение в таблицу.
- Запишите значения абсолютной и относительной погрешности определения объема в таблицу.
- Вычислите значение плотности вещества твердого тела и запишите в таблицу.
- Вычислите относительную и абсолютную погрешность определения плотности и запишите значения в таблицу.

II. Определение плотности жидкости.

- Взвесьте сухой пустой мерный стакан (m_1).
- Налейте в мерный стакан подсоленной воды и определите ее объем.
- Взвесьте мерный стакан вместе с жидкостью (m_2).
- Вычислите массу жидкости: $m = m_2 - m_1$.
- Вычислите плотность жидкости.
- Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

	$m, \text{г}$	$V, \text{см}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho, \text{кг/см}^3$
Твердое тело				
Жидкость				

Погрешности

	$\Delta m, \text{г}$	$\varepsilon(m)$	$\Delta V, \text{г/см}^3$	$\varepsilon(V)$	$\varepsilon(\rho)$	$\Delta(\rho), \text{г/см}^3$	$\varepsilon(\rho), \%$
Твердое тело							
Жидкость							

ВЫВОДЫ

- Укажите, какую физическую величину вы научились определять.
- Запишите значения плотности твердого тела и жидкости в стандартном виде, например, $\rho = (6,2 \pm 0,8) \text{ г/см}^3$.
- Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

- Что называют плотностью вещества?
- Почему плотность подсоленной воды больше плотности чистой воды?
- Каков объем воды в мерном стакане (рис. 1)? Запишите результат в стандартном виде.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Исследование упругих свойств тел

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять жесткость пружины.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	пружина; разновесы известной массы; линейка; штатив.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<div>1. Жесткость пружины определяется как $k = \frac{F}{x}$.</div> <div>2. Сила, с которой разновес действует на пружину: $F = mg$, где m – масса разновеса, $x = l - l_0$ – удлинение пружины.</div> <div>3. Абсолютная погрешность удлинения: $\Delta x = \Delta l + \Delta l_0$.</div> <div>4. Относительная погрешность вычисления жесткости: $\varepsilon(k) = \varepsilon(F) + \varepsilon(x)$.</div> <div>5. Абсолютная погрешность жесткости: $\Delta k = \varepsilon(k) \cdot k$.</div> <div>6. $k_{cp} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}$</div>

ХОД РАБОТЫ

1. Схема опыта (как на рис. 1).
2. Определите начальную и конечную длину пружины, подвесив к пружине один, два и три разновеса. Вычислите удлинение пружины в каждом случае.
3. Определите значение силы F в каждом случае.
4. Вычислите значение жесткости пружины k для трех опытов.
5. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

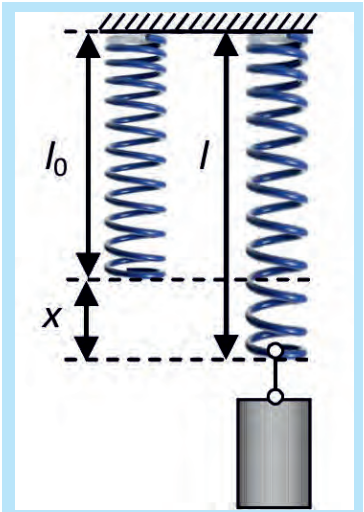


Рис. 1.

Опыт:	$l_0, \text{см}$	$l, \text{см}$	$x, \text{см}$	$F, \text{Н}$	$k, \text{Н/см}$	$k_{cp}, \text{Н/см}$	$k_{cp}, \text{Н/м}$
1.							
2.							
3.							

Опыт	Δx , см	$\varepsilon(x)$	ΔF , Н/см	$\varepsilon(F)$	$\varepsilon(k)$	$\frac{\Delta(k)}{k}$, Н/см	$\varepsilon(k)$, %
1.							
2.							
3.							

ВЫВОД

1. Укажите, какую физическую величину вы научились определять.
2. Запишите значение жесткости пружины в стандартном виде, например,
 $k = [2,52 \pm 0,04] \text{ Н/см}$.
3. Сравните значения жесткости пружины, полученные в каждом опыте, сделайте вывод.
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Что называют жесткостью пружины?
2. Какую деформацию называют упругой?
3. Какой вид деформации вы исследовали в этой лабораторной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Определение коэффициента трения
скольжения

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	научиться определять коэффициент трения скольжения.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	динамометр; разновесы известной массы; деревянная дощечка; деревянный брусок.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<div>1. Коэффициент трения определяется как $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}$. Сила реакции опоры в этом опыте равняется весу разновеса вместе с бруском $N = P_{\text{бр}} + P_{\text{тяг}}$.</div> <div>2. Относительная погрешность вычисления коэффициента трения скольжения: $\varepsilon(\mu) = \varepsilon(F_{\text{тр}}) + \varepsilon(N)$.</div> <div>3. Абсолютная погрешность коэффициента трения скольжения: $\Delta\mu = \varepsilon(\mu) \cdot \mu$.</div> <div>4. При равномерном движении бруска сила, которую показывает динамометр, равняется силе трения скольжения: $F_{\text{тр}} = F$.</div>

ХОД РАБОТЫ

1. Схема опыта (как на рис. 1 и 2).
2. Равномерно тяните нагруженный одним, двумя и тремя разновесами брусок с помощью динамометра.
3. Определите значение силы F , которую показывает динамометр в каждом случае.
4. Определите значение N как суммы веса бруска и веса разновесов для каждого из трех опытов.
5. Вычислите значение коэффициента трения скольжения в каждом опыте.
6. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

Дополнительное задание. Определите коэффициент трения скольжения в третьем опыте, двигая брусок на грани меньшей площади, и запишите это значение в таблицу как μ_1 .



Рис. 1



Рис. 2.

Опыт	F , Н	N , Н	μ	$\mu_{\text{ср}}$	μ_1
1.					
2.					
3.					

Дослід	$\Delta F_{\text{тр}}, \text{с.м.}$	$\varepsilon (F_{\text{тр}})$	$\Delta(N), \text{Н}$	$\varepsilon (\mu)$	$\Delta (\mu)$	$\varepsilon (\mu), \%$
1.						
2.						
3.						

ВЫВОДЫ

1. Укажите, какую физическую величину вы научились определять.
2. Запишите значение коэффициента трения скольжения в стандартном виде, например, $\mu = 0,34 \pm 0,25$.
3. Сравните значения коэффициента трения скольжения, определенные в каждом опыте, и сделайте вывод.
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Что называют коэффициентом трения скольжения?
2. Как зависит коэффициент трения скольжения от площади соприкосновения поверхностей?
3. Почему при движении бруска стрелка динамометра в начале движения «подергивается»??

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Выяснение условий плавания тела

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	исследовать условия плавания тела.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	мерный стакан; стакан с водой; линейка; штатив; песок, пластилин или монеты; фильтровальная бумага; прозрачная пластиковая коробочка с пробкой и крючком; динамометр
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<p>1. Если плотность тела меньше плотности жидкости, то тело в этой жидкости плавает.</p> <p>2. Осадка плавающего средства (глубина погружения) тем больше, чем больше его плотность по сравнению с плотностью жидкости</p> <p>3. Определив вес тела P на динамометре, можно вычислить массу тела: $m = \frac{P}{g}$, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$. Сила тяжести $F_{\text{тяж}}$, действующая на коробочку, равняется ее весу P.</p>

ХОД РАБОТЫ

1. Схема опыта (как на рис. 1).
2. Налейте в мерный стакан воды и запишите значение объема V_1 .
3. Нагрузите коробочку так, чтобы она плавала, погружившись в воду приблизительно на 1/3 своего объема.
4. Запишите значение объема V_2 в мерном стакане после погружения коробочки.
5. Вычислите значение объема вытесненной воды $V = V_2 - V_1$.
6. Окуните коробочку полностью в воду и определите ее объем V_k .
7. Вычислите значение выталкивающей силы $F_A = \rho \cdot g \cdot V$, где $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды. Для расчетов объем вытесненной воды V нужно выразить в кг
8. Выньте коробочку из воды, промокните ее фильтровальной бумагой и взвесьте на динамометре, определив ее вес P .
9. Вычислите массу коробочки по формуле $m_K = P/g$ в кг и переведите в г.
10. Вычислите плотность коробочки по формуле $\rho_K = \frac{m_K}{V_K}$
11. Проведите еще два опыта: **а)** когда коробочка плавает, погружившись приблизительно на 2/3 своего объема, и **б)** когда коробочка плавает, практически полностью погружившись в воду.

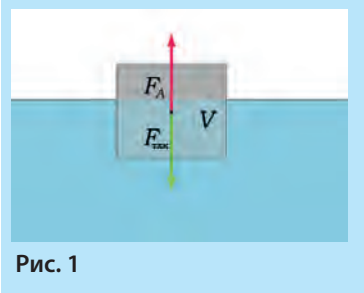


Рис. 1

12. Поместите металлический цилиндр в мерный стакан и запишите новое значение объема V_2 .

13. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

Опыт:	$V_1, \text{см}^3$	$V_2, \text{см}^3$	$V, \text{см}^3$	$V_K, \text{см}^3$	$\rho_B, \text{г/см}^3$	$\rho_K, \text{г/см}^3$	$F_A, \text{Н}$	$P, \text{Н}$
1.					1000			
2.					1000			
3.					1000			

ВЫВОДЫ

1. Сравните плотность коробочки с плотностью воды в каждом из трех опытов и сделайте вывод.
2. Сравните вес тела с силой Архимеда в каждом из трех опытов и сделайте вывод.
3. Какой была абсолютная погрешность определения силы динамометром?
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Как в этой лабораторной работе можно было бы определить плотность неизвестной жидкости?
2. Может ли тело плавать в жидкости, объем которой меньше объема самого тела? (парадокс Архимеда).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Изучение условия равновесия рычага

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	исследовать условия равновесия рычага для трех разных случаев.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	штатив; осевой стержень; разновесы с крючками; рычаг лабораторный; линейка.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рычаг не вращается, если сумма моментов, вращающих по часовой стрелке, равняется сумме моментов, вращающих против часовой стрелки (рис. 1). 2. Моментом силы называют произведение силы на плечо: $M = F \cdot l$. 3. Плечом называют кратчайшее расстояние от оси вращения «О» до линии действия силы.

ХОД РАБОТЫ

1. Схема опыта (как на рис. 2 и 3).
2. Уравновесьте рычаг, как это показано на рис. 2.
3. Измерьте плечи l_1 и l_2 . Пусть вес одного разновеса – P . Тогда $M_1 = 2P \cdot l_1$, $M_2 = P \cdot l_2$. Вес всех разновесов одинаков: $P = 0,5 \text{ Н}$
4. Уравновесьте рычаг, как на рис. 3.



Рис. 1

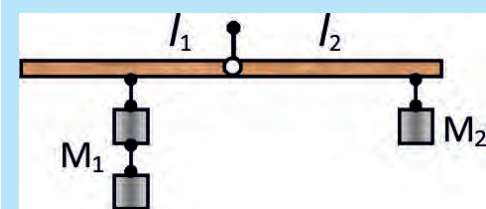


Рис. 2

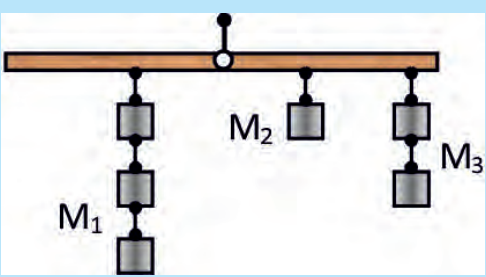


Рис. 3

5. Измерьте плечи l_1 , l_2 и l_3 . Тогда $M_1 = 3P \cdot l_1$, $M_2 = P \cdot l_2$, $M_3 = 2P \cdot l_3$.
6. Уравновесьте рычаг на свое усмотрение, но чтобы число моментов равнялось четырем.
7. Сумму моментов, вращающих против часовой стрелки, обозначим M_{np} , а сумму моментов, вращающих по часовой стрелке, обозначим M_{no} .
8. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

Опыт:	$M_{np}, Н \cdot см$	$M_{no}, Н \cdot см$	$ M_{np} - M_{no} , Н \cdot см$
1.			
2.			
3.			

ВЫВОДЫ

1. В чем вы убедились, выполнив эту лабораторную работу?
2. Определите относительную погрешность во втором опыте. Самостоятельно придумайте способ расчета.
3. Запишите условие вращения рычага по часовой стрелке в первом опыте.
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Каким будет момент силы 10 Н, если плечо этой силы равняется 0,2 м?
2. Как действуют силы со стороны рук велосипедиста на руль, когда он поворачивает вправо? Поясните решение рисунком.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Определение КПД наклонной плоскости

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:	определить КПД наклонной плоскости и исследовать, от чего он зависит.
ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ:	деревянная досочка; линейка; штатив; деревянный брусок; динамометр.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:	<div>1. $KПД = \frac{A_{пол.}}{A_{затр.}} \cdot 100 \%$.</div> <div>2. Полезная работа будет заключаться в подъеме бруска на высоту h (рис. 1). Следовательно, $A_{пол.} = mgh = F_1 \cdot h$.</div> <div>3. Затраченная работа выполняется при движении бруска по наклонной плоскости: $A_{затр.} = F_2 \cdot L$.</div> <div>4. Таким образом $KПД = \frac{F_1 \cdot h}{F_2 \cdot L} 100\%$</div>

ХОД РАБОТЫ

1. Схема опыта (как на рис. 1).
2. Определите с помощью динамометра вес бруска F_1 .
3. Прицепите крючок динамометра к бруску и тяните его равномерно вверх по наклонной плоскости. Определите силу F_2 .
4. Измерьте линейкой длину досочки L .
5. Проведите опыт для трех разных значений h , например, 10 см, 15 см и 25 см.
6. Вычислите полезную и затраченную работу.
7. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

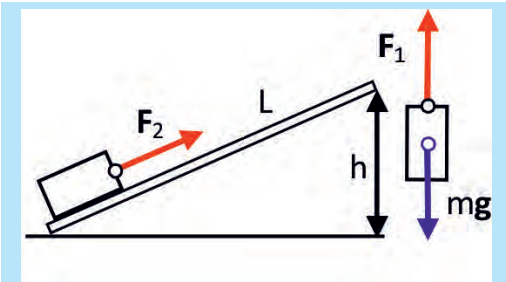


Рис. 1

Опыт	$L, \text{ см}$	$F_1, \text{ Н}$	$h, \text{ см}$	$F_2, \text{ Н}$	$A_{пол.}$	$A_{затр.}$	$KПД, \%$
1.							
2.							
3.							

ВЫВОДЫ

1. Какую физическую величину вы научились определять в данной лабораторной работе?
2. Существует ли зависимость $KПД$ наклонной плоскости от высоты h ?
3. Определите абсолютную и относительную погрешность при определении $KПД$ во втором опыте.
4. Назовите основные факторы, которые повлияли на точность измерений

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ:

1. Влияет ли сопротивление воздуха на точность определения КПД в этой работе?
2. Почему нужно поднимать и тянуть брусок по плоскости равномерно?

СЛОВАРЬ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ

Абсолютный – полный, совершенный

Авианосец – корабль, на котором размещены самолеты

Акваланг – устройство для подводного плавания

Акселератор – ускоритель

Акселерометр – прибор для измерения ускорений (перегрузок) в транспортных машинах, летательных аппаратах и т. п.

Амплитуда колебаний – наибольшее отклонение (смещение) от точки равновесия

Артериальное давление – давление крови в кровеносной системе человека

Баланс – равновесие, согласованность частей

Барометр – прибор для измерения атмосферного давления

Батискаф – устройство для глубоководного погружения

Безразмерная величина – величина, не имеющая единиц измерения

Бобслей – разновидность санного спорта

Вакуум – состояние газа при очень низком давлении, пустота

Ватт (Вт) – единица измерения мощности

Ватерлиния – линия соприкосновения поверхности воды с корпусом корабля

Взаимодействие – действие тел друг на друга

Вектор – направленный отрезок (со стрелкой)

Вертикаль – отвесная линия; линия, направленная к центру земли

Водород – первый элемент (*Гидроген*) в таблице Менделеева, самый легкий из газов

Волоконные линии – кабели, сделанные из стеклянных волокон и передающие информацию с помощью света

Вселенная – весь существующий мир, который нас окружает

Тормозная колодка – пластина из определенного материала, который прижимается к тормозному диску колеса автомобиля, когда водитель тормозит

Тормозной диск – диск на автомобильном колесе, к которому прижимается тормозная колодка при торможении

Галактика – звездное скопление, состоящее из сотен миллионов звезд, которые удерживаются вместе силами тяжести

Галилей (*Галилео Галилей* – *Galileo Galilei*) – итальянский физик

Гелий – второй элемент таблицы Менделеева, легкий газ

Герике (*Отто фон Герике* – *Guericke, Otto von*) – немецкий физик

Герметичный – тот, который не пропускает воздух или воду

Гидравлический пресс – устройство для создания большой силы давления

Гидростатическое давление – давление неподвижной жидкости

Гравитация – тяготение

График – рисунок, изображающий взаимосвязь двух переменных величин

Гюйгенс (*Кристьян Гюйгенс* – *Huygens Christiaan*) – голландский физик

Дальномер – прибор для измерения расстояния

Волчок – детская игрушка, которая не опрокидывается при быстром вращении

Декарт (*Рене Декарт* – *Descartes, Rene*) – французский физик

Деформация – изменение размера и формы тела

Динамик – устройство для воспроизведения и усиления звука

Динамометр – прибор, который измеряет силу

Дирижабль – летательный аппарат с твердой оболочкой, наполненной легким газом

Сутки – время, за которое планета делает полный оборот вокруг своей оси (для Земли это 24 часа)

Долгота – координата, которую измеряют в градусах дуги вдоль параллели относительно нулевого (Гринвичского) меридиана

Дюйм – 1/12 фута, приблизительно 2,5 см

Жесткость – название коэффициента в формуле закона Гука

Затяжной прыжок – прыжок, при котором парашютист некоторое время не открывает парашют

Звезды – подобные Солнцу шары, состоящие из раскаленных газов (преимущественно из водорода и гелия)

Смещение – отклонение от положения равновесия

Эксперимент – проба, опыт, в котором проверяют предварительно сделанное предположение

Эллипс – плоская замкнутая выпуклая двухфокусная кривая линия.

Электрон – заряженная негативно частица, которая входит в состав электронной оболочки атома

Электризация – процесс сообщения телу электрического заряда (например, с помощью трения)

Электромагнитные волны – свет, рентгеновские и гамма-лучи, радиоволны

Электронный микроскоп – микроскоп, использующий для увеличения изображения не свет, а электроны

Эффект – результат, следствие, физическое явление

Эталон – образец, мера, стандарт единицы измерения

Интенсивный – сильный, значительный

Информация – определенные данные, сведения

Инфразвук – звук, частота которого менее 16 Гц

Карбон – элемент № 12 таблицы Менделеева; уголь, графит и алмаз состоят из атомов Карбона

Квантовая механика – механика движения атомов и атомных частиц (электроны, протоны и т. п.)

Кварки – частицы, из которых состоят протоны и нейтроны

Киловатт – единица измерения мощности

Клапан – устройство, регулирующее пропускание газа или жидкости в насосах и других приборах (сердечные клапаны)

Коэффициент пропорциональности – множитель, входящий в состав формул

Коэффициент трения – коэффициент пропорциональности в формуле для расчета трения скольжения

Компактно – коротко, сжато

Компрессор – устройство для нагнетания воздуха

Коммуникация – связь, линия для передачи информации

Космос – внеземное пространство

Крейсер – боевой военный корабль

Лаборатория – помещение, в котором проводятся научные эксперименты

Литр – один кубический дециметр

Логика – определенный строгий способ рассуждения

Эхо – отраженный препятствием звук

Масса – измеряется с помощью рычажных весов. Единица измерения – кг

Максимум – наибольшее значение

Манометр – прибор, который измеряет давления, значительно отличающиеся от атмосферного

Масштаб – отрезок, единица измерения на рисунке, графике, карте

Материя – то, из чего все состоит

Материальная точка – объект, имеющий массу, но не имеющий размеров

Мембрана – гибкая пленка

Менделеев (Дмитрий Иванович Менделеев) – русский химик

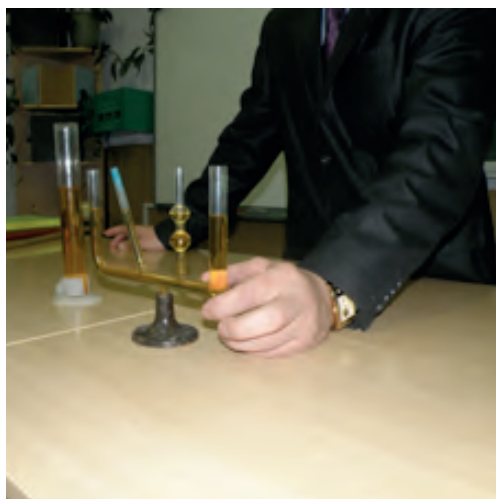
- Мензурка** – прибор для определения объема жидких и сыпучих веществ
- Метеостанция** – метеорологическая станция, следит за состоянием погоды
- Метрологическая лаборатория** – место, где хранят эталоны единиц измерения и устанавливают единые стандарты измерений
- Механическое движение** – перемещение тела в пространстве с течением времени
- Микрограмм** – миллионная часть грамма
- Микрометр** – миллионная часть метра
- Миллилитр** – тысячная часть литра
- Миллиметр** – тысячная часть метра
- Минимум** – наименьшее значение
- Модель** – измененная (упрощенная) копия реального устройства или явления
- Молекула** – наименьшая часть вещества
- Монгольфье** (*братья Этьен и Жан Монгольфье*) – изобретатели воздушного шара
- Монгольфьер** – воздушный шар, наполненный горячим воздухом
- Сверхпроводимость** – состояние, при котором ток течет через проводник без сопротивления
- Нейтрон** – нейтральная (не имеющая электрического заряда) частица, содержащаяся в ядре атома
- Неравномерное движение** – движение с переменной скоростью
- Нобелевская премия** – высокая международная награда, основанная Альфредом Нобелем. Присуждается ежегодно, начиная с 1901 года
- Нормальное давление** – 760 мм рт. ст.
- Ньютон Исаак** (*Isaac Newton*) – выдающийся английский ученый
- Ньютон** – единица измерения силы
- Объект** – предмет, тело
- Единицы измерения** – физические величины, которым присвоены значения, равняющиеся единице: 1 м, 1 с, 1 кг и т.п.
- Озон** – газ, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода; имеет запах
- Орбита** – траектория, описываемая планетой
- Объем** – число, выражающее величину области пространства, занимаемую телом
- Парадокс** – утверждение, которое кажется неправильным или невозможным
- Паскаль** (*Блез Паскаль – Pascal, Blaise*) – французский физик
- Паскаль** (1Па=1 Н/м²) – единица измерения давления
- Период колебаний** – время, в течение которого осуществляется одно полное колебание
- Период вращения** – время одного оборота
- Мощность** – работа в единицу времени, скорость выполнения работы
- Принцип** – основное положение учения или теории
- Ускорение** – изменение скорости в единицу времени, скорость изменения скорости
- Протон** – частица, входящая в состав атомного ядра, имеет позитивный электрический заряд, который по величине равняется заряду электрона
- Процедура** – определенный порядок действий
- Процесс** – определенный порядок действий
- Радиотелескоп** – антенна (похожая на чашу) и чувствительный приемник радиоволн; применяют для приема радиосигналов из космоса
- Реакция** – обратное действие
- Резервуар** – вместилище для хранения жидкости или газа
- Ресурс** – запас, источник
- Равновесие** – состояние, в котором тело не движется
- Равномерное движение** – движение с постоянной скоростью

- Разновесы** – набор гирь разной массы
- Рычаг** – стержень, с помощью которого можно получить выигрыш в силе или скорости
- СИ** (*Sisteme International*) – международная система единиц измерения
- Синхронно** – вместе, одновременно
- Сифон** – устройство для переливания жидкости
- Световой год** – расстояние, которое свет проходит за один год
- Сила** – физическая величина, которая выражает действие на данное тело других тел, результатом которого являются ускорение и деформация
- Сообщающиеся сосуды** – сосуды, соединенные так, что жидкость может перетекать между ними
- Стандарт** – норма, эталон
- Стратостат** – большой воздушный шар, поднимающийся в стратосферу
- Стратосфера** – очень высокие слои атмосферы
- Таблица** – способ записи данных, список
- Танкер** – корабль, который перевозит в основном нефть
- Телекоммуникация** – обмен информацией на расстоянии (телефон, радио, телевидение и т. д.)
- Телескоп** – оптический прибор для наблюдений за небесными телами
- Весы** – прибор для измерения массы
- Трение** – явление взаимодействия поверхностей двух тел при движении или попытке движения
- Термоядерные реакции** – реакции образования тяжелых атомных ядер из ядер легких элементов. Происходят в недрах звезд при температурах в сотни миллионов градусов
- Тело отсчета** – тело, относительно которого мы обозначаем свое движение
- Тонна** – 1 000 кг
- Тоннажность** – масса воды, которую вытеснит плавающий корабль
- Траектория** – линия, описываемая материальной точкой при ее (точке) движении
- Формула** – сжатая математическая запись физического закона
- Фундаментальный** – основной, в основе всего
- Хронометр** – очень точные часы
- Цилиндр** – геометрическая фигура
- Циклоида** – сложная кривая, которую описывает точка обода катящегося колеса
- Время** – мера скорости хода событий и изменения явлений
- Частота колебаний** – количество колебаний в единицу времени
- Частота вращения** – количество оборотов в единицу времени
- Число π (пи)** – $\pi \approx 3.14$
- Черная дыра** – звезда, которая сжалась под действием сил тяжести настолько, что свет не может ее покинуть
- Скорость** – расстояние, которое тело проходит за единицу времени
- Путь** – расстояние, измеренное вдоль траектории
- Явление** – определенное событие, процесс проявления или изменения чего-то
- Ядерные силы** – силы, которые действуют между протонами и нейтронами

ИНСТРУКЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В КАБИНЕТЕ (ЛАБОРАТОРИИ) ФИЗИКИ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 1.1. Инструкция по технике безопасности для кабинета (лаборатории) физики учебного заведения распространяется на всех участников учебно-воспитательного процесса во время проведения занятий по физике (демонстрационных опытов, лабораторных и практических работ).
- 1.2. Во время проведения учебно-воспитательного процесса в кабинетах (лабораториях) физики общеобразовательных учебных заведений ученики проходят инструктаж по безопасности труда и обучения, а также предоставления первой (доврачебной) помощи при характерных повреждениях, который проводится учителем физики перед началом занятий в кабинете физики и регистрируется в журнале.



II. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ

- 2.1. Четко выясните порядок и правила безопасного проведения опыта.
- 2.2. Освободите рабочее место ото всех ненужных для работы предметов и материалов.
- 2.3. Проверьте наличие и надежность приборов и других предметов, необходимых для выполнения задания.
- 2.4. Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем ме-

сте так, чтобы предотвратить их падение или опрокидывание.

III. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Начинайте выполнять задание только с разрешения учителя.
- 3.2. Выполняйте лишь ту работу, которая предусмотрена заданием или поручена учителем.
- 3.3. Не допускайте резких изменений температуры и механических ударов при работе со стеклянными изделиями.
- 3.4. Опускайте твердые тела в мензурку на крепкой нити, чтобы не разбить мензурку.
- 3.5. Обращайтесь с рычагом так, чтобы он не вращался вокруг оси и не ударил вас.
- 3.6. Не касайтесь клемм стационарных источников электрического питания.
- 3.7. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя.

IV. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Уберите свое рабочее место с разрешения учителя.
- 4.2. Сложите оборудование так, как оно было сложено до начала работы.
- 4.3. При необходимости вытрите стол чистой тряпкой.

V. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

- 5.1. В случае ранения, ожогов, плохого самочувствия и т. п. сообщите об этом учителю.
- 5.2. В случае возникновения непредвиденного возгорания или пожара немедленно сообщите об этом учителю.
- 5.3. В случае нестандартной ситуации начинайте ликвидацию очага огня подручными средствами или огнетушителем, который есть в каждом физическом кабинете.

КАБИНЕТ ФИЗИКИ

1. Кабинет оборудован:

- 1.1 Лабораторными столами и стульями;
- 1.2 Демонстрационным столом;
- 1.3 Шкафами для хранения учебного оборудования для лабораторных и практических работ.



2. Кабинет оборудован медицинской аптечкой с набором перевязочных средств и медикаментов в соответствии с требованиями инструкций по технике безопасности охраны труда для учеников.
3. Кабинет физики относится к группе помещений с повышенной безопасностью.
 - 3.1 Запрещено подавать на рабочие столы учеников напряжение больше 42 В переменного и 110 В постоянного тока;
 - 3.2 Электрооборудование кабинета с напряжением питания больше 42 В переменного и 110 В постоянного тока заземляют.
4. С целью обеспечения пожарной безопасности кабинеты физики комплектуются противопожарным инвентарем:
 - 4.1 Ящиком с песком, плотной мешковиной;
 - 4.2 Огнетушителем.
5. Пребывание учеников в кабинете физики допускается лишь в присутствии учителя.

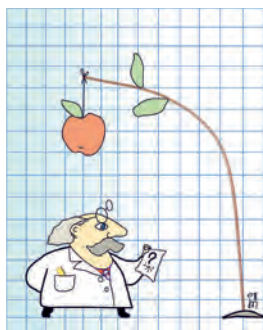
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы														
	A	I	В	A	II	В	A	III	В	A	IV	В	A	V	
1	(H)														
2	Li Lithium Литий			Be Beryllium Бериллий			B Borum Бор			C Carboneum Углерод			N Nitrogeniu Азот		
3	Na Natrium Натрий			Mg Magnesium Магний			Al Aluminium Алюминий			Si Silicium Кремний			P Phosphor Фосфор		
4	K Kalium Калий			Ca Calcium Кальций			Sc Scandium Скандий			Ti Titanium Титан			V Vanadium Ванадий		
	Cu Cuprum Медь			Zn Zincum Цинк			Ga Gallium Галий			Ge Germanium Германий			As Arsenicum Мышьяк		
5	Rb Rubidium Рубидий			Sr Strontium Стронций			Y Yttrium Иттрий			Zr Zirconium Цирконий			Nb Niobium Ниобий		
	Ag Argentum Серебро			Cd Cadmium Кадмий			In Indium Индий			Sn Stannum Олово			Sb Stibium Сурьма		
6	Cs Cesium Цезий			Ba Barium Барий			La* Lanthanum Лантан			Hf Hafnium Гафний			Ta Tantalum Тантал		
	Au Aurum Золото			Hg Hydrargyrum Ртуть			Tl Thallium Таллий			Pb Plumbum Свинец			Bi Bismuthum Висмут		
7	Fr Francium Франций			Ra Radium Радий			Ac** Actinium Актиний			Rf Rutherfordium Фезерфордий					
ФОРМУЛЫ ВЫСШИХ ОКСИДОВ	R ₂ O			RO			R ₂ O ₃			RO ₂			R ₂		
ФОРМУЛЫ ЛЕТУЧИХ ОДНОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ										RH ₄			RH ₃		
ЛАНТАНОИДЫ*	Ce Cerium Церий			Pr Praseodymium Празеодим			Nd Neodymium Неодим			Pm Promethium Прометий			Sm Samarium Самарий		
АКТИНОИДЫ**	Th Thorium Торий			Pa Protactinium Протактиний			U Uranium Уран			Np Neptunium Нептуний			Pu Plutonium Плутоний		

Э Л Е М Е Н Т О В

239

ОТВЕТЫ К НЕКОТОРЫМ ЗАДАЧАМ



РАЗДЕЛ 1

◆ УПРАЖНЕНИЕ 1

№ 14: приблизительно в 100 раз. № 15 а) ≈ 18 млн км; б) $\approx 1,1$ млрд км ($1,1 \cdot 10^9$ км) в) ≈ 26 млрд км ($26 \cdot 10^9$ км); г) ≈ 9500 млрд км ($9,5 \cdot 10^{12}$ км). № 16 Диаметр Солнца приблизительно в 109 раз больше диаметра Земли. № 19 Приблизительно на 100 световых лет. № 20 Расстояния к звездам настолько велики, что мы не можем их оценить «на глаз». Поэтому они кажутся нам одинаково далекими и находятся на воображаемой сфере.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 2

№ 8: в 1835 раз.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 3

№ 12 г) туман состоит из маленьких капелек воды. № 14 молекулы сахара двигаются быстрее, а расстояния между молекулами воды увеличиваются. № 16: капельки тумана рассеивают свет в разные стороны.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 4

№ 10 10 хв. № 11 0,245 м; 3500 м; 14 880 с. № 12 6 400 км або 6,4 Мм; 3 844 Мм; 0,3 мкм.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 5

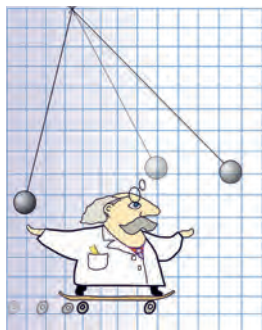
№ 17 $\Delta h = 0,01$ м, $\varepsilon(h) \approx 0,065$ або 6,5%. № 18 а) $\Delta m = 1$ г, б) $m = (50 \pm 1)$ г, з точністю 2%. № 15 $l = (50 \pm 0,5)$ см, $\varepsilon(l) \approx 0,0036$, то есть 1%.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 7

№ 1 1 л = 1000 мл. № 2 20 см². № 3 378,5 см². № 4 $V = 120$ см³. № 5 240 см³.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 8

№ 4 электронные микроскопы. № 7 «Общая теория относительности» Эйнштейна. № 6 диаметр волоса – 100 мкм, диаметр Гидрогена – 10 см. № 7 от спутников-ретрансляторов. № 8 процессор. № 9 рентгеновские. № 10 ≈ 600 км/ч.



РАЗДЕЛ 2

◆ УПРАЖНЕНИЕ 10

№ 5 эллиптическую. № 19 з) 50 км. № 21 за правилом сложения векторов.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 10

№ 6 путь. № 8 5, 15, 20, 25 и 30 км/ч. № 9 за 20 с. № 11 30 с. № 12 а) в другом случае перед велосипедистом едет фургон; б) 16,7 м/с; 74,4 м/с. № 13 смотря, как он движется на протяжении каждой секунды. № 14 250 м. № 15 28 800 км/ч., это в 36 раз больше, чем самолет и в 11,5 раза быстрее, чем истребитель.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 11

№ 3 есть как минимум две причины: 1) все тела вокруг нас движутся вместе с нами; 2) Земля оборачивается вокруг своей оси достаточно медленно. № 4 Земля оборачивается вокруг своей оси з Запада на Восток, а нам кажется, что Солнце движется в противоположном направлении, то есть с Востока на Запад. № 10 14 м/с. № 11 20 с. № 12 2 мин. № 13 210 м. № 14 600 м/с. № 15 45 с. № 16 1,5 мин. № 17 100 ступенек. № 18 скорость точки В: а) 0; б) -3 м/с; скорость точки А: б) 3 м/с; а) 6 м/с. № 19 а) 15 см; б) 10 с.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 12

№ 2 согласно формуле (13.1) вектор скорости направлен за вектором перемещения. № 6 обое наблюдателей видят круги. № 7 одинаково. № 8 через 5 мин. № 9 а) 7,5 км/ч; б) 17,5 км/ч. № 10 6 ч. № 11 а) 4 км/ч; б) 16 км/ч. № 12 в речке.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 13

№ 2 нужно за графиком определить скорость, а потом – за формулой: $s = v \cdot t$. № 4 потому что скорость все время одинакова. № 5 третье. № 12 б) $s = 0,5 \cdot t$, $s = t$, $s = 1,5 \cdot t$; $v = 0,5$, $v = 1$, $v = 1,5$. № 15 подсказка: скорость первого тела относительно другого составляет 3 м/с.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 14

№ 6 средняя скорость вычисляется только на определенном промежутке времени. № 8 а) 0; б) переднее. № 9 40 м. № 10 расстояние одинаково. № 11 автобус.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 15

№ 2 от радиуса и частоты. № 3 тахометр. № 6 2л. № 8 40 192 км. № 9 10 см. № 10 а) 2 400 об/мин; б) 50,24 м/с. № 11 92,7 мин, тобто $\approx 1,5$ ч. № 12 12,56 с. № 15 при условии равенства большой и малой полуосей. № 16 на земной оси; радиусы окружностей находятся в пределах от нуля на полюсе до 6 400 км на экваторе. № 18 а) против часовой стрелки с частотой 5 об/с; б) маленькое 0,1 с, большое 0,2 с. № 19 а) по часовой стрелке; б) последнее кольцо вращается быстрее, чем первое. № 20 а) сможет; б) не изменится. № 21 б) ≈ 27 км/ч. № 22 длина петли 12 см, расстояние между фокусами ≈ 9 см.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 16

№ 1 8. № 3 потому что он перестал вращаться вокруг своей оси. № 4 в основном, из-за влияния Луны. № 7 на восток, а вместе с небом – на запад. № 10 ≈ 1 км/с. № 16 приблизительно – через час, 5 мин еще «чуть-чуть»; точно – через 12/11 часа. № 17 относительно Земли.



РАЗДЕЛ 3

◆ УПРАЖНЕНИЕ 18

№ 6 через свойство инертности. № 7 а) через значительную массу кирпича, он не успевает сдвинуться с места и ударить по руке; б) отколотая часть кирпича имеет меньшую массу, чем масса другой части вместе с рукой и корпусом человека. № 9 часть ковра, по которой ударили, резко двигается с места, и частички пыли за ней «не успевают». № 11 а) не может; б) может, если движется вниз по склону и силы скомпенсированы. № 12 согласно III закону Ньютона, силы одинаковы, независимо от величины начальной скорости вагонов. № 13 первому. № 14 можно опрокинуться вперед. № 15 молоток, набравший скорость, тяжело остановить.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 19

№ 7 а) 1000 кг; б) 1 г; в) 1 кг; г) 1 г. № 11 одно зернішко. № 12 атомное ядро. № 14 ≈ 22 г/см³. № 16 стекляного. № 20 а) 0,83 г/см³; № 21 а) 1000 см³; б) 600 см²; в) 337,5 г. № 24 57,9 г.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 20

№ 13 а) растягивается; б) прогибается; в) сжимаются. № 14 12 Н/см. № 15 60 Н. № 17 5 Н/см. № 18 $F = (1,75 \pm 0,25) \text{ Н}$, 0,14. № 19 к/2.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 21

№ 12 а) -4 м/с^2 . № 13 а) 8 м/с^2 ; б) 16 м/с . № 18 20 Н. № 19 5 м/с^2 ; 10 м/с . № 21 4 кг. № 22 40 см/с . № 23 пороховіе газі давят на снаряд и пушку в противоположніх направлениях. № 24 $1,5 \text{ м/с}$.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 22

№ 8 воздух мешает двигаться тем сильнее, чем больше скорость тела. № 9 деформацию вызывают сила притяжения и реакция опоры. № 11 с момента, когда коробка оторвалась от руки. № 12 можна. № 18 а) 30 Н; б) 30 Н; в) 20 Н. № 19 15 м ; $v = g \cdot t$, $s = v_{cp} \cdot t$.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 23

№ 13 эти материалы твердые и мало изнашиваются. № 18 40 Н. № 19 $\approx 75\,000 \text{ Н}$. № 20 а) трение покоя; б) трение качения. № 21 0,5 см.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 24

№ 13 500 000 Па. № 14 20 000 Па. № 15 $0,25 \text{ м}^2$. № 16 500 млн Па, ($5 \cdot 10^8 \text{ Па}$). № 17 а) в 8 раз; б) в 2 раза.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 25

№ 9 $\approx 107 \text{ млн Па}$, ($\approx 1050 \text{ атм.}$). № 10 133 280 Па, ($\approx 1.3 \text{ атм.}$). № 11 а) не изменится; б) увеличится в 13,6 раза. № 13 а) 125 кг; б) 4 900 Па; в) 612,5 Н. № 14 а) не изменится; б) увеличится. № 15 а) потому что плотность воды меньше чем плотность ртути; б) $\approx 18,5 \text{ см}$.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 26

№ 12 возникает разница между внешним давлением атмосферы и давлением в «среднем ухе». № 15 а) 360 м; б) с высотой плотность воздуха уменьшается. № 16 а) ртуть ниже уровня отверстия выльется, а ртуть выше уровня отверстия подыметсЯ кверху трубки; б) вся ртуть выльется из трубки. № 17 вес бутылки вместе с водой. № 18 а) 10,34 м. № 19 9,8 Па. № 21 давление в пузырьках значительно превосходит атмосферное, и они начинают расширяться. № 24 $5 \cdot 10^{15} \text{ т}$. № 25 через 2 с. № 28 $p = p_0 + \rho gh$. № 29 а) 760 мм рт. ст.; б) 800 мм рт. ст. в) 720 мм рт. ст.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 27

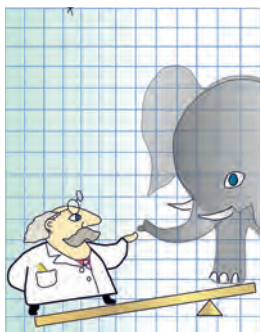
№ 9 жидкость практически не сжимается. № 11 2 000 Па. № 13 20 мм рт. ст. или 2 720 Па. № 14 нет. № 15 2 400 Н. № 17 увеличилась втрое. № 19 в 2 000 раз. № 20 В.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 28

№ 10 они одинаковы. № 11 зависит от материала грузиков. № 12 тонна железа. № 14 на большей глубине виталкивающая сила немного больше. № 15 а) 0,4 л; б) 0,5 л. № 16 а) 0,5 Н; б) 0,3 Н. № 17 200 см³. № 18 а) 0,3 Н; б) 2,5 г/см³. № 19 железный шар перевесит. № 21 $\rho = (F_1 \cdot \rho_2 - F_2 \cdot \rho_1) / (F_1 - F_2)$. № 23 50 см². № 24 10 кг.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 29

№ 11 не будет. № 13 плотность водорода меньше, чем у гелия. № 14 чтобы шар не разорвало в стратосфере. № 16 200 г. № 18 нет. № 19 а) нет; б) да. № 21 1 600 м³. № 22 на $m / (\rho \cdot S)$. № 24 а) виталкивающая сила и сила натяжения нитки; б) виталкивающая сила ничем не скомпенсирована. № 25 снизится. № 26 Д.



РАЗДЕЛ 4

◆ УПРАЖНЕНИЕ 30

№ 13 выполняет, за счет дрожания мышц. № 15 480 Дж. № 16 а) -4,9 Дж; б) 4,9 Дж. № 17 76 440 Дж. № 18 0,08 Дж. № 21 60 Вт. № 22 ≈ 13067 Вт или 13,1 кВт. № 23 а) 1 600 Вт; б) 3 200 Вт. № 24 31 360 Дж или 31,36 кДж.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 31

№ 3 в) $mv^2/2$. № 9 на движение песка используется энергия. № 10 в 25 раз. № 12 в 9 раз. № 13 в столько же раз, во сколько отличаются их жесткости. № 15 100 Дж. № 16 12 Дж. № 17 6 млн Дж. Работа потрачена на преодоление сил притяжения, вследствие чего вертолет заимел потенциальную энергию 6 МДж. № 18 а) $2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж или 2,5 мДж; б) 10 мДж. № 19 а) в 3 раза.

◆ УПРАЖНЕНИЕ 32

№ 8 песок поглощает всю кинетическую энергию мяча. № 10 от начальной потенциальной энергии мяча отнять значение кинетической энергии в момент падения. № 11 10 м/с. № 12 200 м/с. № 13 а) 2,5 Дж; б) ≈ 30 м/с; в) ≈ 50 м. № 15 4 Дж. № 16 18 750 Вт или 18,75 кВт. № 17 в 4 раза. № 18 437 500 Дж або 437,5 кДж.

◆ **УПРАЖНЕНИЕ 33**

№ 5 во втором случае плечо силы тяжести, которая действует на стержень большое. № 10 мешает сила трения в оси коромысла. № 17 чтобы получить выигрыш в скорости. № 18 не меньше, чем 7. № 19 отношение сил, которые действуют на плечи рычага, обратно пропорционально отношению соответствующих длин этих плечей.

◆ **УПРАЖНЕНИЕ 34**

№ 7 от угла наклона плоскости к горизонту и коэффициента трения. № 9 в 6 раз. № 12 проигрывая в силе, велосипедист выигрывает в скорости. № 15 см. рис. 35.8. № 16 в) спираль. № 17 чем меньше шаг винта – тем больше выигрыш в силе. № 18 50 Н. № 19 а) 5 Н вверх; б) 5 Н вверх; в) 5 Н; г) 5 Н вниз; д) 11 Н.

◆ **УПРАЖНЕНИЕ 35**

№ 9 125 Дж. № 12 против часовой стрелки. № 14 2 400 Дж. № 16 а) 5 Дж; б) 0,5 Дж; в) $\approx 91\%$. № 18 когда человек шагает, он постоянно поднимает и опускает свое туловище, используя для этого лишнюю энергию (понаблюдайте, как двигается во время спортивной ходьбы спортсмен).

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1

ФИЗИКА КАК ЕСТЕСТВЕННАЯ НАУКА	4
§ 1. Физика как фундаментальная наука о природе. Методы научного познания	5
§ 2. Начальные сведения о строении вещества. Вещество и поле	9
§ 3. Основные положения атомно-молекулярного учения	13
§ 4. Физические величины. Средства измерения Международная система единиц измерения СИ	18
§ 5. Точность измерений. Погрешности	23
§ 6. Определение площади и объема	26
§ 7. Вклад украинских ученых в развитие и становление физики	29
§ 8. Связь физики с другими науками. Физика в науке, технике, производстве и быту	33
ИТОГИ РАЗДЕЛА 1	38

РАЗДЕЛ 2

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ	42
§ 9. Как описывают механическое движение	43
§ 10. Равномерное прямолинейное движение	50
§ 11. Относительность движения	54
§ 12. Закон сложения скоростей	58
§ 13. Графики пути и скорости	62
§ 14. Неравномерное движение	65
§ 15. Равномерное движение по окружности	69
§ 16. Движение планет и Луны	75
§ 17. Колебательное движение. Маятники	80
ИТОГИ РАЗДЕЛА 2	85

РАЗДЕЛ 3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. СИЛА	90
§ 18. Взаимодействие тел. Инертность и инерция. Первый закон Ньютона	91
§ 19. Масса тела. Плотность вещества	94
§ 20. Силы в природе. Сила упругости. Закон Гука. Динамометры	99
§ 21. Ускорение. Равнодействующая сил. II и III законы Ньютона	106
§ 22. Сила притяжения. Вес тела. Невесомость	114
§ 23. Силы трения. Коэффициент трения скольжения	121
§ 24. Давление твердых тел на поверхность. Сила давления	125
§ 25. Давление жидкостей и газов. Соединенные сосуды	128
§ 26. Атмосферное давление. Опыт Торричелли	133

§27. Манометры. Насосы. Гидравлический пресс	140
§28. Виталкивающая сила в жидкостях и газах. Закон Архимеда	146
§29. Условия плавания тел	151
ИТОГИ РАЗДЕЛА 3	157

РАЗДЕЛ 4

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА И ЭНЕРГИЯ	164
§30. Механическая работа. Мощность	165
§31. Механическая энергия и ее виды	170
§32. Закон сохранения механической энергии.....	175
§33. Момент силы. Условия равновесия рычага	179
§34. Простые механизмы	184
§35. Коэффициент полезного действия механизмов (КПД)	188
§36. Развитие физической картины мира	192
§37. Влияние физики на общественное развитие и научно-технический прогресс	197
ИТОГИ РАЗДЕЛА 4	202

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	206
----------------------------------	-----

СЛОВАРЬ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ	231
----------------------------------	-----

ДОПОЛНЕНИЯ

ИНСТРУКЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В КАБИНЕТЕ (ЛАБОРАТОРИИ) ФИЗИКИ.....	235
КАБИНЕТ ФИЗИКИ.....	237
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА	239
ОТВЕТЫ К НЕКОТОРЫМ ЗАДАЧАМ.....	240

Навчальне видання

ПШЕНІЧКА Пауль Францович,
МЕЛЬНИЧУК Степан Васильович

ФІЗИКА

підручник для 7 класу
загальноосвітніх навчальних закладів
з навчанням російською мовою

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Переклад *Олексія Овсяннікова*

Редактор *Наталія Олексіївч*

Коректор *Анастасія Серікова*

Художник *Ігор Талалай*

Дизайн і верстка *Сергія Максимця, Ігоря Стусика*

Формат 70х100/16. Ум.-друк. арк. 20,00. Обл.-вид. арк. 19,00. Наклад 146 прим. Зам. № 1056.

Видавець і виготовлювач видавничий дім „Букрек”,
вул. Радищева, 10, м. Чернівці. 58000.
Свідectво суб’єкта видавничої справи ЧЦ № 1 від 10.07.2000