

ОСНОВНОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

Н.С. Пурешева

# ФИЗИКА

ПОЛНЫЙ

НОВЫЙ

# СПРАВОЧНИК

для  
подготовки

**100**  
БАЛЛОВ

к **ОГЭ**

Н.С. Пурешева

# ФИЗИКА

НОВЫЙ ПОЛНЫЙ

## СПРАВОЧНИК

ДЛЯ ПОДГОТОВКИ

К **ОГЭ**

2-е издание, переработанное и дополненное

  
ACT  
Москва

УДК 373:53  
ББК 22.3я721  
П88

**Пурышева, Наталия Сергеевна.**

П88 **Физика. Новый полный справочник для подготовки к ОГЭ / Н.С. Пурышева — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство АСТ, 2016. — 288 с.**

ISBN 978-5-17-097276-0 (ООО «Издательство АСТ»)  
Самый популярный справочник для подготовки к ЕГЭ

ISBN 978-5-17-097275-3 (ООО «Издательство АСТ»)  
Новый полный справочник для подготовки к ЕГЭ

Новый справочник содержит весь теоретический материал по курсу физики, необходимый для сдачи основного государственного экзамена в 9 классе. Он включает в себя все элементы содержания, проверяемые контрольно-измерительными материалами, и помогает обобщить и систематизировать знания и умения за курс основной школы.

Теоретический материал изложен в краткой и доступной форме. Каждый раздел сопровождается примерами тестовых заданий. Практические задания соответствуют формату ОГЭ. В конце пособия приведены ответы к тестам.

Пособие адресовано школьникам, абитуриентам и учителям.

УДК 373:53  
ББК 22.3я721

ISBN 978-5-17-097275-3 (ООО «Издательство АСТ»)  
Самый популярный справочник для подготовки к ЕГЭ

ISBN 978-5-17-097276-0 (ООО «Издательство АСТ»)  
Новый полный справочник для подготовки к ЕГЭ

© Пурышева Н. С.  
© ООО «Издательство АСТ»

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Предисловие .....	5
-------------------	---

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение .....	7
Равномерное прямолинейное движение .....	15
Скорость. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение .....	21
Свободное падение .....	31
Равномерное движение тела по окружности .....	36
Масса. Плотность вещества .....	40
Сила. Сложение сил .....	44
Законы Ньютона .....	49
Сила трения .....	55
Сила упругости. Вес тела .....	60
Закон всемирного тяготения. Сила тяжести .....	66
Импульс тела. Закон сохранения импульса .....	71
Механическая работа. Мощность .....	76
Потенциальная и кинетическая энергия. Закон сохранения механической энергии .....	82
Простые механизмы. КПД простых механизмов .....	88
Давление. Атмосферное давление. Закон Паскаля. Закон Архимеда .....	94
Механические колебания и волны .....	105

## ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Строение вещества. Модели строения газа, жидкости и твёрдого тела .....	116
Тепловое движение атомов и молекул. Связь температуры вещества со скоростью хаотического движения частиц. Броуновское движение. Диффузия. Тепловое равновесие .....	125
Внутренняя энергия. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии .....	133

Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение .....	138
Количество теплоты. Удельная теплоёмкость .....	146
Закон сохранения энергии в тепловых процессах. Преобразование энергии в тепловых машинах .....	153
Испарение и конденсация. Кипение жидкости .....	161
Плавление и кристаллизация .....	169

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

Электризация тел. Два вида электрических зарядов. Взаимодействие электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда .....	176
Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды. Проводники и диэлектрики .....	182
Постоянный электрический ток. Сила тока. Напряжение. Электрическое сопротивление. Закон Ома для участка электрической цепи .....	188
Последовательное и параллельное соединения проводников .....	200
Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля—Ленца .....	206
Опыт Эрстеда. Магнитное поле тока. Взаимодействие магнитов. Действие магнитного поля на проводник с током .....	210
Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея. Электромагнитные колебания и волны .....	220
Закон прямолинейного распространения света. Закон отражения света. Плоское зеркало. Преломление света .....	229
Дисперсия света. Линза. Фокусное расстояние линзы. Глаз как оптическая система. Оптические приборы .....	234

## **КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

Радиоактивность. Альфа-, бета-, гамма-излучения. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома .....	241
Состав атомного ядра. Ядерные реакции .....	246
Справочные материалы .....	252
Пример варианта контрольно-измерительных материалов ОГЭ (ГИА) .....	255
Ответы .....	268

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Справочник содержит весь теоретический материал по курсу физики основной школы и предназначен для подготовки учащихся 9 классов к основному государственному экзамену (ОГЭ).

Содержание основных разделов справочника — «Механические явления», «Тепловые явления», «Электромагнитные явления», «Квантовые явления», соответствует современному кодификатору элементов содержания по предмету, на основе которого составлены контрольно-измерительные материалы (КИМы) ОГЭ.

Теоретический материал изложен в краткой и доступной форме. Чёткость изложения и наглядность учебного материала позволят эффективно подготовиться к экзамену.

Практическая часть справочника включает образцы тестовых заданий, которые и по форме, и по содержанию полностью соответствуют реальным вариантам, предлагаемым на основном государственном экзамене по физике.

После каждой темы даются практические задания<sup>1</sup>.

Часть 1 содержит задания с выбором ответа, среди которых есть задания базового уровня, и повышенного уровня сложности, а также одно задание, требующее развернутого ответа. К каждому заданию с выбором ответа приводится 4 варианта ответа, из которых верен только один.

Часть 1 также включает задания, к которым требуется привести краткий ответ в виде набора цифр, задания на установление соответствия элементов, представленных в двух множествах, а также предполагают выбор двух правильных утверждений из предложенного перечня (множественный выбор). При этом условие задачи задаётся с помощью таблицы или графика.

---

<sup>1</sup> В пособии использованы задания, разработанные Н.Е. Ваксеевской, М.Ю. Демидовой, Е.Е. Камзеевой, Н.С. Пурышевой, Н.А. Слепнёвой.

Часть 2 содержит задания, предполагающие развёрнутый ответ, например, качественные и вычислительные задачи.

Задания с выбором ответа проверяют на базовом и на повышенном уровнях усвоение элементов содержания всех четырёх содержательных блоков курса таких, как методология естественнонаучного познания, язык физической науки, основные физические понятия и законы, элементы физических теорий; а также владение умениями применять знания к решению простых задач. Задания этой части работы направлены на проверку умений работать с текстом, с таблицами и графиками.

Задания с кратким ответом относятся к заданиям повышенного уровня. Они направлены на проверку усвоения как того же материала, что и задания с выбором ответа, так и наиболее сложных элементов содержания курса физики основной школы. При выполнении заданий данного вида для поиска правильного ответа требуется осуществить большее число учебных действий (операций). Например, необходимо, проанализировав данные, приведенные в таблицах разных физических величин, определить правильные утверждения, которые представляют собой комбинацию сведений из разных таблиц.

Вторая часть содержит задания, при выполнении которых даётся развёрнутый ответ, наиболее сложные в экзаменационной работе. Они проверяют уровень экспериментальных умений учащихся, умение применять знания физических законов к решению качественных и комбинированных вычислительных задач.

В конце сборника приведены справочные материалы, которые необходимы для решения задач.

Правильность своих ответов учащихся может проверить, воспользовавшись таблицей ответов в конце пособия.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

## Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение

1. Механическим движением называют изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Существуют различные виды механического движения. Если все точки тела движутся одинаково и любая прямая, проведённая в теле, при его движении остаётся параллельной самой себе, то такое движение называется **поступательным** (рис. 1).

Точки вращающегося колеса описывают окружности относительно оси этого колеса. Колесо как целое и все его точки совершают **вращательное** движение (рис. 2).

Если тело, например шарик, подвешенный на нити, отклоняется от вертикального положения то в одну, то в другую сторону, то его движение является **колебательным** (рис. 3).

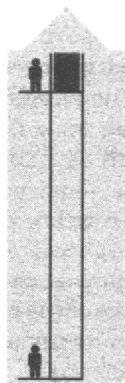


Рис. 1  
Кабина лифта  
движется  
поступательно

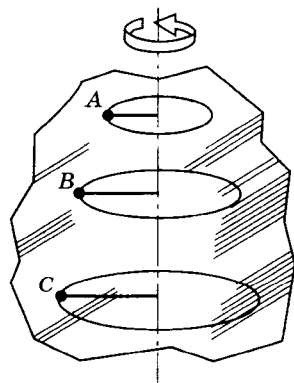


Рис. 2.  
Вращательное  
движение

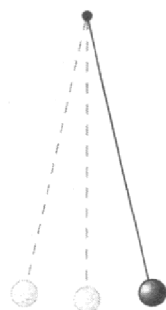


Рис. 3.  
Колеблющийся  
маятник





Рис. 4. Пассажир, сидящий в автобусе, движется относительно деревьев, но покоится относительно автобуса

2. В определение понятия механического движения входят слова «относительно других тел». Они означают, что данное тело может покоиться относительно одних тел и двигаться относительно других тел. Так, пассажир, сидящий в автобусе, движущемся относительно зданий, тоже движется относительно них, но покоится относительно автобуса. Плот, плывущий по течению реки, неподвижен относительно воды, но движется относительно берега (рис. 4). Таким образом, говоря о механическом движении тела, необходимо указывать тело, относительно которого данное тело движется или покоится. Такое тело называют **телом отсчёта**. В приведённом примере с движущимся автобусом в качестве тела отсчёта может быть выбран какой-либо дом, или дерево, или столб около автобусной остановки.

Для определения положения тела в пространстве вводят **систему координат**, которую связывают с телом отсчёта. При рассмотрении движения тела вдоль прямой линии используют одномерную систему координат, т.е. с телом отсчёта связывают одну координатную ось, например ось  $Ox$  (рис. 5).

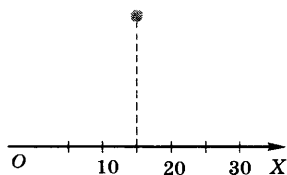


Рис. 5

Если тело движется по криволинейной траектории, то система координат будет уже двухмерной, поскольку положение тела харак-

теризуют две координаты  $X$  и  $Y$  (рис. 6). Таким движением является, например, движение мяча от удара футболиста или стрелы, выпущенной из лука.

Если рассматривается движение тела в пространстве, например движение летящего самолёта, то система координат, связанная с телом отсчёта, будет состоять из трёх взаимно перпендикулярных координатных осей ( $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$ ) (рис. 7).

Поскольку при движении тела его положение в пространстве, т.е. его координаты, изменяются с течением времени, то необходим прибор (часы), который позволяет измерять время и определить, какому моменту времени соответствует та или иная координата.

Таким образом, для определения положения тела в пространстве и изменения этого положения с течением времени необходимы тело отсчёта, связанная с ним система координат и способ измерения времени, т.е. часы, которые все вместе представляют собой систему отсчёта (рис. 7).

**3. Изучить движение тела — это значит определить, как изменяется его положение, т.е. координата, с течением времени.**

Если известно, как изменяется координата со временем, можно определить положение (координату) тела в любой момент времени.

*Основная задача механики состоит в определении положения (координаты) тела в любой момент времени.*

Чтобы указать, как изменяется положение тела с течением времени, нужно установить связь между величинами, характеризующими это движение, т.е. найти математическое описание движения или, иными словами, записать уравнение движения тела.

Раздел механики, изучающий способы описания движения тел, называют **кинематикой**.

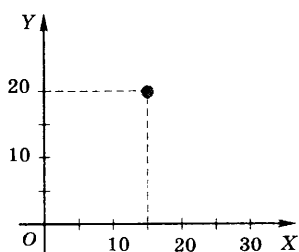


Рис. 6

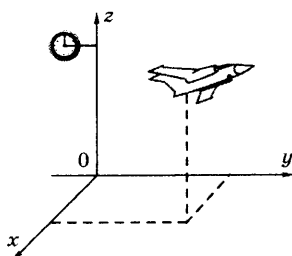


Рис. 7

4. Любое движущееся тело имеет определённые размеры, и его различные части занимают разные положения в пространстве. Возникает вопрос, как в таком случае определить положение тела в пространстве. В целом ряде случаев нет необходимости указывать положение каждой точки тела и для каждой точки записывать уравнение движения.

Так, поскольку при поступательном движении все точки тела движутся одинаково, то нет необходимости описывать движение каждой точки тела.

Движение каждой точки тела не нужно описывать и при решении таких задач, когда размерами тела можно пренебречь. Например, если нас интересует, с какой скоростью пловец проплывает свою дистанцию, то рассматривать движение каждой точки пловца нет необходимости. Если же необходимо определить действующую на мяч выталкивающую силу, то пренебречь размерами пловца уже нельзя. Если мы хотим вычислить время движения космического корабля от Земли до космической станции, то корабль можно считать единым целым и представить в виде некоторой точки. Если же рассчитывается режим стыковки корабля со станцией, то, представив корабль в виде точки, решить эту задачу невозможно.

Таким образом, для решения ряда задач, связанных с движением тел, вводят понятие *материальной точки*.

**Материальной точкой называют тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.**

В приведённых выше примерах материальной точкой можно считать пловца при расчёте скорости его движения, космический корабль при определении времени его движения.

Материальная точка — это модель реальных объектов, реальных тел. Считая тело материальной точкой, мы отвлекаемся от несущественных для решения конкретной задачи признаков, в частности, от размеров тела.

5. При перемещении тело последовательно проходит точки пространства, соединив которые, можно получить линию. Эта линия, вдоль которой движется тело, называется **траекторией**. Траектория может быть видимой или невидимой. Видимую траекторию описывают трамвай при движении по рельсам, лыжник, скользя по лыжне, мел, которым пишут на доске. Траектория летящего самолёта

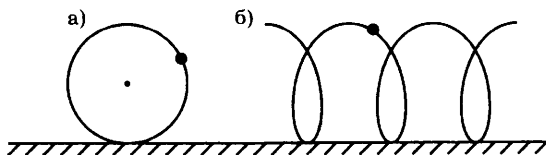


Рис. 8

в большинстве случаев невидима, невидимой является траектория ползущего насекомого.

Траектория движения тела относительна: её форма зависит от выбора системы отсчёта. Так, траекторией точек обода колеса велосипеда, движущегося по прямой дороге, относительно оси колеса является окружность, а относительно Земли — винтовая линия (рис. 8 а, б).

**6.** Одной из характеристик механического движения является путь, пройденный телом. **Путём называют физическую величину, равную расстоянию, пройденному телом вдоль траектории.**

Если известны траектория тела, его начальное положение и пройденный им путь за время  $t$ , то можно найти положение тела в момент времени  $t$ . (рис. 9)

Путь обозначают буквой  $l$  (иногда  $s$ ), основная единица пути 1 м:  $[l] = 1\text{ м}$ . Кратная единица пути — километр (1 км = 1000 м); дольные единицы — дециметр (1 дм = 0,1 м), сантиметр (1 см = 0,01 м) и миллиметр (1 мм = 0,001 м).

Путь — величина относительная, значение пути зависит от выбора системы отсчёта. Так, путь пассажира, переходящего из конца движущегося автобуса к его передней двери, равен длине автобуса в системе отсчёта, связанной с автобусом. В системе отсчёта, связанной с Землёй, он равен сумме длины автобуса и пути, который проехал автобус относительно Земли.

**7.** Если траектория движения тела неизвестна, то значение пути не позволит установить его положение в любой момент времени, поскольку направление движения тела

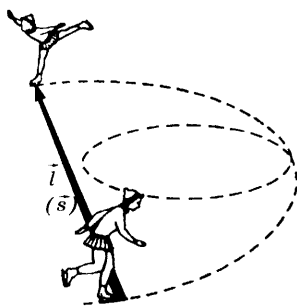


Рис. 9. Криволинейная траектория

не определено. В этом случае используют другую характеристику механического движения — **перемещение**.

**Перемещение** — вектор, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением (рис. 10)

Перемещение — векторная физическая величина, имеет направление и числовое значение, обозначается  $\vec{s}$ . Единица перемещения  $[s] = 1 \text{ м}$ .

Зная начальное положение тела, его перемещение (направление и модуль) за некоторый промежуток времени, можно определить положение тела в конце этого промежутка времени.

Следует иметь в виду, что перемещение в общем случае не совпадает с траекторией, а модуль перемещения — с пройденным путём. Это совпадение имеет место лишь при движении тела по прямолинейной траектории в одну сторону. Например, если пловец проплыл 100-метровую дистанцию в бассейне, длина дорожки которого 50 м, то его путь равен 100 м, а модуль перемещения равен нулю.

Перемещение, так же как и путь, величина относительная, зависит от выбора системы отсчёта.

При решении задач пользуются проекциями вектора перемещения. На рисунке 10 изображены система координат и вектор перемещения в этой системе координат.

Координаты начала перемещения —  $x_0, y_0$ ; координаты конца перемещения —  $x_1, y_1$ . Проекция вектора перемещения на ось  $Ox$  равна:  $s_x = x_1 - x_0$ . Проекция вектора перемещения на ось  $Oy$  равна:  $s_y = y_1 - y_0$ .

Модуль вектора перемещения равен:  $s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$ .

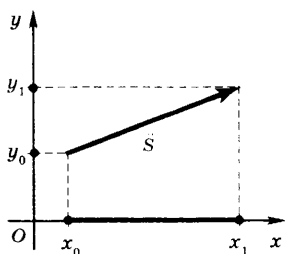


Рис. 10. Вектор перемещения в системе координат  $HOY$

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. В состав системы отсчёта входят
  - 1) только тело отсчёта
  - 2) только тело отсчёта и система координат

- 3) только тело отсчёта и часы
- 4) тело отсчёта, система координат, часы

2. Относительной величиной является

- А. Путь
- Б. Перемещение

Правильный ответ

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б

3. Пассажир метро стоит на движущемся вверх эскалаторе. Он неподвижен относительно

- 1) пассажиров, стоящих на другом эскалаторе, движущемся вниз
- 2) других пассажиров, стоящих на этом же эскалаторе
- 3) пассажиров, шагающих вверх по этому же эскалатору
- 4) светильников на балюстраде эскалатора

4. Относительно какого тела покоится автомобиль, движущийся по автостраде?

- 1) относительно другого автомобиля, движущегося с такой же скоростью в противоположную сторону
- 2) относительно другого автомобиля, движущегося с такой же скоростью в ту же сторону
- 3) относительно светофора
- 4) относительно идущего вдоль дороги пешехода

5. Два автомобиля движутся с одинаковой скоростью 20 м/с относительно Земли в одном направлении. Чему равна скорость одного автомобиля в системе отсчёта, связанной с другим автомобилем?

- 1) 0
- 2) 20 м/с
- 3) 40 м/с
- 4) -20 м/с

6. Два автомобиля движутся с одинаковой скоростью 15 м/с относительно Земли навстречу друг другу. Чему равна скорость одного автомобиля в системе отсчёта, связанной с другим автомобилем?

- 1) 0
- 2) 15 м/с
- 3) 30 м/с
- 4) -15 м/с

7. Какова относительно Земли траектория точки лопасти винта летящего вертолётa?

- 1) прямая
- 2) окружность
- 3) дуга
- 4) винтовая линия

8. Мяч падает с высоты 2 м и после удара о пол поднимается на высоту 1,3 м. Чему равны путь  $l$  и модуль перемещения  $s$  мяча за всё время движения?

- 1)  $l = 3,3$  м,  $s = 3,3$  м      3)  $l = 0,7$  м,  $s = 0,7$  м  
2)  $l = 3,3$  м,  $s = 0,7$  м      4)  $l = 0,7$  м,  $s = 3,3$  м

9. Решают две задачи. 1. Рассчитывают скорость движения поезда между двумя станциями. 2. Определяют силу трения, действующую на поезд. При решении какой задачи поезд можно считать материальной точкой?

- 1) только первой  
2) только второй  
3) и первой, и второй  
4) ни первой, ни второй

10. Точка обода колеса при движении велосипеда описывает половину окружности радиуса  $R$ . Чему равны при этом путь  $l$  и модуль перемещения  $s$  точки обода?

- 1)  $l = 2R$ ,  $s = 2R$       3)  $l = 2R$ ,  $s = \pi R$   
2)  $l = \pi R$ ,  $s = 2R$       4)  $l = \pi R$ ,  $s = \pi R$

11. Установите соответствие между элементами знаний в левом столбце и понятиями в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами понятия правого столбца.

ЭЛЕМЕНТ ЗНАНИЙ	ПОНЯТИЕ
А) физическая величина	1) траектория
Б) единица величины	2) путь
В) измерительный прибор	3) секундомер
	4) километр
	5) система отсчёта

12. Установите соответствие между величинами в левом столбце и характером величины в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами понятия правого столбца.

ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ВЕЛИЧИНЫ
А) путь	1) скалярная
Б) перемещение	2) векторная
В) проекция перемещения	

## Часть 2

13. Автомобиль свернул на дорогу, составляющую угол  $30^\circ$  с главной дорогой, и совершил по ней перемещение, модуль которого равен 20 м. Определите проекцию перемещения автомобиля на главную дорогу и на дорогу, перпендикулярную главной дороге.

### Равномерное прямолинейное движение

**1. Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором тело за **любые равные** промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Слова «**любые равные**» означают, что за каждый час, за каждую минуту, за каждые 30 минут, за каждую секунду, за каждую долю секунды тело совершает одинаковые перемещения.

Равномерное движение — идеализация, поскольку практически невозможно создать такие условия, чтобы движение тела было равномерным в течение достаточно большого промежутка времени. Реальное движение может лишь приближаться к равномерному движению с той или иной степенью точности.

**2. Изменение положения тела в пространстве при равномерном движении** может происходить с разной быстротой. Это свойство движения — его «быстрота» характеризуется физической величиной, называемой скоростью.

**Скоростью равномерного прямолинейного движения** называют векторную физическую величину, равную отношению перемещения ко времени, за которое это перемещение произошло.

Если за время  $t$  тело совершило перемещение  $\vec{s}$ , то скорость его движения  $\vec{v}$  равна  $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$ .

Единица скорости:  $[v] = \frac{[s]}{[t]}$ ;  $[v] = \frac{1\text{ м}}{1\text{ с}} = 1\text{ м/с}$ . За единицу скорости принимается 1 м/с — скорость такого равномерного движения, при котором тело за 1 с совершает перемещение 1 м.

Зная скорость равномерного движения, можно найти перемещение за любой промежуток времени:  $\vec{s} = \vec{v}t$  Вектор скорости и вектор перемещения направлены в одну сторону — в сторону движения тела.



3. Поскольку основной задачей механики является определение в любой момент времени положения тела, т.е. его координаты, необходимо записать уравнение зависимости координаты тела от времени при равномерном движении.

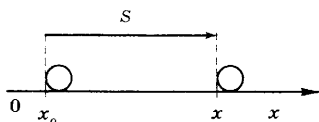


Рис. 11

Пусть  $\vec{s}$  — перемещение тела (рис. 11). Направим координатную ось  $OX$  по направлению перемещения. Найдем проекцию перемещения на координатную ось  $OX$ . На рисунке  $x_0$  — координата начальной точки перемещения,  $x$  — координата конечной точки перемещения. Проекция перемещения равна разности координат конечной и начальной точек:  $\vec{s}_x = x - x_0$ . С другой стороны, проекция перемещения равна проекции скорости, умноженной на время, т.е.  $\vec{s}_x = \vec{v}_x t$ . Откуда  $x - x_0 = \vec{v}_x t$  или  $x = x_0 + \vec{v}_x t$ . Если начальная координата  $x_0 = 0$ , то  $x = \vec{v}_x t$ .

Полученная формула позволяет определить координату тела при равномерном движении в любой момент времени, если известны начальная координата и проекция скорости движения.

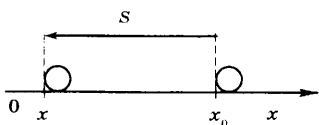


Рис. 12

Проекция скорости может быть как положительной, так и отрицательной. Проекция скорости положительна, если направление движения совпадает с положительным направлением оси  $OX$  (рис. 12). В этом случае  $x > x_0$ . Проекция скорости отрицательна, если тело движется против положительного направления оси  $OX$  (рис. 12). В этом случае  $x < x_0$ .

4. Зависимость координаты от времени можно представить графически.

Предположим, что тело движется из начала координат вдоль положительного направления оси  $OX$  с постоянной скоростью. Проекция скорости на ось  $OX$  равна 4 м/с. Уравнение движения в этом случае имеет вид:  $x = 4 \text{ м/с} \cdot t$ . Зависимость координаты от времени — линейная. Графиком такой зависимости является прямая линия, проходящая через начало координат (рис. 13).

Для того чтобы её построить, необходимо иметь две точки: одна из них  $t = 0$  и  $x = 0$ , а другая  $t = 1$  с,  $x = 4$  м. На рисунке приведён график зависимости координаты от времени, соответствующий данному уравнению движения.

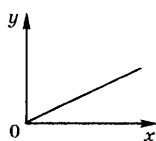


Рис. 13

Если в начальный момент времени координата тела  $x_0 = 2$  м, а проекция его скорости  $v_x = 4$  м/с, то уравнение движения имеет вид:  $x = 2$  м +  $4$  м/с  $\cdot t$ . Это тоже линейная зависимость координаты от скорости, и её графиком является прямая линия, проходящая через точку, для которой  $t = 0$ ,  $x = 2$  м (рис. 14).

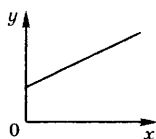


Рис. 14

В том случае, если проекция скорости отрицательна, уравнение движения имеет вид:  $x = 2$  м -  $4$  м/с  $\cdot t$ . График зависимости координаты такого движения от времени представлен на рисунке 15.

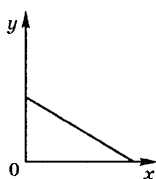


Рис. 15

Таким образом, движение тела может быть описано аналитически, т.е. с помощью уравнения движения (уравнения зависимости координаты тела от времени), и графически, т.е. с помощью графика зависимости координаты тела от времени.

График зависимости проекции скорости равномерного прямолинейного движения от времени представлен на рисунке 16.

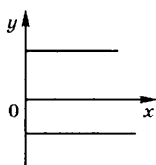


Рис. 16

5. Ниже приведён пример решения основной задачи кинематики — определения положения тела в некоторый момент времени.

*Задача. Два автомобиля движутся навстречу друг другу равномерно и прямолинейно: один со скоростью 15 м/с, другой — со скоростью 12 м/с. Определите время и место встречи автомобилей, если в начальный момент времени расстояние между ними равно 270 м.*

При решении задачи целесообразно придерживаться следующей последовательности действий:

1. Кратко записать условие задачи.

2. Проанализировать ситуацию, описанную в условии задачи:

— выяснить, можно ли принять движущиеся тела за материальные точки;

— сделать рисунок, изобразив на нём векторы скорости;

— выбрать систему отсчёта — тело отсчёта, направления координатных осей, начало отсчёта координат, начало отсчёта времени; записать начальные условия (значения координат в начальный момент времени) для каждого тела.

1. Записать в общем виде уравнение движения в векторной форме и для проекций на координатные оси.

2. Записать уравнение движения для каждого тела с учётом начальных условий и знаков проекций скорости.

3. Решить задачу в общем виде.

4. Подставить в формулу значения величин и выполнить вычисления.

5. Проанализировать ответ.

Применим эту последовательность действий к приведённой выше задаче.

Дано:

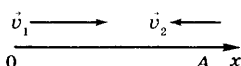
$$v_1 = 15 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 12 \text{ м/с}$$

$$l = 270 \text{ м}$$

$$t - ? \quad x - ?$$

Автомобили можно считать материальными точками, поскольку расстояние между ними много больше их размеров и размерами автомобилей можно пренебречь



Система отсчёта связана с Землёй, ось  $Ox$  направлена в сторону движения первого тела, начало отсчёта координаты — т.  $O$  — положение первого тела в начальный момент времени.

Начальные условия:  $t = 0$ ;  $x_{01} = 0$ ;  $x_{02} = 270$ .

Уравнение в общем виде:  $\vec{s} = \vec{v}t$ ;  $x = x_0 + v_x t$ .

Уравнения для каждого тела с учётом начальных условий:  $x_1 = v_1 t$ ;  $x_2 = l - v_2 t$ . В месте встречи тел  $x_1 = x_2$ ;

следовательно:  $v_1 t = l - v_2 t$ . Откуда  $t = \frac{l}{v_1 + v_2} \cdot t = 10 \text{ с}$ .

Подставив значение времени в уравнение для координаты первого автомобиля, получим значение координаты места встречи автомобилей:  $x = 150 \text{ м}$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Чему равна проекция скорости равномерно движущегося автомобиля, если проекция его перемещения за 4 с равна 80 м?

- 1) 320 м/с  
2) 80 м/с  
3) 20 м/с  
4) 0,05 м/с

2. Чему равен модуль перемещения мухи за 0,5 мин., если она летит со скоростью 5 м/с?

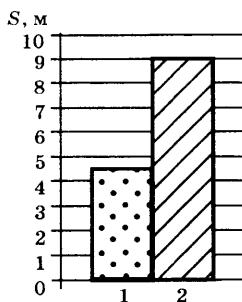
- 1) 0,25 м  
2) 6 м  
3) 10 м  
4) 150 м

3. Автомобиль «Рено» проезжает за 1 мин. путь 1,2 км. Автомобиль «Пежо» проезжает за 20 с путь 0,2 км. Сравните значения скорости «Рено» —  $v_1$  и скорости «Пежо» —  $v_2$ .

- 1)  $v_1 = v_2$   
2)  $v_1 = 2v_2$   
3)  $2v_1 = v_2$   
4)  $1,2v_1 = 10v_2$

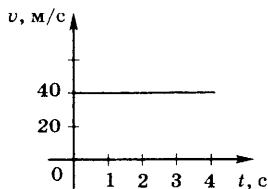
4. На рисунке приведена столбчатая диаграмма. На ней представлены значения пути, которые при равномерном движении пролетают за одно и то же время муха (1) и воробей (2). Сравните их скорости  $v_1$  и  $v_2$ .

- 1)  $v_1 = v_2$   
2)  $v_1 = 2v_2$   
3)  $3v_1 = v_2$   
4)  $2v_1 = v_2$



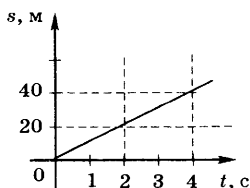
5. На рисунке приведён график зависимости модуля скорости равномерного движения от времени. Модуль перемещения тела за 2 с равен

- 1) 20 м  
2) 40 м  
3) 80 м  
4) 160 м



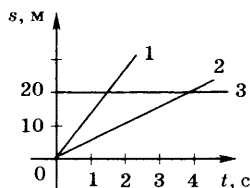
6. На рисунке приведён график зависимости пути, пройденного телом при равномерном движении от времени. Модуль скорости тела равен

- 1) 0,1 м/с                      3) 20 м/с  
2) 10 м/с                      4) 40 м/с



7. На рисунке приведены графики зависимости пути от времени для трёх тел. Сравните значения скорости  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$  движения этих тел.

- 1)  $v_1 = v_2 = v_3$   
2)  $v_1 > v_2 > v_3$   
3)  $v_1 < v_2 < v_3$   
4)  $v_1 = v_2, v_3 < v_1$



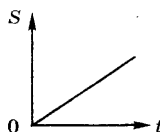
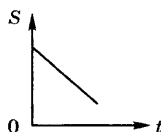
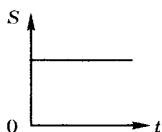
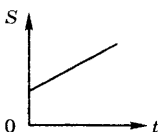
8. Какой из приведённых ниже графиков представляет собой график зависимости пути от времени при равномерном движении тела?

1)

2)

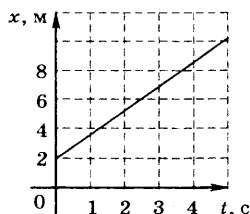
3)

4)



9. На рисунке приведён график зависимости координаты тела от времени. Чему равна координата тела в момент времени 6 с?

- 1) 9,8 м  
2) 6 м  
3) 4 м  
4) 2 м



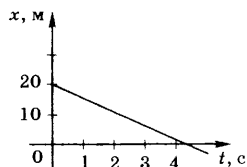
10. Уравнение движения тела, соответствующее приведённому в задаче 9 графику, имеет вид

- 1)  $x = 1t$  (м)                      3)  $x = 2 - 1t$  (м)  
2)  $x = 2 + 3t$  (м)                      4)  $x = 4 + 2t$  (м)

11. Установите соответствие между величинами в левом столбце и зависимостью значения величины от выбора системы отсчёта в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ВЕЛИЧИНА	ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА
А) перемещение	1) зависит
Б) время	2) не зависит
В) скорость	

12. На рисунке приведён график зависимости координаты тела от времени. Какие выводы можно сделать из анализа графика? Укажите два правильных ответа.



- 1) тело двигалось все время в одну сторону
- 2) в течение четырёх секунд модуль скорости тела уменьшался, а затем увеличивался
- 3) проекция скорости тела все время была положительной
- 4) проекция скорости тела в течение четырёх секунд была положительной, а затем — отрицательной
- 5) в момент времени 4 с тело остановилось

## Часть 2

13. Два автомобиля движутся друг за другом равномерно и прямолинейно: один со скоростью 20 м/с, другой — со скоростью 15 м/с. Через какое время второй автомобиль догонит первый, если в начальный момент времени расстояние между ними равно 100 м?

## Скорость. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение

1. Реальное механическое движение — это движение с изменяющейся скоростью. Движение, скорость которого с течением времени изменяется, называют *неравномерным движением*.

При неравномерном движении координату тела уже нельзя определить по формуле  $x = x_0 + v_x t$ , так как значение скорости движения не является постоянным. Поэтому для характеристики быстроты изменения положения тела с течением времени при неравномерном движении вводят величину, называемую *средней скоростью*.

**Средней скоростью  $\vec{v}_{ср.}$  неравномерного движения называют физическую величину, равную отношению перемещения  $\vec{s}$  тела ко времени  $t$ , за которое оно произошло:**

$$\vec{v}_{ср.} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

Записанная формула определяет среднюю скорость как векторную величину. В практических целях этой формулой можно воспользоваться для определения модуля средней скорости лишь в том случае, когда тело движется вдоль прямой в одну сторону. Если же нужно определить среднюю скорость движения автомобиля от Москвы до Санкт-Петербурга и обратно, чтобы рассчитать расход бензина, то эту формулу применить нельзя, поскольку перемещение в этом случае равно нулю и средняя скорость тоже равна нулю. Поэтому на практике при определении средней скорости пользуются величиной, равной отношению пути  $l$  ко времени  $t$ , за которое этот путь пройден:  $v_{ср.} = \frac{l}{t}$ . Эта скорость обычно называется *средней путевой скоростью*.

2. Важно, что, зная среднюю скорость неравномерного движения на каком-либо участке траектории, нельзя определить положение тела на этой траектории в любой момент времени. Например, если средняя скорость движения автомобиля за 2 часа 50 км/ч, то мы не можем сказать, где он находился через 0,5 часа от начала движения, через 1 час, 1,5 часа и т.п., поскольку он мог первые полчаса двигаться со скоростью 80 км/ч, затем какое-то время стоять, а какое-то время ехать в пробке со скоростью 20 км/ч.

3. Двигаясь по траектории, тело проходит последовательно все её точки. В каждой точке траектории оно находится в определённые моменты времени и имеет какую-то скорость.

Мгновенной скоростью называют скорость тела в данный момент времени в данной точке траектории.

Предположим, некоторое тело совершает неравномерное прямолинейное движение (рис. 17), его скорость в точке  $O$  можно определить следующим образом: выделим на траектории участок  $AB$ , внутри которого находится точка  $O$ . Перемещение тела на этом участке —  $\vec{s}_1$  совершено за время  $t_1$ . Средняя скорость движения на этом участке —

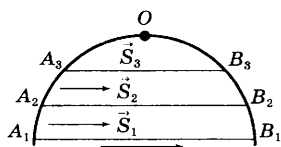


Рис. 17

$\vec{v}_{cp.1} = \frac{s_1}{t_1}$ . Уменьшим перемещение тела. Пусть оно равно  $\vec{s}_2$ , а время движения —  $t_2$ . Тогда средняя скорость за это время:

$\vec{v}_{cp.2} = \frac{s_2}{t_2}$ . Ещё уменьшим перемещение, средняя скорость на этом участке:

$\vec{v}_{cp.3} = \frac{s_3}{t_3}$ .

При дальнейшем уменьшении перемещения и соответственно времени движения тела они станут такими маленькими, что прибор, например спидометр, перестанет фиксировать изменение скорости, и движение за этот малый промежуток времени можно считать равномерным. Средняя скорость на этом участке и есть мгновенная скорость тела в т.О.

Таким образом, **мгновенной скоростью называют векторную физическую величину, равную отношению малого перемещения ( $\Delta\vec{s}$ ) к малому промежутку времени  $\Delta t$ , за которое это перемещение произошло:**

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

4. Одним из видов неравномерного движения является равноускоренное движение. **Равноускоренным движением называют движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одно и то же значение.**

Слова «любые равные промежутки времени» означают, что какие бы равные промежутки времени (2 с, 1 с, доли секунды и т.п.) мы ни взяли, скорость всегда будет изменяться одинаково. При этом её модуль может как увеличиваться, так и уменьшаться.



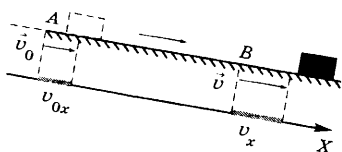


Рис. 18

5. Характеристикой равноускоренного движения, помимо скорости и перемещения, является ускорение.

Пусть в начальный момент времени  $t_0 = 0$  скорость тела равна  $\vec{v}_0$ . В некоторый момент времени  $t$  она стала равной  $\vec{v}$ . Изменение скорости за промежуток времени  $t - t_0 = t$  равно  $\vec{v} - \vec{v}_0$  (рис. 18). Изменение скорости за единицу времени равно:  $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ . Эта величина и есть ускорение тела, она характеризует быстроту изменения скорости  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ .

**Ускорение тела при равноускоренном движении** — векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло.

Единица ускорения  $[a] = [v]/[t]$ ;  $[a] = 1 \text{ м/с}/1 \text{ с} = 1 \text{ м/с}^2$ .  $1 \text{ м/с}^2$  — это такое ускорение, при котором скорость тела изменяется за 1 с на 1 м/с.

Направление ускорения совпадает с направлением скорости движения, если модуль скорости увеличивается, ускорение направлено противоположно скорости движения, если модуль скорости уменьшается.

6. Преобразовав формулу ускорения, можно получить выражение для скорости тела при равноускоренном движении:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ . Если начальная скорость тела  $v_0 = 0$ , то  $\vec{v} = \vec{a}t$ .

Чтобы определить значение скорости равноускоренного движения в любой момент времени, следует записать уравнение для проекции скорости на ось OX. Оно имеет вид:  $v_x = v_{0x} + a_x t$ ; если  $v_{0x} = 0$ , то  $v_x = a_x t$ .

7. Как видно из формулы скорости равноускоренного движения, она линейно зависит от времени. Графиком зависимости модуля скорости от времени является прямая, составляющая некоторый угол с осью абсцисс (осью времени).

На рисунке 19 приведены графики зависимости модуля скорости от времени.

График 1 соответствует движению без начальной скорости с ускорением, направленным так же, как и скорость; график 2 — движению с начальной скоростью  $v_{02}$  и с ускорением, направленным так же, как и скорость; график 3 — движению с начальной скоростью  $v_{03}$  и с ускорением, направленным в сторону, противоположную направлению скорости.

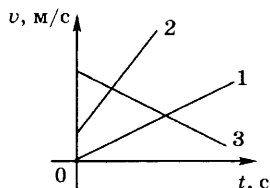


Рис. 19

8. На рисунке приведены графики зависимости проекции скорости равноускоренного движения от времени (рис. 20).

График 1 соответствует движению без начальной скорости с ускорением, направленным вдоль положительного направления оси X; график 2 — движению с начальной скоростью  $v_{02}$ , с ускорением и скоростью, направленными вдоль положительного направления оси X; график 3 — движению с начальной скоростью  $v_{03}$ : до момента времени  $t_0$  направление скорости совпадает с положительным направлением оси X, ускорение направлено в противоположную сторону. В момент времени  $t_0$  скорость равна нулю, а затем и скорость, и ускорение направлены в сторону, противоположную положительному направлению оси X.

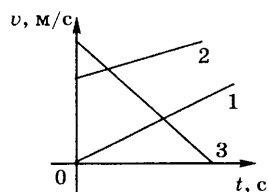


Рис. 20

9. На рисунке 21 приведены графики зависимости проекции ускорения равноускоренного движения от времени.

График 1 соответствует движению, проекция ускорения которого положительна, график 2 — движению, проекция ускорения которого отрицательна.

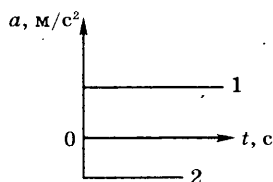


Рис. 21

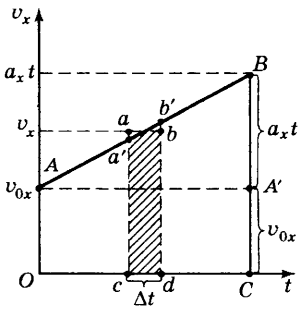


Рис. 22

10. Формулу перемещения тела при равноускоренном движении можно получить, используя график зависимости проекции скорости этого движения от времени (рис. 22).

Выделим на графике малый участок  $ab$  и опустим перпендикуляры из точек  $a$  и  $b$  на ось абсцисс. Если промежуток времени  $\Delta t$ , соответствующий участку  $cd$  на оси абсцисс мал, то можно считать, что скорость в течение этого промежутка времени не изменяется и тело движется равномерно. В этом случае фигура  $cabd$  мало отличается от прямоугольника и её площадь численно равна проекции перемещения тела за время, соответствующее отрезку  $cd$ .

На такие полоски можно разбить всю фигуру  $OABC$ , и её площадь равна сумме площадей всех полосок. Следовательно, проекция перемещения тела за время  $t$  численно равна площади трапеции  $OABC$ . Площадь трапеции равна произведению полусуммы её оснований на высоту:

$$S_x = \frac{1}{2}(OA + BC)OC.$$

Как видно из рисунка,  $OA = v_{0x}$ ,  $BC = v_x$ ,  $OC = t$ . Отсюда следует, что проекция перемещения выражается формулой:

$$S_x = \frac{1}{2}(v_x + v_{0x})t. \text{ Так как } v_x = v_{0x} + a_x t, \text{ то } S_x = \frac{1}{2}(2v_{0x} + a_x t)t,$$

отсюда:  $S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ . Если начальная скорость равна

нулю, то формула имеет вид:  $S_x = \frac{at^2}{2}$ . Проекция перемещения равна разности координат  $S_x = x - x_0$ , поэтому:

$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{at^2}{2}, \text{ или } x = x_{0x} + v_{0x}t + \frac{at^2}{2}.$$

Полученная формула позволяет определить положение (координату) тела в любой момент времени, если известны начальная скорость, начальная координата и ускорение.

11. На практике часто используют формулу или  $v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x s_x$  или  $v^2 - v_0^2 = 2as$ .

Если начальная скорость тела равно нулю, то:  $v_x^2 = 2a_x s_x$ .

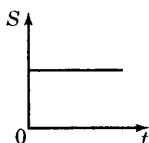
Полученная формула позволяет рассчитать тормозной путь транспортных средств, т.е. путь, который проезжает, например, автомобиль до полной остановки. При некотором ускорении движения, которое зависит от массы автомобиля и силы тяги двигателя, тормозной путь тем больше, чем больше начальная скорость автомобиля.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

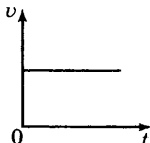
### Часть 1

1. На рисунке приведены графики зависимости пути и скорости тела от времени. Какой график соответствует равноускоренному движению?

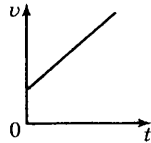
1)



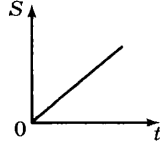
2)



3)



4)



2. Автомобиль, начав двигаться из состояния покоя по прямой дорожке, за 10 с приобрёл скорость 20 м/с. Чему равно ускорение автомобиля?

1) 200 м/с<sup>2</sup>

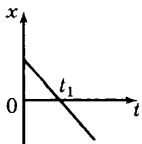
3) 2 м/с<sup>2</sup>

2) 20 м/с<sup>2</sup>

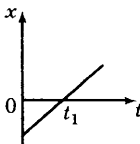
4) 0,5 м/с<sup>2</sup>

3. На рисунках представлены графики зависимости координаты от времени для четырёх тел, движущихся вдоль оси Oх. У какого из тел в момент времени  $t_1$  скорость движения равна нулю?

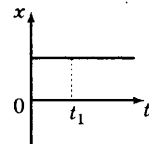
1)



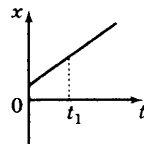
2)



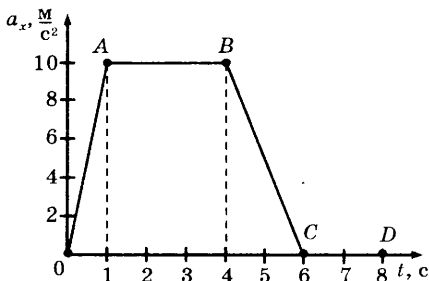
3)



4)



4. На рисунке представлен график зависимости проекции ускорения от времени для тела, движущегося прямолинейно вдоль оси  $Ox$ .



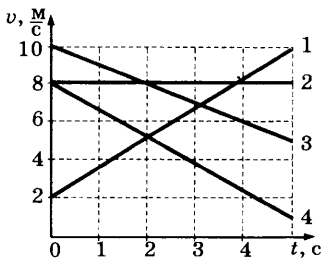
Равноускоренному движению соответствует участок

- 1) только OA                                      3) только OA и BC  
 2) только AB                                      4) только CD
5. При изучении равноускоренного движения измеряли путь, пройденный телом из состояния покоя за последовательные равные промежутки времени (за первую секунду, за вторую секунду и т. д.). Полученные данные приведены в таблице.

Время	Первая секунда	Вторая секунда	Третья секунда
Путь	1 м	3 м	?

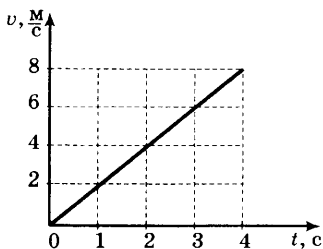
Чему равен путь, пройденный телом за третью секунду?

- 1) 4 м            2) 4,5 м            3) 5 м            4) 9 м
6. На рисунке представлены графики зависимости скорости движения от времени для четырёх тел. Тела движутся по прямой. Для какого(-их) из тел — 1, 2, 3 или 4 — вектор ускорения направлен противоположно вектору скорости?



- 1) только 1  
 2) только 2  
 3) только 4  
 4) 3 и 4

7. Используя график зависимости скорости движения тела от времени, определите его ускорение.



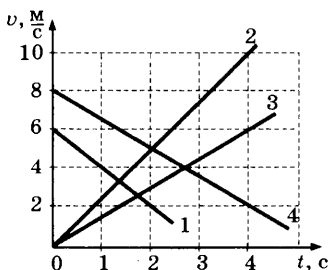
- 1)  $1 \text{ м/с}^2$
- 2)  $-1 \text{ м/с}^2$
- 3)  $2 \text{ м/с}^2$
- 4)  $-2 \text{ м/с}^2$

8. При изучении равноускоренного движения измеряли скорость тела в определённые моменты времени. Полученные данные, приведённые в таблице. Чему равна скорость тела в момент времени 3 с?

Время, с	0	1	3
Скорость, м/с	8	6	?

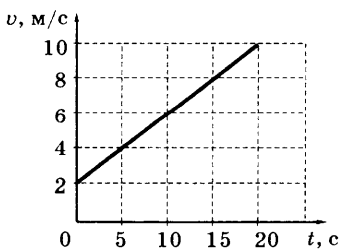
- 1)  $0 \text{ м/с}$
- 2)  $2 \text{ м/с}$
- 3)  $4 \text{ м/с}$
- 4)  $14 \text{ м/с}$

9. На рисунке приведены графики зависимости скорости движения четырёх тел от времени. Ускорение какого из тел равно  $-1,5 \text{ м/с}^2$ ?



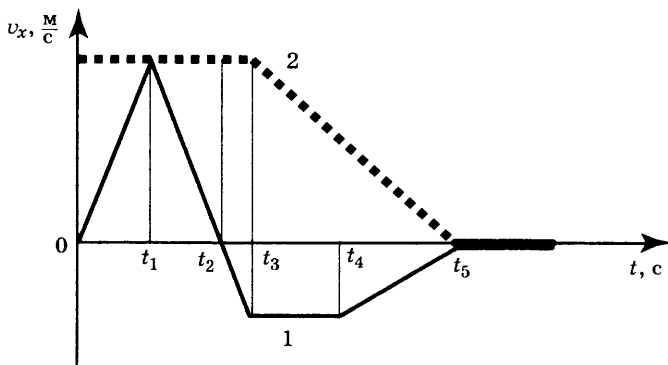
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

10. Используя график зависимости скорости движения тела от времени, определите скорость тела в конце 30-й секунды. Считать, что характер движения тела не изменился.



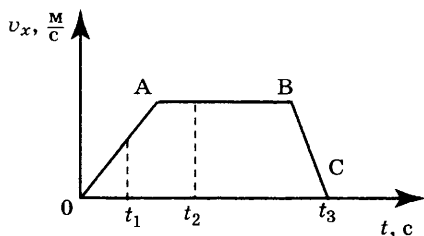
- 1)  $14 \text{ м/с}$
- 2)  $20 \text{ м/с}$
- 3)  $62 \text{ м/с}$
- 4)  $69,5 \text{ м/с}$

11. Два тела движутся по оси  $Ox$ . На рисунке представлены графики зависимости проекции скорости движения тел 1 и 2 от времени.



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня **два** верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) В промежутке времени  $t_3 - t_5$  тело 2 движется равноускоренно.
  - 2) К моменту времени  $t_2$  от начала движения тела прошли одинаковые пути.
  - 3) В промежутке времени  $0 - t_3$  тело 2 находится в покое.
  - 4) В момент времени  $t_5$  тело 1 останавливается.
  - 5) В промежутке времени  $t_3 - t_4$  ускорение  $a_x$  тела 1 отрицательно.
12. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости от времени для тела, движущегося вдоль оси  $Ox$ .



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня *два* верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) Участок ОА соответствует ускоренному движению тела.
- 2) Участок АВ соответствует состоянию покоя тела.
- 3) В момент времени  $t_1$  тело имело максимальное по модулю ускорение.
- 4) Момент времени  $t_3$  соответствует остановке тела.
- 5) В момент времени  $t_2$  тело имело максимальное по модулю ускорение.

## Часть 2

13. Зависимость координаты от времени для некоторого тела описывается уравнением  $x = 12t - t^2$ . В какой момент времени скорость движения равна нулю?

### Свободное падение

1. **Свободное падение** — падение тел в безвоздушном пространстве под действием притяжения к Земле. Наблюдения свидетельствуют о том, что скорость свободно падающего тела увеличивается с течением времени. Поскольку на свободно падающее тело действует единственная сила — сила тяжести, то его ускорение постоянно, т.е. свободное падение — движение равноускоренное.

2. Опыт показывает, что все свободно падающие тела движутся с одинаковым ускорением. Так, если вертикально расположенную трубку, в которой находятся три тела, имеющие разную массу: пёрышко, кусочек пробки и дробинку, перевернуть, то эти тела будут падать на дно трубки. При этом, если в трубке есть воздух, то из-за сопротивления воздуха они упадут не одновременно: дробинка упадёт раньше всех, а пёрышко позже всех тел. Если же воздух из трубки откачать, то тела упадут на дно одновременно.

3. Ускорение свободного падения обозначается буквой  $g$ , оно имеет одинаковое для всех тел значение при одинаковых условиях. Для широты Москвы оно равно  $9,81 \text{ м/с}^2$  или  $10 \text{ м/с}^2$ .

Значение ускорения свободного падения зависит от географической широты местности. Это объясняется тем, что



сила тяжести, действующая на данное тело на экваторе, меньше, чем сила тяжести, действующая на него на полюсе. Поэтому ускорение свободного падения на полюсе равно  $9,83 \text{ м/с}^2$ , а на экваторе —  $9,78 \text{ м/с}^2$ .

Ускорение свободного падения зависит от высоты тела над поверхностью Земли. Чем выше поднято тело, тем слабее оно притягивается к Земле, тем меньше ускорение свободного падения.

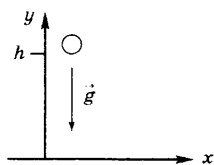


Рис. 23

4. Уравнения зависимости от времени модуля скорости, пути и модуля перемещения свободно падающего тела с высоты  $h$  (рис. 23).

$$v = gt; l = gt^2/2; s = gt^2/2.$$

Уравнения зависимости от времени проекции скорости и координаты свободно падающего тела с некоторой высоты тела:

$$v_y = g_y t; y = y_0 + g_y t^2/2.$$

Знаки проекций зависят от направления оси координат и начала координат. В соответствии с рисунком

$$v_y = -gt; y = h - gt^2/2.$$

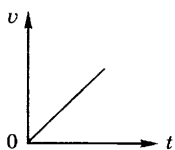


Рис. 24

5. График зависимости модуля скорости от времени при свободном падении приведён на рисунке (рис. 24)

6. График зависимости проекции скорости от времени при свободном падении приведены на рисунке (ось Y направлена вертикально вверх) (рис. 25).

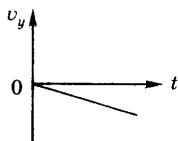


Рис. 25

7. Тело, брошенное вертикально вверх, тоже движется равноускоренно с ускорением  $g$ , которое направлено вертикально вниз. В этом случае, в отличие от свободного падения, скорость и ускорение движения направлены в противоположные стороны (рис. 26).

8. Уравнения зависимости от времени модуля скорости, пути и модуля перемещения тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ :

$$v = v_0 - gt; l = v_0 t - gt^2/2; s = v_0 t - gt^2/2.$$

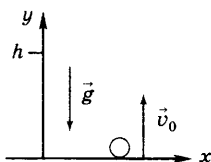


Рис. 26

Записанная формула зависимости пути от времени может быть использована только при движении тела в одну сторону (в данном случае вверх).

Уравнения зависимости от времени проекции скорости и координаты тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$  (ось  $Y$  направлена вертикально вверх):

$v_y = v_{0y} + g_y t$ ;  $y = y_0 + v_{0y} t + g_y t^2 / 2$ . Если тело брошено из начала координат, то  $y_0 = 0$  и  $y = v_0 t - gt^2 / 2$ ,  $v_y = v_0 - gt$ .

9. График зависимости модуля скорости от времени при движении тела вертикально вверх приведён на рисунке (рис. 27).

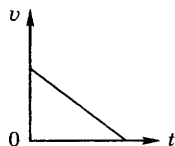


Рис. 27

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Свободное падение — это
  - любое движение тела в безвоздушном пространстве
  - движение тела вертикально вверх в безвоздушном пространстве
  - падение тела в безвоздушном пространстве
  - падение тела в как безвоздушном пространстве, так и в воздухе
- В трубке, из которой откачали воздух, одновременно с одной высоты начали падать три шарика: пенопластовый, пластилиновый и железный. Какой из шариков раньше коснется дна трубки?
  - пенопластовый
  - пластилиновый
  - железный
  - все шарики коснутся дна одновременно
- Значение ускорения свободного падения зависит от
  - Массы тела.
  - Широты местности.Верными являются ответы:
  - только А
  - только Б
  - и А, и Б
  - ни А, ни Б

4. Мяч падает с одинаковой высоты на поверхность Земли из состояния покоя на экваторе и на широте Москвы. В отсутствие сопротивления воздуха время падения мяча на экваторе

- 1) равно времени его падения на широте Москвы
- 2) больше времени его падения на широте Москвы
- 3) меньше времени его падения на широте Москвы
- 4) ответ может быть любым в зависимости от объёма мяча

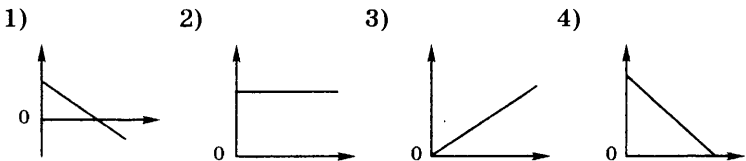
5. Мяч падает с одинаковой высоты на поверхность Земли из состояния покоя на экваторе и на широте Москвы. В отсутствие сопротивления воздуха скорость мяча у поверхности Земли на экваторе

- 1) равна его скорости на широте Москвы
- 2) больше его скорости на широте Москвы
- 3) меньше его скорости на широте Москвы
- 4) ответ может быть любым в зависимости от объёма мяча

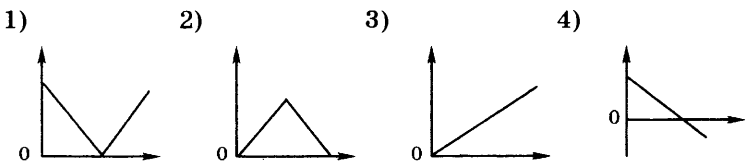
6. По какой формуле рассчитывается модуль скорости тела, брошенного вертикально вверх с поверхности Земли

- 1)  $v = v_0 + gt$
- 2)  $v = v_0 - gt$
- 3)  $v = v_0 + gt/2$
- 4)  $v = gt$

7. Какой из приведённых ниже графиков является графиком зависимости модуля скорости от времени свободного падения тела?



8. Какой из приведённых ниже графиков является графиком зависимости от времени проекции скорости тела, брошенного вертикально вверх, достигшего верхней точки и затем упавшего на Землю?



9. Чему равен модуль скорости свободно падающего тела через 4 с после начала падения?
- 1) 0,4 м/с                                  3) 40 м/с  
2) 4 м/с                                      4) 160 м/с
10. На какую высоту поднимется тело, брошенное вверх со скоростью 20 м/с?
- 1) 20 м      2) 10 м      3) 2 м      4) 1 м
11. Тело, брошенное вертикально вверх, долетело до верхней точки и начало падать вниз. Установите соответствие между величиной, приведенной в левом столбце, и характером её изменения, приведенном в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

А) модуль перемещения	1) увеличивается
Б) путь	2) уменьшается
В) координата относительно поверхности Земли	3) не изменяется

12. Два тела одновременно начали свободно падать в одном и том же месте Земли: одно с высоты  $h_1$ , другое — с высоты  $h_2$ . При этом  $h_1 < h_2$ . Из приведённых ниже утверждений выберите два правильных и запишите их номера в таблице.
- 1) ускорение движения первого тела больше ускорения движения второго тела  
2) ускорение движения первого тела равно ускорению движения второго тела  
3) скорость падения на Землю второго тела равна скорости падения на Землю первого тела  
4) скорость падения на Землю второго тела больше скорости падения на Землю первого тела  
5) тела упадут на Землю одновременно

## Часть 2

13. Определите время и координату места встречи двух тел, одно из которых падает на землю с высоты 100 м, а другое тело брошено с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью 25 м/с.

## Равномерное движение тела по окружности

1. Движением тела по окружности называют движение, траекторией которого является окружность. По окружности движутся, например, конец стрелки часов, точки лопасти вращающейся турбины, вращающегося вала двигателя и др.

При движении по окружности направление скорости непрерывно изменяется. При этом модуль скорости тела может изменяться, а может оставаться неизменным. Движение, при котором изменяется только направление скорости, а её модуль сохраняется постоянным, называется **равномерным движением тела по окружности**. Под телом в данном случае имеют в виду материальную точку.

2. Движение тела по окружности характеризуется определёнными величинами. К ним относятся, прежде всего, период и частота обращения. **Период обращения тела по окружности  $T$**  — время, в течение которого тело совершает один полный оборот. Единица периода —  $[T] = 1 \text{ с}$ .

**Частота обращения ( $n$ )** — число полных оборотов тела за одну секунду:  $n = N/t$ . Единица частоты обращения —  $[n] = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$  (герц). Один герц — это такая частота, при которой тело совершает один оборот за одну секунду.

Связь между частотой и периодом обращения выражается формулой:  $n = 1/T$ .

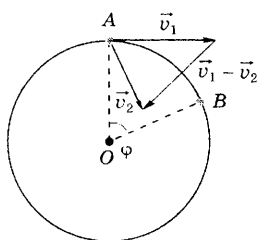


Рис. 28

Пусть некоторое тело, движущееся по окружности, за время  $t$  переместилось из точки А в точку В. Радиус, соединяющий центр окружности с точкой А, называют **радиусом-вектором**. При перемещении тела из точки А в точку В радиус-вектор повернётся на угол  $\varphi$ .

Быстроту обращения тела характеризуют **угловая и линейная скорости**.

**Угловая скорость  $\omega$**  — физическая величина, равная отношению угла поворота  $\varphi$  радиуса-вектора к промежутку времени, за которое этот поворот произошёл:  $\omega = \varphi/t$ . Единица угловой скорости — радиан в секунду, т.е.  $[\omega] = 1 \text{ рад/с}$ . За время, равное периоду обращения, угол поворота радиуса-вектора равен  $2\pi$ . Поэтому  $\omega = 2\pi/T$ .

**Линейная скорость тела  $v$**  — скорость, с которой тело движется вдоль траектории. Линейная скорость при равномерном движении по окружности постоянна по модулю, меняется по направлению и направлена по касательной к траектории.

**Линейная скорость** равна отношению пути, пройденному телом вдоль траектории, ко времени, за которое этот путь пройден:  $\vec{v} = l/t$ . За один оборот точка проходит путь, равный длине окружности. Поэтому  $\vec{v} = 2\pi R/T$ . Связь между линейной и угловой скоростью выражается формулой:  $v = \omega R$ .

Из этого равенства следует, что чем дальше от центра окружности расположена точка вращающегося тела, тем больше её линейная скорость.

4. Ускорение тела равно отношению изменения его скорости ко времени, за которое оно произошло. При движении тела по окружности изменяется направление скорости, следовательно, разность скоростей не равна нулю, т.е. тело движется с ускорением. Оно определяется по формуле:  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$  и направлено так же, как вектор изменения скорости. Это ускорение называется **центростремительным ускорением**.

**Центростремительное ускорение** при равномерном движении тела по окружности — физическая величина, равная отношению квадрата линейной скорости к радиусу

окружности:  $a = \frac{v^2}{R}$ . Так как  $v = \omega R$ , то  $a = \omega^2 R$ .

При движении тела по окружности его центростремительное ускорение постоянно по модулю и направлено к центру окружности.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. При равномерном движении тела по окружности
  - 1) изменяется только модуль его скорости
  - 2) изменяется только направление его скорости
  - 3) изменяются и модуль, и направление его скорости
  - 4) не изменяется ни модуль, ни направление его скорости



10. Линейная скорость точки обода велосипедного колеса радиусом 35 см равна 5 м/с. Чему равен период обращения колеса?

- 1) 14 с                                  3) 0,07 с  
2) 7 с                                    4) 0,44 с

11. Установите соответствие между физическими величинами в левом столбце и формулами для их вычисления в правом столбце. В таблице под номером физической величины левого столбца запишите соответствующий номер выбранной вами формулы из правого столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА
А) линейная скорость	1) $1/T$
Б) угловая скорость	2) $v^2/R$
В) частота обращения	3) $v/R$
	4) $\omega R$
	5) $1/n$

А	Б	В

12. Период обращения колеса увеличился. Как изменились угловая и линейная скорости точки обода колеса и её центростремительное ускорение. Установите соответствие между физическими величинами в левом столбце и характером их изменения в правом столбце. В таблице под номером физической величины левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ
А) угловая скорость	1) увеличилась
Б) линейная скорость	2) уменьшилась
В) центростремительное ускорение	3) не изменилась

## Часть 2

13. Какой путь пройдет точка обода колеса за 10 с, если частота обращения колеса составляет 8 Гц, а радиус колеса 5 м?



## Масса. Плотность вещества

1. На любое тело действуют другие тела. Важно, что действие тел друг на друга носит взаимный характер. Например, лежащая на столе книга взаимодействует с Землёй и со столом: книга действует на стол, стол действует на книгу; Земля действует на книгу, книга действует на Землю. Таким образом, имеет место взаимное действие, или **взаимодействие** тел. При взаимодействии тел изменяется их скорость, т.е. тела приобретают ускорение.

Для изменения скорости на некоторую величину телу требуется определённое время. Свойство тела, состоящее в том, что для изменения скорости ему требуется определённое время, называют **инертностью**.

Понятие «инертность» следует отличать от понятия «инерция». **Инертность** — это свойство тела; а **инерция** — явление сохранения телом своей скорости в отсутствие действия на него других тел.

2. Если покоящиеся пустую и нагруженную тележки связать нитью, а затем нить пережечь, то тележки, взаимодействуя друг с другом, разъедутся. Их скорость изменится от нуля до некоторого значения, т.е. тележки приобретут ускорения. При этом ускорение нагруженной тележки будет меньше, чем ненагруженной. Соответственно, ненагруженной тележке для изменения скорости на такую же величину, что и нагруженной, требуется меньшее время, т.е. нагруженная тележка более инертна, чем ненагруженная (рис. 29)

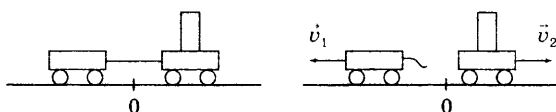


Рис. 29

Можно сказать и так: более инертно то тело, которое при взаимодействии приобретает меньшее ускорение.

**Величина, характеризующая инертность тела и являющаяся мерой инертности, называется массой.** Более инертное тело имеет большую массу, менее инертное тело имеет меньшую массу.

3. Массу обозначают буквой  $m$ , единица массы в СИ  $[m] = 1$  кг. Эта единица является основной в Международной системе единиц (СИ).

За единицу массы в СИ принят 1 килограмм (1 кг) — это масса эталона, специально изготовленного из сплава платины и иридия цилиндра. Массу 1 кг имеет 1 л чистой воды при 15 °С.

4. Опыты показывают, что ускорения взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам:  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$

Если массы взаимодействующих тел  $m_1$  и  $m_2$ , то  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$ .

Чтобы измерить массу  $m$  некоторого тела нужно привести его во взаимодействие с телом известной массы (с эталоном массы)  $m_{\text{эт}}$  и измерить ускорения, которые приобретут данное тело и эталон. Тогда  $\frac{m_{\text{эт}}}{m} = \frac{a}{a_{\text{эт}}}$  или

$m = m_{\text{эт}} \frac{a_{\text{эт}}}{a}$ . Используя взаимодействие тел, можно измерить массу очень больших и очень маленьких объектов (планет, элементарных частиц и пр.).

5. Масса — величина инвариантная, т.е. её значение не зависит от выбора системы отсчёта.

Масса — аддитивна, т.е. масса тела равна сумме масс составляющих его частей:  $m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ .

6. Масса характеризует не только инертное свойство материи, но и другие свойства, например, гравитационное. Мерой этого свойства тела масса выступает при взаимодействии тела с Землёй. Именно это позволяет измерять массу, взвешивая тела на рычажных весах.

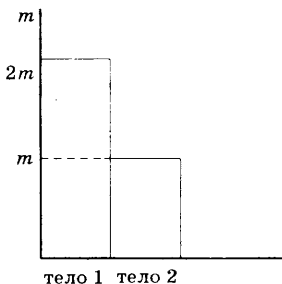
7. Плотность вещества  $\rho$  — величина, равная отношению массы тела к его объёму:  $\rho = \frac{m}{V}$  Единица плотности —  $[\rho] = 1 \text{ кг/м}^3$ .

Значения плотности веществ указаны в таблицах, в них часто приводят значения плотности вещества в  $\text{г/см}^3$ .  $1 \text{ г/см}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

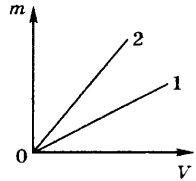
- Плотность железа  $7,8 \text{ г/см}^3$ . Чему равна плотность железа в  $\text{кг/м}^3$ ?
  - $0,078 \text{ кг/м}^3$
  - $7,8 \text{ кг/м}^3$
  - $7800 \text{ кг/м}^3$
  - $7\,800\,000 \text{ кг/м}^3$
- Две тележки массами  $200 \text{ г}$  и  $400 \text{ г}$  соединены сжатой пружиной и скреплены нитью. После того, как нить пережгли, пружина распрямилась, и тележки разъехались. Первая тележка приобрела скорость, равную  $0,5 \text{ м/с}$ . Какую скорость приобрела вторая тележка?
  - $0,25 \text{ м/с}$
  - $0,5 \text{ м/с}$
  - $1 \text{ м/с}$
  - $2 \text{ м/с}$
- При взаимодействии двух тел каждое из них приобретает ускорение. Ускорение одного тела массой  $200 \text{ г}$  равно  $1 \text{ м/с}^2$ . Ускорение другого тела массой  $500 \text{ г}$  равно
  - $2,5 \text{ м/с}^2$
  - $1 \text{ м/с}^2$
  - $0,5 \text{ м/с}^2$
  - $0,4 \text{ м/с}^2$
- Массу тела измеряют,
  - взвешивая его на рычажных весах
  - приведя во взаимодействие с телом известной массыПравильный ответ
  - только А
  - только Б
  - и А, и Б
  - ни А, ни Б
- Три тела имеют одинаковый объём. Плотности веществ, из которых изготовлены эти тела, соотносятся как  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ . Как соотносятся массы этих тел?
  - $m_1 = m_2 = m_3$
  - $m_1 > m_2 > m_3$
  - $m_1 < m_2 < m_3$
  - $m_1 < m_2 > m_3$
- На рисунке приведена столбчатая диаграмма, на которой представлены значения массы двух тел равного объёма. Какой вывод можно сделать из анализа диаграммы?
  - $\rho_1 = 2\rho_2$
  - $\rho_1 = 1,5\rho_2$
  - $\rho_1 = \rho_2$
  - $\rho_1 = 0,5\rho_2$



7. Три кубика одинакового объёма сделаны из разных материалов. Плотности этих материалов соотносятся как  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ . Как соотносятся массы этих тел?

- 1)  $m_1 < m_2 < m_3$                       3)  $m_1 > m_2 > m_3$   
 2)  $m_1 = m_2 = m_3$                       4)  $m_1 > m_2 < m_3$

8. На рисунке приведены графики зависимости массы двух тел от их объёма. Сравните значения плотностей этих тел.



- 1)  $\rho_1 < \rho_2$                                       3)  $\rho_1 > \rho_2$   
 2)  $\rho_1 = \rho_2$                                       4)  $\rho_1 \leq \rho_2$

9. Чему равна масса льдины объёмом  $0,2 \text{ м}^3$ , если плотность льда  $0,9 \text{ г/см}^3$ ?

- 1)  $0,18 \text{ кг}$                                       3)  $18 \text{ кг}$   
 2)  $4,5 \text{ кг}$                                       4)  $180 \text{ кг}$

10. Отвечая на вопрос учителя о том, какую величину называют плотностью вещества, учащиеся давали разные ответы, среди которых были следующие:

- А. Плотность вещества — физическая величина, прямо пропорциональная массе тела и обратно пропорциональная его объёму.  
 Б. Плотность вещества — физическая величина, равная отношению массы тела к его объёму.

Правильный ответ:

- 1) только А                                      3) и А, и Б  
 2) только Б                                      4) ни А, ни Б

11. Ниже приведены таблица плотности веществ и четыре утверждения. Из приведённых ниже утверждений выберите два правильных и запишите их номера

Вещество	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Вещество	Плотность, $\text{кг/м}^3$
Бензин	710	Парафин	900
Спирт	800	Алюминий	2700
Масло машинное	900	Цинк	7100
Вода	1000	Сталь	7800
Ртуть	13 600	Медь	8900

- 1) Масса  $6 \text{ м}^3$  машинного масла равна массе  $2 \text{ м}^3$  алюминия
- 2) Объём стальной детали больше объёма алюминиевой детали при их одинаковой массе
- 3) Объём  $0,5 \text{ кг}$  машинного масла примерно в 2 раза меньше объёма  $0,8 \text{ кг}$  спирта
- 4) Масса  $5 \text{ м}^3$  цинка меньше массы  $30 \text{ м}^3$  воды

12. Установите соответствие между физическими величинами в левом столбце и их зависимостью от выбора системы отсчёта в правом столбце. В таблице под номером физической величины левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента из правого столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ПОНЯТИЕ

А) масса

1) относительная

Б) время

2) инвариантная

В) скорость

## Часть 2

13. Два мяча: один массой  $200 \text{ г}$ , другой массой  $250 \text{ г}$  после столкновения разлетелись в разные стороны. Мяч меньшей массы в результате столкновения приобрёл скорость  $5 \text{ м/с}$ . Чему равен путь, который пролетит за  $2 \text{ с}$  мяч большей массы? Считать, что скорость мяча за это время не изменится.

## Сила. Сложение сил

1. Ускорения взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам:  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$ . Преобразовав это равенство, получаем:  $m_1 a_1 = m_2 a_2$ . В правой и в левой частях равенства стоят одинаковые величины для двух взаимодействующих тел, причем значения ускорений тел не зависят от условий их взаимодействия. Следовательно, можно считать, что произведение массы тела и его ускорения характеризует взаимодействие тел и это произведение равно силе, действующей на тело со стороны другого взаимодействующего с ним тела, т.е.:  $\vec{F} = m\vec{a}$ .

**Силой называют физическую величину, характеризующую взаимодействие тел и равную произведению массы тела и его ускорения.** Поскольку ускорение векторная величина, а масса скалярная, то сила — векторная величина:  $\vec{F} = m\vec{a}$ .

2. Единица силы, в отличие от единицы массы, является производной единицей СИ.  $[F] = [m][a]$ ;  $[F] = 1\text{ кг} \cdot 1\text{ м/с}^2$ .  $[F] = 1\text{ Н}$  (1 ньютон).

Один ньютон — это такая сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение  $1\text{ м/с}^2$ .

3. Результат действия силы зависит от её модуля, направления и точки приложения. Например, дверную ручку прикрепляют как можно дальше от петель, на которых она висит, поскольку, чем ближе к петлям подействовать силой, тем труднее дверь открыть.

4. Прибором для измерения силы служит динамометр. В соответствии с законом Гука удлинение пружины прямо пропорционально силе упругости, поэтому по удлинению пружины можно судить о приложенной к пружине силе, которая равна силе упругости.

5. Обычно на тело действуют несколько сил. Например, на тело, падающее в воздухе, действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха; на груз, висящий на нити, действуют сила тяжести и сила упругости нити.

При этом *действие каждой силы не зависит от действия других, т.е. каждая сила сообщает телу такое ускорение, какое она сообщила бы ему в отсутствие действия других сил.* Это утверждение носит название **принципа независимости действия сил.** Поэтому при расчёте ускорения движения тела все действующие на него силы заменяют одной силой.

**Равнодействующей силой называют силу, которая оказывает на тело такое же действие, как и все действующие на него силы вместе.**

Равнодействующую силу находят по правилу сложения векторов, она равна геометрической сумме действующих на тело сил.

Если силы, действующие на тело, направлены по одной прямой в одну сторону, то  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ , а модуль равнодействующей равен сумме модулей действующих сил  $F = F_1 + F_2$  (рис. 30).

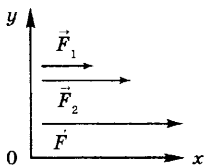


Рис. 30

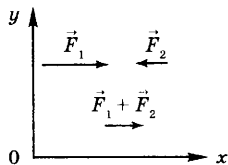


Рис. 31

Если силы, действующие на тело, направлены в разные стороны, то  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ , а модуль равнодействующей равен разности модулей действующих сил:  $F = F_1 - F_2$  (рис. 31).

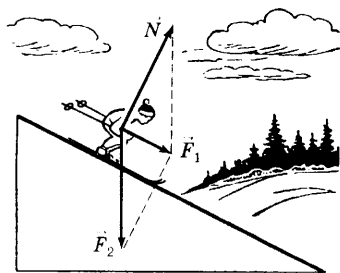


Рис. 32

Если силы направлены под углом друг к другу, то равнодействующая равна диагонали параллелограмма, построенного на действующих на тело силах как на сторонах, или стороне треугольника, начало которой совпадает с началом вектора  $\vec{F}_1$ , а конец с концом вектора  $\vec{F}_2$  (рис. 32).

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

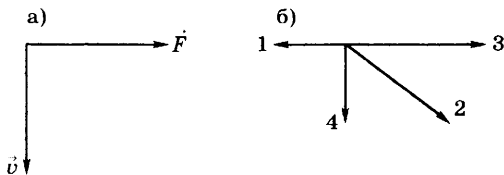
### Часть 1

1. Ускорение движения парашютиста с раскрытым парашютом определяется его взаимодействием
  - 1) только с Землёй
  - 2) только с Землёй и с воздухом
  - 3) только с Землёй и с парашютом
  - 4) с Землёй, воздухом и парашютом
2. Сила — это мера
 

1) быстроты движения	3) взаимодействия
2) инертности	4) быстроты изменения скорости
3. Какие из приведённых ниже величин всегда совпадают по направлению?
 

1) сила и скорость	3) сила и ускорение
2) сила и перемещение	4) ускорение и перемещение

4. На рисунке а) показаны направления силы, действующей на тело, и его скорости. Какой из четырёх векторов, приведённых на рисунке б), указывает направление ускорения, с которым движется это тело?

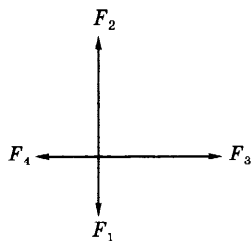


- 1) 1                      2) 2                      3) 3                      4) 4
5. На тело, находящееся на полу движущегося лифта, действуют сила тяжести 90 Н и сила упругости со стороны пола лифта, равная 75 Н. Чему равна равнодействующая этих сил и как она направлена?
- 1) 45 Н, направлена в ту же сторону, что и сила тяжести  
 2) 45 Н, направлена в ту же сторону, что и сила упругости  
 3) 125 Н, направлена в ту же сторону, что и сила тяжести  
 4) 125 Н, направлена в ту же сторону, что и сила упругости
6. На тело действуют две силы модули которых, —  $F_1 = 30$  Н и  $F_2 = 40$  Н, направленные под углом  $90^\circ$  друг к другу. Чему равна равнодействующая этих сил?
- 1) 70 Н                      2) 50 Н                      3) 40 Н                      4) 10 Н

7. Чему равна равнодействующая сил, действующих на тело (рис.), если

$$\vec{F}_1 = 4 \text{ Н}, \vec{F}_2 = 16 \text{ Н}, \vec{F}_3 = 22 \text{ Н}, \vec{F}_4 = 6 \text{ Н?}$$

- 1) 48 Н  
 2) 34 Н  
 3) 28 Н  
 4) 20 Н



8. Чему равна сила, под действием которой тело массой 8 кг получает ускорение  $4 \text{ м/с}^2$ ?
- 1) 32 Н                      2) 8 Н                      3) 2 Н                      4) 0,5 Н



9. Результат действия силы зависит от

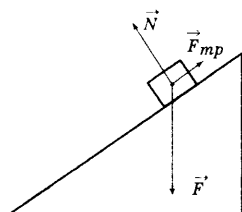
- А. Её направления
- Б. Точки приложения

Правильный ответ:

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б

10. На наклонной плоскости покоится брусок, на который действуют сила тяжести  $\vec{F}$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$  и сила трения покоя  $\vec{F}_{тр}$ . Чему равна равнодействующая этих сил?

- 1) 0
- 2)  $F + N + F_{тр}$
- 3)  $F_{тр}$
- 4)  $F + N$



11. Установите соответствие между физическими величинами в левом столбце и их единицами в правом столбце. В таблице под номером физической величины левого столбца запишите соответствующий номер выбранной вами единицы величины из правого столбца.

ФИЗИЧЕСКАЯ  
ВЕЛИЧИНА

ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ

- |              |  |
|--------------|--|
| А) масса     | 1) ньютон (Н)                                    |
| Б) сила      | 2) метр в секунду в квадрате (м/с <sup>2</sup> ) |
| В) ускорение | 3) килограмм (кг)                                |

12. Из приведённых высказываний выберите два верных и запишите их номера.

- 1) Из двух тел разной массы при действии на них одинаковой силы большее ускорение приобретет тело большей массы.
- 2) Сила равна произведению массы тела и его ускорения.
- 3) Направление движения тела всегда совпадает с направлением силы.
- 4) Сила — причина ускорения тела.

## Часть 2

13. На автомобиль массой 1 т действуют сила тяги 1700 Н и сила трения 200 Н. С каким ускорением движется автомобиль?

## Законы Ньютона

1. В основе классической механики лежат три закона Ньютона, которые были сформулированы им при обобщении результатов наблюдений и опытов в конце XVII в.

Первый закон, включённый Ньютоном в систему законов, был открыт Галилеем и назван им законом инерции. Закон инерции формулируется следующим образом: **если на тело не действуют другие тела, то оно либо находится в покое, либо движется равномерно прямолинейно.**

2. В природе не существует отдельных изолированных тел. Любое тело взаимодействует с окружающими телами. Несмотря на это, взаимодействующие тела могут находиться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно.

Например, лежащая на столе книга взаимодействует с Землёй, и на неё действует сила тяжести ( $\vec{F}_T$ ), направленная вниз (рис. 33). Книга также взаимодействует со столом, и со стороны стола на неё действует сила, направленная вертикально вверх ( $\vec{F}$ ). При этом книга находится в покое, следовательно,  $|\vec{F}_T| = |\vec{F}|$ , т.е. действия Земли и стола на книгу компенсируют друг друга.

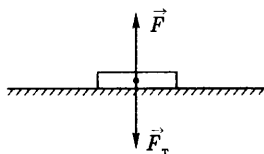


Рис. 33

3. При компенсации действия на тело других тел оно может двигаться равномерно прямолинейно.

Например, если по прямой горизонтальной дороге движется автомобиль, то при компенсации действия на него силы тяги двигателя и силы трения со стороны поверхности дороги движение автомобиля будет равномерным.

Можно утверждать, что тело сохраняет состояние покоя, если действие на него других тел скомпенсировано.

Явление сохранения скорости тела постоянной (в том числе и равной нулю) называют **явлением инерции.**

4. Тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано не во всех системах отсчёта, а только в инерциальных системах отсчёта.

Инерциальными системами отсчёта называются такие системы отсчёта, относительно которых поступательно

движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действия других тел компенсируются. Инерциальной можно считать систему отсчёта, связанную с Землёй. Системы отсчёта, движущиеся относительно Земли равномерно и прямолинейно, также являются инерциальными.

Системы отсчёта, движущиеся с ускорением относительно инерциальной системы отсчёта, например относительно Земли, называют **неинерциальными**.

**5. Значение первого закона Ньютона состоит в том, что он устанавливает существование инерциальных систем отсчёта** (таких систем отсчёта, относительно которых тела движутся с постоянной скоростью при компенсации внешних воздействий). Именно для таких систем отсчёта справедливы все другие законы Ньютона.

**6. Второй закон Ньютона устанавливает зависимость ускорения одного из взаимодействующих тел от его массы и действующей на него силы.** Наблюдения и опыты свидетельствуют о том, что чем больше сила, действующая на тело, тем больше ускорение, которое оно приобретает. Так, чем сильнее водитель нажимает на педаль тормоза, тем больше сила и тем быстрее автомобиль остановится. Значит, чем больше действующая на автомобиль сила сопротивления, тем больше его ускорение.

Ускорение, которое приобретают тела под действием одинаковой силы, зависит от массы тел. Например, грузовому автомобилю требуется большее время, чем легковому, для того, чтобы, имея некоторую одинаковую скорость, остановиться, выключив двигатель. Из этого примера следует, что чем больше масса тела, тем меньшее ускорение оно получает под действием некоторой постоянной силы.

**7. Второй закон Ньютона формулируется следующим образом:** ускорение, с которым движется тело прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе тела.

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

Записанное равенство представляет собой **второй закон Ньютона**.

В механике Ньютона ускорение тел обусловлено только их взаимодействием. Следовательно, второй закон Ньютона справедлив в инерциальных системах отсчёта.

8. Действие тел друг на друга носит взаимный характер, т.е. в результате взаимодействия каждое тело приобретает ускорение, и, следовательно, на каждое из взаимодействующих тел действует сила. Например, груз, висящий на нити, действует на нить с силой, направленной вертикально вниз ( $\vec{F}_1$ ), и растягивает её (рис. 34). В свою очередь, нить действует на груз с силой, направленной вертикально вверх ( $\vec{F}_2$ ).

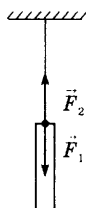


Рис. 34

9. Измерения показывают, что:

- при взаимодействии тел сила действует как на одно тело, так и на другое;
- модуль силы, действующей на одно тело, равен модулю силы, действующей на другое тело;
- силы, действующие на тела, направлены в противоположные стороны.

10. Из соотношения следует:  $m_1 a_1 = m_2 a_2$ .

Поскольку ускорение — величина векторная и ускорения, которые получают тела, направлены в противоположные стороны, то  $m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$ .

Так как  $m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_1$ , а  $m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_2$ , то можно записать:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ .

Это равенство и выражает **третий закон Ньютона**.

Третий закон Ньютона формулируется следующим образом: **тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и направленными в противоположные стороны**. Эти силы направлены вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие тела (материальные точки).

Третий закон Ньютона говорит о том, что силы всегда проявляются парами.

Эти силы часто называют силами действия и противодействия. При этом безразлично, какую из двух сил назвать силой действия, а какую — силой противодействия.

Эти силы приложены к разным телам, и их нельзя складывать, т.е. нельзя сказать, что силы действия и противодействия уравновешивают друг друга.

Силы, с которыми взаимодействуют тела, всегда одной природы.

Третий закон Ньютона, так же как первый и второй законы, справедлив в инерциальных системах отсчёта.

**10.** При переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой не изменяются ни ускорение, ни масса тела, ни действующая на него сила. Следовательно, можно утверждать, что законы механики одинаковы для всех инерциальных систем отсчёта, или, что то же самое, все механические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта при одинаковых начальных условиях. Это утверждение называется принципом относительности Галилея.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Утверждение, что материальная точка покоится или движется равномерно прямолинейно, если на неё не действуют другие тела или действие на неё других тел взаимно уравновешено,
  - 1) неверно ни для каких систем отсчёта
  - 2) верно для инерциальных систем отсчёта
  - 3) верно для неинерциальных систем отсчёта
  - 4) верно при любых условиях
2. Система отсчёта, связанная с Землёй, может считаться инерциальной. Система отсчёта, связанная с автобусом, тоже будет инерциальной, если он
  - 1) движется равномерно по извилистой дороге
  - 2) тормозит у остановки
  - 3) отъезжает от светофора
  - 4) движется равномерно по прямолинейному участку пути
3. В каком из приведённых примеров тело движется по инерции:
  - 1) равномерно движущийся по горизонтальной дороге автомобиль
  - 2) автомобиль, движущийся по горизонтальной дороге с выключенным двигателем
  - 3) автомобиль, поворачивающий направо
  - 4) автомобиль, выезжающий со стоянки

4. Яблоко, лежащее неподвижно на столе вагона движущегося поезда покатился вправо, если смотреть по ходу поезда. Как изменилось движение поезда?

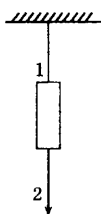
- 1) скорость поезда увеличилась
- 2) скорость поезда уменьшилась
- 3) поезд повернул влево
- 4) поезд повернул вправо

5. Можно ли считать инерциальной системой отсчёта движущийся автомобиль?

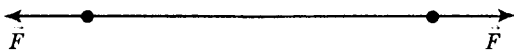
- 1) можно всегда
- 2) можно, только если он движется равномерно и прямолинейно
- 3) можно только во время разгона и торможения
- 4) нельзя ни при каких условиях

6. Массивный груз подвешен на тонкой нити 1. К грузу прикреплена такая же нить 2. Если медленно тянуть за нить 2, то оборвется

- 1) только нить 1
- 2) только нить 2
- 3) нить 1 и нить 2 одновременно
- 4) либо нить 1, либо нить 2, в зависимости от массы груза



7. Нить, привязанная одним концом к вбитому в стену гвоздю, разорвется, если другой её конец тянуть с силой не менее 50 Н. Чему равно наименьшее значение сил, с которыми растягивают эту же нить за оба конца, при котором она рвется?



- 1) 25 Н
- 2) 50 Н
- 3) 75 Н
- 4) 100 Н

8. Два ученика тянут динамометр в противоположные стороны с силой 60 Н каждый. Каково показание динамометра?

- 1) 0 Н
- 2) 30 Н
- 3) 60 Н
- 4) 120 Н

9. Земля притягивает яблоко с силой  $\vec{F}_1$ . Яблоко притягивает Землю с силой  $\vec{F}_2$ . При этом

- 1)  $F_2 = 0$
- 2)  $F_1 = F_2$
- 3)  $F_1 > F_2$
- 4)  $F_1 < F_2$

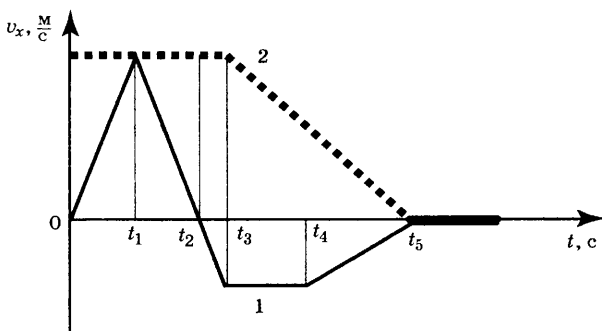
10. Чему равна масса автомобиля, трогаящегося с места с ускорением  $0,6 \text{ м/с}^2$ , если развиваемая им сила тяги равна  $15\,000 \text{ Н}$ ? Сила сопротивления, действующая на автомобиль, равна  $6000 \text{ Н}$ .

- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1) $1,5 \text{ т}$ | 3) $15 \text{ т}$ |
| 2) $7,5 \text{ т}$ | 4) $75 \text{ т}$ |

11. Из приведенных утверждений выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) законы Ньютона справедливы во всех системах отсчета
- 2) первый закон Ньютона утверждает существование инерциальных систем отсчета
- 3) равнодействующая сил действия и противодействия равна нулю
- 4) силы действия и противодействия имеют одинаковую природу
- 5) второй закон Ньютона говорит о том, что масса тела прямо пропорциональна действующей на тело силе

12. Два тела движутся по оси  $Ox$ . На рисунке представлены графики зависимости проекции скорости движения тел 1 и 2 от времени.



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня **два** верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) В промежутке времени  $t_3 - t_5$  на тело 2 действует постоянная сила.
- 2) В промежутке времени  $0 - t_3$  сила сообщает телу 1 положительное ускорение

- 3) В промежутке времени  $t_4 - t_5$  на тело 1 сила не действует
- 4) Модуль силы, действующей на тело 1 в промежутки времени  $0 - t_1$   $t_1 - t_2$  различен.
- 5) В промежутке времени  $t_1 - t_2$  сила сообщает телу 1 отрицательное ускорение

## Часть 2

13. Тело массой 7 кг с помощью каната начинают равноускоренно поднимать вертикально вверх. Чему равна сила, действующая на тело со стороны каната, если известно, что за 4 с груз был поднят на высоту 16 м?

### Сила трения

1. Для того чтобы тело (книгу, лежащую на столе, ящик, стоящий на полу, и т.п.) сдвинуть с места, к нему нужно приложить силу. При этом при постепенном увеличении силы тело какое-то время будет оставаться в покое, а при определённом значении приложенной силы начнёт перемещаться. Силу, возникающую при непосредственном соприкосновении двух тел, называют **силой трения**. Эта сила всегда направлена вдоль поверхности соприкосновения.

На книгу, лежащую на столе, действуют в вертикальной плоскости уравновешивающие друг друга силы тяжести  $\vec{F}_T$  и упругости (реакции опоры), в горизонтальной плоскости действует приложенная к ней сила  $\vec{F}$ . Поскольку книга какое-то время остается неподвижной, то это значит, что в горизонтальной плоскости действует ещё одна сила, равная по модулю силе  $\vec{F}$  и направленная в противоположную ей сторону. Этой силой является **сила трения покоя**. Чем большая сила прикладывается к телу (пока оно не движется), тем больше сила трения покоя.

**Сила трения покоя равна по модулю и направлена противоположно силе, приложенной к покоящемуся телу параллельно поверхности его соприкосновения с другим телом.**

2. При некотором значении приложенной к телу силы  $\vec{F}$  оно приходит в движение. В момент начала движения бруска сила трения покоя имеет максимальное значение  $\vec{F}_{тр.мах}$ .



которое равно силе трения скольжения. Чем больше сила давления тела на поверхность соприкосновения тел перпендикулярно этой поверхности (сила нормального давления), тем больше максимальная сила трения покоя, т.е.  $(F_{\text{тр}})_{\text{max}} = \mu N$ , где  $\mu$  — коэффициент трения.

Максимальная сила трения покоя прямо пропорциональна силе нормального давления.

Сила трения покоя препятствует началу движения тела. С другой стороны, сила трения покоя может быть причиной ускорения движения тела. Так, при ходьбе сила трения покоя  $F_{\text{тр}}$ , действующая на подошву, сообщает нам ускорение. Сила  $F$ , равная по модулю силе трения покоя и направленная в противоположную сторону, сообщает ускорение опоре.

3. При движении тела на него тоже будет действовать сила трения, её называют **силой трения скольжения**. Сила трения скольжения — сила, действующая при скольжении одного тела по поверхности другого и направленная в сторону, противоположную перемещению тела. Она несколько меньше максимальной силы трения покоя и направлена в сторону, противоположную перемещению тела относительно соприкасающегося с ним тела.

Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления:  $F_{\text{тр}} = \mu N$ . В этой формуле  $N$  — сила нормального давления, т.е. сила, действующая перпендикулярно поверхности соприкасающихся тел;  $\mu$  — коэффициент трения. Коэффициент трения характеризует поверхности соприкасающихся тел. Он определяется экспериментально и приводится в таблицах.

Причиной трения являются неровности поверхностей. В случае хорошо отшлифованных поверхностей молекулы, находящиеся на поверхностях тел, располагаются близко друг к другу, и силы межмолекулярного взаимодействия достаточно велики.

4. Если тело катится по поверхности другого тела, то на него тоже действует сила трения. Это — **сила трения качения**. Она прямо пропорциональна силе нормального давления (реакции опоры)  $N$  и обратно пропорциональна радиусу  $R$  катящегося тела:  $F_{\text{кач}} = \mu \frac{N}{R}$ , где  $\mu$  — коэффициент трения качения.

5. Существует целый ряд практических задач, в которых необходим учёт силы трения. Особенно важными являются задачи, связанные с движением транспорта. Хорошо известно, что для избежания аварий следует сохранять определённую дистанцию между автомобилями; в дождливую погоду или в гололедицу она должна быть больше, чем в сухую погоду.

Расстояние, которое проезжает автомобиль при торможении до полной остановки, называют тормозным путём.

Рассчитывается тормозной путь по формуле  $s = \frac{v^2}{2a}$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- При измерении коэффициента трения брусок перемещали по горизонтальной поверхности стола и получили значение силы трения  $F_1$ . Затем на брусок положили груз, масса которого в 2 раза больше массы бруска, и получили значение силы трения  $F_2$ . При этом сила трения  $F_2$ 
  - равна  $F_1$
  - в 2 раза больше  $F_1$
  - в 3 раза больше  $F_1$
  - в 2 раза меньше  $F_1$
- В таблице приведены результаты измерений силы трения и силы нормального давления при исследовании зависимости между этими величинами.

$N$ , Н	0,4	1,2	2,0	3,0	4,0	4,5
$F_{\text{тр}}$ , Н	0,1	0,3	0,5	0,8	1,4	1,6

Закономерность  $\mu = N/F_{\text{тр}}$  выполняется для значений силы нормального давления

- только от 0,4 Н до 2,0 Н
- только от 0,4 Н до 3 Н
- только от 0,4 Н до 4,5 Н
- только от 2,0 Н до 4,5 Н

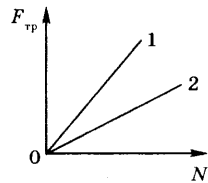
3. При измерении силы трения брусок перемещали по горизонтальной поверхности стола и получили значение силы трения  $F_1$ . Затем брусок перемещали, положив его на стол гранью, площадь которой в 2 раза больше, чем в первом случае, и получили значение силы трения  $F_2$ . Сила трения  $F_2$

- 1) равна  $F_1$
- 2) в 2 раза больше  $F_1$
- 3) в 2 раза меньше  $F_1$
- 4) в 4 раза меньше  $F_1$

4. Два деревянных бруска массой  $m_1$  и  $m_2$  скользят по горизонтальной одинаково обработанной поверхности стола. На бруски действует сила трения скольжения  $F_1$  и  $F_2$  соответственно. При этом известно, что  $F_2 = 2F_1$ . Следовательно,  $m_1$

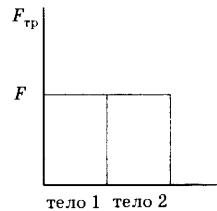
- 1)  $m_2$
- 2)  $2m_2$
- 3)  $m_2/2$
- 4) ответ зависит от значения коэффициента трения

5. На рисунке приведены графики зависимости силы трения от силы нормального давления. Сравните значения коэффициента трения.



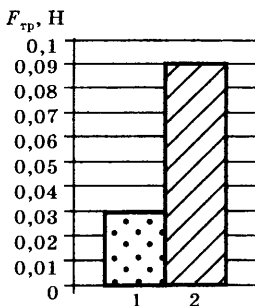
- 1)  $\mu_2 = \mu_1$
- 2)  $\mu_2 > \mu_1$
- 3)  $\mu_2 < \mu_1$
- 4)  $\mu_2 \gg \mu_1$

6. Учащийся выполнял эксперимент по измерению силы трения, действующей на два тела, движущихся по горизонтальным поверхностям. Масса первого тела  $m_1$ , масса второго тела  $m_2$ , причем  $m_1 = 2m_2$ . Он получил результаты, представленные на рисунке в виде диаграммы. Какой вывод можно сделать из анализа диаграммы?



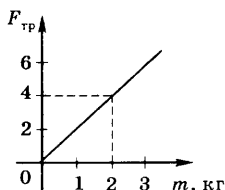
- 1) сила нормального давления  $N_2 = 2N_1$
- 2) сила нормального давления  $N_1 = N_2$
- 3) коэффициент трения  $\mu_1 = \mu_2$
- 4) коэффициент трения  $\mu_2 = 2\mu_1$

7. Два автомобиля одинаковой массы движутся один по асфальтовой дороге, а другой — по грунтовой. На диаграмме приведены значения силы трения для этих автомобилей. Сравните значения коэффициента трения ( $\mu_1$  и  $\mu_2$ ).



- 1)  $\mu_2 = 0,3 \mu_1$
- 2)  $\mu_2 = \mu_1$
- 3)  $\mu_2 = 1,5 \mu_1$
- 4)  $\mu_2 = 3\mu_1$

8. На рисунке приведён график зависимости силы трения от силы нормального давления. Чему равен коэффициент трения?



- 1) 0,5
- 2) 0,2
- 3) 2
- 4) 5

9. Санки весом 3 кг скользят по горизонтальной дороге. Сила трения скольжения их полозьев о дорогу 6 Н. Чему равен коэффициент трения скольжения полозьев о дорогу?

- 1) 0,2
- 2) 0,5
- 3) 2
- 4) 5

10. При движении тела массой 40 кг по горизонтальной поверхности действует сила трения скольжения 10 Н. Какой станет сила трения скольжения при уменьшении массы тела в 5 раз?

- 1) 1 Н
- 2) 2 Н
- 3) 4 Н
- 4) 5 Н

11. Установите соответствие между физической величиной (левый столбец) и характером её изменения (правый столбец) при увеличении массы бруска, движущегося по столу. В ответе запишите подряд номера выбранных ответов

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ  
ВЕЛИЧИНЫ

- А. Сила трения
- Б. Коэффициент трения
- В. Сила нормального давления

- 1) уменьшается
- 2) увеличивается
- 3) не изменяется

12. Из приведённых ниже утверждений выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Сила трения покоя больше приложенной к телу силе.
- 2) Сила трения качения меньше силы трения скольжения при той же массе тела.
- 3) Коэффициент трения скольжения прямо пропорционален силе нормального давления.
- 4) Сила трения зависит от площади опоры движущегося тела при одинаково обработанной его поверхности.
- 5) Максимальная сила трения покоя равна силе трения скольжения.

## Часть 2

13. Автомобиль, имея скорость 72 км/с, начинает тормозить с выключенным двигателем и проходит путь 100 м. Чему равны ускорение автомобиля и время торможения?

### Сила упругости. Вес тела

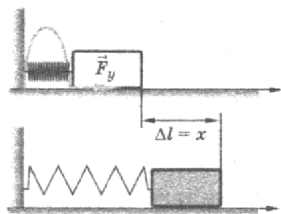


Рис. 35

1. Твёрдые тела под действием силы способны изменять свои форму и (или) объём. Взяв за концы металлическую линейку, можно её согнуть. Если перестать прикладывать силу, то линейка восстановит свою форму. Если сжать пружину (рис. 35), то она сократится, т.е. деформируется. При прекращении действия силы пружина вернётся в первоначальное состояние.

Изменение формы или объёма тела при действии на него силы называется **деформацией**.

Если длина пружины в недеформированном состоянии  $l_0$ , а после растяжения  $l$ , то изменение её длины  $l = l - l_0 = x$ , где  $l$  или  $x$  – удлинение или деформация.

2. При деформации в теле возникает сила упругости, которая стремится вернуть его в первоначальное состояние. Сила упругости ( $\vec{F}_{\text{упр.}}$ ) — сила, возникающая в теле в результате деформации, стремящаяся вернуть тело в первоначальное состояние и направленная в сторону, противоположную деформации (удлинению).

Так, при растяжении пружины эта сила направлена влево к положению равновесия, при сжатии пружины сила упругости направлена вправо (рис. 36).

Если тело после прекращения действия силы принимает первоначальную форму, то деформация является **упругой**. Если тело после прекращения действия силы не принимает первоначальную форму, то деформация является **неупругой** или **пластической**.

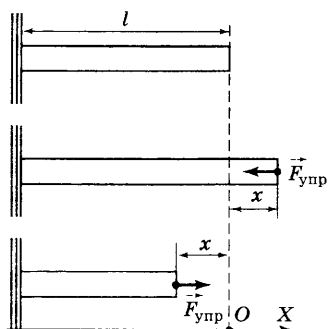


Рис. 36

3. При малых деформациях сила упругости прямо пропорциональна удлинению. Поскольку сила упругости и деформация направлены в противоположные стороны, то:  $F_{упр} = -k\Delta l$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности, называемый жёсткостью тела. Жёсткость зависит от размеров тела, его формы, материала, из которого сделано тело.

$$\text{Единица жёсткости } [k] = \frac{[F]}{[\Delta l]}; [k] = \frac{1\text{Н}}{1\text{м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Формула  $F_{упр} = -k\Delta l$  выражает закон Гука: **сила упругости, возникающая при деформации тела, прямо пропорциональна удлинению (деформации) тела и направлена в сторону, противоположную деформации.**

Важно понимать, что закон Гука справедлив при малых деформациях.

На рисунке 37 приведён график зависимости модуля силы упругости от деформации. Поскольку эта зависимость линейная, то графиком зависимости является прямая, проходящая через начало координат и составляющая угол  $\alpha$  с осью абсцисс.

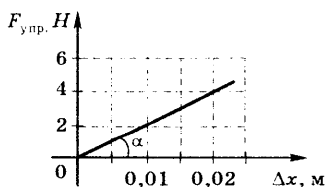


Рис. 37

По графику можно определить жёсткость тела. Например, значению деформации 2 см соответствует сила упругости 4 Н. Разделив 4 Н на 0,02 м, получим  $k = 200 \text{ Н/м}$ . В треугольнике АОВ жёсткость  $k$  равна тангенсу угла  $\alpha$ :  $k = \text{tg}\alpha$ .

4. Существуют разные виды деформации: растяжения, сжатия, сдвига, изгиба и кручения. В рассмотренных примерах линейка подвергалась деформации изгиба, пружина — деформации растяжения и сжатия, винты, гайки, болты при закручивании испытывают деформацию кручения, тяжёлые предметы при перемещении по полу — деформацию сдвига.

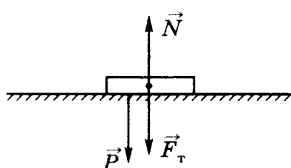


Рис. 38

5. Предположим, что на полу стоит ящик (рис. 38). На него действует сила тяжести  $\vec{F}_T$ , направленная вертикально вниз. Ящик, взаимодействуя с полом, деформирует его и деформируется сам. И на ящик, и на пол действует сила упругости, характеризующая их взаимодействие.

Сила упругости  $\vec{N}$ , действующая на ящик со стороны пола, приложена к ящику и направлена вертикально вверх; сила упругости  $\vec{P}$ , действующая со стороны ящика на пол, приложена к полу и направлена вертикально вниз. Эта сила называется весом тела.

Весом тела называют силу, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или подвес. В отличие от силы тяжести, вес тела приложен не к телу, а к опоре или к подвесу. Вес — это сила упругости.

6. Если тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, вес тела численно равен силе тяжести, действующей на него:  $\vec{P} = m\vec{g}$ .

На тело, движущееся вместе с платформой или подвесом вертикально вниз с ускорением  $\vec{a}$ , направленным в сторону движения, действуют сила тяжести  $\vec{F}_T$  и сила упругости  $N$  со стороны опоры или подвеса (рис. 39, 40).

Второй закон Ньютона для этой ситуации:  $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ . В проекциях на координатную ось:  $mg - N = ma$  или  $N = mg - ma$ . Поскольку  $N = P$ ,  $P = m(g - a)$ .

Если тело движется вниз вместе с опорой или подвесом с ускорением, направленным так же, как и ускорение свободного падения, то его вес меньше силы тяжести, т.е. меньше веса покоящегося тела. Если ускорение тела равно ускорению свободного падения  $\vec{a} = \vec{g}$ , то тело находится в состоянии невесомости.

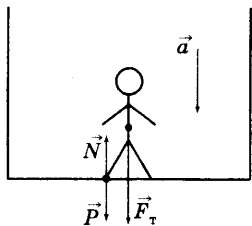


Рис. 39

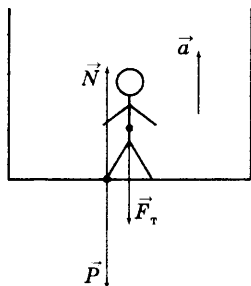


Рис. 40

В таком состоянии находится космонавт в космическом корабле, прыгун с трамплина во время полёта вниз.

7. На тело, движущееся вместе с платформой или подвесом **вертикально вверх** с ускорением  $\vec{a}$ , направленным в сторону движения, действуют сила тяжести  $\vec{F}_T$  и сила упругости  $\vec{N}$  со стороны опоры или подвеса (рис. 40).

Второй закон Ньютона для этой ситуации:  $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ . В проекциях на координатную ось:  $mg - N = -ma$  или  $N = mg + ma$ . Поскольку  $N = P$ ,  $P = m(g + a)$ .

Таким образом, если тело движется вверх вместе с опорой или подвесом с ускорением, направленным противоположно ускорению свободного падения, то его вес больше силы тяжести, т.е. больше веса покоящегося тела. Увеличение веса тела при движении с ускорением называют **перегрузкой**. Перегрузки испытывают космонавт в космическом корабле, пилот реактивного самолёта при взлёте и посадке.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Имеются две абсолютно упругие пружины. Под действием одной и той же силы первая пружина удлинилась на 8 см, а вторая — на 4 см. Сравните жёсткость  $k_2$  второй пружины с жёсткостью  $k_1$  первой пружины.

1)  $k_1 = k_2$

3)  $2k_1 = k_2$

2)  $4k_1 = k_2$

4)  $k_1 = 2k_2$



2. Имеются две абсолютно упругие пружины: одна жёсткостью 200 Н/м, другая жёсткостью 400 Н/м. Сравните силу упругости  $F_2$ , возникающую во второй пружине, с силой упругости  $F_1$ , возникающей в первой пружине, при одинаковом их удлинении.

1)  $F_2 = F_1$     2)  $F_2 = 4F_1$     3)  $2F_2 = F_1$     4)  $0,5F_2 = F_1$

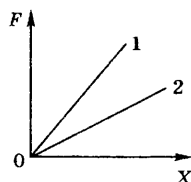
3. Ученик, растягивая пружину динамометра последовательно на 1Н, 2Н, 3Н и 4Н, каждый раз измерял её удлинение и результаты измерений вносил в таблицу. Определите по данным таблицы жёсткость пружины динамометра.

$F_{\text{упр}}, \text{ Н}$	0	1	2	3	4
$x, \text{ см}$	0	2	4	6	8

1)  $0,02 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$     2)  $0,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$     3)  $2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$     4)  $50 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

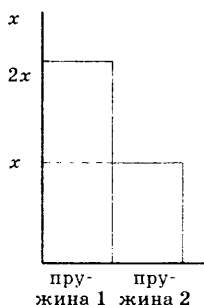
4. На рисунке приведены графики зависимости силы упругости от удлинения. Сравните жёсткость пружин.

1)  $k_2 = k_1$     3)  $k_2 < k_1$   
 2)  $k_2 > k_1$     4)  $k_2 \geq k_1$



5. Учащийся выполнял эксперимент по измерению удлинения  $x$  пружин при подвешивании к ним грузов. Полученные учащимся результаты представлены на рисунке в виде диаграммы. Какой вывод о жёсткости пружин  $k_1$  и  $k_2$  можно сделать из анализа диаграммы, если к концам пружин были подвешены грузы одинаковой массы?

1)  $k_2 = 4k_1$     3)  $k_2 = 2k_1$   
 2)  $k_1 = 2k_2$     4)  $k_1 = k_2$



6. Под действием силы 3 Н пружина удлинилась на 4 см. Чему равна сила, под действием которой удлинение этой пружины составит 6 см?

1) 3,5 Н    2) 4 Н    3) 4,5 Н    4) 5 Н

7. Две пружины растягиваются одинаковыми силами. Жёсткость первой пружины  $k_1$  в 2 раза больше жесткости второй пружины  $k_2$ . Удлинение первой пружины  $\Delta l_1$ , удлинение второй пружины  $\Delta l_2$  равно
- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1) $0,5\Delta l_1$  | 3) $1,5\Delta l_1$ |
| 2) $0,67\Delta l_1$ | 4) $2,0\Delta l_1$ |
8. В лифте, движущемся вниз равноускоренно из состояния покоя, стоит ящик. Модуль веса ящика
- 1) равен модулю силы тяжести
  - 2) больше модуля силы тяжести
  - 3) меньше модуля силы тяжести
  - 4) увеличивается с увеличением скорости лифта
9. Человек испытывает перегрузки при
- 1) равномерном движении вниз
  - 2) равномерном движении вверх
  - 3) равноускоренном движении вверх из состояния покоя
  - 4) равноускоренном движении вниз с ускорением свободного падения
10. Различие веса тела на экваторе и на полюсе можно обнаружить
- А. Взвешивая тело на рычажных весах
  - Б. Взвешивая тело на пружинных весах
- Правильный ответ
- 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) и А, и Б
  - 4) ни А, ни Б
11. Установите соответствие между физической величиной (левый столбец) и характером её изменения (правый столбец) при растяжении пружины динамометра. В ответе запишите подряд номера выбранных ответов
- | ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА              | ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ<br>ВЕЛИЧИНЫ     |
|----------------------------------|------------------------------------|
| А. Модуль силы упругости пружины | 1) уменьшается<br>2) увеличивается |
| Б. Жёсткость пружины             | 3) не изменяется                   |
| В. Модуль удлинения пружины      |                                    |

12. Из приведённых ниже высказываний выберите два верных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Закон Гука справедлив при любых деформациях.
- 2) Сила упругости направлена в сторону, противоположную деформации.
- 3) Жёсткость зависит только от материала, из которого изготовлено тело.
- 4) Вес тела всегда равен действующей на него силе тяжести.
- 5) Вес приложен к опоре или к подвесу.

## Часть 2

13. Груз массой 5 кг начинают поднимать вертикально вверх с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Чему равен вес груза?

### Закон всемирного тяготения. Сила тяжести

1. Силы, с которыми все тела притягиваются друг к другу, называют силами всемирного тяготения или гравитационными силами.

Закон всемирного тяготения был установлен Ньютоном, и он утверждает, что тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

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

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы тел,  $r$  — расстояние между телами,  $G$  — постоянная всемирного тяготения или гравитационная постоянная.

Значение гравитационной постоянной установлено опытным путём, оно равно  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2/\text{кг}^2$ . Смысл её заключается в следующем: два тела, каждое массой 1 кг, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н}$ .

Значение гравитационной постоянной свидетельствует о том, что силы тяготения между телами малы. Они становятся заметными при больших значениях масс взаимодействующих тел. Например, притяжение шарика к Земле

можно наблюдать без специальных приборов, а притяжение Земли к такому же шарикю мы не можем наблюдать непосредственно.

Закон всемирного тяготения справедлив для тел, размерами которых можно пренебречь по сравнению с расстоянием между ними (для материальных точек). Закон применим также к шарам, в этом случае расстоянием между телами является расстояние между центрами шаров.

**2. Все тела притягиваются к Земле. Силу притяжения тела к Земле называют силой тяжести ( $F_T$ ).**

По второму закону Ньютона сила равна произведению массы тела и ускорения, с которым оно движется под действием этой силы. Ускорение, с которым движется тело под действием силы тяжести, называется **ускорением свободного падения** и обозначается буквой  $g$ . Ускорение свободного падения не зависит от массы тела. Соответственно, сила тяжести рассчитывается по формуле:  $F_T = mg$ .

**3. Закон всемирного тяготения позволяет получить формулу для вычисления значения ускорения свободного падения.** С одной стороны, сила тяжести равна  $F_T = mg$ , с другой стороны, сила притяжения тела к Земле может быть вычислена, исходя из закона всемирного тяготения:

$$F_T = G \frac{M_3 m}{R^2}, \text{ где } M_3 \text{ — масса Земли, } m \text{ — масса тела, } R \text{ —}$$

радиус Земли. Приравнивая правые части записанных ра-

$$\text{венств, получим: } mg = G \frac{M_3 m}{R^2} \text{ или } g = G \frac{M_3}{R^2}.$$

Полученная формула позволяет вычислить ускорение свободного падения тела, находящегося на поверхности Земли. Она наглядно показывает, что значение ускорения свободного падения зависит от расстояния тела до центра Земли. Именно поэтому оно на экваторе больше, чем на полюсах.

По этой формуле можно вычислить ускорение свободного падения на любой планете, подставив вместо массы Земли массу соответствующей планеты, а вместо радиуса Земли радиус планеты.

**4. Если тело находится на высоте  $h$  относительно поверхности Земли, то ускорение свободного падения опре-**

$$\text{деляется равенством } g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}. \text{ Из приведённого ра-}$$

венства понятно, что чем дальше тело находится от центра Земли, тем меньше ускорение свободного падения. Например, на высоте 18 км, на которой летают современные истребители, оно равно  $9,72 \text{ м/с}^2$ .

5. Пользуясь законом всемирного тяготения, можно вычислить скорость, которую необходимо сообщить телу для того, чтобы оно стало спутником Земли. Эта скорость называется первой космической скоростью.

Центростремительное ускорение  $a$  спутнику массой  $m$  обеспечивает сила тяготения  $F_T$ , которая по второму закону Ньютона равна  $F_T = ma$ . Сила тяготения  $F_T = G \frac{M_3 m}{R^2}$ ,

где  $M_3$  — масса Земли,  $R$  — радиус Земли.

Центростремительное ускорение равно  $a = \frac{v^2}{R}$ , где  $v$  — линейная скорость спутника,  $R$  — радиус Земли. Откуда следует:

$$G \frac{M_3 m}{R^2} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad \text{или} \quad g = \frac{v^2}{R}. \quad \text{Отсюда} \quad v = \sqrt{gR}, \quad \text{т.е.}$$

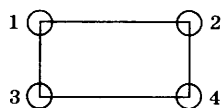
первая космическая скорость равна  $7,9 \text{ км/с}$ . Первый в мире искусственный спутник Земли был запущен в СССР в 1957 г.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Сила тяготения между двумя телами уменьшится в 2 раза, если массу каждого тела
  - увеличить в  $\sqrt{2}$  раз
  - уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз
  - увеличить в 2 раза
  - уменьшить в 2 раза
- Массу каждого из двух однородных шаров увеличили в 4 раза. Расстояние между ними тоже увеличили в 4 раза. Сила тяготения между ними
  - увеличилась в 64 раза
  - увеличилась в 16 раз
  - увеличилась в 4 раза
  - не изменилась

3. В вершинах прямоугольника расположены тела одинаковой массы. Со стороны какого тела на тело 1 действует наибольшая сила?



- 1) со стороны тела 2  
2) со стороны тела 3  
3) со стороны тела 4  
4) со стороны всех тел одинаковая
4. Закон всемирного тяготения справедлив
- А. Для всех тел  
Б. Для однородных шаров  
В. Для материальных точек
- Правильный ответ  
1) А    2) только Б    3) только В    4) и А, и Б
5. На ящик массой 5 кг, лежащий на полу лифта, движущегося с ускорением  $a$  вертикально вниз, действует сила тяжести
- 1) равная 50 Н                      3) меньшая 50 Н  
2) большая 50 Н                      4) равная 5 Н
6. Сравните значения силы тяжести  $F_3$ , действующей на груз на экваторе, с силой тяжести  $F_м$ , действующей на этот же груз на широте Москвы, если груз находится на одной и той же высоте относительно поверхности Земли.
- 1)  $F_3 = F_м$   
2)  $F_3 > F_м$   
3)  $F_3 < F_м$   
4) ответ может быть любым в зависимости от массы тел
7. Сила тяжести, действующая на космонавта на поверхности Луны,
- 1) больше силы тяжести, действующей на него на поверхности Земли  
2) меньше силы тяжести, действующей на него на поверхности Земли  
3) равна силе тяжести, действующей на него на поверхности Земли  
4) больше силы тяжести, действующей на него на поверхности Земли на экваторе, и меньше силы тяжести, действующей на него, на поверхности Земли на полюсе

8. Сила тяжести, действующая на тело, зависит от  
 А. Географической широты местности  
 Б. Скорости падения тела на поверхность Земли  
 Правильный ответ  
 1) только А    2) только Б    3) ни А, ни Б    4) и А, и Б
9. Какое(-ие) из утверждений верно(-ы)?  
 Сила тяжести, действующая на тело у поверхности не-  
 которой планеты, зависит от

- А. Массы планеты.  
 Б. Массы тела.

- 1) только А    2) только Б    3) ни А, ни Б    4) и А, и Б
10. Первая космическая скорость зависит  
 А. От радиуса планеты  
 Б. От массы планеты  
 В. От массы спутника  
 Правильный ответ  
 1) только А                      3) только А и Б  
 2) только Б                      4) А, Б, В

11. Установите соответствие между физической величиной  
 (левый столбец) и формулой, выражающей её взаимо-  
 связь с другими величинами (правый столбец). В ответе  
 запишите подряд номера выбранных ответов

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А. Сила тяжести

Б. Ускорение свободного падения  
на поверхности Земли

В. Закон всемирного тяготения

$$1) F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$2) F_T = mg$$

$$3) g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

$$4) g = G \frac{M_3}{R^2}$$

12. Среди приведённых утверждений выберите два пра-  
 вильных и запишите их номера в таблицу
- 1) Гравитационная постоянная показывает, с какой си-  
 лой притягиваются друг к другу два тела массой 1 кг.
- 2) Значение силы тяжести, действующей на тело, за-  
 висит от скорости его движения.

- 3) Ускорение свободного падения зависит от массы и радиуса планеты.
- 4) При увеличении расстояния между телами в 3 раза сила тяготения между ними уменьшается в 9 раз.
- 5) Изменение массы одного из взаимодействующих тел не влияет на значение силы тяготения.

## Часть 2

13. Человек на Земле притягивается к ней с силой 700 Н. С какой силой он притягивался бы к Марсу, находясь на его поверхности, если радиус Марса в 2 раза меньше радиуса Земли, а масса в 10 раз меньше, чем масса Земли?

### Импульс тела. Закон сохранения импульса

1. Опыты и наблюдения свидетельствуют о том, что результат действия силы (взаимодействия) зависит от времени её действия. Так, если к штативу на нити подвесить тяжёлую гирю, к которой привязана ещё одна нить снизу, и резко дернуть нижнюю нить, то она оборвётся, а верхняя нить останется целой. Если же теперь медленно потянуть нижнюю нить, то оборвётся верхняя нить. Поэтому для характеристики действия силы вводят величину, называемую импульсом силы.

Импульсом силы называют векторную величину, равную произведению силы и времени её действия ( $\vec{F}t$ ). Импульс силы является мерой действия силы за некоторый промежуток времени.

Единица импульса силы  $[F \cdot t] = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}$ .

2. С другой стороны, результат действия силы зависит и от характеристик тела, на которое эта сила действует.

Зависимость результата действия силы от массы тела можно проиллюстрировать с помощью следующего простого примера. Летящий с некоторой скоростью футбольный мяч, ударяясь о пустую картонную коробку, сдвинет её с места, а, ударяясь о такую же коробку, заполненную металлическими предметами, скорее всего, отскочит от неё, а коробка при этом останется неподвижной.



Пуля, летящая со скоростью 2 м/с, при попадании в деревянную стенку в лучшем случае оставит на ней вмятину, а пуля, летящая со скоростью 200 м/с, стенку пробьёт. Таким образом, результат действия силы зависит от массы и скорости взаимодействующих тел.

3. Величину, равную произведению массы тела и его скорости, называют **импульсом тела**.  $\vec{p} = m\vec{v}$  — импульс тела (или просто импульс). Единица импульса [p] = 1 кг·м/с<sup>2</sup>.

Импульс — величина векторная, поскольку масса — величина скалярная, а скорость — векторная.

Импульс — величина относительная, его значение зависит от выбора системы отсчёта, поскольку относительной величиной является скорость.

4. Импульс силы и изменение импульса тела связаны между собой.

Запишем второй закон Ньютона:  $\vec{F} = m\vec{a}$ .

Подставим в формулу выражение для ускорения

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{t} \text{ или } \vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0.$$

В левой части равенства стоит импульс силы; в правой части — разность конечного и начального импульсов тела, т.е. изменение импульса тела.  $\vec{F}t = \Delta(m\vec{v})$ .

Таким образом, импульс силы равен изменению импульса тела.

Это иная формулировка второго закона Ньютона. Именно в таком виде сформулировал свой закон Ньютон.

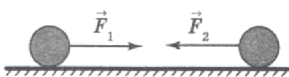


Рис. 41

5. Взаимодействующие между собой тела образуют систему тел. Между телами системы действуют силы взаимодействия: на одно тело — сила  $\vec{F}_1$ , на другое тело —

сила  $\vec{F}_2$ . При этом сила равна силе и направлена противоположно ей:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  (рис. 41).

Силы, с которыми тела системы взаимодействуют между собой, называют **внутренними силами**.

Помимо внутренних сил, на тела системы действуют внешние силы. Так взаимодействующие тела притягиваются к Земле. Сила тяготения является в данном случае внешней силой. Если тела движутся, то на них действует

сила сопротивления воздуха, сила трения. Они тоже являются внешними силами по отношению к системе, которая в данном случае состоит из двух тел. Ни Земля, ни воздух в эту систему тел не входят.

Внешними силами называются силы, которые действуют на тела системы со стороны других тел.

Будем рассматривать такую систему тел, на которую не действуют внешние силы.

**Замкнутой системой тел называют систему тел, взаимодействующих между собой и не взаимодействующих с другими телами.** В замкнутой системе действуют только внутренние силы, внешние силы на неё не действуют.

6. Рассмотрим взаимодействие двух тел, составляющих замкнутую систему. Масса первого тела  $m_1$ , его скорость до взаимодействия  $\vec{v}_{01}$ , после взаимодействия  $\vec{v}_1$ . Масса второго тела  $m_2$ , его скорость до взаимодействия  $\vec{v}_{02}$ , после взаимодействия  $\vec{v}_2$ . Для этих тел справедливо равенство:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_1\vec{v}_{02} = m_2\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2.$$

В левой части равенства стоит сумма импульсов тел до взаимодействия, в правой части — сумма импульсов тел после взаимодействия. Как видно, импульс каждого тела при взаимодействии изменился, а сумма импульсов осталась неизменной.

**Геометрическая сумма импульсов тел, входящих в замкнутую систему, остаётся постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.**

В этом состоит закон сохранения импульса.

7. Замкнутая система — это идеализация. В реальном мире нет таких систем, на которые не действовали бы внешние силы. Однако в ряде случаев реальные системы взаимодействующих тел можно рассматривать как замкнутые. Это возможно, когда внутренние силы много больше внешних сил, или когда время взаимодействия мало, или когда внешние силы уравновешивают друг друга. Кроме того, в ряде случаев равна нулю проекция внешних сил на какое-либо направление. В этом случае закон сохранения импульса выполняется для проекций импульсов взаимодействующих тел на это направление.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Тело двигалось под действием силы 10 Н в течение 5 с. Чему равно изменение импульса тела?

1) 2 Н/с

2) 5 Н·с

3) 50 Н·с

4) нельзя дать ответ, т.к. неизвестны масса и скорость тела

2. Чему равен импульс автомобиля массой 1,5 т, движущегося со скоростью 20 м/с в системе отсчёта, связанной с автомобилем, движущимся в ту же сторону с той же скоростью?

1) 0

2) 15 000 кг·м/с

3) 30 000 кг·м/с

4) 60 000 кг·м/с

3. Чему равен импульс автомобиля массой 1,5 т, движущегося со скоростью 20 м/с в системе отсчёта, связанной с автомобилем, движущимся с той же скоростью, но в противоположную сторону?

1) 0

2) 15 000 кг·м/с

3) 30 000 кг·м/с

4) 60 000 кг·м/с

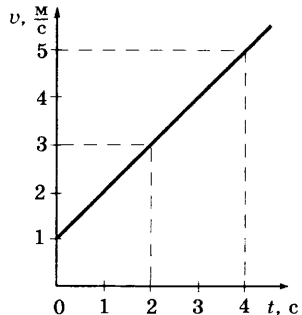
4. На графике показаны изменения скорости велосипедиста с течением времени. Чему равно изменение импульса велосипедиста через 4 с после начала движения, если его масса 50 кг?

1) 200 кг·м/с

2) 2500 кг·м/с

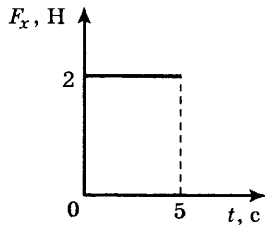
3) 2000 кг·м/с

4) 2500 кг·м/с



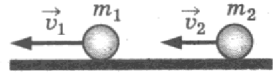
5. Тело движется в положительном направлении оси  $Ox$ . На рисунке представлен график зависимости от времени  $t$  проекции силы  $F_x$ , действующей на тело.

В интервале времени от 0 до 5 с проекция импульса тела на ось  $Ox$



- 1) уменьшается на  $5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
- 2) не изменяется
- 3) увеличивается на  $10 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
- 4) увеличивается на  $5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

6. Два шара массой  $m_1$  и  $m_2$  движутся в одном направлении со скоростями соответственно  $x_1$  и  $x_2$  по гладкому горизонтальному столу (см. рисунок).



Полный импульс  $\vec{p}$  системы шаров равен по модулю

- 1)  $p = m_2x_2 - m_1x_1$  и направлен влево  $\leftarrow$
  - 2)  $p = m_1x_1 - m_2x_2$  и направлен вправо  $\rightarrow$
  - 3)  $p = m_1x_1 + m_2x_2$  и направлен влево  $\leftarrow$
  - 4)  $p = m_1x_1 + m_2x_2$  и направлен вправо  $\rightarrow$
7. Два шарика массой  $50 \text{ г}$  и  $100 \text{ г}$  движутся со скоростью  $0,6 \text{ м/с}$  и  $0,4 \text{ м/с}$  соответственно. Направления движения шариков составляют угол  $90^\circ$ . Модуль суммарного импульса шариков равен
- 1)  $0,15 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
  - 2)  $0,07 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
  - 3)  $0,05 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
  - 3)  $0,01 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$
8. Снаряд, импульс которого  $\vec{p}$  был направлен вертикально вверх, разорвался на два осколка. Импульс одного осколка  $\vec{p}_1$  в момент взрыва был направлен горизонтально (рис. 1). Какое направление имел импульс  $\vec{p}_2$  второго осколка (рис. 2)?

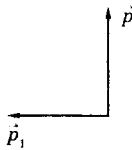


Рис. 1

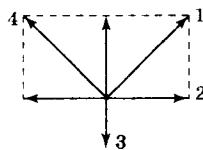


Рис. 2

- 1) 1
  - 2) 2
  - 3) 3
  - 4) 4
9. Масса мальчика в 3 раза меньше массы лодки. В момент прыжка с неподвижной лодки скорость мальчика равна  $1,5 \text{ м/с}$ . При этом лодка приобретает скорость, равную
- 1)  $4,5 \text{ м/с}$
  - 2)  $2 \text{ м/с}$
  - 3)  $0,5 \text{ м/с}$
  - 4)  $0 \text{ м/с}$

10. Закон сохранения импульса справедлив:

А. Для замкнутой системы тел

Б. Для любой системы тел.

Правильный ответ

1) только А

3) и А, и Б

2) только Б

4) ни А, ни Б

11. Установите соответствие между физическими величинами (в левом столбце таблицы) и их единицами (в правом столбце таблицы). В ответе запишите выбранные цифры под соответствующими буквами

ВЕЛИЧИНА	ЕДИНИЦА
А. Импульс	1) метр/ секунда (1 м/с)
Б. Скорость	2) ньютон (1 Н)
В. Ускорение	3) метр/секунда <sup>2</sup> (1 м/с <sup>2</sup> )
	4) джоуль (1 Дж)
	5) ньютон · секунда (1 Н·с)

12. Из приведённого перечня выберите 2 правильных утверждения и запишите их номера в таблицу.

1) Закон сохранения импульса справедлив для любой системы тел.

2) Импульс тела — величина скалярная.

3) Закон сохранения импульса справедлив для замкнутой системы тел.

4) Изменение импульса тела равно импульсу силы.

5) Закон сохранения импульса не применим к незамкнутой системе тел ни при каких условиях.

## Часть 2

13. Снаряд летит горизонтально и разрывается на два осколка массой 2 кг и 3 кг. С какой скоростью летел снаряд, если первый осколок в результате разрыва приобрёл скорость 50 м/с, второй 40 м/с? Скорости осколков направлены горизонтально в противоположную сторону.

## Механическая работа. Мощность

1. Механическая работа  $A$  — физическая величина, равная произведению вектора силы, действующей на тело, и вектора его перемещения:  $A = \vec{F}\vec{S}$ . Работа — скаляр-

ная величина, характеризуется числовым значением и единицей.

За единицу работы принимают 1 джоуль (1 Дж). Это такая работа, которую совершает сила 1 Н на пути 1 м.

$$[A] = [F] [S]; [A] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Дж}.$$

2. Если сила, действующая на тело, составляет некоторый угол  $\alpha$  с перемещением, то проекция силы  $F$  на ось  $X$  равна  $F_x$  (рис. 42).

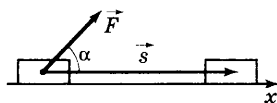


Рис. 42

Поскольку  $F_x = F \cdot \cos\alpha$ , то  $A = FS \cos\alpha$ .

Таким образом, работа постоянной силы равна произведению модулей векторов силы и перемещения и косинуса угла между этими векторами.

3. Если сила  $F = 0$  или перемещение  $S = 0$ , то механическая работа равна нулю  $A = 0$ . Работа равна нулю, если вектор силы перпендикулярен вектору перемещения, т.е.  $\cos 90^\circ = 0$ . Так, нулю равна работа силы, сообщающей телу центростремительное ускорение при его равномерном движении по окружности, так как эта сила перпендикулярна направлению движения тела в любой точке траектории.

4. Работа силы может быть как положительной, так и отрицательной. Работа положительная  $A > 0$ , если угол  $90^\circ > \alpha \geq 0^\circ$ ; если угол  $180^\circ > \alpha > 90^\circ$ , то работа отрицательная  $A < 0$ .

Если угол  $\alpha = 0^\circ$ , то  $\cos\alpha = 1$ ,  $A = FS$ . Если угол  $\alpha = 180^\circ$ , то  $\cos\alpha = -1$ ,  $A = -FS$ .

5. При свободном падении с высоты  $h$  тело массой  $m$  перемещается из положения 1 в положение 2 (рис. 43). При этом сила тяжести совершает работу, равную:

$$A = F_T h = mg(h_1 - h_2) = mgh.$$

При движении тела вертикально вниз сила и перемещение направлены в одну сторону, и сила тяжести совершает положительную работу.

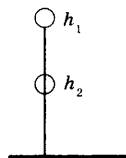


Рис. 43

Если тело поднимается вверх, то сила тяжести направлена вниз, а перемещение вверх, то сила тяжести совершает отрицательную работу, т.е.

$$A = -F_T h = -mg(h_1 - h_2) = -mgh.$$

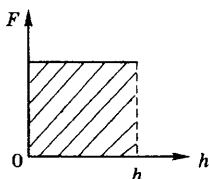


Рис. 44

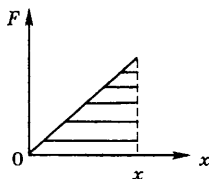


Рис. 45

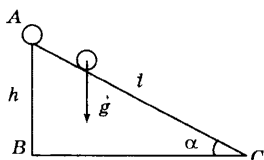


Рис. 46

6. Работу можно представить графически. На рисунке изображён график зависимости силы тяжести от высоты тела относительно поверхности Земли (рис. 44). Графически работа силы тяжести равна площади фигуры (прямоугольника), ограниченного графиком, координатными осями и перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс в точке  $h$ .

Графиком зависимости силы упругости от удлинения пружины является прямая, проходящая через начало координат (рис. 45). По аналогии с работой силы тяжести работа силы упругости равна площади треугольника, ограниченного графиком, координатными осями и перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс в точке  $x$ .  $A = Fx/2 = kx \cdot x/2$ .

$$F = kx^2/2.$$

7. Работа силы тяжести не зависит от формы траектории, по которой перемещается тело; она зависит от начального и конечного положений тела. Пусть тело сначала перемещается из точки А в точку В по траектории АВ (рис. 46). Работа силы тяжести в этом случае

$$A_{AB} = mgh.$$

Пусть теперь тело движется из точки А в точку В сначала вдоль наклонной плоскости АС, затем вдоль основания наклонной плоскости ВС. Работа силы тяжести при перемещении по ВС равна нулю. Работа силы тяжести при перемещении по АС равна произведению проекции силы тяжести на наклонную плоскость  $mgsin\alpha$  и длины наклонной плоскости, т.е.  $A_{AC} = mgsin\alpha \cdot l$ . Произведение  $l \cdot sin\alpha = h$ . Тогда  $A_{AC} = mgh$ . Работа силы тяжести при перемещении тела по двум различным траекториям не зависит от формы траектории, а зависит от начального и конечного положений тела.

Работа силы упругости также не зависит от формы траектории.

Предположим, что тело перемещается из точки А в точку В по траектории АСВ, а затем из точки В в точку А по траектории ВА. При движении по траектории АСВ сила тяжести совершает положительную работу, при движении по траектории ВА работа силы тяжести отрицательна, равная по модулю работе при движении по траектории АСВ. Следовательно работа силы тяжести по замкнутой траектории равна нулю. То же относится и к работе силы упругости.

Силы, работа которых не зависит от формы траектории и по замкнутой траектории равна нулю, называют консервативными. К консервативным силам относятся сила тяжести и сила упругости.

8. Силы, работа которых зависит от формы пути, называют неконсервативными. Неконсервативной является сила трения. Если тело перемещается из точки А в точку В

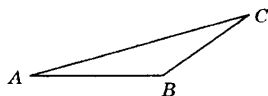


Рис. 47

(рис. 47) сначала по прямой, а затем по ломаной линии АСВ, то в первом случае работа силы трения  $A_{AB} = -Fl_{AB}$ , а во втором  $A_{ABC} = A_{AC} + A_{CB}$ ,  $A_{ABC} = -Fl_{AC} - Fl_{CB}$ .

Следовательно, работа  $A_{AB}$  не равна работе  $A_{ABC}$ .

9. Мощностью называется физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени, за который она совершена. Мощность характеризует быстроту совершения работы.

Мощность обозначается буквой  $N$ .

$$N = A/t.$$

Единица мощности:  $[N] = [A]/[t]$ .  $[N] = 1\text{Дж}/1\text{с} = 1\text{Дж}/\text{с}$ . Эта единица называется ватт (Вт). Один ватт — такая мощность, при которой работа 1 Дж совершается за 1 с.

10. Мощность, развиваемая двигателем, равна:  $N = A/t$ ,  $A = F \cdot S$ , откуда  $N = FS/t$ . Отношение перемещения ко времени представляет собой скорость движения:  $S/t = v$ . Откуда  $N = Fv$ .

Из полученной формулы видно, что при постоянной силе сопротивления скорость движения прямо пропорциональна мощности двигателя.



В различных машинах и механизмах происходит преобразование механической энергии. За счёт энергии при её преобразовании совершается работа. При этом на совершение полезной работы расходуется только часть энергии. Некоторая часть энергии тратится на совершение работы против сил трения. Таким образом, любая машина характеризуется величиной, показывающей, какая часть передаваемой ей энергии используется полезно. Эта величина называется **коэффициентом полезного действия (КПД)**.

Коэффициентом полезного действия называют величину, равную отношению полезной работы ( $A_n$ ) ко всей совершённой работе ( $A_c$ ):  $\eta = A_n/A_c$ . Выражают КПД в процентах.

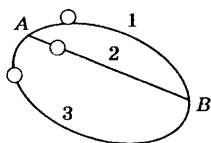
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Работа определяется по формуле
  - 1)  $A = Fv$
  - 2)  $A = N/t$
  - 3)  $A = mv$
  - 4)  $A = FS$
2. Груз равномерно поднимают вертикально вверх за привязанную к нему верёвку. Работа силы тяжести в этом случае
  - 1) равна нулю
  - 2) положительная
  - 3) отрицательная
  - 4) больше работы силы упругости
3. Ящик тянут за привязанную к нему верёвку, составляющую угол  $60^\circ$  с горизонтом, прикладывая силу 30 Н. Какова работа этой силы, если модуль перемещения равен 10 м?
  - 1) 300 Дж
  - 2) 150 Дж
  - 3) 3 Дж
  - 4) 1,5 Дж
4. Искусственный спутник Земли, масса которого равна  $m$ , равномерно движется по круговой орбите радиусом  $R$ . Работа, совершаемая силой тяжести за время, равное периоду обращения, равна
  - 1)  $mgR$
  - 2)  $\pi mgR$
  - 3)  $2\pi mgR$
  - 4) 0

5. Автомобиль массой 1,2 т проехал 800 м по горизонтальной дороге. Какая работа была совершена при этом силой трения, если коэффициент трения 0,1?
- 1) -960 кДж                                      3) 960 кДж  
 2) -96 кДж                                        4) 96 кДж
6. Пружину жёсткостью 200 Н/м растянули на 5 см. Какую работу совершит сила упругости при возвращении пружины в состояние равновесия?
- 1) 0,25 Дж    2) 5 Дж    3) 250 Дж    4) 500 Дж

7. Шарики одинаковой массы скатываются с горки по трём разным желобам, как показано на рисунке. В каком случае работа силы тяжести будет наибольшей?



- 1) 1    2) 2    3) 3    4) работа во всех случаях одинакова
8. Работа по замкнутой траектории равна нулю

А. Силы трения  
 Б. Силы упругости  
 Верным является ответ

- 1) и А, и Б                                      3) только Б  
 2) только А                                     4) ни А, ни Б
9. Единицей мощности в СИ является
- 1) Дж    3) Дж·с  
 2) Вт    4) Н·м
10. Чему равна полезная работа, если совершённая работа составляет 1000 Дж, а КПД двигателя 40 %?
- 1) 40000 Дж                                    3) 400 Дж  
 2) 1000 Дж                                      4) 25 Дж
11. Установите соответствие между работой силы (в левом столбце таблицы) и знаком работы (в правом столбце таблицы). В ответе запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

РАБОТА СИЛЫ	ЗНАК РАБОТЫ
А. Работа силы упругости при растяжении пружины	1) положительная
Б. Работа силы трения	2) отрицательная
В. Работа силы тяжести при падении тела	3) равна нулю

12. Из приведённых ниже утверждений выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Работа силы тяжести не зависит от формы траектории.
- 2) Работа совершается при любом перемещении тела.
- 3) Работа силы трения скольжения всегда отрицательна.
- 4) Работа силы упругости по замкнутому контуру не равна нулю.
- 5) Работа силы трения не зависит от формы траектории.

## Часть 2

13. Лебёдка равномерно поднимает груз массой 300 кг на высоту 3 м за 10 с. Какова мощность лебёдки?

**Потенциальная и кинетическая энергия.**

**Закон сохранения механической энергии**

1. Камень, упав с некоторой высоты на Землю, оставляет на поверхности Земли вмятину. Во время падения он совершает работу по преодолению сопротивления воздуха, а после касания земли — работу по преодолению силы сопротивления почвы, поскольку обладает энергией. Если накачивать в закрытую пробкой банку воздух, то при некотором давлении воздуха пробка вылетит из банки, при этом воздух совершит работу по преодолению трения пробки о горло банки, благодаря тому, что воздух обладает энергией. Таким образом, тело может совершить работу, если оно обладает энергией. Энергию обозначают буквой  $E$ . Единица работы —  $[E] = 1$  Дж.

При совершении работы изменяется состояние тела и изменяется его энергия. Изменение энергии равно совершённой работе:  $E = A$ .

2. Потенциальной энергией называют энергию взаимодействия тел или частей тела, зависящую от их взаимного положения.

Поскольку тела взаимодействуют с Землёй, то они обладают потенциальной энергией взаимодействия с Землёй.

Если тело массой  $m$  падает с высоты  $h_1$  до высоты  $h_2$ , то работа силы тяжести  $F_T$  на участке  $h = h_1 - h_2$  равна:  $A = F_T h = mgh = mg(h_1 - h_2)$  или  $A = mgh_1 - mgh_2$  (рис. 48).

В полученной формуле  $mgh_1$  характеризует начальное положение (состояние) тела,  $mgh_2$  характеризует конечное положение (состояние) тела. Величина  $mgh_1 = E_{п1}$  — потенциальная энергия тела в начальном состоянии; величина  $mgh_2 = E_{п2}$  — потенциальная энергия тела в конечном состоянии.

Можно записать  $A = E_{п1} - E_{п2}$ , или  $A = -(E_{п2} - E_{п1})$ , или  $A = -E_{п}$ .

Таким образом, работа силы тяжести равна изменению потенциальной энергии тела. Знак «-» означает, что при движении тела вниз и соответственно при совершении силой тяжести положительной работы потенциальная энергия тела уменьшается. Если тело поднимается вверх, то работа силы тяжести отрицательна, а потенциальная энергия тела увеличивается.

Если тело находится на некоторой высоте  $h$  относительно поверхности Земли, то его потенциальная энергия в данном состоянии равна  $E_{п} = mgh$ . Значение потенциальной энергии зависит от того, относительно какого уровня она отсчитывается. Уровень, на котором потенциальная энергия равна нулю, называют **нулевым уровнем**.

В отличие от кинетической энергии потенциальной энергией обладают покоящиеся тела. Поскольку потенциальная энергия — это энергия взаимодействия, то она относится не к одному телу, а к системе взаимодействующих тел. В данном случае эту систему составляют Земля и поднятое над ней тело.

3. Потенциальной энергией обладают упруго деформированные тела. Предположим, что левый конец пружины закреплён, а к правому её концу прикреплён груз. Если пружину сжать, сместив правый её конец на  $x_1$ , то в пружине возникнет сила упругости  $F_{упр1}$ , направленная вправо (рис. 49).

Если теперь предоставить пружину самой себе, то её правый конец переместится, удлинение пружины будет равно  $x_2$ , а сила упругости  $F_{упр2}$ .

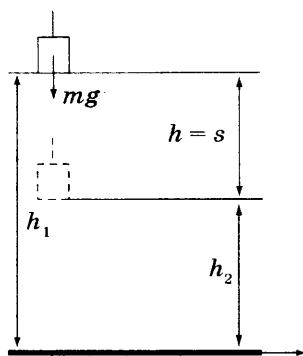


Рис. 48

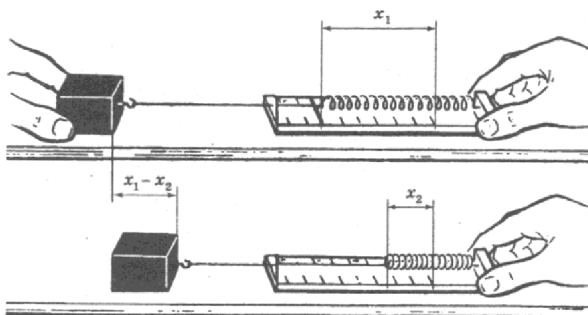


Рис. 49

Работа силы упругости равна

$$A = F_{\text{ср}}(x_1 - x_2) = k/2(x_1 + x_2)(x_1 - x_2) = kx_1^2/2 - kx_2^2/2.$$

$kx_1^2/2 = E_{\text{п1}}$  — потенциальная энергия пружины в начальном состоянии,  $kx_2^2/2 = E_{\text{п2}}$  — потенциальная энергия пружины во конечном состоянии. Работа силы упругости равна изменению потенциальной энергии пружины.

Можно записать  $A = E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}}$ , или  $A = -(E_{\text{п2}} - E_{\text{п1}})$ , или  $A = -E_{\text{п}}$ .

Знак «-» показывает, что при растяжении и сжатии пружины сила упругости совершает отрицательную работу, потенциальная энергия пружины увеличивается, а при движении пружины к положению равновесия сила упругости совершает положительную работа, а потенциальная энергия уменьшается.

Если пружина деформирована и её витки смещены относительно положения равновесия на расстояние  $x$ , то потенциальная энергия пружины в данном состоянии равна  $E_{\text{п}} = kx^2/2$ .

4. Движущиеся тела так же могут совершить работу. Например, движущийся поршень сжимает находящийся в цилиндре газ, движущийся снаряд пробивает мишень и т.п. Следовательно, движущиеся тела обладают энергией. Энергия, которой обладает движущееся тело, называется кинетической энергией. Кинетическая энергия  $E_{\text{к}}$  зависит от массы тела и его скорости  $E_{\text{к}} = mv^2/2$ . Это следует из преобразования формулы работы.

Работа  $A = FS$ . Сила  $F = ma$ . Подставив это выражение в формулу работы, получим  $A = maS$ . Так как  $2aS = v_2^2 - v_1^2$ ,

то  $A = m(v_2^2 - v_1^2)/2$  или  $A = mv_2^2/2 - mv_1^2/2$ , где  $mv_1^2/2 = E_{к1}$  — кинетическая энергия тела в первом состоянии,  $mv_2^2/2 = E_{к2}$  — кинетическая энергия тела во втором состоянии. Таким образом, работа силы равна изменению кинетической энергии тела:  $A = E_{к2} - E_{к1}$ , или  $A = E_к$ . Это утверждение — **теорема о кинетической энергии**.

Если сила совершает положительную работу, то кинетическая энергия тела увеличивается, если работа силы отрицательная, то кинетическая энергия тела уменьшается.

**5. Полная механическая энергия  $E$  тела** — физическая величина, равная сумме его потенциальной  $E_п$  и кинетической  $E_к$  энергии:  $E = E_п + E_к$ .

Пусть тело падает вертикально вниз и в точке А находится на высоте  $h_1$  относительно поверхности Земли и имеет скорость  $v_1$  (рис. 50). В точке В высота тела  $h_2$  и скорость  $v_2$ . Соответственно в точке А тело обладает потенциальной энергией  $E_{п1}$  и кинетической энергией  $E_{к1}$ , а в точке В — потенциальной энергией  $E_{п2}$  и кинетической энергией  $E_{к2}$ .

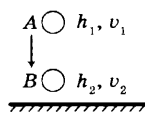


Рис. 50

При перемещении тела из точки А в точку В сила тяжести совершает работу, равную  $A$ . Как было показано,  $A = -(E_{п2} - E_{п1})$ , а также  $A = E_{к2} - E_{к1}$ . Приравняв правые части этих равенств, получаем:  $-(E_{п2} - E_{п1}) = E_{к2} - E_{к1}$ , откуда  $E_{к1} + E_{п1} = E_{п2} + E_{к2}$  или  $E_1 = E_2$ .

Это равенство выражает закон сохранения механической энергии: **полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют консервативные силы (силы тяготения или упругости) сохраняется**.

В реальных системах действуют силы трения, которые не являются консервативными, поэтому в таких системах полная механическая энергия не сохраняется, она превращается во внутреннюю энергию.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Два тела находятся на одной и той же высоте над поверхностью Земли. Масса одного тела  $m_1$  в три раза больше массы другого тела  $m_2$ . Относительно поверхности Земли потенциальная энергия

- 1) первого тела в 3 раза больше потенциальной энергии второго тела
  - 2) второго тела в 3 раза больше потенциальной энергии первого тела
  - 3) первого тела в 9 раз больше потенциальной энергии второго тела
  - 4) второго тела в 9 раз больше потенциальной энергии первого тела
2. Сравните потенциальную энергию мяча на полюсе  $E_{\text{п}}$  Земли и на широте Москвы  $E_{\text{м}}$ , если он находится на одинаковой высоте относительно поверхности Земли.
- 1)  $E_{\text{п}} = E_{\text{м}}$
  - 2)  $E_{\text{п}} > E_{\text{м}}$
  - 3)  $E_{\text{п}} < E_{\text{м}}$
  - 4)  $E_{\text{п}} = E_{\text{м}}$
3. Тело брошено вертикально вверх. Его потенциальная энергия
- 1) одинакова в любые моменты движения тела
  - 2) максимальна в момент начала движения
  - 3) максимальна в верхней точке траектории
  - 4) минимальна в верхней точке траектории
4. Как изменится потенциальная энергия пружины, если её удлинение уменьшить в 4 раза?
- 1) увеличится в 4 раза
  - 2) увеличится в 16 раз
  - 3) уменьшится в 4 раза
  - 4) уменьшится в 16 раз
5. Лежащее на столе высотой 1 м яблоко массой 150 г подняли относительно стола на 10 см. Чему стала равной потенциальная энергия яблока относительно пола?
- 1) 0,15 Дж
  - 2) 0,165 Дж
  - 3) 1,5 Дж
  - 4) 1,65 Дж
6. Скорость движущегося тела уменьшилась в 4 раза. При этом его кинетическая энергия
- 1) увеличилась в 16 раз
  - 2) уменьшилась в 16 раз
  - 3) увеличилась в 4 раза
  - 4) уменьшилась в 4 раза
7. Два тела движутся с одинаковыми скоростями. Масса второго тела в 3 раза больше массы первого. При этом кинетическая энергия второго тела
- 1) больше в 9 раз
  - 2) меньше в 9 раз
  - 3) больше в 3 раза
  - 4) меньше в 3 раза

8. Тело падает на пол с поверхности демонстрационного стола учителя. (Соппротивление воздуха не учитывать.)

Кинетическая энергия тела

- 1) минимальна в момент достижения поверхности пола
- 2) минимальна в момент начала движения
- 3) одинакова в любые моменты движения тела
- 4) максимальна в момент начала движения

9. Книга, упавшая со стола на пол, обладала в момент касания пола кинетической энергией 2,4 Дж. Высота стола 1,2 м. Чему равна масса книги? Соппротивлением воздуха пренебречь.

- |             |            |
|-------------|------------|
| 1) 0,2 кг   | 3) 2,0 кг  |
| 2) 0,288 кг | 4) 2,28 кг |

10. С какой скоростью следует бросить тело массой 200 г с поверхности Земли вертикально вверх, чтобы его потенциальная энергия в наивысшей точке движения была равна 0,9 Дж? Соппротивлением воздуха пренебречь. Потенциальную энергию тела отсчитывать от поверхности земли.

- 1) 0,9 м/с
- 2) 3,0 м/с
- 3) 4,5 м/с
- 4) 9,0 м/с

11. Установите соответствие между физической величиной (левый столбец) и формулой, по которой она вычисляется (правый столбец). В ответе запишите подряд номера выбранных ответов

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ  
ЭНЕРГИИ

- |   |                 |
|---|-----------------|
| А. Потенциальная энергия взаимодействия тела с Землёй | 1) $E = mv^2/2$ |
| Б. Кинетическая энергия                               | 2) $E = kx^2/2$ |
| В. Потенциальная энергия упругой деформации           | 3) $E = mgh$    |

12. Мяч бросили вертикально вверх. Установите соответствие между энергией мяча (левый столбец) и характером её изменения (правый столбец) при растяжении пружины динамометра. В ответе запишите подряд номера выбранных ответов.



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ
А. Потенциальная энергия	1) Уменьшается
Б. Кинетическая энергия	2) Увеличивается
В. Полная механическая энергия	3) Не изменяется

## Часть 2

13. Пуля массой 10 г, движущаяся со скоростью 700 м/с, пробил доску толщиной 2,5 см и при выходе из доски имела скорость 300 м/с. Определить среднюю силу сопротивления, действующую на пулю в доске.

### Простые механизмы. КПД простых механизмов

1. Простые механизмы — приспособления, которые сконструировал и использовал человек, чтобы облегчить работу по перемещению тяжёлых предметов. К ним относят: рычаг, блок, наклонную плоскость. Разновидностями этих механизмов являются: клин, ворот и винт.

Все простые механизмы позволяют преобразовать силу, действующую на тело: либо уменьшить её, либо изменить её направление.

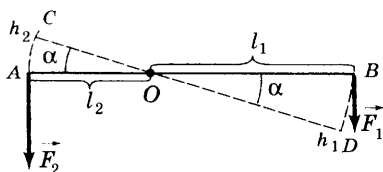


Рис. 51

2. Рычаг — это стержень, вращающийся вокруг неподвижной опоры или оси (рис. 51). На рисунке показан рычаг, который может вращаться вокруг точки  $O$ , расположенный между концами рычага.

К одному концу рычага подвешен груз, действующий на рычаг с силой  $F_1$ , равной весу груза. Действуя на длинный конец рычага с силой  $F_2$ , человек поднимает груз. При этом сила  $F_1$  стремится повернуть рычаг по часовой стрелке, а груз  $F_2$  — против часовой стрелки.

**Плечом силы** называют кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от точки опоры до линии действия силы. Так, плечом силы  $F_1$  является расстояние  $OA$  ( $l_1$ ), плечом силы  $F_2$  — расстояние  $OB$  ( $l_2$ ).

Из эксперимента следует, что **рычаг находится в равновесии**, если произведение силы, вращающей рычаг по

часовой стрелке, и её плеча равно произведению силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, и её плеча, т.е.  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ . Произведение силы, действующей на рычаг, и её плеча называют моментом силы:  $Fl = M$ . Соответственно, если рычаг находится в равновесии, то  $M_1 = M_2$ .

Условие равновесия рычага можно записать по-другому:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ . Это равенство означает, что рычаг находится

в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны их плечам. Оно называется условием равновесия рычага.

Рычаг другого типа вращается вокруг точки, находящейся на конце рычага. Примером такого рычага может служить тачка. Когда используется такой рычаг, то вес груза направлен вниз, а человек действует на свободный конец рычага с силой, направленной вверх. Для такого рычага также справедливо условие равновесия, приведенное выше.

3. При подъёме груза работа силы, действующей на груз, равна  $A_1 = F_1 h_1$ , работа силы, приложенной к другому концу рычага, равна  $A_2 = F_2 h_2$ . Рассмотрение треугольников АОС и ВОD позволяет сделать вывод о том, что они подобны и  $\frac{AO}{BO} = \frac{AC}{BD}$  или  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{h_1}{h_2}$ . Поскольку  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ , то  $F_1 h_1 = F_2 h_2$ , т.е.  $A_1 = A_2$ . Таким образом, рычаг, позволяя выиграть в силе, не даёт выигрыша в работе.

4. Ещё одним простым механизмом является блок. Блок — это колесо с желобом, по которому пропускается трос и которое может вращаться относительно оси О (см. рис. на 93 с.).

Если ось блока закреплена, то блок не перемещается, и он называется неподвижным.

Неподвижный блок можно рассматривать как рычаг, вращающийся вокруг точки, лежащей посередине рычага. Плечи такого рычага равны друг другу:  $OA = OB$ . В соответствии с условием равновесия рычага приложенные к блоку силы тоже рав-

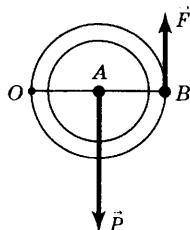


Рис. 52

ны:  $P = F$ . Следовательно, неподвижный блок не даёт выигрыша в силе, но он позволяет поднимать груз, прикладывая силу, направленную не вверх, а вниз, что облегчает перемещение груза.

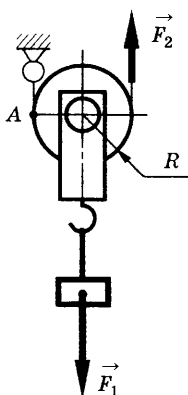


Рис. 53

Чтобы получить выигрыш в силе используют подвижный блок (рис. 53). К нему непосредственно прикрепляется груз, один конец троса закрепляется, а к другому прикладывают силу и, таким образом, перебирая трос, поднимают блок с грузом.

В этом случае точкой вращения блока является точка А (см. рис. 52).

Плечи действующих сил равны соответственно:  $AO$  и  $AB$ , при этом  $AB = 2AO$ . В соответствии с условием равновесия рычага:  $P = 2F$ . Таким образом, подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза:  $F = P/2$ .

Измерив расстояние  $h_1$ , которое проходит груз, и расстояние  $h_2$ , на которое перемещается конец троса, можно обнаружить, что расстояние  $h_2 = 2h_1$ . Таким образом, подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза и в 2 раза проигрыш в пути. Соответственно, работа  $Ph_1 = Fh_2$ , т.е.  $A_1 = 2$ . Подвижный блок, так же как и рычаг, не даёт выигрыша в работе.

5. Наклонная плоскость используется в том случае, если нужно поднять объёмный тяжёлый груз на какую-либо высоту (рис. 54).

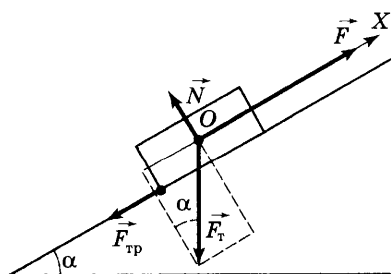


Рис. 54

Например, нужно погрузить ящик с металлическими деталями в кузов грузовика. В этом случае кладут массивную доску так, что она образует наклонную плоскость, один конец которой находится на земле, а другой на грузовике, и по этой плоскости втаскивают ящик. Чтобы поднять ящик вертикально вверх нужно приложить к нему силу, равную его весу  $P$ . Перемещая равномерно ящик по наклонной плоскости, в отсутствие трения прикладывают силу, равную  $F = P \sin \alpha$ , т.е. меньшую веса ящика, но при этом, выигрывая в силе, проигрывают в расстоянии. Работа по подъёму ящика по вертикали равна работе, совершаемой при его перемещении вдоль наклонной плоскости. Это справедливо, если сила сопротивления движению пренебрежимо мала. При наличии трения перемещение ящика вдоль наклонной плоскости требует совершения большей работы, чем при его движении вертикально вверх. В этом случае говорят о коэффициенте полезного действия (КПД) наклонной плоскости. Он равен отношению полезной работы ко всей совершённой работе:  $\text{КПД} = A_{\text{п}}/A_{\text{с}} \cdot 100\%$ , где  $A_{\text{п}}$  — полезная работа,  $A_{\text{п}} = mgh$ ;  $A_{\text{с}}$  — совершённая работа при перемещении ящика вдоль наклонной плоскости,  $A_{\text{с}} = Fl$ , где  $F$  — приложенная сила,  $l$  — длина наклонной плоскости.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Исследуя условия равновесия рычага, ученик выполнил соответствующую лабораторную работу. В таблице представлены значения сил и их плеч для рычага, находящегося в равновесии. Определите, чему равно плечо  $l_1$ ?

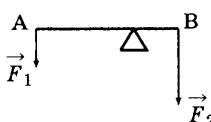
$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$l_1$ , м	$l_2$ , м
40	10	?	3,2

- 12,8 м
- 2,5 м
- 0,8 м
- 0,25 м

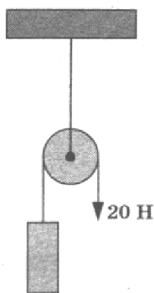
2. Ученик выполнял лабораторную работу по исследованию условий равновесия рычага. Результаты для сил и их плеч, которые он получил, представлены в таблице.

$F_1$ , Н	$l_1$ , м	$F_2$ , Н	$l_2$ , м
?	0,6	50	1,2

Чему равна сила  $F_1$ , если рычаг находится в равновесии?

- 1) 100 Н
  - 2) 50 Н
  - 3) 25 Н
  - 6) 9 Н
3. Рычаг находится в равновесии под действием двух сил. Сила  $F_1 = 6$  Н. Чему равна сила  $F_2$ , если длина рычага 50 см, а плечо силы  $F_1$  равно 30 см?
- 
- 1) 0,1 Н
  - 2) 3,6 Н
  - 3) 9 Н
  - 4) 12 Н
4. Выигрыш в силе, приложенной к грузу, нельзя получить с помощью
- 1) подвижного блока
  - 2) неподвижного блока
  - 3) рычага
  - 4) наклонной плоскости
5. С помощью неподвижного блока в отсутствие трения в силе
- 1) выигрывают в 2 раза
  - 2) не выигрывают, но и не проигрывают
  - 3) проигрывают в 2 раза
  - 4) возможен и выигрыш, и проигрыш
6. С помощью подвижного блока в отсутствие трения
- 1) выигрывают в работе в 2 раза
  - 2) проигрывают в силе в 2 раза
  - 3) не выигрывают в силе
  - 4) выигрывают в силе в 2 раза

7. На рисунке изображён неподвижный блок, с помощью которого, прикладывая к свободному концу нити силу  $20\text{ Н}$ , равномерно поднимают груз. Если трением пренебречь, то масса поднимаемого груза равна



- 1)  $4\text{ кг}$
- 2)  $2\text{ кг}$
- 3)  $0,5\text{ кг}$
- 4)  $1\text{ кг}$

8. Наклонная плоскость даёт выигрыш в силе в  $2$  раза. В работе при отсутствии силы трения эта плоскость

- 1) даёт выигрыш в  $2$  раза
- 2) даёт выигрыш в  $4$  раза
- 3) не даёт ни выигрыша, ни проигрыша
- 4) даёт проигрыш в  $2$  раза

9. Вдоль наклонной плоскости длиной  $5\text{ м}$  поднимают груз массой  $40\text{ кг}$ , прикладывая силу  $160\text{ Н}$ . Чему равна высота наклонной плоскости, если трение при движении груза пренебрежимо мало?

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1) $1,25\text{ м}$ | 3) $12,5\text{ м}$ |
| 2) $2\text{ м}$    | 4) $20\text{ м}$   |

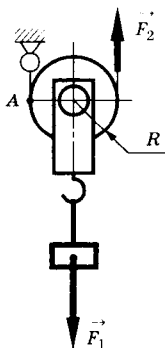
10. Груз массой  $10\text{ кг}$  поднимают по наклонной плоскости длиной  $2\text{ м}$  и высотой  $0,5\text{ м}$ , прикладывая силу  $40\text{ Н}$ . Чему равен КПД наклонной плоскости?

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) $160\%$  | 3) $16\%$   |
| 2) $62,5\%$ | 4) $6,25\%$ |

11. Груз поднимают с помощью подвижного блока радиусом  $R$  (см. рисунок). Установите соответствие между физическими величинами (левый столбец) и формулами, по которым они определяются (правый столбец).

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Цифры в ответе могут повторяться.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) плечо силы  $F_1$  относительно точки А  
 Б) плечо силы  $F_2$  относительно точки А  
 В) момент силы  $F_1$  относительно точки А

ФОРМУЛЫ

- 1)  $F_1 R$   
 2)  $2F_1 R$   
 3)  $\frac{F_1}{R}$   
 4)  $R$   
 5)  $2R$

12. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Любой простой механизм даёт выигрыш в силе.
- 2) Ни один простой механизм не даёт выигрыша в работе.
- 3) Наклонная плоскость выигрыша в силе не даёт.
- 4) Коэффициент полезного действия показывает, какая часть совершенной работы является полезной.
- 5) Неподвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза.

Часть 2

13. Чему равна сила, с которой действуют на брусок массой 0,2 кг, перемещая его по наклонной плоскости длиной 1,6 м и высотой 0,4 м, если КПД наклонной плоскости 80%.

Давление. Атмосферное давление.  
 Закон Паскаля. Закон Архимеда

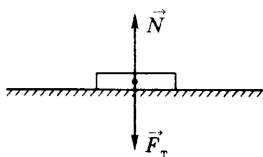


Рис. 55

1. Твёрдые тела оказывают давление на опору. На тело, стоящее на опоре, действуют сила тяжести  $\vec{F}_T = m\vec{g}$  и сила реакции опоры  $\vec{N}$  (рис. 55).

Если опора неподвижна, то это тело действует на неё с силой  $\vec{F}$ , называемой силой давления и равной в этом случае по модулю силе тяжести:  $F = mg$ .

**Физическая величина, равная отношению силы давления  $F$  к площади поверхности  $S$  называется давлением и обозначается буквой  $p$ :**

$$p = F/S.$$

Единицей давления является 1 паскаль (1 Па):

$$[p] = 1\text{Н}/1\text{м}^2 = 1\text{ Н}/\text{м}^2 = 1\text{ Па}.$$

Более крупная единица давления — килопаскаль.

$$1\text{ кПа} = 1000\text{ Па}.$$

Как видно из формулы, давление на поверхность зависит от площади поверхности. Так, человек проваливается в снег при ходьбе по нему и спокойно перемещается на лыжах. В том случае, когда нужно увеличить давление на твёрдое тело, используют заострённые предметы, например, булавки, гвозди, ножи и т.п.

**2.** Жидкости и газы тоже оказывают давление на сосуд, в котором они находятся. Так, молекулы газа, находящегося в воздушном шаре, непрерывно движутся и при этом соударяются со стенками шара. Эти удары и вызывают давление газа на стенки шара и любого другого сосуда, в котором газ находится. Удар одной молекулы слаб, но внутри шара находится огромное число молекул, поэтому их суммарное давление на стенки шара ощутимо.

Чем выше температура газа, чем с большей скоростью движутся молекулы и чем чаще и сильнее ударяются они о стенки сосуда, тем, следовательно, давление газа на стенки сосуда больше.

Если уменьшить объём газа в сосуде, не меняя его массу, то число молекул в единице объёма увеличится, увеличится и плотность газа. Число ударов молекул о стенки сосуда при этом возрастёт, следовательно, увеличится давление газа. При увеличении объёма газа при той же массе уменьшится его плотность и число ударов молекул о стенки сосуда. Давление уменьшится.

Таким образом, давление газа тем больше, чем выше его температура и меньше объём при неизменной массе. При повышении температуры и уменьшении объёма молекулы с большей силой и чаще ударяются о стенки сосуда.

**3.** Опыт показывает, что давление, производимое на жидкость или газ, передаётся по всем направлениям. Если шар с отверстиями, соединённый с трубкой, внутри которой находится поршень, наполнить водой, а затем нажать на поршень, то можно заметить, что вода брызнет из всех отверстий. При этом струйки вытекающей воды будут при-



мерно одинаковыми. Это говорит о том, что давление, которое мы создаём, действуя на воду, передаётся водой по всем направлениям одинаково. Тот же эффект можно наблюдать, если шар заполнить дымом. Дым тоже будет передавать производимое на него давление по всем направлениям одинаково.

То, что газы и жидкости передают давление по всем направлениям, объясняется подвижностью их молекул. Она проявляется в том, что слои и частицы жидкостей и газов могут свободно перемещаться друг относительно друга по разным направлениям. Благодаря подвижности молекул давление, которое оказывает поршень на ближайший к нему слой, передаётся последующим слоям. Молекулы газа и жидкости движутся хаотически, поэтому и их действие распределяется равномерно по всему объёму шара. Таким образом, *давление, производимое на жидкость или газ, передаётся по всем направлениям без изменения в каждую точку жидкости или газа.* Это утверждение называется *законом Паскаля.*

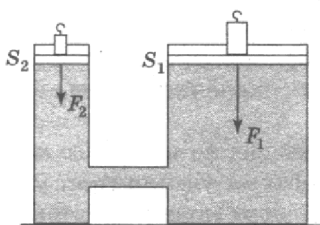


Рис. 56

4. Закон Паскаля находит применение в гидравлических машинах.

Основной частью любой гидравлической машины являются два соединенных между собой цилиндра разного диаметра. Цилиндры заполнены жидкостью, чаще всего маслом, и в них помещены поршни.

Пусть на большой поршень площадью  $S_1$  действует сила  $F_1$  (рис. 56). Эта сила будет оказывать на поршень давление  $p_1$ :  $p_1 = F_1/S_1$ .

Это давление  $p_1$  будет передаваться жидкости, находящейся под большим поршнем. Согласно закону Паскаля, давление, производимое на жидкость или газ, передаётся по всем направлениям без изменения. Следовательно, давление будет передаваться жидкости, находящейся под меньшим поршнем, и на меньший поршень со стороны жидкости будет действовать давление  $p_2 = p_1$ . Соответственно, на меньший поршень со стороны жидкости будет действовать сила  $F_2 = p_2 S_2$ , направленная вверх. Откуда  $p_2 = F_2/S_2$ .

Чтобы жидкость и поршни находились в равновесии, на меньший поршень следует подействовать силой, равной по модулю силе  $F_2$ , направленной вертикально вниз. Для этого можно, например, положить на поршень груз.

Так как  $p_1 = p_2$ , то  $F_1/S_1 = F_2/S_2$  или  $F_1/F_2 = S_1/S_2$ .

Таким образом, *гидравлическая машина даёт выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь большего поршня больше площади меньшего поршня.*

Это означает, что с помощью некоторой силы, приложенной к малому поршню гидравлической машины, можно уравновесить существенно большую силу, приложенную к большому поршню.

Гидравлическая машина, так же как и любой простой механизм, даёт выигрыш в силе, но не даёт выигрыша в работе.

5. Твёрдые тела производят давление на опору вследствие действия на них силы тяжести. Поскольку на жидкости тоже действует сила тяжести, то и жидкости оказывают давление на дно сосуда. Это можно доказать экспериментально.

Если в трубку, дно которой затянута плёнкой, налить воду, то плёнка заметно прогнётся. Это происходит потому, что на воду действует сила тяжести, и каждый слой воды давит на слои воды, лежащие ниже, и соответственно на дно сосуда.

Давление производится жидкостью не только на дно сосуда, оно существует внутри жидкости на любой её глубине. При этом производимое давление передаётся по закону Паскаля по всем направлениям одинаково.

Если в трубку с дном, затянутым плёнкой, добавить воды, то плёнка прогнётся сильнее. Это происходит потому, что увеличивается вес воды и соответственно давление воды на дно трубки. Таким образом, *давление жидкости на дно сосуда тем больше, чем больше высота столба жидкости.*

Если теперь в трубку до той же высоты налить масло, плотность которого меньше плотности воды, то плёнка прогнётся меньше, чем в том случае, когда в ней была вода (рис. 57 а). Это означает, что *давление на дно сосуда тем больше, чем больше плотность жидкости.*

Сила  $F$ , с которой жидкость давит на дно, равна её весу  $P$ . Вес жидкости  $P$  равен произведению её массы  $m$  и ускорения свободного падения  $g$ :  $F = P = mg$ .

Масса жидкости  $m$  равна произведению её плотности  $\rho$  и объёма  $V$ :  $m = \rho V$ , где  $V = Sh$  (рис. 57 б). Тогда  $F = mg = \rho Vg = \rho Shg$ .

Разделив вес жидкости (силу, с которой она давит на дно сосуда) на площадь дна, получим давление жидкости  $p$ :  $p = F/S$  или  $p = \rho gSh/S$ , т.е.  $p = \rho gh$

**Давление жидкости на дно и стенки сосуда равно произведению плотности жидкости, ускорения свободного падения и высоты столба жидкости.**

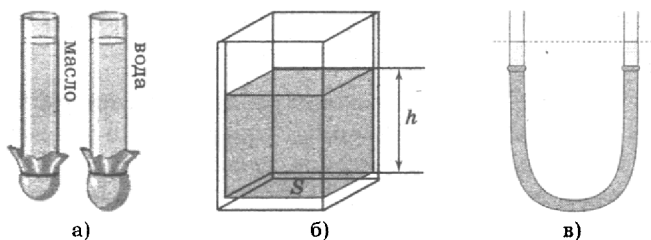


Рис. 57

6. Два или более сосудов, соединённых между собой у дна, называются *сообщающимися сосудами*. Примерами сообщающихся сосудов могут служить гидравлические машины и жидкостный манометр. Самым простым сообщающимся сосудом, которым вы пользуетесь каждый день, является чайник.

Если две стеклянные трубки соединить резиновой трубкой (рис. 57 в), то получатся сообщающиеся сосуды. Наливая в одну трубку воду, можно заметить, что она будет перетекать и в другую трубку. При этом уровни воды в трубках будут все время одинаковы.

Можно поднять одну из трубок или наклонить ее, в любом случае друг относительно друга уровни воды или любой другой жидкости останутся одинаковыми, т.е. будут лежать в одной и той же горизонтальной плоскости.

Можно сделать вывод: **в сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости всегда устанавливаются на одном уровне.**

Это верно при условии, что давление на поверхность жидкости одинаково. При использовании сообщающихся сосудов в качестве жидкостного манометра именно по разности уровней жидкости в трубках можно судить о значении давления.

Объяснить то, что в сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне, можно следующим образом. Жидкость в сосудах не перемещается, следовательно, её давления в сосудах на одном уровне, в том числе и на дно, одинаковы. Она имеет одинаковую плотность, т.к. она однородная. Следовательно, в соответствии с формулой  $p = \rho gh$  высоты жидкости тоже одинаковы.

Если в одну трубку налить воду, а в другую масло, плотность которого меньше плотности воды, то уровень воды будет ниже, чем уровень масла в другой трубке (рис. 58).

Это объясняется тем, что давление жидкости на дно сосуда зависит от высоты столба жидкости и от её плотности. При одинаковом

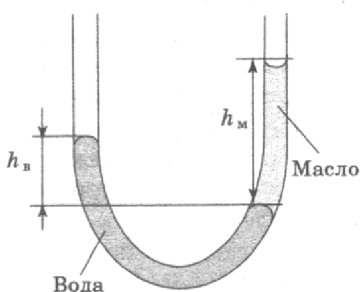


Рис. 58

давлении, чем больше плотность жидкости, тем меньше высота её столба. Поскольку плотность масла меньше плотности воды, то столб масла выше столба воды. **Жидкости, имеющие разную плотность, устанавливаются в сообщающихся сосудах на разных уровнях; во сколько раз плотность одной жидкости больше плотности другой, во столько раз меньше высота её столба.**

7. Земля окружена воздушной оболочкой — **атмосферой**. Воздух, как и газы, входящие в состав атмосферы, имеет массу. Соответственно, на него действует сила тяжести, и он оказывает давление на поверхность Земли.

**Давление воздушной оболочки на поверхность Земли и находящиеся на ней тела называется атмосферным давлением.**

В существовании атмосферного давления легко убедиться на опытах. Если опустить в воду трубку с плотно

прилегающим к её стенкам поршнем и поднимать поршень вверх, то вода будет подниматься по трубке вслед за поршнем.

Это происходит потому, что при подъёме поршня между ним и поверхностью воды образуется разреженное пространство. На поверхность воды в сосуде действует атмосферное давление, которое в соответствии с законом Паскаля передаётся по всем направлениям, в том числе и в направлении трубки. Оно и заставляет воду подниматься за поршнем.

Для расчёта атмосферного давления нельзя использовать формулу, по которой рассчитывается давление столба жидкости, так как для этого нужно знать высоту атмосферы и плотность воздуха. Но атмосфера не имеет определённой границы, а плотность воздуха изменяется с высотой. Однако атмосферное давление можно измерить.

Опыт по измерению атмосферного давления был предложен итальянским ученым Торричелли в XVII в. Стекланную трубку длиной 1 м, запаянную с одного конца, заполнили ртутью. Закрыв другой конец трубки, её перевернули и опустили в сосуд с ртутью. Затем этот конец трубки открыли, и часть ртути вылилась из неё в сосуд, а часть осталась в трубке. Высота столба ртути, оставшейся в трубке, оказалась равной примерно 760 мм.

Объясняется это следующим образом: атмосферное давление действует на ртуть в сосуде, это давление передаётся по всем направлениям и действует на ртуть в основании трубки снизу вверх. Это давление уравнивает давление столба ртути в трубке. Таким образом, атмосферное давление равно давлению, которое оказывает у основании трубки столб ртути высотой 760 мм. Это давление называют **нормальным атмосферным давлением**.

Если атмосферное давление выше нормального, то высота столба ртути больше, если — меньше нормального, то столб ртути опустится ниже.

Нормальное атмосферное давление равно 101 300 Па.

Атмосферное давление чаще выражают не в паскалях, а в миллиметрах ртутного столба (мм рт.ст.). 1 мм рт.ст. = = 133,3 Па.

Если к трубке в опыте Торричелли прикрепить шкалу и проградуировать её в миллиметрах, то получим прибор —

**ртутный барометр**, с помощью которого можно измерять атмосферное давление.

В быту и технике для измерения атмосферного давления применяют более удобный в обращении металлический барометр, называемый **анероидом**.

Атмосферное давление зависит от высоты. Это объясняется тем, что воздух хорошо сжимаем, так же как и все газы. Верхние слои воздуха давят на лежащие ниже и сжимают их, соответственно плотность слоёв воздуха, а следовательно и давление, у поверхности Земли больше, чем на некоторой высоте от неё.

Так, в местности, лежащей на уровне моря, давление равно примерно 760 мм рт. ст., т.е. нормальному атмосферному. В горах оно выше. Измерения показывают, что на каждые 12 м подъёма атмосферное давление уменьшается примерно на 1 мм рт.ст.

8. Если подвешенный к пружине динамометра шарик опустить в сосуд с водой, то можно заметить, что показания динамометра уменьшатся.

Точно так же можно изменить показания динамометра, если подействовать на шарик рукой снизу вверх. Следовательно, когда шарик опустили в воду, на него, помимо силы тяжести и силы упругости пружины динамометра, стала действовать сила, направленная вверх. Эту силу называют **выталкивающей** или **архимедовой силой**.

Выталкивающая сила возникает за счёт разности давления воды на нижнюю поверхность шарика и давления на его верхнюю поверхность, поскольку давление жидкости зависит от высоты её столба.

Сила давления  $F_1$ , действующая на верхнюю поверхность шарика, направлена вниз, сила давления  $F_2$ , действующая на нижнюю поверхность шарика, направлена вверх. Так как  $F_2$  больше  $F_1$ , то результирующая этих двух сил, являющаяся выталкивающей силой, будет направлена вверх.

Выталкивающая сила тем больше, чем больше плотность жидкости, в которую погружено тело, и чем больше объём тела, погружённого в жидкость.

Опыт показывает, что выталкивающая сила  $F$  может быть вычислена по формуле:  $F = \rho g V$ , где  $\rho$  — плотность

жидкости, в которую погружено тело,  $V$  — объём погружённой части тела.

**Выталкивающая сила равна произведению плотности жидкости, ускорения свободного падения и объёма погружённой части тела.**

Этот закон называют **законом Архимеда**.

В воздухе, так же как и в любом другом газе, на тело действует выталкивающая сила. Она имеет ту же природу, что и выталкивающая сила, действующая на тело в жидкости. Её происхождение обусловлено разностью давлений на нижнюю и верхнюю грани тела. Однако, поскольку плотность газа намного меньше плотности жидкости, выталкивающая сила, действующая на тело, в газе меньше, чем в жидкости. Часто при решении задач пренебрегают выталкивающей силой, действующей на тело в воздухе, и считают, что вес покоящегося тела в воздухе равен по модулю действующей на него силе тяжести.

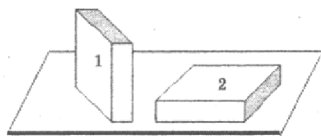
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Ребёнка везут на санках по свежеснегавшему снегу. Какие санки — с широкими или узкими полозьями — следует выбрать, чтобы не проваливаться в снег?

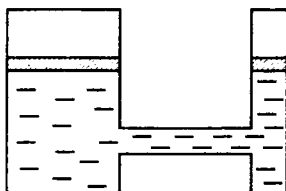
- 1) с широкими
- 2) с узкими
- 3) безразлично
- 4) ответ зависит от веса санок

2. Брусок в форме прямоугольного параллелепипеда положили на стол сначала узкой гранью (1), а затем — широкой (2). Сравните силы давления ( $F_1$  и  $F_2$ ) и давления ( $p_1$  и  $p_2$ ), производимые бруском на стол в этих случаях.



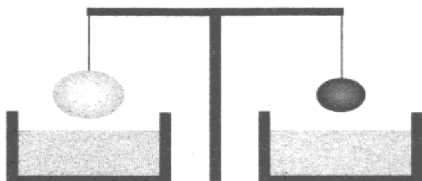
- 1)  $F_1 = F_2; p_1 > p_2$
- 2)  $F_1 = F_2; p_1 < p_2$
- 3)  $F_1 < F_2; p_1 < p_2$
- 4)  $F_1 = F_2; p_1 = p_2$

3. Сила  $F_1$ , действующая со стороны жидкости на один поршень гидравлической машины, в 16 раз меньше силы  $F_2$ , действующей на другой поршень. Как соотносятся модули работы ( $A_1$ ) и ( $A_2$ ) этих сил, совершаемой при перемещении поршней? Трением пренебречь.



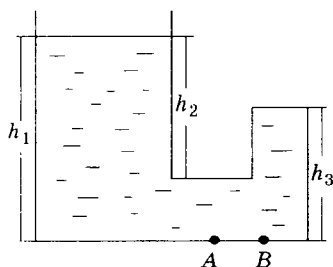
- 1)  $A_1 = A_2$                                 3)  $A_2 = 16A_1$   
 2)  $A_1 = 16A_2$                             4)  $A_1 = 4A_2$

4. В сосуды различной формы налита одна и та же жидкость. Высота уровня жидкости во всех сосудах одинакова. В каком из сосудов давление на дно наименьшее?



- 1) в сосуде А  
 2) в сосуде Б  
 3) в сосуде В  
 4) во всех сосудах одинаковое

5. Стекланный сосуд, правое колено которого запаяно, заполнен жидкостью плотностью  $\rho$  (см. рисунок). Давление, оказываемое жидкостью на дно сосуда в точке Б, равно

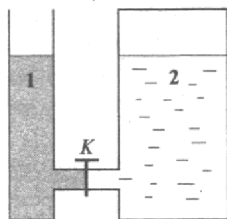


- 1)  $\rho g h_3$             3)  $\rho g (h_1 - h_2)$   
 2)  $\rho g h_1$             4)  $\rho g h_2$

6. Атмосферное давление на вершине горы Казбек
- 1) меньше, чем у её подножия  
 2) больше, чем у её подножия  
 3) равно давлению у её подножия  
 4) может быть больше или меньше, чем у её подножия, в зависимости от погоды

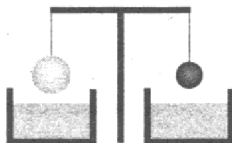


7. В открытых сосудах 1 и 2 находятся соответственно ртуть и вода. Если открыть кран К, то



- 1) ни вода, ни ртуть перетекать не будут
- 2) вода начнёт перетекать из сосуда 2 в сосуд 1
- 3) перемещение жидкостей будет зависеть от атмосферного давления
- 4) ртуть начнёт перетекать из сосуда 1 в сосуд 2

8. Два однородных шара, один из которых изготовлен из стали, а другой — из олова, уравновешены на рычажных весах (см. рисунок). Нарушится ли равновесие весов, если шары опустить в воду?



- 1) Равновесие весов не нарушится, так как шары одинаковой массы.
  - 2) Равновесие весов нарушится — перевесит шар из стали.
  - 3) Равновесие весов нарушится — перевесит шар из олова.
  - 4) Равновесие весов не нарушится, так как шары опускают в одну и ту же жидкость.
9. Алюминиевый шар, подвешенный на нити, опущен в крепкий раствор поваренной соли. Затем шар перенесли из раствора поваренной соли в дистиллированную воду. При этом сила натяжения нити
- 1) может остаться неизменной или измениться в зависимости от объёма шара
  - 2) не изменится
  - 3) увеличится
  - 4) уменьшится
10. Теплоход переходит из устья реки в солёное море. При этом архимедова сила, действующая на теплоход,
- 1) увеличится
  - 2) уменьшится или увеличится в зависимости от размера теплохода
  - 3) не изменится
  - 4) уменьшится

11. Шарик, опущенный в жидкость, начинает опускаться на дно. Как по мере движения шарика в жидкости изменяются выталкивающая сила, действующая на него, вес шарика, давление жидкости? Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения.

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИН
А) выталкивающая сила	1) увеличивается
Б) вес	2) уменьшается
В) давление жидкости	3) не изменяется

12. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) атмосферное давление можно рассчитать так же, как давление жидкости на дно сосуда.
- 2) в опыте Торричелли можно ртуть заменить водой при той же длине трубки.
- 3) для того, чтобы столб воды производил на дно сосуда такое же давление, что и столб керосина, его высота должна составлять 0,8 от высоты столба керосина.
- 4) на вершине горы атмосферное давление меньше, чем у её подножия.
- 5) закон Паскаля справедлив для газов, жидкостей и твёрдых тел.

## Часть 2

13. Камень весит в воздухе 6 Н, а в воде 4 Н. Чему равен объём этого камня?

## Механические колебания и волны

1. Механические колебания — точно или приблизительно повторяющееся движение, при котором тело смещается относительно положения равновесия, отклоняясь от него то в одну, то в другую сторону.

Для того чтобы возникли и совершались механические колебания необходима колебательная система. В механике изучаются две колебательные системы: математический и пружинный маятники.

**2. Колебательная система — математический маятник** — представляет собой тело, подвешенное на нити, размеры которого много меньше длины нити. Кроме того, нить математического маятника нерастяжима и не имеет массы, вся масса такого маятника сосредоточена в подвешенном к нити грузе.

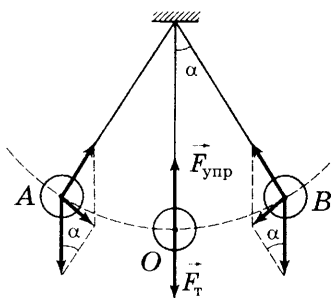


Рис. 59

В положении равновесия (рис. 59) на маятник действуют противоположно направленные сила тяжести ( $F_T$ ) и сила упругости ( $F_{упр}$ ). Их равнодействующая равна нулю.

При отклонении маятника от положения равновесия вправо эти две силы направлены под углом друг к другу, и их равнодействующая  $F$  уже не равна нулю. Под действием

равнодействующей силы  $\vec{F}$  маятник начнёт двигаться к положению равновесия. Поскольку груз обладает инертностью, то он пройдет положение равновесия и отклонится от него в другую сторону. Дойдя до крайнего левого положения, маятник под действием равнодействующей сил тяжести и упругости начнёт двигаться к положению равновесия. Пройдя его, он опять отклонится вправо. Процесс будет повторяться. Таким образом, в процессе колебаний изменяются смещение, скорость, действующая на него сила, ускорение маятника. При этом ускорение маятника прямо пропорционально его смещению и направлено в противоположную сторону. Для математического маятника

это равенство имеет вид:  $\vec{a} = -\frac{\vec{g}}{l}$ , где  $l$  — длина нити маятника.

**3. Колебательная система — пружинный маятник** — это груз, прикрепленный к пружине (рис. 60). Считают, что масса пружины маятника мала по сравнению с массой

груза, деформацией тела пренебрегают по сравнению с деформацией пружины. Кроме того, полагают, что деформация пружины подчиняется закону Гука ( $F = -kx$ ).

В состоянии равновесия пружина не деформирована (рис. 60), и на груз в горизонтальном направлении силы не действуют.

При выведении груза из состояния равновесия, на него будет действовать сила упругости пружины  $\vec{F}_y$ , прямо пропорциональная её удлинению и направленная к положению равновесия. Под действием этой силы груз начнёт двигаться к положению равновесия.

Благодаря инертности груз пройдёт положение равновесия. Пружина сожмётся, и в ней опять возникнет сила упругости. Дойдя до крайнего левого положения, груз остановится, а затем под действием силы упругости начнёт возвращаться в положение равновесия. Пройдя его, он отклонится вправо, и процесс повторится. Пружинный маятник будет совершать свободные колебания относительно положения равновесия.

Колебания, которые маятник совершает за счет однократно переданной ему энергии, называются свободными. В соответствии со вторым законом Ньютона  $F = ma$ . С другой стороны,  $F = -kx$ . Откуда  $ma = -kx$ ,  $a = -\frac{k}{m}x$ . Таким образом, ускорение колебаний пружинного маятника, так же как и математического, прямо пропорционально его смещению с обратным знаком. Такие колебания называются гармоническими.

4. Отклонение маятника от положения равновесия называется смещением ( $x$ ), а максимальное отклонение — амплитудой колебаний ( $A$  или  $x_0$ ).

Движение маятника от т. А до т. В и обратно до т. А называется полным колебанием. Время, за которое маятник совершает одно полное колебание, называется периодом.

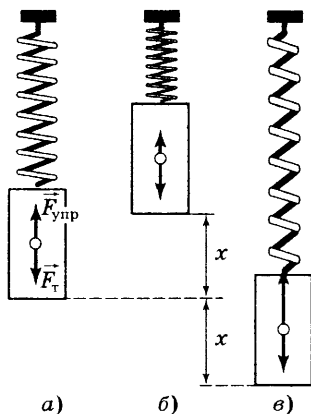


Рис. 60

дом колебаний (см. рис. 59). Период обозначают буквой  $T$  и измеряют в секундах.

Если маятник совершил за 4 секунды 8 полных колебаний, то его период равен 0,5 с.

Величину, обратную периоду, называют частотой колебаний. Частоту обозначают буквой  $\nu$ . По определению  $\nu = 1/T$ . Единица частоты 1 герц (Гц).

Один герц — это частота таких колебаний, при которых за 1 секунду совершается одно полное колебание:  $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$ .

Если частота колебаний 5 Гц, то это означает, что за 1 секунду совершается 5 полных колебаний. Период таких колебаний равен:  $T = 0,2 \text{ с}$ .

Период колебаний математического и пружинного маятников зависит от характеристик этих систем.

Формула периода колебаний математического маятника:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ , где  $l$  — длина нити маятника,  $g$  — ускорение свободного падения.

Формула периода колебаний пружинного маятника имеет вид:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  где  $m$  — масса груза,  $k$  — коэффициент жёсткости пружины.

5. Основной задачей механики является определение положения тела, т.е. его координаты, в любой момент времени. Эта задача может быть решена, если известно уравнение, выражающее зависимость координаты тела от времени. Для гармонического колебания это уравнение имеет вид:  $x = x_0 \cos \omega t$  или  $x = x_0 \sin \omega t$ , в зависимости от того, какой была координата (смещение) маятника в начальный момент времени. В том случае, если маятник в начальный момент времени был отклонен от положения равновесия (начальная координата не равна нулю), изменение координаты происходит по закону косинуса; если он начал двигаться из положения равновесия ( $x_0 = 0$ ), то изменение координаты (смещения) подчиняется закону синуса. В записанном уравнении координаты  $\omega$  — циклическая частота колебаний. Циклическая частота колебаний равна числу колебаний за  $2\pi$  секунд:  $\omega = 2\pi \sqrt{\frac{2\pi}{T}}$ . Циклическая

частота, так же как и период колебаний маятника, зависит от параметров колебательной системы:  $\omega = 2\pi \sqrt{\frac{g}{l}}$

$$\text{и } \omega = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

**6.** При выведении маятника из положения равновесия ему сообщают потенциальную энергию. За счет этой энергии происходит движение маятника к положению равновесия. В процессе движения потенциальная энергия переходит в кинетическую. В положении равновесия потенциальная энергия маятника равна нулю, а его кинетическая энергия максимальна. При движении маятника влево кинетическая энергия переходит в потенциальную; в крайнем левом положении кинетическая энергия равна нулю, а потенциальная — максимальна. В отсутствие трения полная механическая энергия маятника сохраняется.

**7.** При наличии сопротивления воздуха сообщенная маятнику энергия расходуется на совершение работы против силы трения, энергия маятника постоянно уменьшается, и колебания со временем прекращаются. Говорят, что они затухают.

Таким образом, реальные свободные колебания маятника всегда затухающие.

Для получения незатухающих колебаний необходимо компенсировать потери энергии. Это можно сделать, действуя на маятник с некоторой периодической силой. В этом случае колебания происходят под действием внешней силы и становятся вынужденными. Работа этой силы и восполняет потери энергии, вызванные трением. Эти колебания будут вынужденными.

**Вынужденные колебания** — это колебания, происходящие под действием внешней, периодически изменяющейся силы. Частота вынужденных колебаний равна частоте изменения действующей на тело силы. Частота вынужденных колебаний равна частоте изменения внешней силы.

**8.** Если подвесить к верёвке, прикреплённой к стойке, несколько маятников разной длины и привести в колебания один из них, то и другие маятники начнут колебаться. Частота их колебаний будет равна частоте колебаний ма-

маятника, возбуждавшего колебания. При этом с наибольшей амплитудой будет колебаться маятник, длина которого равна длине этого маятника. Следовательно, наибольшую амплитуду колебаний имеет маятник, собственная частота колебаний которого совпадает с частотой вынуждающей силы. Явление, которое наблюдается в этом случае, называется резонансом.

**Резонанс** — явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний тела, наступающего при равенстве частоты изменения внешней силы и частоты собственных колебаний тела.

Явление резонанса необходимо учитывать в практике. Известны случаи, когда вследствие резонанса разваливался на части самолёт в воздухе, ломались гребные винты у судов, рушились железнодорожные рельсы. Во всех этих случаях с резонансом приходится бороться, изменяя либо собственную частоту системы, либо частоту силы, вызывающей колебания.

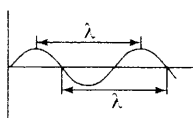


Рис. 61

**9. Механической волной называется процесс распространения механических колебаний в среде.**

Если закрепить конец шнура, слегка натянуть его и сместить свободный конец вверх, а затем вниз, т.е. привести его в колебания, то по шнуру «побежит» волна. Каждая точка шнура будет совершать вынужденные колебания с частотой внешней силы, но с некоторым опозданием. При распространении колебаний по шнуру волна «бежит» в горизонтальном направлении, а колебания частицы совершают в вертикальном направлении.

**Волны, направление распространения которых перпендикулярно направлению колебаний частиц среды, называются поперечными.**

Поперечные волны представляют собой чередование горбов и впадин (рис. 61).

Расстояние между двумя ближайшими горбами или впадинами называется длиной волны.

Длина волны обозначается буквой  $\lambda$  и измеряется в метрах.

На расстояние, равное длине волны, волна распространяется за время, равное периоду колебаний.

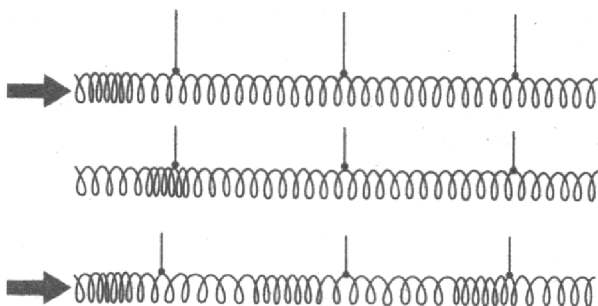


Рис. 62

10. Если закрепить один конец длинной пружины, а по другому ударить, то возникшее на конце пружины сгущение витков «побежит» по ней (рис. 62). В этом случае волна представляет собой распространение сгущений и разрежений. Частицы среды при этом совершают колебания вдоль направления распространения волны. Такие волны называют **продольными**.

**Продольные волны** — это такие, направление распространения которых совпадает с направлением колебаний частиц среды.

11. Волновое движение имеет следующие особенности:

- механические волны образуются благодаря инертности частиц среды и взаимодействию между ними, проявляющемуся в существовании сил упругости;

- каждая частица среды совершает вынужденные колебания такие же, что и первая частица, приведенная в колебания, частота которых равна частоте внешней силы. Период колебаний всех частиц одинаков;

- колебание каждой частицы происходит с запаздыванием, которое обусловлено её инертностью. Это запаздывание тем больше, чем дальше находится частица от источника колебаний;

- вместе с волной не переносится вещество, переносится энергия.

12. Распространение продольных волн связано с изменением объёма тела. Они могут распространяться как в твёрдых, так и в жидких и газообразных телах, поскольку



во всех этих телах при изменении объёма возникают силы упругости.

Распространение поперечных волн связано главным образом с изменением формы тела. В газах и жидкостях при изменении формы силы упругости не возникают, поэтому поперечные волны в них распространяться не могут. Поперечные волны распространяются только в твёрдых телах.

Примером волнового движения в твёрдом теле является распространение колебаний во время землетрясений. От центра землетрясения распространяются как продольные, так и поперечные волны. Сейсмическая станция принимает сначала продольные волны, а затем поперечные, т.к. скорость последних меньше. Если известны скорости поперечной и продольной волн и измерен промежуток времени между их приходом, то можно определить расстояние от центра землетрясения до станции.

13. Скоростью волны считается скорость перемещения гребня или впадины в поперечной волне, сгущения или разрежения в продольной волне.

За время, равное периоду колебаний ( $T$ ), гребень или впадина перемещаются на расстояние, равное длине волны ( $\lambda$ ).

Следовательно, скорость волны ( $v$ ) равна:  $v = \frac{\lambda}{T}$ .

Поскольку  $T = \frac{1}{\nu}$ , то формулу для скорости можно записать иначе:  $v = \lambda\nu$ .

Скорость волны равна произведению длины волны и частоты колебаний.

14. Колебания, происходящие с частотой от 16 Гц до 20 000 Гц, являются звуковыми колебаниями. Для распространения звуковых колебаний, так же как и любых механических колебаний, необходима упругая среда.

Скорость звука можно определить, если известны расстояние от источника звука  $S$  и время распространения звука  $t$ :  $v = \frac{S}{t}$  Скорость звука неодинакова в разных средах и зависит от температуры среды.

Физиологическим характеристикам звука (громкости, высоте тона) соответствуют физические характеристики.

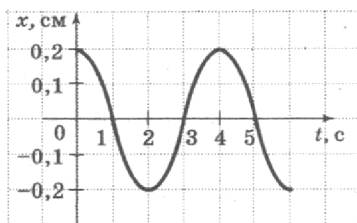
Громкость звука определяется амплитудой колебаний. Чем она больше, тем громче звук. Звук тем выше, чем больше частота колебаний.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Какой путь пройдёт груз математического маятника за 10 полных колебаний, если амплитуда колебаний равна 3 см?
  - 1) 30 см
  - 2) 60 см
  - 3) 90 см
  - 4) 120 см
2. Маятник совершает 20 полных колебаний за 10 с. Чему равна частота колебаний маятника?
  - 1) 20 Гц
  - 2) 2 Гц
  - 3) 1 Гц
  - 4) 0,5 Гц
3. Во сколько раз надо изменить массу груза пружинного маятника, чтобы период колебаний увеличился в 9 раз?
  - 1) увеличить в 3 раза
  - 2) уменьшить в 9 раз
  - 3) уменьшить в 81 раз
  - 4) увеличить в 81 раз
4. Массу груза математического маятника, совершающего гармонические колебания, увеличили в 9 раз. При этом период колебаний
  - 1) увеличился в 3 раза
  - 2) увеличился в 9 раз
  - 3) уменьшился в 3 раза
  - 4) не изменился
5. Если перенести математический маятник с Земли на Марс, то
  - 1) частота колебаний не изменится
  - 2) частота колебаний увеличится
  - 3) частота колебаний уменьшится
  - 4) маятник не будет колебаться

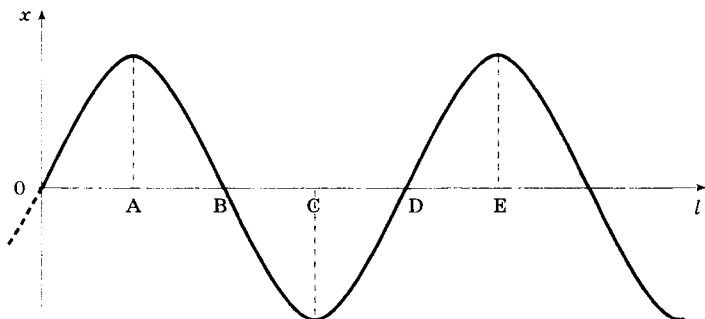
6. На рисунке представлен график колебаний математического маятника. Период колебаний маятника равен



- 1) 1 с      2) 2 с      3) 3 с      4) 4 с
7. Период колебаний частиц в волне можно вычислить по формуле

1)  $T = \frac{v}{\lambda}$       2)  $T = \frac{\lambda}{v}$       3)  $T = \lambda v$       4)  $T = v v$

8. На рисунке показан график волны, бегущей вдоль упругого шнура, в некоторый момент времени. Длина волны равна расстоянию



- 1) BC      2) BD      3) BE      4) OD
9. Сравните громкость звука и высоту тона двух звуковых колебаний, если для первого колебания: амплитуда  $A_1 = 2$  мм, частота  $\nu_1 = 500$  Гц, для второго колебания:  $A_2 = 4$  мм, частота  $\nu_2 = 300$  Гц.
- 1) громкость первого звука больше, чем второго, а высота тона меньше
- 2) и громкость, и высота тона первого звука больше, чем второго

- 3) и громкость и высота тона первого звука, меньше, чем второго
- 4) громкость первого звука меньше, чем второго, а высота тона больше
10. Волна частотой 3 Гц распространяется в среде со скоростью 6 м/с. Длина волны равна
- 1) 18 м      2) 2 м      3) 1 м      4) 0,5 м
11. Математический маятник отвели в сторону и отпустили. Как будут изменяться значения величин, характеризующих колебания маятника при его движении к положению равновесия. Для каждой величины из первого столбца подберите соответствующее характеру её изменения слово из второго столбца. Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры могут повторяться.

ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) смещение	1) увеличивается
Б) скорость	2) уменьшается
В) потенциальная энергия	3) не изменяется

12. Среди приведённых ниже положений укажите два правильных и запишите их номера в таблице.
- 1) Звук распространяется только в воздухе.
- 2) Колебания, частота которых больше 20 000 Гц, называются ультразвуком.
- 3) Инфразвук — колебания, частота которых больше 16 Гц.
- 4) Эхо — явление многократного отражения звуковых волн от преград.
- 5) Звуковые волны — поперечные.

### Часть 2

13. Мимо рыбака, сидящего на пристани, прошло 5 гребней волны за 10 с. Каков период колебаний поплавок на волнах?

# ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

---

## Строение вещества. Модели строения газа, жидкости и твёрдого тела

1. Существует множество явлений природы, которые можно понять, лишь зная строение вещества. К таким явлениям относятся, например, процессы нагревания и охлаждения тел, превращения вещества из твёрдого состояния в жидкое и газообразное, образования тумана и др.

Вопрос о том, какое строение имеют вещества, занимал людей ещё в древности. Так, в V в. до н.э. древнегреческий мыслитель Демокрит высказал мысль о том, что вещество состоит из мельчайших частиц, невидимых глазом. Он считал, что существует предел деления вещества. Эту последнюю неделимую частичку, сохраняющую свойства вещества, он назвал «атомом». Демокрит также полагал, что атомы непрерывно движутся и что вещества различаются числом атомов, их размерами, формой, порядком расположения.

Догадка древних мыслителей не сразу превратилась в научную идею. У неё было много противников: Аристотель, в частности, считал, что тело можно делить до бесконечности. Справедливость той или иной гипотезы мог подтвердить только опыт; осуществить же его в то время было невозможно. Поэтому идеи Демокрита были на какое-то время забыты. К ним вернулись в эпоху Возрождения. В XVII—XVIII вв. были изучены свойства газов, а затем в XIX в. построена теория строения вещества в газообразном состоянии. Большой вклад в развитие теории строения вещества внёс русский учёный М.В. Ломоносов (1711—1765 г.г.), который считал, что вещество состоит из атомов, и, используя эти представления, сумел объяснить такие явления, как испарение, теплопроводность и др.

2. В основе молекулярно-кинетической теории строения вещества лежат три положения.

*Положение 1. Все вещества состоят из частиц, между которыми есть промежутки.* Такими частицами могут быть молекулы, атомы, ионы.

Доказательством этого положения служат факты, установленные в ходе наблюдений и экспериментов. К таким фактам относятся сжимаемость тел, растворимость веществ в воде и др. Так, если растворить немного краски в воде, то вода окрасится. Если каплю этой воды поместить в другой стакан с чистой водой, то эта вода также окрасится, только цвет её будет менее насыщенным. Можно повторить эту операцию ещё несколько раз. В каждом случае раствор будет окрашен, только более слабо, чем в предыдущем. Это значит, что капля краски делится на частицы. Приведённые факты и описанный опыт позволяют сделать вывод о том, что тела не сплошные, они состоят из маленьких частиц.

О том, что тела не сплошные, а между частицами, из которых они состоят, существуют промежутки, свидетельствует то, что газ в цилиндре можно сжать поршнем, можно сжать воздух в воздушном шаре, ластик или кусок резины, тела сжимаются при охлаждении и расширяются при нагревании. Так, ненагретый шарик свободно проходит через кольцо, диаметр которого чуть больше диаметра шарика. Если шарик нагреть в пламени спиртовки, то он в кольцо не пройдет.

3. Из опытов, которые были рассмотрены выше, следует, что вещество можно разделить на отдельные частицы, сохраняющие его свойства. Однако существует определённый предел деления вещества, т.е. существует самая маленькая частица вещества, которая сохраняет его свойства. Меньшей частицы, которая сохраняет свойства данного вещества, просто не существует.

*Наименьшая частица вещества, которая сохраняет его химические свойства, называется молекулой.*

Слова «химические свойства» означают следующее. Поваренная соль — это вещество, представляющее собой соединение натрия и хлора ( $\text{NaCl}$ ). Это соединение имеет определённые химические свойства, в частности, оно мо-

жет вступать в реакцию с каким-либо другим веществом. При этом и кристалл соли, и молекула этого химического соединения будут вести себя в реакции одинаково. В этом смысле и говорят, что молекула сохраняет химические свойства данного вещества.

4. Опыты, которые были описаны, говорят о том, что молекулы имеют маленькие размеры. Увидеть их невооруженным глазом невозможно. Диаметр крупных молекул примерно  $10^{-8}$  см.

Поскольку молекулы так малы, то в телах их содержится очень много. Так, в  $1 \text{ см}^3$  воздуха содержится  $27 \cdot 10^{18}$  молекул.

Масса молекул, так же как и её размеры, очень мала. Например, масса одной молекулы водорода равна  $3,3 \cdot 10^{-24}$  г или  $3,3 \cdot 10^{-27}$  кг, а масса одной молекулы воды —  $3 \cdot 10^{-26}$  кг. Масса молекул одного и того же вещества одинакова. В настоящее время масса и размеры молекул различных веществ определены достаточно точно.

5. Молекулы состоят из ещё более мелких частиц, которые называются *атомами*. Например, молекулу воды можно разделить на водород и кислород. Однако водород и кислород уже другие вещества, и они обладают свойствами, отличными от свойств воды. Разложить молекулу воды на такие вещества можно в процессе химической реакции.

*Атом — наименьшая частица вещества, не делящаяся при химических реакциях.*

Молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода; молекула поваренной соли — из одного атома натрия и одного атома хлора. Молекула сахара более сложная: она состоит из 6 атомов углерода, 12 атомов водорода и 6 атомов кислорода, а молекула белков состоит из тысячи атомов.

Существуют вещества, молекулы которых содержат однородные атомы. Например, молекула водорода состоит из двух атомов водорода, молекула кислорода — из двух атомов кислорода.

В природе есть вещества, которые состоят не из молекул, а из атомов. Их называют простыми. Примерами таких веществ могут служить алюминий, железо, ртуть, олово и др.

Любое вещество, независимо от того, как оно получено, содержит одни и те же атомы. Например, молекула воды, полученная при таянии льда, или из сока ягод, или налитая из-под крана, содержит два атома водорода и один атом кислорода. Молекула кислорода, извлечённая из атмосферного воздуха или полученная в ходе какой-либо химической реакции, содержит два атома кислорода.

**6. Положение 2. Молекулы находятся в непрерывном беспорядочном (хаотическом) движении.** Поскольку молекулы малы, то непосредственно наблюдать и доказать их движение невозможно. Однако целый ряд экспериментальных фактов и наблюдаемых явлений является следствием движения молекул. К ним относятся прежде всего броуновское движение и диффузия.

**7. Положение 3. Молекулы взаимодействуют между собой, между ними действуют силы и притяжения и отталкивания.**

Наблюдения показывают, что тела не распадаются на отдельные молекулы. Твёрдые тела, например деревянную палку, металлический стержень, трудно растянуть или сломать. Их также трудно и сжать. Нелегко сжать и жидкость в сосуде. Газы сжать легче, но всё равно нужно приложить для этого некоторое усилие.

Если тела не распадаются на молекулы, то очевидно, что *молекулы притягиваются друг к другу*. Взаимное притяжение удерживает молекулы друг около друга.

Если взять два свинцовых цилиндра и прижать их друг к другу, а затем отпустить, то они разъединятся. Если поверхности цилиндров зачистить и вновь прижать их друг к другу, то цилиндры «слипнутся». Они не разъединятся даже в том случае, если к нижнему цилиндру подвесить груз массой несколько килограммов. Этот результат можно объяснить так: цилиндры удерживаются вместе, поскольку между молекулами действуют силы притяжения.

До того, как цилиндры зачистили, они разъединились, поскольку поверхности цилиндров имели неровности, которые были устранены при зачистке. Поверхности стали гладкими, и это привело к уменьшению расстояний между молекулами, находящимися на поверхностях цилиндров, когда их прижали друг к другу. Следовательно, *силы при-*



*тяжения между молекулами действуют на малых расстояниях.* Эти расстояния равны примерно размерам молекулы. Именно поэтому нельзя разбив чашку и соединив осколки, получить целую чашку. Нельзя, разломив палку на две части и соединив их, получить целую палку.

Наряду с силами притяжения, между молекулами действуют силы отталкивания, которые препятствуют сближению молекул. Это объясняет то, что тела трудно сжать, сжатая пружина принимает первоначальную форму после прекращения действия на неё внешней силы. Это происходит потому, что при сжатии молекулы сближаются и силы отталкивания, действующие между ними, возрастают. Они и приводят пружину в первоначальное состояние.

При растяжении тела сила отталкивания уменьшается в большей степени, чем сила притяжения. При сжатии тела сила отталкивания увеличивается в большей степени, чем сила притяжения.

**8.** Вещества могут находиться в трёх агрегатных состояниях: в твёрдом, жидком и газообразном. Свойства тел в разных агрегатных состояниях различны.

Так, твёрдое тело имеет определённую форму и определённый объём. Его трудно сжать или растянуть; если его сжать, а потом отпустить, то оно, как правило, восстанавливает свою форму и объём. Исключение составляют некоторые вещества, твёрдое состояние которых близко по своим свойствам к жидкостям (пластилин, воск, вар).

Жидкость принимает форму сосуда, в который она налита. Это говорит о том, что жидкость в условиях Земли не имеет своей формы. Только очень маленькие капли жидкости имеют свою форму — форму шара.

Объём жидкости изменить чрезвычайно трудно. Так, если набрать воду в насос, закрыть отверстие внизу и попытаться сжать воду, вряд ли это удастся. Это означает, что жидкость имеет собственный объём.

В отличие от жидкости объём газа изменить довольно легко. Это можно сделать, сжав руками мяч или воздушный шарик. Газ не имеет собственного объёма, он занимает полностью объём сосуда, в котором находится. То же можно сказать и о форме газа.

Таким образом, *твёрдые тела имеют собственные форму и объём, жидкости имеют собственный объём, но не имеют собственной формы, газы не имеют ни собственного объёма, ни собственной формы.* Твёрдые тела и жидкости трудно сжать, газы легко сжимаемы.

Объяснить эти свойства тел можно, используя знания о строении вещества.

Поскольку газы занимают весь предоставленный им объём, то очевидно, что силы притяжения между молекулами газа малы. А это значит, что молекулы находятся на сравнительно больших расстояниях друг от друга. В среднем они в десятки раз больше расстояний между молекулами жидкости. Это подтверждается тем, что газы легко сжимаемы.

Малые силы притяжения влияют и на характер движения молекул газа. Молекула газа движется прямолинейно до столкновения с другой молекулой, в результате чего меняет направление своего движения и движется прямолинейно до следующего столкновения.

Твёрдые тела трудно сжать. Это связано с тем, что молекулы находятся близко друг от друга и при небольшом изменении расстояния между ними резко возрастают силы отталкивания. Сравнительно большое притяжение между молекулами твёрдых тел приводит к тому, что они сохраняют форму и объём.

Атомы или молекулы большинства твёрдых тел расположены в определённом порядке и образуют *кристаллическую решётку*. На рисунке 63 изображена кристаллическая решётка поваренной соли. В узлах кристаллической решётки находятся атомы натрия (Na) и хлора (Cl). Частицы твёрдого тела (атомы или молекулы) совершают колебательное движение относительно узла кристаллической решётки.

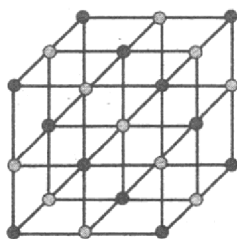


Рис. 63

В жидкостях молекулы расположены также довольно близко друг к другу. Поэтому их трудно сжать, и они имеют свой объём. Однако силы притяжения между молекулами жидкости не настолько велики, чтобы жидкость сохраняла свою форму.

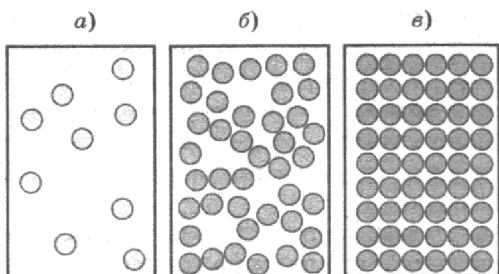


Рис. 64

Характер движения молекул жидкости очень сложен. Они располагаются не так упорядоченно, как молекулы твёрдых тел, но в большем порядке, чем молекулы газов. Молекулы жидкости совершают колебательное движение относительно положений равновесия, однако с течением времени эти положения равновесия смещаются.

На рисунке 64 показано расположение молекул воды в разных агрегатных состояниях: в твёрдом (в), жидком (б), газообразном (а).

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Молекула — это
  - 1) мельчайшая частица вещества
  - 2) частица вещества, сохраняющая его химические свойства
  - 3) мельчайшая частица вещества, сохраняющая все его свойства
  - 4) мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства
2. О том, что между частицами вещества существуют промежутки, свидетельствуют:
  - А. Сжимаемость газов
  - Б. Разделение вещества на части

Правильный ответ

1) только А	3) и А, и Б
2) только Б	4) ни А, ни Б

3. При нагревании столбика воды в чайнике
- 1) уменьшается среднее расстояние между молекулами воды
  - 2) увеличивается среднее расстояние между молекулами воды
  - 3) увеличивается объём молекул воды
  - 4) уменьшается объём молекул воды
4. При растяжении медной проволоки между молекулами
- 1) действуют только силы притяжения
  - 2) действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, но силы притяжения больше сил отталкивания
  - 3) действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, но силы отталкивания больше сил притяжения
  - 4) действуют только силы отталкивания
5. Твёрдое упругое тело сжали, поставив на него груз. Как изменились силы взаимодействия между молекулами вещества этого тела?
- 1) увеличились только силы притяжения
  - 2) увеличились только силы отталкивания
  - 3) увеличились и силы притяжения, и силы отталкивания, но силы притяжения стали больше, чем силы отталкивания
  - 4) увеличились и силы притяжения, и силы отталкивания, но силы отталкивания стали больше, чем силы притяжения
6. В каком агрегатном состоянии находится вещество, если оно не имеет собственной формы, но имеет собственный объём?
- 1) только в жидком
  - 2) только в газообразном
  - 3) в жидком или газообразном
  - 4) только в твёрдом
7. В каком агрегатном состоянии находится вещество, если оно не имеет ни собственной формы, ни собственного объёма?
- 1) только в жидком
  - 2) только в газообразном
  - 3) в жидком или газообразном
  - 4) только в твёрдом

8. Наименьшая упорядоченность в расположении частиц характерна для
- 1) газов
  - 2) жидкостей
  - 3) кристаллических тел
  - 4) аморфных тел
9. В процессе перехода воды из жидкого состояния в кристаллическое
- 1) увеличивается расстояние между молекулами
  - 2) молекулы начинают притягиваться друг к другу
  - 3) увеличивается упорядоченность в расположении молекул
  - 4) уменьшается расстояние между молекулами
10. При превращении леденца из аморфного состояния в кристаллическое на его поверхности образуются кристаллики сахара. При этом
- 1) существенно увеличиваются расстояния между молекулами сахара
  - 2) молекулы сахара перестают хаотически двигаться
  - 3) увеличивается упорядоченность в расположении молекул сахара
  - 4) существенно уменьшаются расстояния между молекулами сахара
11. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.
- 1) Молекула — мельчайшая частица вещества.
  - 2) Передача давления жидкостью и газом обусловлена подвижностью их молекул.
  - 3) В недеформированном теле силы притяжения между молекулами равны силам отталкивания.
  - 4) На малых расстояниях между молекулами действуют только силы отталкивания.
  - 5) Взаимодействие между молекулами имеет гравитационную природу.
12. Из приведённых утверждений выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.
- 1) Вода при переливании из одного сосуда в другой принимает форму сосуда.
  - 2) Диффузия в жидкостях происходит быстрее, чем в газах.

- 3) Молекулы вещества находятся в непрерывном направленном движении.
- 4) При данной температуре все молекулы движутся с одинаковыми скоростями.
- 5) Вода растекается по деревянному столу, так как силы взаимодействия между молекулами воды меньше, чем силы взаимодействия между молекулами воды и дерева.

Тепловое движение атомов и молекул.

Связь температуры вещества со скоростью

хаотического движения частиц. Броуновское движение.

Диффузия. Тепловое равновесие

1. В 1827 г. английский ботаник Р. Броун, изучая с помощью микроскопа частички цветочной пыльцы, взвешенные в воде, заметил, что эти частички совершают беспорядочное движение; они как бы дрожат в воде.

Причину движения частиц пыльцы долго не могли объяснить. Сам Броун предположил вначале, что они движутся, потому что они живые. Движение частиц пытались объяснить неодинаковым нагреванием разных частей сосуда, происходящими химическими реакциями и т.д. Лишь значительно позже поняли истинную причину движения частиц, взвешенных в воде. Эта причина — движение молекул.

Молекулы воды, в которой находится частица пыльцы, движутся и ударяются о неё. При этом с разных сторон о частицу ударяется неодинаковое число молекул, что и приводит к её перемещению.

Пусть в момент времени  $t_1$  под действием ударов молекул воды частица переместилась из т. А в т. В. В следующий момент времени большее число молекул ударяется о частицу с другой стороны, и направление её движения изменяется, она перемещается из т. В в т. С. Таким образом, движение частицы пыльцы является следствием движения и ударов о неё молекул воды, в которой пыльца находится (рис. 65). Подобное явление можно наблюдать, если поместить в воду частицы краски или сажи.

На рисунке 65 показана траектория движения частицы пыльцы. Видно, что нельзя говорить о каком-то определённом направлении её движения; оно всё время меняется.

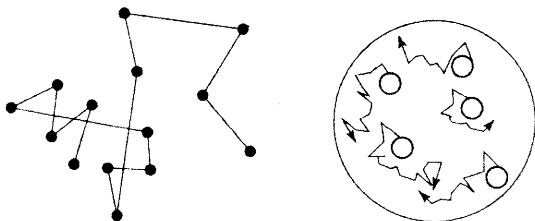


Рис. 65

Поскольку движение частицы — следствие движения молекул, то можно заключить, что *молекулы движутся беспорядочно (хаотически)*. Иными словами, нельзя выделить какое-то определённое направление, в котором движутся все молекулы.

Движение молекул никогда не прекращается. Можно сказать, что оно *непрерывно*. Непрерывное хаотическое движение атомов и молекул называют **тепловым движением**. Такое название определяется тем, что скорость движения молекул зависит от температуры тела.

Поскольку тела состоят из большого числа молекул и движение молекул беспорядочно, то нельзя точно сказать, сколько ударов будет испытывать та или иная молекула со стороны других. Поэтому говорят, что положение молекулы, её скорость в каждый момент времени *случайны*. Однако это не означает, что движение молекул не подчиняется определённым законам. В частности, хотя скорости молекул в некоторый момент времени различны, у большинства из них значения скорости близки к некоторому определённому значению. Обычно, говоря о скорости движения молекул, имеют в виду *среднюю скорость* ( $v_{\text{ср.}}$ ).

2. С точки зрения движения молекул можно объяснить такое явление, как диффузия.

**Диффузией называется явление проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого вещества.**

Мы ощущаем запах духов на некотором расстоянии от флакона. Это объясняется тем, что молекулы духов, так же как и молекулы воздуха, движутся. Между молекулами существуют промежутки. Молекулы духов проникают в промежутки между молекулами воздуха, а молекулы воздуха — в промежутки между молекулами духов.

Диффузию жидкостей можно наблюдать, если в мензурку налить раствор медного купороса, а сверху — воду так, чтобы между этими жидкостями была резкая граница. Через два-три дня можно заметить, что граница уже не будет такой резкой; через неделю она совсем размоется. Спустя месяц жидкость станет однородной и во всем сосуде будет окрашена одинаково (рис. 66).

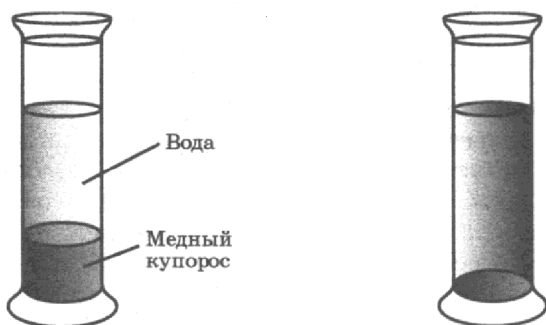


Рис. 66

В этом опыте молекулы медного купороса проникают в промежутки между молекулами воды, а молекулы воды — в промежутки между молекулами медного купороса. При этом следует иметь в виду, что плотность медного купороса больше, чем плотность воды.

Опыты показывают, что диффузия в газах происходит быстрее, чем в жидкостях. Это объясняется тем, что газы имеют меньшую плотность, чем жидкости, т.е. молекулы газов расположены на больших расстояниях друг от друга. Ещё медленнее происходит диффузия в твёрдых телах, поскольку молекулы твёрдых тел находятся ещё ближе друг к другу, чем молекулы жидкостей.

В природе, технике, быту можно обнаружить множество явлений, в которых проявляется диффузия: окрашивание, склеивание и др. Диффузия имеет большое значение в жизни человека. В частности, благодаря диффузии кислород в организм человека поступает не только через лёгкие, но и через кожу. По этой же причине питательные вещества проникают из кишечника в кровь.

Скорость диффузии зависит не только от агрегатного состояния вещества, но и от температуры.



Если приготовить два сосуда с водой и медным купоросом для проведения опыта по диффузии и один из них поставить в холодильник, а другой оставить в комнате, то можно обнаружить, что *при более высокой температуре диффузия будет происходить быстрее*. Это происходит потому, что при повышении температуры быстрее движутся молекулы. Таким образом, скорость движения молекул и температура тела связаны между собой.

Чем больше средняя скорость движения молекул тела, тем выше его температура.

**3. Молекулярная физика** в отличие от механики изучает системы (тела), состоящие из большого числа частиц. Эти тела могут находиться в различных **состояниях**.

Величины, характеризующие состояние системы (тела), называются **параметрами состояния**. К параметрам состояния относят давление, объём, температуру.

Возможно такое состояние системы, при котором параметры, характеризующие его, остаются неизменными сколь угодно долго при отсутствии внешних воздействий. Это состояние называется **тепловым равновесием**.

Так, объём, температура, давление жидкости в сосуде, находящейся в тепловом равновесии с воздухом в комнате, не изменяются, если для этого не будет каких-либо внешних причин.

**4. Состояние теплового равновесия** системы характеризуется такой параметр, как **температура**. Особенностью его является то, что значение температуры во всех частях системы, находящейся в состоянии теплового равновесия, одинаково. Если опустить в стакан с горячей водой серебряную ложку (или ложку из любого другого металла), то ложка будет нагреваться, а вода — остывать. Это будет происходить до тех пор, пока не наступит тепловое равновесие, при котором ложка и вода будут иметь одинаковую температуру. В любом случае, если взять два различно нагретых тела и привести их в соприкосновение, то более нагретое тело будет остывать, а более холодное — нагреваться. Через некоторое время система, состоящая из этих двух тел, придёт в тепловое равновесие, и температура этих тел станет одинаковой.

Так, одинаковой станет температура ложки и воды, когда они придут в тепловое равновесие.

**Температура** — это физическая величина, которая характеризует тепловое состояние тела.

Так, температура горячей воды выше, чем холодной; зимой температура воздуха на улице ниже, чем летом.

Единицей температуры является градус Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Температуру измеряют *термометром*.

В основе устройства термометра и соответственно способа измерения температуры лежит зависимость свойств тел от температуры, в частности свойство тела расширяться при нагревании. В термометрах могут быть использованы разные тела: и жидкие (спирт, ртуть), и твёрдые (металлы) и газообразные. Их называют *термометрическими телами*. Термометрическое тело (жидкость или газ) помещают в трубку, снабжённую шкалой, её приводят в соприкосновение с телом, температуру которого хотят измерить.

При построении шкалы выбирают две основные (реперные, опорные) точки, которым приписывают определённые значения температуры, и интервал между ними делят на несколько частей. Значение каждой части соответствует единице температуры по данной шкале.

5. Существуют разные температурные шкалы. Одной из наиболее распространённых в практике шкал является шкала Цельсия. Основными точками этой шкалы служат температура таяния льда и температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.). Первой точке приписали значение  $0^{\circ}\text{C}$ , а второй —  $100^{\circ}\text{C}$ . Расстояние между этими точками разделили на 100 равных частей и получили шкалу Цельсия. За единицу температуры по этой шкале принят  $1^{\circ}\text{C}$ . Помимо шкалы Цельсия широко используется температурная шкала, названная **абсолютной** (термодинамической) шкалой температур, или шкалой Кельвина. За ноль по этой шкале принята температура  $-273^{\circ}\text{C}$  (точнее  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ). Эта температура названа **абсолютным нулём** температур и обозначается  $0\text{ K}$ . Единицей температуры является один кельвин ( $1\text{ K}$ ); он равен  $1$  градусу Цельсия. Соответственно температура таяния льда по абсолютной шкале температур —  $273\text{ K}$  ( $273,15\text{ K}$ ), а температура кипения воды —  $373\text{ K}$  ( $373,15\text{ K}$ ).

Температуру по абсолютной шкале обозначают буквой  $T$ . Связь между температурой по абсолютной шкале ( $T$ ) и температурой по шкале Цельсия ( $t^\circ$ ) выражается формулой:

$$T = t^\circ + 273.$$

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Броуновское движение частиц краски в воде является следствием
  - 1) притяжения между атомами и молекулами
  - 2) отталкивания между атомами и молекулами
  - 3) хаотического и непрерывного движения молекул
  - 4) перемещения слоёв воды из-за разности температуры нижних и верхних слоёв
2. В какой из приведённых ниже ситуаций речь идёт о броуновском движении?
  - 1) беспорядочное движение пылинок в воздухе
  - 2) распространение запахов
  - 3) колебательное движение частиц в узлах кристаллической решётки
  - 4) поступательное движение молекул газа
3. Что означают слова: «Молекулы движутся хаотически»?
  - A. Отсутствует выделенное направление движения молекул.
  - Б. Движение молекул не подчиняется никаким законам.

Правильный ответ

1) только А	3) и А, и Б
2) только Б	4) ни А, ни Б
4. Положение молекулярно-кинетической теории строения вещества о том, что частицы вещества участвуют в непрерывном хаотическом движении, относится
  - 1) только к газам
  - 2) только жидкостям
  - 3) только к газам и жидкостям
  - 4) к газам, жидкостям и твёрдым телам

5. Какое (-ие) положение (-я) молекулярно-кинетической теории строения вещества подтверждает явление диффузии?
- А. Молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении
  - Б. Между молекулами существуют промежутки
- Правильный ответ  
1) только А    2) только Б    3) и А, и Б    4) ни А, ни Б
6. При одинаковой температуре диффузия в жидкостях происходит
- 1) быстрее, чем в твёрдых телах
  - 2) быстрее, чем в газах
  - 3) медленнее, чем в твёрдых телах
  - 4) с той же скоростью, что и в газах
7. Укажите пару веществ, скорость диффузии которых наименьшая при прочих равных условиях
- 1) раствор медного купороса и вода
  - 2) пары эфира и воздух
  - 3) железная и алюминиевая пластины
  - 4) вода и спирт
8. Вода кипит и превращается в пар при температуре 100 °С. Средняя скорость движения молекул пара
- 1) равна средней скорости движения молекул воды
  - 2) больше средней скорости движения молекул воды
  - 3) меньше средней скорости движения молекул воды
  - 4) зависит от атмосферного давления
9. Тепловое движение молекул
- 1) прекращается при 0 °С
  - 2) прекращается при 100 °С
  - 3) непрерывно
  - 4) имеет определённое направление
10. Воду нагревают от комнатной температуры до 80 °С. Что происходит со средней скоростью движения молекул воды?
- 1) уменьшается
  - 2) увеличивается
  - 3) не изменяется
  - 4) сначала увеличивается, а начиная с некоторого значения температуры, остаётся неизменной

11. Один стакан с водой стоит на столе в тёплом помещении, другой — в холодильнике. Средняя скорость движения молекул воды в стакане, стоящем в холодильнике
- 1) равна средней скорости движения молекул воды в стакане, стоящем на столе
  - 2) больше средней скорости движения молекул воды в стакане, стоящем на столе
  - 3) меньше средней скорости движения молекул воды в стакане, стоящем на столе
  - 4) равна нулю
12. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу
- 1) тепловое движение молекул происходит только при температуре большей  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - 2) диффузия в твёрдых телах невозможна
  - 3) между молекулами одновременно действуют силы притяжения и силы отталкивания
  - 4) молекула — это наименьшая частица вещества
  - 5) скорость диффузии увеличивается с повышением температуры
13. В кабинет физики принесли ватку, смоченную духами, и сосуд, в который налили раствор медного купороса (раствор голубого цвета), а поверх осторожно налили воду (рис. 1). Было замечено, что запах духов распространился по объёму всего кабинета за несколько минут, тогда как граница между двумя жидкостями в сосуде исчезла только через две недели (рис. 2).



Рис. 1

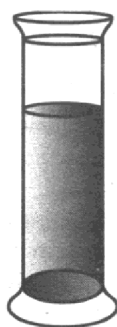


Рис. 2

Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений. Укажите их номера.

- 1) Процесс диффузии можно наблюдать в газах и жидкостях.
- 2) Скорость диффузии зависит от температуры вещества.
- 3) Скорость диффузии зависит от агрегатного состояния вещества.
- 4) Скорость диффузии зависит от рода жидкостей.
- 5) В твёрдых телах скорость диффузии наименьшая.

### Внутренняя энергия. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии

1. Существуют два вида механической энергии: кинетическая и потенциальная. Кинетической энергией обладает любое движущееся тело; она прямо пропорциональна массе тела и квадрату его скорости. Потенциальной энергией обладают взаимодействующие между собой тела. Потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землёй, прямо пропорциональна его массе и расстоянию между ним и поверхностью Земли.

**Сумма кинетической и потенциальной энергии тела называется его полной механической энергией.** Таким образом, полная механическая энергия зависит от скорости движения тела и от его положения относительно того тела, с которым оно взаимодействует.

Если тело обладает энергией, то оно может совершить работу. При совершении работы энергия тела изменяется. **Значение работы равно изменению энергии.**

2. Если в закрытую пробкой толстостенную банку, дно которой покрыто водой, накачивать воздух (рис. 67), то через какое-то время пробка из банки вылетит и в банке образуется туман.

Это объясняется тем, что в воздухе, находящемся в банке, присутствует водяной пар, образующийся при испарении воды. Появление тумана означает, что пар превратился в воду, т.е. сконденси-

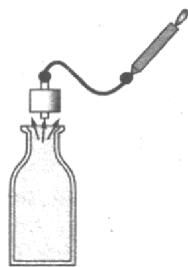


Рис. 67

ровался, а это может происходить при понижении температуры. Следовательно, температура воздуха в банке понизилась.

Причина этого следующая. Пробка вылетела из банки, потому что находившийся там воздух действовал на неё с определённой силой. Воздух при вылете пробки совершил работу. Известно, что работу тело может совершить, если оно обладает энергией. Следовательно, воздух в банке обладает энергией.

При совершении воздухом работы понизилась его температура, изменилось его состояние. При этом механическая энергия воздуха не изменилась: не изменились ни его скорость, ни его положение относительно Земли. Следовательно, работа была совершена не за счёт механической, а за счёт другой энергии. Эта энергия — **внутренняя энергия** воздуха, находящегося в банке.

**3. Внутренней энергией тела называют сумму кинетической энергии движения его молекул и потенциальной энергии их взаимодействия.**

Кинетической энергией ( $E_k$ ) молекулы обладают, так как они находятся в движении, а потенциальной энергией ( $E_n$ ), поскольку они взаимодействуют.

Внутреннюю энергию обозначают буквой  $U$ . Единицей внутренней энергии является 1 джоуль (1 Дж).

$$U = E_k + E_n.$$

**4. Чем больше скорости движения молекул, тем выше температура тела, следовательно, *внутренняя энергия зависит от температуры тела*. Чтобы перевести вещество из твёрдого состояния в жидкое состояние, например, превратить лёд в воду, нужно подвести к нему энергию. Следовательно, вода будет обладать большей внутренней энергией, чем лёд той же массы, и, следовательно, *внутренняя энергия зависит от агрегатного состояния тела*.**

Внутренняя энергия тела не зависит от его движения как целого и от его взаимодействия с другими телами. Так, внутренняя энергия мяча, лежащего на столе и на полу, одинакова, так же как и мяча, неподвижного и катящегося по полу (если, конечно, пренебречь сопротивлением его движению).

Об изменении внутренней энергии можно судить по значению совершённой работы. Кроме того, поскольку внутренняя энергия тела зависит от его температуры, то по изменению температуры тела можно судить об изменении его внутренней энергии.

5. Внутреннюю энергию можно изменить при совершении работы. Так, в описанном опыте внутренняя энергия воздуха и паров воды в банке уменьшалась при совершении ими работы по выталкиванию пробки. Температура воздуха и паров воды при этом понижалась, о чём свидетельствовало появление тумана.

Если по куску свинца несколько раз ударить молотком, то даже на ощупь можно определить, что кусок свинца нагреется. Следовательно, его внутренняя энергия, так же как и внутренняя энергия молотка, увеличилась. Это произошло потому, что была совершена работа над куском свинца.

*Если тело само совершает работу, то его внутренняя энергия уменьшается, а если над ним совершают работу, то его внутренняя энергия увеличивается.*

Если в стакан с холодной водой налить горячую воду, то температура горячей воды понизится, а холодной воды — повысится. В этом случае работа не совершается, однако внутренняя энергия горячей воды уменьшается, о чём и свидетельствует понижение её температуры.

Поскольку вначале температура горячей воды была выше температуры холодной воды, то и внутренняя энергия горячей воды больше. А это значит, что молекулы горячей воды обладают большей кинетической энергией, чем молекулы холодной воды. Эту энергию молекулы горячей воды передают молекулам холодной воды при столкновениях, и кинетическая энергия молекул холодной воды увеличивается. Кинетическая энергия молекул горячей воды при этом уменьшается.

В рассмотренном примере механическая работа не совершается, внутренняя энергия тел изменяется путём **теплопередачи**.

**Теплопередачей называется способ изменения внутренней энергии тела при передаче энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому без совершения работы.**



## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Внутренняя энергия газа в запаянном сосуде постоянного объёма определяется
  - 1) хаотическим движением молекул газа
  - 2) движением всего сосуда с газом
  - 3) взаимодействием сосуда с газом и Земли
  - 4) действием на сосуд с газом внешних сил
  
2. Внутренняя энергия тела зависит от
  - А) массы тела
  - Б) положения тела относительно поверхности Земли
  - В) скорости движения тела (при отсутствии трения)Правильный ответ
  - 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) только В
  - 4) только Б и В
  
3. Внутренняя энергия тела не зависит от
  - А) температуры тела
  - Б) массы тела
  - В) положения тела относительно поверхности ЗемлиПравильный ответ
  - 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) только В
  - 4) только А и Б
  
4. Как изменяется внутренняя энергия тела при его нагревании?
  - 1) увеличивается
  - 2) уменьшается
  - 3) у газов увеличивается, у твёрдых и жидких тел не изменяется
  - 4) у газов не изменяется, у твёрдых и жидких тел увеличивается
  
5. Внутренняя энергия монеты увеличивается, если её
  - 1) нагреть в горячей воде
  - 2) опустить в воду такой же температуры
  - 3) заставить двигаться с некоторой скоростью
  - 4) поднять над поверхностью Земли

6. Один стакан с водой стоит на столе в комнате, а другой стакан с водой такой же массы и такой же температуры находится на полке, висящей на высоте 80 см относительно стола. Внутренняя энергия стакана с водой на столе равна
- 1) внутренней энергии воды на полке
  - 2) больше внутренней энергии воды на полке
  - 3) меньше внутренней энергии воды на полке
  - 4) равна нулю
7. После того как горячую деталь опустят в холодную воду, внутренняя энергия
- 1) и детали, и воды будет увеличиваться
  - 2) и детали, и воды будет уменьшаться
  - 3) детали будет уменьшаться, а воды увеличиваться
  - 4) детали будет увеличиваться, а воды уменьшаться
8. Один стакан с водой стоит на столе в комнате, а другой стакан с водой такой же массы и такой же температуры находится в самолете, летящем со скоростью 800 км/ч. Внутренняя энергия воды в самолёте
- 1) равна внутренней энергии воды в комнате
  - 2) больше внутренней энергии воды в комнате
  - 3) меньше внутренней энергии воды в комнате
  - 4) равна нулю
9. После того как в чашку, стоящую на столе, налили горячую воду, внутренняя энергия
- 1) чашки и воды увеличилась
  - 2) чашки и воды уменьшилась
  - 3) чашки уменьшилась, а воды увеличилась
  - 4) чашки увеличилась, а воды уменьшилась
10. Температуру тела можно повысить, если
- А. Совершить над ним работу.  
Б. Сообщить ему некоторое количество теплоты.
- Правильный ответ
- 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) и А, и Б
  - 4) ни А, ни Б

11. Свинцовый шарик охлаждают в холодильнике. Как при этом меняются внутренняя энергия шарика, его масса и плотность вещества шарика?

Для каждой физической величины определите соответствующий характер изменения.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) внутренняя энергия	1) увеличивается
Б) масса	2) уменьшается
В) плотность	3) не изменяется

12. В бутылку, плотно закрытую пробкой, закачивают насосом воздух. В какой-то момент пробка вылетает из бутылки. Что при этом происходит с объёмом воздуха, его внутренней энергией и температурой?

Для каждой физической величины определите характер её изменения.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) объём	1) увеличивается
Б) внутренняя энергия	2) уменьшается
В) температура	3) не изменяется

## Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение

1. Существуют три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.

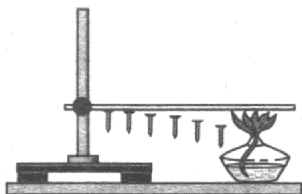


Рис. 68

Теплопроводность можно наблюдать на следующем опыте. Если к металлическому стержню с помощью воска прикрепить несколько гвоздиков (рис. 68), закрепить один конец стержня в штативе, а другой нагревать на спиртовке, то через некоторое

время гвоздики начнут отпадать от стержня: сначала отпадет тот гвоздик, который ближе к спиртовке, затем следующий и т.д.

Это происходит потому, что при повышении температуры воск начинает плавиться. Поскольку гвоздики отпадали не одновременно, а постепенно, можно сделать вывод, что температура стержня повышалась постепенно. Следовательно, постепенно увеличивалась и внутренняя энергия стержня, она передавалась от одного его конца к другому.

**2.** Передачу энергии при теплопроводности можно объяснить с точки зрения внутреннего строения вещества. Молекулы ближнего к спиртовке конца стержня получают от неё энергию, их энергия увеличивается, они начинают более интенсивно колебаться и передают часть своей энергии соседним частицам, заставляя их колебаться быстрее. Те, в свою очередь передают энергию своим соседям, и процесс передачи энергии распространяется по всему стержню. Увеличение кинетической энергии частиц приводит к повышению температуры стержня.

Важно, что при теплопроводности не происходит перемещения вещества, от одного тела к другому или от одной части тела к другой передается энергия.

**Процесс передачи энергии от одного тела к другому или от одной части тела к другой благодаря тепловому движению частиц называется теплопроводностью.**

**3.** Разные вещества обладают разной теплопроводностью. Если на дно пробирки, наполненной водой, положить кусочек льда и верхний её конец поместить над пламенем спиртовки, то через некоторое время вода в верхней части пробирки закипит, а лёд при этом не растает. Следовательно, вода, так же как и все жидкости, обладает плохой теплопроводностью.

Ещё более плохой теплопроводностью обладают газы. Возьмём пробирку, в которой нет ничего, кроме воздуха, и расположим её над пламенем спиртовки. Палец, помещённый в пробирку, не почувствует тепла. Следовательно, воздух и другие газы обладает плохой теплопроводностью.

Хорошими проводниками теплоты являются металлы, самыми плохими — сильно разреженные газы. Это объясняется особенностями их строения. Молекулы газов находятся друг от друга на расстояниях, больших, чем молекулы твёрдых тел, и значительно реже сталкиваются. По-

этому и передача энергии от одних молекул к другим в газах происходит не столь интенсивно, как в твёрдых телах. Теплопроводность жидкости занимает промежуточное положение между теплопроводностью газов и твёрдых тел.

4. Как известно, газы и жидкости плохо проводят теплоту. В то же время от батарей парового отопления нагревается воздух. Это происходит благодаря такому виду теплопроводности, как **конвекция**.

Если на дно колбы с водой аккуратно через трубочку опустить кристаллик марганцево-кислого калия и нагревать колбу снизу так, чтобы пламя касалось её в том месте, где лежит кристаллик, то можно увидеть, как со дна колбы будут подниматься окрашенные струйки воды. Достигнув верхних слоёв воды, эти струйки начнут опускаться.

Объясняется это явление так. Нижний слой воды нагревается от пламени спиртовки. Нагреваясь, вода расширяется, её объём увеличивается, а плотность соответственно уменьшается. На этот слой воды действует архимедова сила, которая выталкивает нагретый слой жидкости вверх. Его место занимает опустившийся вниз холодный слой воды, который, в свою очередь, нагреваясь, перемещается вверх и т.д. Следовательно, энергия в данном случае переносится поднимающимися потоками жидкости (рис. 69).

Подобным образом осуществляется теплопередача и в газах. Если вертушку, сделанную из бумаги, поместить над источником тепла (рис. 70), то вертушка начнёт вращаться. Это происходит потому, что нагретые менее плотные слои воздуха под действием выталкивающей силы поднимаются вверх, а более холодные движутся вниз и занимают их место, что и приводит к вращению вертушки.

Теплопередача, которая осуществляется в этом опыте и в опыте, изображенном на рисунках 69, 70, называется **конвекцией**.

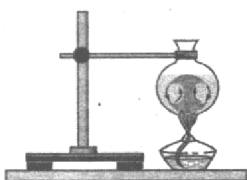


Рис. 69

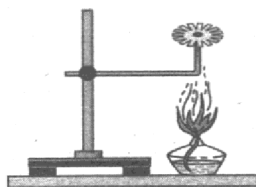


Рис. 70

**Конвекция** — вид теплопередачи, при котором энергия передаётся слоями жидкости или газа.

Конвекция связана с переносом вещества, поэтому она может осуществляться только в жидкостях и газах; в твёрдых телах конвекция не происходит.

5. Третий вид теплопередачи — **излучение**. Если поднести руку к спирали электроплитки, включённой в сеть, к горячей электрической лампочке, к нагретому утюгу, к батарее отопления и т.п., то можно явно ощутить тепло.

Если закрепить металлическую коробочку (теплоприёмник), одна сторона которой блестящая, а другая чёрная, в штативе, соединить коробочку с манометром, а затем налить в сосуд, у которого одна поверхность белая, а другая чёрная, кипяток, то, повернув сосуд к чёрной стороне теплоприёмника сначала белой стороной, а затем чёрной, можно заметить, что уровень жидкости в колене манометра, соединённом с теплоприёмником, понизится. При этом он сильнее понизится, когда сосуд обращён к теплоприёмнику чёрной стороной (рис. 71).

Понижение уровня жидкости в манометре происходит потому, что воздух в теплоприёмнике расширяется, это возможно при нагревании воздуха. Следовательно, воздух получает от сосуда с горячей водой энергию, нагревается и расширяется. Поскольку воздух обладает плохой теплопроводностью и конвекция в данном случае не происходит, т.к. плитка и теплоприёмник располагаются на одном уровне, то остаётся признать, что сосуд с горячей водой излучает энергию.

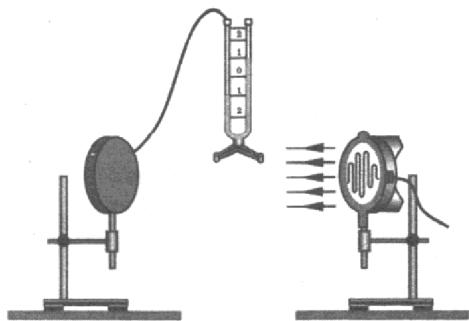


Рис. 71

Опыт также показывает, что чёрная поверхность сосуда излучает больше энергии, чем белая. Об этом свидетельствует разный уровень жидкости в колене манометра, соединённом с теплоприёмником.

Чёрная поверхность не только излучает больше энергии, но и больше поглощает. Это можно также доказать экспериментально, если поднести включённую в сеть электроплитку сначала к блестящей стороне теплоприёмника, а затем к чёрной. Во втором случае жидкость в колене манометра, соединённом с теплоприёмником, опустится ниже, чем в первом.

Таким образом, чёрные тела хорошо поглощают и излучают энергию, а белые или блестящие плохо испускают и плохо поглощают её. Они хорошо энергию отражают. Поэтому понятно, почему летом носят светлую одежду, почему дома на юге предпочитают красить в белый цвет.

Путём излучения энергия передаётся от Солнца к Земле. Поскольку пространство между Солнцем и Землёй представляет собой вакуум (высота атмосферы Земли много меньше расстояния от неё до Солнца), то энергия не может передаваться ни путём конвекции, ни путём теплопроводности. Таким образом, для передачи энергии путём излучения не требуется наличия какой-либо среды, эта теплопередача может осуществляться и в вакууме.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. В твёрдых телах теплопередача может осуществляться путём
  - 1) конвекции
  - 2) излучения и конвекции
  - 3) теплопроводности
  - 4) конвекции и теплопроводности
2. Теплопередача путём конвекции может происходить
  - 1) только в газах
  - 2) только в жидкостях
  - 3) только в газах и жидкостях
  - 4) в газах, жидкостях и твёрдых телах

3. Каким способом можно осуществить теплопередачу между телами, разделёнными безвоздушным пространством?
- 1) только с помощью теплопроводности
  - 2) только с помощью конвекции
  - 3) только с помощью излучения
  - 4) всеми тремя способами
4. Благодаря каким видам теплопередачи в ясный летний день нагревается вода в водоёмах?
- 1) только теплопроводность
  - 2) только конвекция
  - 3) излучение и теплопроводность
  - 4) конвекция и теплопроводность
5. Какой вид теплопередачи не сопровождается переносом вещества?
- 1) только теплопроводность
  - 2) только конвекция
  - 3) только излучение
  - 4) только теплопроводность и излучение
6. Какой(-ие) из видов теплопередачи сопровождается(-ются) переносом вещества?
- 1) только теплопроводность
  - 2) конвекция и теплопроводность
  - 3) излучение и теплопроводность
  - 4) только конвекция
7. В таблице приведены значения коэффициента, который характеризует скорость процесса теплопроводности вещества, для некоторых строительных материалов.

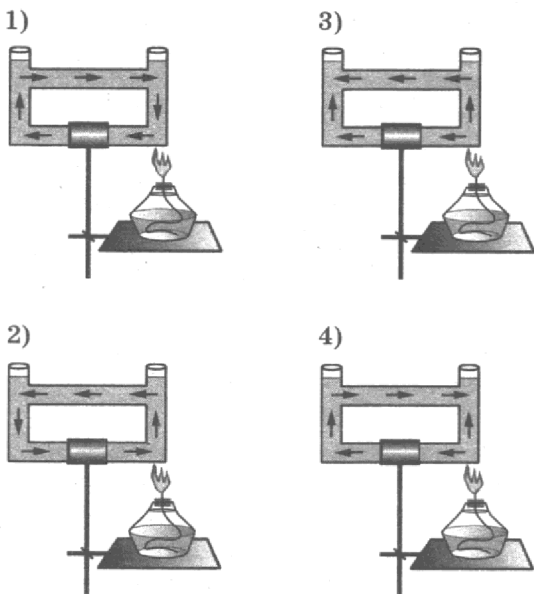
Строительный материал	Коэффициент теплопроводности (условные единицы)
Газобетон	0,12
Железобетон	1,69
Силикатный кирпич	0,70
Дерево	0,09

В условиях холодной зимы наименьшего дополнительного утепления при равной толщине стен требует дом из

- 1) газобетона
- 2) железобетона
- 3) силикатного кирпича
- 4) дерева



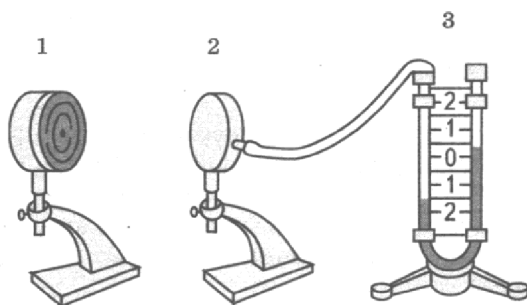
8. Стоящие на столе металлическую и пластмассовую кружки одинаковой вместимости одновременно заполнили горячей водой одинаковой температуры. В какой кружке быстрее остынет вода?
- 1) в металлической
  - 2) в пластмассовой
  - 3) одновременно
  - 4) скорость остывания воды зависит от её температуры
9. Открытый сосуд заполнен водой. На каком рисунке правильно изображено направление конвекционных потоков при приведённой схеме нагревания?



10. Воду равной массы нагрели до одинаковой температуры и налили в две кастрюли, которые закрыли крышками и поставили в холодное место. Кастрюли совершенно одинаковы, кроме цвета внешней поверхности: одна из них чёрная, другая блестящая. Что произойдёт с температурой воды в кастрюлях через некоторое время, пока вода не остыла окончательно?
- 1) Температура воды не изменится ни в той, ни в другой кастрюле.

- 2) Температура воды понизится и в той, и в другой кастрюле на одно и то же число градусов.
- 3) Температура воды в блестящей кастрюле станет ниже, чем в чёрной.
- 4) Температура воды в чёрной кастрюле станет ниже, чем в блестящей.

11. Учитель провёл следующий опыт. Раскалённая плитка (1) размещалась напротив полой цилиндрической закрытой коробки (2), соединённой резиновой трубкой с коленом U-образного манометра (3). Первоначально жидкость в коленях находилась на одном уровне. Через некоторое время уровни жидкости в манометре изменились (см. рисунок).



Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведённых экспериментальных наблюдений. Укажите их номера.

- 1) Передача энергии от плитки к коробке осуществлялась преимущественно за счёт излучения.
- 2) Передача энергии от плитки к коробке осуществлялась преимущественно за счёт конвекции.
- 3) В процессе передачи энергии давление воздуха в коробке увеличивалось.
- 4) Поверхности чёрного матового цвета по сравнению со светлыми блестящими поверхностями лучше поглощают энергию.
- 5) Разность уровней жидкости в коленях манометра зависит от температуры плитки.

12. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Внутреннюю энергию тела можно изменить только в процессе теплопередачи.
- 2) Внутренняя энергия тела равна сумме кинетической энергии движения молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия.
- 3) В процессе теплопроводности осуществляется передача энергии от одних частей тела к другим.
- 4) Нагревание воздуха в комнате от батарей парового отопления происходит, главным образом, благодаря излучению.
- 5) Стекло обладает лучшей теплопроводностью, чем металл.

## Количество теплоты. Удельная теплоёмкость

1. Изменение внутренней энергии путём совершения работы характеризуется величиной работы, т.е. работа является мерой изменения внутренней энергии в данном процессе. Изменение внутренней энергии тела при теплопередаче характеризуется величиной, называемой **количеством теплоты**.

Количеством теплоты называется изменение внутренней энергии тела в процессе теплопередачи без совершения работы.

Количество теплоты обозначают буквой  $Q$ . Так как количество теплоты является мерой изменения внутренней энергии, то его единицей является джоуль (1 Дж).

При передаче телу некоторого количества теплоты без совершения работы его внутренняя энергия увеличивается, если тело отдаёт какое-то количество теплоты, то его внутренняя энергия уменьшается.

2. Если в два одинаковых сосуда налить в один 100 г воды, а в другой 400 г при одной и той же температуре и поставить их на одинаковые горелки, то раньше закипит вода в первом сосуде. Таким образом, чем больше масса тела, тем большее количество теплоты требуется ему для нагревания. То же самое и с охлаждением: тело большей

массы при охлаждении отдаёт большее количество теплоты. Эти тела сделаны из одного и того же вещества и нагреваются они или охлаждаются на одно и то же число градусов.

$$Q \sim m$$

3. Если теперь нагревать 100 г воды от 30 до 60 °С, т.е. на 30 °С, а затем до 100 °С, т.е. на 70 °С, то в первом случае на нагревание уйдёт меньше времени, чем во втором, и, соответственно, на нагревание воды на 30 °С, будет затрачено меньшее количество теплоты, чем на нагревание воды на 70 °С. Таким образом, количество теплоты прямо пропорционально разности конечной ( $t_2$  °С) и начальной ( $t_1$  °С) температур:  $Q \sim (t_2 - t_1)$ .

4. Если теперь в один сосуд налить 100 г воды, а в другой такой же сосуд налить немного воды и положить в неё такое металлическое тело, чтобы его масса и масса воды составляли 100 г, и нагревать сосуды на одинаковых плитках, то можно заметить, что в сосуде, в котором находится только вода, температура будет ниже, чем в том, в котором находятся вода и металлическое тело. Следовательно, чтобы температура содержимого в обоих сосудах была одинаковой нужно воде передать большее количество теплоты, чем воде и металлическому телу. Таким образом, количество теплоты, необходимое для нагревания тела зависит от рода вещества, из которого это тело сделано.

5. Зависимость количества теплоты, необходимого для нагревания тела, от рода вещества характеризуется физической величиной, называемой **удельной теплоёмкостью вещества**.

**Физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг вещества для нагревания его на 1 °С (или на 1 К), называется удельной теплоёмкостью вещества.**

Такое же количество теплоты 1 кг вещества отдаёт при охлаждении на 1 °С.

Удельная теплоёмкость обозначается буквой  $c$ . Единицей удельной теплоёмкости является 1 Дж/кг °С или 1 Дж/кг К.

Значения удельной теплоёмкости веществ определяют экспериментально. Жидкости имеют большую удельную теплоёмкость, чем металлы; самую большую удельную теплоёмкость имеет вода, очень маленькую удельную теплоёмкость имеет золото.

Удельная теплоёмкость свинца 140 Дж/кг °С. Это значит, что для нагревания 1 кг свинца на 1 °С необходимо затратить количество теплоты 140 Дж. Такое же количество теплоты выделится при остывании 1 кг воды на 1 °С.

Поскольку количество теплоты равно изменению внутренней энергии тела, то можно сказать, что удельная теплоёмкость показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 °С. В частности, внутренняя энергия 1 кг свинца при его нагревании на 1 °С увеличивается на 140 Дж, а при охлаждении уменьшается на 140 Дж.

Количество теплоты  $Q$ , необходимое для нагревания тела массой  $m$  от температуры  $t_1$  °С до температуры  $t_2$  °С, равно произведению удельной теплоёмкости вещества, массы тела и разности конечной и начальной температур, т.е.

$$Q = cm (t_2^\circ - t_1^\circ).$$

По этой же формуле вычисляется и количество теплоты, которое тело отдаёт при охлаждении. Только в этом случае от начальной температуры следует отнять конечную, т.е. от большего значения температуры отнять меньшее.

**6. Пример решения задачи.** В стакан, содержащий 200 г воды при температуре 80 °С, налили 100 г воды при температуре 20 °С. После чего в сосуде установилась температура 60 °С. Какое количество теплоты получила холодная вода и отдала горячая вода?

При решении задачи необходимо выполнять следующую последовательность действий: 1) записать кратко условие задачи; 2) перевести значения величин в СИ; 3) проанализировать задачу, установить, какие тела участвуют в теплообмене, какие тела отдают энергию, а какие получают; 4) решить задачу в общем виде; 5) выполнить вычисления; 6) проанализировать полученный ответ.

### 1. Условие задачи.

Дано:

$$m_1 = 200 \text{ г}$$

$$m_2 = 100 \text{ г}$$

$$t_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

---

$$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$

$$c_1 = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

2. СИ:  $m_1 = 0,2 \text{ кг}$ ;  $m_2 = 0,1 \text{ кг}$ .

3. *Анализ задачи.* В задаче описан процесс теплообмена между горячей и холодной водой. Горячая вода отдаёт количество теплоты  $Q_1$  и охлаждается от температуры  $t_1$  до температуры  $t$ . Холодная вода получает количество теплоты  $Q_2$  и нагревается от температуры  $t_2$  до температуры  $t$ .

4. *Решение задачи в общем виде.* Количество теплоты, отданное горячей водой, вычисляется по формуле:  $Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t)$ .

Количество теплоты, полученное холодной водой, вычисляется по формуле:  $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$ .

5. *Вычисления.*

$$Q_1 = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C} = 16800 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 40 \text{ }^\circ\text{C} = 16800 \text{ Дж}$$

6. В ответе получено, что количество теплоты, отданное горячей водой, равно количеству теплоты, полученному холодной водой. При этом рассматривалась идеализированная ситуация и не учитывалось, что некоторое количество теплоты пошло на нагревание стакана, в котором находилась вода, и окружающего воздуха. В действительности же количество теплоты, отданное горячей водой, больше, чем количество теплоты, полученное холодной водой.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

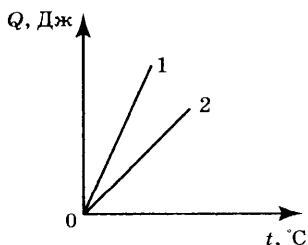
### Часть 1

1. Удельная теплоёмкость серебра  $250 \text{ Дж/кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ . Что это означает?

1) при остывании  $1 \text{ кг}$  серебра на  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  выделяется количество теплоты  $1 \text{ Дж}$

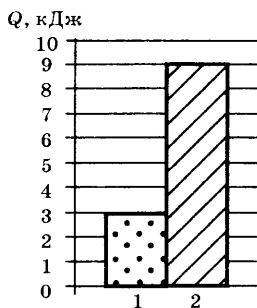
- 2) при остывании 250 кг серебра на  $1^\circ\text{C}$  выделяется количество теплоты 1 Дж
- 3) при остывании 250 кг серебра на  $1^\circ\text{C}$  поглощается количество теплоты 1 Дж
- 4) при остывании 1 кг серебра на  $1^\circ\text{C}$  выделяется количество теплоты 250 Дж
2. Удельная теплоёмкость цинка  $400\text{ Дж/кг }^\circ\text{C}$ . Это означает, что
- 1) при нагревании 1 кг цинка на  $400^\circ\text{C}$  его внутренняя энергия увеличивается на 1 Дж
- 2) при нагревании 400 кг цинка на  $1^\circ\text{C}$  его внутренняя энергия увеличивается на 1 Дж
- 3) для нагревания 400 кг цинка на  $1^\circ\text{C}$  его необходимо затратить 1 Дж энергии
- 4) при нагревании 1 кг цинка на  $1^\circ\text{C}$  его внутренняя энергия увеличивается на 400 Дж
3. При передаче твёрдому телу массой  $m$  количества теплоты  $Q$  температура тела повысилась на  $\Delta t^\circ$ . Какое из приведённых ниже выражений определяет удельную теплоёмкость вещества этого тела?
- 1)  $\frac{m\Delta t^\circ}{Q}$
- 2)  $\frac{Q}{m\Delta t^\circ}$
- 3)  $\frac{Q}{\Delta t^\circ}$
- 4)  $Qm\Delta t^\circ$

4. На рисунке приведён график зависимости количества теплоты, необходимого для нагревания двух тел (1 и 2) одинаковой массы, от температуры. Сравните значения удельной теплоёмкости ( $c_1$  и  $c_2$ ) веществ, из которых сделаны эти тела.



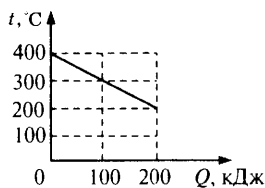
- 1)  $c_1 = c_2$                       3)  $c_1 < c_2$
- 2)  $c_1 > c_2$                       4) ответ зависит от значения массы тел

5. На диаграмме представлены значения количества теплоты, переданного двум телам равной массы при изменении их температуры на одно и то же число градусов. Какое соотношение для удельных теплоёмкостей веществ, из которых изготовлены тела, является верным?



- 1)  $c_1 = c_2$                                  3)  $c_2 = 3c_1$   
 2)  $c_1 = 3c_2$                                  4)  $c_2 = 2c_1$

6. На рисунке представлен график зависимости температуры твёрдого тела от отданного им количества теплоты. Масса тела 4 кг. Чему равна удельная теплоёмкость вещества этого тела?



- 1) 500 Дж/кг · °С  
 2) 250 Дж/кг · °С  
 3) 125 Дж/кг · °С  
 4) 100 Дж/кг · °С

7. При нагревании кристаллического вещества массой 100 г измеряли температуру вещества и количество теплоты, сообщённое веществу. Данные измерений представили в виде таблицы. Считая, что потерями энергии можно пренебречь, определите удельную теплоёмкость вещества в твёрдом состоянии.

Q, кДж	0	2,4	4,8	7,2	9,6	12	14,4
t, °С	50	150	250	250	250	250	300

- 1) 192 Дж/кг · °С  
 2) 240 Дж/кг · °С  
 3) 576 Дж/кг · °С  
 4) 480 Дж/кг · °С

8. Чтобы нагреть 192 г молибдена на 1К, нужно передать ему количество теплоты 48 Дж. Чему равна удельная теплоёмкость этого вещества?

- 1) 250 Дж/(кг·К)                                 3)  $4 \cdot 10^{-3}$  Дж/(кг·К)  
 2) 24 Дж/(кг·К)                                 4) 0,92 Дж/(кг·К)



9. Какое количество теплоты необходимо для нагревания 100 г свинца от 27 до 47 °С?

- 1) 390 Дж                                      3) 260 Дж  
 2) 26 кДж                                      4) 390 кДж

10. На нагревание кирпича от 20 до 85 °С затрачено такое же количество теплоты, как для нагревания воды такой же массы на 13 °С. Удельная теплоёмкость кирпича равна

- 1) 840 Дж/(кг·К)  
 2) 21000 Дж/(кг·К)  
 3) 2100 Дж/(кг·К)  
 4) 1680 Дж/(кг·К)

11. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Количество теплоты, которое тело получает при повышении его температуры на некоторое число градусов, равно количеству теплоты, которое это тело отдаёт при понижении его температуры на такое же число градусов.
- 2) При охлаждении вещества его внутренняя энергия увеличивается.
- 3) Количество теплоты, которое вещество получает при нагревании, идёт главным образом на увеличение кинетической энергии его молекул.
- 4) Количество теплоты, которое вещество получает при нагревании, идёт главным образом на увеличение потенциальной энергии взаимодействия его молекул
- 5) Внутреннюю энергию тела можно изменить, только сообщив ему некоторое количество теплоты

12. В таблице представлены результаты измерений массы  $m$ , изменения температуры  $\Delta t$  и количества теплоты  $Q$ , выделяющегося при охлаждении цилиндров, изготовленных из меди или алюминия.

	Вещество, из которого изготовлен цилиндр	$m$ , г	$\Delta t$ , °С	$Q$ , кДж
Цилиндр №1	Медь	100	50	2
Цилиндр №2	Медь	200	100	8
Цилиндр №3	Алюминий	100	50	4,5
Цилиндр №4	Олово	200	50	2,25

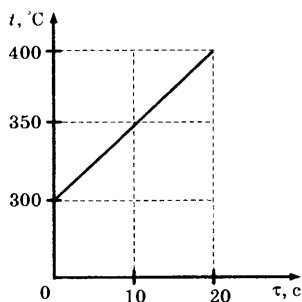
Какие утверждения соответствуют результатам проведённого эксперимента? Из предложенного перечня выберите два правильных. Укажите их номера.

На основании проведенных измерений можно утверждать, что количество теплоты, выделяющееся при охлаждении,

- 1) зависит от вещества, из которого изготовлен цилиндр.
- 2) не зависит от вещества, из которого изготовлен цилиндр.
- 3) увеличивается при увеличении массы цилиндра.
- 4) увеличивается при увеличении разности температур.
- 5) удельная теплоёмкость алюминия в 4 раза больше, чем удельная теплоёмкость олова.

### Часть 2

С1. Твёрдое тело массой 2 кг помещают в печь мощностью 2 кВт и начинают нагревать. На рисунке изображена зависимость температуры  $t$  этого тела от времени нагревания  $\tau$ . Чему равна удельная теплоёмкость вещества?



- 1) 400 Дж/кг · °C
- 2) 200 Дж/кг · °C
- 3) 40 Дж/кг · °C
- 4) 20 Дж/кг · °C

### Закон сохранения энергии в тепловых процессах. Преобразование энергии в тепловых машинах

1. Для механических явлений при определённых условиях выполняется закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия системы тел сохраняется, если они взаимодействуют силами тяготения или упругости. Если действуют силы трения, то полная механическая энергия тел не сохраняется, часть её (или вся) превращается в их внутреннюю энергию.

При изменении состояния тела (системы) меняется его внутренняя энергия. Состояние тела и соответственно его внутреннюю энергию можно изменить двумя способами: в процессе теплопередачи или путём совершения внешними силами работы над телом (работа, например, силы трения).

2. При решении задачи в предыдущем параграфе получено, что количество теплоты  $Q_1$ , отданное горячей водой, равно количеству теплоты  $Q_2$ , полученному холодной водой, т.е.:  $Q_1 = Q_2$ .

Записанное равенство называется **уравнением теплового баланса**. Оно связывает количество теплоты, полученное одним телом, и количество теплоты, отданное другим телом при теплообмене. При этом в теплообмене могут участвовать не два тела, а три и более. Например, если в стакан с горячим чаем опустить ложку, то в теплообмене будут участвовать стакан и чай (отдают энергию), и ложка и окружающий воздух (получают энергию). Как уже указывалось, в конкретных задачах мы можем пренебречь количеством теплоты, получаемым или отдаваемым некоторыми телами при теплообмене.

3. Уравнение теплового баланса даёт возможность определить те или иные величины. В частности, значения удельной теплоёмкости веществ определяют из уравнения теплового баланса.

*Задача.* Определите удельную теплоёмкость алюминия, если при опускании в стакан, содержащий 92 г воды при 75 °С, алюминиевой ложки массой 42 г при температуре 20 °С в стакане установилась температура 70 °С. Потерями энергии на нагревание воздуха, а также энергией, отдаваемой стаканом, пренебречь.

*Анализ задачи.* В теплообмене участвуют два тела: горячая вода и алюминиевая ложка. Вода отдаёт количество теплоты  $Q_1$  и остывает от 75 до 70 °С. Алюминиевая ложка получает количество теплоты  $Q_2$  и нагревается от 20 до 70 °С. Количество теплоты  $Q_1$ , отданное горячей водой, равно количеству теплоты  $Q_2$ , полученному ложкой.

Решение задачи в общем виде: уравнение теплового баланса:  $Q_1 = Q_2$ ; количество теплоты, отданное горячей водой:  $Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t)$ ; количество теплоты, полученное алюминиевой ложкой:  $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$ . С учётом этого

уравнение теплового баланса:  $c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2)$ .  
Откуда:  $c_2 = c_1 m_1 (t_1 - t) / m_2 (t - t_2)$ .

4. Закон сохранения энергии в тепловых процессах выполняется при нагревании тел за счёт энергии, выделяющейся при сгорании топлива. Топливо — это природный газ, дрова, уголь, нефть. При его сгорании происходит химическая реакция окисления — атомы углерода соединяются с атомами кислорода, содержащимися в воздухе, и образуется молекула оксида углерода (углекислого газа)  $\text{CO}_2$ . При этом выделяется энергия.

При сгорании различного топлива одинаковой массы выделяется разное количество теплоты. Например, хорошо известно, что природный газ является энергетически более выгодным топливом, чем дрова. Это значит, что для получения одного и того же количества теплоты, масса дров, которые нужно сжечь, должна быть существенно больше массы природного газа. Следовательно, различные виды топлива с энергетической точки зрения характеризуются величиной, называемой **удельной теплотой сгорания топлива**.

Удельная теплота сгорания топлива — физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг.

Удельная теплота сгорания топлива обозначается буквой  $q$ , её единицей является 1 Дж/кг.

Значение удельной теплоты сгорания топлива определяют экспериментально. Наибольшую удельную теплоту сгорания имеет водород, наименьшую — порох.

Удельная теплота сгорания, например, нефти —  $4,4 \cdot 10^7$  Дж/кг. Это означает, что при полном сгорании 1 кг нефти выделяется количество теплоты  $4,4 \cdot 10^7$  Дж.

В общем случае, если масса топлива равна  $m$ , то количество теплоты  $Q$ , выделяющееся при его полном сгорании, равно произведению удельной теплоты сгорания топлива  $q$  на его массу  $m$ :

$$Q = qm.$$

5. Предположим, что внутреннюю энергию тела  $U$  изменили, совершив над ним работу  $A$  и сообщив ему некоторое количество теплоты  $Q$ . В этом случае изменение

внутренней энергии  $U$  равно сумме работы  $A$ , совершённой над телом, и переданного ему количества теплоты  $Q$ :

$$U = A + Q.$$

Записанное выражение представляет собой **первый закон термодинамики**<sup>1</sup>, который является обобщением закона сохранения энергии. Он формулируется следующим образом: **изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы, совершённой над системой внешними силами, и количества теплоты, переданного системе.**

Предположим, что работу совершают не внешние силы, а само тело. Его работа в этом случае

$A' = -A$  и  $Q = U + A'$ . Количество теплоты, переданное телу, идет на изменение его внутренней энергии и на работу тела против внешних сил.

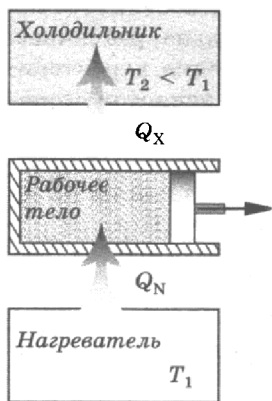


Рис. 72

**6. Устройства, совершающие механическую работу за счёт внутренней энергии топлива, называются тепловыми двигателями.**

Любой тепловой двигатель состоит из нагревателя, холодильника и рабочего тела (рис. 72). В качестве рабочего тела используются газ или пар, поскольку они хорошо сжимаются, и в зависимости от типа двигателя может быть топливо (бензин, керосин), водяной пар и пр. Нагреватель передаёт рабочему телу некоторое количество теплоты ( $Q_1$ ), и его внутренняя энергия

увеличивается, за счёт этой внутренней энергии совершается механическая работа ( $A$ ), затем рабочее тело отдаёт некоторое количество теплоты холодильнику ( $Q_2$ ) и охлаждается при этом до начальной температуры. Описанная схема представляет цикл работы двигателя и является общей, в реальных двигателях роль нагревателя и холодильника могут выполнять различные устройства. Холодильником может служить окружающая среда.

<sup>1</sup> Термодинамика — учение о тепловых процессах.

Поскольку в двигателе часть энергии рабочего тела передается холодильнику, то понятно, что не вся полученная им от нагревателя энергия идет на совершение работы. Соответственно, коэффициент полезного действия двигателя (КПД) равен отношению совершенной работы ( $A$ ) к количеству теплоты, полученному им от нагревателя ( $Q_1$ ):

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} 100\%.$$

Коэффициент полезного действия обычно выражают в процентах.

7. Существует два типа двигателей внутреннего сгорания (ДВС): карбюраторный и дизельный. В карбюраторном двигателе рабочая смесь (смесь топлива с воздухом) готовится вне двигателя в специальном устройстве и из него поступает в двигатель. В дизельном двигателе горячая смесь готовится в самом двигателе.

ДВС (рис. 73) состоит из цилиндра (1), в котором помещается поршень (5); в цилиндре имеются два клапана (2, 3), через один из которых горячая смесь впускается в цилиндр, а через другой отработавшие газы выпускаются из цилиндра. Поршень с помощью кривошипно-шатунного механизма (6, 7) соединяется с коленчатым валом, который приходит во вращение при поступательном движении поршня. Цилиндр закрыт крышкой (4).

Цикл работы ДВС включает четыре такта: впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск. Во время впуска поршень движется вниз, давление в цилиндре уменьшается, и в него через клапан

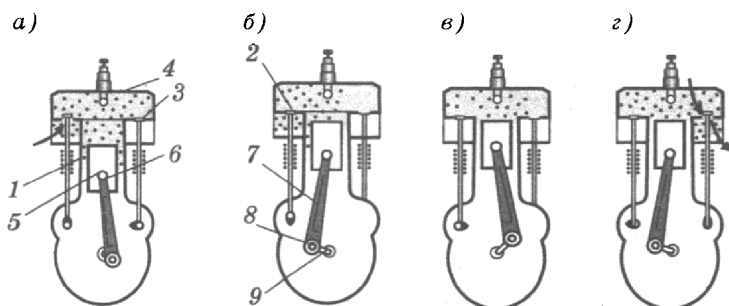


Рис. 73

поступает горючая смесь (в карбюраторном двигателе) или воздух (в дизельном двигателе). Клапан в это время закрыт (рис. 73 а). В конце впуска горючей смеси закрывается клапан.

Во время второго такта поршень движется вверх, клапаны закрыты, и рабочая смесь или воздух сжимаются (рис. 73 б). При этом температура газа повышается: горючая смесь в карбюраторном двигателе нагревается до 300—350 °С, а воздух в дизельном двигателе — до 500—600 °С. В конце такта сжатия в карбюраторном двигателе проскакивает искра, и горючая смесь воспламеняется. В дизельном двигателе в цилиндр впрыскивается топливо, и образовавшаяся смесь самовоспламеняется.

При сгорании горючей смеси газ расширяется и толкает поршень и соединенный с ним коленчатый вал, совершая механическую работу (рис. 73 в). Это приводит к тому, что газ охлаждается.

Когда поршень придёт в нижнюю точку, давление в нём уменьшится. При движении поршня вверх открывается клапан, и происходит выпуск отработавшего газа (рис. 73 г). В конце этого такта клапан закрывается.

8. Паровая турбина представляет собой насаженный на вал диск, на котором укреплены лопасти. На лопасти поступает пар. Пар, нагретый до 600 °С, направляется в сопло и в нём расширяется. При расширении пара происходит превращение его внутренней энергии в кинетическую энергию направленного движения струи пара. Струя пара поступает из сопла на лопасти турбины и передаёт им часть своей кинетической энергии, приводя турбину во вращение. Обычно турбины имеют несколько дисков, каждому из которых передаётся часть энергии пара. Вращение диска передаётся валу, с которым соединён генератор электрического тока.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Для определения удельной теплоты сгорания топлива необходимо знать
  - 1) энергию, выделившуюся при полном сгорании топлива, его объём и начальную температуру

- 2) энергию, выделившуюся при полном сгорании топлива, и его массу
  - 3) энергию, выделившуюся при полном сгорании топлива, и его плотность
  - 4) удельную теплоёмкость вещества, его массу, начальную и конечную температуры
2. В сосуд налили 1 кг воды при температуре 90 °С. Чему равна масса воды, взятой при 30 °С, которую нужно налить в сосуд, чтобы в нём установилась температура воды, равная 50 °С? Потерями энергии на нагревание сосуда и окружающего воздуха пренебречь.
- 1) 1 кг    2) 1,8 кг    3) 2 кг    4) 3 кг
3. В воду, взятую при температуре 20 °С, добавили 1 л воды при температуре 100 °С. Температура смеси оказалась равной 40 °С. Чему равна масса холодной воды? Теплообменом с окружающей средой пренебречь.
- 1) 1 кг    2) 2 кг    3) 3 кг    4) 4 кг
4. В толстостенной трубке быстро сжимают воздух. При этом внутренняя энергия воздуха
- 1) не изменяется
  - 2) увеличивается
  - 3) уменьшается
  - 4) сначала увеличивается, потом не изменяется
5. Газ получил количество теплоты 300 Дж и совершил работу 100 Дж. Внутренняя энергия газа при этом
- 1) увеличилась на 400 Дж
  - 2) увеличилась на 200 Дж
  - 3) уменьшилась на 400 Дж
  - 4) уменьшилась на 200 Дж
6. В двигателе внутреннего сгорания
- 1) внутренняя энергия рабочего тела преобразуется в механическую энергию
  - 2) поршень перемещается за счёт переданного ему количества теплоты
  - 3) механическая энергия поршня превращается во внутреннюю энергию рабочего тела
  - 4) механическая работа совершается за счёт энергии рабочего тела и переданного поршню количества теплоты



7. Двигатель внутреннего сгорания совершает полезную работу при
- 1) сжатии рабочего тела
  - 2) выпуске отработанного газа из цилиндра
  - 3) впуске рабочего тела в цилиндр
  - 4) расширении рабочего тела в цилиндре
8. Рабочим телом в автомобильном двигателе внутреннего сгорания является
- 1) воздух
  - 2) бензин
  - 3) горючая смесь, состоящая из воздуха и паров бензина
  - 4) керосин
9. Тепловой двигатель получает за цикл работы от нагревателя количество теплоты 200 Дж и передаёт холодильнику количество теплоты 80 Дж. Чему равен КПД двигателя?
- 1) 29%
  - 2) 40%
  - 3) 43%
  - 4) 60%
10. Двигатель получает от нагревателя количество теплоты 100 Дж и совершает полезную работу 200 Дж. Чему равен КПД такого двигателя?
- 1) 200%
  - 2) 50%
  - 3) 20%
  - 4) такой двигатель невозможен
11. Установите соответствие между физическими величинами и их единицами в СИ.
- К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию левого столбца и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ
А) количество теплоты	1) Дж/кг
Б) удельная теплоёмкость	2) Дж
В) удельная теплота сгорания	3) Дж/кг °С

12. Установите соответствие между физическими величинами и их возможными изменениями, анализируя следующую ситуацию: «При постоянном давлении газ некоторой массы быстро расширяется. Как при этом изменяются температура газа, его концентрация и внутренняя энергия?» Цифры в ответе могут повторяться. К каждой позиции левого столбца подберите соответствующую позицию левого столбца и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ
А) температура газа	1) не изменяется
Б) концентрация	2) увеличивается
В) внутренняя энергия	3) уменьшается

13. Ударная часть молота массой 10 т свободно падает на стальную деталь массой 200 кг. С какой высоты падает ударная часть молота, если после 32 ударов деталь нагрелась на 20 °С? На нагревание расходуется 25% энергии молота.

## Испарение и конденсация. Кипение жидкости

**1. Явление превращения вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием. Парообразование может осуществляться в виде двух процессов: испарения и кипения.**

Испарение происходит с поверхности жидкости при любой температуре. Так, лужи высыхают и при 10 °С, и при 20 °С, и при 30 °С. Таким образом, **испарением называется процесс превращения вещества из жидкого состояния в газообразное, происходящий с поверхности жидкости при любой температуре.**

С точки зрения молекулярно-кинетической теории строения вещества испарение жидкости объясняется следующим образом. Молекулы жидкости, участвуя в непрерывном движении, имеют разные скорости. Наиболее быстрые молекулы, находящиеся на границе поверхности воды и воздуха и имеющие сравнительно большую энергию, преодолевают притяжение соседних молекул и покидают жидкость. Таким образом, над жидкостью образуется пар.

Поскольку из жидкости при испарении вылетают молекулы, обладающие большей внутренней энергией по сравнению с энергией молекул, остающихся в жидкости, то средняя скорость и средняя кинетическая энергия молекул жидкости уменьшаются и, следовательно, температура жидкости уменьшается.

Скорость испарения жидкости зависит от рода жидкости. Так, скорость испарения эфира больше, чем скорость испарения воды и растительного масла. Кроме того, скорость испарения зависит от движения воздуха над поверхностью жидкости. Доказательством может служить то, что бельё сохнет быстрее на ветру, чем в безветренном месте при тех же внешних условиях.

Скорость испарения зависит от температуры жидкости. Например, вода при температуре  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  испаряется быстрее, чем вода при  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Хорошо известно, что вода, налитая в блюдце, испарится быстрее, чем вода такой же массы, налитая в стакан. Следовательно, скорость испарения зависит от площади поверхности жидкости.

## **2. Процесс превращения вещества из газообразного состояния в жидкое называется конденсацией.**

Процесс конденсации происходит одновременно с процессом испарения. Молекулы, вылетевшие из жидкости и находящиеся над её поверхностью, участвуют в хаотическом движении. Они сталкиваются с другими молекулами, и в какой-то момент времени их скорости могут быть направлены к поверхности жидкости, и молекулы вернутся в неё.

Если сосуд открыт, то процесс испарения происходит быстрее, чем конденсация, и масса жидкости в сосуде уменьшается. Пар, образующийся над жидкостью, называется **ненасыщенным**.

Если жидкость находится в закрытом сосуде, то вначале число молекул, вылетающих из жидкости, будет больше, чем число молекул, возвращающихся в неё, но с течением времени плотность пара над жидкостью возрастет настолько, что число молекул, покидающих жидкость, станет равным числу молекул, возвращающихся в неё. В этом случае наступает **динамическое равновесие жидкости с её паром**.

**Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется насыщенным паром.**

Если сосуд с жидкостью, в котором находится насыщенный пар, нагреть, то вначале число молекул, вылетающих из жидкости, увеличится и будет больше, чем число молекул, возвращающихся в неё. С течением времени равновесие восстановится, но плотность пара над жидкостью и соответственно его давление увеличатся.

3. В воздухе всегда содержится водяной пар, являющийся продуктом испарения воды. Содержание водяного пара в воздухе характеризует его влажность.

**Абсолютной влажностью воздуха ( $\rho$ ) называют массу водяного пара, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха, или плотность водяного пара, содержащегося в воздухе.**

Если относительная влажность равна  $9,41 \cdot 10^{-3} \text{кг/м}^3$ , то это означает, что в 1 м<sup>3</sup> содержится  $9,41 \cdot 10^{-3} \text{кг}$  водяного пара.

Для того чтобы судить о степени влажности воздуха, вводят величину, называемую **относительной влажностью.**

**Относительной влажностью воздуха ( $\phi$ ) называют величину, равную отношению плотности водяного пара ( $\rho$ ), содержащегося в воздухе (абсолютной влажности), к плотности насыщенного водяного пара ( $\rho_0$ ) при этой температуре:**

$$\phi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%$$

Обычно относительную влажность выражают в процентах.

При понижении температуры ненасыщенный пар может превратиться в насыщенный. Примером такого превращения является выпадение росы и образование тумана. Так, летним днём при температуре 30 °С плотность водяного пара равна  $12,8 \cdot 10^{-3} \text{кг/м}^3$ . Этот водяной пар является ненасыщенным. При понижении вечером температуры до 15 °С он уже будет насыщенным, и выпадет роса.

**Температуру, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным, называют точкой росы.**

Для измерения влажности воздуха используют прибор, называемый **психрометром**.

Психрометр состоит из двух термометров, один из которых сухой, а другой — влажный (рис. 74). Термометры прикреплены к таблице, в которой по вертикали указана температура, которую показывает сухой термометр, а по горизонтали — разность показаний сухого и влажного термометров. Определив показания термометров, по таблице находят значение относительной влажности воздуха.

Например, температура, которую показывает сухой термометр,  $20^{\circ}\text{C}$ , показание влажного термометра —  $15^{\circ}\text{C}$ . Разность показаний  $5^{\circ}\text{C}$ . По таблице находим значение относительной влажности  $\varphi = 59\%$ .

4. Второй процесс парообразования — **кипение**. Наблюдать этот процесс можно с помощью простого опыта, нагревая воду в стеклянной колбе. При нагревании воды в ней через некоторое время появляются пузырьки, в которых содержатся воздух и насыщенный водяной пар, который образуется при испарении воды внутри пузырьков. При повышении температуры давление внутри пузырьков растёт, и под действием выталкивающей силы они поднимаются вверх. Однако, поскольку температура верхних слоёв воды меньше, чем нижних, пар в пузырьках начинает конденсироваться, и они сжимаются. Когда вода прогреется по всему объёму, пузырьки с паром поднимаются до поверхности, лопаются, и пар выходит наружу. Вода кипит. Это происходит при такой температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках равно атмосферному давлению.

Процесс парообразования, происходящий во всем объёме жидкости при определённой температуре, называют **кипением**. Температуру, при которой жидкость кипит, называют **температурой кипения**.

Эта температура зависит от атмосферного давления. При повышении атмосферного давления температура кипения возрастает.

Опыт показывает, что в процессе кипения температура жидкости не изменяется, несмотря на то, что извне поступает энергия. Переход жидкости в газообразное состоя-

ние при температуре кипения связан с увеличением расстояния между молекулами и соответственно с преодолением притяжения между ними. На совершение работы по преодолению сил притяжения расходуется подводимая к жидкости энергия. Так происходит до тех пор, пока вся жидкость не превратится в пар. Поскольку жидкость и пар в процессе кипения имеют одинаковую температуру, то средняя кинетическая энергия молекул не изменяется, увеличивается лишь их потенциальная энергия.

На рисунке 75 приведён график зависимости температуры воды от времени в процессе её нагревания от комнатной температуры до температуры кипения (АВ), кипения (ВВ), нагревания пара (ВГ), охлаждения пара (ГД), конденсации (ДЕ) и последующего охлаждения (ЕЖ).

5. Для превращения разных веществ из жидкого состояния в газообразное требуется разная энергия, эта энергия характеризуется величиной, называемой удельной теплотой парообразования.

Удельной теплотой парообразования ( $L$ ) называют величину, равную отношению количества теплоты, которое нужно сообщить веществу массой 1 кг, для превращения его из жидкого состояния в газообразное при температуре кипения.

Единица удельной теплоты парообразования —  $[L]=\text{Дж/кг}$ .

Чтобы рассчитать количество теплоты  $Q$ , которое необходимо сообщить веществу массой  $m$  для его превращения из жидкого состояния в газообразное, необходимо удельную теплоту парообразования ( $L$ ) умножить на массу вещества:  $Q = Lm$ .

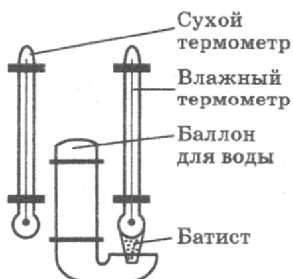


Рис. 74

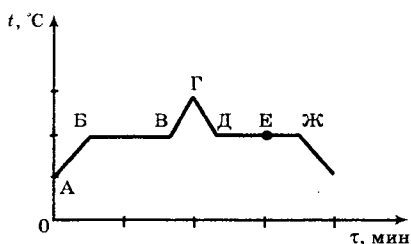


Рис. 75

При конденсации пара выделяется некоторое количество теплоты, причем его значение равно значению количества теплоты, которое необходимо затратить для превращения жидкости в пар при той же температуре.

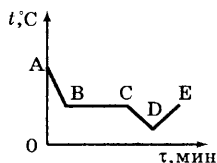
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Испарение и кипение — два процесса превращения вещества из одного агрегатного состояния в другое. Общей характеристикой этих процессов является то, что оба они  
А. Представляют собой процесс превращения вещества из жидкого состояния в газообразное  
Б. Происходят при определённой температуре  
Правильный ответ  
1) только А  
2) только Б  
3) и А, и Б  
4) ни А, ни Б
- Испарение и кипение — два процесса перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое. Различие между ними заключается в том, что  
А. Кипение происходит при определённой температуре, а испарение — при любой температуре.  
Б. Испарение происходит с поверхности жидкости, а кипение — во всём объёме жидкости.  
Правильным(-и) является(-ются) утверждение(-я)  
1) только А  
2) только Б  
3) и А, и Б  
4) ни А, ни Б
- При нагревании вода превращается в пар той же температуры. При этом  
1) увеличивается среднее расстояние между молекулами  
2) уменьшается средний модуль скорости движения молекул  
3) увеличивается средний модуль скорости движения молекул  
4) уменьшается среднее расстояние между молекулами

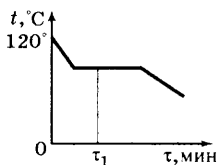
4. В процессе конденсации водяного пара при неизменной его температуре выделилось некоторое количество теплоты. Что произошло с энергией молекул водяного пара?
- 1) изменилась как потенциальная, так и кинетическая энергия молекул пара
  - 2) изменилась только потенциальная энергия молекул пара
  - 3) изменилась только кинетическая энергия молекул пара
  - 4) внутренняя энергия молекул пара не изменилась

5. На рисунке приведён график зависимости температуры воды от времени при её охлаждении и последующем нагревании. Первоначально вода находилась в газообразном состоянии. Какой участок графика соответствует процессу конденсации воды?



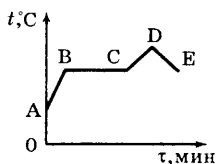
- 1) АВ
- 2) ВС
- 3) CD
- 4) DE

6. На рисунке приведён график зависимости температуры воды от времени. В начальный момент времени вода находилась в газообразном состоянии. В каком состоянии находится вода в момент времени  $\tau_1$ ?



- 1) только в газообразном
- 2) только в жидком
- 3) часть воды в жидком состоянии, часть — в газообразном
- 4) часть воды в жидком состоянии, часть — в кристаллическом

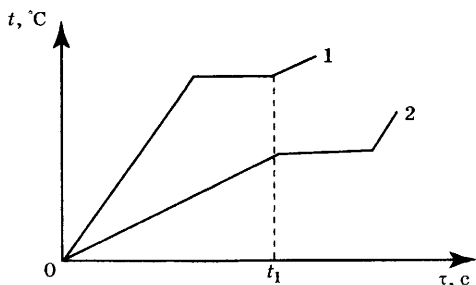
7. На рисунке приведён график зависимости температуры спирта от времени при его нагревании и последующем охлаждении. Первоначально спирт находился в жидком состоянии. Какой участок графика соответствует процессу кипения спирта?



- 1) АВ
- 2) ВС
- 3) CD
- 4) DE







- 1) Вещество 1 полностью переходит в газообразное состояние, когда начинается кипение вещества 2
- 2) Удельная теплоёмкость вещества 1 больше, чем вещества 2
- 3) Удельная теплота парообразования вещества 1 больше, чем вещества 2
- 4) Температура кипения вещества 1 выше, чем вещества 2
- 5) В течение промежутка времени  $0 \text{---} t_1$  оба вещества находились в жидком состоянии

## Часть 2

13. Какое количество теплоты необходимо для превращения в стоградусный пар 200 г воды, взятой при температуре  $40^\circ\text{C}$ ? Потерями энергии на нагревание окружающего воздуха пренебречь.

## Плавление и кристаллизация

**1. Плавлением называется процесс превращения вещества из твёрдого состояния в жидкое.**

Наблюдения показывают, что если измельчённый лёд, имеющий, например, температуру  $-10^\circ\text{C}$ , оставить в тёплой комнате, то его температура будет повышаться. При  $0^\circ\text{C}$  лёд начнет таять, а температура при этом не будет изменяться до тех пор, пока весь лёд не превратится в жидкость. После этого температура образовавшейся из льда воды будет повышаться.

Это означает, что кристаллические тела, к которым относятся и лёд, плавятся при определённой температуре,

которую называют **температурой плавления**. Важно, что во время процесса плавления температура кристаллического вещества и образовавшейся в процессе его плавления жидкости остаётся неизменной.

2. В описанном выше опыте лёд получал некоторое количество теплоты, его внутренняя энергия увеличивалась за счёт увеличения средней кинетической энергии движения молекул. Затем лёд плавился, его температура при этом не менялась, хотя лёд получал некоторое количество теплоты. Следовательно, его внутренняя энергия увеличивалась, но не за счёт кинетической, а за счёт потенциальной энергии взаимодействия молекул. Получаемая извне энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки. Подобным образом происходит плавление любого кристаллического тела.

Аморфные тела не имеют определённой температуры плавления. При повышении температуры они постепенно размягчаются, пока не превратятся в жидкость.

3. Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое состояние называют **кристаллизацией**. Охлаждаясь, жидкость будет отдавать некоторое количество теплоты окружающему воздуху. При этом будет уменьшаться её внутренняя энергия за счёт уменьшения средней кинетической энергии его молекул. При определённой температуре начнётся процесс кристаллизации, во время этого процесса температура вещества не будет изменяться, пока всё вещество не перейдет в твёрдое состояние. Этот переход сопровождается выделением определённого количества теплоты и соответственно уменьшением внутренней энергии вещества за счёт уменьшения потенциальной энергии взаимодействия его молекул.

Таким образом, переход вещества из жидкого состояния в твёрдое состояние происходит при определённой температуре, называемой **температурой кристаллизации**. Эта температура остаётся неизменной в течение всего процесса плавления. Она равна температуре плавления этого вещества.

На рисунке 76 приведён график зависимости температуры твёрдого кристаллического вещества от времени в процессе его нагревания от комнатной температуры до

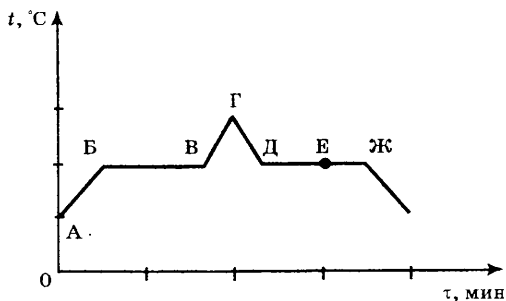


Рис. 76

температуры плавления (АБ), плавления (БВ), нагревания вещества в жидком состоянии (ВГ), охлаждения жидкого вещества (ГД), кристаллизации (ДЕ) и последующего охлаждения вещества в твёрдом состоянии (ЕЖ).

4. Различные кристаллические вещества имеют разное строение. Соответственно, для того, чтобы разрушить кристаллическую решётку твёрдого тела при температуре его плавления, необходимо ему сообщить разное количество теплоты.

**Количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг кристаллического вещества, чтобы превратить его в жидкость при температуре плавления, называют удельной теплотой плавления.**

Опыт показывает, что удельная теплота плавления равна удельной теплоте кристаллизации.

Удельную теплоту плавления обозначают буквой  $\lambda$ . Единица удельной теплоты плавления –  $[\lambda]=1$  Дж/кг.

Значения удельной теплоты плавления кристаллических веществ приведены в таблице. Удельная теплота плавления алюминия  $3,9 \cdot 10^5$  Дж/кг. Это означает, что для плавления 1 кг алюминия при температуре плавления необходимо затратить количество теплоты  $3,9 \cdot 10^5$  Дж. Этому же значению равно увеличение внутренней энергии 1 кг алюминия.

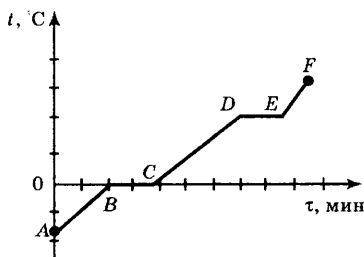
Чтобы вычислить количество теплоты  $Q$ , необходимое для плавления вещества массой  $m$ , взятого при температуре плавления, следует удельную теплоту плавления  $\lambda$  умножить на массу вещества:  $Q = \lambda m$ .

Эта же формула используется при вычислении количества теплоты, выделяющегося при кристаллизации жидкости.

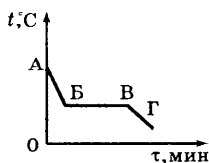
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. В процессе плавления кристаллическое твёрдое тело становится жидкостью. При этом
  - 1) уменьшается внутренняя энергия тела
  - 2) увеличивается средняя кинетическая энергия молекул
  - 3) увеличивается внутренняя энергия тела
  - 4) уменьшается средняя кинетическая энергия молекул
2. В одном сосуде находится лёд при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в другом — такая же масса воды при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Внутренняя энергия льда
  - 1) равна внутренней энергии воды
  - 2) больше внутренней энергии воды
  - 3) меньше внутренней энергии воды
  - 4) равна нулю
3. На рисунке представлен график зависимости температуры от времени для процесса нагревания льда. Процессу плавления льда соответствует участок графика

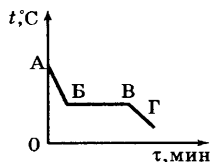


- 1) AB
  - 2) BC
  - 3) CD
  - 4) DE
4. На рисунке приведён график зависимости температуры некоторого вещества от времени. Первоначально вещество находилось в жидком состоянии. Какая точка графика соответствует началу процесса отвердевания вещества?



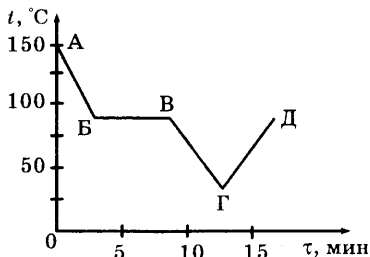
- 1) A
- 2) B
- 3) C
- 4) D

5. На рисунке приведён график зависимости температуры некоторого вещества от времени. Первоначально вещество находилось в жидком состоянии. Какая точка графика соответствует окончанию процесса отвердевания вещества?



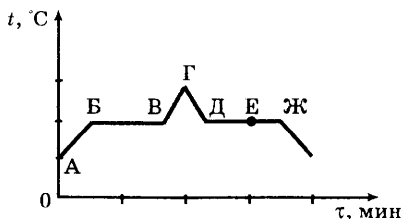
- 1) А      2) Б      3) В      4) Г

6. На рисунке изображён график зависимости температуры тела от времени. Первоначально тело находилось в жидком состоянии. Какой процесс характеризует отрезок БВ?



- 1) нагревание                                      3) плавление  
2) охлаждение                                    4) кристаллизацию

7. На рисунке представлен график зависимости температуры  $t$  от времени  $\tau$  при непрерывном нагревании и последующем непрерывном охлаждении вещества, первоначально находящегося в твёрдом состоянии. В каком состоянии находится вещество в точке Е?



- 1) только в жидком  
2) только в твёрдом  
3) только в газообразном  
4) часть — в жидком, часть — в твёрдом

8. Удельную теплоту плавления можно рассчитать по формуле

1)  $\frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$     2)  $\frac{Q}{m}$     3)  $\frac{Q}{(t_2 - t_1)}$     4)  $\lambda m$

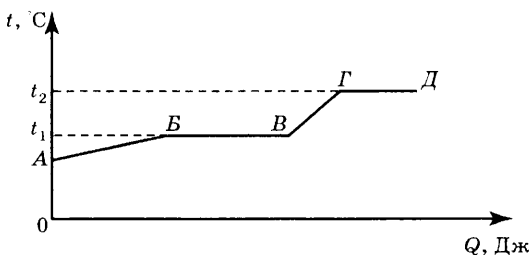
9. Чему равно количество теплоты, которое необходимо затратить на полное превращение 2 кг свинца в жидкое состояние, если его начальная температура 27 °С?

1) 50 кДж    2) 78 кДж    3) 128 кДж    4) 15000 кДж

10. Какое количество теплоты выделяется при превращении 500 г воды, взятой при 0 °С, в лёд при температуре -10 °С? Потерями энергии на нагревание окружающего воздуха пренебречь.

1) 10500 Дж    3) 165 000 Дж  
2) 175 500 Дж    4) 10500 Дж

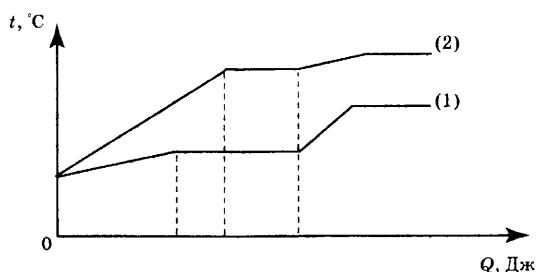
11. На рисунке представлен график зависимости температуры некоторого вещества от полученного количества теплоты. Первоначально вещество находилось в твёрдом состоянии.



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня **два** верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) Удельная теплоёмкость вещества в твёрдом состоянии равна удельной теплоёмкости вещества в жидком состоянии.
- 2) Температура кипения вещества равна  $t_1$ .
- 3) В точке В вещество находится в твёрдом состоянии.
- 4) В процессе перехода из состояния Б в состояние В внутренняя энергия вещества увеличивается.
- 5) Участок графика ГД соответствует процессу плавления вещества.

12. На рисунке представлены графики зависимости температуры от полученного количества теплоты для двух веществ одинаковой массы. Первоначально каждое из веществ находилось в твёрдом состоянии.

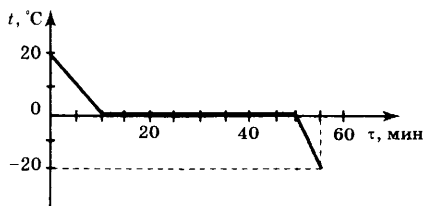


Используя данные графиков, выберите из предложенного перечня два верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) Удельная теплоёмкость первого вещества в твёрдом состоянии меньше удельной теплоёмкости второго вещества в твёрдом состоянии.
- 2) В процессе плавления первого вещества было израсходовано большее количество теплоты, чем в процессе плавления второго вещества.
- 3) Представленные графики не позволяют сравнить температуры кипения двух веществ.
- 4) Температура плавления второго вещества выше.
- 5) Удельная теплота плавления у второго вещества больше.

## Часть 2

13. Зависимость температуры 1 л воды от времени при непрерывном охлаждении представлена на графике. Какое количество теплоты выделилось при кристаллизации воды и охлаждении льда?





# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

---

**Электризация тел. Два вида электрических зарядов. Взаимодействие электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда**

1. Если стеклянную палочку потереть о шёлк или бумагу, то она приобретёт способность притягивать лёгкие тела, например бумажки, волосы и пр. Тот же эффект можно наблюдать, если поднести к лёгким предметам эбонитовую палочку, потертую о мех. Тела, которые в результате трения приобретают способность притягивать другие тела, называют **наэлектризованными или заряженными**, а явление приобретения телами электрического заряда называют **электризацией**.

Подвесив на двух нитях лёгкие шарики из фольги и коснувшись каждого из них стеклянной палочкой, потёртой о шёлк, можно увидеть, что шарики оттолкнутся друг от друга. Если потом коснуться одного шарика стеклянной палочкой, потёртой о шёлк, а другого эбонитовой палочкой, потёртой о мех, то шарики притянутся друг к другу. Это означает, что стеклянная и эбонитовая палочки при трении приобретают заряды разных знаков, т.е. в природе существуют два рода электрических зарядов, имеющих противоположные знаки: положительный и отрицательный. Условились считать, что стеклянная палочка, потёртая о шёлк, приобретает положительный заряд, а эбонитовая палочка, потёртая о мех, приобретает отрицательный заряд.

Из описанного опыта также следует, что заряженные тела взаимодействуют друг с другом. Такое взаимодействие называют **электрическим**. При этом **одноимённые заряды, т.е. заряды одного знака, отталкиваются друг от друга, а разноимённые заряды притягиваются друг к другу**.

На явлении отталкивания одноимённо заряженных тел основано устройство электроскопа — прибора, позволяю-

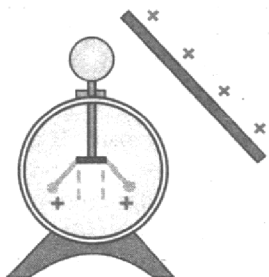


Рис. 77. Электроскоп

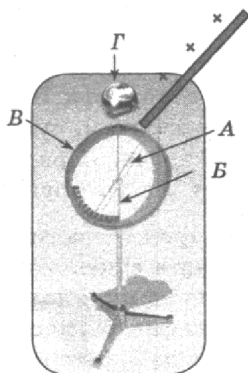


Рис. 78. Электрометр. А — лёгкая подвижная стрелка, Б — стержень, В — металлический корпус, Г — металлический шар

щего определить, заряжено ли данное тело (рис. 77), и электрометра, прибора, позволяющего оценить значение электрического заряда (рис. 78).

Если заряженным телом коснуться стержня электроскопа, то листочки электроскопа разойдутся, поскольку они приобретут заряд одного знака. То же произойдёт со стрелкой электрометра, если коснуться заряженным телом его стержня. При этом, чем больше заряд, тем на больший угол отклонится стрелка от стержня.

2. Из простых опытов следует, что сила взаимодействия между заряженными телами может быть больше или меньше в зависимости от величины приобретённого заряда. Таким образом, можно сказать, что электрический заряд, с одной стороны, характеризует способность тела к электрическому взаимодействию, а с другой стороны, является величиной, определяющей интенсивность этого взаимодействия.

Заряд обозначают буквой  $q$ , за единицу заряда принят кулон:  $[q] = 1 \text{ Кл}$ .

Если коснуться заряженной палочкой одного электрометра, а затем этот электрометр соединить металлическим стержнем с другим электрометром, то заряд, находящийся на первом электрометре, поделится между двумя электро-

метрами. Можно затем соединить электромметр с ещё несколькими электромметрами, и заряд будет делиться между ними. Таким образом, электрический заряд обладает свойством делимости. Пределом делимости заряда, т.е. наименьшим зарядом, существующим в природе, является заряд электрона. Заряд электрона отрицателен и равен  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Любой другой заряд кратен заряду электрона.

3. Электрон — частица, входящая в состав атома. В истории физики существовало несколько моделей строения атома. Одна из них, позволяющая объяснить ряд экспериментальных фактов, в том числе явление электризации, была предложена Э. Резерфордом. На основании проделанных опытов он сделал вывод о том, что в центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого по орбитам движутся отрицательно заряженные электроны. У нейтрального атома положительный заряд ядра равен суммарному отрицательному заряду электронов. Ядро атома состоит из положительно заряженных протонов и нейтральных частиц нейтронов. Заряд протона по модулю равен заряду электрона. Если из нейтрального атома удалены один или несколько электронов, то он становится положительно заряженным ионом; если к атому присоединяются электроны, то он становится отрицательно заряженным ионом.

Знания о строении атома позволяют объяснить явление электризации трением. Электроны, слабо связанные с ядром, могут отделиться от одного атома и присоединиться к другому. Это объясняет, почему на одном теле может образоваться недостаток электронов, а на другом — их избыток. В этом случае первое тело становится заряженным положительно, а второе — отрицательно.

4. Если потереть незаряженные стеклянную и эбонитовую пластинки друг о друга и затем внести их по очереди в полый шар, надетый на стержень электромметра, то электромметр зафиксирует наличие заряда и у стеклянной, и у эбонитовой пластинки. При этом можно показать, что пластинки будут иметь заряд противоположных знаков. Если в шар внести обе пластины стрелка электромметра останется на нуле. Подобное можно обнаружить, если потереть эбонитовую палочку о мех: мех, так же как и палочка, будет заряжен, но зарядом противоположного знака.

В результате трения электроны перешли со стеклянной пластины на эбонитовую, и стеклянная пластина оказалась заряженной положительно (недостаток электронов), а эбонитовая отрицательно (избыток электронов). Таким образом, при электризации происходит перераспределение заряда, электризуются оба тела, приобретая равные по модулю заряды противоположных знаков.

При этом алгебраическая сумма электрических зарядов до и после электризации остаётся постоянной:  $q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$

В описанном опыте  $q_n$  алгебраическая сумма зарядов пластин до и после электризации равна нулю.

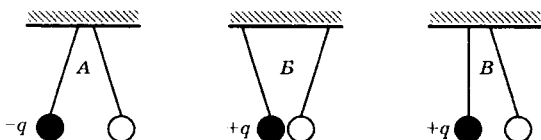
Записанное равенство выражает фундаментальный закон природы — закон сохранения электрического заряда. Как и любой физический закон, он имеет определённые границы применимости: он справедлив для замкнутой системы тел, т.е. для совокупности тел, изолированных от других объектов.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Если массивную гирию поставить на пластину из изолятора и соединить с электрометром, а затем несколько раз ударить по ней куском меха, то гирия приобретёт отрицательный заряд и стрелка электрометра отклонится. При этом кусок меха приобретёт заряд
  - 1) равный нулю
  - 2) положительный, равный по модулю заряду гири
  - 3) отрицательный, равный заряду гири
  - 4) положительный, больший по модулю заряда гири
2. Два точечных заряда будут притягиваться друг к другу, если заряды
  - 1) одинаковы по знаку и любые по модулю
  - 2) одинаковы по знаку и обязательно одинаковы по модулю
  - 3) различны по знаку, но обязательно одинаковы по модулю
  - 4) различны по знаку и любые по модулю

3. На рисунках изображены три пары одинаковых лёгких заряженных шариков, подвешенных на шёлковых нитях. Заряд одного из шариков указан на рисунках. В каком(-их) случае(-ях) заряд второго шарика может быть отрицателен?



- 1) только А
  - 2) А и Б
  - 3) только В
  - 4) А и В
4. Ученик во время опыта по изучению взаимодействия металлического шарика, подвешенного на шёлковой нити, с положительно заряженным пластмассовым шариком, расположенным на изолирующей стойке, зарисовал в тетради наблюдаемое явление: нить с шариком отклонилась от вертикали на угол  $\alpha$ . На основании рисунка можно утверждать, что металлический шарик
- 
- 1) имеет положительный заряд
  - 2) имеет отрицательный заряд
  - 3) не заряжен
  - 4) либо не заряжен, либо имеет отрицательный заряд
5. Отрицательно заряженное тело отталкивает подвешенный на нити лёгкий шарик из алюминиевой фольги. Заряд шарика:
- А. положителен
  - Б. отрицателен
  - В. равен нулю
- Верными являются утверждения:
- 1) только Б
  - 2) Б и В
  - 3) А и В
  - 4) только В



11. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) Сила взаимодействия между электрическими зарядами тем больше, чем больше расстояние между ними.
- 2) При электризации трением двух тел их суммарный заряд равен нулю.
- 3) Сила взаимодействия между электрическими зарядами тем больше, чем больше заряды.
- 4) При соединении двух заряженных тел их общий заряд будет меньше, чем алгебраическая сумма их зарядов до соединения.
- 5) При трении эбонитовой палочки о мех заряд приобретает только эбонитовая палочка.

12. В процессе трения о шёлк стеклянная линейка приобрела положительный заряд. Как при этом изменилось количество заряженных частиц на линейке и шёлке при условии, что обмен атомами при трении не происходил? Установите соответствие между физическими величинами и их возможными изменениями при этом.

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) количество протонов на шёлке	1) увеличилась 2) уменьшилась
Б) количество протонов на стеклянной линейке	3) не изменилась
В) количество электронов на шёлке	

**Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды. Проводники и диэлектрики**

1. Электрическое взаимодействие отличается от взаимодействия тел, изучаемого механикой, прежде всего тем, что заряженные тела взаимодействуют, находясь на некотором расстоянии друг от друга. Это взаимодействие на-

блюдается как в вещественной среде, так и в безвоздушном пространстве. Согласно утверждению английских учёных М. Фарадея и Д. Максвелла, в пространстве, в котором находится заряженное тело, существует **электрическое поле**. Посредством этого поля одно заряженное тело действует на другое.

Электрическое поле материально, наряду с веществом оно представляет собой вид материи. Это означает, что электрическое поле реально, оно существует независимо от нас. Убедиться в реальности электрического поля заряженного тела можно, наблюдая его действие на другие тела.

Силу, с которой поле действует на внесённый в него электрический заряд, называют **электрической силой**. Предположим, что в электрическое поле, существующее вокруг некоторого заряженного тела, вносят электрический заряд. Значение силы, с которой это поле действует на заряд, зависит от расстояния между зарядами и от значения этих зарядов.

2. Одним из способов электризации тел является электризация через влияние. Предположим, что к шару электрометра поднесли, не касаясь его, отрицательно заряженную палочку. Электрическое поле этой палочки будет действовать на заряды, содержащиеся в электрометре. При этом свободные электроны будут отталкиваться и соберутся на конце стержня и на стрелке, отклонение стрелки покажет наличие заряда. На шаре электрометра при этом будет избыточный положительный заряд. Если палочку убрать, то стрелка электрометра вернётся в ноль.

Для того чтобы на электрометре остался заряд, его нужно заземлить, т.е. соединить с Землёй. Это можно сделать, если коснуться шара электрометра рукой. Тогда электроны, стремясь уйти как можно дальше, переместятся с электрометра в землю. Если теперь убрать руку и палочку, то стрелка покажет, что электрометр заряжен. На нём останется избыточный положительный заряд. Аналогично электрометр может приобрести отрицательный заряд, если поднести к нему положительно заряженную па-



лочку. В этом случае при заземлении на электрометре будет избыток электронов.

**3.** В рассмотренном выше опыте электрические заряды перемещались по электрометру. По эбонитовой палочке они не перемещались, в противном случае при касании её рукой она бы разряжалась. Из этого следует, что существуют вещества, по которым заряды могут перемещаться, и вещества, по которым заряды не могут перемещаться.

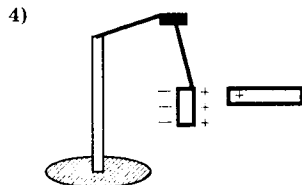
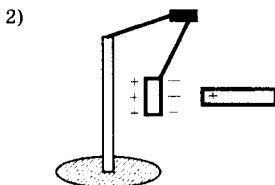
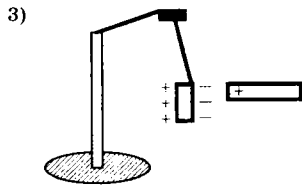
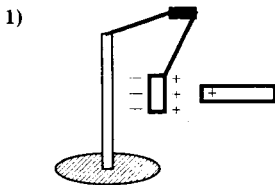
Первый класс веществ называют **проводниками**. Хорошими проводниками являются металлы. Это связано с тем, что в металлах существуют электроны, слабо связанные с ядром атома и имеющие возможность свободно перемещаться. Если поместить проводник в электрическое поле так, как это было в рассмотренном опыте с электрометром, то произойдёт разделение зарядов.

Второй класс веществ называют **диэлектриками**. К ним относятся эбонит, стекло, пластмассы и пр. В диэлектрике нет свободных зарядов. Если внести диэлектрик в электрическое поле, то нейтральный атом в нём примет определённую ориентацию, однако никакого перемещения зарядов не произойдет.

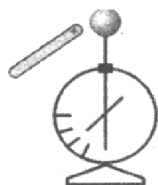
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Лёгкий незаряженный шарик из металлической фольги подвешен на тонкой шёлковой нити. При поднесении к шарiku стержня с положительным электрическим зарядом (без прикосновения) шарик
  - 1) отталкивается от стержня
  - 2) не испытывает ни притяжения, ни отталкивания
  - 3) на больших расстояниях притягивается к стержню, на малых расстояниях отталкивается
  - 4) притягивается к стержню
2. К незаряженной лёгкой металлической гильзе, подвешенной на шёлковой нити, поднесли, не касаясь, положительно заряженную стеклянную палочку. На каком рисунке правильно показано поведение гильзы и распределение зарядов на ней?

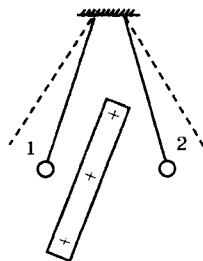


3. К незаряженному электromетру поднесли положительно заряженную палочку. Какой заряд приобретут шар и стрелка электromетра?



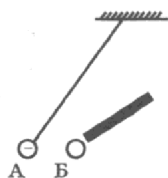
- 1) шар и стрелка будут заряжены отрицательно
- 2) шар и стрелка будут заряжены положительно
- 3) на шаре будет избыточный положительный заряд, на стрелке — избыточный отрицательный заряд
- 4) на шаре будет избыточный отрицательный заряд, на стрелке — избыточный положительный заряд

4. К двум одинаковым заряженным шарикам, подвешенным на изолирующих нитях, подносят положительно заряженную стеклянную палочку. В результате положение шариков изменяется так, как показано на рисунке (пунктирными линиями указано первоначальное положение нитей). Это означает, что

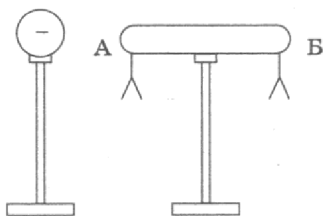


- 1) оба шарика заряжены положительно
- 2) оба шарика заряжены отрицательно
- 3) первый шарик заряжен положительно, а второй — отрицательно
- 4) первый шарик заряжен отрицательно, а второй — положительно

5. К подвешенному на тонкой нити отрицательно заряженному шару А поднесли, не касаясь, шарик Б. Шарик А отклонился, как показано на рисунке. Шарик Б



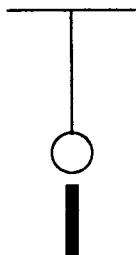
- 1) имеет отрицательный заряд
  - 2) имеет положительный заряд
  - 3) может быть не заряжен
  - 4) может иметь как положительный, так и отрицательный заряд
6. К отрицательно заряженному электроскопу поднесли, не касаясь его, диэлектрическую палочку. При этом листочки электроскопа разошлись на заметно больший угол. Заряд палочки может быть
- 1) только положительным
  - 2) только отрицательным
  - 3) и положительным, и отрицательным
  - 4) равным нулю
7. К незаряженному изолированному проводнику АБ приблизили изолированный отрицательно заряженный металлический шар. В результате листочки, подвешенные с двух сторон проводника, разошлись на некоторый угол (см. рисунок).



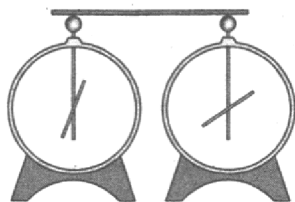
Распределение заряда в проводнике АБ правильно изображено на рисунке

- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1) |  | 3) |  |
| 2) |  | 4) |  |

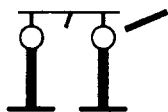
8. На нити подвешен незаряженный металлический шарик. К нему снизу поднесли заряженную палочку. Изменится ли сила натяжения нити, и если да, то как?



- 1) не изменится
  - 2) увеличится независимо от знака заряда палочки
  - 3) уменьшится независимо от знака заряда палочки
  - 4) увеличится или уменьшится в зависимости от знака заряда палочки
9. Из какого материала может быть сделан стержень, соединяющий электроскопы, изображённые на рисунке?



- А. Сталь  
Б. Стекло
- 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) и А, и Б
  - 4) ни А, ни Б
10. Два металлических шарика, укрепленных на изолирующей подставке, соединили металлическим стержнем. К правому шарiku поднесли отрицательно заряженную палочку, затем убрали стержень и заряженную палочку. Какой заряд будет на правом и на левом шариках?



11. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу.
- 1) Вокруг электрического заряда существует электрическое поле.
  - 2) В диэлектрике, помещенном в электрическое поле, происходит перераспределение зарядов.
  - 3) Электрическое поле невидимо и не может быть обнаружено.
  - 4) При электризации через влияние в проводнике происходит перераспределение зарядов.
  - 5) Диэлектрику можно сообщить электрический заряд, поместив его в электрическое поле.
12. Электромметр с шариком на его конце помещён в поле отрицательного заряда. При этом его стрелка отклонилась на некоторый угол. Как при этом изменилось количество заряженных частиц электромметре? Установите соответствие между физическими величинами и их возможными изменениями при этом. Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) количество протонов на шарике	1) увеличилась
Б) количество электронов на шарике	2) уменьшилась
В) количество электронов на стрелке	3) не изменилась

**Постоянный электрический ток. Сила тока.  
Напряжение. Электрическое сопротивление.  
Закон Ома для участка электрической цепи**

**1. Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц.**

Для того чтобы в проводнике существовал электрический ток, необходимы два условия: наличие свободных заряженных частиц и электрического поля, которое создаёт их направленное движение.

При существовании тока в разных средах: в металлах, жидкостях, газах — электрический заряд переносится разными частицами. В металлах этими частицами являются элект-

роны, в жидкостях заряд переносится ионами, в газах — электронами, положительными и отрицательными ионами.

Дистиллированная вода не проводит электрический ток, поскольку она не содержит свободных зарядов. Если в воду добавить поваренную соль или медный купорос, то в ней появятся свободные заряды, и она станет проводником электрического тока. В растворе поваренной соли в воде происходит **электролитическая диссоциация** —

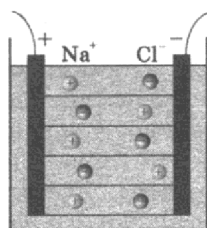


Рис. 79

процесс разложения молекулы поваренной соли на положительный ион натрия и отрицательный ион хлора. Если в сосуд с раствором поваренной соли поместить две металлические пластины, соединённые с источником тока (рис. 79), то положительный ион натрия в электрическом поле будет двигаться к пластине, соединённой с отрицательным полюсом источника тока, называемым катодом, а отрицательный ион хлора — с положительным полюсом источника тока, называемым анодом.

Газы в обычных условиях тоже не проводят электрический ток, так как в них нет свободных зарядов. Однако если в воздушный промежуток между двумя металлическими пластинами, соединёнными с источником тока, внести зажжённую спичку или спиртовку, то газ станет проводником и гальванометр зафиксирует протекание тока по цепи. При внесении пламени в воздушный промежуток между пластинами происходит ионизация газа (рис. 80). При этом от атома «отрываются» электроны и образуется положительный ион. Во время движения электрон может присоединиться к нейтральному атому и образовать отрицательный ион. Положительные ионы движутся к отрицательному электроду, а отрицательные ионы и электроны — к положительному электроду.

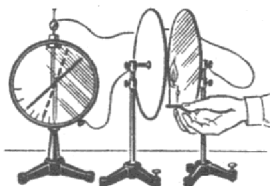


Рис. 80

2. Направленное движение зарядов обеспечивается электрическим полем. Электрическое поле в проводниках создаётся и поддерживается источником тока. В источни-

ке тока совершается работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц. Эти частицы накапливаются на полюсах источника тока. Один полюс источника заряжается положительно, другой — отрицательно. Между полюсами источника образуется электрическое поле, под действием которого заряженные частицы начинают двигаться упорядоченно.

В источнике тока совершается работа при разделении заряженных частиц. При этом различные виды энергии превращаются в электрическую энергию. В электрофорной машине в электрическую энергию превращается механическая энергия, в гальваническом элементе — химическая.

3. Электрический ток, проходя по цепи, производит различные действия. Тепловое действие электрического тока заключается в том, что при его прохождении по проводнику в нём выделяется некоторое количество теплоты. Пример применения теплового действия тока — электронагревательные элементы чайников, электроплит, утюгов и пр. В ряде случаев температура проводника нагревается настолько сильно, что можно наблюдать его свечение. Это происходит в электрических лампочках накаливания.

Магнитное действие электрического тока проявляется в том, что вокруг проводника с током возникает магнитное поле, которое, действуя на магнитную стрелку, расположенную рядом с проводником, заставляет её поворачиваться (рис. 81).

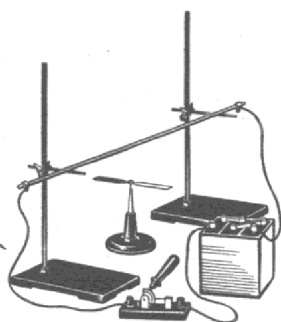


Рис. 81

Благодаря магнитному действию тока можно превратить железный гвоздь в электромагнит, намотав на него провод, соединённый с источником тока. При пропускании по проводу электрического тока гвоздь будет притягивать железные предметы.

Химическое действие электрического тока проявляется в том, что при его прохождении в жидкости на электроде выделяется вещество. Если в стакан с раствором медного купороса поместить угольные электроды и присоеди-

нить их к источнику тока, то, вынув через некоторое время эти электроды из раствора, можно обнаружить на электроде, присоединённом к отрицательному полюсу источника (на катоде), слой чистой меди.

Это происходит потому, что между электродами существует электрическое поле, в котором ионы (положительно заряженные ионы меди и отрицательно заряженные ионы кислотного остатка) движутся к соответствующим электродам. Достигнув отрицательного электрода, ионы меди получают недостающие электроны, при этом восстанавливается чистая медь.

4. Характеристикой тока в цепи служит величина, называемая силой тока ( $I$ ). Силой тока называют физическую величину, равную отношению заряда  $q$ , проходящего через поперечное сечение проводника за промежуток времени  $t$ , к этому промежутку времени:  $I = q/t$ .

Определение единицы силы тока основано на магнитном действии тока, в частности на взаимодействии параллельных проводников, по которым идёт электрический ток. Такие проводники притягиваются, если ток по ним идёт в одном направлении, и отталкиваются, если направление тока в них противоположное.

За единицу силы тока принимают такую силу тока, при которой отрезки параллельных проводников длиной 1 м, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Эта единица называется ампером (1 А).

Зная формулу силы тока, можно получить единицу электрического заряда:  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$ .

5. Прибор, с помощью которого измеряют силу тока в цепи, называется амперметром. Его работа основана на магнитном действии тока. Основные части амперметра магнит и катушка. При прохождении по катушке электрического тока она в результате взаимодействия с магнитом, поворачивается и поворачивает соединённую с ней стрелку. Чем больше сила тока, проходящего через катушку, тем сильнее она взаимодействует с магнитом, тем больше угол поворота стрелки. Амперметр включается в цепь последовательно с тем прибором, силу тока в котором нуж-



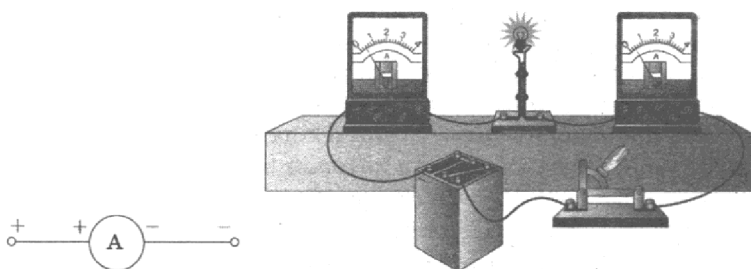


Рис. 82

но измерить (рис. 82), и потому он имеет малое внутреннее сопротивление, которое практически не влияет на сопротивление цепи и на силу тока в цепи.

У клемм амперметра стоят знаки «+» и «-», при включении амперметра в цепь клемма со знаком «+» присоединяется к положительному полюсу источника тока, а клемма со знаком «-» к отрицательному полюсу источника тока.

6. Источник тока создаёт электрическое поле, которое приводит в движение электрические заряды. Характеристикой источника тока служит величина, называемая **напряжением**. Чем оно больше, тем сильнее созданное им поле. Напряжение характеризует работу, которую совершает электрическое поле по перемещению электрического заряда, равного 1 Кл.

Напряжением  $U$  называют физическую величину, равную отношению работы ( $A$ ) электрического поля по перемещению электрического заряда к заряду ( $q$ ):  $U = A/q$ .

Возможно другое определение понятия напряжения. Если числитель и знаменатель в формуле напряжения умножить на время движения заряда ( $t$ ), то получим:  $U = At/qt$ . В числителе этой дроби стоит мощность тока ( $P$ ), а в знаменателе — сила тока ( $I$ ):  $U = P/I$ , т.е. *напряжение — физическая величина, равная отношению мощности электрического тока к силе тока в цепи*.

Единица напряжения:  $[U] = [A]/[q]$ ;  $[U] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ В}$  (один вольт).

Напряжение измеряют вольтметром. Он имеет такое же устройство, что и амперметр и такой же принцип действия, но он подключается параллельно тому участку цепи, напряжение на котором хотят измерить (рис. 83). Внутреннее сопротивление вольтметра достаточно большое, соответственно проходящий через него ток мал по сравнению с током в цепи.

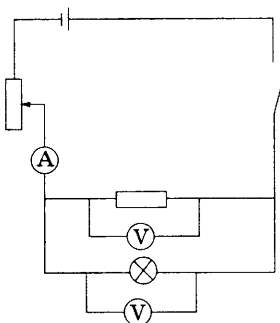


Рис. 83

У клемм вольтметра стоят знаки «+» и «-», при включении вольтметра в цепь клемма со знаком «+» присоединяется к положительному полюсу источника тока, а клемма со знаком «-» к отрицательному полюсу источника тока.

7. Собрав электрическую цепь, состоящую из источника тока, резистора, амперметра, вольтметра, ключа (рис. 17), можно показать, что сила тока ( $I$ ), протекающего через резистор, прямо пропорциональна напряжению ( $U$ ) на его концах:  $I \sim U$ . Отношение напряжения к силе тока  $U/I$  — есть величина *постоянная*. Если заменить резистор, включённый в цепь, другим резистором и повторить опыт, получим тот же результат: *сила тока в резисторе прямо пропорциональна напряжению на его концах, а отношение напряжения к силе тока есть величина постоянная*. Только в этом случае значение отношения напряжения к силе тока будет отличаться от отношения этих величин в первом опыте. Причиной этого является то, что в цепь включались разные резисторы. Следовательно, существует физическая величина, характеризующая свойства проводника (резистора), по которому течёт электрический ток. Эту величину называют **электрическим сопротивлением проводника**, или просто **сопротивлением**. Обозначается сопротивление буквой  $R$ .

Сопротивлением проводника ( $R$ ) называют физическую величину, равную отношению напряжения ( $U$ ) на концах проводника к силе тока ( $I$ ) в нём.  $R = U/I$ .

За единицу сопротивления принимают Ом (1 Ом).

Один Ом — сопротивление такого проводника, в котором сила тока равна 1 А при напряжении на его концах 1В:  $1\text{Ом} = 1\text{В}/1\text{А}$ .

Причина того, что проводник обладает сопротивлением, заключается в том, что направленному движению электрических зарядов в нём препятствуют ионы кристаллической решетки, совершающие беспорядочное движение. Соответственно, скорость направленного движения зарядов уменьшается.

8. Электрическое сопротивление ( $R$ ) прямо пропорционально длине проводника ( $l$ ), обратно пропорционально площади его поперечного сечения ( $S$ ) и зависит от материала проводника. Эта зависимость выражается формулой:  $R = \rho \frac{l}{S} \cdot \rho$  — величина, характеризующая материал,

из которого сделан проводник. Эта величина называется удельным сопротивлением проводника, её значение равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м<sup>2</sup>.

Единицей удельного сопротивления проводника служит:  $[\rho] = \frac{[R][S]}{[l]}$ ;  $[\rho] = \frac{1\text{Ом} \cdot 1\text{м}^2}{1\text{м}}$ . Часто площадь поперечного сечения измеряют в мм<sup>2</sup>, поэтому в справочниках значения удельного сопротивления проводника приводятся как в Ом · м, так и в  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

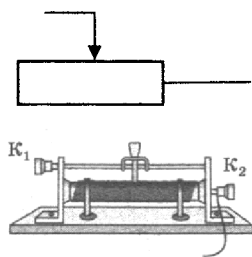


Рис. 84

Изменяя длину проводника, а следовательно его сопротивление, можно регулировать силу тока в цепи. Прибор, с помощью которого это можно сделать, называется реостатом (рис. 84).

9. Как показано выше, сила тока в проводнике зависит от напряжения на его концах. Если в опыте менять проводники, оставляя напряжение на них неизменным, то можно показать, что при постоянном напряжении на концах проводника сила тока обратно пропорциональна его сопротивлению. Объединив

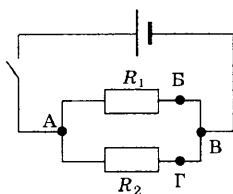
зависимость силы тока от напряжения и его зависимость от сопротивления проводника, можно записать:  $I = \frac{U}{R}$ .

Этот закон, установленный экспериментально, называется **законом Ома** (для участка цепи): **сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.**

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. На рисунке приведена схема электрической цепи, состоящей из источника тока, ключа и двух параллельно соединённых резисторов. Для измерения напряжения на резисторе  $R_2$  вольтметр можно включить между точками



- 1) только Б и В
  - 2) только А и В
  - 3) Б и Г или Б и В
  - 4) А и Г или А и В
2. На рисунке представлена электрическая цепь, состоящая из источника тока, резистора и двух амперметров. Сила тока, показываемая амперметром  $A_1$ , равна 0,5 А. Амперметр  $A_2$  покажет силу тока



- 1) меньше 0,5 А
  - 2) больше 0,5 А
  - 3) 0,5 А
  - 4) 0 А
3. Ученик исследовал зависимость силы тока в электроплитке от приложенного напряжения и получил следующие данные.

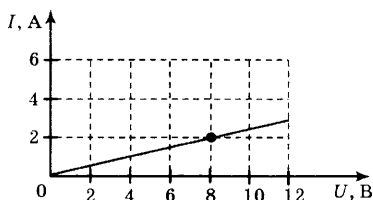
$U, В$	25	50	75	100	125	150
$I, А$	1	2	3	5	6	7

Проанализировав полученные значения, он высказал предположения:

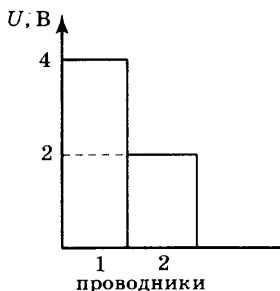
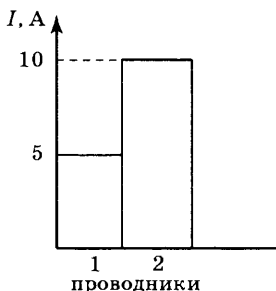
- А. Закон Ома справедлив для первых трёх измерений.
- Б. Закон Ома справедлив для последних трёх измерений.

Какая(-ие) из высказанных учеником гипотез верна(-ы)?

- 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) и А, и Б
  - 4) ни А, ни Б
4. На рисунке изображён график зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах. Чему равно сопротивление проводника?

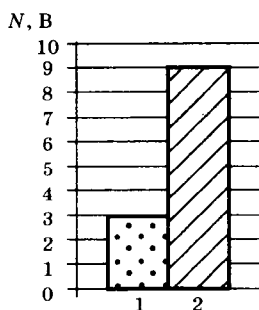


- 1) 0,25 Ом
  - 2) 2 Ом
  - 3) 4 Ом
  - 4) 8 Ом
5. На диаграммах изображены значения силы тока и напряжения на концах двух проводников. Сравните сопротивления этих проводников.



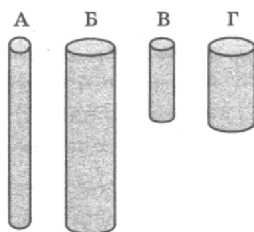
- 1)  $R_1 = R_2$
- 2)  $R_1 = 2R_2$
- 3)  $R_1 = 4R_2$
- 4)  $4R_1 = R_2$

6. На рисунке приведена столбчатая диаграмма. На ней представлены значения мощности тока для двух проводников (1) и (2) одинакового сопротивления. Сравните значения напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на концах этих проводников.



- 1)  $U_2 = \sqrt{3} U_1$
- 2)  $U_1 = 3U_2$
- 3)  $U_2 = 9U_1$
- 4)  $U_2 = 3U_1$

7. Необходимо экспериментально обнаружить зависимость электрического сопротивления круглого угольного стержня от его длины. Какую из указанных пар стержней можно использовать для этой цели?



- 1) А и Г
- 2) Б и В
- 3) Б и Г
- 4) В и Г

8. Два алюминиевых проводника одинаковой длины имеют разную площадь поперечного сечения: площадь поперечного сечения первого проводника  $0,5 \text{ мм}^2$ , а второго проводника  $4 \text{ мм}^2$ . Сопротивление какого из проводников больше и во сколько раз?

- 1) Сопротивление первого проводника в 64 раза больше, чем второго.
- 2) Сопротивление первого проводника в 8 раз больше, чем второго.
- 3) Сопротивление второго проводника в 64 раза больше, чем первого.
- 4) Сопротивление второго проводника в 8 раз больше, чем первого.

9. В течение  $600 \text{ с}$  через потребитель электрического тока проходит заряд  $12 \text{ Кл}$ . Чему равна сила тока в потребителе?

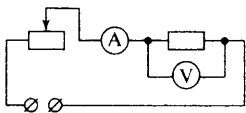
- 1)  $0,02 \text{ А}$
- 2)  $0,2 \text{ А}$
- 3)  $5 \text{ А}$
- 4)  $50 \text{ А}$

10. В таблице приведены результаты экспериментальных измерений площади поперечного сечения  $S$ , длины  $L$  и электрического сопротивления  $R$  для трёх проводников, изготовленных из железа или никелина.

	Материал проводника	$S$ , мм <sup>2</sup>	$L$ , м	$R$ , Ом
Проводник №1	Железо	1	1	0,1
Проводник №2	Никелин	2	3	0,6
Проводник №3	Никелин	1	1	0,4

На основании проведённых измерений можно утверждать, что электрическое сопротивление проводника

- 1) зависит от материала проводника
  - 2) не зависит от материала проводника
  - 3) увеличивается при увеличении его длины
  - 4) уменьшается при увеличении его площади поперечного сечения
11. Для изготовления резисторов использовался рулон нихромовой проволоки. Поочередно в цепь (см. рисунок) включали отрезки проволоки длиной 4 м, 8 м и 12 м. Для каждого случая измерялись напряжение и сила тока (см. таблицу).



$L$ , м (длина проволоки)	$U$ , В	$I$ , А
4	9	6
8	9	3
12	9	2

Какой вывод можно сделать на основании проведённых исследований?

- 1) сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения
- 2) сопротивление проводника прямо пропорционально его длине
- 3) сопротивление проводника зависит от силы тока в проводнике
- 4) сопротивление проводника зависит от напряжения на концах проводника
- 5) сила тока в проводнике обратно пропорциональна его сопротивлению

12. В справочнике физических свойств различных материалов представлена следующая таблица.

Вещество	Плотность в твёрдом состоянии, г/м <sup>3</sup>	Удельное электрическое сопротивление (при 20°С), Ом·мм <sup>2</sup> /м
Алюминий	2,7	0,028
Константан (сплав)	8,8	0,5
Латунь	8,4	0,07
Медь	8,9	0,017
Никелин (сплав)	8,8	0,4
Нихром (сплав)	8,4	1,1

Используя данные таблицы, выберите из предложенного перечня *два* верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) При равных размерах проводник из алюминия будет иметь меньшую массу и большее электрическое сопротивление по сравнению с проводником из меди.
- 2) Проводники из нихрома и латуни при одинаковых размерах будут иметь одинаковые электрические сопротивления.
- 3) Проводники из константана и никелина при одинаковых размерах будут иметь разные массы.
- 4) При замене никелиновой спирали электроплитки на нихромовую такого же размера электрическое сопротивление спирали уменьшится.
- 5) При равной площади поперечного сечения проводник из константана длиной 4 м будет иметь такое же электрическое сопротивление, что и проводник из никелина длиной 5 м.

### Часть 2

13. Меняя электрическое напряжение на участке цепи, состоящем из никелинового проводника длиной 5 м, ученик полученные данные измерений силы тока и напряжения записал в таблицу. Чему равна площадь поперечного сечения проводника?

$U$ , В	12	9,6	6	4,8	3	1,5
$I$ , А	2,4	1,92	1,2	0,96	0,6	0,3



## Последовательное и параллельное соединения проводников

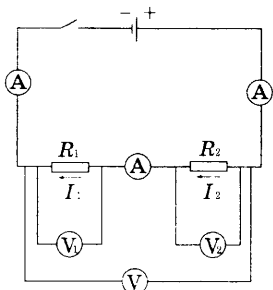


Рис. 85

1. Потребители электрической энергии: электрические лампочки, резисторы и пр. — могут по-разному соединяться друг с другом в электрической цепи. Существует два основных типа соединения проводников: последовательное и параллельное. При последовательном соединении проводников конец одного проводника соединяется с началом другого проводника, а его конец — с началом третьего и т.д. (рис. 85).

Примером последовательного соединения проводников может служить соединение электрических лампочек в ёлочной гирлянде.

При последовательном соединении проводников ток проходит через все лампочки, при этом через поперечное сечение каждого проводника в единицу времени проходит одинаковый заряд, т.е. заряд не скапливается ни в какой части проводника. Поэтому при последовательном соединении проводников сила тока в любом участке цепи одинакова:  $I_1 = I_2 = I$ .

Общее сопротивление последовательно соединённых проводников равно сумме их сопротивлений:  $R_1 + R_2 = R$ . Это следует из того, что при последовательном соединении проводников их общая длина увеличивается, она больше, чем длина каждого отдельного проводника, соответственно увеличивается и сопротивление проводников.

По закону Ома напряжение на каждом проводнике равно:  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$ , а общее напряжение равно  $U = I(R_1 + R_2)$ . Поскольку сила тока во всех проводниках одинакова, а общее сопротивление равно сумме сопротивлений проводников, то полное напряжение на последовательно соединённых проводниках равно сумме напряжений на каждом проводнике:  $U = U_1 + U_2$ .

Из приведённых равенств следует, что последовательное соединение проводников используется в том случае, если напряжение, на которое рассчитаны потребители электрической энергии, меньше общего напряжения в цепи.

2. Примером параллельного соединения проводников служит соединение потребителей электрической энергии в квартире. Так, электрические лампочки, чайник, утюг и пр. включаются параллельно.

При параллельном соединении проводников все проводники одним своим концом присоединяются к одной точке цепи (А), а вторым концом к другой точке цепи (В) (рис. 86).

Поэтому вольтметр, подключенный к этим точкам, покажет напряжение как на проводнике 1, так и на проводнике 2. Таким образом, **напряжение на концах всех параллельно соединённых проводников одно и то же:  $U_1 = U_2 = U$ .**

При параллельном соединении проводников электрическая цепь разветвляется, в данном случае в точке В. Поэтому часть общего заряда проходит через один проводник, а часть — через другой. Следовательно **при параллельном соединении проводников сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме силы тока в отдельных проводниках:  $I = I_1 + I_2$ .**

В соответствии с законом Ома  $I = \frac{U}{R}$ ,  $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ ,  $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ .

Отсюда следует:  $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$ . Так как  $U_1 = U_2 = U$ ,

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ . Величина, обратная общему сопротивлению

**параллельно соединённых проводников, равна сумме величин, обратных сопротивлению каждого проводника.**

При параллельном соединении проводников их общее сопротивление меньше, чем сопротивление каждого проводника. Действительно, если параллельно соединены два проводника, имеющие одинаковое сопротивление  $r$ , то их общее сопротивление равно:  $R = r/2$ . Это объясняется тем, что при параллельном соединении проводников как бы увеличивается площадь их поперечного сечения, соответственно уменьшается сопротивление.

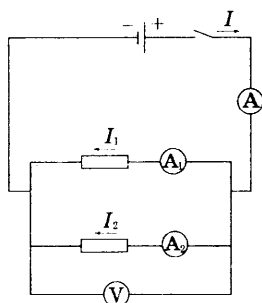


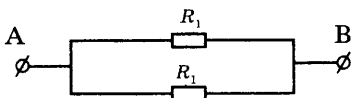
Рис. 86

Из приведённых формул понятно, почему потребители электрической энергии включаются параллельно: они все рассчитаны на определённое одинаковое напряжение, которое в квартирах равно 220 В. Зная сопротивление каждого потребителя, можно рассчитать силу тока в каждом из них и соответствие суммарной силы тока предельно допустимой силе тока.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

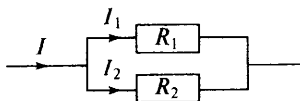
### Часть 1

1. На рисунке изображена схема участка электрической цепи АВ. В эту цепь параллельно включены два резистора сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$ . Напряжения на резисторах соответственно  $U_1$  и  $U_2$ .



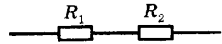
По какой из формул можно определить напряжение  $U$  на участке АВ?

- 1)  $U = U_1 + U_2$
  - 2)  $U = U_1 - U_2$
  - 3)  $U = U_1 = U_2$
  - 4)  $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 + U_2}$
2. На рисунке изображена схема электрической цепи, содержащая два параллельно включённых резистора сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$ . Какое из приведённых ниже соотношений справедливо для такого соединения резисторов?



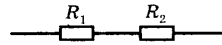
- 1)  $I = I_1 = I_2$
- 2)  $I = I_1 + I_2$
- 3)  $U = U_1 + U_2$
- 4)  $R = R_1 + R_2$

3. На рисунке изображена схема электрической цепи. В эту цепь последовательно включены два резистора сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$ . Какое из приведённых ниже соотношений справедливо для такого соединения резисторов?



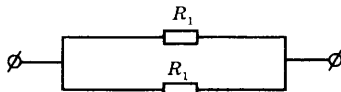
- 1)  $U = U_1 + U_2$   
 2)  $I = I_1 + I_2$   
 3)  $U = U_1 = U_2$   
 4)  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

4. На рисунке изображена схема электрической цепи. В эту цепь последовательно включены два резистора сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$ . Какое из приведённых ниже соотношений справедливо для такого соединения резисторов?



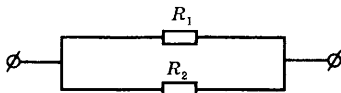
- 1)  $U = U_1 = U_2$                       3)  $I = I_1 = I_2$   
 2)  $I = I_1 + I_2$                       4)  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

5. На рисунке изображена схема электрической цепи. В эту цепь параллельно включены два одинаковых резистора сопротивлением  $R_1$ . По какой из формул можно определить общее сопротивление цепи  $R$ ?



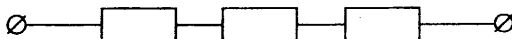
- 1)  $R = R_1^2$                               3)  $R = \frac{R_1}{2}$   
 2)  $R = 2R_1$                             4)  $R = \sqrt{R_1}$

6. Общее сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, равно 9 Ом. Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  равны. Чему равно сопротивление каждого резистора?



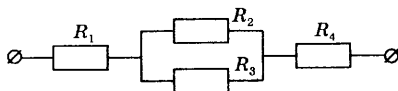
- 1) 81 Ом    2) 18 Ом    3) 9 Ом    4) 4,5 Ом

7. Чему равно сопротивление участка цепи, содержащего три последовательно соединенных резистора сопротивлением по 9 Ом каждый?



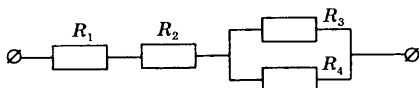
- 1)  $\frac{1}{3}$  Ом    2) 3 Ом    3) 9 Ом    4) 27 Ом

8. Чему равно общее сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, если  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 10$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом,  $R_4 = 5$  Ом?



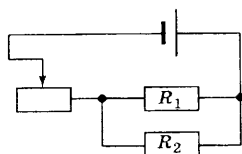
- 1) 9 Ом                                3) 16 Ом  
2) 11 Ом                               4) 26 Ом

9. Чему равно общее сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке, если  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 10$  Ом,  $R_4 = 10$  Ом?



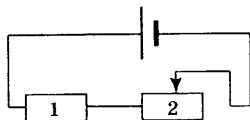
- 1) 9 Ом                                3) 14 Ом  
2) 10 Ом                               4) 24 Ом

10. Если ползунок реостата (см. схему) переместить влево, то сила тока



- 1) в резисторе  $R_1$  уменьшится, а в резисторе  $R_2$  увеличится  
2) увеличится в обоих резисторах  
3) в резисторе  $R_1$  увеличится, а в резисторе  $R_2$  уменьшится  
4) уменьшится в обоих резисторах

11. На рисунке изображена электрическая цепь, состоящая из источника тока, резистора и реостата. Как изменяются при передвижении ползунка реостата вправо его



сопротивление, сила тока в цепи и напряжение на резисторе 1?

Для каждой физической величины определите соответствующий характер изменения.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) сопротивление реостата 2	1) увеличивается
Б) сила тока в цепи	2) уменьшается
В) напряжение на резисторе 1	3) не изменяется

12. Установите соответствие между физическими величинами и правильной электрической схемой для измерения этих величин при последовательном соединении двух резисторов  $R_1$  и  $R_2$ .

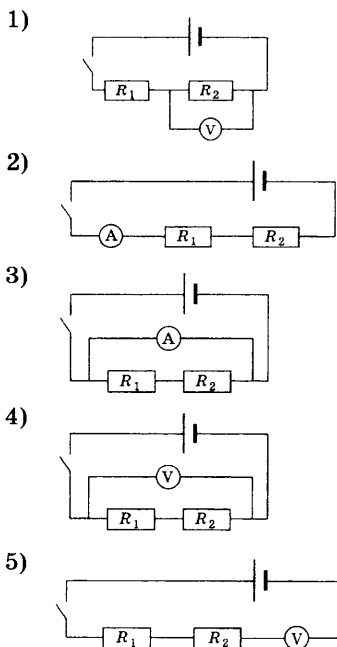
Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

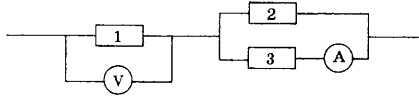
- А) сила тока в резисторе  $R_2$     1)  
 Б) напряжение на резисторе  $R_2$   
 В) общее напряжение на резисторах  $R_1$  и  $R_2$

СХЕМЫ



## Часть 2

13. Три резистора соединены, как показано на рисунке. Сопротивления резисторов  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $R_3 = 5$  Ом. Каково напряжение на резисторе 1, если амперметр показывает силу тока 2 А?



### Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля—Ленца

1. Электрический ток, проходя по цепи, производит разные действия: тепловое, механическое, химическое, магнитное. При этом электрическое поле совершает работу, и электрическая энергия превращается в другие виды энергии: во внутреннюю, механическую, энергию магнитного поля и пр.

Как было показано, напряжение ( $U$ ) на участке цепи равно отношению работы ( $F$ ), совершаемой при перемещении электрического заряда ( $q$ ) на этом участке, к заряду:  $U = A/q$ . Отсюда  $A = qU$ . Поскольку заряд равен произведению силы тока ( $I$ ) и времени ( $t$ )  $q = It$ , то  $A = IUt$ , т.е. **работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на этом участке, силы тока и времени, в течение которого совершается работа.**

Единицей работы является джоуль (1 Дж). Эту единицу можно выразить через электрические единицы:

$$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$$

Для измерения работы используют три измерительных прибора: амперметр, вольтметр и часы, однако, в реальной жизни для измерения работы электрического тока используют счётчики электрической энергии.

Если нужно найти работу тока, но при этом сила тока или напряжение неизвестны, то можно воспользоваться законом Ома, выразить неизвестные величины и рассчитать работу по формулам:  $A = \frac{U^2}{R} t$  или  $A = I^2 R t$ .

2. Мощность электрического тока равна отношению работы ко времени, за которое она совершена:  $P = A/t$  или  $P = IUt/t$ ;  $P = IU$ , т.е. **мощность электрического тока равна произведению напряжения и силы тока в цепи.**

Единицей мощности является ватт (1Вт):  $[P] = [I] \cdot [U]$ ;  $[P] = 1\text{А} \cdot 1\text{В} = 1\text{Вт}$ .

Используя закон Ома, можно получить другие формулы для расчета мощности тока:  $P = \frac{U^2}{R}$   $P = I^2R$ .

Значение мощности электрического тока в проводнике можно определить с помощью амперметра и вольтметра, измерив соответственно силу тока и напряжение. Можно для измерения мощности использовать специальный прибор, называемый ваттметром, в котором объединены амперметр и вольтметр.

3. При прохождении электрического тока по проводнику он нагревается. Это происходит потому, что перемещающиеся под действием электрического поля свободные электроны в металлах и ионы в растворах электролитов сталкиваются с молекулами или атомами проводников и передают им свою энергию. Таким образом, при совершении током работы увеличивается внутренняя энергия проводника, в нём выделяется некоторое количество теплоты, равное работе тока, и проводник нагревается:  $Q = A$  или  $Q = IUt$ . Учитывая, что  $U = IR$ ,  $Q = I^2Rt$ .

**Количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока по проводнику, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени.**

Этот закон называют законом Джоуля-Ленца.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Силу тока в проводнике увеличили в 2 раза. Как изменится количество теплоты, выделяющееся в нём за единицу времени, при неизменном сопротивлении проводника?
  - 1) увеличится в 4 раза
  - 2) уменьшится в 2 раза
  - 3) увеличится в 2 раза
  - 4) уменьшится в 4 раза



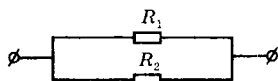
2. Длину спирали электроплитки уменьшили в 2 раза. Как изменится количество теплоты, выделяющееся в спирали за единицу времени, при неизменном напряжении сети?
- 1) увеличится в 4 раза
  - 2) уменьшится в 2 раза
  - 3) увеличится в 2 раза
  - 4) уменьшится в 4 раза

3. Сопротивления резистор  $R_1$  в четыре раза меньше сопротивления резистора  $R_2$ . Работа тока в резисторе 2



- 1) в 4 раза больше, чем в резисторе 1
- 2) в 16 раз больше, чем в резисторе 1
- 3) в 4 раза меньше, чем в резисторе 1
- 4) в 16 раз меньше, чем в резисторе 1

4. Сопротивление резистора  $R_1$  в 3 раза больше сопротивления резистора  $R_2$ . Количество теплоты, которое выделится в резисторе 1

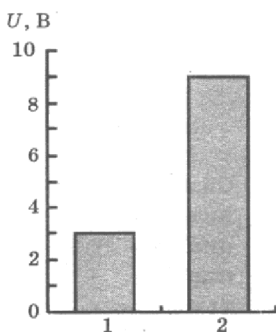


- 1) в 3 раза больше, чем в резисторе 2
- 2) в 9 раз больше, чем в резисторе 2
- 3) в 3 раза меньше, чем в резисторе 2
- 4) в 9 раз меньше, чем в резисторе 2

5. Цепь собрана из источника тока, лампочки и тонкой железной проволоки, соединенных последовательно. Лампочка станет гореть ярче, если

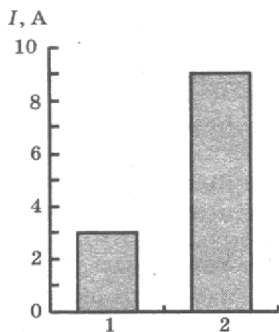
- 1) проволоку заменить на более тонкую железную
- 2) уменьшить длину проволоки
- 3) поменять местами проволоку и лампочку
- 4) железную проволоку заменить на нихромовую

6. На рисунке приведена столбчатая диаграмма. На ней представлены значения напряжения на концах двух проводников (1) и (2) одинакового сопротивления. Сравните значения работы тока  $A_1$  и  $A_2$  в этих проводниках за одно и то же время.



- 1)  $A_1 = A_2$
- 2)  $A_1 = 3A_2$
- 3)  $9A_1 = A_2$
- 4)  $3A_1 = A_2$

7. На рисунке приведена столбчатая диаграмма. На ней представлены значения силы тока в двух проводниках (1) и (2) одинакового сопротивления. Сравните значения работы тока  $A_1$  и  $A_2$  в этих проводниках за одно и то же время.



- 1)  $A_1 = A_2$
  - 2)  $A_1 = 3A_2$
  - 3)  $9A_1 = A_2$
  - 4)  $3A_1 = A_2$
8. Если в люстре для освещения помещения использовать лампы мощностью 60 и 100 Вт, то
- А. Бóльшая сила тока будет в лампе мощностью 100 Вт.  
 Б. Бóльшее сопротивление имеет лампа мощностью 60 Вт.  
 Верным(-и) является(-ются) утверждение(-я)
- 1) только А
  - 2) только Б
  - 3) и А, и Б
  - 4) ни А, ни Б
9. Электрическая плитка, подключённая к источнику постоянного тока, за 120 с потребляет 108 кДж энергии. Чему равна сила тока в спирали плитки, если её сопротивление 25 Ом?
- 1) 36 А
  - 2) 6 А
  - 3) 2,16 А
  - 4) 1,5 А
10. Электрическая плитка при силе тока 5 А потребляет 1000 кДж энергии. Чему равно время прохождения тока по спирали плитки, если её сопротивление 20 Ом?
- 1) 10000 с
  - 2) 2000 с
  - 3) 10 с
  - 4) 2 с
11. Никелиновую спираль электроплитки заменили на нихромовую такой же длины и площади поперечного сечения. Установите соответствие между физическими величинами и их возможными изменениями при включении плитки в электрическую сеть.  
 Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Цифры в ответе могут повторяться.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) электрическое сопротивление спирали	1) увеличилась 2) уменьшилась
Б) сила электрического тока в спирали	3) не изменилась
В) мощность электрического тока, потребляемая плиткой	

12. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины определяются.

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) работа тока	1) $\frac{q}{t}$
Б) сила тока	2) $q \cdot U$
В) мощность тока	3) $\frac{RS}{L}$
	4) $U \cdot I$
	5) $\frac{U}{I}$

## Часть 2

13. Нагреватель включён последовательно с реостатом сопротивлением 7,5 Ом в сеть с напряжением 220 В. Каково сопротивление нагревателя, если мощность электрического тока в реостате составляет 480 Вт?

**Опыт Эрстеда. Магнитное поле тока.**

**Взаимодействие магнитов. Действие магнитного поля на проводник с током**

1. Опыт Эрстеда заключается в следующем. На столе располагают магнитную стрелку, которая ориентируется с севера на юг в магнитном поле Земли, и параллельно ей сверху проводник, соединённый с источником тока (см. рис. 81 на 190 с.). При замыкании цепи стрелка повернётся на 90° и встанет перпендикулярно проводнику.

При размыкании цепи стрелка вернётся в первоначальное положение. Если изменить направление тока на противоположное, то стрелка повернётся в обратную сторону. Опыт Эрстеда доказывает, что вокруг проводника, по которому течёт электрический ток, существует магнитное поле, которое действует на магнитную стрелку.

Опыт Эрстеда показал существование взаимосвязи между электрическими и магнитными явлениями.

Об этой взаимосвязи свидетельствует и опыт, известный как опыт Ампера. Если по двум длинным параллельно расположенным проводникам пропустить электрический ток в одном направлении, то они притянутся друг к другу; если направление тока будет противоположным, то проводники оттолкнутся друг от друга. Это происходит потому, что вокруг одного проводника возникает магнитное поле, которое действует на другой проводник с током. Если ток будет протекать только по одному проводнику, то проводники не будут взаимодействовать.

Таким образом, вокруг движущихся электрических зарядов или вокруг проводника с током существует магнитное поле. Магнитное поле действует на движущиеся заряды. На неподвижные заряды магнитное поле не действует.

Силовой характеристикой магнитного поля является величина, называемая **магнитной индукцией**. Обозначается магнитная индукция буквой  $B$ . Магнитная индукция является векторной величиной, т.е. имеет определённое направление. Это наглядно проявляется в опыте со взаимодействием параллельных проводников с током. Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки в данной точке поля.

2. Обнаружить магнитное поле вокруг проводника с током можно с помощью либо магнитных стрелок, либо железных опилок, которые в магнитном поле намагничиваются и становятся магнитными стрелками. На рисунке 87 изображён проводник, пропущенный через лист картона, на который насыпаны железные опилки. При прохождении

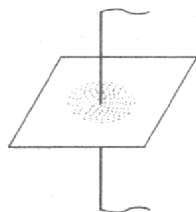


Рис. 87

по проводнику электрического тока опилки располагаются вокруг него по concentрическим окружностям.

Линии, вдоль которых располагаются в магнитном поле магнитные стрелки или железные опилки, называют линиями магнитной индукции. Направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки, принято за направление линий магнитной индукции. Вектор магнитной индукции направлен по касательной к линии магнитной индукции в каждой точке поля.

Как следует из результатов опыта Эрстеда и опыта по взаимодействию параллельных проводников с током, направление линий вектора магнитной индукции (и линий магнитной индукции) зависит от направления тока в проводнике. Направление линий магнитной индукции можно определить с помощью *правила буравчика*. Для линейного проводника оно следующее: если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением линий магнитной индукции.

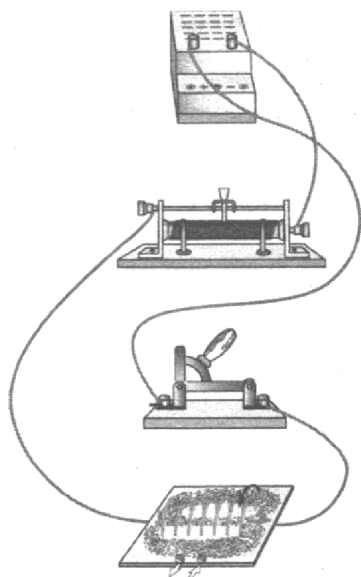


Рис. 88

3. Если пропустить электрический ток по катушке, то опилки расположатся, как показано на рисунке 88.

Картина линий магнитной индукции свидетельствует о том, что катушка с током становится магнитом. Если катушку с током подвесить, то она повернется южным полюсом на юг, а северным — на север (рис. 89).

Следовательно, катушка с током имеет два полюса: северный и южный. Определить полюса, которые появляются на её концах можно, если известно направление электрического тока в катушке. Для этого пользуют-

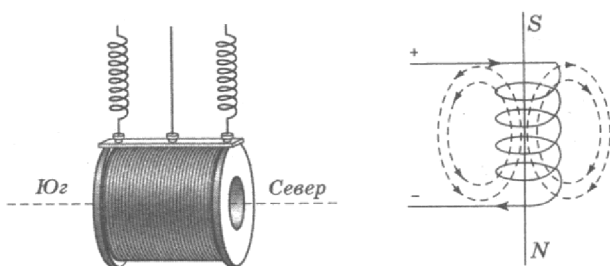


Рис. 89

ся правилом буравчика: если направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением тока в катушке, то направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением линий магнитной индукции внутри катушки (рис. 90).

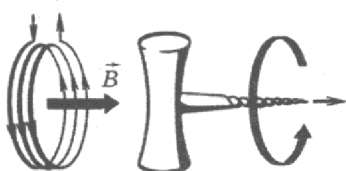


Рис. 90

4. Тела, длительное время сохраняющие магнитные свойства, или намагниченность, называют **постоянными магнитами**. Поднося магнит к железным опилкам, можно заметить, что они притягиваются к концам магнита и практически не притягиваются к его середине. Те места магнита, которые производят наиболее сильное магнитное действие, называются полюсами магнита. Магнит имеет два полюса: северный — N и южный — S. Принято северный полюс магнита окрашивать синим цветом, а южный — красным. Если полосовой магнит разделить на две части, то каждая из них окажется магнитом с двумя полюсами.

Положив на постоянный магнит лист бумаги или картона и насыпав на него железные опилки, можно получить картину его магнитного поля (рис. 91). Линии магнитной индукции постоянных магнитов замкнуты, все они выхо-

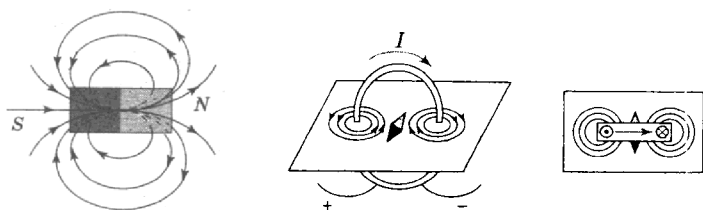


Рис. 91

дят из северного полюса и входят в южный, замыкаясь внутри магнита.

Магнитные стрелки и магниты взаимодействуют между собой. Разноимённые магнитные полюсы притягиваются друг к другу, а одноимённые — отталкиваются. Взаимодействие магнитов объясняется тем, что магнитное поле одного магнита действует на другой магнит и, наоборот, магнитное поле 2-го магнита действует на 1-й.

Причиной наличия у веществ магнитных свойств является движение электронов, существующих в каждом атоме. При своём движении вокруг атома электроны создают магнитные поля. Если эти поля имеют одинаковую ориентацию, то вещество, например железо или сталь, намагниченны достаточно сильно.

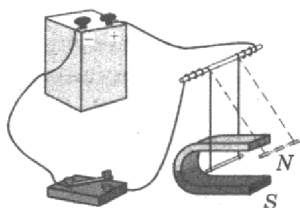


Рис. 92

5. Магнитное поле действует на проводник с током. Доказать это можно с помощью эксперимента (рис. 92).

Если в поле подковообразного магнита поместить проводник длиной  $l$ , подвешенный на тонких проводах, соединить его с источником тока, то при разомкнутой цепи проводник останется неподвижным. Если замкнуть цепь, то по проводнику пойдёт электрический ток, и проводник отклонится в магнитном поле от своего первоначального положения. При изменении направления тока проводник отклонится в противоположную сторону.

Таким образом, на проводник с током, помещённый в магнитное поле, действует сила, которую называют **силой Ампера**.

Экспериментальное исследование показывает, что сила Ампера прямо пропорциональна длине проводника  $l$  и силе тока  $I$  в проводнике:  $F \sim Il$ . Коэффициентом пропорциональности в этом равенстве является модуль вектора магнитной индукции  $B$ . Соответственно,  $F = BI$ .

Сила, действующая на проводник с током, помещённый в магнитное поле, равна произведению модуля вектора магнитной индукции, силы тока и длины той части проводника, которая находится в магнитном поле.

В таком виде зависимость силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, записываются в том случае, если линии магнитной индукции перпендикулярны проводнику с током.

Формула силы Ампера, позволяет раскрыть смысл понятия вектора магнитной индукции. Из выражения для силы Ампера следует:  $B = \frac{F}{Il}$ , т.е. магнитной индукцией называется физическая величина, равная отношению силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, к силе тока и длине проводника, находящейся в магнитном поле.

Из приведённой формулы понятно, что магнитная индукция является силовой характеристикой магнитного поля.

Единица магнитной индукции  $[B] = [F]/[I][l]$ .  $[B] = 1\text{Н}/1\text{А} \cdot 1\text{м} = 1\text{Н}/\text{А} \cdot \text{м} = 1\text{Тл}$ . За единицу магнитной индукции принимают магнитную индукцию такого поля, в котором на проводник длиной 1 м действует сила 1Н при силе тока в проводнике 1 А.

Направление силы Ампера определяют, пользуясь правилом левой руки: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а четыре пальца направлены по направлению тока в проводнике, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы, действующей на проводник (рис. 93).

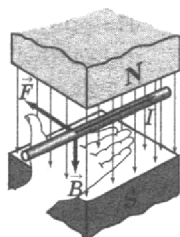


Рис. 93

6. Движение проводника с током в магнитном поле лежит в основе работы электрического двигателя. Если поместить прямоугольную рамку в магнитное поле и пропустить по ней электрический ток, то рамка повернется (рис. 94), потому, что на стороны рамки действует



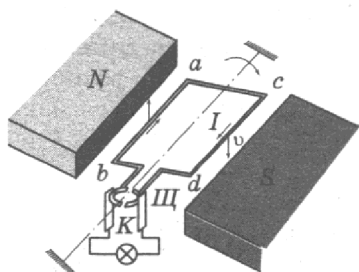


Рис. 94

сила Ампера. При этом сила, действующая на сторону рамки  $ab$ , противоположна силе, действующей на сторону  $cd$ .

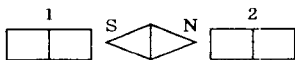
Для того чтобы рамка не остановилась в тот момент, когда её плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции, и продолжала вращаться, изменяют направление тока в проводнике. Для этого к концам рамки припаяны полукольца, по которым скользят контакты, соединённые с источником тока. При повороте рамки на  $180^\circ$  меняются контактные пластины, которых касаются полукольца и, соответственно, направление тока в рамке.

В электрическом двигателе энергия электрического и магнитного полей превращается в механическую энергию.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

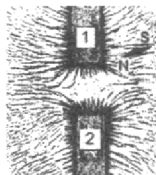
### Часть 1

1. На рисунке показано, как установилась магнитная стрелка между полюсами двух одинаковых магнитов. Укажите полюса магнитов, обращённые к стрелке.



- 1) 1 – S, 2 – N                      3) 1 – S, 2 – S  
 2) 1 – N, 2 – N                      4) 1 – N, 2 – S

2. На рисунке представлена картина линий магнитного поля от двух полосовых магнитов, полученная с помощью магнитной стрелки и железных опилок. Каким полюсам полосовых магнитов соответствуют области 1 и 2?

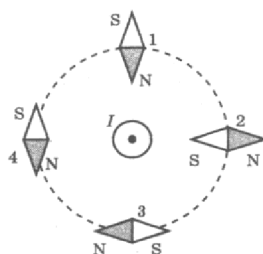


- 1) 1 — северному полюсу; 2 — южному
- 2) 1 — южному; 2 — северному полюсу
- 3) и 1, и 2 — северному полюсу
- 4) и 1, и 2 — южному полюсу

3. При прохождении электрического тока по проводнику магнитная стрелка, находящаяся рядом, расположена перпендикулярно проводнику. При изменении направления тока на противоположное. Стрелка

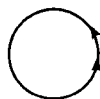
- 1) повернётся на  $90^\circ$
- 2) повернётся на  $180^\circ$
- 3) повернётся на  $90^\circ$  или на  $180^\circ$   
в зависимости от значения силы тока
- 4) не изменит свое положение

4. Проводник, по которому протекает электрический ток, расположен перпендикулярно плоскости чертежа (см. рисунок). Расположение какой из магнитных стрелок, взаимодействующих с магнитным полем проводника с током, показано правильно?



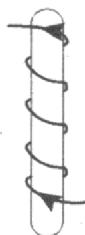
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

5. Из проводника сделали кольцо и по нему пустили электрический ток. Ток направлен против часовой стрелки (см. рисунок). Как направлен вектор магнитной индукции в центре кольца?



- 1) вправо
- 2) влево
- 3) на нас из-за плоскости чертежа
- 4) от нас за плоскость чертежа

6. По катушке идёт электрический ток, направление которого показано на рисунке. При этом на концах железного сердечника катушки

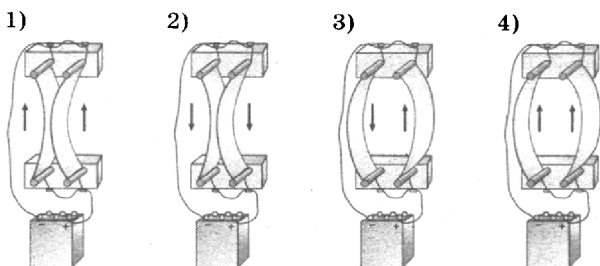
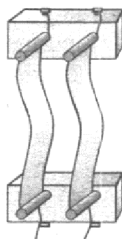


- 1) образуются магнитные полюса — на конце 1 — северный полюс, на конце 2 — южный

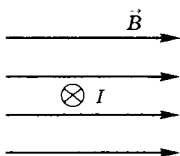
- 2) образуются магнитные полюса — на конце 1 — южный полюс, на конце 2 — северный
- 3) скапливаются электрические заряды: на конце 1 — отрицательный заряд, на конце 2 — положительный
- 4) скапливаются электрические заряды: на конце 1 — положительный заряд, на конце 2 — отрицательный

7. Два параллельно расположенных проводника подключили параллельно к источнику тока.

Направление электрического тока и взаимодействие проводников верно изображены на рисунке



8. В однородном магнитном поле на проводник с током, расположенный перпендикулярно плоскости чертежа (см. рисунок), действует сила, направленная



- 1) вправо  $\rightarrow$     2) влево  $\leftarrow$     3) вверх  $\uparrow$     4) вниз  $\downarrow$

9. Сила, действующая на проводник с током, который находится в магнитном поле между полюсами магнита, направлена



- 1) вверх  $\uparrow$     2) вниз  $\downarrow$     3) направо  $\rightarrow$     4) налево  $\leftarrow$



- 2) При замкнутом ключе проводник будет выталкиваться из области магнита вправо.
- 3) При замкнутом ключе электрический ток в проводнике имеет направление от точки *B* к точке *A*.
- 4) Магнитные линии поля постоянного магнита в области расположения проводника *AB* направлены вертикально вниз.
- 5) Электрический ток, протекающий в проводнике *AB*, создаёт однородное магнитное поле.

## Часть 2

13. Участок проводника длиной 0,1 м находится в магнитном поле индукцией 50 мТл. Сила тока, протекающего по проводнику, 10 А. Какую работу совершает сила ампера при перемещении проводника на 8 см в направлении своего действия? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

### Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея. Электромагнитные колебания и волны

1. Явление электромагнитной индукции было открыто английским ученым Майклом Фарадеем. Если соединить катушку с гальванометром и внести в катушку полосовой магнит северным полюсом, то стрелка гальванометра отклонится, что свидетельствует о существовании в катушке электрического тока. Когда магнит остановится в катушке, то ток прекратится (рис. 95). При выдвигении магнита

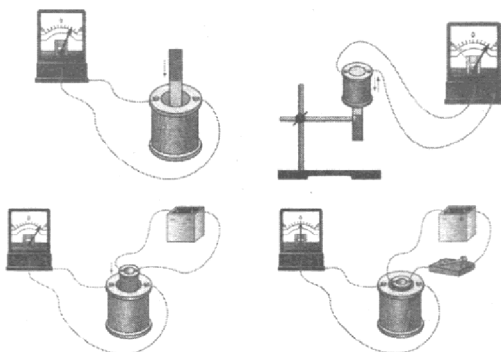


Рис. 95

из катушки в ней вновь появится электрический ток, но он будет иметь противоположное направление. Причиной возникновения электрического тока в катушке, является изменение магнитного поля, пронизывающего эту катушку, которое происходит при движении магнита.

Возможны различные способы изменения магнитного поля, пронизывающего контур проводника. Можно, например, перемещать не магнит, а катушку, т.е. надевать её на магнит. При этом также возникнет индукционный ток. Можно в большую катушку вставить малую катушку. Большую катушку соединить с гальванометром, а малую — с источником постоянного тока. При замыкании и размыкании цепи малой катушки можно наблюдать отклонение стрелки гальванометра. Таким образом, при любом изменении магнитного поля пронизывающего замкнутый проводник, в нём возникает индукционный ток.

Эти и другие опыты показывают, что ток появляется только при изменении магнитного поля, пронизывающего замкнутый проводник.

**Явление возникновения тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного поля, пронизывающего контур проводника, называется электромагнитной индукцией.** Ток, возникающий в этом случае в цепи, называют **индукционным током.**

Таким образом, **направление индукционного тока в катушке зависит от направления движения магнита.**

**2. Направление индукционного тока зависит от того, каким полюсом вносят магнит в катушку или выносят из нее, т.е. от направления магнитного поля.** Если вносить магнит в катушку не северным полюсом, как это делалось в опыте, описанном выше, а южным полюсом, то стрелка гальванометра отклонится в сторону, противоположную той, в которую она отклонялась при внесении магнита северным полюсом. Направление индукционного тока будет разным в зависимости от того, вносят магнит в катушку или выносят его из катушки. Таким образом, направление индукционного тока зависит от направления движения магнита относительно катушки.

Вносить магнит в катушку можно быстрее и медленнее. Наблюдения позволяют сделать вывод о том, что сила индукционного тока зависит от скорости движения магнита,

т.е. от скорости изменения магнитного поля. Сила индукционного тока тем больше, чем больше скорость изменения магнитного поля, пронизывающего контур проводника.

Если в самом проводнике изменяется сила тока, то вокруг проводника существует переменное магнитное поле. Это поле порождает в проводнике индукционный ток, который называется **током самоиндукции**, а явление возникновения такого тока — **явлением самоиндукции**.

Значение открытия явления магнитной индукции заключается в том, что в этом явлении наглядно наблюдается связь электрических и магнитных явлений, электрического и магнитного полей, что позволяет говорить о существовании **единого электромагнитного поля**.

3. Явление электромагнитной индукции лежит в основе работы генератора электрического тока — устройства, которое служит источником электрического тока и в котором происходит преобразование механической энергии в электрическую. Основными частями генератора являются магнит и расположенная между его полюсами насаженная на вал рамка.

Рамка приводится во вращение, пронизывающее её магнитное поле изменяется, и в катушке возникает индукционный ток. Этот ток снимается с рамки с помощью устройства, называемого коллектором, представляющим собой два полукольца, каждое из которых присоединяется к различным концам рамки, и щётки, касающиеся колец. Промышленные генераторы имеют более сложное устройство, но все они состоят из вращающейся части (ротора), обычно в промышленном генераторе это электромагнит, создающий вращающееся магнитное поле, и неподвижной части (статора) — обмотки, в которой индуцируется электрический ток.

4. Максвеллом было теоретически показано, а Герцем экспериментально доказано, что изменяющееся магнитное поле порождает переменное электрическое поле, в свою очередь переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле, т.е. в пространстве происходят изменения (колебания) характеристик электромагнитного поля.

Электромагнитные колебания происходят в колебательной системе, называемой колебательным контуром. **Колебательный контур** — это электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности (рис. 96).

Если зарядить конденсатор и затем замкнуть его на катушку, то по цепи пойдёт электрический ток. При этом конденсатор начнёт разряжаться. Сначала сила тока в цепи будет увеличиваться, и появится ток самоиндукции, препятствующий увеличению основного тока и направленный против него. Через  $1/2$  часть периода конденсатор полностью разрядится, а сила тока в катушке станет максимальной. Затем сила тока начнет уменьшаться. Ток самоиндукции, который при этом возникнет, будет стремиться поддержать основной ток и будет направлен так же, как и он. Через  $1/4$  часть периода ток прекратится, и конденсатор перезарядится. Затем пойдёт обратный процесс.

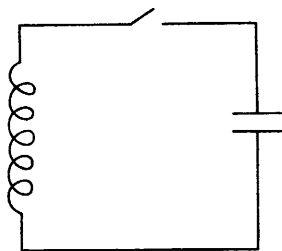


Рис. 96

Таким образом, в колебательном контуре происходят электромагнитные колебания, т.е. периодические изменения заряда, силы тока, электрического и магнитного полей. Колебания, происходящие в колебательном контуре, благодаря начальному запасу энергии в конденсаторе называются свободными. В процессе колебаний энергия извне в контур не поступает.

Минимальный промежуток времени, через который процесс в колебательном контуре полностью повторяется, называется периодом ( $T$ ) электромагнитных колебаний. За период колебаний заряд на обкладках конденсатора изменяется от максимального значения до следующего максимального значения того же знака, или сила тока изменяется от максимального значения до следующего максимального значения при том же направлении тока.

Характеризуя электромагнитные колебания, часто говорят об их частоте. Частотой ( $\nu$ ) колебаний называют число полных колебаний в одну секунду. Частота обратна периоду колебаний

Единицей частоты является 1 Гц. Частоту электромагнитных колебаний часто измеряют в килогерцах ( $1 \text{ кГц} = 1000 \text{ Гц}$ ) и в мегагерцах ( $1 \text{ МГц} = 1\,000\,000 \text{ Гц}$ ).



5. Подобно тому как механические колебания распространяются в пространстве в виде механических волн, электромагнитные колебания распространяются в пространстве в виде электромагнитных волн. Многочисленные эксперименты показывают, что электрическое и магнитное поля взаимосвязаны. Если в какой-либо точке пространства возникает переменное электрическое поле, то в соседних точках оно возбуждает переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает переменное электрическое поле и т.д. Таким образом, можно говорить об электромагнитном поле. Это поле и распространяется в пространстве.

**Процесс распространения периодически изменяющегося электромагнитного поля представляет собой электромагнитные волны.**

Электромагнитные волны распространяются в вакууме со скоростью 300 000 км/с. Они характеризуются определённой длиной волны  $\lambda$ . Длина волны — это расстояние, на которое перемещается электромагнитная волна за время, равное периоду колебаний ( $T$ ).  $\lambda = cT$  или  $\lambda = c/\nu$ , где  $c$  — скорость распространения электромагнитной волны,  $\nu$  — частота колебаний.

6. Электрически заряженные частицы могут колебаться с различной частотой. Соответственно, излучаемые при этом электромагнитные волны имеют разную длину волны. Поэтому диапазон частот электромагнитных волн очень широк: он лежит в пределах от 0 до  $10^{22}$  Гц, а длина волны — в пределах от  $10^{-14}$  м до бесконечности. По длине волны или по частоте электромагнитные волны можно разделить на восемь диапазонов. Обладая рядом общих свойств (интерференция, дифракция), волны разной частоты имеют и специфические свойства.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. В катушку, соединённую с гальванометром, вносят магнит. Направление индукционного тока зависит
  - А. От скорости перемещения магнита.
  - Б. От того, каким полюсом вносят магнит в катушку.

Правильный ответ

1) только А

3) и А, и Б

2) только Б

4) ни А, ни Б

2. В катушку, соединённую с гальванометром, вносят магнит. Сила индукционного тока зависит

А. от скорости перемещения магнита

Б. от того, каким полюсом вносят магнит в катушку

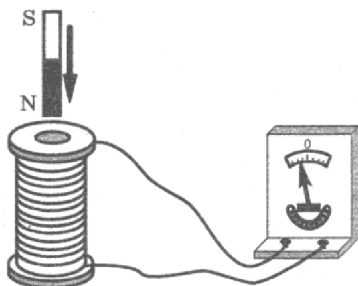
1) только А

2) только Б

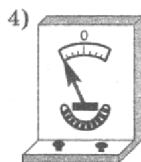
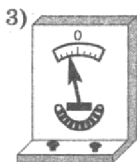
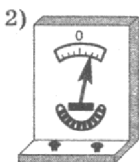
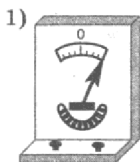
3) и А, и Б

4) ни А, ни Б

3. Постоянный магнит вносят в катушку, замкнутую на гальванометр (см. рисунок).



Если выносить магнит из катушки с большей скоростью, то показания гальванометра будут примерно соответствовать рисунку



4. Две одинаковые катушки замкнуты на гальванометры. В катушку А вносят полосовой магнит, а из катушки Б вынимают такой же полосовой магнит. В какой катушке гальванометр зафиксирует индукционный ток?

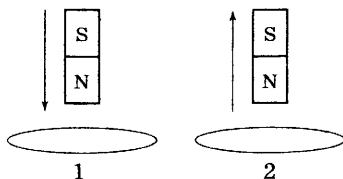
1) только в катушке А

2) только в катушке Б

3) в обеих катушках

4) ни в одной из катушек

5. В первом случае магнит вносят в сплошное эбонитовое кольцо, а во втором случае выносят из сплошного медного кольца (см. рисунок).



Индукционный ток

- 1) возникает только в эбонитовом кольце
  - 2) возникает только в медном кольце
  - 3) возникает в обоих кольцах
  - 4) не возникает ни в одном из колец
6. Внутри катушки, соединённой с гальванометром, находится малая катушка, подключённая к источнику постоянного тока. В каком из перечисленных опытов гальванометр зафиксирует индукционный ток?
- А. В малой катушке выключают электрический ток.  
 Б. Малую катушку вынимают из большой.
- 1) только в опыте А
  - 2) только в опыте Б
  - 3) в обоих опытах
  - 4) ни в одном из опытов
7. Внутри катушки, соединённой с гальванометром, находится малая катушка, подключённая к источнику тока. Первую секунду от начала эксперимента малая катушка неподвижна внутри большой катушки. Затем в течение следующей секунды её вынимают из большой катушки. Третью секунду малая катушка находится вне большой катушки. В течение четвертой секунды малую катушку вдвигают в большую. В какой(-ие) промежуток(-ки) времени гальванометр зафиксирует появление индукционного тока?
- 1) только 0–1 с
  - 2) 1 с–2 с и 3 с–4 с
  - 3) 0–1 с и 2 с–3 с
  - 4) только 1 с–2 с

8. Внутри катушки, соединённой с гальванометром, находится малая катушка, подключённая к источнику тока. Оси катушек совпадают. Первую секунду от начала эксперимента малая катушка неподвижна внутри большой катушки. Затем в течение следующей секунды её вращают относительно вертикальной оси по часовой стрелке. Третью секунду малая катушка вновь остаётся в покое. В течение четвёртой секунды малую катушку вращают против часовой стрелки. В какие промежутки времени гальванометр зафиксирует появление индукционного тока в катушке?

- 1) индукционный ток может возникнуть в любой промежуток времени
- 2) индукционный ток возникнет в промежутках времени 1–2 с, 3–4 с
- 3) индукционный ток не возникнет ни в какой промежуток времени
- 4) индукционный ток возникнет в промежутках времени 0–1 с, 2–3 с

9. К электромагнитным волнам относятся:

А. Волны на поверхности воды.

Б. Радиоволны.

В. Световые волны.

Укажите правильный ответ.

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) только В
- 4) Б и В

10. Какие из приведённых ниже формул могут быть использованы для определения скорости электромагнитной волны?

А.  $v = \lambda \nu$

В.  $v = \frac{\lambda}{T}$

Б.  $v = \frac{\lambda}{\nu}$

Г.  $v = \lambda T$

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) А и В
- 4) В и Г

**11. Установите соответствие между названием опыта (в левом столбце таблицы) и явлением, которое в этом опыте наблюдается (в правом столбце таблицы). В таблице под номером физической величины левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.**

ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ
А) опыты Фарадея	1) действие проводника с током на магнитную стрелку
Б) опыт Эрстеда	2) электромагнитная индукция
В) опыт Ампера	3) взаимодействие проводников с током

**12. Установите соответствие между техническими устройствами и физическими явлениями, лежащими в основе их работы.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА	ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
А) генератор электрического тока	1) взаимодействие постоянных магнитов
Б) электрический двигатель	2) взаимодействие проводников с током
В) электромагнитное реле	3) возникновение электрического тока в проводнике при его движении в магнитном поле
	4) магнитное действие проводника с током
	5) действие магнитного поля на проводник с током

## Часть 2

**13. На какую частоту нужно настроить радиоприёмник, чтобы слушать радиостанцию, которая передает сигналы на длине волны 2,825 м?**

- 1) 106,2 кГц
- 2) 106,2 МГц
- 3) 847,5 кГц
- 4) 847,5 МГц

**Закон прямолинейного распространения света.**

**Закон отражения света. Плоское зеркало.**

**Преломление света**

1. В основе явления распространения света лежат три закона: закон прямолинейного распространения света, закон отражения света и закон преломления света.

**Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде свет распространяется прямолинейно.** Однородная среда — это среда, состоящая из одного и того же вещества, например, воздух, вода, стекло, масло и пр. Наблюдать прямолинейное распространение света можно в затемненной комнате, в которую через небольшое отверстие проникает луч света.

Следствием прямолинейного распространения света является то, что свет не проникает за экраны, ширмы и другие преграды. Однако если преграда очень мала, например, если это волос, тонкая нить и т.п., то за неё свет будет проникать, т.е. свет в определённых условиях свет отклоняется от прямолинейного распространения.

Прямолинейное распространение света объясняет образование тени от предметов. На рисунке 97 показано распространение света от точечного источника.

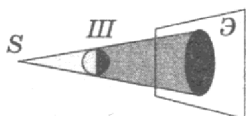


Рис. 97

**Точечный источник** — это такой источник, размеры которого малы по сравнению с расстоянием от него до наблюдателя. На рисунке видно, что на экране образуется чёткая тень предмета.

На рисунке 98 показано распространение света от протяжённого источника.

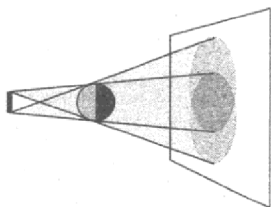


Рис. 98

В этом случае на экране образуются область тени и область полутени. **Тень** — область, в которую свет не попадает, в область полутени свет попадает от одной части источника света.

Зная, как образуется тень, можно объяснить солнечные и лунные затмения.

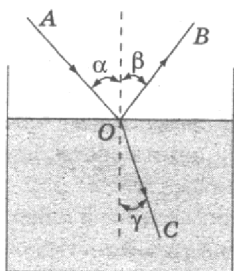


Рис. 99

2. Если среда, в которой распространяется свет неоднородная, т.е. свет падает на границу раздела двух сред, то свет изменяет направление распространения. На границе раздела двух сред происходят три явления: отражение света от границы раздела сред, преломление и поглощение веществом (рис. 99).

На рисунке 99 АО — падающий луч, ОВ — отражённый луч, ОС — преломлённый луч; угол  $\alpha$  между падающим лучом и перпендикуляром к границе раздела сред — угол падения луча, угол  $\beta$  между отражённым лучом и перпендикуляром к границе раздела сред — угол отражения, угол  $\gamma$  между преломлённым лучом и перпендикуляром к границе раздела сред — угол преломления.

При изменении угла падения изменяется угол отражения, но при этом отражение света подчиняется **закону отражения**:

- **угол отражения света равен углу падения ( $\beta = \alpha$ )**,
- **лучи падающий и отражённый, а также перпендикуляр, восставленный к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.**

Из закона отражения света следует, что падающий и отражённый лучи обратимы.



Рис. 100

Если свет отражается от гладкой поверхности, то отражение называется **зеркальным**. В этом случае, если на поверхность падают параллельные лучи, то отражённые лучи тоже будут параллельными (рис. 100).

Если параллельные лучи падают на шероховатую поверхность, то отражённые лучи будут направлены в разные стороны. Это отражение называют **рассеянным** или **диффузным**.

3. На рисунке 101 приведено построение изображения в плоском зеркале. Как показывают опыт и построение изображения предмета в плоском зеркале на основе закона отражения:

- **плоское зеркало дает прямое изображение предмета;**

— изображение имеет те же размеры, что и предмет;

— расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от зеркала до изображения.

Иными словами предмет и его изображение симметричны относительно зеркала.

Изображение предмета в плоском зеркале является мнимым.

Мнимое изображение — это такое изображение, которое формируется глазом. В точке  $S'$  собираются не сами лучи, а их продолжение, энергия в эту точку не поступает.

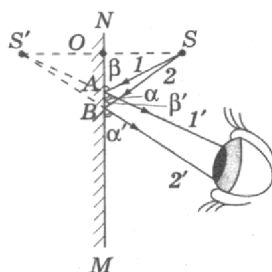


Рис. 101

#### 4. Изменение направления распространения света при переходе в другую среду называют преломлением света.

Эксперименты свидетельствуют о том, что при увеличении угла падения увеличивается угол преломления. Из опытов также следует, что соотношение углов падения и преломления зависит от оптической плотности среды.

Оптическая плотность среды характеризуется скоростью распространения света в ней. Чем больше скорость распространения света, тем меньше оптическая плотность среды. Так, оптическая плотность воздуха меньше, чем стекла, масла и пр., поскольку скорость света в этих средах меньше, чем в воздухе.

Явление преломления света подчиняется следующим закономерностям:

— если свет переходит из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную, то угол преломления меньше угла падения ( $\gamma < \alpha$ );

— если свет переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную, то угол преломления больше угла падения ( $\gamma > \alpha$ );

— лучи падающий и преломлённый, а также перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.

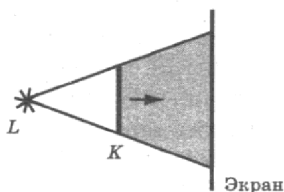
При переходе света из одной среды в другую его интенсивность несколько уменьшается. Это связано с тем, что свет частично поглощается средой.



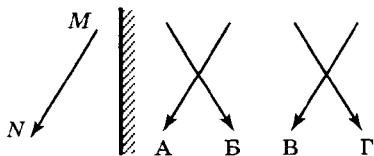
## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. На рисунке изображены точечный источник света  $L$ , предмет  $K$  и экран, на котором получают тень от предмета. При мере удаления предмета от источника света и приближения его к экрану (см. рисунок)



- 1) размеры тени будут уменьшаться
  - 2) размеры тени будут увеличиваться
  - 3) границы тени будут размываться
  - 4) границы тени будут становиться более чёткими
2. Размеры изображения предмета в плоском зеркале
- 1) больше размеров предмета
  - 2) равны размерам предмета
  - 3) меньше размеров предмета
  - 4) больше, равны или меньше размеров предмета в зависимости от расстояния между предметом и зеркалом
3. Луч света падает на плоское зеркало. Угол между падающим лучом и отражённым увеличили на  $30^\circ$ . Угол между зеркалом и отражённым лучом
- 1) увеличился на  $30^\circ$
  - 2) увеличился на  $15^\circ$
  - 3) уменьшился на  $30^\circ$
  - 4) уменьшился на  $15^\circ$
4. Какое из изображений — А, Б, В или Г — соответствует предмету MN, находящемуся перед зеркалом?



- 1) А
- 2) Б
- 3) В
- 4) Г

5. Предмет, расположенный перед плоским зеркалом, приблизили к нему на 5 см. Как изменилось расстояние между предметом и его изображением?

- 1) увеличилось на 5 см
- 2) уменьшилось на 5 см
- 3) увеличилось на 10 см
- 4) уменьшилось на 10 см

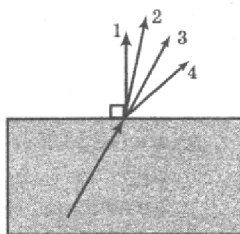
6. Предмет, расположенный перед плоским зеркалом, удалили от него так, что расстояние между предметом и его изображением увеличилось в 2 раза. Во сколько раз увеличилось расстояние между предметом и зеркалом?

- 1) в 0,5 раза
- 2) в 2 раза
- 3) в 4 раза
- 4) в 8 раз

7. Чему равен угол падения луча на границе вода — воздух, если известно, что угол преломления равен углу падения?

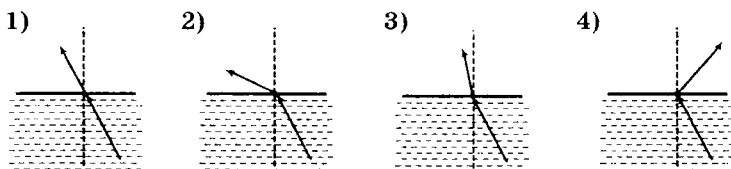
- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1) $90^\circ$ | 3) $45^\circ$ |
| 2) $60^\circ$ | 4) $0^\circ$  |

8. Луч света переходит из стекла в воздух, преломляясь на границе раздела двух сред. Какое из направлений 1–4 соответствует преломлённому лучу?

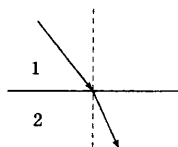


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

9. Свет распространяется из масла в воздух, преломляясь на границе раздела этих сред. На каком рисунке правильно представлены падающий и преломлённый лучи?



10. Световой луч падает на границу раздела двух сред. Скорость света во второй среде



- 1) равна скорости света в первой среде
- 2) больше скорости света в первой среде
- 3) меньше скорости света в первой среде
- 4) используя один луч, нельзя дать точный

11. Для каждого примера из первого столбца подберите соответствующее физическое явление из второго столбца. Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ	ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
А) изображение стоящих на берегу деревьев в «зеркале» воды	1) отражение света
Б) видимое изменение положения камня на дне озера	2) преломление света
В) эхо в горах	3) дисперсия света
	4) отражение звуковых волн
	5) преломление звуковых волн

12. Из перечня приведённых ниже высказываний выберите два правильных и запишите их номера в таблицу

- 1) угол преломления равен углу падения, если оптическая плотность двух граничащих сред одинакова
- 2) чем больше показатель преломления среды, тем больше скорость света в ней
- 3) полное внутреннее отражение происходит при переходе света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную
- 4) угол преломления всегда меньше угла падения
- 5) угол преломления всегда равен углу падения

**Дисперсия света. Линза. Фокусное расстояние линзы. Глаз как оптическая система. Оптические приборы**

1. Если направить на призму пучок белого света, то на экране можно наблюдать разноцветную полосу, которая называется **спектром белого света**. Спектр состоит из семи

простых цветов: красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего, фиолетового.

Разложение света в спектр объясняется тем, что световые пучки по-разному преломляются призмой: лучи красного цвета преломляются слабее, а лучи фиолетового цвета — сильнее. Зависимость угла преломления света в среде от цвета света (от длины световой волны) называется *дисперсией света*.

*Радуга* — это спектр солнечного света. Он образуется при разложении белого света в каплях дождя, которые можно рассматривать как призмы.

2. На явлении преломления света основано получение изображения предмета с помощью линзы.

**Линзой называют прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.** Иногда одна поверхность может быть плоской.

Линза, у которой середина толще, чем края, является выпуклой, она собирает падающий на неё световой пучок и потому называется собирающей (рис. 102).

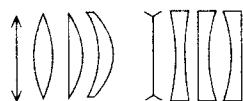
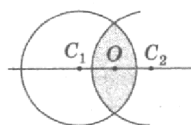


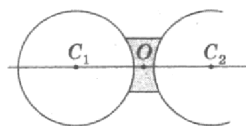
Рис. 102

Линза, у которой края толще, чем середина, является вогнутой, она рассеивает падающий на неё световой пучок и потому называется рассеивающей (рис. 102).



а) Линза двояковыпуклая

Линию, проходящую через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называют **главной оптической осью** ( $C_1C_2$  — рис. 103). Точку  $O$  называют **оптическим центром линзы**.



б) Линза двояковогнутая

Для построения изображения предмета в линзе достаточно знать ход двух лучей. Один из них — это луч, проходящий через оптический центр линзы, он проходит, не преломляясь. Вторым луч — луч, параллельный главной оптической оси линзы. Все лучи, параллельные главной оптической оси линзы, после преломления собираются в одной точке  $F$  на оптической оси. Эта точка называется **главным фокусом линзы** (рис. 104).

Рис. 103

**Главный фокус линзы  $F$  — точка, в которой после преломления собираются лучи, параллельные главной оптической оси.**

Расстояние от оптического центра линзы до её фокуса называется **фокусным расстоянием**. Линза имеет два фокуса: справа и слева от неё.

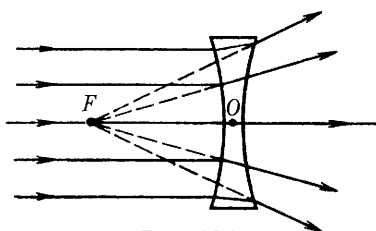


Рис. 104

Если направить на рассеивающую линзу пучок параллельных лучей, то после преломления этот пучок будет расходящимся (рис. 104).

Продолжения лучей соберутся в точке, которую называют **главным фокусом** рассеивающей линзы. Этот фокус является **мнимым**, в нём пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

Величину, обратную фокусному расстоянию ( $F$ ), называют **оптической силой линзы ( $D$ )**:  $D = 1/F$ . Единица оптической силы линзы — **диоптрия (1 дптр)**.  $1 \text{ дптр} = 1/\text{м}$ .

Оптическая сила собирающей линзы — величина положительная, оптическая сила рассеивающей линзы — величина отрицательная.

**3. Линзы являются главной частью оптических приборов.** Существуют две группы оптических приборов: приборы, вооружающие глаз, к которым относятся очки, лупа, микроскоп, телескоп, и приборы, которые формируют изображение без участия глаза: фотоаппарат, проекционный аппарат и пр.

Оптическая схема фотоаппарата представлена на рисунке 105 а. Предмет находится от линзы на расстоянии, большем двойного фокусного расстояния, а уменьшенное изображение формируется на плёнке, которая помещается на задней стенке фотоаппарата на расстоянии от линзы, близком к фокусному. Проекционный аппарат позволяет получать на экране действительное увеличенное изображение предметов. Предмет помещается между фокусом и двойным фокусом линзы, чем ближе к фокусу, тем больше размер изображения. Оптическая схема проекционного аппарата показана на рисунке 105 б.

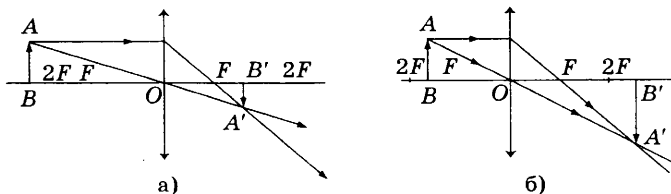


Рис. 105

4. Роль линзы в оптической системе глаза играет хрусталик — прозрачное тело, которое может быть более или менее выпуклым, т.е. его фокусное расстояние может изменяться. За хрусталиком расположено стекловидное тело, заполняющее остальную часть глаза. Хрусталик и стекловидное тело играют роль линзы, преломляющей падающие лучи. На задней стенке глаза находится сетчатка, на которой после преломления получается действительное уменьшенное, перевёрнутое изображение. Нервные волокна сетчатки передают ощущение света в мозг.

Существуют 2 основных дефекта зрения: дальнозоркость и близорукость. Близорукий человек хорошо видит близкие предметы и плохо — удалённые. У него изображение предмета формируется за сетчаткой. Для коррекции зрения в этом случае необходимы очки с рассеивающими линзами, делающие входящий в глаз световой пучок расходящимся. В этом случае глаз соберёт лучи на сетчатке.

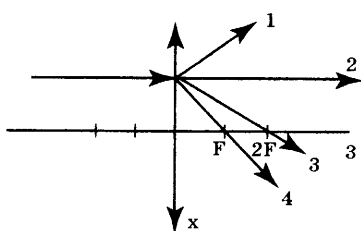
Дальнозоркий человек хорошо видит удалённые предметы и плохо — близкие. У него изображение предмета формируется за сетчаткой. Для коррекции зрения в этом случае необходимы очки с собирающими линзами. На хрусталик в этом случае падает сходящийся световой пучок, который он преломляет так, что лучи собираются на сетчатке.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

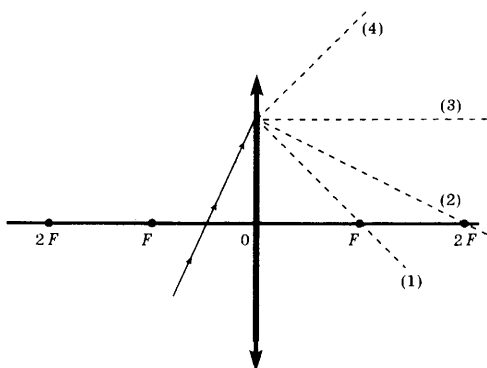
1. При попадании солнечного света на капли дождя иногда образуется радуга. Появление в радуге полос различного цвета обусловлено явлением
  - 1) преломления света
  - 2) поглощения света
  - 3) дисперсии света
  - 4) многократного отражения света

2. На линзу падает луч, показанный на рисунке. Ходу луча после преломления в линзе соответствует линия



- 1) 1  
2) 2  
3) 3  
4) 4

3. На рисунке изображён ход падающего на линзу луча. Ходу прошедшего через линзу луча соответствует пунктирная линия



- 1) 1      2) 2      3) 3      4) 4

4. Предмет находится от собирающей линзы на расстоянии, равном  $2F$ . На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?
- 1) меньше  $F$                       3) больше  $2F$   
2) между  $F$  и  $2F$                 4) равно  $2F$
5. Предмет находится от собирающей линзы на расстоянии, меньшем  $2F$  и больше  $F$ . На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?
- 1) больше  $2F$                       3) меньше  $F$   
2) между  $F$  и  $2F$                 4) равно  $2F$
6. Линза, фокусное расстояние которой  $F$ , даёт действительное уменьшенное изображение предмета. На каком расстоянии от линзы находится предмет?





11. Установите соответствие между световым явлением (в левом столбце таблицы) и его применением (в правом столбце таблицы). В таблице под номером положения предмета левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

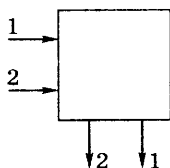
ПОЛОЖЕНИЕ ПРЕДМЕТА	ПОЛОЖЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ
А) отражение света от гладкой поверхности	1) очки для даль- нозорких людей
Б) преломление света рассеиваю- щей линзой	2) зеркало
В) преломление света собираю- щей линзой	3) очки для близо- руких людей

12. Установите соответствие между положением предмета (в левом столбце таблицы) и положением изображения в линзе (в правом столбце таблицы). В таблице под номером положения предмета левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ПОЛОЖЕНИЕ ПРЕДМЕТА	ПОЛОЖЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ
А) на расстоянии, большем $2F$	1) перевернутое на расстоянии, большем $2F$
Б) между $F$ и $2F$	2) уменьшенное между $F$ и $2F$
В) между $F$ и линзой	3) увеличенное прямое мнимое
	4) действительное на расстоянии $2F$ от линзы
	5) уменьшенное на расстоянии, большем $2F$

## Часть 2

13. После прохождения оптического прибора, закрытого на рисунке ширмой, ход лучей 1 и 2 изменился на 1 и 2. Какое оптическое стекло: собирающая линза, рассеивающая линза, плоское зеркало или плоскопараллельная стеклянная пластина находится за ширмой?



# КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Радиоактивность. Альфа-, бета-, гамма-излучения.  
Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома

1. Радиоактивностью называют явление самопроизвольного излучения некоторых химических элементов, а вид этого излучения называют радиоактивным излучением. Первым радиоактивное излучение обнаружил Анри Беккерель, который, проводя эксперименты с солями урана, по почернению фотопластинки установил, что они самопроизвольно испускают невидимое излучение сильной проникающей способности. В дальнейшем было обнаружено, что не только уран, но и такие элементы, как радий и полоний, тоже испускают невидимое излучение.

Радиоактивность, которой обладают вещества, существующие в природе, называют естественной радиоактивностью. Она проявляется у всех элементов таблицы Д.И. Менделеева, порядковый номер которых больше 83. В дальнейшем было установлено, что и некоторые искусственно полученные вещества радиоактивны.

2. Резерфорд, изучая радиоактивное излучение, обнаружил его сложный состав. Он поместил радиоактивный препарат в свинцовый сосуд с отверстием (рис. 106). Над сосудом расположил фотопластинку, на которую падало

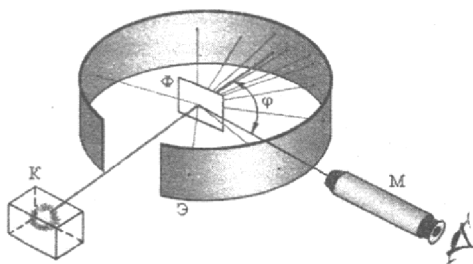


Рис. 106

радиоактивное излучение, выходявшее через отверстие и прошедшее через магнитное поле.

Когда фотопластинку проявили, то на ней обнаружили три тёмных пятна. Одно пятно располагалось точно напротив отверстия. Это значит, что магнитное поле на него не действовало и заряженных частиц в этом излучении нет. Его назвали гамма-излучением ( $\gamma$ -излучение). Гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение или поток фотонов.

Наличие двух боковых пятен по разную сторону от центрального означает, что существуют два излучения, состоящие из частиц, имеющих заряды противоположных знаков. Эксперимент показывает, что одно из них представляет собой поток положительно заряженных частиц. Их назвали  $\alpha$ -частицами. Другое излучение состоит из отрицательно заряженных частиц. Их назвали  $\beta$ -частицами.

Изучение этих излучений позволило сделать вывод, что  $\alpha$ -частицы — это ядра атома гелия. Их массовое число — 4, а зарядовое число (электрический заряд) — +2, т.е.  ${}^4_2\text{He}$ .  $\beta$ -частицы представляют собой электроны. Их массовое число равно 0, а зарядовое число равно  $-1$ , т.е.  ${}^0_{-1}e$ .

Альфа-, бета- и гамма-излучения обладают разной проникающей способностью. Наибольшей проникающей способностью обладает  $\gamma$ -излучение, проникающая способность  $\beta$ -излучения меньше, она ещё меньше у  $\alpha$ -излучения.

3. Первую модель строения атома предложил Джозеф Джон Томсон, после того как он открыл электрон — частицу с наименьшим электрическим зарядом. Он представлял атом в виде шара из положительно заряженного вещества, в который вкраплены электроны. При этом положительный заряд шара равен суммарному заряду электронов. Модель атома Томсона называют «пудингом с изюмом». Используя эту модель, можно было объяснить электрическую проводимость веществ, явление электризации тел и др.

Проводя опыты по изучению строения вещества, Резерфорд показал несостоятельность модели Томсона. Резерфорд облучал тонкую металлическую фольгу  $\alpha$ -частицами, имеющими большую энергию. В соответствии с мо-

делью Томсона  $\alpha$ -частицы должны были отражаться от атома. Однако очень небольшое число частиц рассеивалось на углы от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ . Большинство частиц проходило через фольгу, отклоняясь от направления движения на незначительные углы.

В результате экспериментов Резерфорд предложил новую модель строения атома, названную планетарной моделью. Он сделал следующие выводы:

— в атоме существует положительно заряженная частица, названная ядром атома, которая отталкивает  $\alpha$ -частицы;

— размеры ядра малы по сравнению с размерами атома, поскольку отталкивается очень небольшое число  $\alpha$ -частиц, а большинство  $\alpha$ -частиц свободно проходит через фольгу; ядро имеет диаметр порядка  $10^{-14}$ — $10^{-15}$  м.

— масса ядра сравнима с массой  $\beta$ -частицы, поскольку масса электронов в 8000 раз меньше массы  $\alpha$ -частицы и электроны не смогли бы изменить направление её движения.

Таким образом, в соответствии с моделью атома Резерфорда в центре атома расположено положительное ядро, вокруг которого движутся отрицательно заряженные электроны. Поскольку масса электронов мала, то масса атома в основном сосредоточена в ядре.

Так как атом в целом нейтрален, то положительный заряд ядра должен быть равен суммарному заряду электронов. Число электронов в нейтральном атоме равно порядковому номеру  $Z$  элемента в периодической системе Д.И. Менделеева. Заряд атомного ядра  $q_{\text{я}}$  равен произведению  $Z$  и заряда электрона  $e$ :  $q_{\text{я}} = Z \cdot e$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. Какой из типов радиоактивного излучения представляет собой поток положительно заряженных частиц?
  - 1)  $\alpha$ -излучение
  - 2)  $\beta$ -излучение
  - 3)  $\gamma$ -излучение
  - 4) поток нейтронов

2. При исследовании естественной радиоактивности были обнаружены три вида излучений: альфа-излучение, бета-излучение и гамма-излучение. Что представляет собой гамма-излучение?
- 1) поток электронов
  - 2) поток нейтронов
  - 3) поток ядер атомов гелия
  - 4) электромагнитное излучение
3. При исследовании естественной радиоактивности были обнаружены три вида излучений: альфа-излучение (поток альфа-частиц), бета-излучение (поток бета-частиц) и гамма-излучение. Каковы знак и модуль заряда бета-частиц?
- 1) отрицательный и равный элементарному заряду
  - 2) положительный и равный по модулю двум элементарным зарядам
  - 3) положительный и равный по модулю элементарному заряду
  - 4) альфа-частицы не имеют заряда
4. Радиоактивный препарат помещен в магнитное поле. В этом поле не отклоняются
- A.  $\alpha$ -лучи
  - B.  $\beta$ -лучи
  - B.  $\gamma$ -лучи
- Правильный ответ
- 1) только A
  - 2) только A и B
  - 3) только B
  - 4) только A и B
5. Какое из трёх типов излучения —  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$  — обладает наименьшей проникающей способностью?
- 1)  $\alpha$
  - 2)  $\beta$
  - 3)  $\gamma$
  - 4) проникающая способность всех типов излучения одинакова
6. Какой вывод можно было сделать из результатов опытов Резерфорда?
- 1) атом представляет собой положительно заряженный шар, в который вкраплены электроны
  - 2) ядро атома имеет такие же размеры, что и  $\alpha$ -частицы
  - 3) атом имеет положительно заряженное ядро, вокруг которого вращаются электроны
  - 4) атом излучает и поглощает энергию порциями

7. Почему в опыте Резерфорда большая часть  $\alpha$ -частиц практически не отклоняется от прямолинейной траектории?
- 1) ядро атома имеет малые по сравнению с  $\alpha$ -частицей размеры
  - 2) ядро атома имеет положительный заряд
  - 3) ядро атома имеет малые по сравнению с атомом размеры
  - 4) ядро атома притягивает  $\alpha$ -частицы
8. Суммарный заряд электронов в нейтральном атоме:
- 1) отрицательный и равен по модулю заряду ядра
  - 2) положительный и равен по модулю заряду ядра
  - 3) может быть положительным или отрицательным, но равным по модулю заряду ядра
  - 4) отрицательный и всегда больше по модулю заряда ядра
9. Число электронов в нейтральном атоме равно
- 1) числу нейтронов в ядре
  - 2) числу протонов в ядре
  - 3) суммарному числу нейтронов и протонов
  - 4) разности между числом протонов и нейтронов
10. Атом становится отрицательно заряженным ионом, если
- 1) он потеряет электроны
  - 2) к нему присоединятся электроны
  - 3) он потеряет протоны
  - 4) к нему присоединятся протоны
11. Установите соответствие между видом излучения (в левом столбце таблицы) и его характеристикой (в правом столбце таблицы). В таблице под номером вида излучения левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗЛУЧЕНИЯ
A. Альфа-излучение	1. Отрицательный заряд, равный двум элементарным зарядам
B. Бета-излучение	2. Отрицательный заряд, равный элементарному заряду
V. Гамма-излучение	3. Положительный заряд, равный по модулю двум элементарным зарядам
	4. Положительный заряд, равный по модулю элементарному заряду
	5. Отсутствие заряда

12. Из приведённых ниже высказываний выберите 2 правильных и запишите их номера в таблицу.

- 1) магнитное поле не действует на гамма-излучение
- 2) магнитное поле сильнее отклоняет альфа-частицы
- 3) магнитное поле сильнее отклоняет бета-частицы
- 4) все три вида излучения, обнаруженные при исследовании естественной радиоактивности, отклоняются магнитным полем
- 5) радиоактивностью обладают все элементы таблицы Менделеева

## Состав атомного ядра. Ядерные реакции

1. Экспериментальное изучение строения атомного ядра осуществлял Резерфорд. Он облучал б-частицами атомы азота и других элементов. При этом из ядер азота вылетали ядра водорода  ${}^1_1\text{H}$ . Резерфорд предположил, что эти частицы входят в состав атомного ядра. В дальнейшем их называли протонами и стали условно обозначать  ${}^1_1p$ .

Было также экспериментально доказано, что существует еще одна частица, которая входит в состав ядра любого элемента. Эта частица не имеет электрического заряда и потому на неё не действует ни электрическое, ни магнитное поле. Её называли нейтроном, обозначается эта частица буквой  ${}^1_0n$ . Масса нейтрона приблизительно равна массе протона.

Результаты этих и других экспериментов послужили основанием для создания протонно-нейтронной модели ядра, согласно которой ядро любого элемента состоит из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны имеют общее название нуклоны.

То, что ядра химических элементов устойчивы, нельзя объяснить гравитационным взаимодействием нуклонов:

- оно слишком мало, поскольку мала масса нуклонов;
- электромагнитное взаимодействие между этими частицами отсутствует, так как нейтрон не имеет электрического заряда. Соответственно, между нуклонами в ядре действуют силы другой природы. Их называют ядерными силами, они характеризуют взаимодействие, называемое

сильным. Ядерное взаимодействие очень сильное, но существует на малых расстояниях.

Поскольку атом в целом нейтрален, то число протонов равно числу электронов, а суммарный заряд протонов равен по модулю суммарному заряду электронов, т.е.  $Z \cdot e$ , где  $Z$  — порядковый номер элемента в таблице Д.И. Менделеева или зарядовое число. Сумму числа протонов и числа нейтронов в ядре называют массовым числом, которое обозначается буквой  $A$ . Число нейтронов  $N$  равно разности между массовым числом и зарядовым числом или:  $A = Z + N$ .

Ядро атома обозначается символом химического элемента; перед символом наверху пишут массовое число, а внизу зарядовое число. Например: в ядре атома лития  ${}^7_3\text{Li}$  содержится: протонов  $Z = 3$  и нейтронов  $N = A - Z = 4$ .

Ядра одного и того же химического элемента могут содержать разное число нейтронов. При этом они имеют одинаковое зарядовое число, но разное массовое число. Например, ядра  ${}^{235}_{92}\text{U}$  и  ${}^{238}_{92}\text{U}$  имеют по 92 и 143 и 146 нейтронов соответственно. Элементы, имеющие одинаковое зарядовое число и разные массовые числа называются изотопами.

**2. Радиоактивные элементы, испуская излучение, превращаются в другие элементы. При этом, поскольку излучение приводит к появлению нового химического элемента, можно сделать вывод, что изменения происходят именно с ядром атома. Радиоактивное превращение ядер одних элементов в ядра других элементов называют радиоактивным распадом.**

В процессе радиоактивного распада испускается альфа- и бета-излучение. Эти процессы называются соответственно альфа- и бета-распады.

**Альфа-распад** — превращение ядра  $X$  в новое ядро  $Y$  при испускании  $\alpha$ -частицы. Реакция  $\alpha$ -распада выглядит следующим образом  ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$ . В результате альфа-распада образуется ядро элемента, порядковый номер которого на 2 меньше, чем исходного, а массовое число на 4 меньше, чем исходного, т.е. в таблице Д.И. Менделеева элемент смещается на две клетки к её началу.



Примером альфа-распада может служить реакция превращения изотопа протактиния  ${}_{91}^{231}\text{Pa}$  в изотоп  ${}_{89}^{227}\text{Ac}$ :  
 ${}_{91}^{231}\text{Pa} \rightarrow {}_{89}^{227}\text{Ac} + {}_2^4\text{He}$ .

**Бета-распад** — превращение ядра  $X$  в новое ядро  $Y$  при испускании электрона. Реакция в-распада выглядит следующим образом  ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$ . В результате бета-распада зарядовое число нового элемента становится на единицу больше, чем исходного, а массовое число не изменяется. Новый элемент смещается в таблице Д.И. Менделеева на одну клетку к её концу.

Примером бета-распада может служить реакция превращения изотопа бора  ${}_{5}^{14}\text{B}$  в изотоп углерода  ${}_{6}^{14}\text{C}$ :  
 ${}_{5}^{14}\text{B} \rightarrow {}_{6}^{14}\text{C} + {}_{-1}^0e$ .

3. В процессе радиоактивного распада число радиоактивных атомов уменьшается. Распад разных радиоактивных веществ происходит с разной интенсивностью. Например, радиоактивные изотопы иода распадаются значительно быстрее, чем изотопы стронция. Характеристикой интенсивности радиоактивного распада является величина, называемая периодом полураспада.

**Периодом полураспада  $T$  называют промежуток времени, в течение которого распадается половина первоначального числа атомов радиоактивного вещества.** Чем меньше период полураспада, тем быстрее распадутся все радиоактивные атомы.

Например, имеется  $4 \cdot 10^8$  атомов радиоактивного изотопа йода, период полураспада которого 25 минут. Это означает, что в течение 25 минут распадается половина ядер изотопа йода, т.е.  $2 \cdot 10^8$  ядер, а  $2 \cdot 10^8$  ядер останется нераспавшимися. Еще через 25 минут нераспавшимися останется  $10^8$  ядер йода, еще через 25 минут —  $0,5 \cdot 10^8$  ядер и так далее.

Особенностью закона радиоактивного распада является то, что невозможно предсказать, когда произойдет распад каждого конкретного атома. Оно может произойти во время одного периода полураспада, или двух, или трех. Период полураспада относится не к конкретному атому, а к совокупности атомов радиоактивного вещества.

Превращение ядер одного элемента в ядра другого элемента происходит не только в процессе радиоактивного

распада. Такое превращение может происходить при взаимодействии ядер элементов друг с другом или с такими частицами, как альфа-частицы, электроны, протоны, нейтроны. **Превращение исходного атомного ядра при взаимодействии с какой-либо частицей в другое ядро, отличное от исходного, называют ядерной реакцией.**

4. Все реально происходящие ядерные реакции подчиняются **закону сохранения массового числа и закону сохранения зарядового числа.**

Например, осуществлена ядерная реакция  ${}_{12}^{25}\text{Mg} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_{11}^{22}\text{Na} + ?$ , в результате которой получен изотоп натрия и некоторая частица, которую нужно определить. Найдем сумму массовых чисел в левой части уравнения. Она равна 26. Вычитаем из этого числа массовое число изотопа натрия:  $26 - 22 = 4$ . Следовательно, массовое число неизвестной частицы равно 4. Определяем зарядовое число: сумма зарядовых чисел в левой части равенства равна 13, следовательно, зарядовое число неизвестной частицы  $13 - 11 = 2$ . Таким образом, массовое число образовавшейся в результате реакции частицы 4, а зарядовое число 2. Это — альфа-частица. Уравнение имеет вид:  ${}_{12}^{25}\text{Mg} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_{11}^{22}\text{Na} + {}_2^4\text{He}$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Ядро атома состоит из
  - 1) протонов и электронов
  - 2) нейтронов и протонов
  - 3) нейтронов и электронов
  - 4) только протонов
- Ядро аргона  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$  содержит
  - 1) 40 протонов и 22 нейтрона
  - 2) 40 протонов и 18 нейтронов
  - 3) 18 протонов и 40 нейтронов
  - 4) 18 протонов и 22 нейтрона
- Период полураспада ядер изотопа кальция составляет 164 суток. Это означает, что
  - 1) каждые 164 суток распадается одно ядро атома кальция





## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

---

**Справочные данные, которые могут понадобиться  
при выполнении тестовых заданий**

<b>Десятичные приставки</b>		
<b>Наименование</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Множитель</b>
гига	Г	$10^9$
мега	М	$10^6$
кило	к	10
гекто	г	$10^2$
санти	с	$10^{-2}$
милли	м	$10^{-3}$
микро	мк	$10^{-6}$
нано	н	$10^{-9}$

<b>Константы</b>	
ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
элементарный электрический заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

<b>Плотность</b>			
бензин	$710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	древесина (сосна)	$400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Плотность			
спирт	$800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	парафин	$900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
керосин	$800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	алюминий	$2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
масло машинное	$900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	мрамор	$2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
вода	$1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	цинк	$7100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
молоко цельное	$1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	сталь, железо	$7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
вода морская	$1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	медь	$8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
ртуть	$13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	свинец	$11350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Удельная			
теплоём- кость воды	$4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота парооб- разования воды	$2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость спирта	$2400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота парооб- разования спир- та	$9,0 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость льда	$2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота плавле- ния свинца	$2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость алю- миния	$920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота плавле- ния стали	$7,8 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость стали	$500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота плавле- ния олова	$5,9 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость цинка	$400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота плавле- ния льда	$3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Окончание табл.

Удельная			
теплоём- кость меди	400 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота сгора- ния спирта	$2,9 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость олова	230 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота сгора- ния керосина	$4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость свинца	130 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	теплота сгора- ния бензина	$4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
теплоём- кость бронзы	420 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$		

Температура плавления		Температура кипения	
свинца	327 °C	воды	100 °C
олова	232 °C	спирта	78 °C
льда	0 °C		

Удельное электрическое сопротивление, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (при 20 °C)			
серебро	0,016	никелин	0,4
медь	0,017	нихром (сплав)	1,1
алюминий	0,028	фехраль	1,2
железо	0,10		

Нормальные условия: давление  $10^5$  Па, температура 0 °C.

## ПРИМЕР ВАРИАНТА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОГЭ (ГИА)

Ниже приведён пример варианта контрольно-измерительных материалов (КИМ), составленного из реальных заданий ОГЭ. Структура КИМ соответствует структуре, определённой спецификацией на 2016 г.

Каждый вариант контрольно-измерительных материалов состоит из двух частей и содержит 26 заданий, различающихся формой и уровнем сложности (таблица 1).

Часть 1 содержит 22 задания, из которых 13 заданий с выбором ответа из четырех возможных, 8 заданий, к которым требуется привести краткий ответ в виде набора цифр, и 1 задание с развернутым ответом. Задания 1, 6, 9, 15 и 19 с кратким ответом представляют собой задания на установление соответствия позиций, представленных в двух множествах, или задания на выбор двух правильных утверждений из предложенного перечня (множественный выбор).

Часть 2 содержит 4 задания (23–26), для которых необходимо привести развернутый ответ. Задание 23 представляет собой практическую работу, для выполнения которой используется лабораторное оборудование.

Таблица 1. Распределение заданий по частям работы

№	Части работы	Количество заданий	Максимальный первичный балл	Процент максимального первичного балла за задания данной части от максимального первичного балла за всю работу, равного 40	Тип заданий
1	Часть 1	22	28	70	13 заданий с ответом в виде одной цифры, 8 задания с ответом в виде набора цифр и 1 задание с развернутым ответом



№	Части работы	Количество заданий	Максимальный первичный балл	Процент максимального первичного балла за задания данной части от максимального первичного балла за всю работу, равного 40	Тип заданий
2	Часть 2	4	12	30	Задания с развернутым ответом
Итого		26	40	100	

В экзаменационной работе проверяются знания и умения, приобретенные в результате освоения следующих разделов курса физики основной школы.

1. *Механические явления*
2. *Тепловые явления*
3. *Электромагнитные явления*
4. *Квантовые явления*

Общее количество заданий в экзаменационной работе по каждому из разделов приблизительно пропорционально его содержательному наполнению и учебному времени, отводимому на изучение данного раздела в школьном курсе.

В таблице 2 дано распределение заданий по разделам (темам). Задания части 2 (задания 23–26) проверяют комплексное использование знаний и умений из различных разделов курса физики.

Таблица 2. Распределение заданий по основным содержательным разделам (темам) курса физики в зависимости от формы заданий

Разделы (темы) курса физики, включенные в экзаменационную работу	Количество заданий		
	Вся работа	Часть 1	Часть 2
Механические явления	7–13	6–10	1–3
Тепловые явления	3–10	3–9	1–3
Электромагнитные явления	7–13	6–10	1–3
Квантовые явления	1–4	1–4	—
Итого	26	22	4

Экзаменационная проверяет следующие виды деятельности:

1. Владение основным понятийным аппаратом школьного курса физики.

1.1. Знание и понимание смысла понятий.

1.2. Знание и понимание смысла физических величин.

1.3. Знание и понимание смысла физических законов.

1.4. Умение описывать и объяснять физические явления.

2. Владение основами знаний о методах научного познания и экспериментальными умениями.

3. Решение задач различного типа и уровня сложности.
4. Понимание текстов физического содержания.
5. Использование приобретенных знаний и умений в практической деятельности и повседневной жизни.

В таблице 3 приведено распределение заданий по видам деятельности в зависимости от формы заданий.

Таблица 3. Распределение заданий по видам деятельности в зависимости от формы заданий

Виды деятельности	Число заданий	
	Часть 1	Часть 2
1. Владение основным понятийным аппаратом школьного курса физики		
1.1. Понимание смысла понятий	1—2	
1.2. Понимание смысла физических явлений	2—6	
1.3. Понимание смысла физических величин	5—7	
1.4. Понимание смысла физических законов	4—8	
2. Владение основами знаний о методах научного познания и экспериментальными умениями	2	1
3. Решение задач различного типа и уровня сложности	3	2—3
4. Понимание текстов физического содержания	3	
5. Использование приобретенных знаний и умений в практической деятельности и повседневной жизни		0—1

Владение основами знаний о методах научного познания и экспериментальные умения проверяются в заданиях 18, 19 и 23. Задание 18 с выбором ответа и задание 19 с кратким ответом контролируют следующие умения:

- формулировать (различать) цели проведения (гипотезу, выводы) описанного опыта или наблюдения;
- конструировать экспериментальную установку, выбирать порядок проведения опыта в соответствии с предложенной гипотезой;
- использовать физические приборы и измерительные инструменты для прямых измерений физических величин;
- проводить анализ результатов экспериментальных исследований, в том числе выраженных в виде таблицы или графика.

Экспериментальное задание 23 проверяет:

1) *умение проводить косвенные измерения физических величин*: плотности вещества; силы Архимеда; коэффициента трения скольжения; жесткости пружины; периода и частоты колебаний математического маятника; момента силы, действующего на рычаг; работы силы упругости при подъеме груза с помощью подвижного или

неподвижного блока; работы силы трения; оптической силы собирающей линзы; электрического сопротивления резистора; работы и мощности тока;

2) *умение представлять экспериментальные результаты в виде таблиц, графиков или схематических рисунков и делать выводы на основании полученных экспериментальных данных:* о зависимости силы упругости, возникающей в пружине, от степени деформации пружины; о зависимости периода колебаний математического маятника от длины нити; о зависимости силы тока, возникающей в проводнике, от напряжения на концах проводника; о зависимости силы трения скольжения от силы нормального давления; о свойствах изображения, полученного с помощью собирающей линзы;

3) *умение проводить экспериментальную проверку физических законов и следствий:* проверка правила для электрического напряжения при последовательном соединении резисторов, проверка правила для силы электрического тока при параллельном соединении резисторов.

Понимание текстов физического содержания проверяется заданиями 20—22. Для одного и того же текста формулируются вопросы, которые контролируют умения:

— понимать смысл использованных в тексте физических терминов;

— отвечать на прямые вопросы к содержанию текста;

— отвечать на вопросы, требующие сопоставления информации из разных частей текста;

— использовать информацию из текста в измененной ситуации;

— переводить информацию из одной знаковой системы в другую.

Задания, в которых необходимо решить задачи, представлены в различных частях работы. Это три задания с кратким ответом (задания 7, 10 и 16) и три задания с развернутым ответом. Задание 24 — качественный вопрос (задача), представляющий собой описание явления или процесса из окружающей жизни, для которого учащимся необходимо привести цепочку рассуждений, объясняющих протекание явления, особенности его свойств и т.п.

Задания для ОГЭ по физике характеризуются также по способу представления информации в задании или дистракторах и подбираются таким образом, чтобы проверить умения учащихся читать графики зависимости физических величин, табличные данные или использовать различные схемы или схематичные рисунки.

В экзаменационной работе представлены задания разных уровней сложности: базового, повышенного и высокого.

В таблице 4 представлено распределение заданий по уровням сложности.

Таблица 4. Распределение заданий по уровням сложности

Уровень сложности заданий	Количество заданий	Максимальный первичный балл	Процент максимального первичного балла за задания данного уровня сложности от максимального первичного балла за всю работу, равного 40
Базовый	16	19	47,5
Повышенный	7	11	27,5
Высокий	3	10	25
Итого	26	40	100

### Система оценивания выполнения отдельных заданий и экзаменационной работы в целом

Задание с кратким ответом считается выполненным, если записанный ответ совпадает с верным ответом. Задания 1, 6, 9, 15 и 19 оцениваются в 2 балла, если верно указаны все элементы ответа; в 1 балл, если правильно указан хотя бы один элемент ответа, и в 0 баллов, если нет ни одного элемента правильного ответа.

Задания с развернутым ответом оцениваются двумя экспертами с учетом правильности и полноты ответа. Максимальный первичный балл за выполнение экспериментального задания — 4 балла; за решение расчетных задач высокого уровня сложности — 3 балла; за решение качественной задачи и выполнение задания 22 — 2 балла. К каждому заданию приводится подробная инструкция для экспертов, в которой указывается, за что выставляется каждый балл — от 0 до максимального балла.

В экзаменационном варианте перед каждым типом задания предлагается инструкция, в которой приведены общие требования к оформлению ответов.

На основе баллов, выставленных за выполнение всех заданий работы, подсчитывается общий балл, который переводится в отметку по пятибалльной шкале.

Результаты экзамена могут быть использованы при приеме обучающихся в профильные классы средней школы. Ориентиром при отборе в профильные классы может быть показатель, нижняя граница которого соответствует 30 баллам.

В 2017 нет изменений по сравнению с 2016 г. Максимальный балл за верное выполнение всей работы не изменился и составляет 40 баллов (не изменилось также и распределение баллов за задания разного уровня сложности).

## Контрольный вариант

### Часть 1

Ответом к заданиям 1, 6, 9, 15, 19 является последовательность цифр. Запишите эту последовательность цифр в поле ответа в тексте работы.

При выполнении заданий 12-5, 3, 11-14, 17, 18 и 20, 21 в поле ответа запишите одну цифру, которая соответствует номеру правильного ответа.

Ответы к заданиям 7, 10 и 16 запишите в виде числа с учётом указанных в ответе единиц.

1. Установите соответствие между физическими величинами и единицами этих величин в СИ.

К каждому элементу первого столбца подберите соответствующий элемент второго столбца.

Для каждого физического понятия из первого столбца подберите соответствующий пример из второго столбца.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) работа

Б) мощность

ВВ) плечо силы

ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН

1) ньютон (1 Н)

2) ньютон·метр (1 Н·м)

3) ватт (1 Вт)

4) метр (1 м)

5) джоуль (1 Дж)

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами

Ответ:

А	Б	В

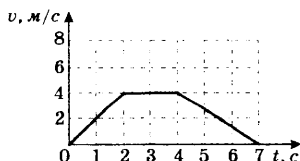
2. На рисунке представлен график зависимости скорости автомобиля, движущегося прямолинейно по дороге, от времени. В какой промежуток времени равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль, равна нулю?

1) от 0 до 2 с

2) от 2 с до 4 с

3) от 4 с до 7 с

4) от 0 до 7 с



Ответ:

3. Снаряд, импульс которого  $p$  был направлен вертикально вниз, разорвался на два осколка. Импульс одного

осколка  $p_1$  в момент разрыва был направлен горизонтально (рис. 1). Какое направление имел импульс  $p_2$  второго осколка (рис. 2)?

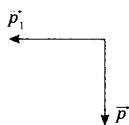


Рис. 1

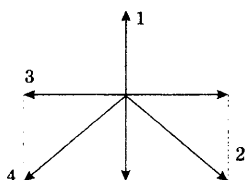
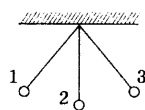


Рис. 2

Ответ:

4. Математический маятник колеблется между положениями 1 и 3 (см. рисунок). Какие значения кинетической и потенциальной энергии имеет маятник в положении 2?



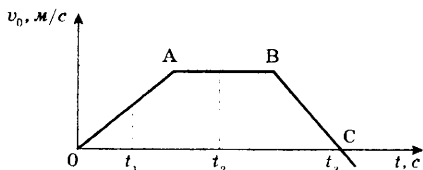
- 1) кинетическая и потенциальная энергия максимальны
- 2) кинетическая энергия равна нулю, потенциальная энергия максимальна
- 3) кинетическая и потенциальная энергия минимальны
- 4) кинетическая энергия максимальна, потенциальная энергия минимальна

Ответ:

5. Теплоход переходит из устья реки в солёное море. При этом архимедова сила, действующая на теплоход,
- 1) увеличится
  - 2) уменьшится или увеличится в зависимости от размера теплохода
  - 3) не изменится
  - 4) уменьшится

Ответ:

6. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости от времени для тела, движущегося вдоль оси  $Ox$ . Используя данные графика, выберите из предложенного перечня **два** верных утверждения. Укажите их номера.



- 1) участок OA соответствует ускоренному движению тела.
- 2) участок AB соответствует состоянию покоя тела.
- 3) в момент времени  $t_1$  тело имело максимальное по модулю ускорение.
- 4) момент времени  $t_3$  соответствует остановке тела.
- 5) в момент времени  $t_2$  тело имело максимальное по модулю ускорение.

Ответ:

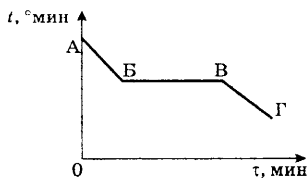
7. Бетонную плиту объёмом  $0,25 \text{ м}^3$  равномерно подняли на высоту 6 м с помощью троса. Плотность бетона  $2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Чему равна работа силы упругости троса?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж

8. При растяжении медной проволоки между молекулами
- 1) действуют только силы притяжения
  - 2) действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, но силы притяжения больше сил отталкивания
  - 3) действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания, но силы отталкивания больше сил притяжения
  - 4) действуют только силы отталкивания

Ответ:

9. На рисунке представлен график зависимости температуры от времени при охлаждении некоторого вещества, первоначально находившегося в жидком состоянии



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня два верных утверждения. Укажите их номера

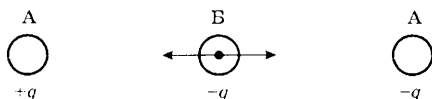
- 1) в точке Б вещество находится в жидком состоянии
- 2) участок ВГ соответствует процессу кристаллизации
- 3) процессу охлаждения жидкости соответствует участок АБ
- 4) точка А соответствует началу кристаллизации
- 5) процесс, которому соответствует участок БВ, происходит без поглощения энергии

Ответ:

10. Медное тело массой 2 кг при охлаждении выделяет количество теплоты, равное 8000 Дж. На сколько градусов понизилась его температура?

Ответ: \_\_\_\_\_ °С

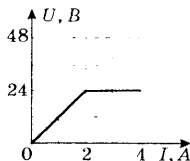
11. На рисунке изображены точечные заряженные тела. Тела Б и В имеют одинаковый отрицательный заряд, а тело А равный им по модулю положительный заряд. Каковы модуль и направление равнодействующей силы, действующей на заряд Б со стороны зарядов А и В?



- 1)  $F = F_A - F_B$ ; направление 1
- 2)  $F = F_A - F_B$ ; направление 2
- 3)  $F = F_A + F_B$ ; направление 2
- 4)  $F = F_A + F_B$ ; направление 1

Ответ:

12. На рисунке представлен график зависимости напряжения  $U$  на концах резистора от силы тока  $I$ , текущего через него. Сопротивление  $R$  резистора равно



- 1) 0,04 Ом
- 2) 0,05 Ом
- 3) 20 Ом
- 4) 24 Ом

Ответ:



13. Внутри катушки, соединённой с гальванометром, находится малая катушка, подключённая к источнику тока. Оси катушек совпадают. Первую секунду от начала эксперимента малая катушка неподвижна внутри большой катушки. Затем в течение следующей секунды её вращают относительно вертикальной оси по часовой стрелке. Третью секунду малая катушка вновь остаётся в покое. В течение четвёртой секунды малую катушку вращают против часовой стрелки. В какие промежутки времени гальванометр зафиксирует появление индукционного тока в катушке?

- 1) индукционный ток может возникнуть в любой промежуток времени
- 2) индукционный ток возникнет в промежутках времени 1—2 с, 3—4 с
- 3) индукционный ток не возникнет ни в какой промежуток времени
- 4) индукционный ток возникнет в промежутках времени 0—1 с, 2—3 с

Ответ:

14. Предмет находится от собирающей линзы на расстоянии, меньшем  $2F$  и большем  $F$ . На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?

- 1) большем  $2F$
- 2) между  $F$  и  $2F$
- 3) меньшем  $F$
- 4) равном  $2F$

Ответ:

15. В процессе трения о шёлк стеклянная линейка приобрела положительный заряд. Как при этом изменилось количество заряженных частиц на линейке и шёлке при условии, что обмен атомами при трении не происходил? Для каждой физической величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилось
- 2) уменьшилось
- 3) не изменилось

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

Количество протонов	Количество электронов

16. На железный проводник длиной 10 м и площадью поперечного сечения  $2 \text{ мм}^2$  подано напряжение 12 мВ. Чему равна сила тока, протекающего по проводнику?

Ответ: \_\_\_\_\_ мА

17. Ядро аргона  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$  содержит

- 1) 40 протонов и 22 нейтрона
- 2) 40 протонов и 18 нейтронов
- 3) 18 протонов и 40 нейтронов
- 4) 18 протонов и 22 нейтрона

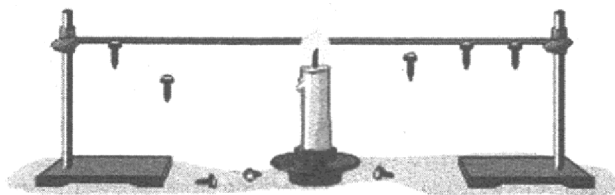
Ответ:

18. Высказанное Демокритом положение о том, что все тела состоят из частиц, являлось в то время

- 1) гипотезой
- 2) теорией
- 3) научным фактом
- 4) законом

Ответ:

19. Два одинаковые по размеру стержня с закреплёнными на них с помощью парафина гвоздиками нагревают с торца (см. рисунок). Слева от свечи расположен медный стержень, а справа — железный стержень. По мере нагревания парафин плавится, и гвоздики поочередно падают.



Наблюдаемый процесс быстрее происходит для медного стержня, так как

- 1) плотность меди больше
- 2) теплопроводность меди больше
- 3) плотность железа больше
- 4) теплопроводность железа больше

Ответ:

## Цвет предметов

Цвет различных предметов, освещённых одним и тем же источником света (например, солнцем), бывает весьма разнообразен. Основную роль в таких эффектах играют явления отражения и пропускания света. При рассмотрении непрозрачного предмета мы воспринимаем его цвет в зависимости от того излучения, которое отражается от поверхности предмета и попадает к нам в глаз. При рассмотрении прозрачного тела на просвет его цвет будет зависеть от пропускания лучей различных длин волн.

Световой поток, падающий на тело, частично отражается (рассеивается), частично пропускается и частично поглощается телом. Доля светового потока, участвующего в каждом из этих процессов, определяется с помощью соответствующих коэффициентов: отражения  $\rho$ , пропускания  $\tau$  и поглощения  $\alpha$ . Так, например, коэффициент отражения равен отношению светового потока, отражённого телом, к световому потоку, падающему на тело.

Каждый из указанных коэффициентов может зависеть от длины волны (цвета), благодаря чему и возникают разнообразные эффекты при освещении тел.

Тела, у которых для всех лучей поглощение велико, а отражение и пропускание очень малы, будут чёрными непрозрачными телами (например, сажа). Для красных непрозрачных лепестков розы коэффициент отражения близок к единице для красного цвета (для других цветов очень мал), коэффициент поглощения, наоборот, близок к единице для всех цветов, кроме красного, коэффициент пропускания практически равен нулю для всех длин волн. Прозрачное зелёное стекло имеет коэффициент пропускания, близкий к единице, для зелёного цвета, тогда как коэффициенты отражения и поглощения для зелёного цвета близки к нулю. Прозрачные тела могут иметь разный цвет в проходящем и отраженном свете.

Различие в значениях коэффициентов  $\rho$ ,  $\tau$  и  $\alpha$  и их зависимость от длины световой волны обуславливает чрезвычайное разнообразие в цветах и оттенках различных тел.

**20. Коэффициент поглощения равен**

- 1) световому потоку, поглощённому телом
- 2) отношению светового потока, падающего на тело, к световому потоку, поглощённому телом
- 3) световому потоку, падающему на тело
- 4) отношению светового потока, поглощённого телом, к световому потоку, падающему на тело

Ответ:

**21. Для белого непрозрачного тела**

- 1) коэффициенты пропускания и поглощения близки к нулю для всех длин волн
- 2) коэффициенты пропускания и отражения близки к нулю для всех длин волн
- 3) коэффициенты пропускания и поглощения близки к единице для всех длин волн
- 4) коэффициенты пропускания и отражения близки к единице для всех длин волн

Ответ:

*При выполнении задания 22 с развёрнутым ответом используйте отдельный лист. Запишите сначала номер задания, а затем ответ на него. Полный ответ должен включать не только ответ на вопрос, но и его развёрнутое, логически связанное обоснование. Ответ записывайте чётко и разборчиво.*

**22. Хлорофилл — зелёное вещество, содержащееся в листьях растений и обуславливающее их зелёный цвет. Чему равны коэффициенты поглощения и отражения для зеленых листьев? Ответ поясните.**

**Часть 2**

*Для ответа на задания 23–26 используйте отдельный лист. Запишите сначала номер задания, а затем ответ к нему. Ответы записывайте чётко и разборчиво.*

**23. Используя штатив с муфтой и лапкой, пружину, динамометр, линейку и два груза, соберите экспериментальную установку для измерения жёсткости пружины. Определите жёсткость пружины, подвесив к ней**

два груза. Для измерения веса грузов воспользуйтесь динамометром.

В бланке ответов:

- 1) сделайте рисунок экспериментальной установки;
- 2) запишите формулу для расчёта жёсткости пружины;
- 3) укажите результаты измерения веса грузов и удлинения пружины;
- 4) запишите числовое значение жёсткости пружины.

*Задание 24 представляет собой вопрос, на который необходимо дать письменный ответ. Полный ответ должен включать не только ответ на вопрос, но и его развёрнутое, логически связанное обоснование.*

24. С какого дна тяжелее поднять получившую пробоину лодку: с илистого или с каменистого? Почему?

*Для заданий 25,26 необходимо записать полное решение, включающее запись краткого условия задачи (Дано), запись формул, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования и расчёты, приводящие к числовому ответу.*

25. Нагреватель сопротивлением 20 Ом включён последовательно с реостатом сопротивлением 7,5 Ом в сеть с напряжением 220 В. Какова мощность тока, потребляемая нагревателем?
26. Ударная часть молота массой 10 т свободно падает на стальную деталь массой 200 кг. С какой высоты падает ударная часть молота, если после 32 ударов деталь нагрелась на 20°C? На нагревание расходуется 25% энергии молота.

# ОТВЕТЫ

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	2	2	1	3	4	2	1	2

11.

А	Б	В
2	4	3

12.

А	Б	В
1	2	1

### Часть 2

13. 1,73 м, 10 м

Равномерное прямолинейное движение

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	4	2	4	4	2	2	4	1	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
1	2	1

12.

1	2
---	---

**Часть 2**

13. 20 с

Скорость. Ускорение. Равноускоренное  
прямолинейное движение

**Часть 1**

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	3	3	2	3	4	3	2	4	1

11.

1	4
---	---

12.

1	4
---	---

**Часть 2**

13. 6 с

Свободное падение

**Часть 1**

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	4	2	2	3	2	3	1	3	1

11.

А	Б	В
2	1	2

12.

2	4
---	---

**Часть 2**

13. 4 с, 20 м

Равномерное движение тела по окружности

**Часть 1**

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	4	2	4	1	2	3	3	3	4

11.

А	Б	В
4	3	1

12.

А	Б	В
1	1	1

**Часть 2**

13. 2512 м

Масса. Плотность вещества

**Часть 1**

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	1	4	3	3	1	3	1	4	2



11.

1	3
---	---

12.

А	Б	В
2	2	1

Часть 2

13. 8 м

Сила. Сложение сил

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	3	3	1	2	4	1	3	1

11.

А	Б	В
3	1	2

12.

2	4
---	---

Часть 2

13. 1,5 м/с<sup>2</sup>

Законы Ньютона

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	4	2	3	2	1	2	3	2	3

11.

2	4
---	---

12.

1	5
---	---

Часть 2

13. 84 Н

Сила трения

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	1	1	3	3	4	4	2	1	2

11.

А	Б	В
2	3	2

12.

2	5
---	---

Часть 2

13.  $2 \text{ м/с}^2$ , 10 с

Сила упругости. Вес тела

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	4	4	3	3	3	4	3	3	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	3	2

12.

2	5
---	---

**Часть 2**

13. 60 Н

Закон всемирного тяготения. Сила тяжести

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	2	4	2	4	1	3	2	1	4	3

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	4	1

12.

3	4
---	---

**Часть 2**

13. 280 Н

Импульс тела. Закон сохранения импульса

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	3	1	4	1	3	3	3	1	3	1

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
5	1	3

12.

3	4
---	---

**Часть 2**

13. 4 м/с

Механическая работа. Мощность

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	4	3	2	4	2	1	4	3	2	3

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	2	1

12.

1	3
---	---

**Часть 2**

13. 900 Вт

Потенциальная и кинетическая энергия.  
Закон сохранения механической энергии

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	1	2	3	4	4	2	3	2	1	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
3	1	2

12.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	1	3

**Часть 2**

13. 80 кН

Простые механизмы. КПД простых механизмов

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	3	1	3	2	2	4	2	3	2	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
4	5	1

12.

2	4
---	---

**Часть 2**

13. 0,625 Н

Давление. Атмосферное давление. Закон Паскаля.  
Закон Архимеда

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	1	1	1	4	2	1	4	2	3	3

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
3	3	1

12.

3	4
---	---

**Часть 2**

13.  $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$

**Механические колебания и волны**

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	4	2	4	4	3	4	2	4	4	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	1	2

12.

2	4
---	---

**Часть 2**

13. 2 с

## ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**Строение вещества. Модели строения газа, жидкости и твёрдого тела**

**Часть 1**

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	4	1	2	2	4	1	2	1	3	3

11.

2	3
---	---

12.

1	5
---	---

Тепловое движение атомов и молекул. Связь температуры вещества со скоростью хаотического движения частиц. Броуновское движение. Диффузия. Тепловое равновесие

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ответ	3	1	1	4	3	1	3	1	3	3	3

12.

3	5
---	---

13.

1	3
---	---

Внутренняя энергия. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	1	3	1	1	1	3	1	4	3

11.

А	Б	В
2	3	1

12.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
1	2	2

Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение

Часть 1

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	3	3	3	3	4	4	4	1	2	4

11.

1	3
---	---

12.

2	3
---	---

Количество теплоты. Удельная теплоёмкость

Часть 1

<b>№ задания</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Ответ</b>	4	4	2	2	3	2	2	1	3	2

11.

1	3
---	---

12.

1	5
---	---



## Часть 2

13. 200 Дж/кг·°С

Закон сохранения энергии в тепловых процессах.  
Преобразование энергии в тепловых машинах

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	3	3	2	2	1	4	3	4	4

11.

А	Б	В
2	3	1

12.

А	Б	В
3	3	3

## Часть 2

13. 2,5 м

Испарение и конденсация. Кипение жидкости

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	3	1	2	2	3	2	2	4	1

11.

А	Б	В
4	2	5

12.

1	4
---	---

Часть 2

13. 493,6 кДж

Плавление и кристаллизация

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	3	2	2	3	4	4	2	3	2

11.

3	4
---	---

12.

2	4
---	---

Часть 2

13. 372 кДж

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Электризация тел. Два вида электрических зарядов.  
Взаимодействие электрических зарядов. Закон сохранения электрического заряда

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	4	2	1	1	4	2	3	2	1

11.

2	3
---	---

12.

А	Б	В
3	3	1

Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды. Проводники и диэлектрики

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	4	1	1	1	2	2	2	1

11.

1	4
---	---

12.

А	Б	В
3	2	1

Постоянный электрический ток. Сила тока. Напряжение. Электрическое сопротивление. Закон Ома для участка электрической цепи

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	3	1	3	3	1	3	2	1	1

11.

2	5
---	---

12.

1	5
---	---

Часть 2

13.  $0,4 \text{ мм}^2$

Последовательное и параллельное соединения проводников

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	2	1	3	3	2	4	2	1	4

11.

А	Б	В
1	2	2

12.

А	Б	В
2	1	4

Часть 2

13. 40 В

Работа и мощность электрического тока.  
Закон Джоуля–Ленца

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	3	1	3	2	3	3	3	2	2

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
1	2	2

12.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	1	4

Часть 2

13. 20 Ом

Опыт Эрстеда. Магнитное поле тока. Взаимодействие магнитов. Действие магнитного поля на проводник с током

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	4	2	4	3	1	3	3	1	4

11.

2	4
---	---

12.

1	4
---	---

Часть 2

13. 0,004 Дж

Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея.  
Электромагнитные колебания и волны

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	1	1	3	2	3	2	3	4	3

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	1	3

12.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
3	5	4

Часть 2

13. 106,2 МГц

Закон прямолинейного распространения света Закон отражения света. Плоское зеркало. Преломление света

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	2	4	2	4	2	4	4	2	3

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
1	2	4

12.

1	3
---	---

Дисперсия света. Линза. Фокусное расстояние линзы. Глаз как оптическая система. Оптические приборы

Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	4	3	4	1	4	3	1	2	1

11.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	3	1

12.

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
2	1	3

## Часть 2

### 13. Собирающая

## КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Радиоактивность. Альфа-, бета-, гамма-излучения.  
Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	1	4	1	3	2	3	3	1	2	2

### 11.

А	Б	В
3	2	5

### 12.

1	3
---	---

Состав атомного ядра. Ядерные реакции

### Часть 1

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	2	4	3	3	3	2	1	4	2	1

### 11.

А	Б	В
3	1	2

### 12.

А	Б
2	1

## КОНТРОЛЬНЫЙ ВАРИАНТ

Номер вопроса																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
534	2	2	4	3	14	30	2	13	10	4	3	3	1	31	24	4	1	13	4	1

Ответы к заданиям 22 и 24

**22.** 1. Коэффициент поглощения для зелёного цвета близок к нулю, коэффициент отражения близок к единице.

2. Зелёный лист поглощает все цвета, кроме зеленого, и практически полностью отражает зелёный цвет.

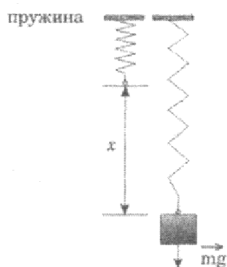
**24.** 1. С илистого.

2. Мягкое илистое дно «засасывает» лодку, поскольку силы взаимодействия между частицами ила и вещества, из которого сделана лодка, больше, чем для каменистого дна.

**Образцы возможного выполнения лабораторной работы**

Схема экспериментальной установки:

№	$F_{\text{упр}} = mg = P \text{ (Н)}$	$x \text{ (м)}$
1	1	0,025
2	2	0,05
3	3	0,075



**Образцы решения задач с развёрнутым ответом 25 и 26**

$$25. P_1 = I_1^2 R_1$$

$$I_1 = I_{\text{общ.}} = \frac{U}{R_{\text{общ.}}}$$

$$R_{\text{общ.}} = R_1 + R_2;$$

$$R_{\text{общ.}} = 27,5 \text{ Ом}$$

$$I_1 = I_{\text{общ.}} = 8 \text{ А}$$

$$P_1 = 1280 \text{ Вт}$$

Ответ:  $P_1 = 1280 \text{ Вт}$ .

$$26. \quad \eta = \frac{Q}{E}$$

$$E = Mghn$$

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

$$h = \frac{\tilde{n} \cdot m(t_2 - t_1)}{M \cdot g \cdot n \cdot \eta}$$

Ответ:  $h = 2,5 \text{ м}$



*Справочное издание*

**Пурышева Наталия Сергеевна**

## **ФИЗИКА**

### **НОВЫЙ ПОЛНЫЙ СПРАВОЧНИК ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ОГЭ**

*Редакция «Образовательные проекты»*

Ответственный редактор *Е.М. Маталина*

Художественный редактор *Н.А. Шармай*

Технический редактор *Е.П. Кудиярова*

Корректор *И.Н. Мокина*

Подписано в печать 14.07.2016.

Формат 84x108<sup>1/32</sup>. Усл. печ. л. 15,12.

(Новый полный справочник для подготовки к ОГЭ)

Тираж 4 000 экз. Заказ № 5232.

(Самый популярный справочник для подготовки к ОГЭ)

Тираж 6 000 экз. Заказ № 5231.

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2;

953005 — литература учебная

Сертификат соответствия № РОСС RU.МЕ04.Н.01397

от 29.03.2016 г.

**ООО «Издательство АСТ»**

129085, РФ, г. Москва, Звёздный бульвар, д. 21, стр. 3, комн. 5

Наш электронный адрес:

[www.ast.ru](http://www.ast.ru); e-mail: [stelliferovskiy@ast.ru](mailto:stelliferovskiy@ast.ru)

**По вопросам приобретения книг обращаться по адресу:**

123317, г. Москва, Пресненская наб., д. 6, стр. 2,

Деловой комплекс «Империя», а/я №5

Отпечатано с готовых файлов заказчика  
в АО «Первая Образцовая типография»,  
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»  
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14