

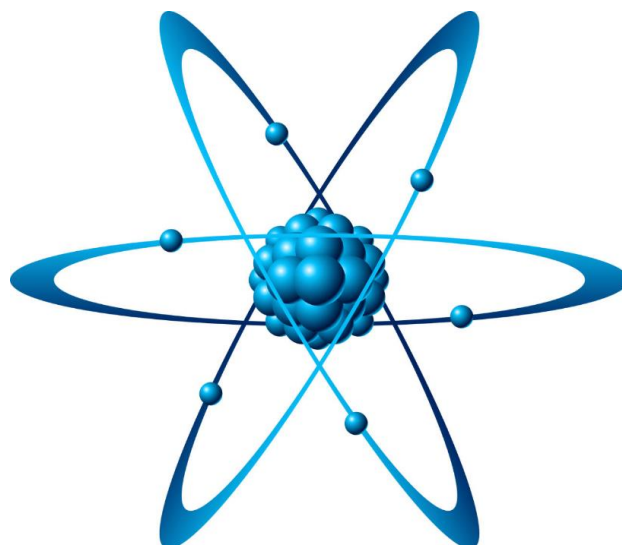
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет  
им. А.А. Ежевского

Кафедра электрооборудования и физики

**Бузунова М.Ю.**

**Боннет В.В.**

# **ФИЗИКА**



Молодежный 2019

УДК 530.19

Б 815

Рекомендовано к изданию Научно-методическим советом Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского (протокол № 1 от 28 октября 2019 г.)

**Рецензенты:**

**Федчишин В.В.** - к.т.н., доцент, директор института энергетики  
Иркутского национального исследовательского технического университета

**Вржащ Е.Э.** - к.т.н., доцент кафедры «Электрооборудование и физика»  
Иркутского ГАУ им. А.А. Ежевского

**Бузунова М.Ю.** Физика: Учебное пособие./ **М.Ю. Бузунова, В.В. Боннет.** – Молодёжный: Изд-во Иркутского ГАУ им. А.А. Ежевского, 2019. – 96 с.

Теоретическое учебное пособие по физике предназначено для абитуриентов и студентов очного, заочного и дистанционного обучения.

В справочном учебном пособии даны теоретические сведения по кинематике, динамике, электростатике и т.д. Приведены примеры тестов для самостоятельного решения. Оно соответствует всем требованиям, предъявляемым к работам такого рода.

© Бузунова М.Ю., Боннет В.В., 2019.  
© Иркутский государственный  
аграрный университет  
имени А.А. Ежевского, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ФИЗИКИ .....	5
2. КИНЕМАТИКА .....	5
3. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ.....	9
4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ .....	13
5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ВОЛНЫ.....	17
6. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ.....	21
7. ЭЛЕКТРОСТАТИКА.....	28
8. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК .....	32
9. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ .....	35
10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.....	39
11. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА.....	42
12. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.....	46
13. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ.....	48
14. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА.....	50
15. ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ.....	55
16. ПРИМЕР ТЕСТА ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ.....	85
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	93

## ВВЕДЕНИЕ

При подготовке к экзамену, прежде всего, необходимо изучить или повторить материал по предлагаемому пособию. В результате его изучения необходимо понимать сущность физических явлений и законов, уметь проводить расчёты физических величин и использовать физические законы для решения задач.

Большинство людей легче усваивают и запоминают прочитанное, если одновременно с чтением учебного текста делают выписки, заметки или ведут конспект.

После этого можно обратиться к вопросам, на каждый из которых приведено четыре альтернативных ответа. Из числа предлагаемых ответов надо выбрать один правильный.

К вопросам приведены комментарии, которые описывают последовательность действий при определении правильного ответа. Основываясь на описанных в комментариях методах нахождения верного ответа, Вы сможете приобрести навыки для самостоятельного решения тестовых заданий и закрепите в памяти теоретический материал.

Перед каждым вопросом указаны страницы данного пособия, на которых содержится теоретический материал по задаваемому вопросу.

## 1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ФИЗИКИ

Современная физика – часть учения о природе. Она изучает наиболее общие законы, которым подчиняется окружающий нас мир, наиболее общие и простые формы движения материи (механические, гравитационные, тепловые, электромагнитные, атомные и ядерные) и их взаимные превращения.

Научные факты, накопленные в результате наблюдений и опытов, обобщаются в виде количественных зависимостей между физическими величинами - устанавливаются законы физики.

*Физическая величина* (скорость, сила, давление, температура, электрический заряд и др.) – это характеристика каких-либо свойств объектов природы и физических явлений, которая может быть определена количественно с помощью измерений.

Для числового выражения физической величины вводятся единицы измерения. Единицы измерения делятся на основные и производные.

Единицы физических величин, которые устанавливаются произвольно и независимо друг от друга, называются основными. Единицы физических величин, зависящие от основных и устанавливаемые на основе известных физических закономерностей, называются производными. Совокупность основных и производных единиц физических величин составляет систему единиц. Излагаемый в пособии материал базируется на Международной системе единиц – СИ. Основными единицами этой системы являются: метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль (моль), кандела (кд), и две дополнительные единицы: радиан (рад),стерадиан (ер) [12, 14].

## 2. КИНЕМАТИКА

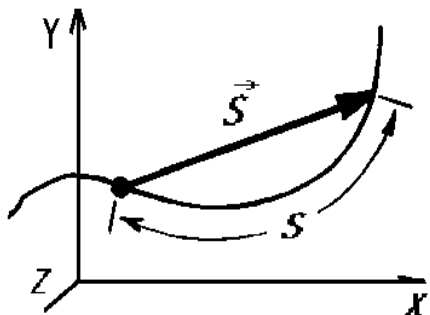
Изменение положения тел или их частей друг относительно друга в пространстве с течением времени называется *механическим движением*.

Раздел механики, изучающий движение тел без выяснения вызывающих его причин называется *кинематикой*.

Определить, движется тело или находится в состоянии покоя, можно, только рассмотрев изменение его положения в пространстве относительно системы отсчета. Совокупность тела отсчета, системы координат и

способа измерения времени (часов), называется *системой отсчета*.

Воображаемая линия, соединяющая точки пространства, через которые прошла при движении материальная точка (тело) в различные моменты времени называется *траекторией*.



По форме траектории движение тела подразделяется на *прямолинейное* и *криволинейное* движения [11, 14].

Длина траектории, то есть расстояние проходимое телом по траектории, называется *длиной пути* или путем  $S$ . Вектор, проведенный из начального положения движущегося тела на траектории в точку его положения в конечный момент времени называется *перемещением*  $\vec{S}$ .

Единица измерения перемещения и пути в СИ – метр (м).

Движение тела по траектории, при котором оно за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути, называется *равномерным движением*.

*Скорость* – векторная величина, определяющая быстроту изменения положения тела в пространстве. При равномерном движении тела скорость  $v$  численно определяется как отношение пройденного пути  $S$  к

времени  $t$  его прохождения:  $v = \frac{S}{t}$ .

Единица измерения скорости в СИ – метр в секунду (м/с).

Из последней формулы следует уравнение пути равномерного движения:

$$S = vt.$$

Простейшее равномерное движение – это равномерное прямолинейное движение, при котором скорость остается постоянной как по величине, так и по направления:  $v = \text{const}$ .

Если пути, пройденные телом за произвольные равные промежутки времени неодинаковы, то движение называется *неравномерным*.

Простейшим видом неравномерного движения является прямолинейное равнопеременное движение – движение тела, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину. Физическая величина, равная отношению изменения скорости

$\Delta v$  тела к времени  $\Delta t$  этого изменения, называется *ускорением*:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

Единица измерения ускорения в СИ – метр на секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ ).

Законы изменения скорости  $v$  и пути  $S$  с течением времени  $t$  равнопеременного движения ( $a = \text{const}$ ) имеют вид:

$$v = v_0 + at; S = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Здесь  $a$  – ускорение тела,  $v_0$  – начальная скорость тела в момент времени движения  $t = 0$ ,  $v$  – скорость тела в данный момент времени.

К равнопеременному движению относится и движение только под действием силы тяжести – *свободное падение*.

Под действием земного притяжения все тела падают на Землю с одинаковым ускорением – ускорением свободного падения, для которого принято обозначение  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Кинематические уравнения движения для свободно падающего тела не отличаются от аналогичных формул равнопеременного движения:

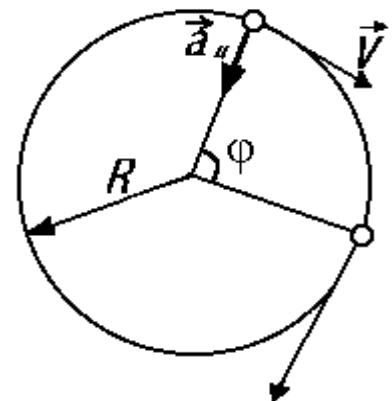
$$v = v_0 + gt; h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Здесь  $h$  – высота, то есть путь, пройденный телом. При движении тела к земле, вниз –  $g > 0$ , а при движении вертикально вверх –  $g < 0$ .

Частным случаем неравномерного движения является и движение материальной точки по круговой траектории с постоянной по величине скоростью. Поскольку при движении по круговой траектории радиуса  $R$  скорость тела направлена по касательной к траектории в каждой её точке, то она будет всё время изменять свое направление. Быстроту изменения скорости по направлению определяет центростремительное ускорение точки  $a_{\text{ц}}$ , направленное перпендикулярно вектору скорости  $\vec{v}$  к центру круговой траектории и равное по вели-

чине  $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$ .

Движение по круговой траектории является замкнутым движением, поэтому его часто называют вращением.



Вращение тела по окружности с неизменной по величине скоростью повторяется через одинаковые промежутки времени, то есть оно является периодическим движением. Время, в течение которого материальная точка, двигаясь по окружности, совершает один оборот, называется *периодом*  $T$ .

Число оборотов, совершаемых телом в единицу времени, называется *частотой вращения*. Из приведенных определений следует, что частота вращения  $n = 1/T$ .

Единица частоты вращения в СИ – секунда в минус первой степени ( $\text{с}^{-1}$ ).

Центральный угол  $\varphi$ , на который опирается пройденная телом при движении дуга окружности, называется *угловым перемещением*. Если за любые равные промежутки времени тело совершает одинаковые угловые перемещения, то его движение называется *равномерным вращением*. Быстрота вращения тела по окружности характеризуется *угловой скоростью*  $\omega = \frac{\varphi}{t}$ , где  $\varphi$  – угловое перемещение тела при равномерном вращении в течение времени  $t$  [7].

Единица угловой скорости в СИ – радиан в секунду (рад/с).

Так как за интервал времени, равный периоду вращения, тело совершает угловое перемещение на угол  $2\pi$  рад, то  $\omega = 2\pi/T = 2\pi n$ .

Установим соотношение между угловой скоростью тела и его линейной скоростью  $v$ . Поскольку за время  $T$  тело проходит путь равный длине окружности  $2\pi R$ , то  $v = 2\pi R/T = \omega R$ .

Часто движение тела по траектории можно разделить на несколько отдельных видов движения. Например, камень, брошенный горизонтально, будет одновременно перемещаться в двух направлениях – горизонтальном с постоянной скоростью и в вертикальном свободном падении. Наблюдения показывают, что горизонтальная скорость камня никак не влияет на характер его движения по вертикали. Камень просто добавляет к своему ускоренному движению по вертикали второе независимое равномерное движение по горизонтали. Происходит сложение двух независимых движений, в результате чего камень и начинает двигаться по криволинейной траектории.



### 3. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

*Динамика* – раздел механики, изучающий движение тел в связи с причинами, вызывающими это движение.

Причиной движения любого тела является его взаимодействие с другими телами. Величина, количественно определяющая действия тел друг на друга называется *силой*.

*Сила* – мера взаимодействия тел, величина векторная. Для задания силы необходимо знать точку её приложения, направление действия и численное значение. Единица силы в СИ – ньютон (Н).

В результате действия силы тело изменяет скорость движения или деформируется.

Если тело одновременно взаимодействует с несколькими телами, то отдельные взаимодействия не влияют друг на друга и равнодействующая сила  $\vec{F}$ , действующая на тело, равна векторной сумме сил действующих на тело со стороны каждого из взаимодействующих с ним тел в отдельности:  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ .

При действии одинаковой силы различные тела по-разному изменяют свою скорость. Это свойство тел называется *инертностью*. Мерой инертности тела является *масса*  $m$ . Масса тела – величина скалярная, не зависящая от действующей на тело силы. Чем больше масса тела, тем в большей степени тело способно сохранять скорость неизменной, то есть тем оно более инертно. В СИ единица массы - килограмм (кг).

И. Ньютон сформулировал три постулата – *три закона Ньютона*, на которых основана классическая механика [7,10].

**Первый закон Ньютона** указывает на относительный характер состояния покоя и равномерного прямолинейного движения: если на тело не действуют силы или действие всех сил скомпенсировано, то тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

**Второй закон Ньютона** устанавливает связь между силой  $\vec{F}$ , массой тела  $m$ , на которое действует сила, и ускорением  $\vec{a}$ , приобретенным телом под действием силы: ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе тела,

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

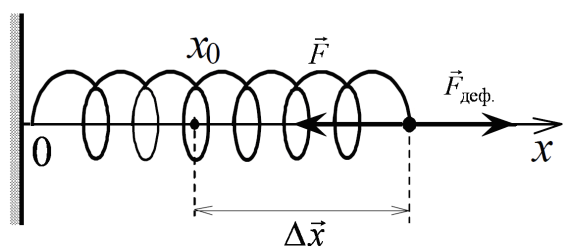
Под силой  $\vec{F}$  понимается равнодействующая сил, действующих на тело. Из второго закона Ньютона можно определить эту равнодействующую по известным значениям массы и ускорения:  $\vec{F} = m \vec{a}$ . Последнее уравнение называется *динамическим уравнением движения тела*.

**Третий закон Ньютона** подчеркивает, что действие тел, ведущее к изменению состояния их движения, имеет характер взаимодействия: два взаимодействующих тела действуют друг на друга с силами равными по величине и направленными по одной прямой в противоположные стороны. Каждой действующей на тело силе  $\vec{F}$  соответствует противодействующая сила  $\vec{F}'$ , приложенная к другому телу:  $\vec{F} = -\vec{F}'$ . Силы  $\vec{F}$  и  $\vec{F}'$  не имеют равнодействующей, так как они приложены к разным телам.

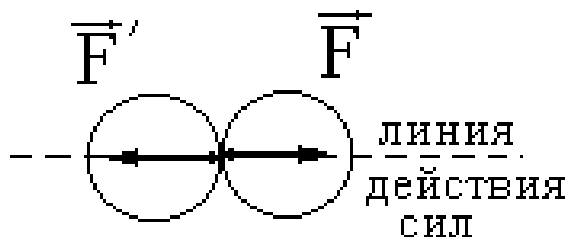
В механике рассматривают силы, возникающие при взаимодействии тел на расстоянии – гравитационные силы и силы, возникающие при контактном взаимодействии тел – силы трения и силы упругости.

*Силы упругости* возникают в теле при его *деформации* – изменении формы и размеров тела под действием внешних сил. Деформации, исчезающие после прекращения действия деформирующих сил, называются *упругими*.

Зависимость силы упругости от величины деформации устанавливается **законом Гука**: сила упругости  $F$ , возникающая в твёрдых телах



при малых деформациях растяжения и сжатия, пропорциональна величине деформации  $\Delta x$  и направлена противоположно ей:  $\vec{F} = -k \Delta \vec{x}$ , где  $k$  – коэффициент упругости, зависящий от свойств материала, формы и размеров деформируемого тела.



Силы упругости, действующие на рассматриваемое в механической задаче тело, со стороны взаимодействующей с ним опоры или подвеса,

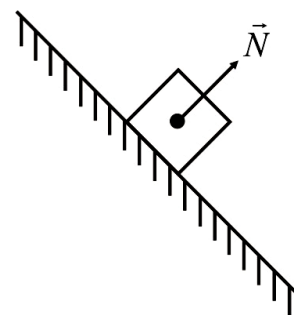
называются *силами реакции*. Силы реакции не могут вызвать движение тела, а только препятствуют его возникновению.

Если тело прикреплено к гибкой нити, то действующая на него сила реакции направлена вдоль нити и называется *силой натяжения*. Если же тела соприкасаются друг с другом, то силы реакции, действующие на данное тело, приложены в точке контакта и направлены: перпендикулярно к поверхности взаимодействующих тел – *нормальная реакция опоры*; по касательной к поверхностям взаимодействующих тел – *сила трения*.



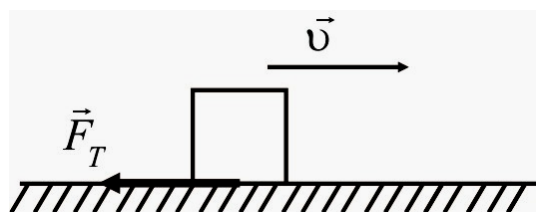
*Сила трения* – сила, возникающая при соприкосновении двух тел и препятствующая их взаимному перемещению.

Если трение между поверхностями двух соприкасающихся твердых тел возникает при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки (смазки), то оно является сухим трением, которое отличается наличием трения покоя и трения скольжения.



*Трение покоя* – трение, которое имеет место между соприкасающимися, но не движущимися друг относительно друга телами. Возникающая при этом сила трения покоя  $\vec{F}_{ТП}$  всегда равна по величине и противоположна по направлению той внешней силе  $\vec{F}$ , которая стремится вызвать скольжение тела вдоль поверхности.

*Трение скольжения* – возникает при движении одного тела по поверхности другого. Скольжение начинается, когда внешняя сила достигает предельного значения силы трения покоя. Сила трения скольжения во время движения тела остается неизменной, всегда направлена противоположно направлению движения тела и пропорциональна нормальной реакции опоры  $N$ :



$F_T = \mu N$ , где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения, который зависит от природы и качества обработки взаимодействующих поверхностей.

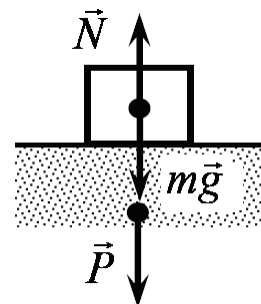
Явление взаимного притяжения всех тел природы называется гравитацией или тяготением.

*Сила тяготения* – количественная мера гравитационного взаимодействия тел, величина которой определяется сформулированным Ньюто-

ном **законом всемирного тяготения**: сила взаимного притяжения двух материальных точек  $F$  прямо пропорциональна произведению масс взаимодействующих точек  $m_1, m_2$  и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  между ними:

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

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



Самое известное проявление силы тяготения – это существование силы тяжести.

*Сила тяжести* – сила, действующая на любое тело, находящееся вблизи поверхности Земли (или поверхности планеты):  $\vec{F} = m \vec{g}$ , где  $m$  – масса тела;  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения.

*Ускорение свободного падения* – ускорение, которое сообщает телу сила притяжения к Земле (сила тяжести) вблизи её поверхности. Оно определяется размерами планеты:  $g = G \frac{M}{R^2}$ , где  $M$  и  $R$  – масса и радиус планеты соответственно. Для Земли  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

*Вес тела* – сила  $P$ , с которой тело действует вследствие притяжения к Земле на горизонтальную опору или вертикальный подвес, удерживающие это тело от свободного падения. Если тело и горизонтальная опора (подвес) неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно относительно Земли, то вес тела численно равен действующей на него силе тяжести.

Если тело с опорой (подвесом) находится относительно инерциальной системы отсчета в движении с ускорением, направленным вверх, то численное значение веса тела будет равно:  $P = m(g + a)$ , где  $m$  – масса тела. При движении тела с опорой (подвесом) с ускорением, направленном вниз, вес тела будет равен:  $P = m(g - a)$ . Если тело вместе с опорой (подвесом) свободно падает с ускорением  $a = g$ , то вес тела будет равен нулю. Состояние тела, движущегося только под действием силы тяжести, когда его вес равен нулю, называется *невесомостью*.



Если равнодействующая сил, действующих на тело, равна нулю, то согласно первому закону Ньютона, тело находится в состоянии покоя, то

есть неподвижно относительно какой-либо инерциальной системы отсчета – находится в состоянии механического равновесия.

Таким образом, под действием сил  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$  тело находится в состоянии равновесия, если векторная сумма приложенных к нему сил равна нулю:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ .

Если тело имеет ось вращения  $O$ , то вызываемая действием силы быстрота движение тела зависит не только от величины силы и направления ее действия, но и от расположения точки приложения силы  $C$  относительно оси вращения. Для характеристики вращательного действия силы вводят *момент силы* – это произведение величины силы  $\vec{F}$ , расположенной в плоскости перпендикулярной к оси вращения на её плечо  $h$ :  $M = F \cdot h$ . *Плечо силы* – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы в плоскости, перпендикулярной к оси вращения. Поэтому для нахождения плеча надо опустить перпендикуляр из точки  $O$  на линию действия силы.

Момент силы может быть либо положительным, либо отрицательным в зависимости от направления вращения тела, вызываемого этой силой. Условились считать момент силы, вращающей тело по направлению движения часовой стрелки, положительным, а против движения часовой стрелки - отрицательным.

Единица момента силы в СИ – ньютон-метр (Н·м).

Тело, имеющее неподвижную ось вращения находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов сил  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , приложенных к телу, относительно оси вращения равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

Поскольку под действием приложенных сил тело может одновременно двигаться поступательно и вращаться, то его равновесие будет возможным только при одновременном выполнении обоих, выше приведённых, условий равновесия.

#### 4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

*Законы сохранения* – фундаментальные законы физики, согласно которым некоторые физические величины при определенных условиях не изменяются с течением времени, то есть сохраняются.

Законы сохранения выполняются в *механической системе* – совокупности тел, движение которых рассматривается в механической задаче. Если тела механической системы не взаимодействуют с внешними, в неё не включёнными, телами, то механическая система называется *замкнутой* или *изолированной*.

Для замкнутой механической системы выполняется **закон сохранения импульса** – векторная сумма импульсов тел замкнутой механической системы остается постоянной:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \overline{\text{const}} .$$

Здесь  $\vec{p}$ ,  $\vec{p}_1$ ,  $\vec{p}_2$ , ...,  $\vec{p}_n$  – импульс механической системы и импульсы тел её образующих, соответственно.

Величина, равная произведению массы тела  $m$  на скорость  $\vec{v}$  его движения, называется *импульсом тела* –  $\vec{p} = m \vec{v}$ .

Динамическая мера движения – импульс зависит от направления движения, поэтому во многих случаях, например, когда механическое движение переходит в немеханическую форму движения, пользуются скалярной мерой движения – энергией.

*Энергия* – единая количественная мера движения и взаимодействия материальных тел, служащая мерой перехода движения из одной формы в другую. Каждой форме движения материальных объектов соответствует определенный вид энергии.

В результате обобщения опытных фактов был сформулирован всеобщий закон природы – **закон сохранения и превращения энергии**: в любых процессах природы энергия не может ни исчезать, ни создаваться из ничего, а может только передаваться от одних объектов к другим или превращаться из одного вида в другой, при соблюдении неизменных количественных соотношений.

*Механическая энергия* – количественная характеристика механического состояния тела (или системы тел), определяемая его скоростью и положением в пространстве в данной системе отсчета [12,14].

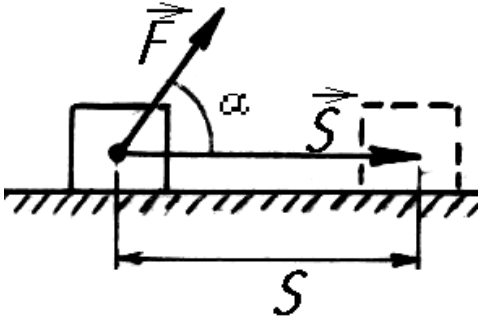
Мера переданной энергии от одного тела к другому в результате взаимодействия называется *работой силы* или *работой*. Работа является количественной характеристикой процесса изменения движения тел и в отличие от энергии не может характеризовать их состояние в определенный момент времени.

Работа и энергия имеют одну и ту же единицу измерения, в СИ –

джоуль ( Дж ).

Механическая работа, совершаемая постоянной силой  $\vec{F}$  равна произведению величины силы  $F$  на путь  $S$ , пройденный телом по прямой, и на косинус угла  $\alpha$  между направлением действия силы и перемещением

$$\vec{S} : A = F S \cos \alpha .$$



Работа, совершаемая силой тяжести при движении тела по любой траектории равна произведению силы тяжести на разность высот начальной  $h$  и конечной  $h_1$  точек движения:  $A = mg(h - h_1)$ , то есть она зависит только от начального и конечного положения тела и не зависит от траектории движения.

Работа силы упругости определяется величиной деформации тела

$\Delta x$ :  $A = \frac{k \Delta x^2}{2}$ , где  $k$  – коэффициент упругости;  $\Delta x = x_1 - x_2$ ;

$x_1$  и  $x_2$  – первоначальная и конечная деформация тела. Таким образом, работа силы упругости определяется только начальной и конечной величиной деформации тела.

Силы, работа которых определяется только начальным и конечным положением взаимодействующих тел или их частей относительно друг друга, называются *потенциальными силами*. Расположение тел системы, взаимодействующих с потенциальными силами, должно определять энергию, которая переходит от одних тел к другим при совершении работы в результате изменения расположения тел.

*Потенциальная энергия* – вид энергии механической системы, зависящий от взаимного расположения тел или частей одного и того же тела, и измеряемая работой потенциальных сил. Потенциальная энергия определяется относительно нулевого уровня потенциальной энергии, за который принимается какое-либо произвольно выбранное расположение тел механической системы. Потенциальная энергия системы Земля – тело массой  $m$ , поднятое на высоту  $h$  над поверхностью Земли, относительно потенциальной энергии на поверхности Земли принятой за ноль, равна  $E_p = mgh$ .

Потенциальная энергия упруго деформированного тела из материала с коэффициентом упругости  $k$  и величиной деформации  $x$ , относи-

тельно его недеформированного состояния, когда потенциальная энергия принята за ноль, равна  $E_p = \frac{k x^2}{2}$ .

Под действием силы может изменяться не только положение тела или его частей в пространстве, но и его скорость. Механическая энергия, связанная со скоростью движущегося тела, называется *кинетической энергией*.

Кинетическая энергия тела (материальной точки) равна половине произведения массы тела  $m$  на квадрат его скорости  $v$ :

$$E_k = \frac{m v^2}{2}.$$

Если механическая система состоит из нескольких движущихся тел, то кинетическая энергия системы равна сумме кинетических энергий всех тел.

Потенциальная и кинетическая энергии – различные виды механической энергии. Сумма кинетической  $E_k$  и потенциальной  $E_p$  энергий механической системы называется *полной механической энергией*:  $W = E_k + E_p$ .

Приведённое выражение позволяет сформулировать **закон сохранения механической энергии**: полная механическая энергия замкнутой системы, в которой действуют только потенциальные силы, с течением времени не изменяется,

$$W = E_k + E_p = \text{Const.}$$

В такой системе при движении тел происходит переход потенциальной энергии в кинетическую энергию и, наоборот, при соблюдении неизменных количественных соотношений.

Поскольку движение тел происходит с течением времени, то на практике для сравнения энергетического действия разных сил надо определять работу, совершаемую силой в единицу времени. Скалярная величина, равная отношению работы  $A$  к времени  $t$ , в течение которого она совершена, называется мощностью:  $N = \frac{A}{t}$ .

Единица мощности в СИ – ватт (Вт).

Если под действием движущей силы  $F$ , то есть силы приводящей тело в движение и действующей в направлении этого движения, тело



движется с постоянной скоростью  $v$ , то  $N = \frac{A}{t} = \frac{F S}{t} = F v$ , где  $v = S/t$

– скорость равномерного движения тела.

Выполнение работы связано с неизбежными потерями энергии по преодолению сил трения. Поэтому любое устройство характеризуется не только тем, как оно быстро может совершать работу, но и величиной полезной работы.

*Коэффициент полезного действия* (КПД) – величина, показывающая насколько эффективно используется энергия какого-либо механизма (двигателя), равная отношению полезной работы  $A_{\text{п}}$  (или мощности  $N_{\text{п}}$ ) к полной работе  $A$  (мощности  $N$ ), которую совершает механизм:

$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A} = \frac{N_{\text{п}}}{N}$ . КПД выражается в долях работы (мощности) или в процентах (%). КПД любого реального механизма всегда меньше единицы (100%).

## 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ВОЛНЫ

Многие физические процессы в природе и технике повторяются через некоторые промежутки времени. Например, движение маятника часов, ветвей деревьев, биение сердца, движение мембраны микрофона и т.п.

Физические процессы, повторяющиеся во времени, называются *колебательным движением* или *колебаниями*.

Если в процессе колебательного движения значения изменяющихся физических величин повторяются через равные промежутки времени, то колебания называются *периодическими*.

Общими признаками колебательной системы является наличие у неё положения устойчивого равновесия, возвращающей силы и инертности.

Колебания, происходящие в системе, на которую не действуют внешние силы, называются *свободными*.

Любое колебательное движение характеризуется периодом, частотой и амплитудой.

*Периодом колебаний*  $T$  называется наименьший промежуток времени по истечении которого повторяются значения физических величин, изменяющихся при колебательном движении. За время равное периоду ко-

леблющаяся система совершает одно *полное колебание* – движение, при котором, начиная двигаться из какого-либо положения, она снова возвращается в это же положение [15].

*Частота колебаний*  $\nu$  – число полных колебаний, совершаемых колеблющейся системой в единицу времени. Если одно полное колебание совершается за время  $T$ , то за 1 с совершится  $\nu$  колебаний:  $\nu = 1/T$ . С частотой связана *циклическая* (круговая) *частота*  $\omega$  – число полных колебаний, совершаемых за  $2\pi$  секунд:  $\omega = 2\pi\nu$ .

В СИ единица периода - секунда (с), единица частоты – герц (Гц), единица циклической частоты – радиан в секунду (рад/с).

*Амплитуда колебаний*  $A$  – наибольшее отклонение, изменяющейся при колебаниях физической величины, от положения равновесия.

Периодические колебания, происходящие по закону синуса или косинуса, называются *гармоническими колебаниями*.

Зависимость смещения  $x$ , колеблющейся величины от положения равновесия, от времени  $t$  при гармонических колебаниях определяется по закону

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = A \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Здесь величина  $\varphi = \omega t + \varphi_0$  называется *фазой колебания*, определяющая какую долю от амплитуды  $A$  составляет смещение  $x$  в момент времени  $t$ ;  $\varphi_0$  – начальная фаза;  $\omega$  – циклическая частота.

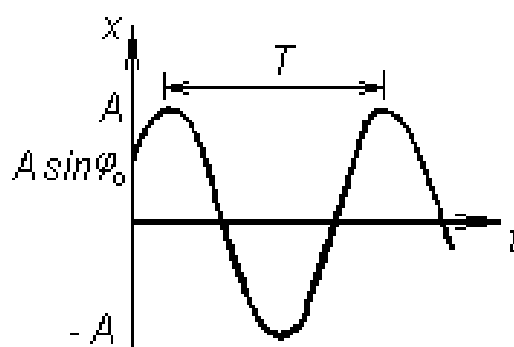
Примером гармонических колебаний может служить движение математического маятника или пружинного маятника.

*Математический маятник* – материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити и совершающая колебания в вертикальной плоскости. Период колебаний математического маятника [7]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где  $l$  – длина нити маятника;  $g$  – ускорение свободного падения.

*Пружинный маятник* – тело, подвешенное на пружине и совершающее колебания около своего положения равновесия. Период колебаний пружинного маятника



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

где  $m$  – масса тела;  $k$  – жесткость пружины.

Система, совершающая свободные гармонические колебания, является замкнутой системой. Поэтому её полная механическая энергия остается неизменной.

Полная механическая энергия  $E$  колеблющейся системы равна сумме кинетической энергии  $E_K = \frac{m v^2}{2}$  и потенциальной энергии

$$E_P = \frac{k x^2}{2} \text{ в данный момент времени:}$$

$$E = E_K + E_P = \frac{m v^2}{2} + \frac{k x^2}{2}.$$

В процессе колебаний происходит переход кинетической энергии в потенциальную энергию и наоборот. При этом выполняется закон сохранения механической энергии.

В положении наибольшего отклонения системы от положения равновесия потенциальная энергия достигает максимального значения, а кинетическая энергия системы становится равной нулю. Отсюда следует, что полная энергия колеблющейся системы пропорциональна квадрату амплитуды  $A$ :

$$E = \frac{k A^2}{2}.$$

Свободные колебания под влиянием каких-либо внешних условий со временем прекращаются. При этом амплитуда колебаний уменьшается и колеблющаяся система теряет свою энергию. Чтобы колебания были незатухающими, необходимо периодически пополнять запас энергии системы, действуя на неё внешней силой.

Колебания, возникающие в колебательной системе при действии на неё внешней периодически изменяющейся силы, называются *вынужденными колебаниями*.

Если вынуждающая сила изменяется по закону  $F = F_0 \sin \omega t$ , то уравнение установившихся вынужденных колебаний, происходящих по одинаковому с вынуждающей силой закону, будет иметь вид:

$x = A \sin (\omega t + \varphi_0)$ . Здесь  $F_0$  максимальное значение внешней силы,  $\omega$  – циклическая частота колебаний внешней силы и установившихся колебаний системы,  $\varphi_0$  – сдвиг фазы колебания относительно внешней силы,  $t$  – текущее время.

Вынужденные колебания всегда происходят с той же частотой, с которой изменяется внешняя сила. Амплитуда  $A$  вынужденных колебаний зависит от величины  $F_0$  и частоты  $\omega$  вынуждающей силы. Наибольшего значения амплитуда вынужденных колебаний достигает при частоте, близкой к частоте собственных колебаний системы.

Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний колеблющейся системы, при приближении частоты вынуждающей силы к частоте собственных колебаний системы, называется *резонансом*.

Если колебания совершает не изолированная точка, а отдельная частица какой-либо протяженной среды, то колебательное движение может передаваться от одной точки к другой её точке, распространяясь от места своего возникновения. Процесс распространения колебаний в упругой среде называется *волной*.

*Длина волны*  $\lambda$  – расстояние, на которое распространяется колебательный процесс за время равное периоду колебаний  $T$ :  $\lambda = vT$ , где  $v$  – скорость распространения колебательного процесса (волны). Поскольку частота  $\nu = 1/T$ , то скорость волны можно представить в виде  $v = \lambda \nu$ .

Волновой процесс в среде математически описывается *уравнением волны*, связывающим смещение  $x$  от положения равновесия произвольной точки среды с расстоянием  $l$  этой точки от источника волны для любого момента времени  $t$ :

$$x = A \sin \omega \left( t - \frac{l}{v} \right).$$

Приведенное уравнение является *уравнением плоской гармонической волны*. В нем  $A$  – амплитуда колебаний точек среды,  $\omega$  – циклическая частота,  $v$  – скорость распространения волны.

С учетом соотношений между циклической частотой и периодом колебаний  $\omega = 2\pi / T$ , длиной волны, скоростью и периодом, уравнение

волны представляется в виде:  $x = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$ .

## 6. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Свойства тел зависят от их внутренней структуры, то есть от природы частиц, из которых состоят тела, и их взаимного расположения. Для объяснения свойств газов, жидкостей и твёрдых тел применяют **молекулярно-кинетическую теорию строения вещества**, в основе которой находятся три положения: все вещества в природе имеют дискретное строение, то есть состоят из большого числа частиц – молекул и атомов; частицы находятся в непрерывном хаотическом, то есть беспорядочном, движении, которое никогда не прекращается и называется *тепловым движением*; между частицами вещества существуют силы взаимодействия – силы притяжения и отталкивания.

*Молекула* – это наименьшая устойчивая частица вещества, обладающая его химическими свойствами и состоящая из одного или нескольких атомов одинаковых или различных химических элементов [4].

Все тела состоят из различных веществ. Чем больше атомов или молекул в теле, тем больше вещества содержится в этом теле. Количество вещества, заключенного в теле, в СИ измеряется в молях.

*Моль* – это количество однородного вещества, содержащее число частиц (атомов, молекул, ионов), равное числу атомов содержащихся в 0,012 кг углерода-12. Таким образом, по определению, в одном моле различных веществ содержится одно и то же число частиц. Это число частиц называется *постоянной (числом) Авогадро*:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

*Количество вещества* определяется числом молей  $\nu$ , равным отношению числа молекул  $N$ , содержащихся в данном теле, к постоянной Авогадро:  $\nu = N / N_A$ . Масса одного моля вещества – *молярная масса* – равна произведению массы молекулы  $m_0$  данного вещества на постоянную Авогадро:  $M = m_0 N_A$ . Поэтому количество вещества в теле определяется отношением массы этого вещества к его молярной массе, которую вычисляют с помощью Периодической таблицы элементов:  $\nu = m / M$ .

Единица молярной массы в СИ – килограмм на моль (кг/моль).

В газах молекулы находятся на расстояниях во много раз превосходящих их размеры, когда силы взаимодействия между ними пренебрежимо малы, что позволяет для описания свойств газа воспользоваться его моделью.

*Идеальный газ* – это модель газа, в которой не учитываются размеры молекул и силы их взаимодействия проявляются только в момент столкновения, когда молекулы ведут себя подобно абсолютно упругим шарикам.

*Давление газа* – это сила  $F$ , с которой газ действует на поверхность, перпендикулярно к ней, отнесенная к площади этой поверхности  $S$ :  
 $p = F/S$ .

Молекулярно-кинетическая теория определяет давление как результат суммарного действия на стенку молекул газа при их столкновениях со стенкой [3,7]:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}.$$

Это выражение называется **основным уравнением молекулярно-кинетической теории идеального газа**. Здесь  $\overline{v^2}$  – средний квадрат скоростей всех молекул,  $m_0$  – масса молекулы газа,  $n$  – концентрация молекул газа, то есть число молекул в единице объёма.

Если учесть, что средняя кинетическая энергия молекулы газа  $\overline{E_0} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$ , то основное уравнение молекулярно-кинетической теории

преобразуется к виду  $p = \frac{2}{3} n \overline{E_0}$ .

Средняя кинетическая энергия теплового поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре  $T$ :

$$\overline{E_0} = \frac{3}{2} k T.$$

Коэффициент  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К называется *постоянной Больцмана*.

*Абсолютная температура* – это мера средней кинетической энергии поступательного движения частиц вещества в любом состоянии.

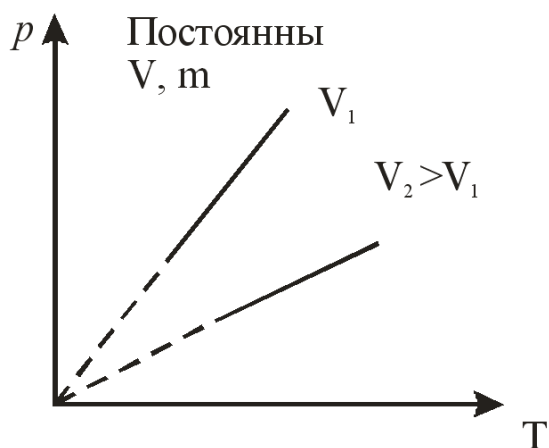
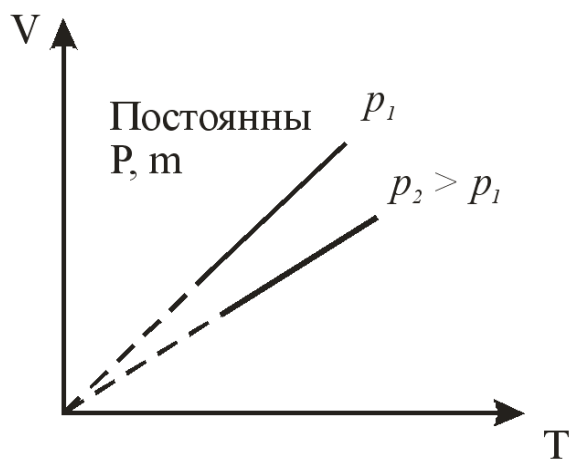
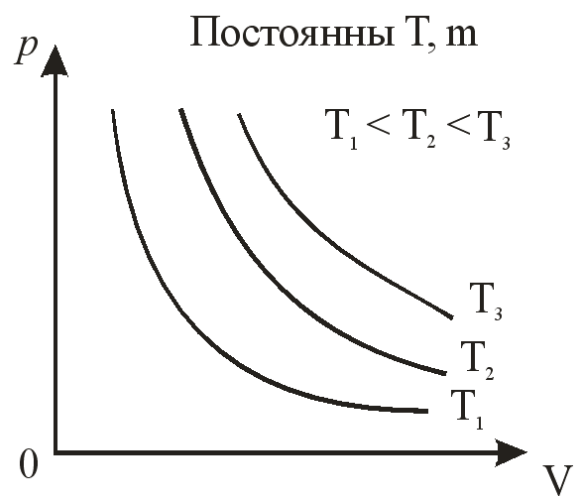
Преобразовав основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа можно записать уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{M} R T,$$

которое называется **уравнением Менделеева-Клапейрона**.

Величина  $R = k N_A$  называется *молярной газовой постоянной*:  $R = 8,31$  Дж/(моль К).

Уравнение Менделеева-Клапейрона обобщает три экспериментальных газовых законов [9].



Первый газовый закон – **закон Бойля-Марриотта** – определяет изотермический процесс в газе:  $pV = Const$  при  $T = Const$ ,  $m = Const$ , то есть произведение давления газа на занимаемый им объём – величина постоянная при постоянной температуре и неизменной массе газа. Кривая процесса на диаграмме называется *изотермой*.

Второй газовый закон – **закон Гей-Люссака** – определяет изобарический процесс:  $\frac{V}{T} = const$ , при  $p = Const$ ,  $m = Const$ , то есть при постоянном давлении и неизменной массе газа отношение объёма газа к его абсолютной температуре остается постоянным. График этого процесса на диаграмме состояний называется *изобарой*.

Третий газовый закон – **закон Шарля** – определяет изохорический процесс:  $\frac{p}{T} = const$ , при  $V = Const$ ,  $m = Const$ , то есть при постоянном объёме и неизменной массе газа отношение давления газа к его абсолютной температуре остается постоянным. График процесса на диаграмме состояний называется *изохорой*.

Описанием систем из большого числа частиц, совершающих тепловое движение, и обменивающихся энергией – *термодинамических систем* – занимается термодинамика.

Термодинамическая система характеризуется величинами, определяющими состояние системы в данный момент времени в целом без учета

её внутреннего строения – *параметрами состояния*.

Если тела, образующие термодинамическую систему, не взаимодействуют с телами в неё не входящими, то эта система называется *изолированной*. С течением времени в изолированной системе всегда устанавливается термодинамическое равновесие.

Переход системы из одного равновесного состояния в другое называется *термодинамическим процессом*. При прохождении процесса изменяются параметры состояния системы. Связь параметров состояния в уравнении состояния, определяет вид процесса.

К таким параметрам состояния относятся плотность вещества, объем, давление, температура и т.п.

Температура – это параметр состояния, всегда одинаковый во всех точках термодинамической системы в равновесном состоянии.

Измеряют температуру в условных единицах – градусах. Наиболее распространена в технике и быту шкала Цельсия. За нуль в этой шкале принимается температура тающего льда при нормальном атмосферном давлении, а температура кипящей воды при том же давлении – за 100 градусов Цельсия ( °С ). В СИ принята *абсолютная температурная шкала*, температура в которой измеряется в кельвинах (К). Нуль в этой шкале называется *абсолютным нулем температур* – температура, при которой прекращается поступательное движение атомов и молекул, то есть тепловое движение. Кельвин по величине принят равным градусу Цельсия, то есть  $1 \text{ К} = 1^\circ\text{С}$ . Связь между температурой  $T$  по абсолютной термодинамической шкале и температурой  $t$  по шкале Цельсия определяется соотношением  $T = t + 273$ .

В термодинамической системе атомы и молекулы вещества совершают непрерывное тепловое движение, взаимодействуя между собой. Это позволяет ввести характеристику термодинамической системы – *внутреннюю энергию*. Внутренняя энергия в каком-либо состоянии системы однозначно определяется этим состоянием (параметрами состояния) и не зависит от процесса, позволяющего достичь этого состояния.

Обмен внутренней энергией между телами в результате теплового движения частиц вещества без совершения механической работы называется *теплообменом*. Мерой изменения внутренней энергии тел, происходящего при теплообмене, является *количество теплоты*. Изменение внутренней энергии равно количеству теплоты  $Q$ , то есть  $\Delta U = U_2 - U_1 = Q$ ,



где  $U_1$  и  $U_2$  - начальное и конечное значения внутренней энергии. Если в процессе теплообмена термодинамическая система (тело) получила количество теплоты, то её внутренняя энергия увеличилась и температура возросла, и наоборот, отдала - внутренняя энергия уменьшилась и температура понизилась.

Единица количества теплоты в СИ – джоуль (Дж).

Для характеристики связи между количеством теплоты и изменением температуры вводят физическую величину – *теплоёмкость* тела (термодинамической системы), равную отношению количества теплоты  $Q$ , сообщенного телу в каком-либо процессе, к соответствующему изменению температуры  $\Delta T$  тела:  $C = Q / \Delta T$ .

Чтобы определить тепловые свойства вещества, из которого состоит тело, вводят *удельную теплоёмкость* - теплоёмкость единицы массы однородного вещества:  $c = C / m$ , где  $m$  - масса вещества. Зная удельную теплоёмкость можно рассчитать теплоёмкость одного моля вещества с молярной массой  $M$  – *молярную теплоёмкость*:  $c_M = c M$ .

В СИ единица теплоёмкости джоуль на кельвин (Дж/К), удельной теплоёмкости - джоуль на килограмм-кельвин (Дж/(кг·К)), а молярной теплоёмкости - джоуль на моль-кельвин (Дж/(моль·К)).

Удельная теплоёмкость вещества  $c$ , его масса  $m$  и изменение температуры от  $T_1$  до  $T_2$  дают возможность определить количество теплоты, вызвавшее это изменение температуры:  $Q = c m (T_2 - T_1)$ .

Если нагревание одних тел происходит за счёт охлаждения других тел, то эти тела можно выделить в изолированную термодинамическую систему, в которой выполняется закон сохранения энергии: в результате теплообмена количество теплоты  $Q_{от}$ , отданное всеми охлаждающимися телами изолированной системы, равно количеству теплоты  $Q_{пол}$ , полученному нагревающимися телами системы. Уравнение  $Q_{от} = Q_{пол}$  называется *уравнением теплового баланса*.

Надо отметить, что при кипении жидкости её температура постоянна и вся подведённая энергия расходуется на парообразование. Чтобы превратить жидкость массой  $m$  в пар к ней надо подвести количество теплоты  $Q = r m$ , где  $r$  - *удельная теплота парообразования* – количество теплоты необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар при температуре кипения. Единица удельной теплоты парообразования в

СИ – джоуль на килограмм (Дж/кг).

При конденсации пара выделяется количество энергии, которое было затрачено на его образование.

Подводимое при плавлении кристаллического тела тепло идет на выполнение работы по разрушению кристаллической решётки. Теплота плавления, необходимая для перевода тела массой  $m$  из твёрдого состояния в жидкое при температуре плавления, определяется выражением  $Q = \lambda m$ . Здесь  $\lambda$  - *удельная теплота плавления* – величина, равная количеству теплоты необходимому для перевода единицы массы твёрдого кристаллического вещества в жидкое состояние при температуре плавления. Её единица измерения в СИ – джоуль на килограмм (Дж/кг).

После перехода твёрдого тела в жидкое состояние подводимая теплота идет на нагревание образовавшейся жидкости.

Внутренняя энергия может изменяться и при выполнении работы. Выражение

$$A = p \Delta V$$

определяет работу, совершаемую термодинамической системой, например газом, при изменении её объёма на  $\Delta V$  при неизменном давлении  $p$ .

Количество теплоты и работа - это меры переданной энергии при теплообмене и совершении работы, соответственно. Если термодинамическая система не является изолированной, то она взаимодействует с внешними телами и обменивается с ними энергией. При этом выполняется закон сохранения и превращения энергии, который для явлений передачи внутренней энергии от одного тела к другому и взаимопревращением внутренней и механической энергий выражается **первым законом термодинамики**: количество теплоты  $Q$ , подведённое к системе, затрачивается на изменение внутренней энергии системы  $\Delta U$  и на совершение системой работы  $A$  над внешними телами, то есть

$$Q = \Delta U + A .$$

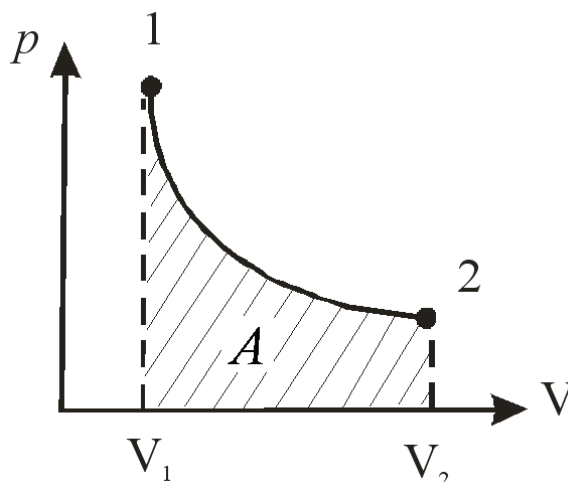
Величины, входящие в уравнение первого закона термодинамики, могут быть как положительными, так и отрицательными, равными нулю. Принято считать  $Q > 0$  и  $A > 0$ , если системе передается количество теплоты и она совершает работу против внешних тел, и  $Q < 0$  и  $A < 0$ , когда она отдаёт количество теплоты и внешние тела совершают над ней работу.

В разных термодинамических процессах уравнение первого закона

термодинамики принимает вид, указывающий на процесс преобразования внутренней энергии.

При изотермическом процессе  $T = Const$  и изменение внутренней энергии  $\Delta U = 0$ , поэтому всё подводимое количество теплоты идет на совершение работы –  $Q = A$ .

Работа совершаемая термодинамической системой при изменении объёма от  $V_1$  до объёма  $V_2$  определяется геометрически площадью фигуры, ограниченной графиком процесса на  $p, V$ -диаграмме, осью абсцисс и ординатами, проходящими через начальное  $V_1$  и конечное  $V_2$  значения объёмов системы.



При изобарическом процессе  $p = Const$  выполняется закон в виде  $Q = \Delta U + A$  и подводимое количество теплоты идёт на изменение внутренней энергии и на совершение работы.

При изохорическом процессе  $V = Const$  и изменение  $\Delta V = 0$ , что определяет  $A = 0$ . Поэтому всё подводимое количество теплоты идёт на изменение внутренней энергии –  $Q = \Delta U$ .

Если термодинамическая система не обменивается энергией с окружающей средой, то  $Q = 0$  и  $A = -\Delta U$  – система совершает работу за счёт изменения внутренней энергии, что приводит к изменению её температуры. Такой процесс называется адиабатическим.

Согласно первому закону термодинамики подведение к системе некоторого количества теплоты позволяет ей совершить работу над внешними телами. Для этого необходимо преобразовать хаотическое движения частиц системы в упорядоченное движение, что и осуществляется в *тепловых двигателях* – устройствах, предназначенных для превращения внутренней энергии в механическую работу.

Любой непрерывно работающий тепловой двигатель должен состоять из трёх частей: *рабочего тела* – вещества, при изменении объёма которого во время циклического процесс совершается работа; *нагревателя* – тела, от которого при теплообмене рабочее тело, расширяясь, получает количество теплоты  $Q_1$ ; *холодильника* – тела, забирающего в результате теплообмена у рабочего тела при сжатии количество теплоты  $Q_2$ .

Работа, совершенная рабочим телом в цикле согласно закону со-

хранения энергии была произведена вследствие превышения количества теплоты  $Q_1$ , полученной рабочим телом от нагревателя, над количеством теплоты  $Q_2$ , отданной им при сжатии холодильнику:  $A = Q_1 - Q_2$ .

Для характеристики эффективности преобразования двигателем внутренней энергии нагревателя в полезную механическую работу вводится *коэффициент полезного действия* (КПД) - отношение полезной работы, выполненной двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Чем выше КПД теплового двигателя, тем он выгоднее. Карно показал, что КПД любого теплового двигателя не может быть больше КПД предложенного им идеального теплового двигателя, определяемого только температурой нагревателя  $T_1$  и температурой холодильника  $T_2$ :

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Таким образом, для увеличения КПД любого теплового двигателя надо увеличивать температуру нагревателя и уменьшать температуру холодильника.

## 7. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

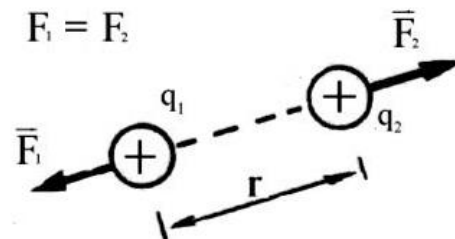
Электрическое взаимодействие тел вызывается *электрическими зарядами*, находящимися на телах. Заряженные тела могут притягиваться или отталкиваться. Из этого следует, что в природе существует два вида электрических зарядов – *положительные* и *отрицательные*. Опытами установлено, что разноимённые заряды притягиваются, а одноимённые отталкиваются. Незаряженные тела содержат одинаковое количество положительных и отрицательных зарядов, которые компенсируют друг друга. Электрические заряды не возникают и не исчезают, а только перераспределяются между телами. В этом проявляется **закон сохранения электрического заряда**: в изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной.

Единица электрического заряда в СИ – кулон (Кл).

Экспериментально установлено, что электрический заряд любого тела состоит из целого числа элементарных электрических зарядов  $e = 1,6$

$10^{-19}$  Кл. Наименьшей устойчивой во времени частицей, обладающей отрицательным элементарным зарядом, является электрон, а устойчивой частицей с положительным элементарным зарядом – протон.

Взаимодействие двух точечных электрических зарядов определяется основным законом электростатики - **законом Кулона**: сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$  пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  между ними, направлена вдоль линии, соединяющей эти заряды, и зависит от среды, в которой они взаимодействуют [1]:



$$F = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Здесь  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная,  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, показывающая во сколько раз сила взаимодействия двух зарядов в вакууме больше силы их взаимодействия в среде при неизменном расстоянии между зарядами. Для вакуума  $\varepsilon = 1$ .

Заряженные тела взаимодействуют посредством *электрического поля*. Основное свойство электрического поля – это способность оказывать силовое действие на помещённые в него электрические заряды. Силовой характеристикой электрического поля является напряженность.

*Напряженность поля*  $\vec{E}$  в данной точке – физическая величина, равная отношению силы  $\vec{F}$ , действующей на положительный точечный заряд  $q_0$ , помещённый в данную точку поля, к величине этого заряда:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Единица напряженности электрического поля в СИ – вольт на метр (В/м).

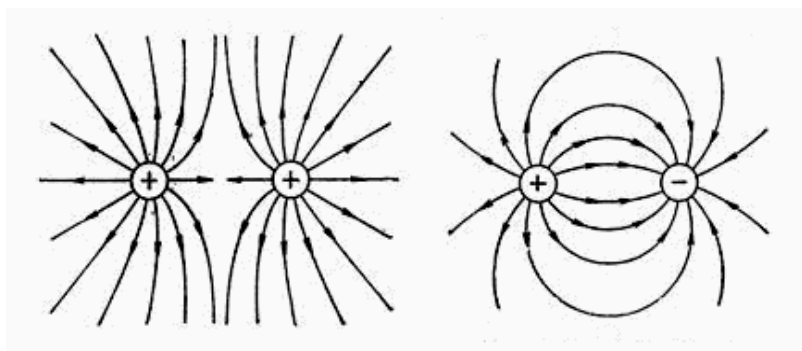
Напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом  $q$  на расстоянии  $r$  от него, определяется формулой

$$E = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}.$$



Графически электрическое поле изображается силовыми линиями –

линиями, касательные к которым в каждой точке пространства совпадают с вектором напряженности поля в этих точках. Силовые линии электрического поля имеют начало на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.



Если силовые линии параллельны, то поле однородно. В неоднородном поле густота проведения силовых ли-

ний пропорциональна величине напряжённости поля в рассматриваемой точке поля.

Для оценки энергии электрического поля в разных его точках вводится энергетическая характеристика поля – потенциал.

*Потенциал  $\varphi$*  данной точки электрического поля – физическая величина, численно равная отношению работы  $A_\infty$ , совершаемой силами поля при перемещении положительного заряда  $q_0$  из данной точки поля в бесконечность, к величине этого заряда:  $\varphi = \frac{A_\infty}{q_0}$ . Потенциал  $\varphi$  скалярная

величина. Он характеризует потенциальную энергию единичного положительного заряда, находящегося в данной точке поля. Единица потенциала в СИ – вольт (В).

Потенциал электрического поля, создаваемого точечным зарядом  $q$ , определяется выражением

$$\varphi = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r},$$

где  $r$  – расстояние от заряда  $q$  до точки, в которой определяется потенциал. Потенциал точек поля положительного заряда ( $q > 0$ ) – положителен, а отрицательного заряда ( $q < 0$ ) – отрицателен.

При перемещении заряда  $q$  из точки поля с потенциалом  $\varphi_1$  в точку поля с потенциалом  $\varphi_2$  силами электрического поля совершается работа

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  – разность потенциалов.

Если в однородном поле с напряженностью  $E$  положительный заряд переместится вдоль силовой линии на расстояние  $d$  между точками

поля с потенциалами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , то  $E = (\varphi_1 - \varphi_2) / d$ .

Во многих случаях электрическое поле создается несколькими зарядами. Тогда в пространстве одновременно существует несколько полей и общая напряженность и общий потенциал в данной точке поля равны векторной сумме напряженностей и алгебраической сумме потенциалов, создаваемых отдельными зарядами в рассматриваемой точке поля – *принцип суперпозиции* (принцип наложения) электрических полей.

Электрическое поле действует и на диэлектрики и на проводники.

*Проводник* – вещество, в котором существует большое число электрических зарядов не связанных с атомами – свободные носители заряда. Под действием электрического поля они могут перемещаться в межатомном пространстве вещества проводника. Типичными проводников являются металлы, в которых носителями зарядов являются хаотически движущиеся свободные электроны.

*Диэлектрик* – вещество, в котором отсутствуют свободные электрические заряды. Диэлектрики состоят из молекул, каждая из которых состоит из связанных между собой положительных и отрицательных зарядов, образующих в целом электрически нейтральную молекулу.

Опыты показывают, что по мере увеличения заряда  $q$  проводника его потенциал  $\varphi$  увеличивается, но отношение заряда проводника к потен-

циалу остается неизменным, то есть  $C = \frac{q}{\varphi}$ . Коэффициент пропорцио-

нальности  $C$  зависит от формы, размеров проводника, диэлектрической проницаемости среды, его окружающей, и называется *электрической ёмкостью*. Единица электроёмкости в СИ – фарад (Ф).

Электроёмкость характеризует способность проводника накапливать электрический заряд. Для накопления и длительного сохранения электрического заряда изготавливают конденсаторы.

*Конденсатор* – два (или более) проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого много меньше линейных размеров проводников. При зарядке конденсатора образующие его проводники, которые называются обкладками, получают равные по величине, но противоположные по знаку заряды.

*Электроёмкостью конденсатора*  $C$  называется физическая величина, равная отношению заряда  $q$ , находящегося на любой из обкладок, к разности потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  между обкладками:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Конденсатор, обкладки которого представляют собой плоские параллельные пластины, называется *плоским конденсатором*. Емкость плоского конденсатора зависит от площади его обкладки  $S$ , расстояния между обкладками  $d$  и диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  диэлектрика, находящегося между пластинами:  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ , где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная.

При зарядке конденсатора в нём образуется электрическое поле, которое имеет энергию  $W = \frac{C (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}$ .

## 8. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

*Электрическим током* называется направленное движение электрических зарядов [11].

Электрический ток наблюдается в телах, содержащих внутри себя большое число свободных зарядов – проводниках. За направление электрического тока принято направление движения положительных зарядов, а за его количественную характеристику – сила тока. Если сила тока и направление движения зарядов в проводнике не изменяются с течением времени, то ток называется *постоянным током*.

*Сила тока  $I$*  – скалярная величина, равная заряду  $q$ , проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени  $t$ :  $I = \frac{q}{t}$ . Единица силы тока в СИ – ампер (А).

Направленное движение зарядов в проводнике встречает противодействие со стороны теплового движения частиц, из которых состоит проводник. Это противодействие направленному движению зарядов внутри проводника называется *электрическим сопротивлением*.

Сопротивление проводника зависит от природы проводника, его размеров и формы. Установлено, что при постоянной температуре сопротивление проводника  $R$  неизменного поперечного сечения пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади  $S$  его попереч-

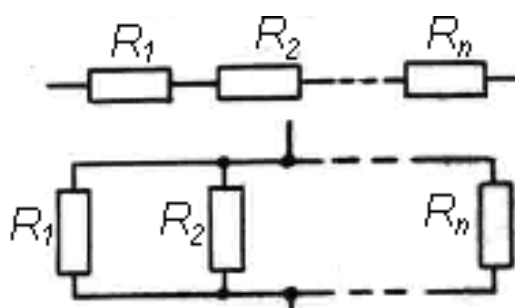


ного сечения:  $R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $\rho$  – удельное сопротивление, зависящее от природы проводника и его температуры. При увеличении температуры удельное сопротивление чистых металлов (проводники первого рода) увеличивается, а угля, растворов солей и кислот (проводники второго рода) уменьшается.

Единица сопротивления в СИ – ом (Ом).

Соединение проводников, внутри которых может осуществляться непрерывное направленное движение электрических зарядов, называется *электрической цепью*. В электрических цепях наиболее простыми соединениями проводников являются последовательное и параллельное соединения.

Соединение проводников, при котором к концу каждого предыдущего проводника присоединяется начало последующего, называется *последовательным*. Сила тока во всех последовательно соединенных проводниках одинакова. При последовательном соединении проводников общее сопротивление цепи  $R$  равно сумме сопротивлений  $R_1, R_2, \dots, R_n$  её отдельных проводников:  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .



Соединение проводников, при котором начала всех проводников соединяются между собой и все концы проводников также соединяются между собой, называется *параллельным*. При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в отдельных её составляющих проводниках, сила же тока в разных проводниках различна и зависит от их сопротивления. При параллельном соединении величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме значений обратных сопротивлений  $R_1, R_2, \dots, R_n$  отдельных проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Для направленного движения зарядов в проводнике на них должна действовать электрическая сила, которая существует только при наличии на концах проводника разности потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$ . Разность потенциалов на участке цепи  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$  называется напряжением. За единицу

напряжения, как и разности потенциалов, в СИ принят вольт (В).

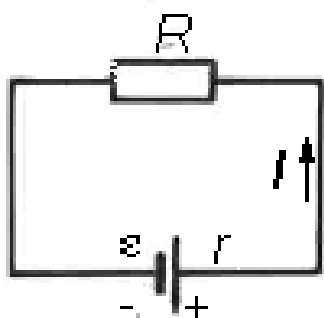
Зависимость силы тока от напряжения, приложенного к проводнику, определяется **законом Ома для участка цепи** – сила тока  $I$  на участке цепи с неизменным сопротивлением  $R$  пропорциональна напряжению  $U$  на концах этого участка:

$$I = \frac{1}{R} U .$$

Зависимость силы тока от напряжения подчиняется закону Ома только у металлов и электролитов.

Для поддержания постоянной разности потенциалов на концах проводника необходимо специальное устройство – *источник тока*. Характеристикой источника тока является электродвижущая сила (ЭДС)  $\varepsilon$ . Единица ЭДС в СИ – вольт (В).

Совокупность источника тока и подключенных к его клеммам проводников, внутри которых осуществляется направленное движение электрических зарядов, называется *замкнутой электрической цепью*.



Участок цепи внутри источника, от клеммы до клеммы, называется *внутренним участком цепи*, а участок цепи вне источника – *внешним участком цепи*. Так как источник тока является одним из проводников замкнутой электрической цепи, то он обладает электрическим сопротивлением – *внутренним сопротивлением*  $r$ , что позволяет сформулировать **закон Ома для полной (замкнутой) цепи** – сила тока в замкнутой электрической цепи равна отношению ЭДС источника тока  $\varepsilon$  к сумме сопротивлений внешнего  $R$  и внутреннего  $r$  участков цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} .$$

В электрической цепи происходит превращение энергии, мерой которой является работа тока  $A$ .

*Работа электрического тока* на участке цепи равна произведению силы тока  $I$ , протекающего по участку цепи, напряжения  $U$ , приложенного к данному участку, и времени  $t$ , в течение которого совершается работа:

$$A = IUt .$$

Работа, совершаемая током в единицу времени, называется *мощностью тока*:  $P = \frac{A}{t} = IU$  .

Проводник, по которому течёт электрический ток, вследствие увеличения его внутренней энергии за счёт энергии электрического тока, нагревается и отдает окружающим телам количество теплоты

$$Q = I^2 R t ,$$

определяемое по **закону Джоуля Ленца**: количество теплоты  $Q$  , выделяющейся в проводнике под действием электрического тока, пропорционально произведению квадрата силы тока  $I$ , сопротивлению проводника  $R$  и времени  $t$  прохождения тока по проводнику.

## 9. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

При прохождении электрического тока по проводнику расположенная вблизи него магнитная стрелка отклонялась от своего первоначального положения, что указывает на действие силы, которая отсутствует, если тока в проводнике нет.

Электрический ток – это направленное движение электрических зарядов. Следовательно, движущиеся заряды вызывают изменения в окружающей проводник среде – они создают поле, которое и проявляется своим силовым действием. Это поле было названо *магнитным полем*. Силовой характеристикой магнитного поля является *магнитная индукция*  $\vec{B}$  .

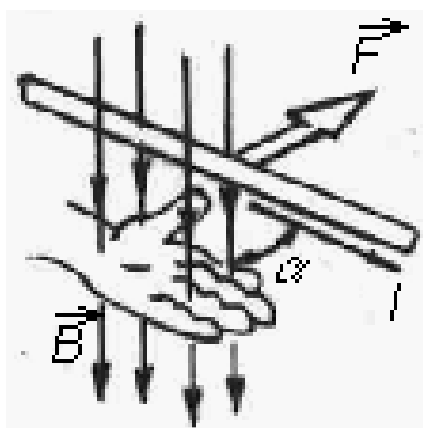
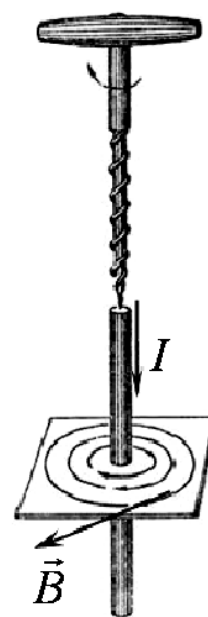
Магнитное поле графически изображают с помощью *силовых линий магнитной индукции* – воображаемых линий, касательная к которым в каждой точке поля совпадает с направлением вектора индукции магнитного поля в этой точке. Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты. Направление линий индукции магнитного поля создаваемого проводником с током, определяют по *правилу правого винта* (буравчика): если поступательное движение правого винта совпадает с направлением тока в проводнике, то направление его вращения определит направление вектора магнитной индукции [2].

Магнитное поле действует на движущиеся заряды и на проводники, по которым протекает ток.

Взаимодействие между магнитным полем и проводником с током устанавливается **законом Ампера** – сила  $F$  действующая на прямолинейный проводник с током в однородном магнитном поле пропорциональна силе тока  $I$ , протекающего по проводнику, длине проводника  $l$ , индукции магнитного поля  $B$  и синусу угла  $\alpha$ , между направлениями магнитной индукции и тока:

$$F = I B l \sin \alpha .$$

Эта сила называется *силой Ампера*, а её направление определяется по *правилу левой руки*: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а вытянутые четыре пальца были направлены по току в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.



*Магнитная индукция* – физическая величина, численно равная силе, действующей со стороны магнитного поля на единицу длины проводника, ориентированного перпендикулярно направлению поля, при силе тока в проводнике равной единице.

Единица магнитной индукции в СИ – тесла (Тл).

Если магнитное поле создается несколькими проводниками с током, то индукция магнитного поля в данной его точке равна векторной сумме индукций полей  $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots, \vec{B}_n$ , образованных в этой точке каждым током в отдельности – принцип суперпозиции магнитных полей:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$ .

Если проводники с током поместить в вещество, то индукция магнитного поля в веществе  $\vec{B}$  будет отличаться от магнитной индукции поля, создаваемого теми же токами в вакууме  $\vec{B}_0$  в  $\mu$  раз. Величина  $\mu = B/B_0$  характеризует магнитные свойства вещества среды и называется *магнитной проницаемостью*. Вещества разделяются на *парамагнетики* ( $\mu > 1$ ), *диамагнетики* ( $\mu < 1$ ) и *ферромагнетики* ( $\mu \gg 1$ ).

Индукция магнитного поля зависит не только от магнитной проницаемости среды, в которой находится проводник с током, но и от формы и размеров проводника с током.

Индукция магнитного поля бесконечного прямолинейного проводника, по которому течет ток силой  $I$ , на расстоянии  $r$  от проводника в направлении, перпендикулярном проводнику, равна

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r},$$

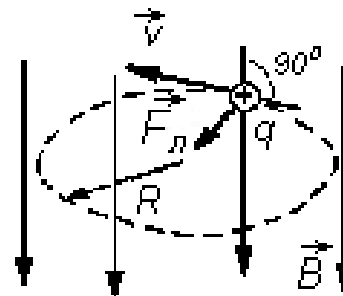
где  $\mu$  – магнитная проницаемость вещества, в котором находится проводник;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная. Магнитные силовые линии прямолинейного тока представляют собой concentric окружности, охватывающие проводник и лежащие в плоскости перпендикулярной проводнику.

Поскольку электрический ток – это направленное движение заряженных частиц, то действие магнитного поля на проводник с током определяется его действием на движущиеся внутри проводника заряженные частицы. Эта сила называется *силой Лоренца* [1]:

$$F_{\text{Л}} = q v B \sin \alpha ,$$

где  $\alpha$  – угол между вектором скорости  $\vec{v}$  частицы с зарядом  $q$  и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ . Сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно векторам  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ . Для движущейся положительно заряженной частицы её направление определяют по правилу левой руки, направляя в этом случае четыре вытянутых пальца по направлению скорости частицы. С изменением знака заряда частицы направление силы изменяется на противоположное.

Если заряженная частица массой  $m$  движется перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией  $\vec{B}$  ( $\vec{v} \perp \vec{B}$ ,  $\sin \alpha = 1$ ), то сила Лоренца максимальна  $F_{\text{Л}} = q v B$  и выполняет роль центростремительной силы.

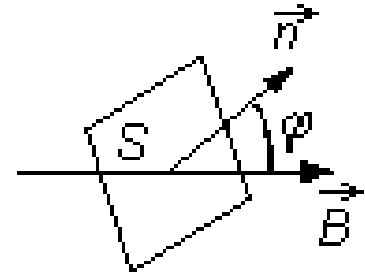


В этом случае частица движется по окружности, плоскость которой перпендикулярна вектору магнитной индукции. Из уравнения

движения частицы  $F_{\text{Л}} = m a_{\text{ц}}$ , где  $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$  – центростремительное уско-

рение, можно определить радиус окружности  $R = \frac{m v}{q B}$ . При направлении

движения заряженной частицы вдоль силовых линий ( $\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{B}$ ,  $\sin \alpha = 0$ ) сила Лоренца равна нулю и частица движется по прямолинейной траектории. Любое другое движение частицы в магнитном поле, кроме рассмотренных выше, вызовет её движение по траектории в виде спирали, охватывающей силовые линии магнитного поля.



Если под действием силы, действующей на проводник с током со стороны магнитного поля, проводник придет в движение, то магнитное поле совершит работу по перемещению проводника.

*Работа перемещения проводника с током в магнитном поле* равна произведению силы тока на изменение магнитного потока через площадь, описываемую проводником при его движении  $A = I \Delta \Phi$  [2].

*Магнитным потоком  $\Phi$*  через поверхность называется физическая величина, равная произведению величины индукции магнитного поля  $\vec{B}$ , площади  $S$  поверхности, через которую проходит поток, и косинусу угла  $\varphi$  между направлением вектора магнитной индукции и нормалью  $\vec{n}$  к поверхности:  $\Phi = B S \cos \varphi$ . Единица магнитного потока в СИ – вебер (Вб).

*Явление электромагнитной индукции* состоит в том, что изменение магнитного потока через замкнутый проводящий контур вызывает появление электрического тока в контуре. Этот ток называется *индукционным током* и возникает только при изменяющемся магнитном потоке, пронизывающем контур.

Величина и направление ЭДС, возникающей в замкнутом контуре – *ЭДС индукции* – определяется **законом электромагнитной индукции Фарадея**: ЭДС электромагнитной индукции  $\varepsilon_i$ , возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  через поверхность, ограниченную контуром, то есть

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Знак минус в формуле определяет *правило Ленца*: индукционный ток в замкнутом контуре всегда имеет такое направление, при котором его маг-

нитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызывающего этот индукционный ток.

Если замкнутый проводящий контур имеет сопротивление  $R$ , то сила индукционного тока по закону Ома определяется выражением

$$I_i = \varepsilon_i / R.$$

Явление электромагнитной индукции наблюдается при любом изменении магнитного потока. Если сила тока в электрической цепи изменяется, то изменяется и магнитный поток и это изменение магнитного потока приводит к возникновению ЭДС индукции. Возникновение ЭДС в электрической цепи при изменении протекающего в ней электрического тока называется *самоиндукцией*.

Магнитный поток, создаваемый проводящим контуром пропорционален силе тока  $I$ , протекающего в контуре:  $\Phi = LI$ . Тогда из закона

электромагнитной индукции Фарадея получим  $\varepsilon_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ , где коэффи-

циент пропорциональности  $L$  называется *индуктивностью контура*. Она зависит от формы, размеров контура и магнитной проницаемости окружающей контур среды.

Единица индуктивности в СИ – генри ( Гн ).

*Энергия магнитного поля* контура с током  $I$  равна  $W = \frac{LI^2}{2}$ . Энер-

гию контур получает от внешнего источника и она расходуется на создание магнитного поля в пространстве, окружающем контур с током. Эта энергия распределена везде в пространстве, где присутствует магнитное поле.

## 10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Периодические процессы превращения энергии электрического поля в энергию магнитного поля и обратно называются *электромагнитными колебаниями*.

Электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивностью  $L$  и конденсатора ёмкостью  $C$ , называется *колебательным контуром*.

Если сопротивление, входящих в электрическую цепь колебатель-

ного контура проводников, настолько мало, что потерями энергии в тепло, выделяющееся в проводниках при прохождении по ним тока, можно пренебречь, то свободные электромагнитные колебания в контуре – незатухающие гармонические колебания, период которых зависит только от собственных параметров контура  $L$  и  $C$ . В этом случае период  $T$  электромагнитных колебаний определяется **формулой Томсона**:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Отсюда частота незатухающих электромагнитных колебаний  $\nu_0$ , то есть собственная частота колебаний, равна

$$\nu_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}.$$

В любом реальном контуре процесс колебаний затухает, так как в течение каждого периода часть энергии расходуется на нагревание проводов. Для получения незатухающих колебаний необходимо включить в контур источник тока с периодически изменяющейся ЭДС. В этом случае возникают вынужденные электромагнитные колебания и в электрической цепи протекает *переменный ток* – электрический ток, изменяющийся по величине и направлению.

При подключении к электрической цепи источника тока с синусоидально изменяющейся ЭДС (напряжением  $U$ ) в электрической цепи возникает переменный ток, также изменяющийся по закону синуса:

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $i$  и  $I_0$  – мгновенное и амплитудное значения силы переменного тока;  $\omega$  – циклическая частота переменного тока;  $\varphi$  – сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения (ЭДС);  $t$  – время.

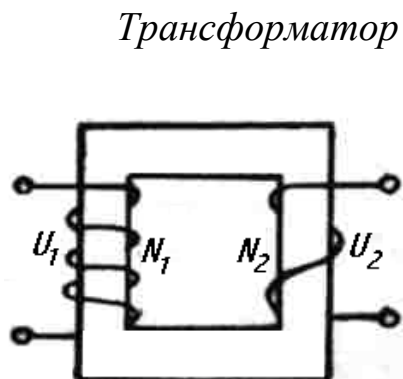
За *действующее значение* переменного тока принимается такое значение постоянного тока, при протекании которого по проводнику выделяется такая же тепловая мощность, как и при протекании переменного тока.

Расчет показывает, что действующие  $I$ ,  $U$  и амплитудные  $I_0$ ,  $U_0$  значения силы и напряжения переменного тока, изменяющегося по гармоническому закону, связаны соотношениями [14]:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$



Для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте применяют трансформаторы.

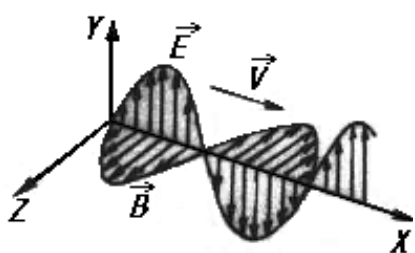


*Трансформатор* – устройство, состоящее из замкнутого сердечника, изготовленного из ферромагнитного материала, и расположенных на нём двух (или более) обмоток из изолированного проводника. Одна из них – первичная обмотка – включается в цепь переменного напряжения, другая – вторичная обмотка – подключается к потребителю электрической энергии. Напряжение  $U_2$  на концах вторичной обмотки трансформатора так относится к напряжению  $U_1$  на концах его первичной обмотки, как число витков вторичной обмотки  $N_2$  относится к числу витков первичной обмотки  $N_1$ :  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$ . Коэффициент  $k$  называется *коэффициентом трансформации*.

Дж. Максвелл высказал идею о том, что переменное во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве вихревое магнитное поле. Переменные магнитные и электрические поля взаимосвязаны и неотделимы друг от друга. Они составляют единое электромагнитное поле, представляющее собой *электромагнитные волны*, распространяющиеся в пространстве.

$k$  называется *коэффициентом трансформации*.

Дж. Максвелл высказал идею о том, что переменное во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве вихревое магнитное поле. Переменные магнитные и электрические поля взаимосвязаны и неотделимы друг от друга. Они составляют единое электромагнитное поле, представляющее собой *электромагнитные волны*, распространяющиеся в пространстве.



Электромагнитные волны – поперечные волны. В каждой точке пространства векторы напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и индукции магнитного поля  $\vec{B}$  электромагнитной волны перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны, то есть вектору её скорости  $\vec{v}$ . Скорость распространения электромагнитной волны зависит от электрических и магнитных свойств

среды и определяется формулой  $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}}$ , где  $\varepsilon_0$  и  $\mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные, а  $\varepsilon$  и  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды соответственно.

В вакууме  $\varepsilon = 1$ ,  $\mu = 1$  и поэтому скорость распространения элек-

ромагнитной волны в вакууме  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 2,998 \cdot 10^8$  м/с, то есть совпадает со скоростью света в вакууме.

Электромагнитные волны излучаются любой электрической цепью переменного тока и эти волны отличаются друг от друга только длиной волны. Существующие в природе радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма излучения имеют идентичную природу и образуют непрерывный спектр электромагнитных волн.

## 11. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Зрительные ощущения, вызывающие видение предметов окружающего мира, возникают при попадании света в глаз от источника света или от предметов, освещённых источником.

Тела, излучающие свет, называются *источниками света*. Это или сильно нагретые тела или вещества, в которых происходит преобразование энергии какого-либо процесса в световое излучение.

*Точечный источник* – равномерно излучающий по всем направлениям свет источник, с размерами много меньшими расстояния, на которые оцениваются его действия.

Свет, вызывающий ощущение определенного цвета, называется монохроматическим.

В результате наблюдений установлено, что распространение световой энергии в оптически однородной среде происходит прямолинейно. Геометрическая линия, совпадающая с направлением распространения света, называется *световым лучом*. Поэтому свет, распространяющийся от источника света или освещенного предмета, можно рассматривать как совокупность световых лучей.

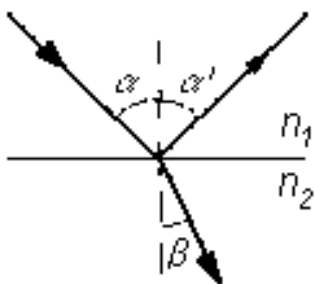
В однородной среде световые лучи представляют собой прямые линии. Однако если луч падает на плоскую границу раздела двух сред, то его прямолинейное распространение нарушается.

Явление изменения направления луча на границе двух сред, когда луч остается в одной и той же среде, называется *отражением света*. Угол между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным в точке падения луча к границе двух сред, называется *углом падения  $\alpha$* , а угол

между этим перпендикуляром и отраженным лучом, называется *углом отражения*  $\alpha'$ .

Явление изменения направления распространения света на границе раздела двух сред при переходе из одной среды в другую называется *преломлением света*. Угол между преломленным лучом и перпендикуляром, восстановленным в точке падения луча к границе двух сред, называется *углом преломления*  $\beta$ .

На границе раздела двух сред свет всегда частично отражается, возвращаясь в первую среду, а частично преломляется, переходя во вторую среду. Законы изменения направления луча на границе раздела прозрачных сред установлены опытным путем.



**Закон отражения света** – луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела сред в точку падения луча, лежат в одной плоскости. Угол отражения света  $\alpha'$  равен углу падения  $\alpha$  [4].

**Закон преломления света** – луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  для данных двух сред есть величина постоянная и равная отношению показателю преломления  $n_{21}$ :

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

*Абсолютный показатель преломления* показывает, во сколько раз скорость света в вакууме  $c$  больше скорости света в данной среде  $v$ :  $n = \frac{c}{v}$ .

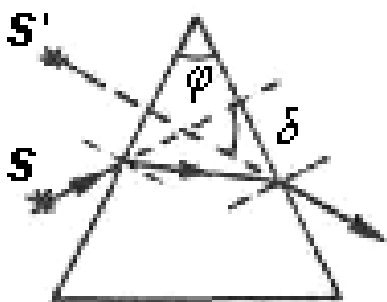
*Относительный показатель преломления*  $n_{21}$  второй среды относительно первой определяется отношением скоростей света  $v_1$  и  $v_2$ , с которыми он распространяется в средах до и после преломления:  $n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$ , где

$n_1$  и  $n_2$  - абсолютные показатели преломления двух сред. Из двух сред та, у которой абсолютный показатель преломлен больше, считается оптически более плотной.

Последовательное прохождение света из среды оптически менее плотной в среду более плотную, и, затем, из неё опять в среду менее плот-

ную, можно наблюдать в трехгранной прозрачной призме.

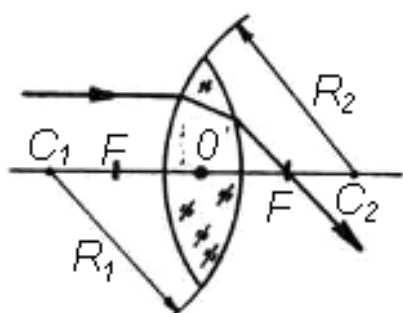
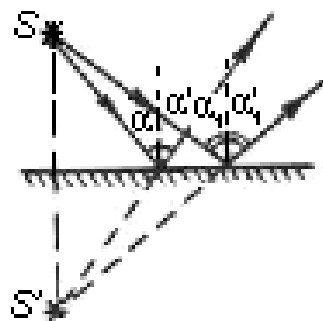
*Призма* – тело из прозрачного для света вещества, ограниченная тремя непараллельными плоскостями, на которых происходит преломление света.



Угол  $\varphi$  между гранями призмы, через которые проходят лучи света, называется *преломляющим углом*. При выходе из призмы при вторичном преломлении в среду оптически менее плотную луч выходит под углом  $\delta$  к первоначальному направлению, который называется *отклоняющим углом* призмы.

Все тела отражают часть падающего на них света. Поверхности, упорядоченно отражающие свет, называются *зеркальными поверхностями*.

*Плоское зеркало* – тело с гладкой (полированной или покрытой отражающим слоем) поверхностью, при отражении от которой, пучок параллельных лучей остается параллельным. Лучи от точечного источника после отражения от плоского зеркала идут так, как будто вышли из мнимого источника, находящегося по другую сторону зеркала на перпендикуляре к его плоскости на расстоянии, равном расстоянию действительного источника от плоскости зеркала.



Прозрачное для света тело, ограниченное двумя сферическими или сферической и плоской поверхностями, называется *линзой*.

Линзы, превращающие падающий на них параллельный пучок лучей в сходящийся пучок, называются *собирающими*. Линзы, превращающие падающий на них параллельный пучок лучей в пучок расходящихся лучей, называются *рассеивающими*.

Прямая  $C_1C_2$ , проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется *главной оптической осью*.

Точка линзы, проходя через которую луч света не меняет своего направления, называется *оптическим центром линзы*  $O$ . Точка  $F$ , в которой сходятся лучи света, идущие параллельно главной оптической оси,

называется *главным фокусом* линзы. У каждой линзы имеется два фокуса. Расстояние от главного фокуса до оптического центра линзы называется *фокусным расстоянием*.

Для тонких собирающей и рассеивающей линз справедлива формула *тонкой линзы*, связывающая расстояние от предмета до линзы  $d$ , расстояние от линзы до изображения  $f$  и фокусное расстояние линзы  $F$ :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

При записи формулы линзы необходимо учитывать правила знаков: 1. собирающая линза –  $F > 0$ ,  $d > 0$ : если  $d > F$ , то  $f > 0$  – изображение действительное, а если  $d < F$ , то  $f < 0$  – изображение мнимое; 2. рассеивающая линза –  $F < 0$ ,  $d > 0$ ,  $f < 0$  – изображение мнимое.

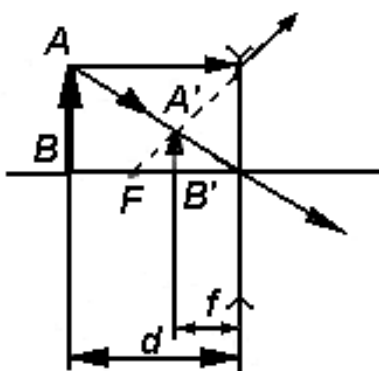
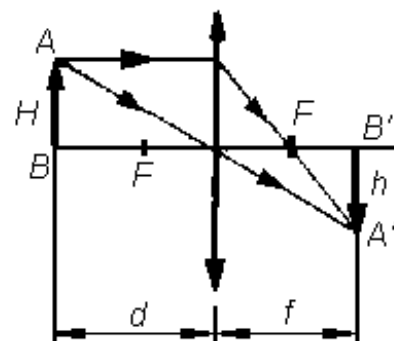
Преломляющее действие линзы характеризуется *оптической силой линзы* – это величина  $D$ , обратная фокусному расстоянию:  $D = 1/F$ .

Оптическая сила выражается в диоптриях (дптр):  $1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}$

Размеры изображения, образуемого линзой, обычно отличаются от размеров самого предмета. Отношение линейного размера изображения  $h$  к линейному

размеру предмета  $H$  называется *линейным увеличением линзы*:  $\Gamma = \frac{h}{H}$ .

Линейное увеличение равно отношению расстояния от линзы до изображения к расстоянию от линзы до предмета:  $\Gamma = \frac{f}{d}$ .



Для построения изображения  $A'B'$  в линзах следует провести хотя бы два луча из вершины предмета  $AB$ : луч, параллельный главной оптической оси, который после преломления в линзе проходит через фокус  $F$ , и луч, проходящий через оптический центр линзы  $O$ , не изменяющий направления после прохождения линзы. Пересечение этих лучей определяет вершину изображения предмета  $A'$ .

Луч, идущий от начала предмета  $B$  вдоль оптической оси, не изменяет своего направления. Действительное изображение создается пересечением самих лучей, а мнимое – пересечением их продолжений.

## 12. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Опыты по отражению и преломлению электромагнитных волн показали, что электромагнитные волны отражаются и преломляются на границе раздела двух сред подобно свету. Это, совместно с одинаковыми значениями скоростей распространения света и электромагнитных волн в вакууме, утвердило теорию об электромагнитной природе света – свет представляет собой электромагнитные волны.

В световой (электромагнитной) волне векторы напряженности электрического поля и индукции магнитного поля совершают быстрые (с частотой порядка  $10^{14}$  Гц) непрерывные колебания. Установлено, что действие света на глаз и другие приемники обусловлено только изменениями электрического поля. Поэтому вектор напряженности электрического поля электромагнитной волны называется световым вектором. Свет, имеющий одну определенную длину волны (или частоту), называется монохроматическим. Волновые свойства света проявляются в явлениях интерференции и дифракции.

*Интерференция света* – явление наложения когерентных световых волн, в результате которого в одних местах пространства возникает не зависящее от времени устойчивое усиление, а в других – устойчивое ослабление интенсивности световых колебаний.

В результате интерференции монохроматических световых волн образуются чередующиеся светлые и темные области, так как в пространстве происходит перераспределение энергии световых волн.

*Когерентными* называются волны одинаковой частоты, для которых разность фаз остается постоянной во времени.

Результат интерференции определяется оптической разностью хода интерферирующих волн от источников волн до точки наблюдения, которая равна разности оптических длин путей этих волн до рассматриваемого места. *Оптическая длина пути  $L$*  равна произведению расстояния  $l$ , проходимого светом в направлении луча, на абсолютный показатель преломления среды  $n$ :  $L = nl$ .

**Условие максимума интерференции:** наибольшее усиление интенсивности когерентных волн наблюдается в точках среды, для которых оптическая разность хода волн  $\Delta$  равна четному числу полудлин волн

$$\lambda/2 - \Delta = 2k \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots$$

**Условие минимума интерференции:** наибольшее ослабление интенсивности когерентных волн наблюдается в точках среды, для которых оптическая разность хода волн  $\Delta$  равна нечетному числу полудлин волн

$$\lambda/2 - \Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots$$

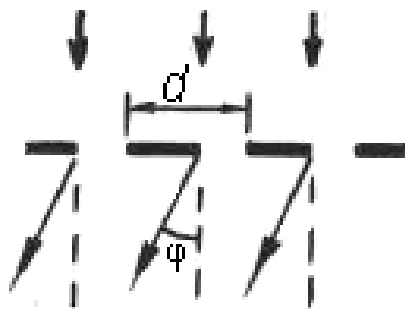
Явление дифракции, как и явление интерференции, характерно для волнового процесса.

*Дифракция света* – явление, состоящее в огибании световыми волнами непрозрачных препятствий и проникновение за них в область геометрической тени.

Для наблюдения дифракции света используется специальное устройство – *дифракционная решетка*. Это прибор, представляющий собой совокупность большого числа одинаковых щелей, отстоящих на одинаковых расстояниях друг от друга, в непрозрачной поверхности.

Сумма ширины щели и расстояния между щелями называется *постоянной* или *периодом дифракционной решетки*  $d$ . При освещении решетки параллельно падающим монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , волны взаимодействуя со щелями решетки, огибают их и распространяются по всевозможным направлениям. Прошедшие щели решетки волны интерферируют.

В результате дифракции и интерференции волны с длиной волны  $\lambda$ , распространяющиеся от щелей под углом  $\varphi$ , удовлетворяющим **формуле дифракционной решетки**



$$d \sin \varphi = k \lambda, k = 0, 1, 2, \dots,$$

усиливают друг друга – наблюдаются максимумы интенсивности света, то есть *дифракционные максимумы*. Здесь  $k$  – порядок дифракционного максимума,  $\varphi$  – угол дифракции. Во всех остальных направлениях интенсивность света уменьшается.

### 13. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Особенностью природы является то, что большинство тел излучает энергию в виде электромагнитных волн. Однако существуют явления, такое как, например, фотоэффект, которые невозможно объяснить с помощью волновой теории света.

Теоретически обосновать такие явления позволила **квантовая гипотеза Планка**, согласно которой излучение и поглощение энергии атомами вещества происходит не непрерывно, а в виде отдельных порций энергии – квантов, величина которых пропорциональна частоте  $\nu$  излучаемых электромагнитных волн:  $\varepsilon = h\nu$ .

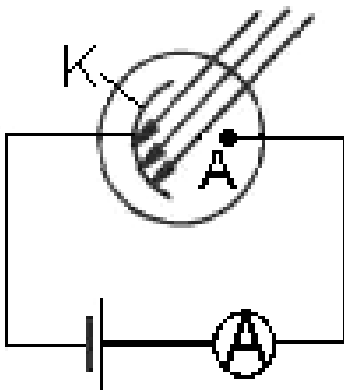
Для волн различной длины ( $\lambda = c/\nu$ ) квант энергии различен. Чем меньше длина волны, тем больше квант энергии [6].

Величина  $h$  называется **постоянной Планка**. Это фундаментальная физическая постоянная, численное значение которой определено экспериментально:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Кванты света называются *фотонами*. Фотоны излучаются и поглощаются веществом, а также распространяются только целиком и не могут делиться на ещё более мелкие частицы. Монохроматический свет с частотой  $\nu$  состоит из неделимых квантов, фотонов, каждый из которых обладает энергией  $\varepsilon = h\nu$  и импульсом  $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c}$ , где  $c$  – скорость света

в вакууме. Фотон не имеет массы покоя и существует только в движении. При остановке фотон перестает существовать - поглощается веществом, а его энергия при этом переходит в другие виды энергии.

Явление испускания электронов веществом под действием электромагнитного излучения называется *внешним фотоэффектом*.



В опытах А. Г. Столетова по изучению внешнего фотоэффекта два металлических электрода, катод К и анод А, находились в вакууме. При падении света на катод из него вырывались электроны, которые под действием электрического поля между катодом и анодом, направлялись к аноду и замыкали цепь. В цепи протекал электрический ток – фототок, регистрируемый микроамперметром.



В результате проведенных опытов были сформулированы **законы внешнего фотоэффекта**: сила фототока насыщения прямо пропорциональна интенсивности падающего на катод света неизменной частоты; максимальная кинетическая энергия испускаемых катодом электронов линейно возрастает с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности; фотоэффект не возникает, если частота света меньше некоторой характерной для каждого вещества величины  $\nu_K$ , называемой **красной границей фотоэффекта**.

Явление фотоэффекта и все его закономерности хорошо объясняются с помощью квантовых представлений о природе света.

Фотоны проникают в вещество, где поглощаются электронами. Каждый электрон поглощает только один фотон, при этом вся энергия фотона  $\varepsilon = h\nu$  передается электрону, а фотон перестает существовать. За счёт поглощённой энергии фотона электрон приобретает возможность покинуть металл. Если энергия фотона окажется достаточной для совершения работы выхода  $A$  электрона из металла и на сообщение электрону кинетической энергии  $mv^2/2$ , то применяя закон сохранения энергии, можно записать уравнение

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Это равенство называется **уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта** [6].

Из уравнения Эйнштейна следует, что если энергия фотона меньше работы выхода,  $h\nu < A$ , то этой энергии будет электрону недостаточно для совершения работы выхода – фотоэффект невозможен. При красной границе фотоэффекта энергия кванта  $h\nu_K$  равна работе выхода:  $h\nu_K = A$ . Поэтому фотоэффект происходит, но энергии кванта не достаточно для сообщения вылетевшему электрону кинетической энергии.

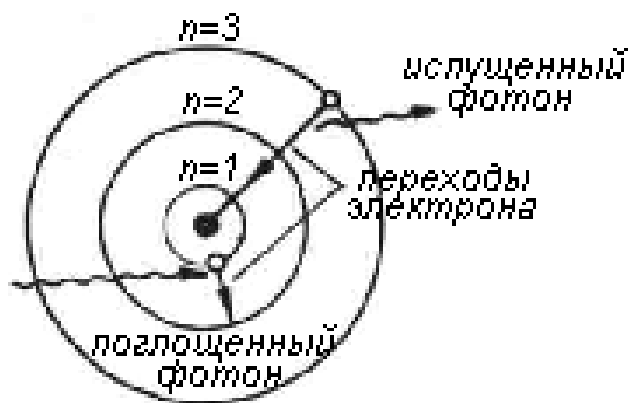
Явление фотоэффекта подтверждает гипотезу о квантовой природе электромагнитного излучения. Однако квантовая теория не позволяет объяснить явления интерференции и дифракции, которые хорошо описываются волновой (электромагнитной) теорией света. Отсюда следует, что свет одновременно обладает и свойствами волн и свойствами частиц.

## 14. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

Впервые сложное строение атома подтвердило наблюдение А. Беккерелем испускания излучения солями урана. В дальнейшем было экспериментально установлено, что все химические элементы, начиная с порядкового номера 83 Периодической таблицы элементов, испускают невидимое излучение – *радиоактивное излучение*, которое происходит независимо от давления, температуры и других внешних воздействий. Это означает, что радиоактивность определяется процессами, протекающими внутри атомов вещества.

Для выяснения строения атома Э. Резерфордом были выполнены опыты с заряженными частицами, которые могли проникать внутрь атома. На основании результатов своих опытов Резерфорд предложил *планетарную модель атома*: в центре атома находится ядро диаметром порядка  $10^{-14}$  м, в котором сосредоточена почти вся масса атома и весь положительный заряд; вокруг ядра по замкнутым орбитам диаметром порядка  $10^{-10}$  м движутся электроны, образуя электронную оболочку атома; число электронов в атоме равно порядковому номеру элемента в Периодической системе элементов.

Для объяснения устойчивости атома Н. Бор предложил постулаты – **постулаты Бора**:



1. Электроны в атоме движутся вокруг ядра только по определенным стационарным орбитам. Движение по этим орбитам соответствует стационарным состояниям атома. Находясь на стационарном состоянии, атом не излучает и не поглощает энергию;

2. В каждом из стационарных состояний атом может обладать только определенной энергией  $E_1, E_2, \dots, E_n$ ;

3. При переходе из одного стационарного состояния с энергией  $E_m$  в другое с энергией  $E_n$  атомы излучают или поглощают электромагнитные

волны определенной частоты  $\nu$  в виде кванта излучения (фотона)  $h\nu$  согласно соотношению  $h\nu = E_m - E_n$ , где  $h$  – постоянная Планка [4].

При испускании фотона электрон переходит из состояния с большей энергией  $E_m$  в состояние с меньшей энергией  $E_n$ , то есть переходит скачком с более удаленной от ядра орбиты на более близкую орбиту. При поглощении, наоборот, переходит из состояния с меньшей энергией  $E_n$  в состояние с большей энергией  $E_m$ , то есть с более близкой к ядру орбиты на более удаленную от ядра орбиту.

Таким образом, атом может излучать и поглощать энергию только вполне определенными порциями, которые соответствуют некоторым определенным длинам волн.

Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, которые удерживаются внутри ядра ядерными силами.

*Протон* обладает положительным элементарным зарядом  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл и массой, превосходящей массу электрона в 1836 раз,  $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27}$  кг. *Нейтрон* – электрически нейтральная частица с массой близкой к массе протона,  $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27}$  кг. Протон стабильная элементарная частица, а нейтрон в свободном состоянии нестабилен. Протоны и нейтроны при взаимодействиях взаимно превращаются друг в друга. Они представляют собой два различных состояния одной и той же ядерной частицы – *нуклона*.

Число протонов в ядре  $Z$  равно числу электронов в оболочке атома, то есть порядковому номеру элемента в Периодической таблице элементов. Количество протонов определяет заряд ядра  $+Ze$ . Количество протонов в ядре – одна из основных характеристик ядра – называется *зарядовым числом*. Вторая основная характеристика ядра – *массовое число*, равное числу нуклонов в ядре,  $A = Z + N$ , где  $N$  – число нейтронов в ядре.

Массовое число равно округленной до целого числа относительной атомной массы элемента, которая выражается в атомных единицах массы (а.е.м.):  $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$  кг.

Для обозначения ядер применяют символы соответствующих химических элементов  $X$ , указывая вверху и внизу символа цифрами массовое и зарядовое числа соответственно –  ${}^A_Z X$ .

Между протонами, находящимися на чрезвычайно малом расстоянии друг от друга в ядре, действуют огромные силы электростатического

отталкивания, которые для стабильности ядра должны быть уравновешены силами притяжения. Эту роль в ядре выполняют ядерные силы, имеющие неэлектрическую природу и устанавливающие сильную связь между нуклонами.

Энергия, которую необходимо затратить для разделения ядра на составляющие его нуклоны без сообщения им кинетической энергии, называется *энергией связи*. Согласно соотношению Эйнштейна между массой и энергией покоя частицы, выделение энергии  $\Delta E$  должно привести к уменьшению массы ядра по сравнению с массами свободных нуклонов на величину  $\Delta m$ :  $\Delta E = \Delta m c^2$ , где  $c$  – скорость света в вакууме.

Разность между суммой масс свободных нуклонов и суммой масс тех же нуклонов, связанных в ядре, называется *дефектом массы*. Дефект массы определяется согласно выражению [6, 12]

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M_{\text{я}},$$

где  $m_p$ ,  $m_n$  и  $M_{\text{я}}$  – массы протона, нейтрона и ядра соответственно;  $Z$  – зарядовое число, равное числу протонов;  $A$  – массовое число, равное числу нуклонов в ядре.

Энергию связи в физике ядра принято измерять в мегаэлектронвольтах:  $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13}$  Дж. Тогда  $\Delta E = 931 \Delta m$  МэВ, где  $\Delta E$  – энергия связи в МэВ; 931 – энергия в МэВ, эквивалентная 1 а.е.м.;  $\Delta m$  – дефект массы в а.е.м.

Дефект массы наблюдается не только при объединении нуклонов в ядре атома, но и в тех случаях, когда ядро атома тяжёлого элемента делится на более легкие ядра.

*Радиоактивность* – явление самопроизвольного превращения одних атомных ядер в другие, сопровождающееся испусканием определенного вида излучения, которое можно обнаружить по ионизации воздуха, свечению некоторых веществ, выделению тепла и т.п.

Радиоактивное излучение неоднородно по своему составу. При прохождении через магнитное поле оно разделяется на три потока:  *$\alpha$ -излучение* – поток положительно заряженных частиц, каждая из которых несет двойной элементарный заряд и представляет собой дважды ионизированный атом гелия  ${}^4_2\text{He}$  ( $\alpha$ -частица);  *$\beta$ -излучение* – поток электронов  ${}^0_{-1}e$  ( $\beta$ -частица), движущихся со скоростью близкой к скорости света;  *$\gamma$ -излучение* – электромагнитные волны с длиной волны  $10^{-10}$ – $10^{-13}$  м, рас-

пространяющиеся со скоростью света.  $\gamma$ -излучение не является самостоятельным видом радиоактивности, а сопровождает процессы в ядрах, приводящие к испусканию  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц. Все три вида радиоактивного излучения отличаются друг от друга различной способностью проникать внутрь вещества, разным химическим и биологическим действием.

Радиоактивные вещества, испуская  $\alpha$  – и  $\beta$  – частицы, превращаются в другие вещества.

При испускании  $\alpha$ -частицы радиоактивный элемент  ${}^A_Z X$  превращается в элемент  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ , зарядовое число которого на две единицы меньше, а массовое число – на четыре единицы меньше, чем зарядовое  $Z$  и массовое  $A$  числа исходного элемента:  ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$ . При испускании  $\beta$ -частицы исходный радиоактивный элемент превращается в элемент с зарядовым числом на единицу большим и неизменным массовым числом:  ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e$ . Здесь  $X$  и  $Y$  - символы химических элементов.

Процесс превращения вещества, сопровождающийся радиоактивным излучением, называется *радиоактивным распадом*.

Радиоактивный распад с течением времени приводит к уменьшению числа исходных нераспавшихся ядер. Закон радиоактивного распада определяется выражением

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}},$$

где  $N_0$  – число радиоактивных ядер в начале наблюдения;  $N$  – число нераспавшихся ядер к моменту времени наблюдения  $t$ ;  $T$  – период полураспада.

*Периодом полураспада  $T$*  для радиоактивного элемента называется интервал времени, в течение которого число ядер исходного радиоактивного вещества уменьшается в два раза. Периоды полураспада радиоактивных веществ имеют значения от долей микросекунды до миллиардов лет.

Взаимодействия ядер с частицами или друг с другом, в результате которых происходит искусственное превращение одного химического элемента в другой, называется *ядерной реакцией*.

*Реакция деления ядра* – особый тип ядерной реакции, когда тяжелое ядро с  $A > 200$  захватив нейтрон разделяется на две приблизительно равные части с испусканием двух-трех нейтронов,  $\gamma$ -излучения и выделения энергии, преимущественно в виде кинетической энергии продуктов деле-

ния.

Практический интерес представляют цепные реакции – реакции деления, в которых выделяется большая энергия и, кроме того, испускается несколько нейтронов, которые могут вызвать деление соседних ядер вещества с появлением новых нейтронов. Для каждого вида ядерного вещества существует *критическая масса* – наименьшая масса ядерного вещества, превышение которой в одном теле приводит к цепной реакции и атомному взрыву.

Ядерную энергию можно получить и в результате реакции *синтеза* (слияния) легких ядер. Если произвести синтез легких ядер гелия из ядер изотопов водорода – дейтерия и трития, то будет выделяться энергия, так как масса ядра гелия значительно меньше суммы масс двух ядер тяжелого водорода. Для осуществления реакции синтеза ядер надо сблизить ядра атомов, что осуществляется путем сильного нагрева вещества. В связи с этим ядерные реакции синтеза и называются *термоядерными реакциями*.

*Элементарные частицы* - структурные элементы материи, внутреннее строение которых не является простым соединением других частиц. Кроме элементарных частиц, входящих в состав атома, а именно, электронов, протонов и нейтронов, в настоящее время известно свыше 300 элементарных частиц.

Элементарные частицы обладают массой, энергией, магнитным моментом, электрическим зарядом, временем жизни и др. Кроме фотона, электрона, протона и нейтрино, которые могут существовать в свободном состоянии как угодно долго, все элементарные частицы нестабильны - они самопроизвольно распадаются.

Общее свойство элементарных частиц - взаимопревращаемость. При этом образующиеся частицы не входят в состав исходных частиц, а возникают в процессе их взаимодействия или распада, что свидетельствует о сложности элементарных частиц, о неисчерпаемости их свойств.

## 15. ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

См. теоретический материал к тесту на с. 5.

На последнем километре тормозного пути скорость поезда уменьшилась на 10 м/с. Определить скорость в начале торможения, если поезд до остановки прошёл равнозамедленно путь равный 4 км [15].

1. 20 м/с    2. 25 м/с    3. 40 м/с    4. 42 м/с

Запишем уравнения для скорости и пути при равнозамедленном движении до остановки:  $v = v_0 - at$ ;  $S = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ . Учтя, что  $v = 0$ , исключив из уравнений время  $t$  запишем выражение для начальной скорости поезда  $v_0 = \sqrt{2Sa}$ . Ускорение  $a$  определим записав уравнения равнозамедленного движения для последнего участка тормозного пути  $S_1 = 1$  км:  $v = v_1 - at'$ ;  $S_1 = v_1 t' - \frac{at'^2}{2}$ . Из этих уравнений, исключив время движения  $t'$  и учтя, что по условию задачи  $v_1 = 10$  м/с, найдем  $a = \frac{v_1^2}{2S_1} = \frac{10^2}{2 \cdot 10^3}$  м/с<sup>2</sup> = 0,05 м/с<sup>2</sup>. Выполним расчёт скорости в начале торможения

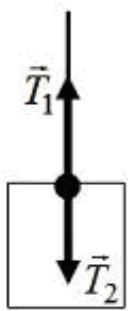
$$v_0 = \sqrt{2Sa} = \sqrt{2 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 0,05} \text{ м/с} = 20 \text{ м/с} .$$

См. теоретический материал к тесту на с. 9.

Кран поднимает на тросе груз с постоянным ускорением. На груз со стороны троса действует сила, равная 6 кН. Действующая на трос сила со стороны груза ...

1. равна 6 кН и направлена вверх.    2. меньше 6 кН и направлена вниз.  
3. равна 6 кН и направлена вниз.    4. больше 6 кН и направлена вверх.

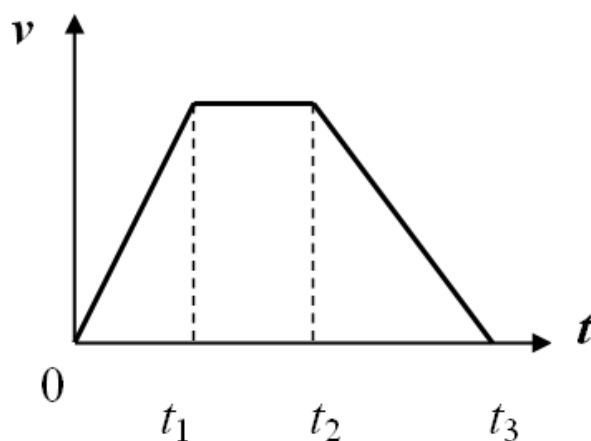
По третьему закону Ньютона сила  $\vec{T}_1$ , действующая на груз со стороны троса, равна по величине и противоположно направлена силе  $\vec{T}_2$ ,



действующей на трос со стороны груза:  $\vec{T}_1 = -\vec{T}_2$ , см. рис. Следовательно, сила, действующая на трос со стороны груза, равна 6 кН и направлена вниз.

См. теоретический материал к тесту на с. 12.

Скорость  $v$  лифта изменяется в соответствии с графиком, представленном на рисунке.



Сила давления груза на пол лифта совпадает по модулю с силой тяжести в промежуток времени ...

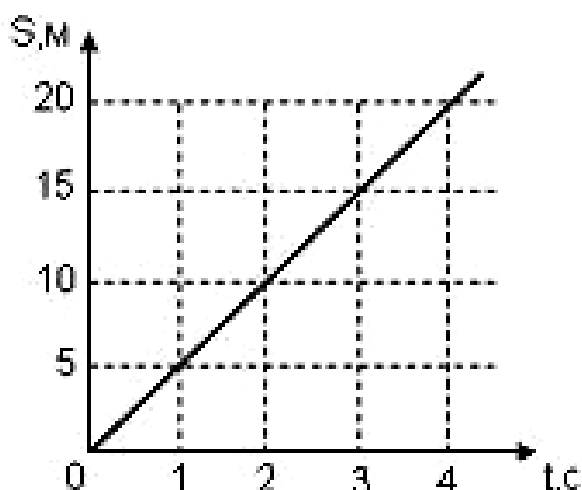
1. ... от 0 до  $t_1$ .
2. ... от 0 до  $t_3$ .
3. ... от  $t_1$  до  $t_2$ .
4. ... от  $t_2$  до  $t_3$ .

На груз, лежащий на полу лифта действуют сила тяжести  $m \vec{g}$  и нормальная реакция опоры  $\vec{N}$ , направленная противоположно силе тяжести и численно равная силе давления груза на пол лифта. Эти силы сообщают грузу ускорения  $\vec{a}$ , равное ускорению движения лифта. Тогда уравнение движения груза в проекции на направление силы тяжести имеет вид:  $m g - N = m a$ , где  $m$  – масса груза. Из уравнения следует, что если  $a = 0$ , то  $N = m g$ . Из графика скорости движения лифта видно, что на интервале времени от  $t_1$  до  $t_2$  скорость лифта не изменяется и, поэтому, его ускорение  $a = 0$ . Следовательно, сила давления груза на пол совпадает по величине с силой тяжести в течение промежутка времени от  $t_1$  до  $t_2$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 13 [8].

Зависимость перемещения тела массой 4 кг от времени представлено на рисунке.





Кинетическая энергия тела в момент времени 3 с равна ...

1. 15 Дж    2. 20 Дж    3. 25 Дж    4. 40 Дж    5. 50 Дж

Из приведённого в вопросе графика следует, что перемещение тело равномерное с начальной скоростью равной нулю:  $S = vt$ . Определим по

графику скорость тела  $v = \frac{S}{t} = \frac{20}{4} \text{ м/с} = 5 \text{ м/с}$ . Так как движение тела

происходит с неизменной скоростью, то кинетическая энергия тела в любой момент времени будет одинаковой и равной

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{4 \cdot 5^2}{2} \text{ Дж} = 50 \text{ Дж}.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 15-16.

Тело массой 2 кг поднято над Землёй. Его потенциальная энергия 400 Дж. Если на поверхности Земли потенциальная энергия тела равна нулю и силами сопротивления воздуха можно пренебречь, то скорость тела

после прохождения  $\frac{1}{4}$  расстояния до Земли будет равна ...

1. ... 10 м/с.    2. ... 14 м/с.    3. ... 20 м/с.    4. ... 40 м/с.

Замкнутая механическая система тело-Земля является потенциальной, так как между телами системы действует только потенциальная сила – сила тяжести и, следовательно, в этой системе выполняется закон сохранения механической энергии. В начальном положении системы её полная энергия  $W_1 = 400 \text{ Дж}$  равна потенциальной энергии тела массой  $m = 2 \text{ кг}$ , поднятого на высоту  $h_1$  над поверхностью Земли:  $W_1 = E_{p1} = m g h_1$ , где  $g$  – ускорение свободного падения. После прохождения расстояния

$l = \frac{1}{4} h_1$  тело окажется над поверхностью Земли на высоте

$h_2 = h_1 - l = \frac{3}{4} h_1$  и приобретёт потенциальную энергию

$E_{p2} = m g h_2 = \frac{3}{4} W_1$ . Полная энергия системы  $W_2$  в этом случае равна

сумме потенциальной энергии  $E_{p2}$  и кинетической энергии  $E_{k2} = \frac{m v^2}{2}$

движущегося со скоростью  $v$  тела:  $W_2 = E_{p2} + E_{k2}$ . На основании закона

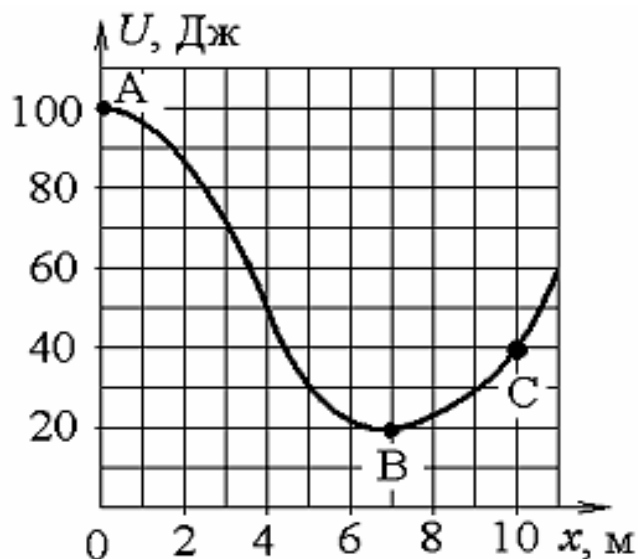
сохранения механической энергии  $W_1 = W_2$  или  $W_1 = \frac{3}{4} W_1 + \frac{m v^2}{2}$ . Из

последнего соотношения определим скорость тела после прохождения

расстояния  $l$ :  $v = \sqrt{\frac{W_1}{2m}} = \sqrt{\frac{400}{2 \cdot 2}} \text{ Дж} = 10 \text{ м/с}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 15-16.

Небольшая шайба начинает движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки А. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы от координаты  $x$  изображена на графике  $U(x)$ , см. рис.



Кинетическая энергия шайбы в точке С ...

1. ... в 2 раза меньше, чем в точке В.
2. ... в 1,33 раза меньше, чем в точке В.
3. ... в 1,33 раза больше, чем в точке В.
4. ... в 2 раза больше, чем в точке В.

В замкнутой механической системе шайба-Земля отсутствуют силы сопротивления. Поэтому в системе выполняется закон сохранения механической энергии:  $E + U = const$ , где  $E$  и  $U$  – кинетическая и потенциальная энергии рассматриваемой системы соответственно. Тогда для состояний системы в положениях А, В и С можно записать равенства:  $E_A + U_A = E_B + U_B$ ;  $E_A + U_A = E_C + U_C$ . Из записанных равенств определим кинетическую энергию системы в положениях В и С, учтя, что по условию в положении А её кинетическая энергия  $E_A = 0$ :  $E_B = U_A - U_B$ ;  $E_C = U_A - U_C$ . Используя график, определим значения потенциальной энергии  $U_A = 100$  Дж,  $U_B = 20$  Дж,  $U_C = 40$  Дж и рассчитаем отношение

$$\frac{E_B}{E_C} = \frac{U_A - U_B}{U_A - U_C} = \frac{100 - 20}{100 - 40} = \frac{80}{60} = 1,33. \text{ Отсюда } E_C = \frac{E_B}{1,33}.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 14, 16.

Шар массы  $m_1$  совершает центральный абсолютно упругий удар о покоящийся шар массы  $m_2$ . Первый шар полетит после удара в обратном направлении при следующем соотношении масс ...

1. ...  $m_1 < m_2$ . 2. ...  $m_1 = m_2$ . 3. ...  $m_1 \geq m_2$ . 4. ...  $m_1 > m_2$ .

При абсолютно упругом столкновении шаров, выполняются закон сохранения импульса и закон сохранения механической энергии. Так как до и после столкновения шары не взаимодействуют, то закон сохранения энергии сводится к закону сохранения кинетической энергии, то есть  $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$ . Закон сохранения импульса в векторном виде определяется равенством  $m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$ . Здесь  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_1'$  – скорости шара массой  $m_1$  до и после столкновения,  $\vec{v}_2 = 0$  и  $\vec{v}_2'$  – скорости шара массой  $m_2$  до и после столкновения. Поскольку удар центральный, то после взаимодействия шары будут двигаться вдоль прямой в направлении скорости налетающего шара или в обратном направлении. В этом случае можно заменить в законе сохранения импульса векторы скоростей их величинами, спроектировав вектора на направление скорости  $\vec{v}_1$ :

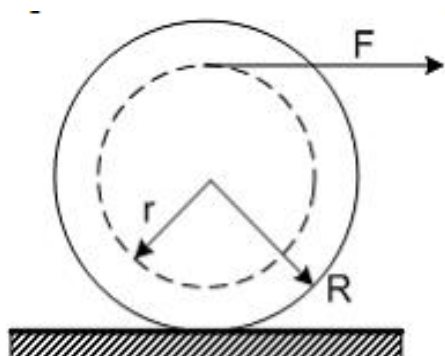
$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$ . С помощью этой формулы и формулы закона сохранения кинетической энергии, решив их совместно, можно определить скорости шаров после столкновения:  $v'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$ ;  $v'_2 = \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} v_1$ .

Если, как требуется в условии вопроса, ударяющий шар после столкновения будет двигаться в обратном направлении, то проекция вектора  $\vec{v}'_1$  на направление вектора  $\vec{v}_1$  должна быть отрицательной, то есть  $v'_1 < 0$ . Это возможно, если  $m_1 - m_2 < 0$ . Таким образом, масса первоначально неподвижного шара  $m_2 > m_1$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 12-13.

На горизонтальной плоскости лежит катушка ниток. К катушке приложена сила  $F$ , направленная горизонтально.

Плечо этой силы относительно точки касания катушки с плоскостью равно ...



1. ...  $R$ .    2. ...  $2R$ .    3. ...  $R - r$     4. ...  $r$ .    5. ...  $R + r$

Плечо силы относительно точки, через которую проходит ось вращения перпендикулярно к плоскости расположения вектора силы, равно кратчайшему расстоянию от линии действия силы до данной точки, то есть длине перпендикуляра, проведённого из этой точки к линии действия силы. Линия действия силы совпадает с направлением вектора силы  $\vec{F}$ . Кратчайшее расстояние от линии действия силы  $\vec{F}$  до точки касания катушки с горизонтальной плоскостью равно  $R + r$ , см. рис.

См. теоретический материал к тесту на с. 17-18.

Гармоническое колебание материальной точки определяется уравнением  $x = 0,03 \cos(6\pi t + \pi/3)$ . Частота колебаний материальной точки равна ...

1. ...  $\frac{1}{6} \text{ с}^{-1}$     2. ...  $3 \text{ с}^{-1}$     3. ...  $0,02\pi \text{ с}^{-1}$     4. ...  $6\pi \text{ с}^{-1}$

Запишем уравнение гармонических колебаний для смещения  $x$  в общем виде:  $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ , где  $A$  – амплитуда колебаний;  $\omega$  – циклическая частота колебаний;  $\varphi_0$  – начальная фаза;  $t$  – время. Сравнив записанное уравнение с уравнением в вопросе, заметим, что  $\omega = 6\pi$ . Если  $\nu$  – частота колебаний,  $\omega = 2\pi\nu$ . Тогда

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6\pi}{2\pi} = 3 \text{ с}^{-1} = 3 \text{ Гц}.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 19.

Если массу груза увеличит в 4 раза, то период колебаний пружинного маятника ...

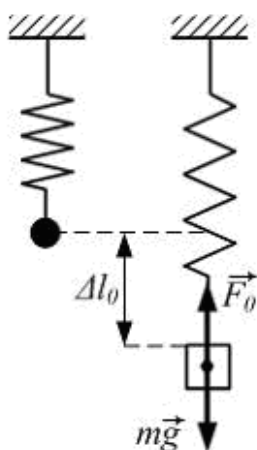
1. ...увеличится в 4 раза.    2. ...увеличится в 2 раза.  
3. ... не изменится.    4. ... уменьшится в 2 раза.

Период колебаний пружинного маятника определяется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \text{ где } m \text{ – масса груза; } k \text{ – коэффициент упругости пружины.}$$

Поэтому  $\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{4m_1}{m_1}} = 2$ , то есть период маятника увеличится в 2 раза.

См. теоретический материал к тесту на с. 10, 18-19.



Груз, подвешенный на пружине, находится в равновесии, растянув пружину на 10 см. Если его вывести из положения равновесия, то он будет колебаться с частотой равной ...

1. ... 0,1 Гц.    2. ... 0,63 Гц.    3. ... 1,59 Гц.    4. ... 10 Гц.

Груз в состоянии равновесия, см. рис., находится

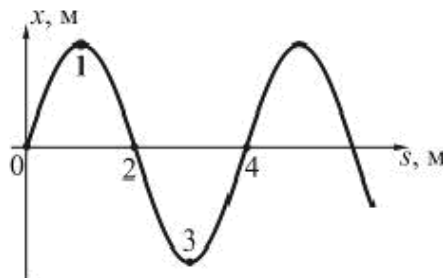
под действием силы тяжести  $m\vec{g}$  и силы  $\vec{F}_0$ , равной по величине силе упругости пружины:  $m\vec{g} + \vec{F}_0 = 0$ . Спроектировав уравнение равновесия на направление силы тяжести, получим:  $mg = F_0$ . В соответствии с законом Гука  $F_0 = k\Delta l_0$ , где  $k$  – коэффициент упругости пружины;  $\Delta l_0$  – растяжение пружины в положении равновесия груза. Тогда  $mg = k\Delta l_0$  и  $\frac{k}{m} = \frac{g}{\Delta l_0}$ . Циклическая частота гармонически колеблющейся системы

определяется выражением:  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , а частота колебаний  $\nu$  с циклической частотой  $\omega$  связана соотношением  $\omega = 2\pi\nu$ . Значит

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta l_0}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.81}{0.1}} \text{ с}^{-1} = 1,59 \text{ Гц} .$$

См. теоретический материал к тесту на с. 20.

На рисунке изображен профиль волны в некоторый момент времени. Разность фаз колебаний точек 2 и 3 равна ...

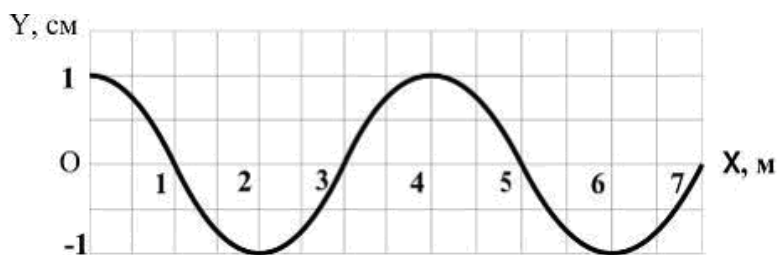


$$1. \dots \frac{\pi}{2} . \quad 2. \dots \pi . \quad 3. \dots \frac{3\pi}{2} . \quad 4. \dots 2\pi .$$

Поскольку точки 2 и 3 находятся друг от друга на расстоянии четверти периода, то, следовательно, разность их фаз равна  $\frac{\pi}{2}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 20.

Профиль бегущей поперечной волны с периодом 10 мс изображен на рисунке.



Скорость распространения волны равна ...

1. ... 0,02 м/с.    2. ... 0,04 м/с.    3. ... 200 м/с.    4. ... 400 м/с.

Длина волны  $\lambda$ , скорость распространения волны  $v$  и период колебаний источника волны  $T$  связаны соотношением  $\lambda = vT$ . Длину волны можно определить по рисунку графика, показывающего зависимость смещения точек среды  $Y$  от расстояния от источника волны  $X$ :  $\lambda = 4$  м. Следовательно, скорость распространения волны

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4}{0,01} \text{ м/с} = 400 \text{ м/с}.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 21.

Идеальный газ в количестве  $\nu$  молей при давлении  $p$  и температуре  $T$  занимает объем  $V$ . Какую константу можно определить по этим данным?

1. число Авогадро    2. постоянную Больцмана  
3. молярную газовую постоянную    4. постоянную Планка

Указанные в условии вопроса параметры состояния связаны между собой уравнением Менделеева-Клапейрона:  $pV = \nu RT$ . Если для газа известны количество молей  $\nu$ , давление  $p$ , температура  $T$ , объем  $V$ , то можно определить молярную газовую постоянную  $R = \frac{pV}{\nu T}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 21.

При увеличении давления в 3 раза и уменьшении объема в 2 раза абсолютная температура идеального газа ...

1. ... увеличится в 6 раз.                      2. ... уменьшится в 6 раз.  
3. ... уменьшится в 1,5 раза.                4. ... увеличится в 1,5 раза.

Запишем уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона) для начального и конечного состояний газа:  $p_1 V_1 = \nu R T_1$ ;  $p_2 V_2 = \nu R T_2$ . Здесь  $R$  – молярная газовая постоянная,  $\nu$  – число молей газа,  $p_1, V_1, T_1$  и  $p_2, V_2, T_2$  – давление, объём, температура газа в начальном и конечном состояниях, которые в соответствии с условием вопроса связаны соотношениями  $p_2 = 3 p_1, V_2 = \frac{V_1}{2}$ . Разделим записанные для начального и конечного состояний газа уравнения Менделеева-Клапейрона почленно друг на друга:  $\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2}$ . Тогда  $\frac{p_1 V_1}{3 p_1 \frac{V_1}{2}} = \frac{T_1}{T_2}$

и  $T_2 = \frac{2}{3} T_1 = 1,5 T_1$ , то есть температура газа увеличится в 1,5 раза.

См. теоретический материал к тесту на с. 23, 26.

Состояние идеального газа определяется значениями параметров:  $T_0, p_0, V_0$ , где  $T$  – термодинамическая температура;  $p$  – давление;  $V$  – объём газа. Определённое количество газа перевели из состояния  $(p_0, V_0)$  в состояние  $(2p_0, V_0)$ . При этом его внутренняя энергия ...

1. ... уменьшилась.
2. ... увеличилась.
3. ... не изменилась.

Изменение внутренней энергии идеального газа определяет изменение его абсолютной температуры. Для идеального газа, на основании объединённого газового закона, выполняется соотношение между параметрами состояния газа:  $\frac{pV}{T} = const$ . Тогда для начального и конечного

состояний газа можно записать равенство:  $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{2 p_0 V_0}{T_K}$ , где  $T_0$  и  $T_K$  – начальная и конечная температуры газа. Отсюда  $T_K = 2 T_0$ . Увеличение температуры газа при изменении его состояния связано с увеличением его внутренней энергии [10].

См. теоретический материал к тесту на с. 21.

Если  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии идеального газа,  $A$  – ра-



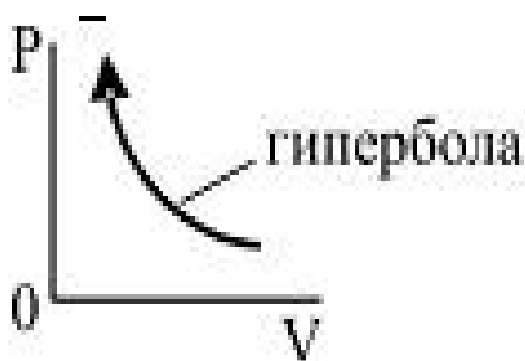
бота газа,  $Q$  – теплота, сообщаемая газу, то для изобарного нагревания газа справедливы соотношения ...

1. ...  $Q > 0; A = 0; \Delta U > 0.$
2. ...  $Q > 0; A > 0; \Delta U > 0.$
3. ...  $Q = 0; A < 0; \Delta U > 0.$
4. ...  $Q > 0; A > 0; \Delta U = 0.$

В соответствии с принятым в термодинамике правилом знаков: при сообщении газу тепла, количество теплоты  $Q > 0$ ; при изобарическом нагревании газ расширяется и совершает работу против внешних сил, поэтому  $A > 0$ ; при нагревании температура газа увеличивается, поэтому  $\Delta U > 0$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 22, 26.

В соответствии с первым началом термодинамики для процесса в идеальном газе, график которого представлен на рисунке, справедливо соотношение ...



1. ...  $Q > 0, A < 0, \Delta U = 0.$
2. ...  $Q < 0, A < 0, \Delta U = 0.$
3. ...  $Q < 0, A > 0, \Delta U = 0.$
4. ...  $Q > 0, A > 0, \Delta U = 0.$

График на  $p, V$ -диаграмме может соответствовать изотермическому процессу, для которого изменение внутренней энергии  $\Delta U = 0$ . Стрелка на графике указывает направление процесса в газе – объём газа уменьшается, то есть газ сжимается внешними силами. В соответствии с правилом знаков, если работа совершается над системой (газом) внешними силами, то  $A < 0$ . Чтобы температура газа при его сжатии не изменялась, газ должен передать количество теплоты  $Q$  во внешнюю среду. В соответствии с правилом знаков  $Q < 0$ . Таким образом, верным ответом является соотношение  $Q < 0, A < 0, \Delta U = 0$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 26.

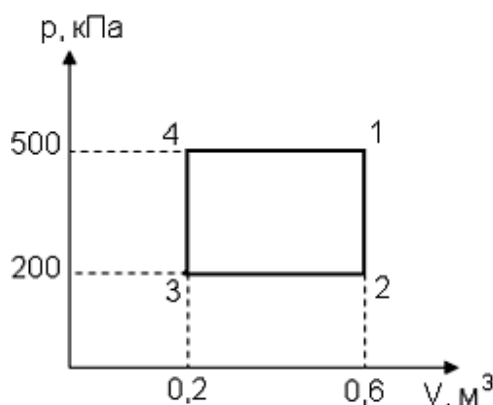
При изотермическом процессе газу было передано 3 кДж теплоты, при этом он совершил работу равную ...

1. ... 1,5 кДж.    2. ... 2 кДж.    3. ... 3 кДж.    4. ... 6 кДж.

При изотермическом процессе температура газа не изменяется и, следовательно, изменение внутренней энергии газа  $\Delta U = 0$ . Тогда уравнение первого закона термодинамики  $Q = \Delta U + A$  примет вид:  $Q = A$ . Здесь  $Q$  – сообщенное газу количество теплоты,  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии газа. Таким образом, всё сообщённое газу тепло идёт на совершение им работы, то есть  $A = 3$  кДж.

См. теоретический материал к тесту на с. 26-27.

Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке.



Отношение работы за цикл к работе при охлаждении газа равно ...

1. ...0,5.    2. ... 1,5.    3. ... 2,5.    4. ... 3.    5. ... 5.

Работа, совершённая за цикл, равна площади прямоугольника на  $p, V$ -диаграмме, ограниченного линией цикла, то есть

$$A_{\text{ц}} = (p_1 - p_2)(V_2 - V_3) = (500 - 200) \cdot 10^3 \cdot (0,6 - 0,2) \text{ Дж} = 0,12 \text{ Дж} .$$

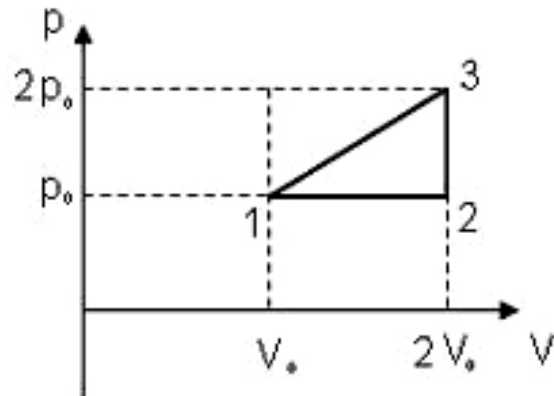
Изобарический процесс 2-3 цикла происходит с охлаждением газа. Поэтому работа при охлаждении газа на  $p, V$ -диаграмме равна площади прямоугольника под линией процесса 2-3 и осью абсцисс, то есть

$$A_{\text{ох}} = p_2 (V_2 - V_3) = 200 \cdot 10^3 \cdot (0,6 - 0,2) \text{ Дж} = 0,08 \text{ Дж} .$$
 Рассчитаем вели-

чину отношения работ  $\frac{A_{II}}{A_{OX}} = \frac{0,12}{0,08} = 1,5$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 26-27.

Идеальный газ переводится из состояния 1 в состояние 3 двумя способами по пути 1-3 и по пути 1-2-3, см. рис.



Отношение совершенных газом работ  $\frac{A_{1-3}}{A_{1-2-3}}$  равно ...

1. ... 1,5.    2. ... 2.    3. ... 3.    4. ... 4.

Совершенная газом работа определяется площадью под графиком процесса и осью абсцисс на  $p, V$ -диаграмме. Совершенная в процессе 1-3 работа определится суммой площадей треугольника и прямоугольника:

$$A_{1-3} = \frac{1}{2}(2p_0 - p_0)(2V_0 - V_0) + p_0(2V_0 - V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0.$$

Совершенная в процессе 1-2-3 газом работа, с учетом того, что в изохорическом процесс 2-3 газ работы не совершает, определится площадью прямоугольника под прямой 1-2 процесса:

$$A_{1-2-3} = p_0(2V_0 - V_0) = p_0 V_0.$$

Отношение работ равно:  $\frac{A_{1-3}}{A_{1-2-3}} = \frac{3 p_0 V_0 / 2}{p_0 V_0} = 1,5$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 24, 27.

Тепловая машина с максимально возможным КПД имеет в качестве нагревателя резервуар с кипящей водой, а в качестве холодильника – сосуд со льдом при температуре 0°C. Какая масса льда растает, если машина совершит работу в 1 МДж? Удельная теплота плавления льда 333 кДж/кг.

1. 0,82 кг    2. 3 кг    3. 8,2 кг    4. 11 кг

Максимальный КПД имеет идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно. Ее КПД определяется температурой нагревателя  $T_1$  и температурой холодильника  $T_2$ :  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ . По условию температура нагревателя  $T_1 = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$ , а температура холодильника  $T_2 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ К}$ . Тогда  $\eta = \frac{373 - 273}{373} = 0,27 = 27 \%$ . Это значение соответствует тому количеству теплоты  $Q = 1 \text{ МДж} = 10^6 \text{ Дж}$ , которое идет на совершение работы, а оставшиеся 73% будут соответствовать тому количеству теплоты  $Q_2$ , которое передано холодильнику и пойдет на плавление льда:  $Q_2 = \frac{10^6 \cdot 73}{27} \text{ Дж} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ . Тогда масса расплавившегося льда будет равна  $m = \frac{Q_2}{\lambda} = \frac{2,7 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^5} \text{ кг} = 8,2 \text{ кг}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 29.

Напряжённость электрического поля точечного заряда при увеличении расстояния от заряда до точки поля в 4 раза ...

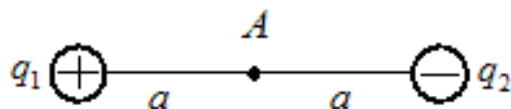
1. ... уменьшится в 16 раз.            2. ... уменьшится в 4 раза.  
3. ... увеличится в 4 раза.            4. ... увеличится в 16 раз.

Напряжённость поля, создаваемого точечным зарядом  $q$  обратно пропорциональна квадрату расстояния  $r$  от заряда до рассматриваемой точки поля, то есть  $E = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}$ . Здесь  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon$  – электрическая постоянная и диэлектрическая проницаемость среды соответственно. Тогда при увеличении расстояния до рассматриваемой точки до величины  $r' = 4r$  отношение напряжённости поля в этой точке  $E'$  к первоначальному значению напряженности поля  $E$  равно  $\frac{E'}{E} = \frac{r^2}{r'^2} = \frac{r^2}{(4r)^2} = \frac{1}{16}$ , то есть

$E' = \frac{1}{16} E$ . При увеличении расстояния от заряда до рассматриваемой точки поля в 4 раза напряжённость поля уменьшается в 16 раз.

См. теоретический материал к тесту на с. 29-30.

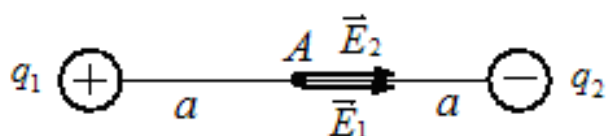
Электрическое поле в вакууме создано двумя точечными зарядами  $q_1 = +q$  и  $q_2 = -q$ . Напряжённость и потенциал поля в точка А, см. рис., равны ...



1. ...  $E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 a^2}$ ,  $\varphi = 0$ .      2. ...  $E = 0$ ,  $\varphi = 0$ .

3. ...  $E = 0$ ,  $\varphi = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 a}$ .      4. ...  $E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 a^2}$ ,  $\varphi = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 a}$ .

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей напряжённость  $\vec{E}$  и потенциал  $\varphi$  суммированием поля определяются суммированием характеристик полей, создаваемых каждым из зарядов в отдельность:  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ ,  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ . Поскольку направление векторов



$\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  определяется по направлению силы, действующей на положительный пробный заряд мысленно помещаемый в точку А, то

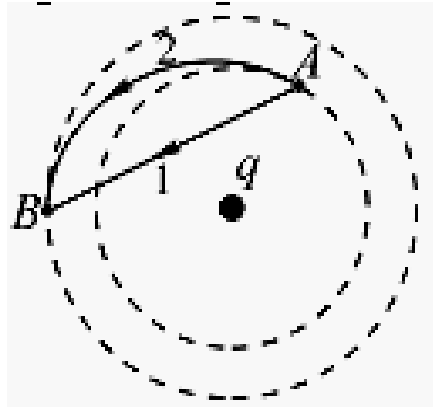
эти вектора будут направлены в одну сторону как показано на рисунке. Учтя, что потенциал – скалярная величина, знак которой определяется знаком создающего поле заряда, можем записать уравнение для характеристик результирующего поля в точке А:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{|q|}{4\pi \epsilon_0 a^2} + \frac{|q|}{4\pi \epsilon_0 a^2} = \frac{|q|}{2\pi \epsilon_0 a^2};$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{+q}{4\pi \epsilon_0 a} + \frac{(-q)}{4\pi \epsilon_0 a} = 0.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 30.

Поле создано точечным зарядом  $q$ . Пробный заряд перемещают из точки  $A$  в точку  $B$  по двум различным траекториям. Верным является утверждение:...

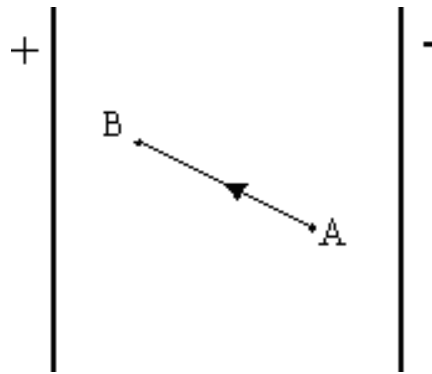


1. .. наибольшая работа совершается при движении по траектории 1.
2. .. наибольшая работа совершается при движении по траектории 2.
3. .. работа в обоих случаях одинакова и равна нулю.
4. .. работа в обоих случаях одинакова и не равна нулю.

Работа перемещения заряда  $q_0$  в поле, создаваемым зарядом  $q$ , определится выражением:  $A = q_0 (\varphi_A - \varphi_B)$ , где  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  - потенциалы электростатического поля в начальном  $A$  и конечном  $B$  положениях заряда  $q_0$ . Так как траектории перемещения заряда 1 и 2 начинаются и заканчиваются в одних и тех же точках поля, то работы сил электростатического поля при перемещении заряда по этим траекториям будут одинаковы. Начало и конец обеих траекторий расположены на пунктирных окружностях, центры которых совпадают с зарядом  $q$ . Такие окружности являются эквипотенциальными линиями электростатического поля, создаваемого точечным зарядом. Так как радиусы этих линий различны, то различны и соответствующие им потенциалы. Поэтому  $\varphi_A \neq \varphi_B$  и работа  $A$  не равна нулю.

См. теоретический материал к тесту на с. 30.

В электрическом поле плоского конденсатора перемещается заряд  $+q$  в направлении указанном стрелкой.



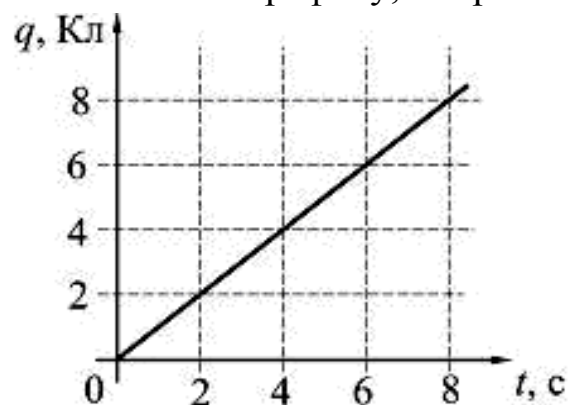
Тогда работа сил поля на участке АВ ...

1. ... равна нулю.
2. ... положительна.
3. ... отрицательна.

Работа сил электрического поля по перемещению положительного заряда определяется выражением  $A = q(\varphi_A - \varphi_B)$ , где  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  - потенциалы точек поля в начальном и конечном расположении в нём заряда  $q$ . Электрическое поле конденсатора направлено от положительной обкладки к отрицательной обкладке конденсатора в сторону уменьшения потенциала. Поэтому  $\varphi_A < \varphi_B$  и работа сил поля при перемещении положительного заряда на участке АВ отрицательна – силы поля препятствуют движению заряда.

См. теоретический материал к тесту на с. 32.

По проводнику проходит постоянный электрический ток [5]. Значение заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, с течением времени возрастает согласно графику, см. рис.



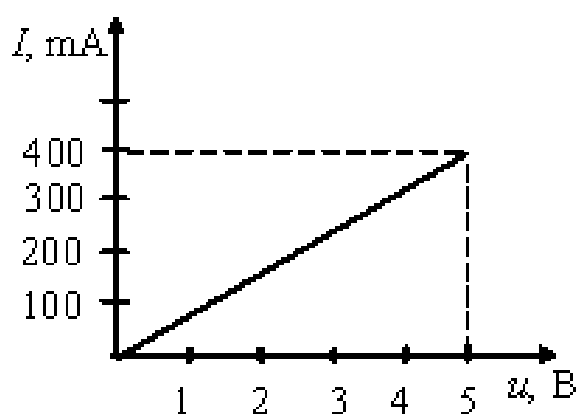
Сила тока в проводнике равна ...

1. ... 1 А.
2. ... 6 А.
3. ... 16 А.
4. ... 36 А.

По определению сила тока – заряд, прошедший в единицу времени, то есть  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ . если выбрать интервал времени от 0 до 8 с, то  $\Delta t = 8$  с и по графику в вопросе этому интервалу времени соответствует изменение заряда  $\Delta q = 8$  Кл. Тогда  $I = \frac{8 \text{ Кл}}{8 \text{ с}} = 1 \text{ А}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 34.

Вольтамперная характеристика резистора изображена на рисунке.



Из графика следует, что сопротивление резистора равно ...

1. ...0,0125 Ом.    2. ... 0,08 Ом.    3. ... 12,5 Ом.    4. ... 80 Ом.

Из графика следует, что между силой тока  $I$ , протекающего по резистору, и напряжением  $U$ , приложенным к резистору, существует линейная зависимость, что указывает на выполнение закона Ома для участка цепи:

$I = \frac{U}{R}$ , где  $R$  – сопротивление резистора. Отсюда  $R = \frac{U}{I}$ . Определим по графику для напряжения, например,  $U = 5$  В соответствующую ему силу тока

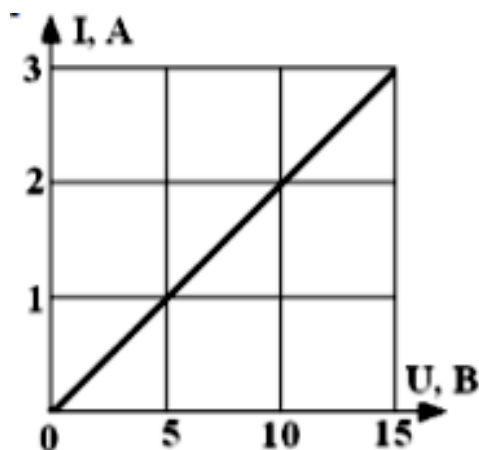
$I = 400 \text{ мА} = 400 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,4 \text{ А}$ .

Тогда сопротивление резистора равно  $R = \frac{5}{0,4} \text{ Ом} = 12,5 \text{ Ом}$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 34.

На рисунке представлена вольтамперная характеристика резистора, подключённого к источнику тока с ЭДС 16 В. Через резистор протекает ток силой 2,5 А. Внутреннее сопротивление источника тока равно ...





1. ... 1 Ом.    2. ... 1,2 Ом.    3. ... 1,3 Ом.    4. ... 1,4 Ом.

По закону Ома для участка цепи  $I = \frac{U}{R}$  рассчитаем сопротивление резистора  $R = \frac{U}{I}$ , определив по вольтамперной характеристике резистора силу тока  $I$  для напряжения, например,  $U = 15$  В:  $I = 3$  А. Тогда  $R = \frac{15}{3}$  Ом = 5 Ом.

Запишем формулу закона Ома для замкнутой цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ , где  $\varepsilon$  и  $r$  – ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Отсюда  $r = \frac{\varepsilon - IR}{I}$ . Если  $\varepsilon = 16$  В,  $I = 2,5$  А, то  $r = \frac{16 - 2,5 \cdot 5}{2,5}$  Ом = 1,4 Ом.

См. теоретический материал к тесту на с. 34-35.

Лампочки на 25 Вт и 100 Вт, рассчитаны на одно и то же напряжение, соединены последовательно и включены в сеть. При этом отношение количества теплоты, выделяющейся в первой лампе, к количеству теплоты, выделяющейся во второй лампе, за одно и то же время равно ...

1. ... 1/4.    2. ... 1.    3. ... 4.    4. ... 16.

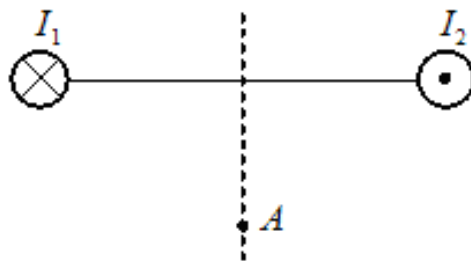
По последовательно соединенным лампочкам протекает ток одинаковой силы  $I$ . Тогда на основании закона Джоуля - Ленца за время  $t$  в лампочках выделится количество теплоты  $Q_1 = I^2 R_1 t$  и  $Q_2 = I^2 R_2 t$ , где  $R_1$  и  $R_2$  – сопротивления первой и второй лампочек соответственно. Эти сопро-

тивления определим зная мощности ламп  $P_1$  и  $P_2$  и напряжение  $U$ , на которое они рассчитаны:  $R_1 = \frac{U^2}{P_1}$ ;  $R_2 = \frac{U^2}{P_2}$ . Тогда

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{100 \text{ Вт}}{25 \text{ Вт}} = 4.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 37-38.

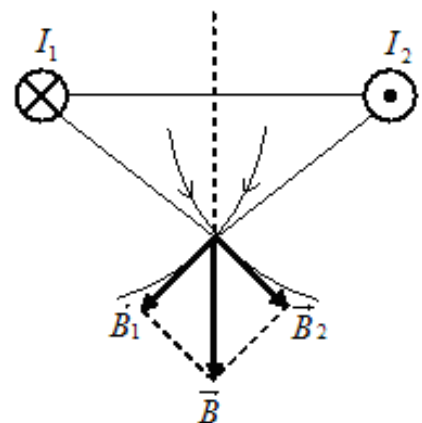
Магнитное поле создается двумя длинными параллельными проводниками, расположенными перпендикулярно плоскости рисунка, с токами силой  $I_1$  и  $I_2$ , равными по величине и противоположно направленными.



Вектор индукции магнитного поля в точке  $A$ , см. рис., равноудаленной от проводников, направлен ...

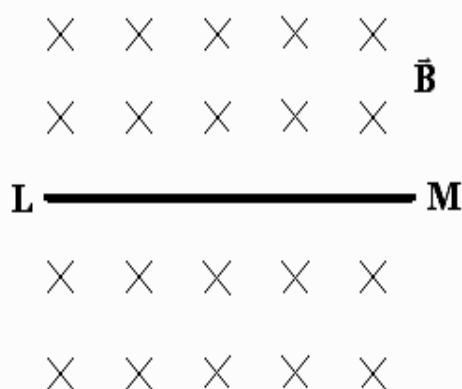
1. ... вверх.
2. ... вправо.
3. ... вниз.
4. ... влево.

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей индукция результирующего магнитного поля определится выражением:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ . Направления векторов  $\vec{B}_1$  и  $\vec{B}_2$  определим, воспользовавшись правилом правого винта (правилом буравчика). Так как точки имеют одинаковую величину и точка  $A$  находится на одинаковом расстоянии от проводников, то  $B_1 = B_2$  и, поэтому, будет вектор  $\vec{B}$  направлена по диагонали ромба вниз.



См. теоретический материал к тесту на с. 36.

На рисунке изображён проводник с током, помещённый в однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленное перпендикулярно плоскости чертежа от нас.



Укажите правильную комбинацию тока в проводнике и вектора силы Ампера.

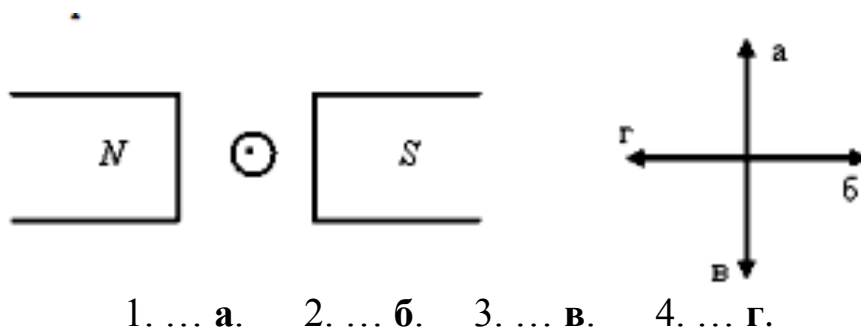
1. Ток в направлении L-M; сила Ампера – к нам.
2. Ток в направлении L-M; сила Ампера – вверх.
3. Ток в направлении M-L; сила Ампера – вверх.
4. Ток в направлении M-L; сила Ампера – от нас.

Для ответа на вопрос надо воспользоваться правилом левой руки, позволяющим определить направление действующей на проводник с током в магнитном поле силы: если левую руку расположить так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, то отогнутый большой палец укажет направление действующей силы. Силовые линии на рисунках обозначают символом « $\times$ », если они направлены перпендикулярно к плоскости рисунка от нас, и символом « $\bullet$ » – если направлены к нам. Иногда эти символы изображают заключёнными в окружность. Учтя указанное на рисунке направление силовых линий и правило левой руки можно определить, что если ток в проводнике направлен от L к M, то сила Ампера направлена вверх рисунка в его плоскости.

См. теоретический материал к тесту на с. 36.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле постоянного магнита, имеет направление, совпадающее с направлением стрелки

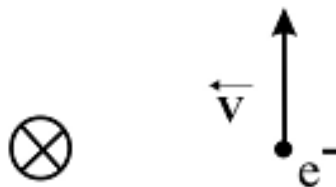
...



На рисунке изображён постоянный магнит, создающий магнитное поле, силовые линии которого выходят из северного N полюса магнита и входят в южный S полюс магнита. Со стороны этого магнитного поля на проводник с током действует сила Ампера, направление которой определяется по правилу левой руки. Для указанного выше направления силовых линий магнитного поля постоянного магнита и тока в проводнике, направленного к нам (условное обозначение направления тока в виде точки), сила Ампера по правилу левой руки направлена вертикально вверх, то есть её направление совпадает с направлением стрелки **а** на рисунке.

См. теоретический материал к тесту на с. 37-48.

Вблизи длинного проводника с током (так направлен от нас) пролетает электрон со скоростью  $\vec{V}$ .



Сила Лоренца ...

1. ... направлена от нас.
2. ... равна нулю.
3. ... направлена влево.
4. ... направлена вправо.
5. ... направлена к нам.

По правилу правого винта вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля, создаваемого током в проводнике в той точке, где расположен заряд, противоположен вектору скорости  $\vec{V}$  заряда, то есть  $\vec{B} \updownarrow \vec{V}$ .

Сила Лоренца определяется формулой:

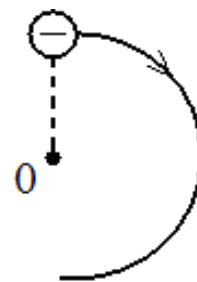
$$F_{Л} = eV B \sin(\vec{V}, \vec{B}) = eV B \sin 180^\circ = 0.$$

Таким образом, сила на движущийся вдоль силовых линий магнитного поля заряд не действует.

См. теоретический материал к тесту на с. 37-48.

Если электрон, влетевший в область однородного магнитного поля, движется по дуге окружности, см. рис., то вектор индукции магнитного поля направлен ...

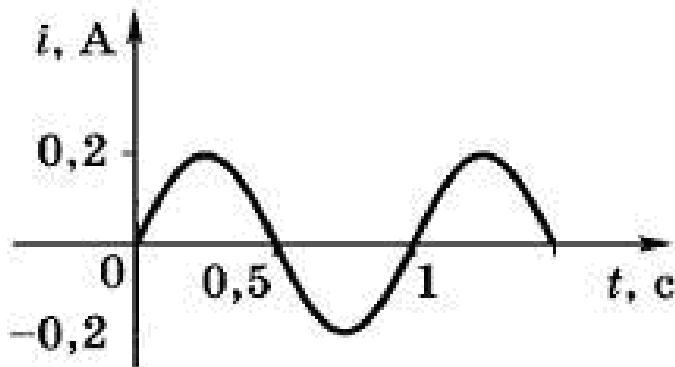
1. ... вверх плоскости чертежа.
2. ... вниз плоскости чертежа.
3. ... перпендикулярно плоскости чертежа к нам.
4. ... перпендикулярно плоскости чертежа от нас.



По условию траектория движения электрона в магнитном поле – окружность. Это указывает на то, что скорость частицы направлена перпендикулярно силовым линиям магнитного поля ( $\vec{B} \perp \vec{v}$ ). Вектор скорости частицы  $\vec{v}$  направлен по касательной к траектории, а вектор силы Лоренца – перпендикулярно к вектору скорости в сторону вогнутости траектории. Тогда воспользовавшись правилом левой руки и учтя, что электрон – отрицательно заряженная частица (четыре вытянутых пальца надо расположить против направления скорости электрона), определим, что вектор  $\vec{B}$  направлен перпендикулярно плоскости чертежа от нас.

См. теоретический материал к тесту на с. 43.

Сила переменного тока, график зависимости  $i(t)$  которого изображен на рисунке, изменяется в единицах СИ по закону ...



- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. ... $i(t) = 0,2 \sin 2\pi t$ . | 2. ... $i(t) = 0,2 \cos \pi t$ . |
| 3. ... $i(t) = 0,1 \cos 2\pi t$ . | 4. ... $i(t) = 0,1 \sin \pi t$ . |

Запишем общую формулу гармонического колебания:

$$x(t) = A \sin (\omega t + \varphi_0) \text{ или } x(t) = A \cos (\omega t + \varphi_0).$$

Здесь  $x(t)$  – смещение колеблющейся величины в момент времени  $t$ ,

$A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – циклическая частота колебаний,  $\varphi_0$  – фаза колебаний в момент времени  $t = 0$ . Амплитуда – наибольшее значение, которое принимает колеблющаяся по гармоническому закону какая-либо величина. Согласно графику амплитуда равна 0,2 А. По графику период колебаний  $T = 1$  с. Учтя соотношение между периодом и циклической частотой  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , определим  $\omega = 2\pi$  рад/с. Так как в начальный момент времени  $t = 0$  изображенная графическая зависимость  $i(t)$  проходит через начало координат, то удобно принять  $\varphi_0 = 0$  и считать, что она изменяется по синусоидальному закону. Тогда искомая формула имеет вид:  $i(t) = 0,2 \sin 2\pi t$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 32, 41.

Зависимость напряжения на обкладках конденсатора емкостью 2,6 мкФ в колебательном контуре от времени имеет вид:  $u(t) = 10 \cos (2\pi \cdot 10^3 t)$ . Максимальная энергия электрического поля в контуре равна ...

1. ...  $13 \cdot 10^{-6}$  Дж. 2. ...  $13 \cdot 10^{-7}$  Дж. 3. ...  $26 \cdot 10^{-6}$  Дж. 4. ...  $26 \cdot 10^{-7}$  Дж.

Максимальная энергия электрического поля, сконцентрированная в входящим в колебательный контур конденсаторе, определится выражением  $W = \frac{C U_0^2}{2}$ , где  $C$  емкость конденсатора,  $U_0$  – максимальное напряжение на обкладках конденсатора, то есть амплитудное значение напряжения. Сравнивая уравнение в условии  $u(t) = 10 \cos (2\pi \cdot 10^3 t)$  с уравнением колебаний в общем виде  $u(t) = U_0 \cos (\omega t)$ , определим максимальное значение напряжения  $U_0 = 10$  В. Тогда

$$W = \frac{2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2}{2} \text{ Дж} = 13 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} .$$

См. теоретический материал к тесту на с. 46.

Собирающую линзу используют как лупу. Если рассматриваемое изображение предмета в 6 раз больше предмета, который находится от линзы на расстоянии 10 см, то фокусное расстояние линзы равно ...

1. ... 1,24 см.    2. ... 6 см.    3. ... 12 см.    4. ... 30 см.

Для использования собирающей линзы, как лупы, необходимо чтобы предмет находился от нее на расстоянии  $d < F$ , где  $F$  - фокусное расстояние линзы. Запишем формулу тонкой линзы для рассматриваемого

случая: 
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}.$$

Здесь  $f$  – расстояние от линзы до изображения предмета. Выполним построение изображения предмета АВ в линзе, см.

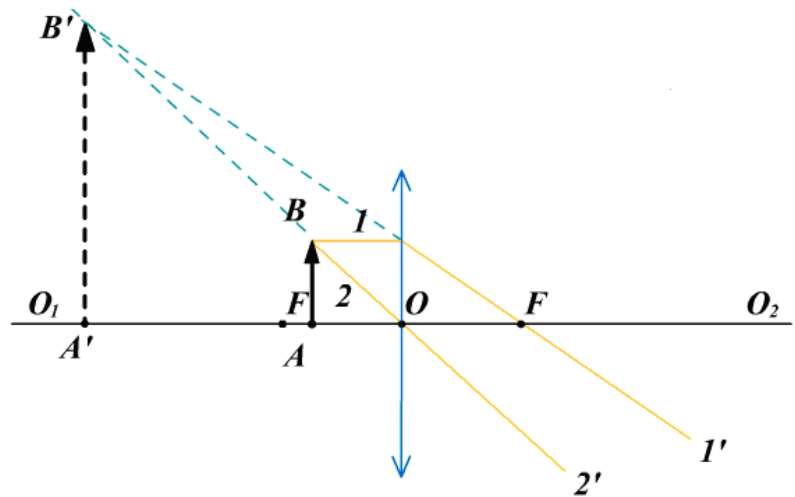


рис., на котором  $AO = d$ ,  $OA' = f$ ,  $A'B'$  – изображение предмета. Увеличение линзы  $k = \frac{A'B'}{AB}$ . Так как  $\triangle OAB$  подобен  $\triangle OA'B'$ , то  $\frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{d}$ , откуда  $f = kd$ . Используя последнее равенство из формулы тонкой линзы определим фокусное расстояние:

$$F = \frac{df}{f-d} = \frac{kd}{k-1} = \frac{6 \cdot 10}{6-1} \text{ см} = 12 \text{ см}.$$

См. теоретический материал к тесту на с. 46.

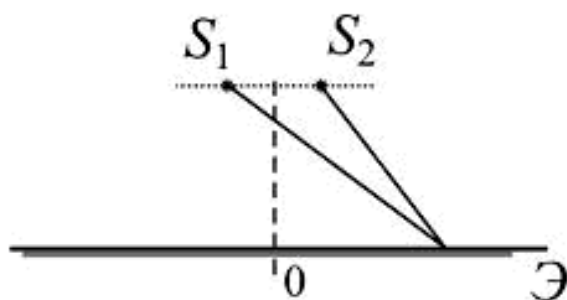
Угол падения луча света на плоское зеркало равен  $30^\circ$ . Угол между отражённым лучом и зеркалом равен ...

1. ...  $10^\circ$ .    2. ...  $30^\circ$ .    3. ...  $60^\circ$ .    4. ...  $120^\circ$ .

На основании закона отражения света угол падения равен углу отражения, где углы падения и отражения отсчитываются от перпендикуляра к поверхности зеркала в точке падения луча. Тогда угол между отражённым лучом и зеркалом, см. рис. на с. 46, будет равен  $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ .

См. теоретический материал к тесту на с. 49-50.

Два источника света  $S_1$  и  $S_2$  находятся близко друг от друга и создают на удаленном экране Э интерференционную картину.



Это возможно, если  $S_1$  и  $S_2$  - малые отверстия в непрозрачном экране, освещенные ...

1. ... каждое своим солнечным зайчиком от разных зеркал.
2. ... одно синим светом, другое – красным светом.
3. ... светом одного и того же точечного источника.
4. ... светом разных независимых друг от друга источников.

Условие возникновения интерференционной картины на экране является наличие когерентных источников света. Один из способов получения таких источников – разделение световой волны от одного источника на две когерентных волны, излучаемых отверстиями в непрозрачном экране (опыт Юнга).

См. теоретический материал к тесту на с. 48.

При интерференции двух когерентных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный минимум наблюдается при разности хода, равной ...

1. ... 0 мкм.
2. ... 1 мкм.
3. ... 2 мкм.
4. ... 4 мкм.

Условие минимума амплитуды интерферирующих волн с разностью их хода  $\Delta$  связано соотношением:  $\Delta = \pm(2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ , где  $\lambda$  – длина волны;  $k = 0, 1, 2, \dots$  - порядок интерференционного минимума. Тогда при  $k = 0$   $\Delta = \frac{\lambda}{2} = \frac{2}{2}$  мкм = 1 мкм .

См. теоретический материал к тесту на с. 51.

Количество максимумов, наблюдаемых с помощью дифракционной решетки, у которой период решетки в 3,5 раза больше падающей на нее длины волны, равно ...

1. ... 3.
2. ... 4.
3. ... 7.
4. ... 9.



Из формулы дифракционной решетки  $d \sin \varphi = k \lambda$  определим порядок дифракционного максимума  $k = \frac{d \sin \varphi}{\lambda}$ . Здесь  $d$  - постоянная дифракционной решетки,  $\varphi$  - угол дифракции,  $\lambda$  - длина волны. Так как по условию  $\lambda = 3,5d$ , а наибольшее значение  $\sin \varphi = 1$ , то  $k_{\text{макс}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{3,5\lambda}{\lambda} = 3,5$ . Если учесть, что порядок дифракционного максимума является целым числом, то будет наблюдаться 3 максимума.

См. теоретический материал к тесту на с. 40-51.

Внешний фотоэффект в металле вызывается монохроматическим излучением. При увеличении интенсивности этого излучения в 2 раза максимальная скорость фотоэлектронов, покидающих металл ...

1. ... увеличится в 2 раза.
2. ... увеличится в 4 раза.
3. ... увеличится в  $\sqrt{2}$  раз.
4. ... не изменится.

Фотоэффект описывается уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта  $h\nu = A + \frac{m v^2}{2}$ , все члены которого не зависят от интенсивности вызывающего фотоэффект излучения. Поэтому увеличение интенсивности излучения не приведёт к изменению скорости фотоэлектронов, а лишь увеличит число вылетающих из металла электронов в единицу времени.

См. теоретический материал к тесту на с. 49.

При облучении металлической пластины светом с длиной волны 400 нм, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов оказалась в 2 раза меньше работы выхода. Какая длина волны соответствует красной границе фотоэффекта?

1. 200 нм
2. 600 нм
3. 800 нм
4. 1200 нм

Уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта имеет вид:

$h\nu = A + \frac{m v^2}{2}$ , где  $A$  - работа выхода;  $\nu$  - частота света, вызывающего

фотоэффект;  $\frac{m v^2}{2}$  - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

По условию задачи  $\frac{m v^2}{2} = \frac{A}{2}$  и если учесть соотношение между длиной

волны света  $\lambda$  и частотой  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , то уравнение Эйнштейна можно преоб-

разовать к виду  $\frac{h c}{\lambda} = \frac{3}{2} A$ , откуда найдем работу выхода:  $A = \frac{2 h c}{3 \lambda}$ . Так

как энергия кванта света, соответствующего красной границе фотоэффек-

та, равна работе выхода, то  $\frac{h c}{\lambda_{\text{крас}}} A = \frac{2 h c}{3 \lambda}$ , откуда

$$\lambda_{\text{крас}} = \frac{3}{2} \lambda = \frac{3}{2} \cdot 400 \text{ нм} = 600 \text{ нм} .$$

См. теоретический материал к тесту на с. 53.

В ядре изотопа углерода  ${}^{14}_6\text{C}$  содержится ...

1. ... 6 протонов и 8 нейтронов.
2. ... 6 протонов и 14 нейтронов.
3. ... 8 протонов и 6 нейтронов.
4. ... 14 протонов и 6 нейтронов.

Ядро атома состоит из частиц двух типов – протонов и нейтронов. Нейтрон электрически нейтрален, а протон имеет положительный элементарный заряд. Нейтроны и протоны имеют общее название – нуклоны. Число протонов в ядре определяет его заряд, обозначается символом  $Z$  и называется атомным номером или зарядовым числом. Общее число нуклонов в ядре, то есть протонов и нейтронов, обозначается символом  $A$  и называется массовым числом. Число нейтронов в ядре  $N = A - Z$ . Ядро обозначают символом  ${}^A_Z X$ , где  $X$  – символ химического элемента. Таким образом, изотоп углерода  ${}^{14}_6\text{C}$  содержит  $Z = 6$  протонов и  $N = 14 - 6 = 8$  нейтронов.

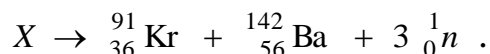
См. теоретический материал к тесту на с. 53.

Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме  $X \rightarrow {}^{91}_{36}\text{Kr} + {}^{142}_{56}\text{Ba} + 3 {}^1_0n$ . Ядро этого элемента содержит...

1. 92 протона и 142 нейтрона.
2. 94 протона и 142 нейтрона.
3. 94 протона и 144 нейтрона.
4. 92 протона и 144 нейтрона.

Для любой ядерной реакции должны выполняться законы сохранения зарядового числа и массового числа. Для этого используют условные обозначения символа химического элемента  $X$ , внизу которого записывают зарядовое число  $Z$ , а сверху – массовое число  $A$ :  ${}^A_Z X$ . Суммы массовых и зарядовых чисел в левой и правой частях уравнения реакции должны быть одинаковы.

В условии вопроса приведено уравнение реакции:



По закону сохранения массового и зарядового чисел найдём:  $A = 91 + 142 + 3 \cdot 1 = 236$ ;  $Z = 36 + 56 = 92$ . Следовательно, символически неизвестный элемент можно записать в виде  ${}^{236}_{92} X$ . Массовое число определяет число нуклонов в ядре, равное сумме числа протонов и нейтронов в ядре. Зарядовое число равно числу протонов в ядре. Тогда число нейтронов в ядре  $N = A - Z$ .

Таким образом, ядро элемента  ${}^{236}_{92} X$  содержит 92 протона и 144 нейтрона.

См. теоретический материал к тесту на с. 54-55.

В образце, содержащем изотоп талия  ${}^{209}_{81}\text{Tl}$ , происходит реакция превращения  ${}^{209}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{209}_{80}\text{Pb} \rightarrow {}^{209}_{83}\text{Bi}$ . При этом регистрируются ...

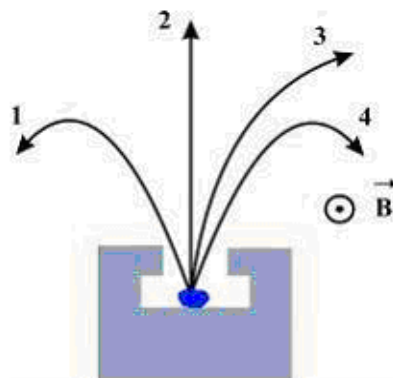
1.  $\alpha$  - частицы.
2.  $\gamma$  - излучение.
3.  $\alpha$  - и  $\beta$  - частицы.
4.  $\beta$  - частицы.

При  $\alpha$ -распаде массовое число меняется на  $-4$ , а зарядовое – на  $-2$ . При  $\beta$ -распаде массовое число не меняется, а зарядовое число изменяется на  $+1$ . Поскольку в представленной схема распада изменение массового числа не происходит, то  $\alpha$  – частицы наблюдаться не будут. В то же время увеличение зарядового числа на 1 указывает на  $\beta$  – распад. Следовательно, будут регистрироваться  $\beta$  – частицы.

См. теоретический материал к тесту на с. 54.

Четыре вида радиоактивных излучений  $\alpha$ -,  $\beta^+$ -,  $\beta^-$  и  $\gamma$  – лучи от-

клоняются в магнитном поле, силовые линии которого направлены перпендикулярно плоскости рисунка к нам.



$\beta^-$  – лучи распространяются в направлении, обозначенном цифрой ...

$\beta^-$ -лучи – поток электронов. Электроны имеют отрицательный заряд и при их движении в магнитном поле на них действует сила Лоренца, которая искривляя траекторию движения направлена к центру кривизны траектории. Направление силы Лоренца определим по правилу левой руки применительно к отрицательному заряду. Таким образом,  $\beta^-$  – частицы движутся по траектории, обозначенной цифрой 1.

См. теоретический материал к тесту на с. 54.

Через интервал времени, равный двум периодам полураспада, нераспавшихся радиоактивных атомов останется ...

1. ... 25% .    2. ... 33% .    3. ... 50% .    4. ...75% .

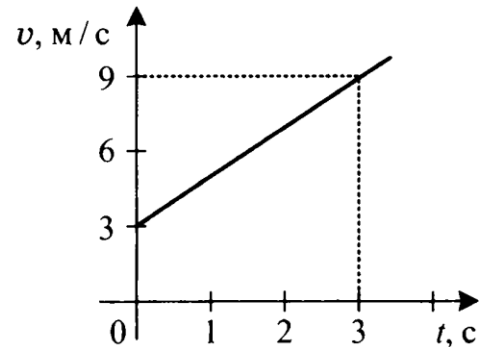
Периодом полураспада называется интервал времени, за который в среднем число нераспавшихся радиоактивных ядер уменьшается вдвое. Если первоначальное количество ядер принять за 100%, то через период полураспада останется 50% нераспавшихся ядер, а еще через один период полураспада 25% нераспавшихся ядер.

## 16. ПРИМЕР ТЕСТА ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

### Часть А. Выберите один из предложенных ответов

( верный ответ – 3 балла )

1. По графику зависимости модуля скорости от времени, представленному на рисунке, определить ускорение прямолинейно движущегося тела в момент времени 2 с [13].



1.  $2 \text{ м/с}^2$    2.  $3 \text{ м/с}^2$    3.  $9 \text{ м/с}^2$    4.  $27 \text{ м/с}^2$

2. Как движется тело при равенстве нулю суммы всех действующих на него сил? Выберите верное утверждение.

1. Скорость тела обязательно равна нулю.
2. Скорость тела убывает со временем.
3. Скорость тела постоянна и обязательно не равна нулю.
4. Скорость тела может быть любой, но обязательно постоянной во времени.

3. Камень массой 200 г брошен под углом  $45^\circ$  к горизонту с начальной скоростью 15 м/с. Модуль силы тяжести, действующей на камень сразу после броска, равен ...

1. ... 0 Н.   2. ... 1,33 Н.   3. ... 2,0 Н.   4. ... 3,0 Н.

4. Под действием силы величиной 3 Н пружина удлинилась на 4 см. Чему равен модуль силы, под действием которой удлинение пружины составило 6 см?

1. 3,5 Н   2. 4 Н   3. 4,5 Н   4. 5 Н

5. В инерциальной системе отсчета сила  $F$  сообщает телу массой  $m$  ускорение  $a$ . Как изменится ускорение тела, если массу тела и действующую на него силу увеличить в 2 раза?

1. Увеличится в 4 раза.
2. Уменьшится в 4 раза.
3. Уменьшится в 8 раза.
4. Не изменится.

6. Определите полезную мощность двигателя, если его КПД 40%, а мощность по техническому паспорту 100 кВт.

1. 10 кВт   2. 20 кВт   3. 40 кВт   4. 50 кВт

7. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 30 Дж. Какую потенциальную энергию относительно поверхности

земли будет иметь камень в верхней точке траектории полета? Соппротивлением воздуха пренебречь.

1. 0 Дж    2. 15 Дж    3. 30 Дж    4. 60 Дж

8. При какой температуре молекулы могут покидать поверхность воды?

1. Только при температуре кипения.
2. Только при температуре выше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
3. Только при температуре выше  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. При любой температуре.

9. Давление неизменного количества идеального газа уменьшилось в 2 раза, а его температура уменьшилась в 4 раза. Как изменился при этом объем газа?

1. Увеличился в 2 раза.
2. Увеличился в 8 раза.
3. Уменьшился в 2 раза.
4. Уменьшился в 8 раз.

10. Если идеальный газ получил количество теплоты 100 Дж, и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж, то газ в этом процессе совершил работу ...

1. ... 100 Дж.    2. ... 200 Дж.    3. ...  $-200$  Дж.    4. ... 0 Дж.

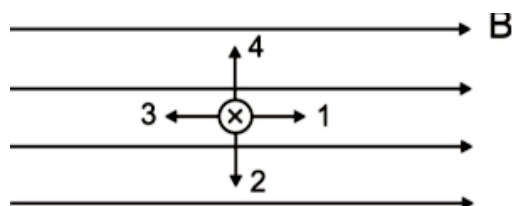
11. Как изменится модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом, при увеличении расстояния от этого заряда до точки наблюдений в  $N$  раз?

1. Увеличится в  $N$  раз.
2. Увеличится в  $N^2$  раз.
3. Уменьшится в  $N$  раз.
4. Уменьшится в  $N^2$  раз.

12. Как изменится сила тока, проходящего через проводник, если увеличить в 2 раза напряжение между его концами, а площадь сечения проводника уменьшить в 2 раза?

1. Увеличится в 2 раза.
2. Увеличится в 4 раза.
3. Уменьшится в 2 раза.
4. Не изменится.

13. На рисунке изображен проводник с током в магнитное поле с индукцией  $B$ . Укажите направление силы Ампера, действующей на проводник с током?



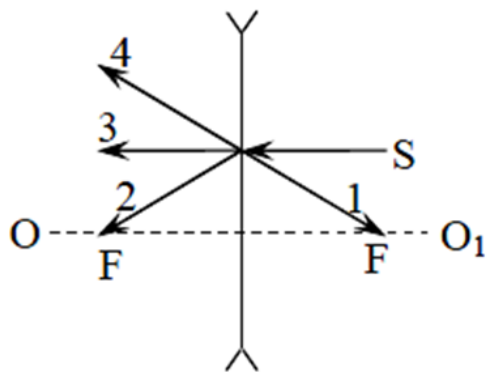
**14.** При движении проводника в однородном магнитном поле на его концах возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_1$ . Чему станет равной ЭДС индукции  $\varepsilon_2$  при увеличении скорости движения проводника в 2 раза?

1.  $\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$     2.  $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$     3.  $\varepsilon_2 = 0,5\varepsilon_1$     4.  $\varepsilon_2 = 4\varepsilon_1$

**15.** Показатель преломления среды относительно вакуума называют ...

1. ... постоянной преломления.    2. ... коэффициентом преломления.  
3. ... относительным показателем преломления.  
4. ... абсолютным показателем преломления.

**16.** Какой из лучей, изображённых на рисунке, продолжает световой луч S после его преломления в линзе?  $OO_1$  – оптическая ось линзы.



1. Луч 1.    2. Луч 2.  
3. Луч 3.    4. Луч 4.

**17.** За непрозрачным диском, освещённым ярким источником света небольшого размера, в центре тени можно обнаружить светлое пятно. Какое физическое явление при этом наблюдается?

1. преломление света    2. поляризация света  
3. дисперсия света    4. дифракция света

**18.** Скорость фотоэлектронов выбиваемых светом из катода, при увеличении частоты света увеличилась в 2 раза. При этом задерживающий потенциал ...

1. ... уменьшится в 2 раза    2. ... увеличится в 2 раза  
3. ... уменьшится в 4 раза    4. ... увеличится в 4 раза

**19.** В результате электронного  $\beta$ -распада ядра атома элемента с зарядовым числом  $Z$  получается ядро атома элемента с зарядовым числом ...

1. ...  $Z - 2$     2. ...  $Z + 1$     3. ...  $Z - 1$     4. ...  $Z + 2$

**20.** В каком из перечисленных ниже приборов для регистрации ядерных излучений прохождение быстрой заряженной частицы вызывает появление импульса электрического тока в газе?

1. В счетчике Гейгера.    2. В камере Вильсона.  
3. В фотоэмульсии.    4. В сцинтилляционном счетчике.

### Часть В. Решите задачу и впишите полученный ответ

21. Движение двух автомобилей на шоссе заданы уравнениями:  $x_1 = 2t + 0,25t^2$  и  $x_2 = 600 - 10t$ . Через сколько времени и где они встретятся ?

**Ответ:**

22. Поезд, масса которого 4000 т, идет со скоростью 36 км/ч. Перед остановкой поезд начинает тормозить. Сила торможения  $2 \cdot 10^5$  Н. Какое расстояние пройдет поезд за 1 мин после начала торможения?

**Ответ:**

23. При силе тока 4А аккумулятор отдает во внешнюю цепь мощность 6 Вт, а при токе 9 А – мощность 10 Вт. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора.

**Ответ:**

24. Магнитное поле с индукцией 15 Тл действует на проводник с током величиной 8 А с силой 24 Н. Угол между направлениями тока и поля  $30^\circ$ . Найдите длину проводника.

**Ответ:**



## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Основные физические постоянные (округленные значения)

Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} / \text{м}$
Масса изотопа ${}^1_1\text{H}$	$m_{\text{H}} = 1,6736 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса нейтрона	$m_{\text{n}} = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса протона	$m_{\text{p}} = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса электрона	$m_{\text{e}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Молярная газовая постоянная	$M = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная (число) Авогадро	$N_{\text{A}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Скорость света в вакууме	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м} / \text{с}$
Ускорение свободного падения	$g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м}$
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

## Единицы некоторых физических величин в СИ

Физическая величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Определение через основные единицы СИ
Длина	метр	м	<b>Основная единица</b> Метр равен расстоянию, проходимому в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299792456$ долей секунды.
Время	секунда	с	<b>Основная единица</b> Секунда равна $919263177$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.
Масса	килограмм	кг	<b>Основная единица</b> Килограмм равен массе международного прототипа килограмма.
Скорость	метр в секунду	м/с	
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с <sup>2</sup>	
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	с <sup>-1</sup>
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	рад/с <sup>2</sup>	с <sup>-2</sup>
Частота	герц	Гц	с <sup>-1</sup>
Плотность	килограмм на кубический метр	кг/м <sup>3</sup>	
Сила	ньютон	Н	кг · м · с <sup>-2</sup>
Давление	паскаль	Па	м <sup>-1</sup> · кг · с <sup>-2</sup>
Импульс	килограмм-метр в секунду	кг·м /с	
Момент силы	ньютон-метр	Н·м	м <sup>2</sup> · кг · с <sup>-2</sup>
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	Дж	м <sup>2</sup> · кг · с <sup>-2</sup>
Мощность	ватт	Вт	м <sup>2</sup> · кг · с <sup>-3</sup>
Термодинамическая температура	кельвин	К	<b>Основная единица</b> Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.
Количество вещества	моль	моль	<b>Основная единица.</b> Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг.

Физическая величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Определение через основные единицы СИ
Молярная масса	килограмм на моль	кг/моль	
Теплоемкость	джоуль на кельвин	Дж/К	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Молярная теплоемкость	джоуль на моль-кельвин	Дж/(моль·К)	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Удельная теплоемкость	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
<b>Сила электрического тока</b>	ампер	А	<b>Основная единица</b> Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.
Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл	$\text{с} \cdot \text{А}$
Электрический потенциал, разность потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Удельное электрическое сопротивление	ом-метр	Ом·м	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая емкость	фарад	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Магнитная индукция	тесла	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитный поток	вебер	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	генри	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Оптическая сила	диоптрия	дптр	$\text{м}^{-1}$

## Внесистемные единицы

Физическая величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Размер единицы в СИ
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Давление	атмосфера	атм	$1,01 \cdot 10^5$ Па = 760 мм рт. ст.
	миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.	133,322 Па
Масса	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг (точно)
	грамм	г	$10^{-3}$ кг
	тонна	т	$10^3$ кг
Мощность	лошадиная сила	л.с.	735,32 Вт
Объем	литр	л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м <sup>-1</sup>
Плоский угол	градус	...°	$1,745329 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	...′	$2,908882 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	...″	$4,848137 \cdot 10^{-6}$ рад
Площадь	гектар	га	$10^4$ м <sup>2</sup>
Температура	градус Цельсия	°С	$t = T - T_0$ , где T – темпер. Кельвина, $T_0 = 273,15$ К
Энергия	электронвольт	эВ	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Дж

### Приставки для образования кратных и дольных единиц

Приставка	Обозначение	Значение
мега	М	$10^6 = 1\,000\,000$
кило	к	$10^3 = 1\,000$
санτι	с	$10^{-2} = 0,01$
милли	м	$10^{-3} = 0,001$
микро	мк	$10^{-6} = 0,000\,001$
нано	н	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
пико	п	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$

### Ответы на тест

**1** → 1. **2** → 4. **3** → 3. **4** → 3. **5** → 4. **6** → 3. **7** → 3. **8** → 4. **9** → 3. **10** → 4. **11** → 4.  
**12** → 4. **13** → 2. **14** → 1. **15** → 4. **16** → 4. **17** → 4. **18** → 4. **19** → 2. **20** → 1.  
**21** → 30 с; 285 м. **22** → 510 м. **23** → 1,63 В; 1/30 Ом. **24** → 0,5 м.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов, Е. Н. Общая физика. Электричество и магнетизм (главы курса) / Е. Н. Аксенова. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 112 с. – ISBN 978-5-8114-2909-7.
2. Алешкевич, В. А. Электромагнетизм / В. А. Алешкевич. – Москва : Физматлит, 2014. – 404 с. – ISBN 978-5-9221-1555-1.
3. Бальва, О. П. ЕГЭ. Физика. Универсальный справочник / О.П. Бальва, А.А. Фадеева. – Москва : Эксмо, 2010. – 352 с. – ISBN 978-5-699-37671-1.
4. Бузунова, М. Ю. Сборник задач по физике. Ч. 1. Молекулярная физика и термодинамика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Оптика. Основы физики атома и атомного ядра / М. Ю. Бузунова, И. Г. Ковалевский ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2009. – 172 с. (Ч. 1), 174 с. (Ч. 2). – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/i\\_0066.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/i_0066.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Власова, И. Г. Физика. Для поступающих в вузы и подготовки к ЕГЭ / И. Г. Власова. – Москва: АСТ: СЛОВО, 2010. – 544 с. – ISBN 978-5-17-061695-4.
6. Дырдин, В. В. Физика. Квантовая физика. Квантовая механика и атомная физика : учебное пособие / В. В. Дырдин, Т. Л. Ким, С. А. Шепелева. – Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева, 2018. – 182 с. – ISBN 978-5-00137-023-9.
7. Кингсеп, А. С. Основы физики. Курс общей физики. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика : учебное пособие для вузов / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2007. – 704 с. – ISBN 978-5-9221-0753-2.
8. Ковалевский, И. Г. Методические рекомендации по изучению курса физики : учебное пособие для студентов аграрных вузов по специальности. 120301 «Землеустройство», 120302 «Земельный кадастр» : допущено М-вом сел. хоз-ва / И. Г. Ковалевский ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2009. – 227 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/i\\_0068.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/i_0068.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. Ковалевский, И. Г. Молекулярная физика и термодинамика : учебное пособие по дисциплине «Физика» / И. Г. Ковалевский ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2012. – 208 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii\\_Molekylyar\\_fizika.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii_Molekylyar_fizika.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
10. Ковалевский, И. Г. Справочное пособие по курсу физики : учебное пособие для вузов по сельскохозяйственным специальностям : рекомендовано

М-вом сел. хоз-ва РФ / И. Г. Ковалевский ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2002. – 180 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii\\_Spravochnoe\\_posobie\\_fizike.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii_Spravochnoe_posobie_fizike.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Ковалевский, И. Г. Справочное пособие по курсу физики : учебное пособие для студентов высших аграрных учебных заведений, обучающихся по специальностям и направлениям высшего профессионального образования : допущено М-вом сел. хоз-ва Рос. Федерации / И. Г. Ковалевский ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2014. – 271 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/i\\_000538.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/i_000538.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. Кузнецов, С. И. Справочник по физике : учебное пособие / С. И. Кузнецов, К. И. Рогозин. – Томск : Томский политехн. ун-т, 2014. – 220 с. – ISBN 978-5-4387-0443-0.

13. Основные понятия физики : учебное пособие для студентов из Монголии / Иркут. гос. с.-х. акад. ; сост. И. Г. Ковалевский. – Иркутск : ИрГСХА, 2012. – 169 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: [http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii\\_Osnov\\_ponyatiya.pdf](http://195.206.39.221/fulltext/Kovalevskii_Osnov_ponyatiya.pdf). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

14. Савельев, И. В. Курс физики : в 3-х т. / И. В. Савельев. –4-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – Т. 2 : Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-0686-9.

15. Сакович, А. Л. Краткий справочник по физике. 7-11 классы / А. Л. Сакович, Э. Н. Якубовская, К. А. Петров. – Москва : Лаборатория знаний, 2012. – 165 с. – ISBN 978-5-9963-1028-9.

**Бузунова Марина Юрьевна**  
**Боннет Вячеслав Владимирович**

**ФИЗИКА**  
***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ***

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 28.10.19 г.

Тираж 100 экз.

Издательство Иркутского государственного  
аграрного университета имени А. А. Ежевского  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,  
пос. Молодежный