

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра общей и прикладной физики

# **ФИЗИКА**

Методические указания для подготовки студентов  
к тестированию

Составители  
А. Ф. ГАЛКИН  
В. В. ДОРОЖКОВ  
Н. С. ПРОКОШЕВА



Владимир 2013

УДК 53  
ББК 22.3  
Ф50

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*В. Г. Рау*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Физика** : метод. указания для подготовки студентов к те-  
Ф50 стированию / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых ;  
сост.: А. Ф. Галкин [и др.]. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. –  
243 с.

Содержат тесты с решениями, с ответами, без ответов, а также контрольные тесты по всем разделам физики. Имеются справочные материалы, содержащие основные законы и формулы физики.

Предназначены для студентов всех направлений, специальностей и форм обучения, изучающих физику, а также для преподавателей физики.

Рекомендованы для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Библиогр.: 10 назв.

УДК 53  
ББК 22.3

## Введение

При проведении государственной аккредитации проводится проверочный интернет-экзамен в виде централизованного тестирования. Студентам, уже закончившим курс общей физики, в зависимости от специальности (направления) предлагаются обычно от 28 до 32 заданий (задач и вопросов). Для успешной подготовки студентов к интернет-экзамену требуются повторение материала и тренинг. Этим целям служит предлагаемое издание.

Структура издания такова. Вначале приводятся примеры тестов с решениями по шести разделам физики. Далее даются варианты тестов с ответами и варианты тестов без ответов по разделам. Ответы приведены в конце (см. оглавление). Для итоговой проверки служат контрольные тесты. В качестве справочных материалов представлены основные формулы общей физики [1, 2].

Обращаем ваше внимание на то, что важнейшее значение имеет выполнение заданий по всем разделам физики (1. Механика; 2. Молекулярная физика и термодинамика; 3. Электричество и магнетизм; 4. Колебания и волны; 5. Волновая оптика; 6. Квантовая физика и физика атома. 7. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц). Если студент не сделает 50 % заданий хотя бы по одному разделу, то будет считаться несоответствующим требованиям Государственного образовательного стандарта, и получит неудовлетворительную оценку даже при выполнении всех заданий по всем остальным разделам.

Рекомендуем также использовать ранее вышедшие методические указания [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Помните, что побеждают упорные и смелые.

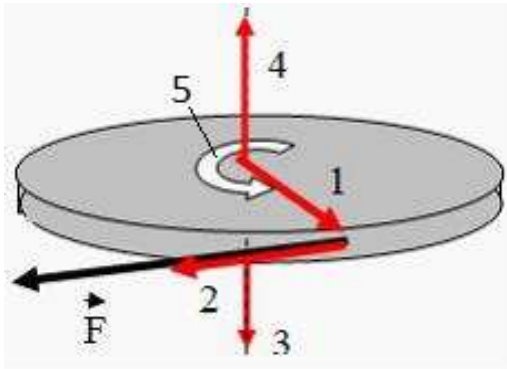
Желаем удачи!

## ТЕСТЫ С РЕШЕНИЯМИ

### 1. МЕХАНИКА

#### Задание 1.1

Колесо вращается так, как показано на рисунке стрелкой 5. К ободу колеса приложена сила, направленная по касательной. Правильно изображает угловую скорость колеса вектор.



- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 5;
- 4) 4;
- 5) 3.

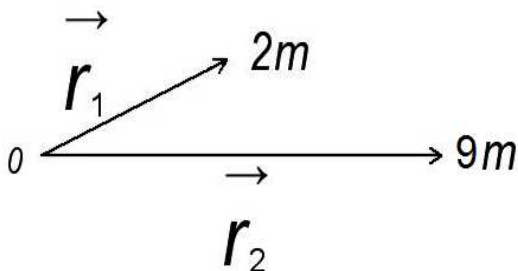
Решение

Из определения угловой скорости [2]  $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$ , где  $d\vec{\varphi}$  – вектор углового перемещения. Направление поворота отвечает правилу правого винта по отношению к направлению вектора  $d\vec{\varphi}$ . Вектор  $\vec{\omega}$  направлен вдоль вектора  $d\vec{\varphi}$ . Таким образом, правильно изображает угловую скорость вектор 4.

Ответ: 4).

#### Задание 1.2

Положение центра масс двух частиц, изображенных на рисунке, относительно точки  $O$  определяется радиус-вектором:



- 1)  $\vec{r}_c = (2\vec{r}_1 - 9\vec{r}_2) / 5$ ;
- 2)  $\vec{r}_c = 2\vec{r}_1 + 9\vec{r}_2$ ;
- 3)  $\vec{r}_c = (2\vec{r}_1 + 9\vec{r}_2) / 5$ ;
- 4)  $\vec{r}_c = (9\vec{r}_1 - 2\vec{r}_2) / 5$ .

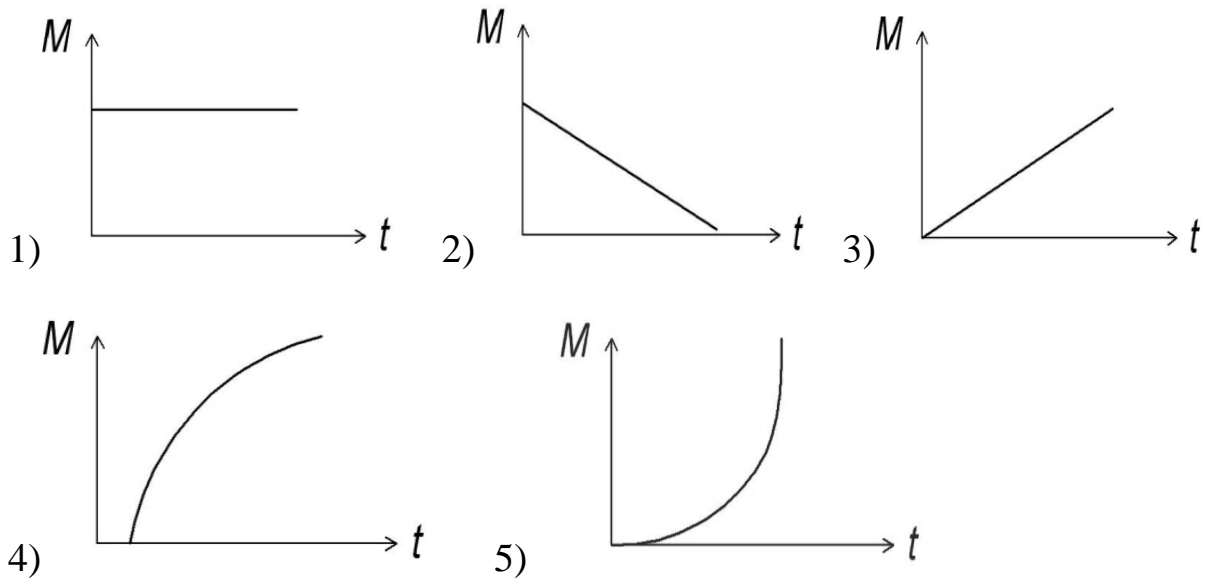
Решение

По определению центра масс [1,7]  $\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i}{m}$ , где  $m_i$  – масса  $i$ -й частицы;  $\vec{r}_i$  – радиус-вектор, определяющий положение этой частицы;  $m$  – масса системы. Отсюда  $\vec{r}_c = \frac{2m\vec{r}_1 + 9m\vec{r}_2}{5m} = (2\vec{r}_1 + 9\vec{r}_2)/5$ .

Ответ: 3).

### Задание 1.3

Момент импульса вращающегося тела изменяется по закону  $L = \alpha t^2$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Зависимость от времени момента сил, действующих на тело, определяется графиком:



Решение

Момент импульса связан с моментом силы уравнением моментов  $\frac{dL}{dt} = M$ . Дифференцируя  $L = \alpha t^2$ , получаем  $M = 2\alpha t$ , т.е. уравнение прямой, которому соответствует график 3).

Ответ: 3).

### Задание 1.4

Постоянная сила 5 Н, приложенная по касательной к твердому шару радиусом 1 см, заставляет шар совершать один полный оборот вокруг своей оси. Работа этой силы равна:

- 1) 3,14 Дж; 2) 0,628 Дж; 3) 0,314 Дж; 4) 0,1 Дж; 5) 10 Дж.

Решение

Работа при вращении тела  $dA = M_z d\varphi$ , где  $d\varphi$  – дифференциально малый угол поворота тела;  $M_z$  – момент силы относительно оси  $Z$ . Учитываем, что в данной задаче  $M_z = FR$ , где  $F$  – приложенная сила;  $R$  – плечо силы (здесь радиус шара) – величина постоянная. При интегрировании получаем  $A = M_z \varphi = FR2\pi = 5 \cdot 0,01 \cdot 2\pi = 0,314$  Дж.

Ответ: 3)

### Задание 1.5

Человек сидит на вращающейся вокруг своей оси карусели и держит в руках длинный шест. Если он с помощью шеста выпрыгнет с карусели, то угловая скорость

- 1) не изменится;
- 2) увеличится;
- 3) уменьшится.

Решение

По закону сохранения момента импульса  $L_{1z} = L_{2z}$ , где  $L_{1z}$  и  $L_{2z}$  – проекция момента импульса системы карусель – человек на ось вращения карусели  $Z$ . Заменим  $L_z = J_z \omega$ , где  $J_z$  – момент инерции относительно оси  $Z$ ;  $\omega$  – угловая скорость, получаем  $J_{z1} \omega_1 = J_{z2} \omega_2$ . После того как человек выпрыгнет с карусели, момент инерции системы  $J_{z2}$  уменьшится, а угловая скорость  $\omega_2$  увеличится.

Ответ: 2).

### Задание 1.6

Инвариантной (не изменяющейся при переходе из одной инерциальной системы в другую) величиной является:

- 1) длина предмета;
- 2) скорость света в вакууме;
- 3) длительность события;
- 4) импульс частицы.

Решение

Инвариантной является скорость света в вакууме.

Ответ: 2).

### Задание 1.7

Импульс материальной точки изменяется по закону  $\vec{p} = 5t\vec{i} + 3t^2\vec{j}$  (кг·м/с). Модуль силы (в ньютонах), действующей на точку в момент времени  $t = 4$  с, равен:

- 1) 34;                      2) 26;                      3) 40;                      4) 13.

Решение

Согласно второму закону Ньютона скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на нее силе  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ . Тогда зависимость силы от времени имеет вид  $\vec{F} = 5\vec{i} + 3t\vec{j}$ . Модуль силы  $F = \sqrt{25 + 9t^2}$ , и в момент времени  $t = 4$  с  $F = \sqrt{25 + 9 \cdot 4^2} = 13$  Н.

Ответ: 4).

### Задание 1.8

Механическая система состоит из трех частиц, масс которых  $m_1 = 0,4$  г,  $m_2 = 0,2$  г,  $m_3 = 0,3$  г. Первая частица находится в точке с координатами (1, 2, 0), вторая – в точке (0, 2, 1), третья – в точке (1, 2, 1) (координаты даны в сантиметрах). Тогда  $u_C$  – координата центра масс – равна:

- 1) 1,2;                      2) 4;                      3) 2.

Решение

Центром масс системы материальных точек называется точка С, радиус-вектор которой определяется соотношением  $\vec{r}_C = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i$ .

Тогда  $u_C = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{0,4 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2}{0,4 + 0,2 + 0,3} = 2$  см.

Ответ: 3).

### Задание 1.9

Тело начало двигаться со скоростью, при которой его масса возросла на 20 %. При этом длина тела в направлении движения

- 1) уменьшилась в 1,2 раза;  
2) увеличилась в 1,2 раза;  
3) уменьшилась на 20 %;  
4) увеличилась на 20 %.

Решение

Зависимости релятивистской массы и линейных размеров тела в направлении движения тела от его скорости определяются по формулам:

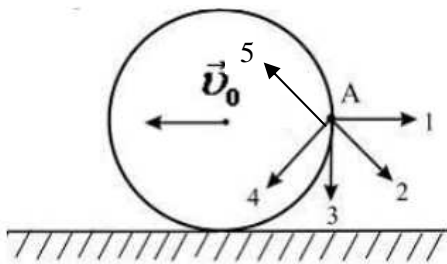
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1), \quad l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2).$$

Из формулы (1)  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0}{m} = \frac{1}{1,2}$ . Тогда  $\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{1,2}$ , откуда следует, что длина уменьшилась в 1,2 раза.

Ответ: 1).

### Задание 1.10

Диск катится равномерно по горизонтальной поверхности со скоростью  $\vec{v}_0$  без проскальзывания. Вектор скорости точки А, лежащей на ободе диска, ориентирован в направлении:



- 1) 2;
- 2) 1;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) 5.

Решение

Качение однородного кругового цилиндра (диска) по плоскости является плоским движением. Плоское движение можно представить как совокупность двух движений: поступательного, происходящего со скоростью  $\vec{v}_0$  центра масс, и вращательного вокруг оси, проходящей через этот центр. Тогда  $\vec{v}_A = \vec{v}_0 + \vec{v}_{вр}$ . Тогда вектор скорости  $\vec{v}_A$  точки А ориентирован в направлении 5.

Ответ: 5).

### Задание 1.11

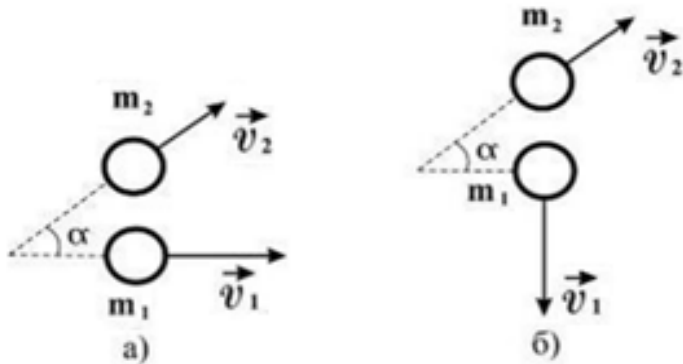
Шар массой  $m_1$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}$ , налетает на покоящийся шар массой  $m_2$ .





Могут ли после соударения скорости шаров,  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , иметь направления, показанные на рисунке (а и б)?

- 1) могут в случае „б”);
- 2) могут в случае „а”);
- 3) могут в обоих случаях;
- 4) не могут ни в одном из указанных случаев.



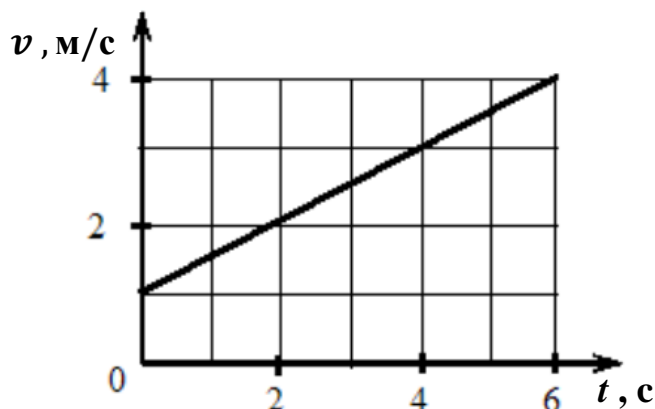
Решение

Согласно закону сохранения импульса должно выполняться соотношение  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ . В ситуации, показанной на фрагменте «а», это соотношение не выполняется. Таким образом, этот случай противоречит закону сохранения импульса. Ситуация, показанная на фрагменте «б», вообще говоря, возможна. При этом должны сохраняться проекции импульса системы соударяющихся шаров на направление скорости  $\vec{v}$  и перпендикулярное ему.

Ответ: 1).

### Задание 1.12

Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси. Скорость точки, находящейся на расстоянии 5 см от оси, изменяется со временем в соответствии с графиком, представленным на рисунке.



Зависимость угловой скорости тела от времени (в единицах СИ) задается уравнением:

- 1)  $\omega = 20 + 10t$ ;

$$2) \omega = 0,1(1 + 0,5t);$$

$$3) \omega = 10 + 7,5t;$$

$$4) \omega = 0,1(1 + 7,5t).$$

Решение

Связь между модулями угловой скорости вращения тела и линейной скоростью точки, отстоящей от оси вращения на расстояние  $R$ , имеет вид  $v = \omega R$ . Отсюда  $\omega = \frac{v}{R}$ , причем  $R = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$ . Из представленного графика начальная скорость  $v_0 = 1 \text{ м/с}$ , ускорение  $a = \frac{v-v_0}{t} = \frac{3-1}{4} = 0,5 \text{ м/с}^2$ . Тогда зависимость скорости точки от времени в единицах СИ задается уравнением  $v = 1 + 0,5t$ , а зависимость угловой скорости вращения тела от времени – уравнением  $\omega = 20 + 10t$ .

Ответ: 1).

### Задание 1.13

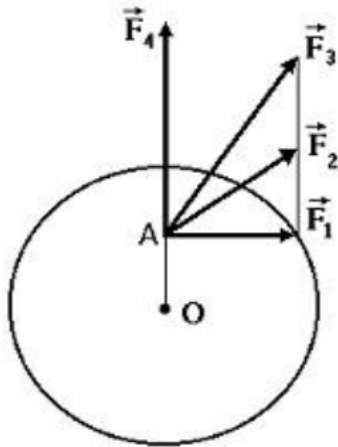
Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. В точке А прикладывают одну из сил  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4)$ , лежащих в плоскости диска. Верным для моментов этих сил относительно рассматриваемой оси является соотношение

$$1) M_1 = M_2 = M_3, M_4 = 0;$$

$$2) M_1 < M_2 < M_3 < M_4;$$

$$3) M_1 > M_2 > M_3, M_4 = 0;$$

$$4) M_1 < M_2 < M_3, M_4 = 0.$$



Решение

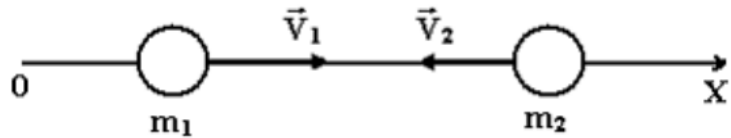
При вращении тела вокруг неподвижной оси момент относительно этой оси создает только одна составляющая действующей на него силы, а именно касательная к траектории точки ее приложения  $F_t$ . Тогда момент силы относительно неподвижной оси равен  $M = rF_t$ , где  $r$  – радиус-вектор точки приложения силы. В данном случае составляющая  $F_t$  одинакова для трех сил:  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  и  $\vec{F}_3$ , а для силы  $\vec{F}_4$   $F_t = 0$ . Кроме того, все силы приложены в одной точке. Поэтому  $M_1 = M_2 = M_3, M_4 = 0$ .

Ответ: 1).

### Задание 1.14

Вдоль оси ОХ навстречу друг другу движутся две частицы массами  $m_1 = 2$  г,  $m_2 = 3$  г и скоростями  $v_1 = 9$  м/с,  $v_2 = 6$  м/с соответственно. Проекция скорости центра масс на ось ОХ (в единицах СИ) равна \_\_\_\_\_.

- 1) 1;
- 2) 7,2;
- 3) 0;
- 4) 3.



Решение

Скорость центра масс механической системы равна отношению им-

пульса системы к ее массе:  $\vec{v}_C = \frac{\vec{P}}{m}$ . Для рассматриваемой системы из

двух частиц  $\vec{v}_C = \frac{\vec{P}}{m} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$ . Проекция скорости центра

масс на ось ОХ  $v_{Cx} = \frac{m_1v_{1x} + m_2v_{2x}}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 9 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot 6}{2 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3}} = 0$ .

Ответ: 3).

### Задание 1.15

Частица совершила перемещение по некоторой траектории из точки 1 с радиус-вектором  $\vec{r}_1 = 2\vec{i} - 3\vec{j}$  в точку 2 с радиус-вектором  $\vec{r}_2 = 3\vec{i} + 2\vec{j}$ . При этом на нее действовала сила  $\vec{F} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$  (радиус-векторы  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  и сила  $\vec{F}$  заданы в единицах СИ). Работа, совершенная силой  $\vec{F}$ , равна \_\_\_\_\_.

- 1) 26 Дж;
- 2) 23 Дж;
- 3) 11 Дж;
- 4) 32 Дж.

Решение

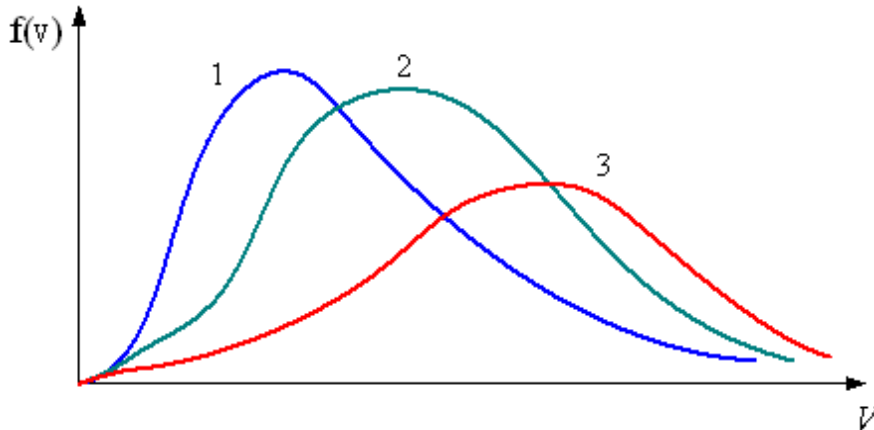
По определению  $dA = \vec{F}d\vec{r}$ . С учетом того, что  $\vec{F} = \text{const}$ ,  $A = \int \vec{F}d\vec{r} = \vec{F}\Delta\vec{r} = F_x\Delta x + F_y\Delta y = 3(3 - 2) + 4(2 - (-3)) = 23$  Дж.

Ответ: 2).

## 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### Задание 2.1

В трех одинаковых сосудах находятся одинаковые количества газа, причем  $T_1 < T_2 < T_3$ . Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой  $T_3$  будет описывать кривая:



- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3.

Решение

Максимуму функции распределения скоростей молекул соответствует наиболее вероятная скорость  $v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$ . Максимальной температуре  $T_3$  соответствует кривая 3.

Ответ: 3).

### Задание 2.2

Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. Для атомарного кислорода число  $i$  равно:

- 1) 5;                    2) 3;                    3) 1;                    4) 7.

Решение

Поскольку положение атома водорода задается тремя координатами, число степеней свободы  $i = 3$ .

Ответ: 2).

### Задание 2.3

В процессе изохорического охлаждения постоянной массы идеального газа его энтропия

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не меняется.

Решение

Поскольку при охлаждении хаотичность уменьшается, то и энтропия будет уменьшаться.

Ответ: 2).

### Задание 2.4

Двухатомному идеальному газу в результате изобарного процесса подведено количество теплоты  $\Delta Q$ . На увеличение внутренней энергии газа расходуется часть тепла  $\frac{\Delta U}{\Delta Q}$ , равная:

- 1) 0,4;
- 2) 0,75;
- 3) 0,71;
- 4) 0,25.

Решение

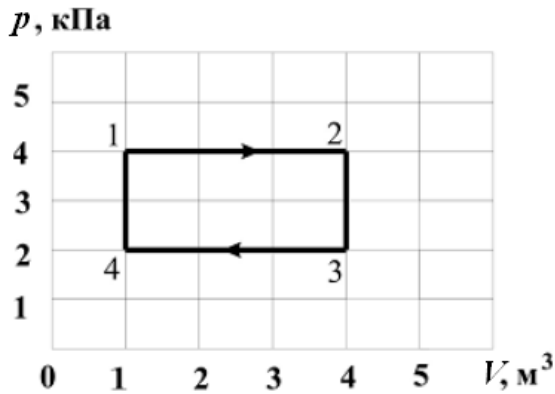
Изменение внутренней энергии  $\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$ . Число степеней свободы для двухатомного идеального газа  $i = 5$ , следовательно,  $\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT$ . Согласно первому закону термодинамики  $\Delta Q = \Delta U + A$ . Работа в изобарном процессе  $A = p\Delta V$ , или из закона Менделеева – Клапейрона  $p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$ . Тогда  $\Delta Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\Delta T + \frac{m}{M} R\Delta T = \frac{7}{2} \frac{m}{M} R\Delta T$ .

$$\text{Отношение } \frac{\Delta U}{\Delta Q} = \frac{5/2 \frac{m}{M} R\Delta T}{7/2 \frac{m}{M} R\Delta T} = 0,71$$

Ответ: 3)

### Задание 2.5

Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы газа за цикл к работе при изобарном нагревании газа по модулю равно:



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

Решение

Работа газа за цикл в координатных осях ( $p$ ,  $V$ ) численно равна площади фигуры, ограниченной диаграммой кругового процесса.

Обозначив 1 кПа –  $p$ , а 1 м<sup>3</sup> –  $V$ , получим  $A_{1-2-3-4-1} = (4p - 2p)(4V - V) = 6pV$ . Работа при изобарном нагревании численно равна площади под графиком процесса 1 – 2:  $A_{1-2} = 4p(4V - V) = 12pV$ . Отношение работ, совершенных в этих процессах, равно:  $\frac{A_{1-2-3-4-1}}{A_{3-4}} = \frac{6pV}{12pV} = 0,5$ . Модуль отношения 0,5

Ответ: 2).

### Задание 2.6

В ходе обратимого процесса при поступлении в неизолированную термодинамическую систему тепла для приращения энтропии верным будет соотношение

- 1)  $dS > \frac{\delta Q}{T}$ ;  
 2)  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ ;  
 3)  $dS < \frac{\delta Q}{T}$ ;  
 4)  $dS \leq \frac{\delta Q}{T}$ .

Решение

Отношение  $\frac{\delta Q}{T}$  в обратимом процессе есть полный дифференциал функции состояния системы, называемой энтропией  $S$  системы:  $dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{\text{обр}}$ . В изолированных системах энтропия не может убывать при любых происходящих в ней процессах:  $dS \geq 0$ . Знак равенства относится к обратимым процессам, а знак «больше» – к необратимым.

Если в неизолированную систему поступает тепло и происходит обратимый процесс, то энтропия  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ .

Ответ: 2)

### Задание 2.7.

Если не учитывать колебательные движения в молекуле водяного пара, то отношение кинетической энергии поступательного движения к полной кинетической энергии молекулы равно

- 1)  $\frac{2}{5}$ ;            2)  $\frac{2}{7}$ ;            3)  $\frac{1}{3}$ ;            4)  $\frac{1}{2}$ .

Решение

Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. Для молекулы водяного пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) число степеней свободы поступательного движения  $n_{\text{п}} = 3$ , вращательного  $n_{\text{вр}} = 3$ , колебательного  $n_{\text{к}} = 3$ . Колебательные движения по условию не учитываются. Поэтому  $i = 3 + 3 + 0 = 6$ , следовательно, средняя кинетическая энергия молекулы ( $\text{H}_2\text{O}$ ) равна  $\varepsilon = \frac{6}{2}kT$ . Средняя энергия поступательного движения  $\varepsilon_{\text{п}} = \frac{3}{2}kT$  и составляет  $\frac{\varepsilon_{\text{п}}}{\varepsilon} = \left(\frac{3}{2}kT\right) / \left(\frac{6}{2}kT\right) = \frac{1}{2}$  части полной энергии.

Ответ: 4).

### Задание 2.8

КПД цикла Карно равен 40 %. Если на 20 % уменьшить температуру нагревателя и на 20 % увеличить температуру холодильника, КПД достигнет значения, %:

- 1) 60;            2) 10;            3) 20;            4) 80.

Решение

КПД обратимого цикла Карно равен:  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} 100\%$ . После изменений температура примет значения:  $T'_1 = 0,8 T_1$ ,  $T'_2 = 1,2 T_2$ ; следовательно,  $0,4 = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ; отсюда  $\frac{T_2}{T_1} = 0,6$ . После изменения  $\eta' = \frac{T'_1 - T'_2}{T'_1} = 1 - \frac{1,2 T_2}{0,8 T_1} = 1 - \frac{1,2}{0,8} 0,6 = 0,1 = 10\%$ .

Ответ: 2).

### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

#### Задание 3.1

Два точечных заряда  $4q$  и  $2q$  на расстоянии  $r$  друг от друга взаимодействуют с силой  $F$ . С какой силой будут взаимодействовать заряды  $q$  и  $q$  на расстоянии  $r$ ?

- 1)  $\frac{F}{2}$ ;      2)  $4F$ ;      3)  $2F$ ;      4)  $\frac{F}{4}$ ;      5)  $\frac{F}{8}$ .

Решение

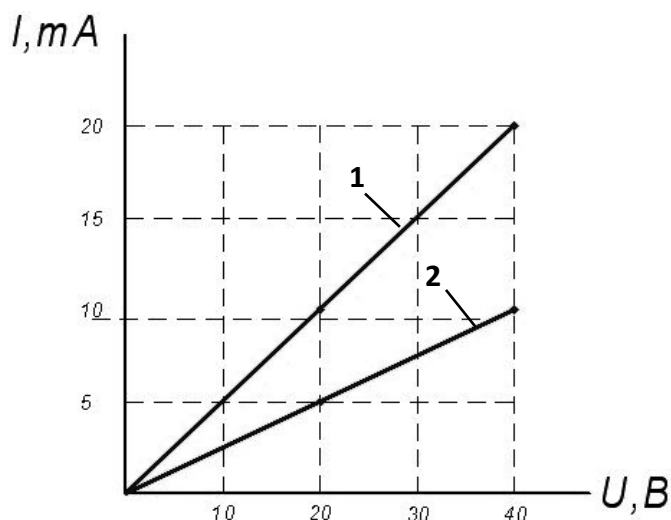
По закону Кулона  $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$  в первом случае  $F_1 = \frac{4q \cdot 2q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = F$ , тогда во втором случае  $F_2 = \frac{q \cdot q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{F}{8}$ .

Ответ: 5).

#### Задание 3.2

1) Вольт-амперная характеристика активных элементов 1 и 2 представлена на рисунке. При напряжении 40 В отношение мощностей  $\frac{P_1}{P_2}$  равно:

- 1)  $\frac{1}{2}$ ;      2) 2;      3) 1;      4) 4.



Решение

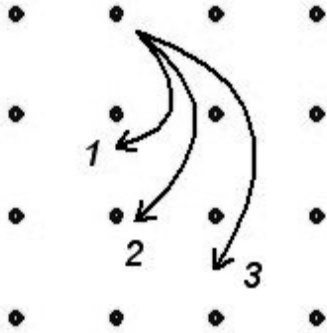
Мощность равна  $P = IU$ , тогда  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1 U_1}{I_2 U_2} = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 40}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 40} = 2$ .

Ответ: 2).



### Задание 3.3

Однозарядные ионы, имеющие одинаковые скорости, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке. Наибольшую массу имеет ион, движущийся по траектории



- 1) 3;
- 2) характеристики траектории не зависят от массы;
- 3) 2;
- 4) 1.

Решение

На заряженные частицы, движущиеся в магнитном поле, действует сила Лоренца, сообщающая им центростремительное ускорение  $qvB = m \frac{v^2}{R}$ . Отсюда радиус траектории  $R = \frac{mv}{qB}$ , т.е. пропорционален массе частицы, и наибольший радиус имеет ион, движущийся по траектории 3.

Ответ: 1).

### Задание 3.4

Контур площадью  $S = 10^{-2} \text{ м}^2$  расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Магнитная индукция изменяется по закону  $B = (4 + 50t^2)10^{-2}$  Тл. Модуль ЭДС индукции, возникающей в контуре, изменяется по закону

- 1)  $E_i = 10^{-3}t$  (В);
- 2)  $E_i = 10^{-2}t$  (В);
- 3)  $E_i = (2 + 5t^2)10^{-4}$  (В).

Решение

По закону Фарадея ЭДС электромагнитной индукции  $E_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ . Магнитный поток  $\Phi = BS \cos\alpha$ . Так как контур расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции, то  $\alpha=0$ ,  $\cos\alpha=1$ , тогда

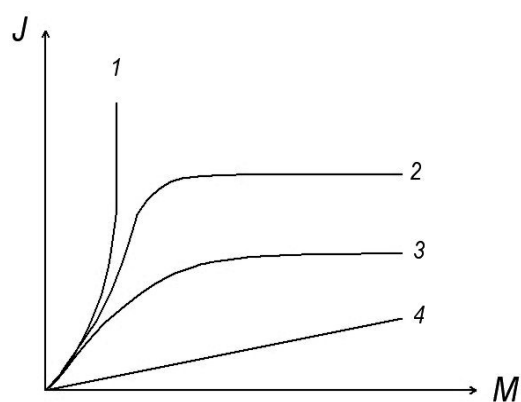
$\Phi = BS = (4 + 50t^2)10^{-2} \cdot 10^{-2} \text{Вб}$ . Дифференцируя это выражение, получаем  $E_i = 10^{-2}t$ .

Ответ: 2).

### Задание 3.5

На рисунке представлен график, отражающий характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ . Укажите зависимость, соответствующую парамагнетикам:

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



Решение

Для парамагнетиков  $J$  растет медленно и линейно. Этому характеру соответствует кривая 4.

Ответ: 4).

### Задание 3.6

Физический смысл уравнения  $\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$  заключается в том, что оно описывает отсутствие:

- 1) тока смещения;
- 2) электрического поля;
- 3) магнитных зарядов;
- 4) электрических зарядов.

Решение

Ноль в правой части уравнения означает отсутствие магнитных зарядов.

Ответ: 3).

### Задание 3.7

На рисунках представлены графики зависимости напряженности поля  $E(r)$  для различных распределений заряда.

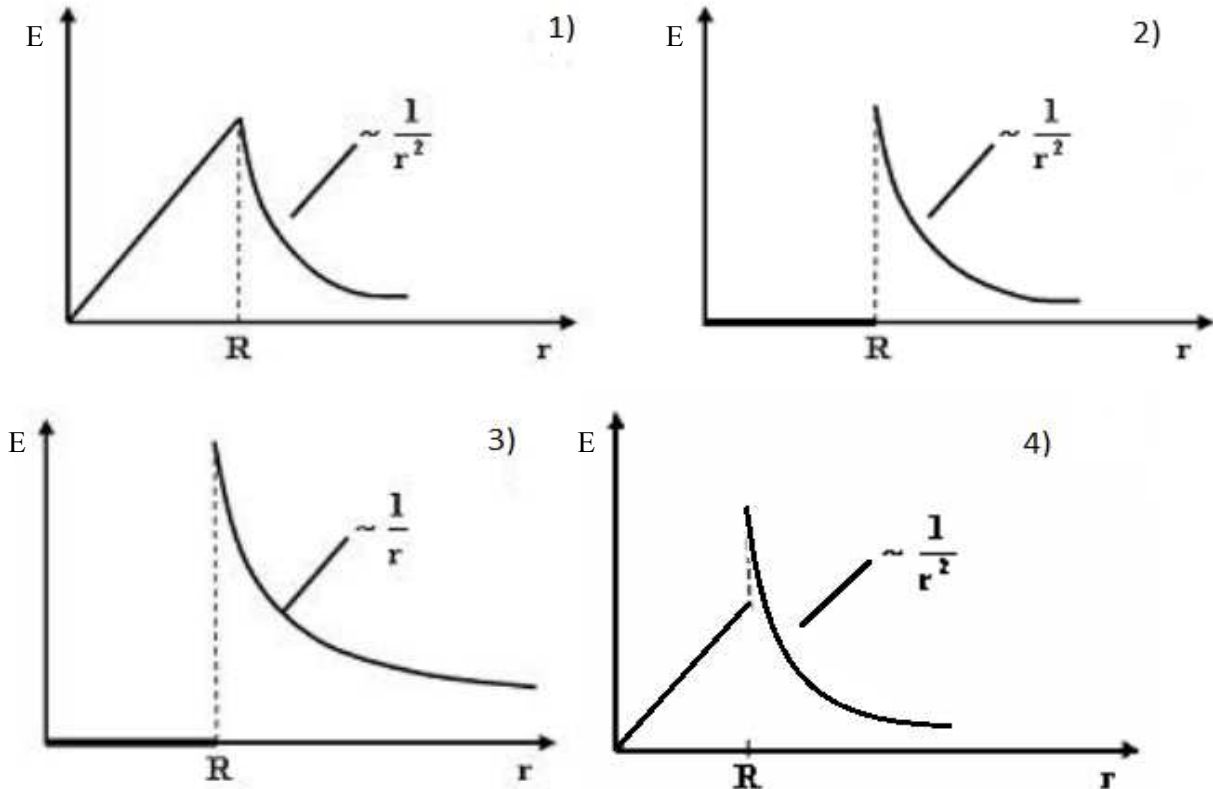


График зависимости  $E(r)$  для заряженной металлической сферы радиусом  $R$  показан на рисунке:

- 1) 1;            2) 3;            3) 2;            4) 4.

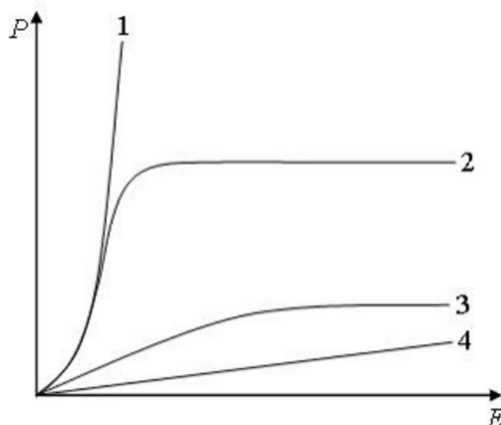
Решение

Напряженность поля внутри заряженной металлической сферы равна нулю, вне сферы убывает с расстоянием  $r$  по такому же закону, как для точечного заряда. Таким образом, график зависимости  $E(r)$  для заряженной металлической сферы радиусом  $R$  показан на фрагменте 2.

Ответ: 3).

### Задание 3.8

На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости поляризованности  $P$  диэлектрика от напряженности внешнего электрического поля  $E$ .



Полярным диэлектрикам соответствует кривая:

- 1) 4;      2) 1;      3) 2;      4) 3.

Решение

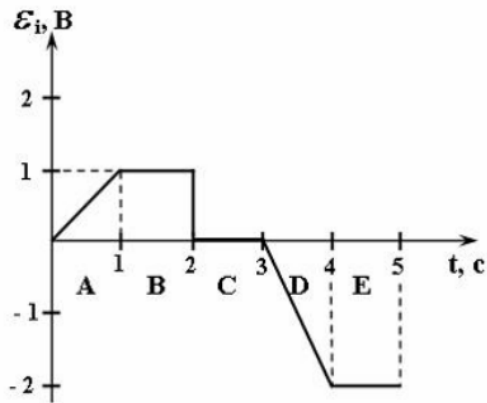
К полярным относятся диэлектрики, молекулы (атомы) которых обладают отличным от нуля дипольным моментом в отсутствие внешнего электрического поля. Однако в результате теплового движения молекул векторы их дипольных моментов ориентированы беспорядочно, и поляризованность  $= 0$ . При внесении полярного диэлектрика во внешнее электрическое поле наблюдается ориентационная поляризация: внешнее электрическое поле стремится ориентировать дипольные моменты полярных молекул по направлению вектора напряженности поля. Этому препятствует хаотическое тепловое движение молекул. В итоге совместного действия поля и теплового движения молекул имеет место преимущественная ориентация дипольных моментов в направлении поля, возрастающая с увеличением напряженности поля (и уменьшением температуры). В очень сильном электрическом поле (и при достаточно низкой температуре) дипольные моменты всех молекул располагаются практически параллельно полю. При этом поляризованность полярного диэлектрика достигает максимального значения (но существенно меньшего по сравнению с сегнетоэлектриками). Все указанные особенности поляризованности полярных диэлектриков отражает кривая 3.

Ответ: 4).

### Задание 3.9

На рисунке представлена зависимость ЭДС индукции в контуре от времени. Магнитный поток сквозь площадку, ограниченную контуром, уменьшается со временем по линейному закону в интервале

- 1) E;      2) B;      3) A;      4) D;      5) C.



Решение

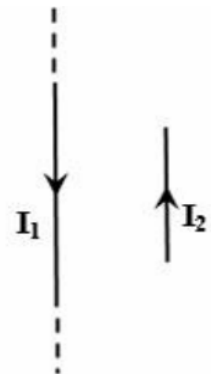
В соответствии с законом Фарадея для электромагнитной индукции электродвижущая сила индукции в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром:  $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ . Следовательно, если магнитный поток уменьшается со временем по линейному закону, то ЭДС индукции будет равна положительной постоянной величине, что имеет место в интервале В.

Ответ: 2).

### Задание 3.10

Поле создано прямолинейным длинным проводником с током  $I_1$ . Если отрезок проводника с током  $I_2$  расположен в одной плоскости с длинным проводником так, как показано на рисунке, то сила Ампера, действующая на отрезок проводника с током  $I_2$ :

- 1) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «к нам»;
- 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;
- 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «от нас»;
- 4) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо.



Решение

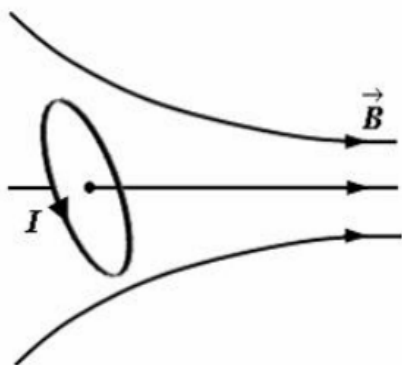
На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера. В данном случае магнитное поле создается прямолинейным длинным

проводником с током  $I_1$ . В соответствии с правилом правого винта (буравчика) вектор магнитной индукции в месте расположения отрезка проводника с током  $I_2$  направлен перпендикулярно плоскости чертежа «к нам». В случае прямолинейного отрезка проводника с током в перпендикулярном проводнику магнитном поле для нахождения направления силы Ампера необходимо воспользоваться правилом левой руки, согласно которому сила Ампера лежит в плоскости чертежа и направлена вправо.

Ответ: 4).

### Задание 3.11

Небольшой контур с током  $I$  помещен в неоднородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Плоскость контура перпендикулярна плоскости чертежа, но не перпендикулярна линиям индукции. Под действием поля контур повернется:



- 1) против часовой стрелки и сместится влево;
- 2) по часовой стрелке и сместится вправо;
- 3) против часовой стрелки и сместится вправо;
- 4) по часовой стрелке и сместится влево.

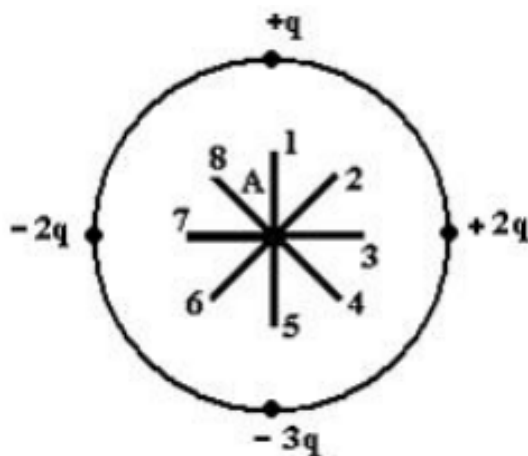
### Решение

На контур с током в однородном магнитном поле действует вращающий момент  $\vec{M} = [\vec{p}_m; \vec{B}]$ , (где  $\vec{p}_m$  – магнитный момент контура с током, а  $\vec{B}$  – вектор магнитной индукции), стремящийся расположить контур таким образом, чтобы вектор его магнитного момента  $\vec{p}_m$  был сонаправлен с вектором магнитной индукции  $\vec{B}$  поля. Если контур с током находится в неоднородном магнитном поле, то на него действует еще и результирующая сила, под действием которой незакрепленный контур втягивается в область более сильного поля, если угол между векторами  $\vec{p}_m$  и  $\vec{B}$  острый ( $\alpha < 90$ ). В соответствии с этим контур повернется по часовой стрелке и сместится вправо.

Ответ: 2).

### Задание 3.12

Электростатическое поле создано системой точечных зарядов.



Вектор напряженности  $\vec{E}$  поля в точке А направлен вдоль  
 1) 1;    2) 2;    3) 3;    4) 4;    5) 5;    6) 6.

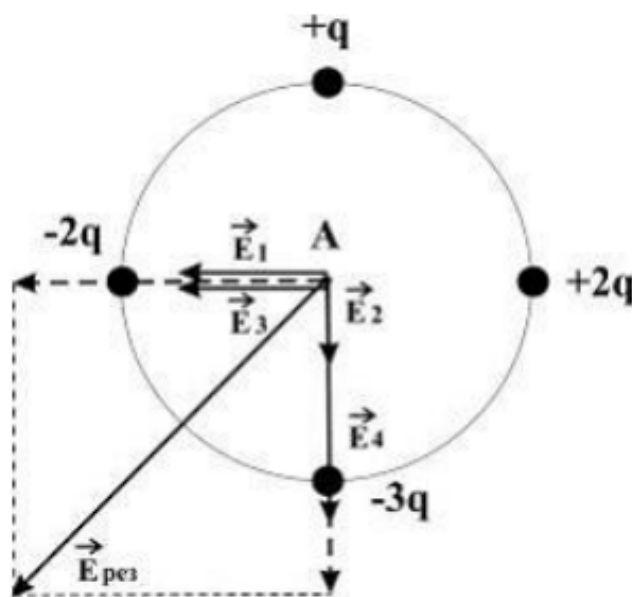
Решение

Согласно принципу суперпозиции полей напряженность в точке А равна  $\vec{E}_{\text{рез}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$ , где  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \vec{E}_4$  – векторы напряженности полей, создаваемых точечными зарядами  $-2q, +q, +2q, -3q$  в рассматриваемой точке соответственно. На рисунке показаны направления этих векторов.

Величина напряженности поля точечного заряда определяется по формуле  $E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ , где

$\epsilon_0$  электрическая постоянная, а  $r$  – расстояние от заряда до точки. Учитывая величины зарядов и то, что точка А одинаково удалена от каждого заряда, можно сделать вывод, что  $\vec{E}_{\text{рез}}$  образует диагональ квадрата со стороной  $2E_1$ . Таким образом, вектор напряженности  $\vec{E}$  поля в точке А ориентирован в направлении 6.

Ответ: 6).



#### 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

##### Задание 4.1

Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,45 \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{8}\right)$ . Максимальное значение ускорения точки равно

- 1)  $\frac{2\pi}{3}$  м/с<sup>2</sup>;      2)  $0,6 \pi$  м/с<sup>2</sup>;      3)  $0,2 \pi^2$  м/с<sup>2</sup>;      4)  $4 \pi^2$  м/с<sup>2</sup>.

Решение

Найдем скорость точки как производную  $v = \frac{dx}{dt} = -0,45 \cdot \frac{2\pi}{3} \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{8}\right)$ . Ускорение найдем как производную скорости  $w = \frac{dv}{dt} = -0,45 \left(\frac{2\pi}{3}\right)^2 \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{8}\right)$ . Из последнего выражения максимальное значение ускорения – это амплитуда ускорения  $w_{\max} = 0,45 \left(\frac{2\pi}{3}\right)^2 = 0,2\pi^2$  м/с<sup>2</sup>.

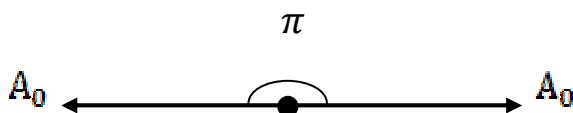
Ответ: 3).

##### Задание 4.2

Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \pi$  амплитуда результирующего колебания равна

- 1)  $A_0\sqrt{2}$ ;      2) 0;      3)  $2A_0$ ;      4)  $A_0\sqrt{3}$ .

Решение



Воспользуемся векторным способом сложения колебаний. Из рисунка видно, что амплитуда результирующего колебания равна нулю.

Ответ: 2).

##### Задание 4.3

Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси ОХ, имеет вид  $\xi = 0,02 \sin 10^3 \left(t - \frac{x}{500}\right)$ . Длина волны равна

- 1) 1000м;      2) 3,14м;      3) 2м.



Решение

Перепишем исходное уравнение в виде  $\xi = 0,02 \sin\left(10^3 t - \frac{10^3 x}{500}\right) = 0,02 \sin(10^3 t - 2x)$ . Сравнивая с уравнением волны в каноническом виде  $\xi = \xi_m \sin(\omega t - kx)$ , приходим к выводу, что волновое число  $k = 2$ . В то же время известно, что  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , отсюда  $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{2} = \pi = 3,14$  м.

Ответ: 2).

#### Задание 4.4

Если уменьшить в 2 раза объемную плотность энергии при неизменной скорости распространения упругих волн, то плотность потока энергии:

- 1) останется неизменной;
- 2) уменьшится в 2 раза;
- 3) уменьшится в 4 раза.

Решение

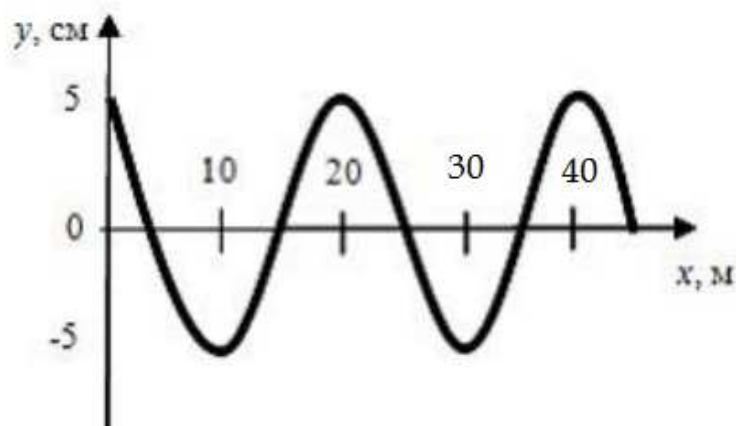
Плотность потока энергии  $\mathbf{s} = \mathbf{w} \cdot \mathbf{v}$ , где  $\mathbf{w}$  – объемная плотность энергии, а  $\mathbf{v}$  – скорость волны. Отсюда следует, что плотность потока энергии  $\mathbf{s}$  тоже уменьшится в 2 раза.

Ответ: 2).

#### Задание 4.5

На рисунке представлен профиль поперечной упругой бегущей волны. Согласно рисунку значение волнового числа ( $\text{м}^{-1}$ ) равно

- 1) 0,628;      2) 0,314;      3) 1,256;      4) 2,512.



Решение

Волновое число  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , где  $\lambda$  – длина волны, величину которой можно найти из графика:  $\lambda = 20$  м. Следовательно,  $k = \frac{2\pi}{20} = 0,314 \text{ м}^{-1}$ .

Ответ: 2).

#### Задание 4.6

Если увеличить в 2 раза амплитуду волны и при этом увеличить в 4 раза скорость распространения волны (например, при переходе из одной среды в другую), то плотность потока энергии увеличится в \_\_\_\_\_ раз(-а).

- 1) 4;      2) 2;      3) 16.

Решение

Плотность потока энергии, то есть количество энергии, переносимой волной за единицу времени через единицу площади площадки, расположенной перпендикулярно направлению переноса энергии, равна  $U = wv$ , где  $w$  – объемная плотность энергии;  $v$  – скорость переноса энергии волной (для синусоидальной волны эта скорость равна фазовой скорости). Среднее значение объемной плотности энергии равно:  $\langle w \rangle = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2$ , где  $A$  – амплитуда волны,  $\omega$  – частота. Следовательно, плотность потока энергии увеличится в 16 раз.

Ответ: 3).

#### Задание 4.7

В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности  $L=10$  Гн, конденсатора  $C = 10$  мкФ и сопротивления  $R = 10$  Ом, время релаксации в секундах равно:

- 1) 8;      2) 5;      3) 2.

Решение

Коэффициент затухания равен  $\beta = \frac{R}{2L}$ . Время релаксации  $\tau$  – это время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  ( $\sim 2,7$ ) раз.  $\tau = \frac{1}{\beta} = \frac{2L}{R} = 2$  с.

Ответ: 3).

### Задание 4.8

Если в электромагнитной волне, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n = 2$ , значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно равны  $E = 750$  В/м,  $H = 1$  А/м, то объемная плотность энергии составляет \_\_\_\_\_ мкДж/м<sup>3</sup>:

- 1) 125;    2) 50;    3) 5;    4) 55.

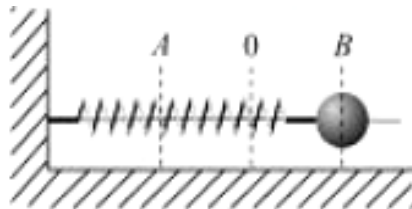
Решение

Плотность потока энергии электромагнитной волны (вектор Умова – Пойнтинга) равна:  $S = EH \sin 90^\circ = 750$  Дж/(м<sup>2</sup>с). Так же  $S = wv$ , где  $w$  – объемная плотность энергии,  $v = \frac{c}{n}$  – скорость электромагнитной волны в среде,  $c$  – скорость электромагнитной волны в вакууме,  $n$  – показатель преломления. Следовательно,  $w = \frac{EH}{v} = \frac{EHn}{c} = \frac{750 \cdot 2}{3 \cdot 10^8} = 5 \cdot 10^{-6}$  Дж/м<sup>3</sup> = 5 мкДж/м<sup>3</sup>.

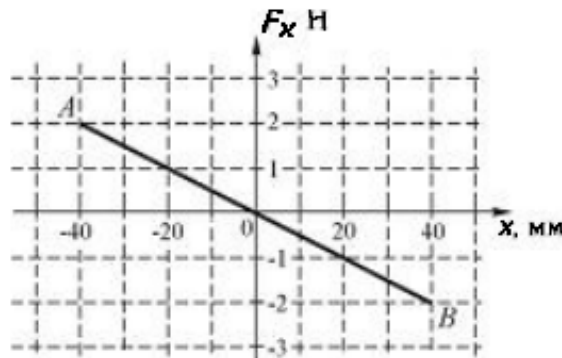
Ответ: 3).

### Задание 4.9

Шарик, прикрепленный к пружине и насаженный на горизонтальную направляющую, совершает гармонические колебания.



На графике представлена зависимость проекции силы упругости пружины на ось X от координаты шарика.



Работа силы упругости при смещении шарика из положения O в положение B (мДж) составляет:

- 1) 40;      2) -40;      3) 80;      4) -80.

Решение

Работу силы упругости можно найти, определив площадь под графиком функции на участке ОВ.  $A_{OB} = \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{2} = 40$  мДж. Работа отрицательна, так как шарик движется против силы упругости.

Ответ: 2).

#### Задание 4.10

В упругой среде плотности  $\rho$  распространяется плоская синусоидальная волна с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ . При переходе волны в другую среду, плотность которой в 4 раза меньше, амплитуду увеличивают в 4 раза, тогда объемная плотность энергии, переносимой волной, увеличится в \_\_\_\_\_ раз(-а)

- 1) 4;      2) 8;      3) 2.

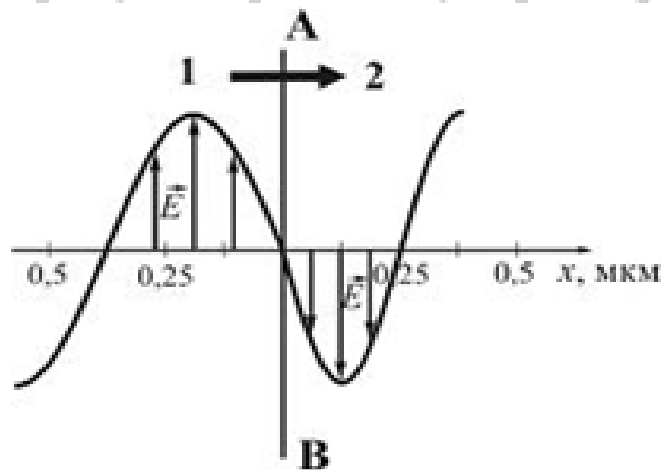
Решение

Среднее значение объемной плотности энергии равно:  $w = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2$ . За счет уменьшения плотности среды объемная плотность энергии уменьшится в 4 раза, а за счет увеличения амплитуды увеличится в 16 раз, следовательно, объемная плотность энергии увеличится в 4 раза.

Ответ: 1).

#### Задание 4.11

На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ.



Относительный показатель преломления  $n_{21}$  двух сред равен

- 1) 1,50;    2) 1,33;    3) 0,67;    4) 0,84.

Решение

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:  $n_{21} = n_2/n_1$ , где  $n_1 = c/v_1$  и  $n_2 = c/v_2$  – абсолютные показатели преломления среды 1 и среды 2, равные отношению скорости  $c$  электромагнитной волны в вакууме к фазовым скоростям  $v_1$  и  $v_2$  в этих средах. Следовательно,  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ . Скорость волны  $v = \lambda\nu$ , где  $\nu$  – частота;  $\lambda$  – длина волны, которую можно определить, используя рисунок. Тогда при условии  $\nu_1 = \nu_2$  (при переходе электромагнитной волны из среды 1 в среду 2 частота не меняется) относительный показатель преломления равен:  $n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{0,375 \cdot 2}{0,25 \cdot 2} = 1,5$ .

Ответ: 1).

#### Задание 4.12

Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме имеет вид:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV$$

$$\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Система преобразуется в систему уравнений:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = 0, \quad \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = q$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = I, \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

при условии, что

- 1)  $\vec{B} \neq \text{const}, \vec{E} \neq \text{const};$
- 2)  $\vec{E} \neq \text{const};$
- 3)  $\vec{B} \neq \text{const};$
- 4)  $\vec{B} = \text{const}, \vec{E} = \text{const}.$

Решение

Из сопоставления второй системы с первой следует, что  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$   
и  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = 0$ , то есть магнитное и электрическое поля стационарны:

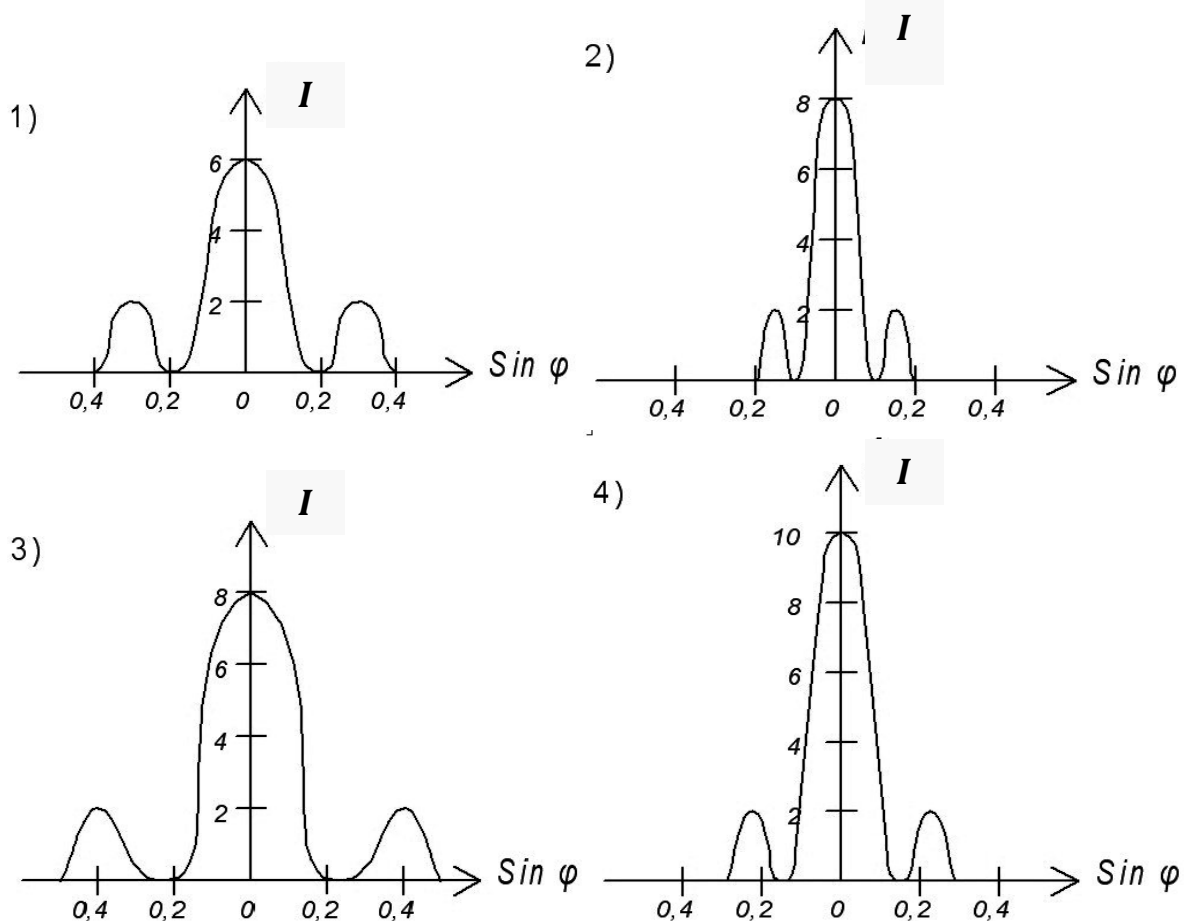
$\vec{B} = \text{const}$  и  $\vec{E} = \text{const}$ . В этом случае электрическое и магнитное поля независимы друг от друга.

Ответ : 4).

## 5. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

### Задание 5.1

Имеются 4 решетки с различными периодами  $d$ , освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением различной интенсивности. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой с наименьшей постоянной решетки? ( $I$  – интенсивность света,  $\varphi$  – угол дифракции).



Решение

Воспользуемся условием главных максимумов для дифракционной решетки  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$ , где  $d$  – период дифракционной решетки;  $\varphi$  – угол, под которым максимум того или иного порядка;  $m = 1, 2, 3 \dots$  – порядок максимума;  $\lambda$  – длина волны. Из этого условия следует, что для наименьшей постоянной решетки при той же  $\lambda$  угол направления на 1-й максимум увеличивается. Этому соответствует рис. 3.

Ответ: 3).

### Задание 5.2

При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Если угол падения  $60^\circ$ , то угол преломления равен:

- 1)  $90^\circ$ ;      2)  $30^\circ$ ;      3)  $60^\circ$ ;      4)  $45^\circ$ .

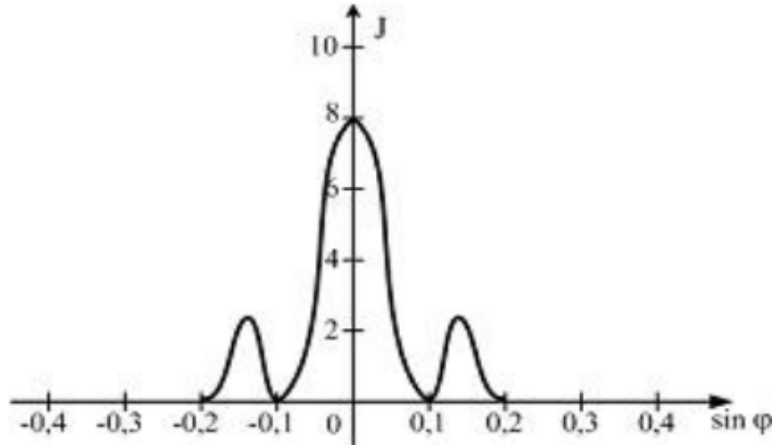
Решение

Согласно закону Брюстера отраженный луч будет полностью поляризован, если тангенс угла падения равен показателю преломления второй среды относительно первой  $\operatorname{tg}\theta_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1}$ . При этом отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны. Если угол падения  $60^\circ$ , то угол преломления  $\alpha = 180 - 60 - 90 = 30^\circ$ .

Ответ: 2).

### Задание 5.3

Зависимость интенсивности монохроматического излучения от синуса угла дифракции представлена на рисунке. Дифракция наблюдается на щели шириной  $b = 5$  мкм. Длина волны излучения (нм) равна:



- 1) 300;      2) 400;      3) 500;      4) 600.

Решение

Условие минимумов для дифракции на щели имеет вид  $b \sin \varphi = \pm k\lambda$ , где  $b$  – ширина щели;  $\varphi$  – угол дифракции;  $k$  – порядок минимума;  $\lambda$  – длина световой волны. Отсюда длина волны равна

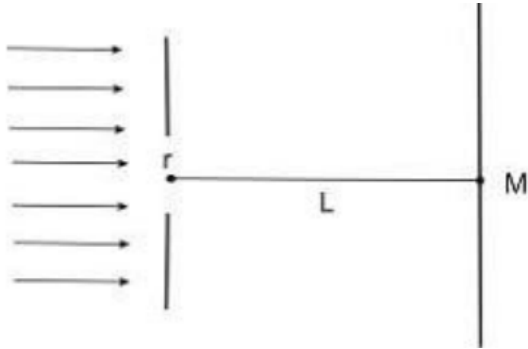
$$\lambda = \frac{b \cdot \sin \varphi}{k} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1}{1} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 500 \text{ нм.}$$

Ответ: 3).



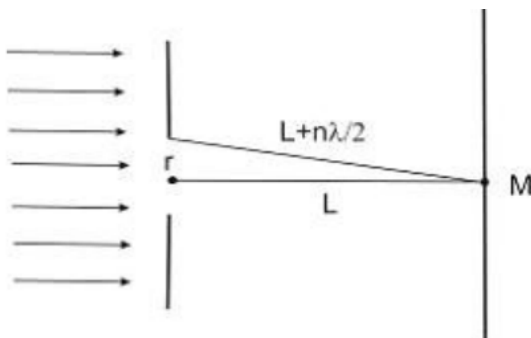
### Задание 5.4

На диафрагму с круглым отверстием радиусом 2 мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 2 м помещают экран. В отверстии диафрагмы для точки М укладываются \_\_\_\_\_ зона(-ы) Френеля



- 1) 2;                      2) 4;                      3) 6;                      4) 8.

Решение



Определим, сколько зон Френеля укладываются в отверстии диафрагмы радиуса  $r$  для точки М, лежащей против середины отверстия. Расстояния от краев соседних зон Френеля до точки наблюдения М должны отличаться на  $\frac{\lambda}{2}$ . Следовательно, расстояние от точки М до крайней точки отверстия будет равно  $L + n\frac{\lambda}{2}$ , где  $L$  – расстояние от диафрагмы до экрана;  $n$  – число зон Френеля, укладываемых в отверстии;  $\lambda$  – длина волны света. Воспользуемся теоремой Пифагора:  $r^2 = \left(L + n\frac{\lambda}{2}\right)^2 - L^2 = Ln\lambda + n^2\frac{\lambda^2}{4}$ . Учтем, что  $\lambda^2$  – величина второго порядка малости по сравнению с  $\lambda$  и при не слишком больших  $n$  слагаемым  $n^2\frac{\lambda^2}{4}$  можно пренебречь. Тогда  $n = \frac{r^2}{L\lambda} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = 4$ . В отверстии диафрагмы укладываются 4 зоны Френеля.

Ответ: 2).

### Задание 5.5

При наблюдении интерференции фиолетового света в опыте Юнга расстояние между соседними темными полосами на экране равно 2 мм. Если источник фиолетового света заменить источником красного света, длина волны которого в 2 раза больше, то это расстояние станет равным \_\_\_\_\_ мм.

- 1) 1,3;      2) 3;      3) 2,5;      4) 4.

Решение

В опыте Юнга расстояние между соседними темными полосами (минимумами), называемое шириной интерференционной полосы, равно  $\Delta x_{\phi} = \frac{l}{d} \lambda_{\phi}$ , где  $l$  – расстояние от щелей (когерентных источников света) до экрана;  $d$  – расстояние между щелями;  $\lambda_{\phi}$  – длина волны света. Поскольку расстояние до экрана и расстояние между источниками не меняются, а увеличивается длина световой волны, то  $\Delta x_{\kappa} = 2 \cdot \Delta x_{\phi} = 4$  мм.

Ответ: 4).

## 6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА

### Задание 6.1

Энергетическая светимость абсолютно черного тела возросла в 16 раз. Во сколько раз следует в этом случае изменить термодинамическую температуру тела?

- 1) увеличить в 2 раза;
- 2) уменьшить в 2 раза;
- 3) увеличить в 4 раза;
- 4) уменьшить в 4 раза.

Решение

Энергетическая светимость абсолютно черного тела согласно закону Стефана – Больцмана

$$R = \sigma T^4,$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – постоянная Стефана – Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура.

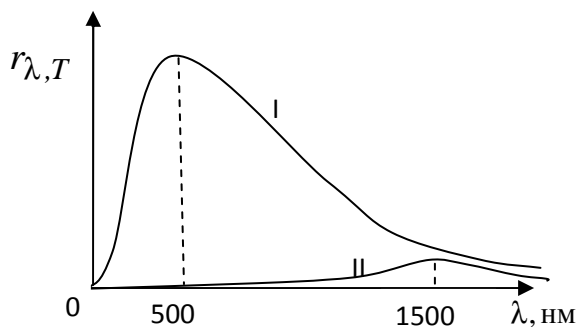
Увеличение энергетической светимости в 16 раз связано с увеличением температуры тела. Следовательно,

$$R_2/R_1 = (T_2/T_1)^4 = 16 = 2^4; \quad T_2/T_1 = 2.$$

Ответ: 1).

### Задание 6.2

На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины



волны при разных температурах. Если кривая II соответствует спектру излучения абсолютно черного тела при температуре 1500 К, то кривая I соответствует температуре:

- 1) 6000 К;
- 2) 4500 К;
- 3) 3000 К;
- 4) 1500 К.

Решение

Длина волны, соответствующая максимуму плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, согласно закону смещения Вина обратно пропорциональна его термодинамической температуре

$$\lambda_{\max} = b/T,$$

где  $b$  – постоянная Вина. Отношение длин волн, соответствующих максимуму спектральной плотности энергетической светимости кривых I и II,

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{b \cdot T_2}{T_1 \cdot b} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Отсюда  $T_1 = T_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ ;  $T_1 = 1500 \frac{1500}{500} = 4500 \text{ К}$ .

Ответ: 2).

### Задание 6.3

Поток света падает нормально в первом случае на зеркальную поверхность, а во втором – на абсолютно черную. Отношение давления света на первую и вторую поверхности равно:

- 1)  $1/4$ ;    2)  $1/2$ ;    3) 2;    4) 4.

Решение

Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность пластинки

$$p = \frac{I}{c}(1 + \rho),$$

где  $I$  – энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности за единицу времени (облученность поверхности),  $c$  – скорость света;  $\rho$  – коэффициент отражения света.

Для зеркальной поверхности  $\rho = 1$  и световое давление

$$p_1 = 2I/c.$$

Для абсолютно черной поверхности  $\rho = 0$  и световое давление

$$p_2 = I/c.$$

Следовательно, отношение давления света на первую и вторую поверхности

$$\frac{p_1}{p_2} = 2.$$

Ответ: 3).

#### Задание 6.4

Импульс первого фотона в два раза больше импульса второго. Отношение энергии первого фотона к энергии второго равно

1) 2;    2) 4;    3) 8;    4) 16.

Решение

Энергия фотона  $\varepsilon$  и его импульс  $p$  для соответствующей ему волны частотой  $\nu$  или длиной  $\lambda$  определяются по формулам

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \quad p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}; \quad \varepsilon = pc.$$

Если импульс первого фотона в два раза больше импульса второго, то его энергия, как видно из формул, также будет в два раза больше.

Ответ: 1).

#### Задание 6.5

На катод вакуумного фотоэлемента падает свет с энергией 12 эВ. Если фототок прекращается при подаче на фотоэлемент задерживающего напряжения 6 В, то работа выхода электронов с катода равна

1) 2,4 эВ;    2) 2 эВ;    3) 4,6 эВ;    4) 6 эВ.

Решение

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{\text{max}}^2}{2},$$

где  $\varepsilon = h\omega$  – энергия фотона;  $A_{\text{вых}}$  – работа выхода электрона с поверхности материала фотоэлемента;  $\frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$  – кинетическая энергия электрона, вырванного с поверхности вещества под действием света.

Кинетическая энергия электрона при фотоэффекте связана с задерживающим напряжением соотношением

$$eU_3 = \frac{mV_{\text{max}}^2}{2}.$$

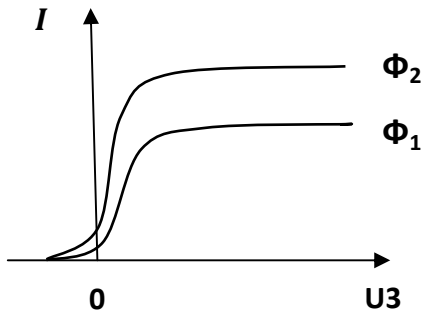
Следовательно, численное значение кинетической энергии 6 эВ и работа выхода электронов

$$A_{\text{вых}} = \varepsilon - \frac{mV_{\text{max}}^2}{2} = 12 \text{ эВ} - 6 \text{ эВ} = 6 \text{ эВ}.$$

Ответ: 4)

### Задание 6.6

На рисунке приведены вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента для двух световых потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Определить условия, при которых проводились измерения.



1)  $\lambda_1 = \lambda_2; \Phi_1 > \Phi_2;$

2)  $\lambda_1 > \lambda_2; \Phi_1 = \Phi_2;$

3)  $\lambda_1 = \lambda_2; \Phi_1 < \Phi_2;$

4)  $\lambda_1 < \lambda_2; \Phi_1 = \Phi_2.$

### Решение

Приведенные на рисунке вольт-амперные характеристики отличаются друг от друга величиной тока насыщения. Величина тока насыщения определяется числом выбитых за 1 секунду электронов, которое пропорционально числу падающих на катод фотонов, то есть величине светового потока. Следовательно,  $\Phi_2 > \Phi_1$ . Задерживающее напряжение одинаково для обеих кривых. Величина задерживающего напряжения определяется максимальной скоростью фотоэлектронов:  $\frac{mV_{\max}^2}{2} = eU_3$ . Тогда уравнение Эйнштейна можно представить в виде

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + eU_3.$$

Поскольку  $U_{з1} = U_{з2}$ , кинетическая энергия электронов одинакова, а значит, и длины волн падающего на фотокатод света будут одинаковы, то есть  $\lambda_1 = \lambda_2$ .

Ответ: 1).

### Задание 6.7

Красная граница фотоэффекта приходится на голубой свет. Фотоэффект будет наблюдаться при освещении катода светом:

1) фиолетовым; 2) любым; 3) зеленым; 4) красным.

### Решение

Согласно определению красная граница фотоэффекта – это характерная минимальная частота света  $\omega_0$  (или максимальная длина волны  $\lambda_0$ ), при которой еще возможен фотоэффект. По шкале элек-

ромагнитных волн с увеличением частоты цвета расположатся следующим образом: красный, зеленый, голубой, фиолетовый. Следовательно, только фиолетовый свет будет иметь частоту больше, чем частота голубого света, соответствующая красной границе фотоэффекта в данном случае.

Ответ: 1).

### Задание 6.8

При комптоновском рассеянии изменяется длина волны падающего излучения. Величина изменения  $\Delta\lambda$  зависит:

- 1) от свойств рассеивающего вещества;
- 2) длины волны падающего фотона;
- 3) угла рассеяния излучения.

Решение

Изменение длины волны  $\Delta\lambda$  излучения при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_0c} (1 - \cos\theta),$$

где  $m_0$  – масса покоя частицы отдачи;  $c$  – скорость света;  $\lambda$  и  $\lambda'$  – длины волн излучения до и после рассеяния;  $\theta$  – угол рассеяния.

Ответ: 3).

### Задание 6.9

В теории Бора радиус  $n$ -й круговой орбиты электрона в атоме водорода выражается через радиус первой орбиты формулой  $r_n = r_1 \cdot n^2$ . Определите, как изменяется кинетическая энергия электрона при переходе со второй орбиты на первую:

- 1) увеличивается в 4 раза;
- 2) уменьшается в 4 раза;
- 3) увеличивается в 2 раза;
- 4) уменьшается в 2 раза;
- 5) не меняется.

Решение

Согласно постулату Бора электрон в атоме водорода движется по стационарным орбитам, для которых выполняется условие

$$m_e V_n r_n = n\hbar, \quad (n = 1, 2, 3 \dots).$$

Импульс электрона  $p = m_e V_n = \frac{n\hbar}{r_n}$ .

Кинетическая энергия связана с импульсом соотношением

$$E_k = \frac{m_e V_n^2}{2} = \frac{p^2}{2m_e}.$$

Подставляя выражение для импульса, получим

$$E_k = \frac{n^2 \hbar^2}{2r_n^2 m_e}.$$

Кинетическая энергия электрона на первой боровской орбите ( $n=1$ )

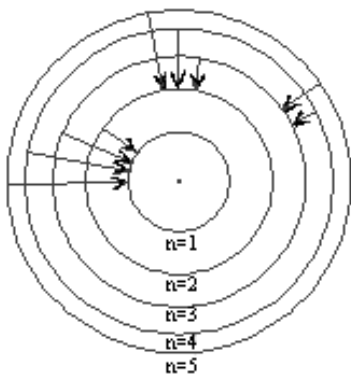
$$E_k = \frac{\hbar^2}{2r_1^2 m_e},$$

на второй ( $n=2$ )

$$E_k = \frac{4\hbar^2}{2 \cdot 16r_1^2 m_e} = \frac{\hbar^2}{2 \cdot 4r_1^2 m_e}.$$

Следовательно, при переходе со второй орбиты на первую кинетическая энергия электрона увеличивается в 4 раза.

Ответ: 1).



### Задание 6.10

Согласно модели Бора – Резерфорда электроны в атоме движутся по стационарным орбитам. При переходе электрона с одной орбиты на другую излучается или поглощается один фотон. В ультрафиолетовой области спектра такие переходы образуют серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной –

серию Пашена. Наименьшей частоте кванта в серии Бальмера соответствует переход:

- 1)  $n = 5 \rightarrow n = 3$ ;
- 2)  $n = 4 \rightarrow n = 2$ ;
- 3)  $n = 3 \rightarrow n = 2$ ;
- 4)  $n = 2 \rightarrow n = 1$ .

Решение

Согласно второму постулату Бора при переходе электрона в



атоме с одной стационарной орбиты на другую излучается один фотон с энергией

$$\varepsilon = E_{n_2} - E_{n_1},$$

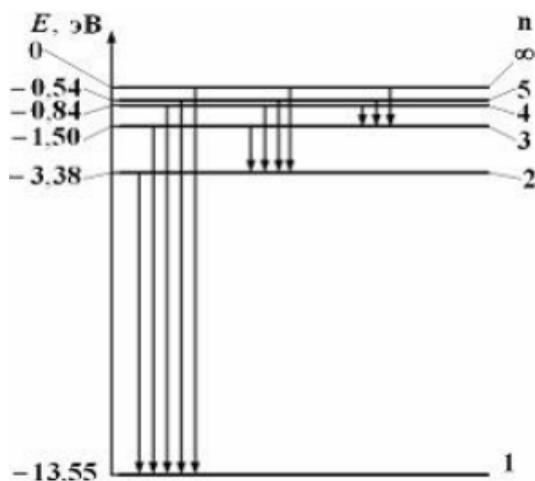
где  $E_{n_1}$  и  $E_{n_2}$  – энергии стационарных состояний атома до и после излучения;  $\varepsilon = \hbar\omega$  – энергия излученного фотона. Серия Бальмера наблюдается при переходе электрона на вторую ( $n = 2$ ) орбиту с любой вышерасположенной. Наименьшей частоте перехода соответствует наименьшая разница энергий стационарных состояний.

Следовательно, это переход  $n = 3 \rightarrow n = 2$ .

Ответ: 3).

### Задание 6.11

На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода.



Переход электрона с верхнего энергетического уровня на ниже-расположенный приводит к излучению электромагнитных волн. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы образуют серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена. Наибольшая длина волны спектральной линии (нм) серии Бальмера равна:

- 1) 122;    2) 92;    3) 661;    4) 368.

Решение

Энергия излучения, относящегося к видимой области спектра, должна быть меньше энергии ультрафиолетового излучения и больше инфракрасного. Следовательно, серию Бальмера образуют переходы с любого энергетического уровня в состояние с  $n = 2$ . Согласно второму постулату Бора длина волны связана с энергией перехода по формуле

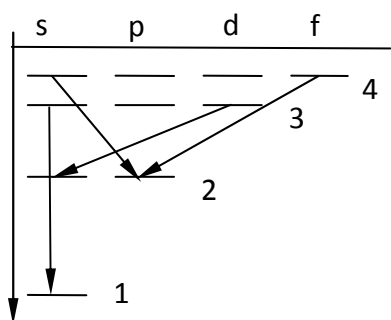
$\frac{hc}{\lambda} = E_2 - E_1$ . Линии спектра с наибольшей длиной волны соответствует наименьшая энергия перехода. В серии Бальмера это переход с третьего энергетического уровня на второй. Тогда

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(3,38 - 1,50)1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,61 \cdot 10^{-7} = 661 \text{ нм.}$$

Ответ: 3).

### Задание 6.12

При переходах электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода разрешенным является переход:



- 1)  $3d \rightarrow 1s$ ;
- 2)  $4s \rightarrow 2p$ ;
- 3)  $3s \rightarrow 1s$ ;
- 4)  $4f \rightarrow 2p$ .

### Решение

В атомной физике применяются условные обозначения состояний электрона с разными значениями момента импульса. Состояния определяются орбитальным квантовым числом  $l = 0, 1, 2, \dots$  и обозначаются соответственно  $s, p, d, f$  и т.д. Значение главного квантового числа указывается перед обозначением состояния. Например, электрон в состоянии с  $n = 3, l = 1$  обозначается символом  $3p$ . Схема уровней, соответствующих различным состояниям, приведена на рисунке. При переходах электрона с одного уровня на другой для орбитального квантового числа должно выполняться правило отбора:  $\Delta l = \pm 1$ . Этому условию не удовлетворяет переход  $4f \rightarrow 2p$ .

Ответ: 4)  $4f \rightarrow 2p$ .

### Задание 6.13

Согласно гипотезе де Бройля любая частица должна обладать волновыми свойствами, и ее импульс  $p$  связан с характерной для нее

длиной волны  $\lambda_B$  так же, как и для фотона,  $p = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$ . Если скорость частиц одинакова, то наибольшей длиной волны обладают:

- 1) нейтроны;
- 2) электроны;
- 3)  $\alpha$ - частицы;
- 4) протоны.

Решение

Из соотношения между импульсом частицы и длиной волны для длины волны де Бройля получим

$$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{p} = \frac{2\pi\hbar}{mv}.$$

Согласно формуле, наибольшей длиной волны обладает частица с наименьшей массой. Из перечисленных частиц наименьшей массой обладает электрон.

Ответ: 2).

#### Задание 6.14

Время жизни электронов в метастабильном состоянии около  $10^{-3}$  с. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ · с, ширина метастабильного уровня (эВ) будет не менее:

- 1)  $6,6 \cdot 10^{-19}$ ;
- 2)  $6,6 \cdot 10^{-15}$ ;
- 3)  $1,5 \cdot 10^{-13}$ ;
- 4)  $6,6 \cdot 10^{-13}$ .

Решение

При переходе атомов из возбужденного состояния в основное существует некоторый разброс (неопределенность) в энергии испускаемых фотонов. Это связано с тем, что энергетический уровень, соответствующий энергии возбужденного состояния, не является точно определенным, а имеет конечную ширину  $\Gamma$ . Согласно соотношению неопределенностей энергии и времени  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ , ширина  $\Gamma$  энергетического уровня возбужденного состояния связана со средним временем жизни атомов в этом состоянии  $\tau$  соотношением

$$\Gamma \cdot \tau \sim \hbar.$$

Тогда ширина энергетического уровня определяется выражением

$$\Gamma = \hbar/\tau.$$

Подставляя численные значения, получим

$$\Gamma = 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ эВ} \cdot \text{с} / 10^{-3} \text{ с} = 6,6 \cdot 10^{-13} \text{ эВ}.$$

Ответ: 4)  $6,6 \cdot 10^{-13}$  эВ.

### Задание 6.15

Оценить наименьшую ошибку, с которой можно определить скорость пылинки массой  $m=10^{-6}$  кг, если координаты ее можно установить с неопределенностью  $\Delta x = 1$  мкм.

- 1)  $1,05 \cdot 10^{-24}$ ; 2)  $1,05 \cdot 10^{-22}$ ; 3)  $1,05 \cdot 10^{-18}$ ; 4)  $1,05 \cdot 10^{-27}$ .

Решение

Согласно соотношению неопределенностей для координаты и импульса частицы  $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$ ,

где  $\Delta p$  – неопределенность проекции импульса частицы на ось  $x$ ,  $\Delta x$  – неопределенность ее координаты.

Неопределенность импульса представим в виде

$$\Delta p_x = \Delta(mV_x) = m\Delta V_x.$$

Тогда можно записать

$$\Delta x \cdot m\Delta V_x \geq \hbar.$$

Отсюда

$$\Delta V_x = \frac{\hbar}{m\Delta x} = \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{10^{-6} \cdot 10^{-6}} = 1,05 \cdot 10^{-22} \text{ м/с.}$$

Ответ: 2).

### Задание 6.16

Стационарным уравнением Шредингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение

1)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U_0)\psi = 0;$

2)  $\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}\right)\psi = 0;$

3)  $\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}\right)\psi = 0;$

4)  $\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0.$

Решение

Уравнение Шредингера для стационарных состояний в трехмерном случае

$$\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0,$$

где  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа;  $E$  – полная энергия частицы;  $U(x,y,z)$  – потенциальная энергия;  $\psi(x,y,z)$  – координатная (или амплитудная) часть волновой функции.

В случае линейного гармонического осциллятора потенциальная энергия  $U(r)$  имеет вид

$$U = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2},$$

где  $m$  – масса частицы, совершающей линейные гармонические колебания с собственной частотой  $\omega_0$ .

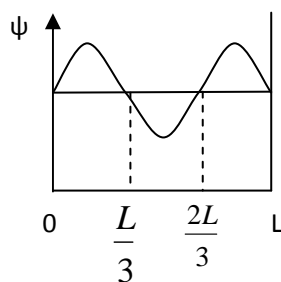
Следовательно, стационарным уравнением Шредингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

Ответ: 3).

### Задание 6.17

Вероятность обнаружить электрон на участке  $(a,b)$  одномерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками вычисляется по формуле  $W = \int_a^b \omega dx$ , где  $\omega$  – плотность вероятности, определяемая  $\psi$ -функцией. Если  $\psi$ -функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{L}{3} < x < \frac{2L}{3}$  равна:



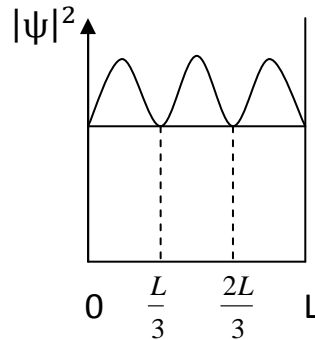
- 1)  $\frac{2}{3}$ ;
- 2)  $\frac{1}{2}$ ;
- 3)  $\frac{1}{6}$ ;
- 4)  $\frac{1}{3}$ .

### Решение

Вероятность обнаружить частицу в интервале  $(x_1, x_2)$  определяется из условия

$$W = \int_{x_1}^{x_2} |\psi_n(x)|^2 dx,$$

где  $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x$ ,  $n = 1, 2, 3 \dots$  – собственная волновая функция, соответствующая данному состоянию. График распределения вероятности для функции, заданной в условии задачи, будет иметь вид



Площадь под графиком есть полная вероятность того, что частица находится внутри потенциальной ямы, и, следовательно, равна единице. По графику легко подсчитать, что вероятность обнаружить частицу в интервале  $\frac{L}{3} < x < \frac{2L}{3}$  равна  $\frac{1}{6}$ .

Ответ: 3).

### Задание 6.18

Собственные функции электрона в атоме водорода  $\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)$  зависят от трех целочисленных параметров:  $n$  – главное квантовое число;  $l$  – орбитальное (азимутальное) квантовое число;  $m$  – магнитное квантовое число. Орбитальное квантовое число  $l$  определяет:

- 1) энергию электрона в атоме водорода;
- 2) величину орбитального момента импульса электрона;
- 3) проекцию орбитального момента импульса электрона на некоторое направление;
- 4) величину собственного момента импульса электрона.

Решение

Орбитальное (азимутальное) квантовое число  $l$  определяет величину орбитального момента импульса электрона:  $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$ .

Ответ: 2).

## 7. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

### Задание 7.1

Какая доля радиоактивных ядер останется нераспавшейся через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

- 1) 25 %; 2) 50 %; 3) 75 %; 4) 33 %.

Решение

Период полураспада  $T$  – промежуток времени, за который число нераспавшихся атомов уменьшается в два раза. В течение первого периода остается половина нераспавшихся атомов, в течение второго – половина от половины, то есть одна четвертая часть первоначального числа атомов. Следовательно, за время, равное двум периодам полураспада, останутся не распавшимися 25 % исходных радиоактивных ядер.

Ответ: 1).

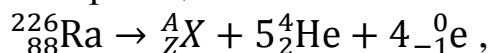
### Задание 7.2

В результате пяти  $\alpha$ -распадов и четырех  $\beta$ -распадов радий  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  превратился в новый элемент. Ядро этого элемента содержит:

- 1) 82 протона и 124 нейтрона;  
2) 74 протона и 152 нейтрона;  
3) 74 протона и 124 нейтрона;  
4) 82 протона и 152 нейтрона.

Решение

Запишем уравнение реакции



где массовое число  $A$  – число протонов и нейтронов в образовавшемся ядре  $X$ , а зарядовое число  $Z$  – число протонов.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел

$$A = 226 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 0 = 206; \quad Z = 88 - 5 \cdot 2 - 4(-1) = 82.$$

$$\text{Число нейтронов } N = A - Z = 206 - 82 = 124.$$

Ответ: 1).

### Задание 7.3

В результате соударения дейтрона  ${}^2_1\text{H}$  с ядром бериллия  ${}^9_4\text{Be}$  образовалось ядро бора  ${}^{10}_5\text{B}$  и еще одна частица. Определить, какая частица образовалась:

1)  $\alpha$ -частица; 2)  $\beta$ -частица; 3) протон; 4) нейтрон; 5)  $\gamma$ -квант.

Решение

Запишем уравнение реакции  ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} = {}^{10}_5\text{B} + {}^A_Z\text{X}$ . Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел  $A = 9 + 2 - 10 = 1$ ;  $Z = 4 + 1 - 5 = 0$ . Частица с массовым числом 1 и зарядовым числом 0 – нейтрон.

Ответ: 4).

#### Задание 7.4

При бомбардировке ядер азота  ${}^{14}_7\text{N}$  нейтронами образуется изотоп бора  ${}^{11}_5\text{B}$ . При этом испускается:

1) нейтрон; 2) протон; 3)  $\alpha$ -частица; 4) два протона.

Решение

Используя закон сохранения массового и зарядового числа, можно записать данную ядерную реакцию:  ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0n \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{X}$ . Следовательно, неизвестной частицей с массовым числом 4 и зарядовым числом 2 является  $\alpha$ -частица.

Ответ: 3).

#### Задание 7.5

Нуклоны – частицы, для которых верны следующие утверждения:

- 1) протон обладает зарядом, равным  $e^+$ ;
- 2) спин нейтрона меньше спина протона;
- 3) массы нуклонов практически одинаковы;
- 4) масса нуклона равна массе электрона.

Решение

В данном случае правильными будут два ответа: 1) протон обладает зарядом, равным  $e^+$ , и 3) массы нуклонов – протонов и нейтронов – практически одинаковы. Ответы 2) и 4) неверны, так как нуклоны имеют одинаковые по величине спины  $\frac{\hbar}{2}$  и масса нуклона значительно превышает массу электрона.

Ответ: 1) и 3).



### Задание 7.6

Сильное ядерное взаимодействие между нуклонами осуществляется по схеме

- 1)  $n \leftrightarrow n + \pi^+$ ;                      3)  $p \leftrightarrow n + \pi^-$ ;  
2)  $p \leftrightarrow n + \pi^+$ ;                      4)  $p \leftrightarrow p + \pi^-$ .

Решение

В примерах подобного типа всегда следует обращать внимание на законы сохранения, в данном случае – на закон сохранения заряда. Здесь он выполняется только во втором случае: положительно заряженный протон может образовываться при взаимодействии нейтрона с положительно заряженным  $\pi$ -мезоном.

Ответ: 2)  $p \leftrightarrow n + \pi^+$ .

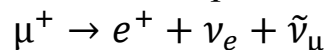
### Задание 7.7

Реакция  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu$  не может идти из-за нарушения закона сохранения:

- 1) спинового момента импульса;
- 2) лептонного заряда;
- 3) электрического заряда.

Решение

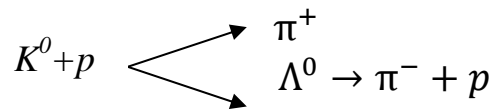
Все частицы, участвующие в реакции, относятся к классу лептонов. Все лептоны являются фермионами и имеют спин  $\hbar/2$ . Для объяснения особенностей протекания процессов с участием лептонов ( $\mu^-, e^-, \nu_e, \nu_\mu$ ) и антилептонов ( $\mu^+, e^+, \tilde{\nu}_e, \tilde{\nu}_\mu$ ) вводится квантовое число  $L$ , получившее название лептонного заряда (или лептонного числа). Для лептонов  $L = 1$ , для антилептонов  $L = -1$ , для всех остальных частиц  $L = 0$ . Во всех процессах должен выполняться закон сохранения лептонного заряда данной физической системы. В нашем случае выполняются закон сохранения электрического заряда и закон сохранения спинового момента импульса. Спины двух частиц могут быть направлены противоположно, их суммарный спин будет равен нулю, а спин третьей частицы – спину исходного  $\mu^+$ -мезона. Закон сохранения лептонного числа не выполняется:  $-1 \neq -1 + 1 + 1$ . Необходимо, чтобы одна из результирующих частиц была антилептоном. В данном случае, это мюонное антинейтрино



Ответ: 2).

### Задание 7.8

Взаимодействие  $K^0$ -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме



Если спин  $\pi$ -мезона  $S = 0$ , то характеристиками  $K^0$ -мезона будут

- 1)  $q = 0; S = 1/2;$
- 2)  $q = 0; S = 0;$
- 3)  $q > 0; S = 1/2;$

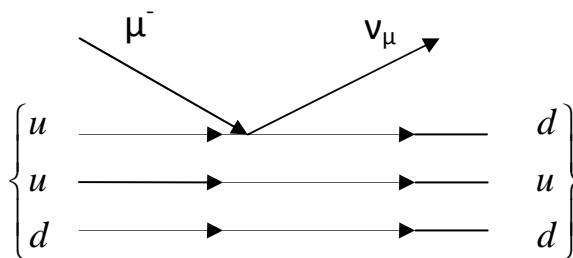
Решение

Будем использовать законы сохранения заряда и момента импульса. Протон обладает положительным зарядом и спином  $S = 1/2$ . Частица  $\Lambda^0$ , как видно из ее реакции распада, обладает нулевым зарядом и спином, равным спину протона, т.е.  $S = 1/2$ . Спин  $\pi$ -мезона  $S = 0$ . Следовательно,  $K^0$ -мезон будет иметь нулевой заряд и спин  $S = 0$ .

Ответ: 2).

### Задание 7.9

На рисунке показана кварковая диаграмма захвата нуклоном  $\mu^-$ -мезона



Эта диаграмма соответствует реакции:

- 1)  $\mu^- + n \rightarrow p + \nu_\mu;$
- 2)  $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu;$
- 3)  $\mu^- + n \rightarrow \tilde{n} + \nu_\mu;$
- 4)  $\mu^- + p \rightarrow \tilde{p} + \nu_\mu.$

Решение

Сначала поясним кварковую диаграмму захвата нуклоном  $\mu^-$ -мезона. Согласно теории Гелл-Манна и Цвейга все элементарные частицы построены из частиц, названных кварками. Барионы, к клас-

су которых принадлежат участвующие в реакции протон и нейтрон, состоят из трех кварков: протон –  $uud$ , нейтрон –  $udd$ . Следовательно, исходной частицей, захватившей  $\mu^-$ -мезон, будет протон, а результирующей – нейтрон и мезонное нейтрино  $\nu_\mu$ .

Далее следует проверить выполнение закона сохранения заряда для реакций, приведенных в ответе. В ответах 3) и 4) встречаются такие частицы, как антипротон  $\bar{p}$  и антинейтрон  $\bar{n}$ . Антипротон отличается от протона знаком электрического заряда (он заряжен отрицательно) и собственного магнитного момента. Антинейтрон, как и нейтрон, не имеет заряда. Он отличается от нейтрона направлением собственного магнитного момента. У антинейтрона направление магнитного момента совпадает с направлением механического момента, а у нейтрона они направлены противоположно. Проанализировав приведенные ответы, нетрудно определить, что закон сохранения выполняется только во втором случае.

Ответ: 2)  $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ .

### Задание 7.10

Установите соответствие между характерным временем взаимодействия и видом фундаментального взаимодействия.

- |                  |                      |
|------------------|----------------------|
| 1) $10^{-20}$ с; | а) сильное;          |
| 2) $10^{-23}$ с; | б) слабое;           |
| 3) $10^{-13}$ с; | в) электромагнитное; |
|                  | г) гравитационное.   |

### Решение

Характерным временем взаимодействия можно назвать минимальное время жизни частиц, подверженных распадам в результате данного взаимодействия. Время сильного взаимодействия составляет величину  $10^{-23}$  с, электромагнитного –  $10^{-20}$  с и слабого –  $10^{-13}$  с.

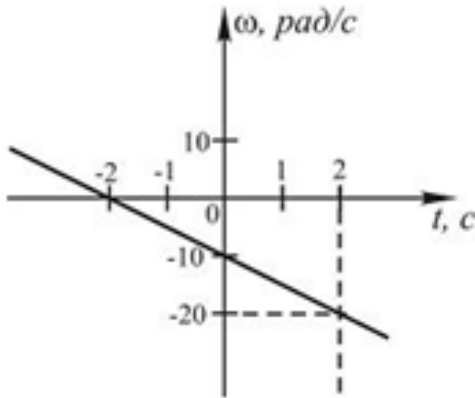
Ответ: 1-в, 2-а, 3-б.

## ТЕСТЫ С ОТВЕТАМИ\*

### 1. МЕХАНИКА

#### Вариант 1

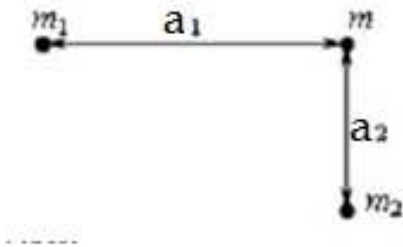
1. Тело вращается вокруг неподвижной оси. Зависимость угловой скорости от времени  $\omega(t)$  приведена на рисунке.



Тангенциальное ускорение точки, находящейся на расстоянии 1 м от оси вращения, равно:

- 1)  $0,5 \text{ м/с}^2$ ;
- 2)  $-0,5 \text{ м/с}^2$ ;
- 3)  $5 \text{ м/с}^2$ ;
- 4)  $-10 \text{ м/с}^2$ .

2. Если точечная масса  $m$  находится в вершине прямого угла прямоугольного треугольника с катетами  $a_1$  и  $a_2$ , то сила, действующая на нее со стороны точечных масс  $m_1$  и  $m_2$ , расположенных в вершинах острых углов этого треугольника, равна



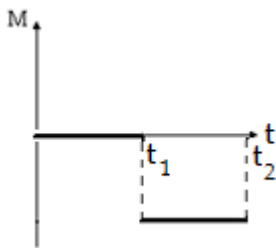
- 1)  $F = Gm \left( \frac{m_1}{a_1^2} + \frac{m_2}{a_2^2} \right)$ ;
- 2)  $F = G \frac{m(m_1+m_2)}{a_1+a_2}$ ;

\* – см. с. 235

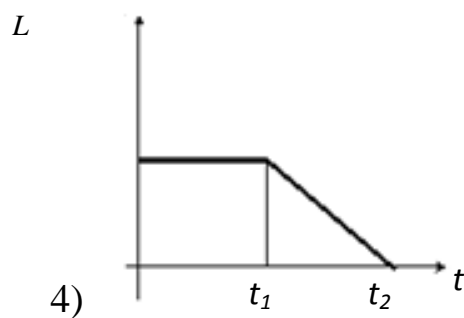
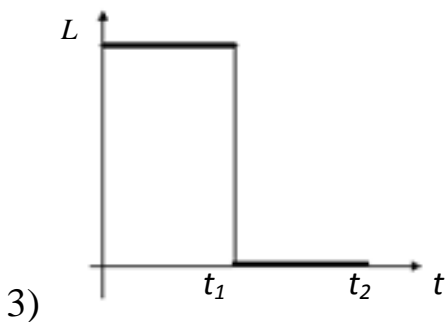
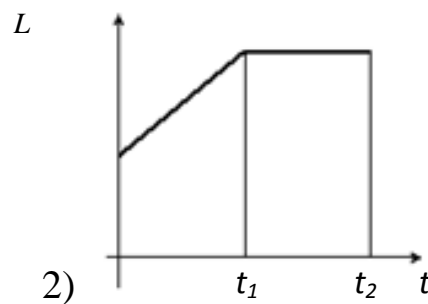
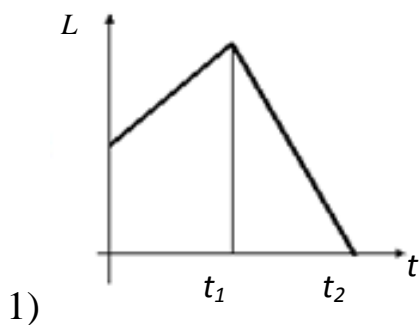
$$3) F = Gm \sqrt{\left(\frac{m_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{a_2}\right)^2};$$

$$4) F = G \frac{m(m_1+m_2)}{a_1^2+a_2^2}.$$

3. Диск вращается равномерно с некоторой угловой скоростью  $\omega$ . Начиная с момента времени  $t = 0$ , на него действует момент сил, график временной зависимости которого представлен на рисунке.



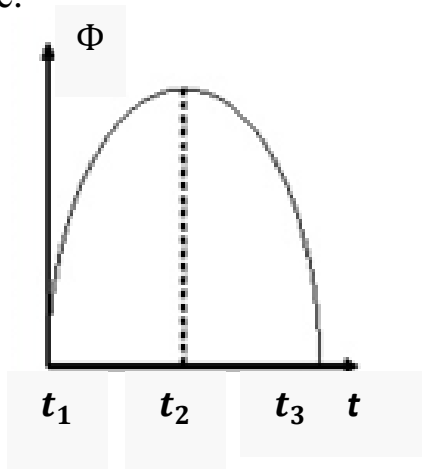
Укажите график, правильно отражающий зависимость момента импульса диска от времени.



4. На тело, брошенное под углом к горизонту, во время полета действует горизонтальная сила. Сопротивлением воздуха пренебречь. От величины этой силы зависит:

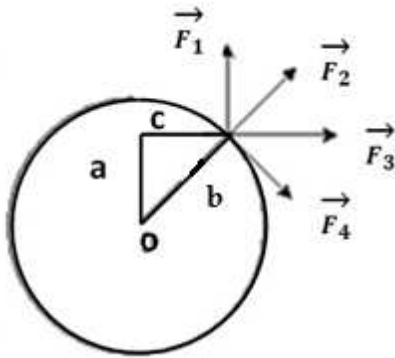
- 1) высота подъема;
- 2) время полета;
- 3) дальность полета.

5. Материальная точка вращается по окружности. Зависимость величины углового перемещения  $\Phi$  от времени  $t$  изображена на рисунке.



Угловая скорость  $\omega$  точки равна нулю в момент времени:

- 1)  $t_1$  и  $t_2$ ;
- 2)  $t_2$ ;
- 3)  $t_1$ ;
- 4)  $t_3$ .



6. К точке, лежащей на внешней поверхности диска, приложены 4 силы. Если ось вращения проходит через центр  $O$  диска перпендикулярно плоскости рисунка, то

плечо силы  $F_2$  равно:

- 1)  $c$ ;
- 2)  $b$ ;
- 3)  $a$ ;
- 4) 0.

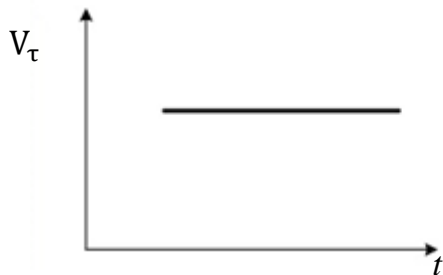
7. Тело массой 1 кг разгоняется под действием постоянной силы из состояния покоя до скорости 2 м/с. При этом сила совершает работу:

- 1) 2 Дж;
- 2) 4 Дж;
- 3) 16 Дж;
- 4) 8 Дж.

### Вариант 2

1. Материальная точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $\vec{v}$ . На рисунке показан график зависимости проекции скорости  $\vec{v}_t$  от

времени ( $\vec{\tau}$  – единичный вектор положительного направления,  $v_\tau$  – проекция  $\vec{v}$  на это направление).



При этом для нормального вектора  $a_n$  и тангенциального  $a_\tau$  ускорения выполняются условия:

- 1)  $a_n$  увеличивается;  $a_\tau$  уменьшается;
- 2)  $a_n$  увеличивается;  $a_\tau$  равно нулю;
- 3)  $a_n$  постоянно;  $a_\tau$  уменьшается;
- 4)  $a_n$  постоянно;  $a_\tau$  равно нулю.

2. Величина скорости автомобиля изменялась во времени, как показано на графике зависимости  $v(t)$ . В момент времени  $t_1$  (рис. 1) автомобиль поднимался по участку дуги (рис. 2).

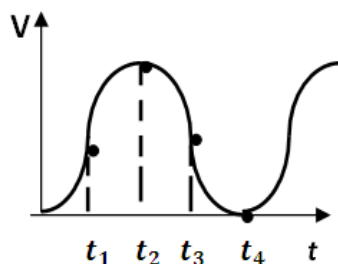


Рис. 1

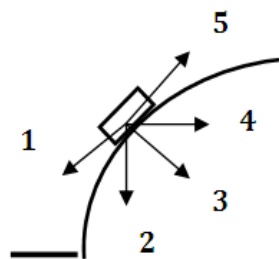
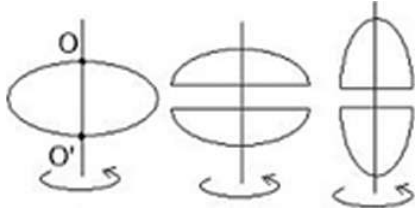


Рис. 2

Направление результирующей всех сил, действующих на автомобиль в этот момент времени, правильно отображает вектор:

- 1) 1;
- 2) 3;
- 3) 4;
- 4) 2.

3. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и поставили симметрично относительно оси  $OO'$ .



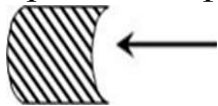
Для моментов инерции относительно оси  $OO'$  справедливо соотношение:

- 1)  $I_1 = I_2 > I_3$ ;
- 2)  $I_1 < I_2 < I_3$ ;
- 3)  $I_1 < I_2 = I_3$ ;
- 4)  $I_1 > I_2 > I_3$ .

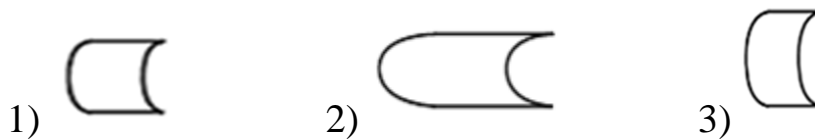
4. Два тела двигались к стенке с одинаковыми скоростями и при ударе остановились. Первое тело катилось, второе скользило. Если при ударе выделилось одинаковое количество тепла, то больше масса тела:

- 1) первого;
- 2) второго;
- 3) одинаковы.

5. На борт космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры.



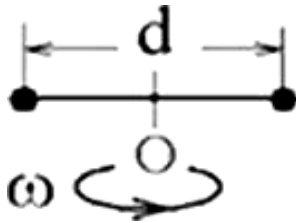
Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке



6. Два маленьких массивных шарика закреплены на концах невесомого стержня длиной  $d$ . Стержень может вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Стержень раскрутили до угловой скорости  $\omega$ . Под



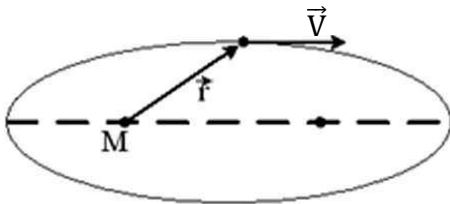
действием трения стержень остановился, при этом выделилось тепло  $Q_1$ .



Если стержень раскручен до угловой скорости  $\omega_2 = 1/2\omega_1$ , то при остановке стержня выделится тепло:

- 1)  $Q_2 = \frac{1}{2}Q_1$ ;
- 2)  $Q_2 = 2Q_1$ ;
- 3)  $Q_2 = 4Q_1$ ;
- 4)  $Q_2 = \frac{1}{4}Q_1$ .

7. Планета массой  $m$  движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится звезда массой  $M$ .



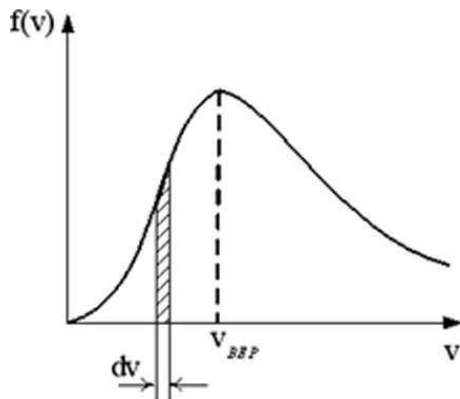
Если  $\vec{r}$  – радиус-вектор планеты, то справедливым является утверждение:

- 1) для момента импульса планеты относительно центра звезды справедливо выражение  $L = mVr$ ;
- 2) момент силы тяготения, действующей на планету, относительно центра звезды не равен нулю;
- 3) момент импульса планеты относительно центра звезды при движении по орбите не изменяется.

## 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### Вариант 1

1. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу интервала.



Неверным утверждением является:

- 1) при изменении температуры площадь под кривой не изменяется;
- 2) с ростом температуры максимум кривой смещается вправо;
- 3) с увеличением массы молекул максимум кривой смещается вправо.

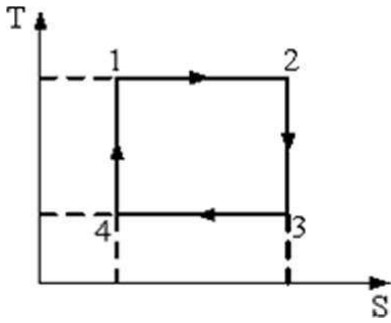
2. Кинетическая энергия тела, движущегося со скоростью  $u$ , измеримой со скоростью света, определяется соотношением:

- 1)  $E_K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ;
- 2)  $E_K = m_0 c^2$ ;
- 3)  $E_K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$ .

3. Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре  $T$  зависит от их структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, средняя энергия молекул кислорода ( $O_2$ ) равна:

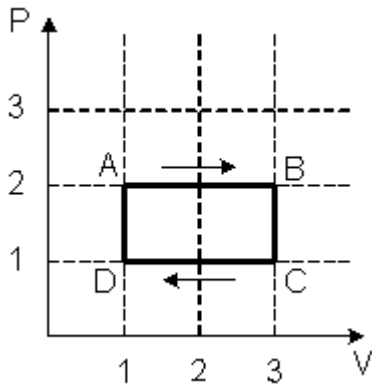
- 1)  $\frac{5}{2} kT$ ;
- 2)  $\frac{3}{2} kT$ ;
- 3)  $\frac{7}{2} kT$ ;
- 4)  $\frac{1}{2} kT$ .

4. На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Изотермическое сжатие происходит на этапе:



- 1) 3-4; 2) 1-2; 3) 4-1; 4) 2-3.

5. На (P,V)-диаграмме изображен циклический процесс.



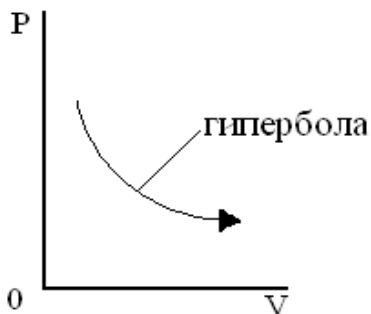
На участках CD и BC температура:

- 1) на CD понижается, на BC повышается;
- 2) повышается;
- 3) на CD повышается, на BC понижается;
- 4) понижается.

6. При изотермическом процессе газу было передано 4 кДж теплоты, при этом он совершил работу, равную;

- 1) 4 кДж; 2) 6 кДж; 3) 2 кДж; 4) 3 кДж.

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



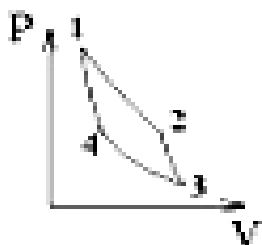
- 1)  $Q > 0, A < 0, \Delta U = 0;$
- 2)  $Q > 0, A > 0, \Delta U = 0;$
- 3)  $Q < 0, A > 0, \Delta U = 0;$
- 4)  $Q < 0, A < 0, \Delta U = 0.$

## Вариант 2

1. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы соответственно. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, для углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) число  $i$  равно:

- 1) 5;    2) 6;    3) 3;    4) 8.

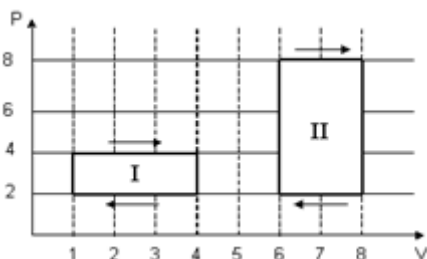
2. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно (две изотермы 1-2 и 3-4 и две адиабаты 2-3 и 4-1).



В процессе адиабатического сжатия 4-1 энтропия рабочего тела:

- 1) возрастает;  
2) уменьшается;  
3) не изменяется.

3. На  $(P, V)$ -диаграмме изображены два циклических процесса.



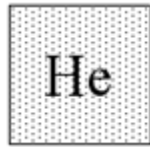
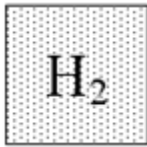
Отношение работ  $A_I/A_{II}$ , совершенных в этих циклах, равно:

- 1) 1/4;    2) 4;    3) 2;    4) 1/2;

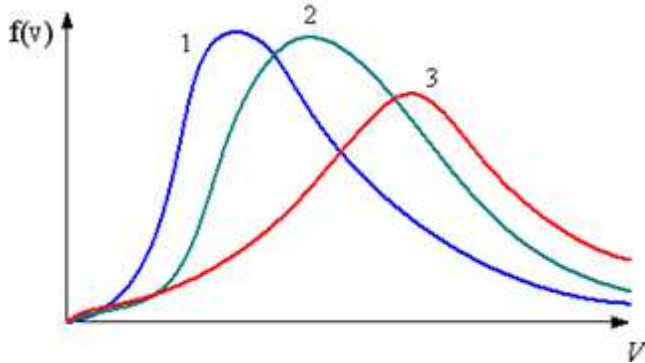
4. Изменение внутренней энергии газа произошло только за счет выделения количества теплоты:

- 1) в изотермическом процессе;  
2) изобарном процессе;  
3) изохорном процессе;  
4) адиабатическом процессе.

5. В трех одинаковых сосудах при равных условиях находится одинаковое количество водорода, гелия и азота.

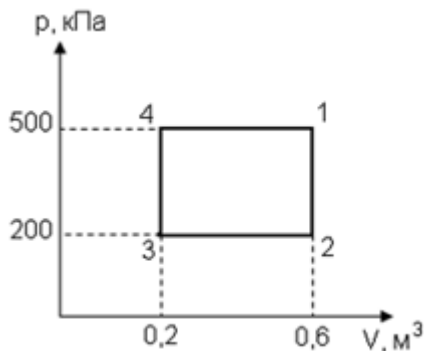


Распределение скоростей молекул азота будет описывать кривая



- 1) 3;      2) 2;      3) 1.

6. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы за весь цикл к работе при изобарном нагревании газа равно:



- 1) 0,6;      2) 1;      3) 1,7;      4) 2.

7. При адиабатическом сжатии идеального газа:

- 1) температура повышается, энтропия не изменяется;
- 2) температура и энтропия возрастают;
- 3) температура понижается, энтропия возрастает;
- 4) температура и энтропия не изменяются.

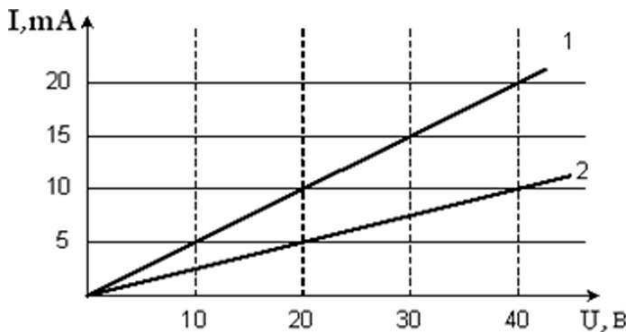
### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

#### Вариант 1

1. Конденсатор с диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$  присоединен к источнику тока. Энергия электрического поля этого конденсатора равна  $w$ . После удаления диэлектрика энергия электрического поля конденсатора будет равна:

- 1)  $4w$ ;    2)  $\frac{w}{4}$ ;    3)  $2w$ ;    4)  $\frac{w}{2}$ ;    5)  $w$ .

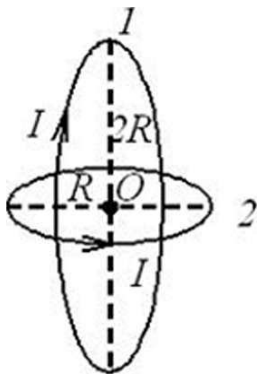
2. Вольт-амперная характеристика активных элементов 1 и 2 цепи представлена на рисунке.



При напряжении 40 В отношение мощностей  $P_1$  и  $P_2$  равно:

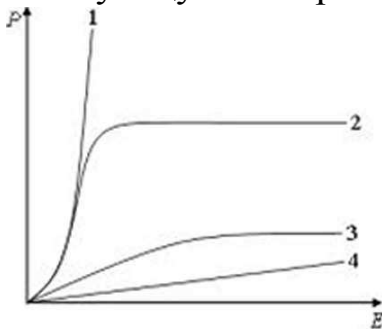
- 1) 4;    2)  $1/2$ ;    3) 2;    4) 1.

3. Два круговых витка расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центры совпадают. Если индукция магнитного поля, создаваемого малым витком, в точке О равна 0,4 Тл, то индукция результирующего магнитного поля в этой точке равна:



- 1)  $0,1\sqrt{5}$  Тл;    2)  $1/\sqrt{5}$  Тл;    3) 0,3 Тл;    4)  $0,2\sqrt{2}$  Тл.

4. На рисунке представлены графики зависимости поляризованности  $P$  диэлектрика от напряженности поля  $E$ . Укажите зависимость, соответствующую полярным диэлектрикам:



1) 3;      2) 1;      3) 2;      4) 4.

5. Укажите верное утверждение относительно статических магнитных полей:

1. Магнитное поле не является вихревым;
2. Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную замкнутую поверхность отличен от нуля;
3. Магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды.

6. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S},$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S},$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV,$$

$$\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

Следующая система уравнений:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S},$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S},$$

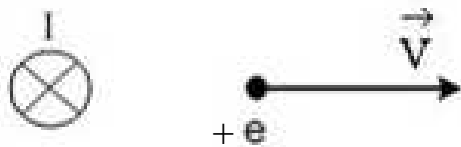
$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0,$$

$$\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

справедлива для переменного электромагнитного поля:

- 1) в вакууме;
- 2) при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- 3) в проводящей среде.

7. Вблизи длинного проводника с током (ток направлен от нас) пролетает позитрон со скоростью  $\vec{v}$ . Сила Лоренца направлена:



- 1) „от нас”;
- 2) „к нам”;
- 3) влево;
- 4) вправо.

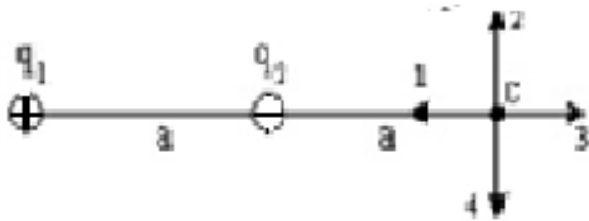
### Вариант 2

1. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону  $I = 5 \sin 100t$ . Если индуктивность катушки  $L=10$  мГн, то магнитный поток, пронизывающий катушку, изменяется по закону:

- 1)  $\Phi = -0,05 \cos 100t$ ;
- 2)  $\Phi = 50 \sin 100t$ ;
- 3)  $\Phi = 50 \cos 100t$ ;
- 4)  $\Phi = 0,05 \sin 100t$ .

2. Электростатическое поле создано одинаковыми по величине точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .

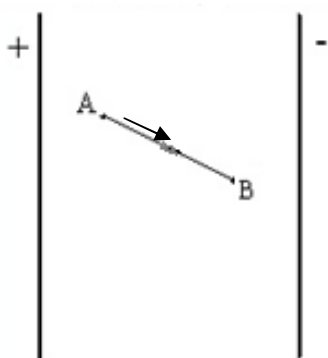




Если  $q_1 = +q$ ,  $q_2 = -q$ , а расстояние между зарядами и от  $q_2$  до точки  $C$  равно  $a$ , то вектор напряженности поля в точке  $C$  ориентирован в направлении:

- 1) 4;            2) 2;            3) 3;            4) 1.

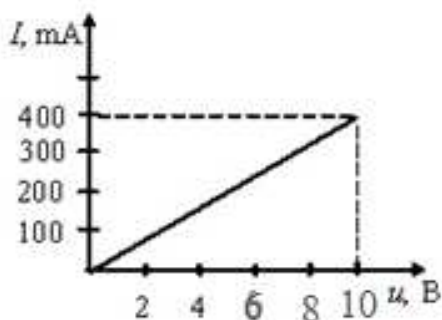
3. В электрическом поле плоского конденсатора перемещается заряд  $-q$  в направлении, указанном стрелкой.



Тогда работа сил поля на участке АВ:

- 1) отрицательна;    2) положительна;    3) равна нулю.

4. Вольт-амперная характеристика резистора изображена на рисунке. Из графика следует, что сопротивление резистора равно:



- 1) 40 Ом;    2) 4 Ом;    3) 0,025 Ом;    4) 25 Ом.

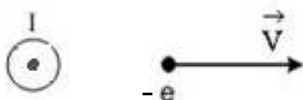
5. На рисунке изображен проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ , направленное перпендикулярно плоскости чертежа „на нас”.



Укажите правильную комбинацию направления тока в проводнике и вектора силы Ампера

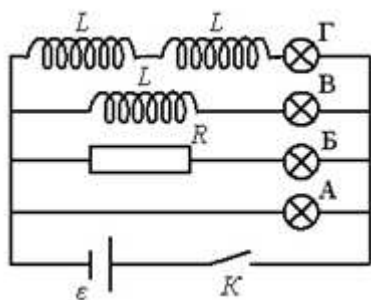
- 1) ток в направлении М-Л; сила Ампера – вверх;
- 2) ток в направлении Л-М; сила Ампера – „к нам”;
- 3) ток в направлении М-Л; сила Ампера – „от нас”;
- 4) ток в направлении Л-М; сила Ампера – вверх.

6. Вблизи длинного проводника с током (ток направлен „к нам”) пролетает позитрон со скоростью  $v$ . Сила Лоренца направлена:



- 1) влево;    2) „от нас”;
- 3) вправо;    4) „к нам”.

7. После замыкания ключа К в цепи, представленной на рисунке, загорится позже других лампочка:

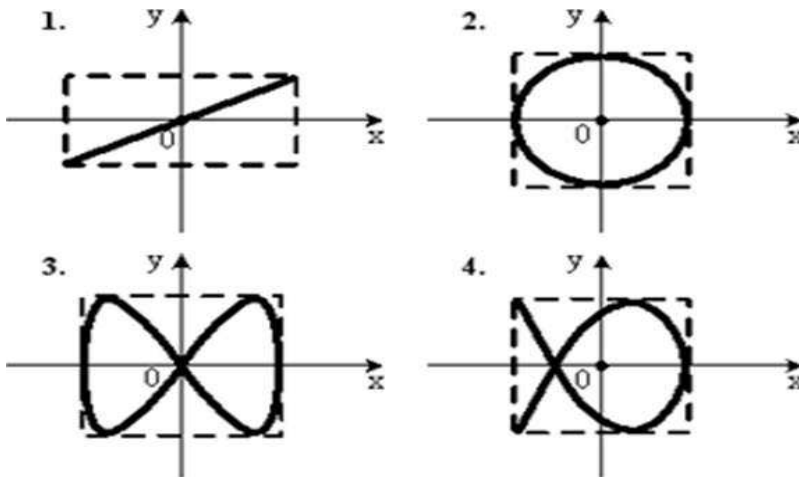


- 1) Б;    2) А;    3) Г;    4) В.

#### 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

##### Вариант 1

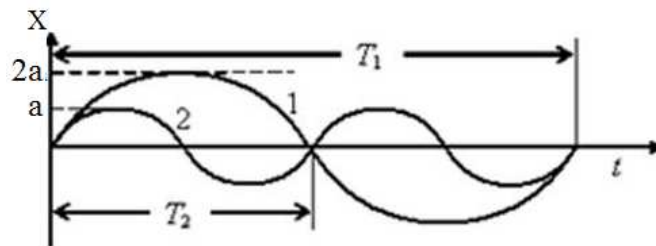
1. Точка М одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат ОХ и ОУ с одинаковыми амплитудами, разность фаз равна  $\frac{\pi}{2}$ . При соотношении частот 2:1 траектория точки М имеет вид:



1) 2;    2) 1;    3) 3;    4) 4.

2)

2. На рисунке представлены графики гармонических колебаний материальных точек одинаковой массы. Соотношение энергий  $W$  колеблющихся тел следующее:



1)  $W_1 = W_2$ ;            2)  $W_1 > W_2$ ;            3)  $W_1 < W_2$ .

3. Выражение, определяющее потенциальную энергию  $E$  гармонического колебания материальной точки, имеет вид

1)  $E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}$ ;

2)  $E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;

3)  $E = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;

$$4) E = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$5) E = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

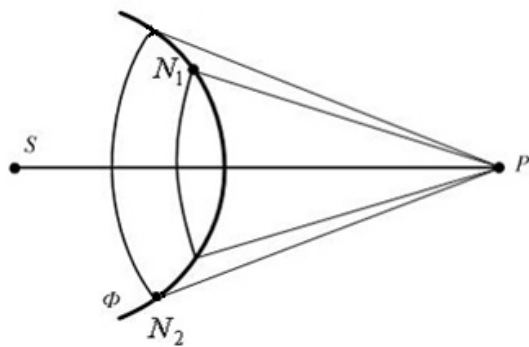
4. В твердой среде распространяются:

- 1) только продольные волны;
- 2) только поперечные волны;
- 3) продольные и поперечные волны.

5. Если увеличить в 8 раз объемную плотность энергии и при этом уменьшить в 4 раза скорость распространения упругих волн, то плотность потока энергии:

- 1) останется неизменной;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) уменьшится в 2 раза.

6. На рисунке представлена схема разбиения волновой поверхности  $\Phi$  на зоны Френеля. Разность хода между лучами  $N_1P$  и  $N_2P$  равна



- 1) 0;
- 2)  $\frac{3}{2} \lambda$ ;
- 3)  $\lambda$ ;
- 4)  $2 \lambda$ ;
- 5)  $\lambda/2$ .

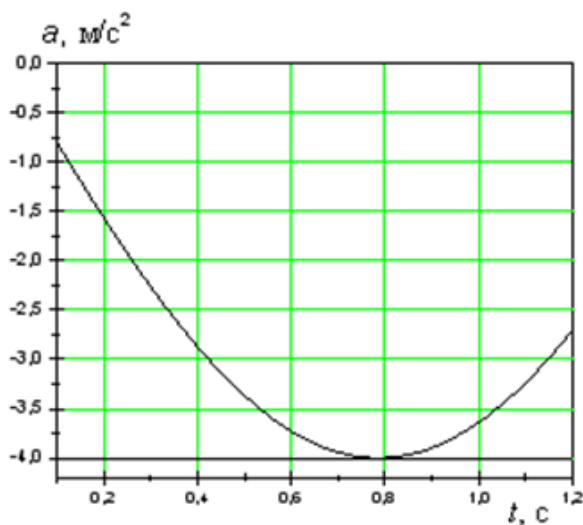
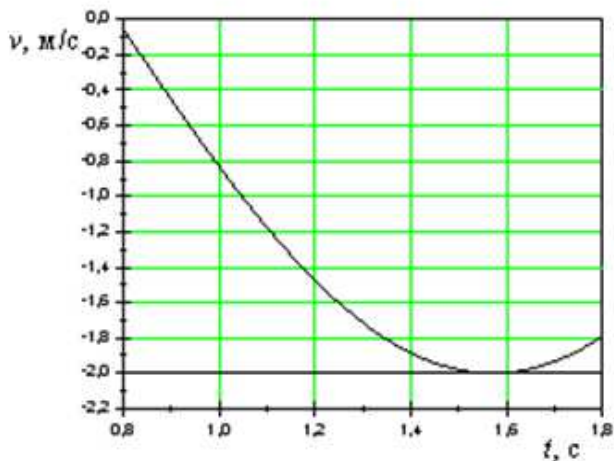
7. Уменьшение амплитуды колебаний в системе с затуханием характеризуется временем релаксации. Если при неизменной индуктивности катушки в колебательном контуре уменьшить в 2 раза омическое сопротивление, то время релаксации:

- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) увеличится в 4 раза;

- 3) увеличится в 2 раза;
- 4) уменьшится в 4 раза.

*Вариант 2*

1. На рисунках изображены зависимости от времени скорости и ускорения материальной точки, колеблющейся по гармоническому закону.



Период колебаний точки равен:

- 1) 6,28 с;
- 2) 1 с;
- 3) 3,14 с;
- 4) 2 с.

2. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами. Результирующее колебание имеет минимальную амплитуду при разности фаз, равной:

- 1)  $\frac{\pi}{2}$ ;
- 2)  $\frac{\pi}{4}$ ;
- 3)  $\pi$ ;
- 4) 0.

3. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси OX, имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 8x)$ . Тогда скорость распространения волны равна:

- 1) 2 м/с;    2) 1000 м/с;    3) 500 м/с;    4) 125 м/с.

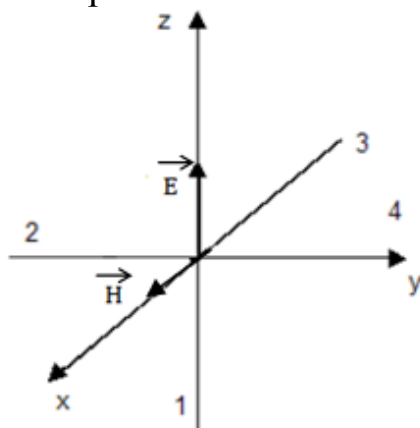
4. Появление цветных радужных пятен на поверхности воды, покрытой тонкой бензиновой или масляной пленкой, является следствием явления:

- 1) дифракции света;  
2) дисперсии света;  
3) интерференции света;  
4) поляризации света.

5. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . Амплитуда результирующего колебания равна  $A_0\sqrt{2}$  при разности фаз  $\Delta\varphi$ :

- 1)  $\pi/2$ ;    2)  $\pi/4$ ;    3)  $\pi$ ;    4) 0;

6. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{B}$  полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении:



- 1) 3;  
2) 4;  
3) 2;  
4) 1.

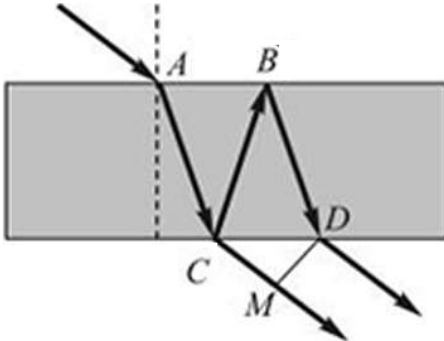
7. Сейсмическая упругая волна, падающая со скоростью 6,4 км/с под углом  $45^\circ$  на границу раздела между двумя слоями земной коры с различными свойствами, испытывает преломление, причем угол преломления равен  $30^\circ$ . Во второй среде волна будет распространяться со скоростью:

- 1) 9,1 км/с;    2) 2,8 км/с;    3) 4,5 км/с;    4) 7,8 км/с.

## 5. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

### Вариант 1

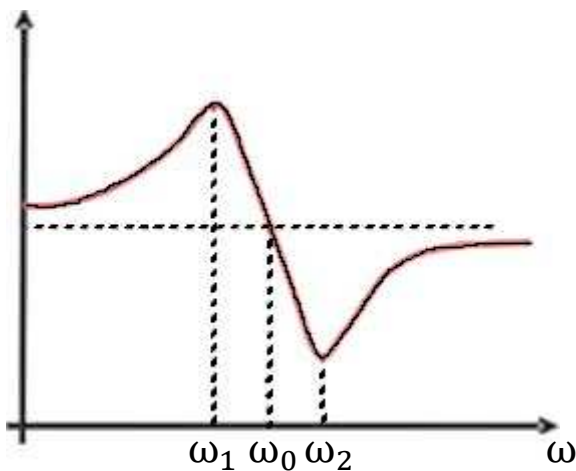
1. Свет падает на тонкую пленку с показателем преломления  $n$  большим, чем показатель преломления окружающей среды.



Разность хода лучей на выходе из тонкой пленки равна:

- 1)  $CB + BD - CM - \frac{\lambda}{2}$ ;
- 2)  $(CB + BD)n - CM$ ;
- 3)  $CB + BD + CM$ ;
- 4)  $CB + BD - CM$ .

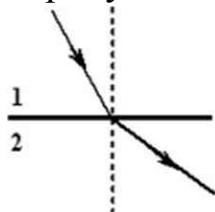
2. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества.



Аномальная дисперсия наблюдается в диапазоне частот излучения;

- 1) от  $\omega_0$  до  $\omega_2$ ;
- 2) от  $\omega_1$  до  $\omega_0$ ;
- 3) от  $\omega_1$  до  $\omega_2$ ;
- 4) от  $\omega_2$  до  $\infty$ .

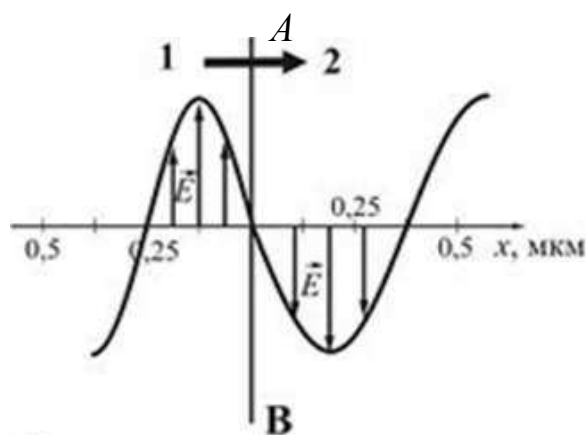
3. Волна переходит из среды 1 в среду 2, преломляясь, как показано на рисунке.



Для длины волны  $\lambda$  в этих средах справедливо соотношение:

- 1)  $\lambda_1 > \lambda_2$ ;      2)  $\lambda_1 < \lambda_2$ ;      3)  $\lambda_1 = \lambda_2$ .

4. На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ.



Предельный угол полного внутреннего отражения равен:

- 1)  $42,5^\circ$ ;      2)  $60,5^\circ$ ;      3)  $35,5^\circ$ ;      4)  $48,5^\circ$ .

5. Если за непрозрачным диском, освещенным ярким источником света небольшого размера, поставить экран, в центре которого можно обнаружить светлое пятно, то при этом наблюдается:

- 1) дисперсия света;
- 2) преломление света;
- 3) дифракция света;
- 4) рассеяние света;
- 5) поляризация света.

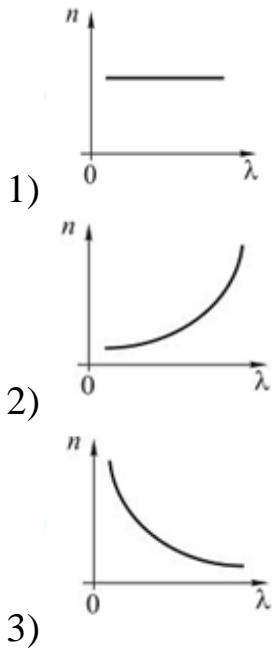
6. Интерференцией света называется явление:

- 1) наложения когерентных волн и перераспределения их энергии в пространстве;



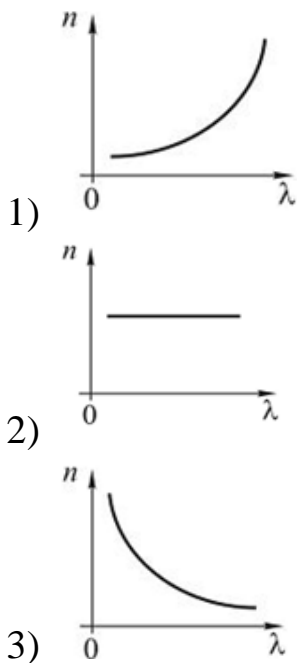
- 2) рассеяния света неоднородностями среды;
- 3) отклонения света от прямолинейного распространения;
- 4) разложения белого света в спектр.

7. Зависимость показателя преломления  $n$  вещества от длины световой волны  $\lambda$  при аномальной дисперсии отражена на рисунке.



### Вариант 2

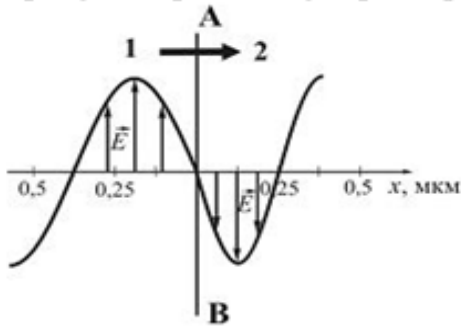
1. Зависимость показателя преломления  $n$  вещества от длины световой волны  $\lambda$  при нормальной дисперсии отражена на рисунке.



2. При интерференции когерентных лучей с длиной волны 300 нм максимум второго порядка возникает при разности хода:

- 1) 300 нм;
- 2) 600 нм;
- 3) 150 нм;
- 4) 100 нм.

3. На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ.



Если среда 1 – воздух, то абсолютный показатель преломления среды 2 равен:

- 1) 1,5;
- 2) 1,75;
- 3) 0,67;
- 4) 0,84.

4. Пучок естественного света проходит через два поляризатора. Интенсивность естественного света равна  $I_0$ , угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен  $\varphi$ . Согласно закону Малюса интенсивность света после второго поляризатора равна:

- 1)  $I = I_0$ ;
- 2)  $I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi$ ;
- 3)  $I = (I_0/2)$  ;
- 4)  $I = \frac{I_0}{2} \cos \varphi$  .

5. Угол между плоскостями пропускания двух поляризаторов равен  $30^\circ$ . Если угол увеличить в 3 раза, то интенсивность света, прошедшего через оба поляризатора:

- 1) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз;
- 2) станет равной нулю;
- 3) увеличится в 3 раза;
- 4) увеличится в 2 раза.

6. Естественный свет проходит через границу раздела двух изотропных сред (диэлектриков). После прохождения отраженная световая волна оказывается полностью поляризованной. Чему равен угол между падающим и отраженным лучами?

- 1)  $60^\circ$ ;      2)  $120^\circ$ ;      3)  $90^\circ$ ;      4)  $30^\circ$ .

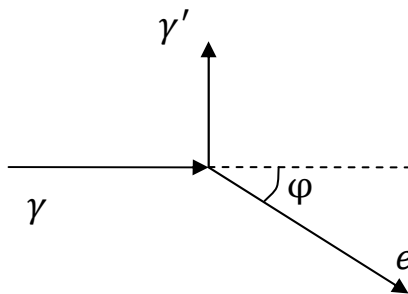
7. У электромагнитной волны при отражении от оптически менее плотной среды:

- 1) фазы векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  изменяются на  $\pi$ ;
- 2) фаза вектора  $\vec{B}$  изменяется на  $\pi$ ;
- 3) фаза вектора  $\vec{E}$  изменяется на  $\pi$ ;
- 4) фазы векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  не изменяются .

## 6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

### Вариант 1

1. Фотон рассеялся на свободном электроне под углом  $\theta = 90^\circ$ , при этом импульс рассеянного фотона в два раза меньше импульса электрона отдачи. Направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi$ :



- 1)  $30^\circ$ ;
- 2)  $60^\circ$ ;
- 3)  $90^\circ$ ;
- 4)  $120^\circ$ .

2. Атом водорода, находясь в различных состояниях, может иметь одно и то же значение энергии, определяемое главным квантовым числом  $n$ . Число таких состояний для  $n = 4$ :

- 1) 3;    2) 9;    3) 4;    4) 16;    5) 32.

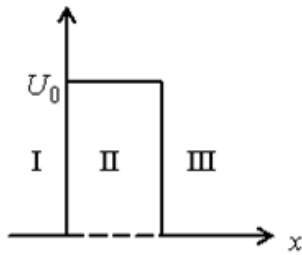
3. Если протон и нейтрон движутся с одинаковыми скоростями, то отношения их длин волн де Бройля  $\lambda_p / \lambda_n$  равно:

- 1)  $\frac{1}{2}$ ;    2) 2;    3) 1;    4) 4.

4. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $L$  имеет вид:  $\psi_n(x) = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$ , где  $n$  – номер энергетического уровня. Если импульс частицы  $p = \frac{2\pi\hbar}{L}$ , то частица находится на энергетическом уровне с номером:

- 1)  $n = 1$ ;    2)  $n = 2$ ;    3)  $n = 4$ ;    4)  $n = 8$ .

5. Уравнение Шредингера для частицы массой  $m$ , движущейся по оси  $x$  в области потенциального барьера высотой  $U_0$ , с энергией  $E < U_0$  для области  $I$  имеет вид:



- 1)  $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0) \psi = 0;$
- 2)  $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$
- 3)  $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$
- 4)  $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} U_0 \psi = 0.$

6. Символическое обозначение ядер  ${}^A_Z X$ , где  $X$  – символ химического элемента;  $Z$  – зарядовое число;  $A$  – массовое число, которое равно числу;

- 1) протонов в ядре;
- 2) нейтронов в ядре;
- 3) нуклонов в ядре;
- 4) электронов в атоме данного элемента.

7. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти, чтобы америций  ${}^{241}_{95}\text{Am}$  превратился в стабильный изотоп висмута  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$  ?

- 1)  $6\alpha$ - и  $5\beta^-$ -распадов;
- 2)  $8\alpha$ - и  $4\beta^-$ -распадов;
- 3)  $7\alpha$ - и  $3\beta^-$ -распадов;
- 4)  $9\alpha$ - и  $3\beta^-$ -распадов.

### Вариант 2

1. Законом сохранения электрического заряда запрещена реакция

- 1)  $n + \bar{p} \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e;$
- 2)  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu;$
- 3)  $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-;$

4)  $n + \bar{\nu}_e \rightarrow p + e^+$ .

2. В порядке возрастания интенсивности фундаментальные взаимодействия располагаются следующим образом:

- 1) электромагнитное, гравитационное, слабое, сильное;
- 2) гравитационное, слабое, электромагнитное, сильное;
- 3) электромагнитное, слабое, гравитационное, сильное;
- 4) слабое, сильное, гравитационное, электромагнитное.

3. Энергия первого фотона в четыре раза больше энергии второго. Отношение импульса первого фотона к импульсу второго равно:

- 1) 2;
- 2) 4;
- 3) 1/2;
- 4) 1/4;

4. Согласно гипотезе де Бройля каждую частицу можно рассматривать как волну, для которой  $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$ , где  $p$  – импульс частицы. Если скорость частиц одинакова, то наибольшей длиной волны обладают:

- 1) протоны;
- 2) нейтроны;
- 3) электроны;
- 4)  $\alpha$ -частицы.

5. Какая доля радиоактивных атомов останется нераспавшейся через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

- 1) 25 %;
- 2) 50 %;
- 3) 75 %;
- 4) 33 %;
- 5) 67 %.

6. При  $\alpha$ -распаде значение зарядового числа  $Z$  меняется:

- 1) не меняется;
- 2) на два;
- 3) на три;
- 4) на четыре.

7. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме:  $X \rightarrow {}_{52}^{137}\text{Te} + {}_{40}^{97}\text{Zr} + 2n$ . Ядро этого элемента содержит:

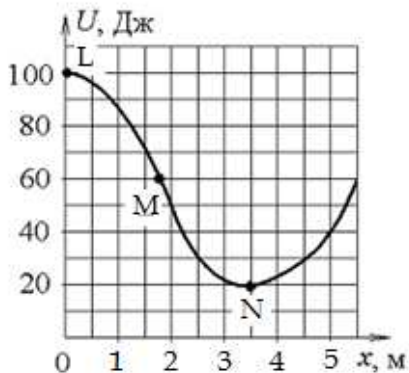
- 1) 92 протона и 144 нейтрона;
- 2) 94 протона и 144 нейтрона;
- 3) 94 протона и 142 нейтрона;
- 4) 92 протона и 142 нейтрона.

## ТЕСТЫ БЕЗ ОТВЕТОВ

### 1. МЕХАНИКА

#### Вариант 1

1. 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  $U(x)$ .



Скорость шайбы в точке N:

- 1) в 3 раза меньше, чем в точке M;
- 2) в 2 раза меньше, чем в точке M;
- 3) в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем в точке M;
- 4) в  $\sqrt{3}$  раз больше, чем в точке M.

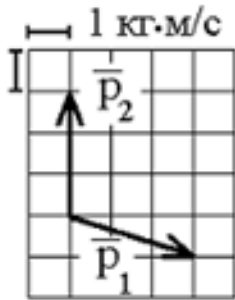
2. Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью  $V=0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, перпендикулярного направлению движения корабля, в положение 2, параллельное этому направлению. Тогда длина стержня с точки зрения другого космонавта:

- 1) равна 1,0 м при любой его ориентации;
- 2) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,8 м в положении 2;
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,6 м в положении 2;
- 4) изменится от 0,8 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2.

3. На наклонной плоскости покоится брусок. Если постепенно увеличивать угол между плоскостью и горизонтом, то при величине этого угла  $60^\circ$  брусок начинает скользить. Коэффициент трения скольжения при этом равен:

- 1) 0,5;      2)  $\sqrt{3}/2$ ;      3)  $1/\sqrt{3}$ ;      4)  $\sqrt{3}$ .

4. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{p}_1$  (масштаб и направления указаны на рисунке). Теннисист произвел по мячу резкий удар со средней силой 50 Н. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{p}_2$ .



Сила действовала на мяч в течение:

- 1) 0,3 с;      2) 0,25 с;      3) 0,2 с;      4) 0,1 с.

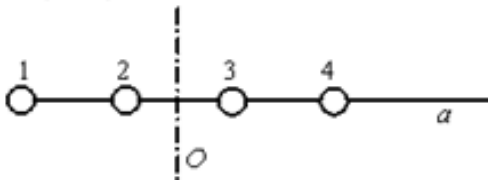
5. Тело движется с постоянным нормальным ускорением по траектории, изображенной на рисунке.



При движении в направлении, указанном стрелкой, величина скорости тела

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

6. Четыре шарика расположены вдоль прямой  $a$ . Расстояния между соседними шариками одинаковы. Массы шариков слева направо: 1, 2, 3, 4 г.



Если поменять местами шарика 1 и 3, то момент инерции этой системы относительно оси  $O$ , перпендикулярной прямой  $a$  и проходящей через середину системы:

- 1) не изменится;  
2) уменьшится;  
3) увеличится.

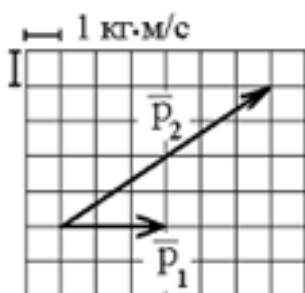


7. Измеряется длина движущегося метрового стержня с точностью до 0,1 мкм. Если стержень движется перпендикулярно своей длине, то ее изменение можно заметить при скорости:

- 1) ни при какой; 2)  $3 \cdot 10^3$  м/с; 3)  $3 \cdot 10^7$  м/с; 4)  $3 \cdot 10^5$  м/с.

### Вариант 2

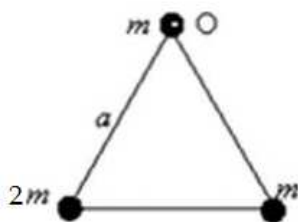
1. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{p}_1$  в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар с средней силой 100 Н. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{p}_2$  (масштаб указан на рисунке).



Сила действовала на мяч в течение:

- 1) 0,1 с; 2) 0,05 с; 3) 0,5 с; 4) 0,01 с.

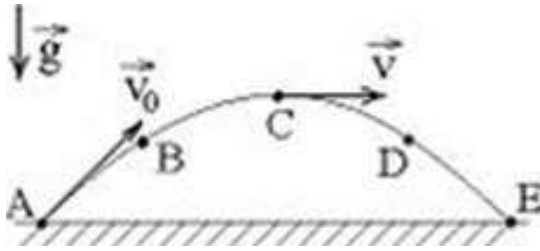
2. На рисунке изображена система трех точечных масс, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$ .



Момент инерции системы относительно оси, проходящей через точку O перпендикулярно чертежу, равен:

- 1)  $2ma^2$ ; 2)  $ma^2$ ; 3)  $3ma$ ; 4)  $3ma^2$ .

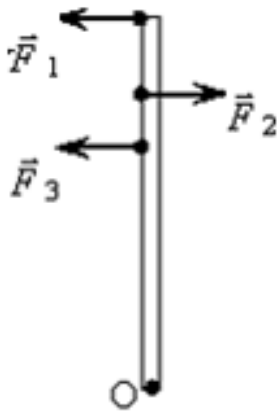
3. Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $V_0$ . Его траектория в однородном поле тяжести изображена на рисунке. Сопротивления воздуха нет.



Модуль ускорения камня:

- 1) максимален в точке С;
- 2) во всех точках одинаков;
- 3) максимален в точках А и Е;
- 4) максимален в точках В и D.

4. К стержню приложены 3 одинаковые по модулю силы, как показано на рисунке. Ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку О.



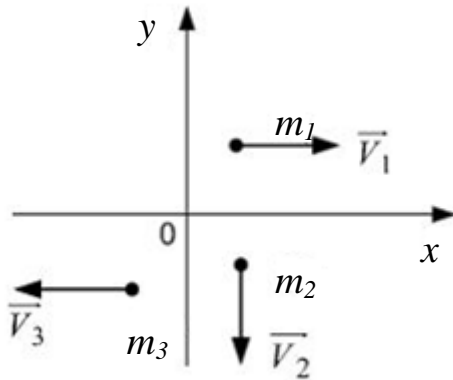
Вектор углового ускорения направлен:

- 1) вдоль оси вращения О «к нам»;
- 2) влево;
- 3) вдоль оси вращения О «от нас»;
- 4) вправо.

5. Физические явления в одинаковых условиях протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Это принцип:

- 1) симметрии;
- 2) соответствия;
- 3) дополненности;
- 4) относительности.

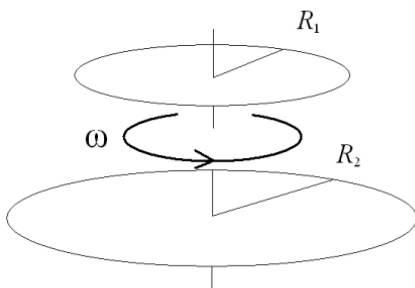
6. Система состоит из трех шаров массами  $m_1=3$ ,  $m_2=2$ ,  $m_3=1$  кг, которые движутся так, как показано на рисунке.



Если скорости шаров равны  $V_1=1$  м/с,  $V_2=2$  м/с,  $V_3=3$  м/с, то вектор импульса центра масс этой системы направлен:

- 1) вдоль оси  $-Ox$ ;
- 2) вдоль оси  $-Oy$ ;
- 3) вдоль оси  $+Ox$ .

7. Для того чтобы раскрутить диск радиусом  $R_1$  вокруг своей оси до угловой скорости  $\omega$ , необходимо совершить работу  $A_1$ . Под прессом диск становится тоньше, но радиус его возрастает до  $R_2=\sqrt{2}R_1$ .



Для того чтобы раскрутить его до той же угловой скорости, необходимо совершить работу:

- 1)  $A_2 = \frac{1}{4} A_1$ ;
- 2)  $A_2 = \frac{1}{2} A_1$ ;
- 3)  $A_2 = 2A_1$ ;
- 4)  $A_2 = 4A_1$ .

### Вариант 3

1. Второй закон Ньютона в форме  $m\bar{a} = \sum_i \bar{F}_i$ , где  $F_i$  – силы, действующие на тело со стороны других тел:

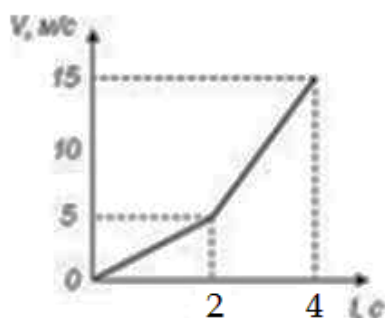
1) справедлив при скоростях движения тел как малых, так и сопоставимых со скоростью света в вакууме;

- 2) справедлив в любой системе отсчета;
- 3) справедлив для тел как с постоянной, так и с переменной массой;
- 4) справедлив только для тел с постоянной массой в инерциальной системе отчета.

2. Сплошной и полый цилиндры, имеющие одинаковые массы и радиусы, вкатываются без проскальзывания на горку. Если начальные скорости этих тел одинаковы, то:

- 1) оба тела поднимутся на одну и ту же высоту;
- 2) выше поднимется полый цилиндр;
- 3) выше поднимется сплошной цилиндр.

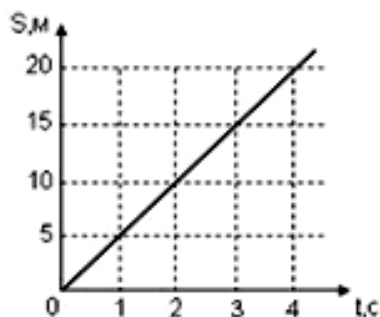
3. На рисунке представлен график  $V(t)$  зависимости скорости от времени прямолинейно движущегося тела.



Путь, пройденный телом за 4 с, равен:

- 1) 12,5 м;
- 2) 15 м;
- 3) 10 м;
- 4) 25 м.

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



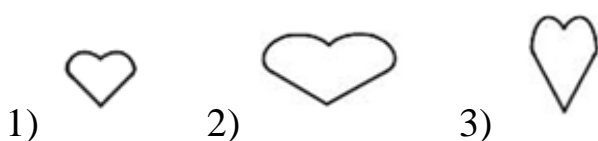
Кинетическая энергия тела в момент времени  $t = 2$  с равна:

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

5. На борт космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры.



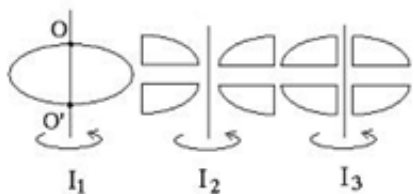
Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке:



6. Точка М движется по окружности с постоянным тангенциальным ускорением. Если проекция тангенциального ускорения на направление скорости отрицательна, то величина нормального ускорения:

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

7. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и составили симметрично относительно оси  $OO'$ .

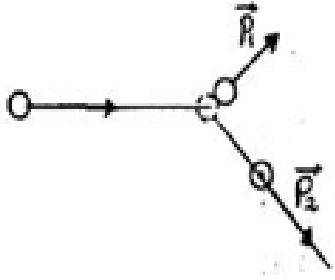


Для моментов инерции относительно оси  $OO'$  справедливо соотношение:

- 1)  $I_1 < I_3 < I_2$ ; 2)  $I_1 = I_2 = I_3$ ; 3)  $I_1 < I_3 = I_2$ ; 4)  $I_1 > I_2 > I_3$ .

#### Вариант 4

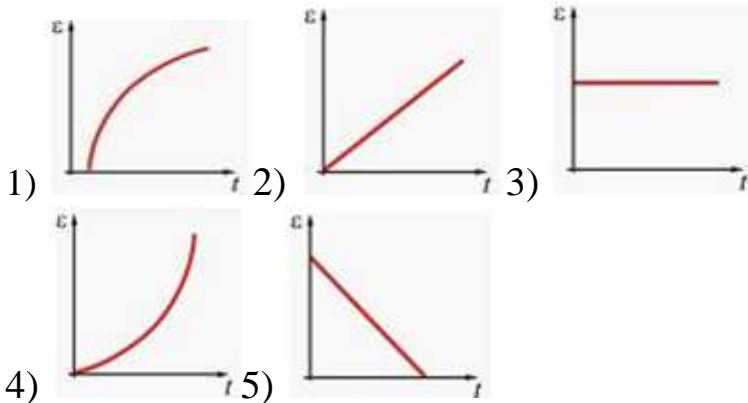
1. На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же. После удара шары разлетелись под углом  $90^\circ$  так, что импульс одного равен  $p_1 = 0,4$  кг·м/с, а другого  $p_2 = 0,3$  кг·м/с.



Налетающий шар имел импульс, равный:

- 1) 0,7 кг·м/с; 2) 0,1 кг·м/с; 3) 0,5 кг·м/с; 4) 0,25 кг·м/с.

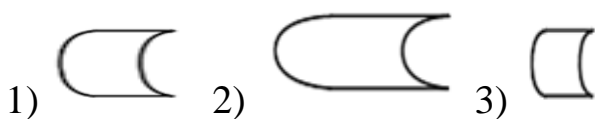
2. Момент импульса вращающегося тела изменяется по закону  $L = \alpha t^2$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Момент инерции тела остается постоянным в течение всего времени вращения. При этом угловое ускорение тела зависит от времени согласно графику



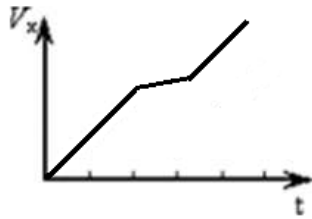
3. На борт космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры.



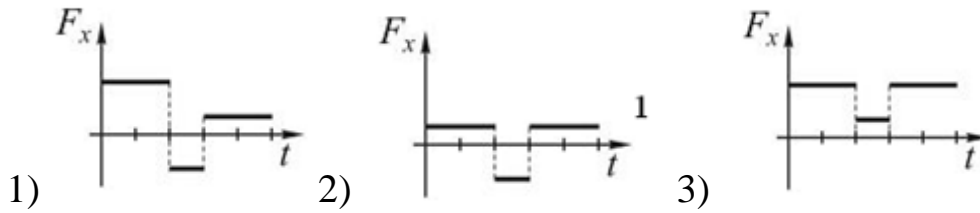
Из-за релятивистского сокращения длины эта фигура изменяет свою форму. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, сравнимой со скоростью света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму, указанную на рисунке



4. Изменение проекции скорости тела от времени представлено на рисунке.



Зависимость от времени проекции силы  $F_x$ , действующей на тело, показана на графике:



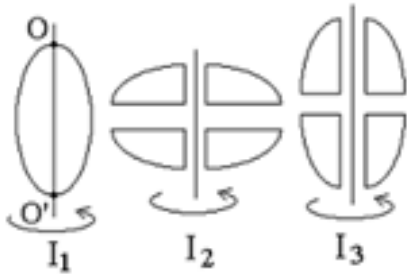
5. Материальная точка М движется по окружности со скоростью  $\vec{v}$ . На рисунке показан график зависимости проекции скорости  $\vec{v}_t$  от времени ( $\vec{e}$  – единичный вектор положительного направления;  $v_t$  – проекция  $\vec{v}$  на это направление).



При этом для нормального вектора  $a_n$  и тангенциального  $a_t$  ускорения выполняются условия:

- 1)  $a_n=0$ ;  $a_t < 0$ ; 2)  $a_n > 0$ ;  $a_t=0$ ; 3)  $a_n=0$ ;  $a_t=0$ ; 4)  $a_n > 0$ ;  $a_t < 0$ .

6. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и расставили симметрично относительно оси  $OO'$ .



Для моментов инерции относительно оси  $OO'$  справедливо соотношение:

- 1)  $I_1 = I_2 = I_3$ ;   2)  $I_1 > I_2 > I_3$ ;   3)  $I_1 < I_2 = I_3$ ;   4)  $I_1 < I_3 < I_2$ .

7. Положение центра масс системы двух частиц относительно точки  $O$ , изображенных на рисунке, определяется радиус-вектором:



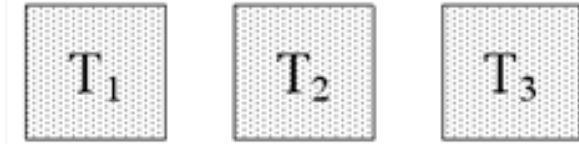
- 1)  $r_c = (2\vec{r}_1 + 3\vec{r}_2)/5$ ;  
 2)  $r_c = (3\vec{r}_1 + 2\vec{r}_2)/5$ ;  
 3)  $r_c = (2\vec{r}_1 - 3\vec{r}_2)/5$ ;  
 4)  $r_c = 2\vec{r}_1 + 3\vec{r}_2$ .



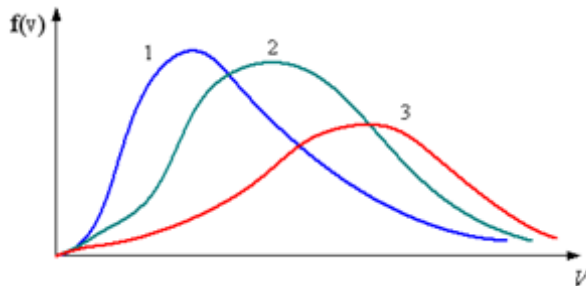
## 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### Вариант 1

1. В трех одинаковых сосудах находится одинаковое количество газа, причем  $T_1 > T_2 > T_3$ .

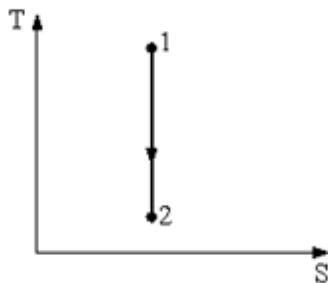


Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой  $T_1$  будет описывать кривая:



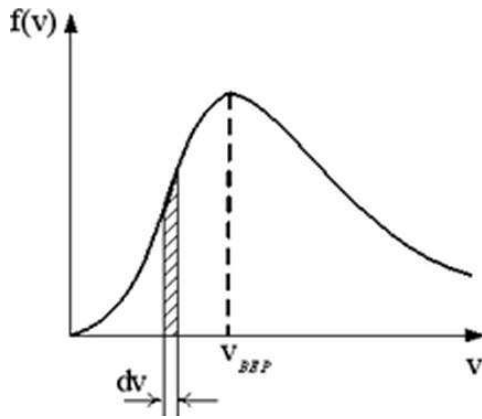
- 1) 1;                      2) 3;                      3) 2.

2. Процесс, изображенный на рисунке в координатах  $(T,S)$ , где  $S$  – энтропия, является:



- 1) изотермическим расширением;
- 2) адиабатным расширением;
- 3) изотермическим сжатием;
- 4) адиабатным сжатием.

3. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчет на единицу интервала.



Если не меняя температуры взять другой газ с большей молярной массой и таким же числом молекул, то:

- 1) максимум кривой сместится влево в сторону меньших скоростей;
- 2) максимум кривой сместится вправо в сторону больших скоростей;
- 3) площадь под кривой увеличится.

4. Для необратимого процесса в неизолированной термодинамической системе условие Клаузиуса имеет вид:

- 1)  $TdS = dU + \delta A$ ;
- 2)  $TdS > dU + \delta A$ ;
- 3)  $TdS < dU + \delta A$ .

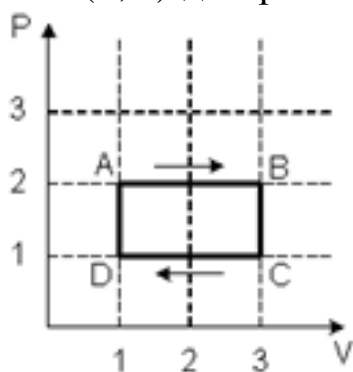
5. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы соответственно. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, для азота ( $\text{N}_2$ ) число  $i$  равно:

- 1) 8;            2) 2;            3) 7;            4) 5.

6. При адиабатическом сжатии идеального газа:

- 1) температура понижается, энтропия возрастает;
- 2) температура увеличивается, энтропия не изменяется;
- 3) температура и энтропия возрастают;
- 4) температура понижается, энтропия не изменяется.

7. На  $(P, V)$ -диаграмме изображен циклический процесс.



На участках BC и CD температура:

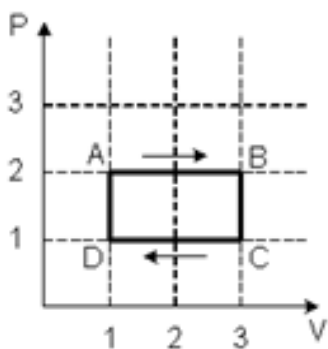
- 1) на BC понижается, на CD повышается;
- 2) повышается;
- 3) на BC повышается, на CD понижается;
- 4) понижается.

*Вариант 2*

1. Энтропия неизолированной термодинамической системы в процессе плавления вещества в ней:

- 1) увеличивается;
- 2) может как увеличиваться, так и оставаться постоянной;
- 3) остается постоянной;
- 4) убывает.

2. На  $(P, V)$ -диаграмме изображен циклический процесс.



На участках AB и CD температура:

- 1) на AB повышается, на CD понижается;
- 2) повышается;
- 3) понижается;
- 4) на AB понижается, на CD повышается.

3. Одноатомному идеальному газу в результате изобарического процесса подведено количество теплоты  $\Delta Q$ . На увеличение внутренней энергии газа расходуется часть теплоты  $\frac{\Delta U}{\Delta Q}$ , равная:

- 1) 0,71;      2) 0,60;      3) 1,67;      4) 0,43.

4. При изотермическом расширении идеального газа энтропия:

- 1) уменьшается;  
2) не изменяется;  
3) сначала увеличивается, потом уменьшается;  
4) увеличивается.

5. Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре  $T$  зависит от их структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, средняя энергия молекул неона (Ne) равна:

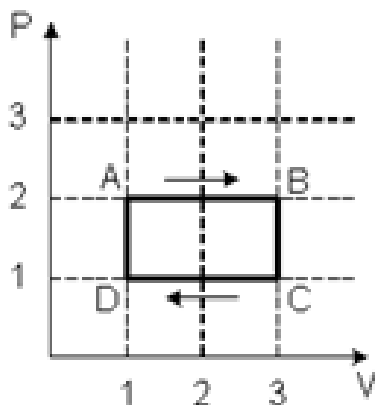
- 1)  $\frac{5}{2}kT$ ;      2)  $\frac{3}{2}kT$ ;      3)  $\frac{7}{2}kT$ ;      4)  $\frac{1}{2}kT$ .

6. При поступлении в неизолированную термодинамическую систему тела в ходе обратимого процесса приращение её энтропии:

- 1)  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ ;      2)  $dS < \frac{\delta Q}{T}$ ;      3)  $dS \leq \frac{\delta Q}{T}$ ;      4)  $dS > \frac{\delta Q}{T}$ .

7. Идеальный газ не совершит работы, получив одинаковое количество теплоты при процессе:

- 1) изобарном;  
2) изотермическом;  
3) изохорном;  
4) адиабатном.



### Вариант 3

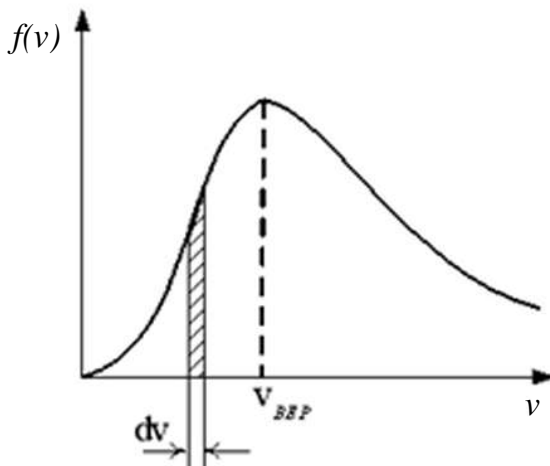
1. На  $(P, V)$ -диаграмме изображен циклический процесс.

На участках CD и DA температура:

- 1) повышается;  
2) на CD понижается, на DA повышается;  
3) на CD повышается, на DA понижается;  
4) понижается.

2. При изотермическом сжатии идеального газа:
- 1) температура возрастает, энтропия не изменяется;
  - 2) температура возрастает, энтропия убывает;
  - 3) температура не изменяется, энтропия убывает;
  - 4) температура не изменяется, энтропия возрастает.

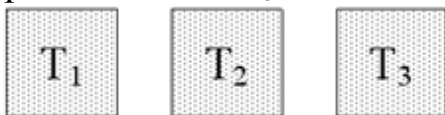
3. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчет на единицу интервала.



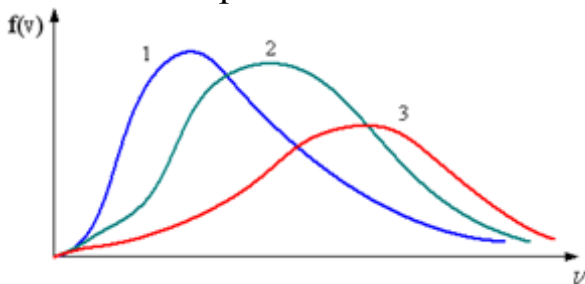
С уменьшением температуры:

- 1) величина максимума уменьшается;
- 2) положение максимума не изменяется;
- 3) максимум кривой смещается вправо;
- 4) площадь под кривой не изменяется.

4. В трех одинаковых сосудах находится одинаковое количество газа, причем  $T_1 < T_2 < T_3$ .



Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой  $T_1$  будет описывать кривая



- 1) 3;                    2) 1;                    3) 2.

5. Энтропия неизолированной термодинамической системы в ходе необратимого процесса:

- 1) только увеличивается;  
2) остается постоянной;  
3) только убывает.

6. Чтобы расплавить некоторую массу меди, требуется большее количество теплоты, чем для плавления такой же массы свинца, так как удельная теплота плавления меди примерно в 8 раз больше, чем свинца ( $\lambda_{Cu}=176$  кДж/кг,  $\lambda_{Pb}=22,6$  кДж/кг). Температура плавления меди примерно в 2 раза выше температуры плавления свинца ( $T_{Cu}=1373$  К,  $T_{Pb}=600$  К). Разрушение кристаллической решетки металла при плавлении приводит к возрастанию энтропии. Если энтропия свинца увеличилась на  $\Delta S$ , то изменение энтропии меди составит:

- 1)  $4\Delta S$ ;            2)  $\frac{3}{4}\Delta S$ ;            3)  $2\Delta S$ ;            4)  $\frac{1}{4}\Delta S$ .

7. Молярная теплоемкость идеального газа при постоянном давлении равна  $C_p = \frac{9}{2}R$ , где  $R = 8.31$  Дж/(кг · моль) – универсальная газовая постоянная. Число поступательных степеней свободы молекулы равно:

- 1) 2;                    2) 3;                    3) 9;                    4) 1.

#### Вариант 4

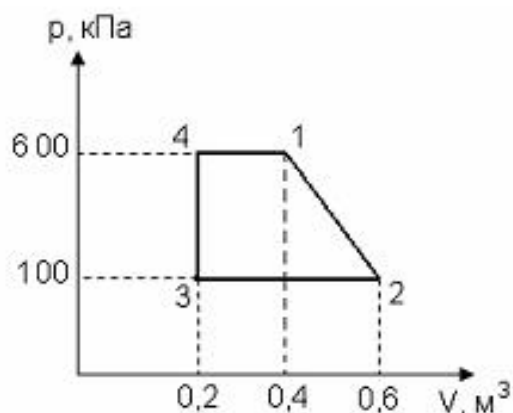
1. Если количество теплоты, отдаваемое рабочим телом холодильнику, уменьшится в два раза, то коэффициент полезного действия тепловой машины:

- 1) уменьшится на  $\frac{Q_2}{2Q_1}$ ;            2) уменьшится на  $\frac{Q_2}{Q_1}$ ;  
3) увеличится на  $\frac{Q_2}{Q_1}$ ;            4) увеличится на  $\frac{Q_2}{2Q_1}$ .

2. Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул в 4 г водорода при температуре 50 К равна:

- 1) 100 Дж;            2) 831 Дж;            3) 83,1 Дж;            4) 200 Дж.

3. Диаграмма циклического процесса идеального двухатомного газа представлена на рисунке. Работа газа в килоджоулях в циклическом процессе равна:

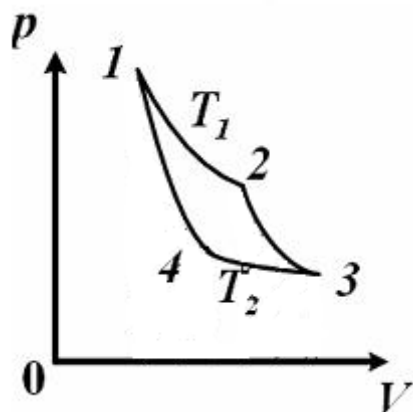


- 1) 100;    2) 75;    3) 150;    4) 300.

4. КПД цикла Карно равен 70 %. Если на 20 % увеличить температуру нагревателя и на 20 % уменьшить температуру охладителя, КПД достигнет значения:

- 1) 40 %;    2) 80 %;    3) 60 %;    4) 20 %.

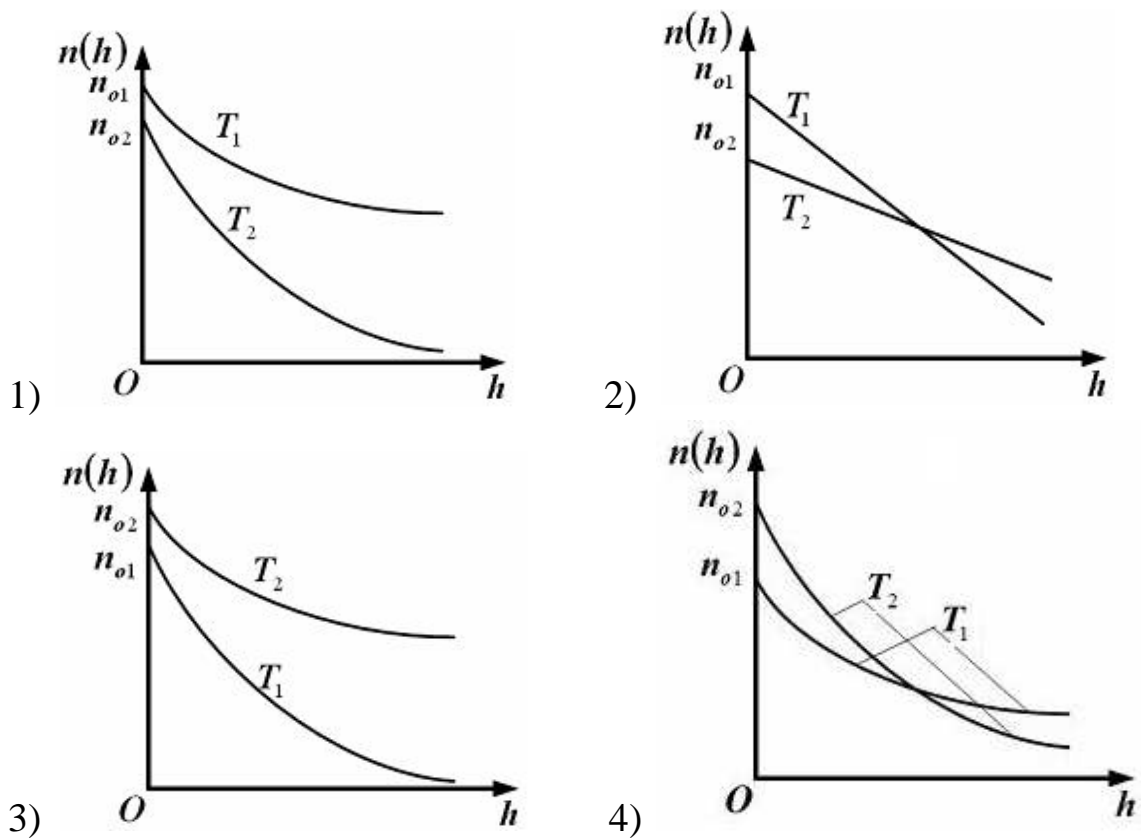
5. На диаграмме изображен цикл Карно для идеального газа.



Для величины работы изотермического расширения газа  $A_{1-2}$  и изотермического сжатия  $A_{3-4}$  справедливо соотношение:

- 1)  $A_{1-2} > |A_{3-4}|$ ;    3)  $A_{1-2} = |A_{3-4}|$ ;  
 2)  $A_{1-2} < |A_{3-4}|$ ;    4) работы невозможно сравнить.

6. Зависимость концентрации молекул идеального газа во внешнем однородном поле силы тяжести от высоты для двух разных температур ( $T_2 < T_1$ ) представлена на рисунке.



7. Чтобы расплавить некоторую массу меди, требуется большее количество теплоты, чем для плавления такой же массы свинца, так как удельная теплота плавления меди примерно в 8 раз больше, чем свинца ( $\lambda_{Cu}=176$  кДж/кг,  $\lambda_{Pb}=22,6$  кДж/кг). Температура плавления меди примерно в 2 раза выше температуры плавления свинца ( $T_{Cu}=1373$  К,  $T_{Pb}=600$  К). Разрушение кристаллической решетки металла при плавлении приводит к возрастанию энтропии. Если энтропия меди уменьшилась на  $\Delta S$ , то изменение энтропии свинца составит:

- 1)  $4\Delta S$ ;      2)  $\frac{1}{4}\Delta S$ ;      3)  $2\Delta S$ ;      4)  $\frac{3}{4}\Delta S$ .



### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

#### Вариант 1

1. Присоединенный к источнику тока плоский конденсатор имеет объемную плотность энергии  $w$ . Если между обкладок конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , то объемная плотность энергии электрического поля конденсатора станет равной:

- 1)  $\epsilon w$ ;      2)  $w$ ;      3)  $(\epsilon - 1)w$ ;      4)  $w/(\epsilon - 1)$ ;      5)  $w/\epsilon$ .

2. Два проводника, изготовленные из одного материала, равной длины, но разного сечения ( $S_1 < S_2$ ), включены последовательно в цепь.

Напряженность электрического поля:

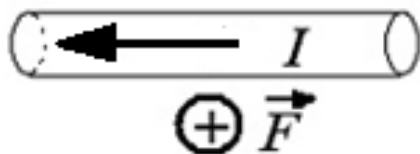
1) в проводнике с сечением  $S_2$  может быть как больше, так и меньше;

2) больше в проводнике с сечением  $S_2$ ;

3) больше в проводнике с сечением  $S_1$ ;

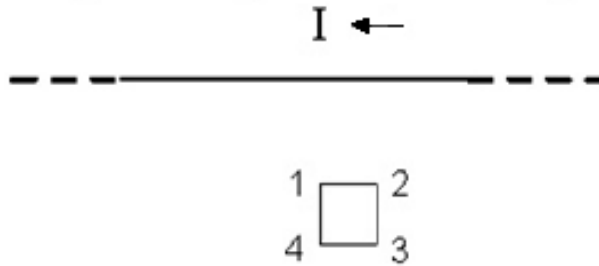
4) одинакова в обоих проводниках.

3. В однородном магнитном поле на горизонтальный проводник с током, направленным влево, действует сила Ампера, направленная перпендикулярно плоскости рисунка от наблюдателя. При этом линии магнитной индукции поля направлены:



- 1) вниз;      2) влево;      3) вверх;      4) вправо.

4. На рисунке показан длинный проводник с током, в одной плоскости с которым находится небольшая проводящая рамка.



При выключении в проводнике тока заданного направления в рамке

- 1) возникнет индукционный ток в направлении 1-2-3-4;
- 2) возникнет индукционный ток в направлении 4-3-2-1;
- 3) индукционного тока не возникнет.

5. Явление гистерезиса, то есть запаздывания изменения вектора индукции магнитного поля в веществе от изменения напряженности внешнего магнитного поля, имеет место:

- 1) в любых магнетиках;
- 2) ферромагнетиках;
- 3) диамагнетиках;
- 4) парамагнетиках.

6. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV \quad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Следующая система уравнений

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0 \quad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля:

- 1) в отсутствие токов проводимости;
- 2) при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- 3) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- 4) в отсутствие заряженных тел.

7. Поток вектора электрического смещения через замкнутую поверхность равен:

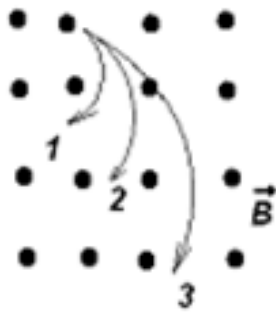
- 1) сумме свободных электрических зарядов внутри этой поверхности;
- 2) нулю;
- 3) сумме связанных электрических зарядов внутри этой поверхности;
- 4) ЭДС контура, проведенного внутри этой поверхности;
- 5) сумме электрических зарядов внутри этой поверхности, деленной на  $\epsilon_0$ .

### *Вариант 2*

1. Какое выражение соответствует условиям равновесия зарядов в проводнике?

1. Напряженность поля внутри проводника не равна нулю.
2. Во внешнем электрическом поле происходит поляризация проводника.
3. Напряженность поля у поверхности проводника направлена перпендикулярно поверхности.
4. Весь объем проводника не является эквипотенциальным.

2. Ионы, имеющие одинаковые скорости и массы, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке.



Наименьший заряд имеет ион, движущийся по траектории:

- 1) 3;
- 2) 2;
- 3) характеристики траекторий не зависят от заряда;
- 4) 1.

3. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля имеет вид

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV$$

$$\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Следующая система уравнений

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

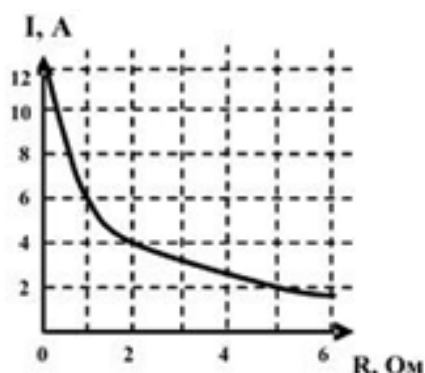
$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV$$

$$\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля:

- 1) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- 2) в отсутствие заряженных тел;
- 3) в отсутствие токов проводимости;
- 4) при наличии заряженных тел и токов проводимости.

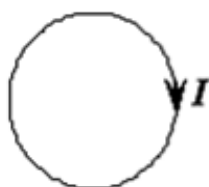
4. К источнику тока подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления.



Внутреннее сопротивление этого источника тока равно 1 Ом. Чему равна ЭДС источника?

- 1) 0 В;
- 2) 6 В;
- 3) 12 В;
- 4) 24 В;
- 5) 1 В.

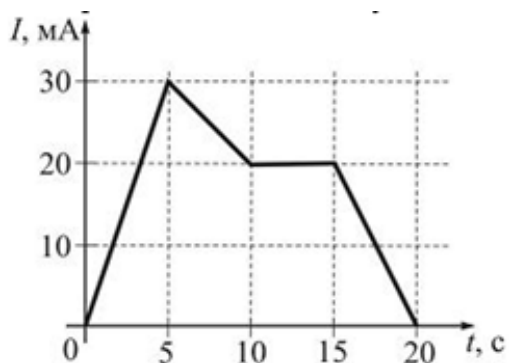
5. Сила тока в проводящем круговом контуре индуктивностью 0,4 Гн изменяется с течением времени  $t$  по закону  $I = 2 + 0,3t$ .



Абсолютная величина ЭДС самоиндукции равна:

- 1) 0,12 В; индукционный ток направлен по часовой стрелке;
- 2) 0,8 В; индукционный ток направлен по часовой стрелке;
- 3) 0,12 В; индукционный ток направлен против часовой стрелки;
- 4) 0,8 В; индукционный ток направлен против часовой стрелки.

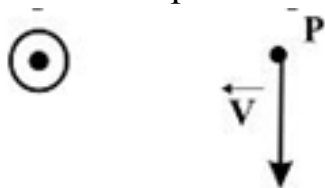
6. На рисунке показана зависимость силы тока от времени в электрической цепи с индуктивностью 1 мГн.



Модуль среднего значения ЭДС самоиндукции в интервале от 5 до 10 с (мкВ) равен:

- 1) 4;            2) 2;            3) 0;            4) 10.

7. Вблизи длинного проводника с током (ток направлен к нам) пролетает позитрон со скоростью  $v$ .



Сила Лоренца направлена:

- 1) „от нас”;  
 2) влево;  
 3) вправо;  
 4) „к нам”;  
 5) равна нулю.

### Вариант 3

1. Физический смысл магнитной проницаемости  $\mu$ : Если магнетик заполняет все пространство соленоида, то  $\mu$  показывает:

- 1) магнитный момент единицы объема;  
 2) во сколько раз магнитная индукция поля в данном веществе, образованного намагничивающим током, отличается от индукции поля, образованного в вакууме;  
 3) намагниченность вещества;  
 4) степень намагничивания магнетика.

2. Уравнение Максвелла, описывающее отсутствие в природе магнитных зарядов, имеет вид:

$$1) \oint \vec{E}_l dl = 0; \quad 2) \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0; \quad 3) \oint \vec{E}_n dS = 0; \quad 4) \oint \vec{B}_n dS = 0.$$

3. Амплитуда колебаний ЭДС индукции, возникающей во вращающейся в магнитном поле проволочной рамке, при увеличении индукции магнитного поля в 4 раза и уменьшении угловой скорости вращения в 2 раза:

- 1) не изменится;
- 2) уменьшится в 2 раза;
- 3) уменьшится в 4 раза;
- 4) увеличится в 2 раза.

4. Поле создано точечным зарядом  $-q$ . Укажите направление вектора градиента потенциала в точке А.

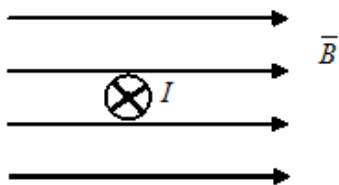


- 1) А – 3;
- 2) А – 1;
- 3) А – 4;
- 4) А – 2.

5. Выражение  $\frac{\varepsilon R}{R+r}$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС источника тока;  $R$  – величина внешнего сопротивления;  $r$  – внутреннее сопротивление источника, представляет собой:

- 1) напряжение на внешнем сопротивлении;
- 2) работу перемещения положительного единичного заряда по замкнутой цепи;
- 3) силу тока в замкнутой цепи;
- 4) напряжение на зажимах источника.

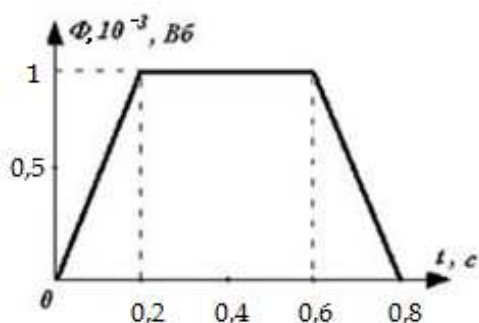
6. Прямолинейный проводник с током помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям



Ток течет «от нас». Сила Ампера, действующая на проводник, направлена:

- 1) вправо; 2) вниз; 3) влево; 4) вверх.

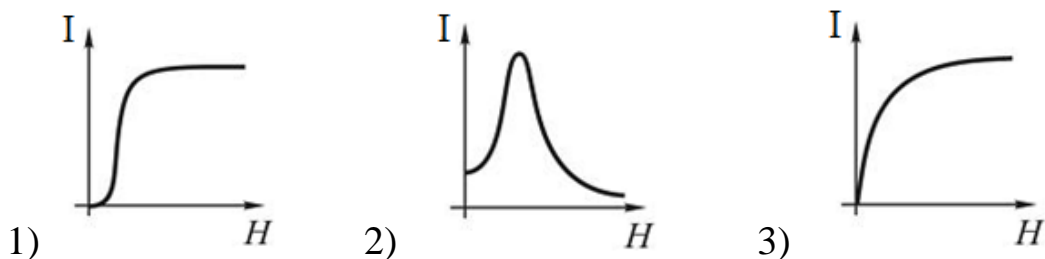
7. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый контур, от времени. Максимальное значение ЭДС индукции в контуре равно:



- 1)  $5 \cdot 10^{-3}$  В; 2)  $10^{-3}$  В; 3)  $2,5 \cdot 10^{-3}$  В; 4)  $10^{-2}$  В.

#### Вариант 4

1. Зависимость намагниченности ферромагнетика  $I$  от напряженности внешнего магнитного поля  $H$ , показана на графике



2. Если воздушный конденсатор отключить от источника, а затем заполнить диэлектриком, то:

- 1) емкость уменьшится, напряжение между обкладками не изменится;  
 2) емкость увеличится, заряд на обкладках не изменится;  
 3) напряжение между обкладками не изменится, заряд на обкладках уменьшится;



4) емкость уменьшится, заряд на обкладках не изменится.

3. Точечный заряд  $-q$  находится в центре сферической поверхности. Если добавить заряд  $+q$  внутрь сферы, то поток вектора напряженности электростатического поля  $\vec{E}$  через поверхность сферы:

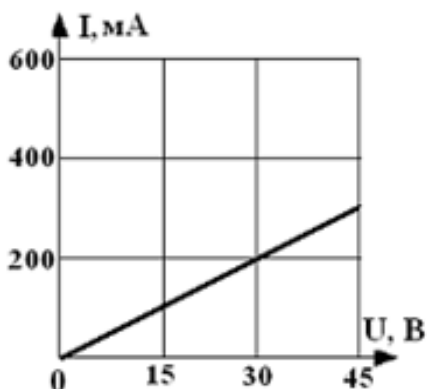
- 1) не изменится;    2) уменьшится;    3) увеличится.

4. Бесконечно длинный прямолинейный проводник имеет плоскую петлю. Магнитная индукция в точке  $O$  имеет направление:



- 1) влево;    2) вправо;    3) „к нам”;    4) „от нас”.

5. На рисунке представлена зависимость тока, протекающего через участок электрической цепи от напряжения, приложенного к нему. Работа электрического тока в участке за 10 мин при напряжении 30 В равна:



- 1) 3600 Дж;    2) 100 Дж;    3) 100 кДж;    4) 3600 кДж.

6. Если уменьшить в 3 раза напряженность электрического поля в проводнике, то удельная тепловая мощность тока:

- 1) увеличится в 3 раза;  
2) уменьшится в 9 раз;

- 3) не изменится;
- 4) уменьшится в 3 раза;
- 5) увеличится в 9 раз.

7. Вблизи длинного проводника с током (ток направлен „от нас’’) пролетает позитрон со скоростью  $v$ .



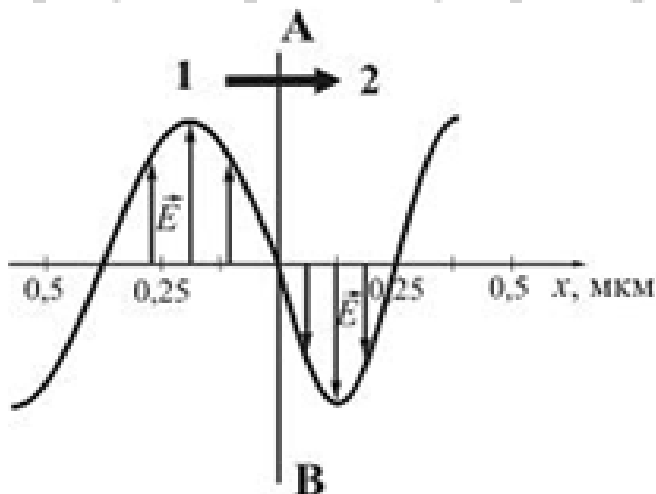
Сила Лоренца направлена:

- 1) „от нас’’;
- 2) влево;
- 3) вправо;
- 4) „к нам’’;
- 5) равна нулю.

#### 4. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

##### Вариант 1

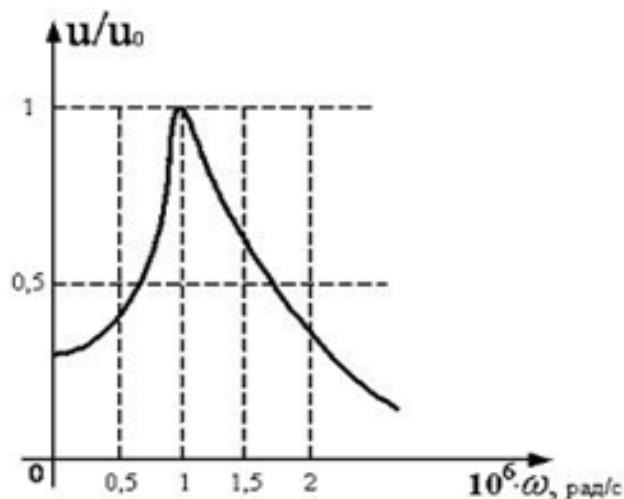
1. На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ.



Отношение скорости света в среде 1 к его скорости в среде 2 равно:

- 1) 1,75;      2) 0,84;      3) 1,50;      4) 0,67.

2. На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе емкостью 10 нФ, включенного в колебательный контур.



При малом затухании индуктивность катушки этого контура равна:

- 1) 1 мГн;      2) 100 мГн;      3) 0,1 мГн;      4) 10 мГн.

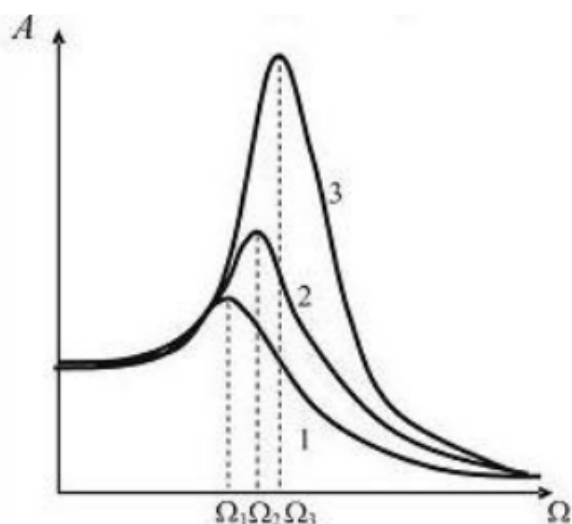
3. При уменьшении в 2 раза амплитуды колебаний вектора напряженности электрического поля и увеличении в 2 раза амплитуды колебаний вектора магнитного поля плотность потока энергии:

- 1) уменьшится в 4 раза;
- 2) останется неизменной;
- 3) уменьшится в 2 раза.

4. Уравнение движения пружинного маятника  $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$  является дифференциальным уравнением:

- 1) вынужденных колебаний;
- 2) свободных незатухающих колебаний;
- 3) свободных затухающих колебаний.

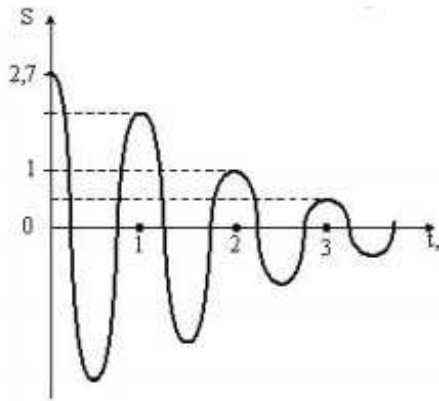
5. Системе с наименьшей добротностью соответствует резонансная кривая, обозначенная номером:



1) ответ неоднозначен, так как результат зависит от амплитуды вынуждающей силы;

- 2) 3;
- 3) 1;
- 4) добротность во всех трех случаях одна и та же;
- 5) 2.

6. На рисунке изображен график затухающих колебаний, где  $S$  – колеблющаяся величина, описываемая уравнением  $x(t) = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega_1 t + \varphi)$ . Определите коэффициент затухания  $\beta$ .



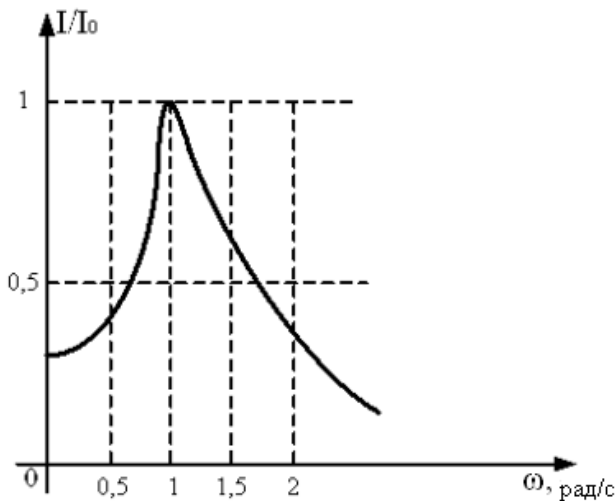
- 1) 0,5;      2) 2,7;      3) 1;      4) 2.

7. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами. Результирующее колебание имеет максимальную амплитуду при разности фаз, равную:

- 1)  $\frac{\pi}{2}$ ;      2)  $\frac{\pi}{4}$ ;      3)  $\pi$ ;      4) 0.

### Вариант 2

1. На рисунке представлена зависимость относительной амплитуды колебаний силы тока в катушке индуктивностью 10 мГн, включенной в идеальный колебательный контур (по горизонтальной оси  $\omega \cdot 10^5$  рад/с). Емкость конденсатора этого контура равна:

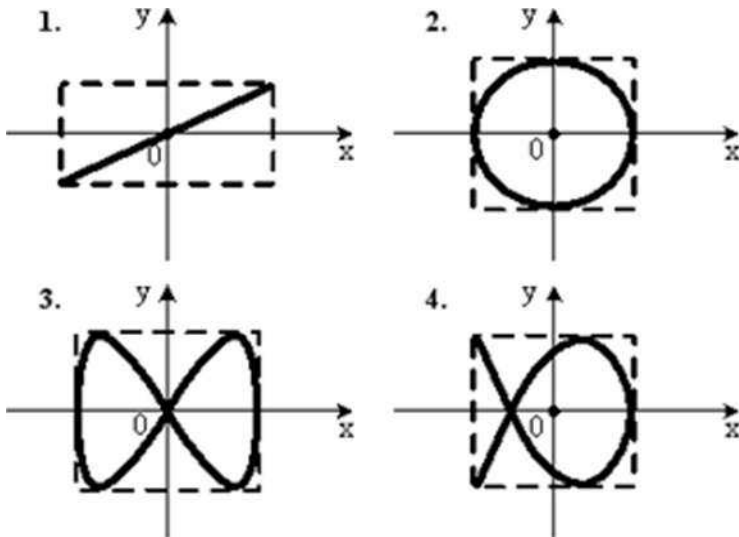


- 1) 1 нФ;      2) 100 нФ;      3) 10 нФ.

2. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \pi$  амплитуда результирующего колебания равна:

- 1)  $A_0\sqrt{2}$ ;      2)  $A_0\sqrt{3}$ ;      3)  $2A_0$ ;      4) 0.

3. Точка М одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $ox$  и  $oy$  с одинаковыми амплитудами и одинаковыми частотами. При разности фаз  $\pi/2$  траектория точки М имеет вид:



- 1) 4;      2) 1;      3) 3;      4) 2.

4. Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $\xi = 0,01e^{i(10^3t - 4x)}$ . Тогда скорость распространения волны (м/с) равна:

- 1) 500;      2) 0,01;      3) 250;      4) 1.

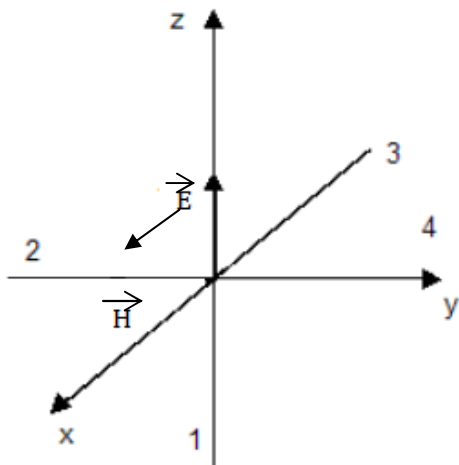
5. Источник акустических колебаний движется к наблюдателю. Частота излучаемой им волны относительно наблюдателя:

- 1) равна частоте, излучаемой движущимся источником;
- 2) меньше частоты, излучаемой движущимся источником;
- 3) больше частоты, излучаемой движущимся источником.

6. При уменьшении в 3 раза амплитуды колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей плотность потока энергии:

- 1) останется неизменной;
- 2) увеличится в 9 раз;
- 3) увеличится в 3 раза;
- 4) уменьшится в 9 раз;
- 5) уменьшится в 3 раза.

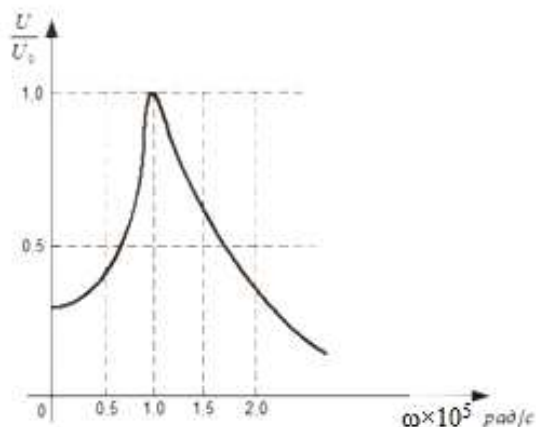
7. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении:



- 1) 4;      2) 1;      3) 3;      4) 2.

*Вариант 3*

1. На рисунке представлена зависимость относительной амплитуды колебаний напряжения на конденсаторе емкостью 5 нФ, включенном в идеальный колебательный контур (по горизонтальной оси  $\omega \cdot 10^5$  рад/с). Индуктивность катушки этого контура равна:

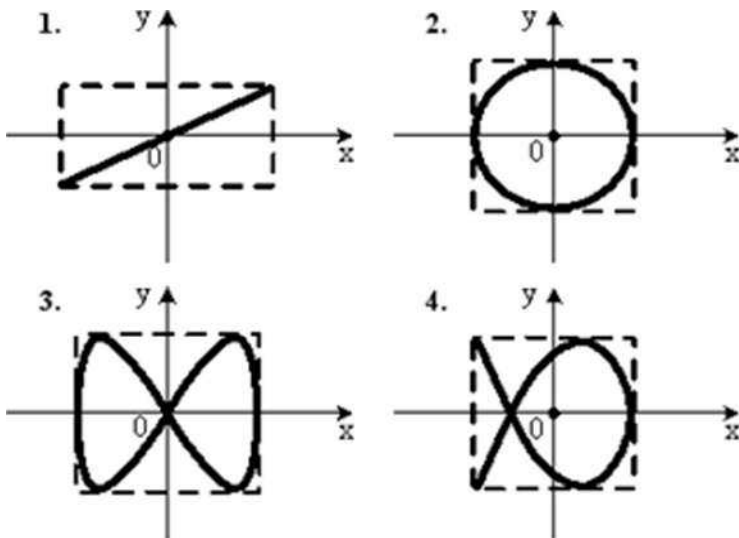


- 1) 20 мГн;      2) 0,2 мГн;      3) 200 мГн;      4) 2 мГн.

2. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^2 t - 4x)$ . Период (мс) равен:

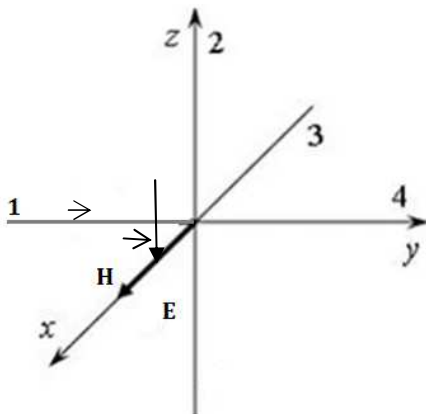
- 1) 4;      2) 62,8;      3) 0,06;      4) 15,9.

3. Точка М одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $Ox$  и  $Oy$  с одинаковыми амплитудами. При соотношении частот 3:2 траектория точки М имеет вид:



- 1) 4      2) 1;      3) 3;      4) 2.

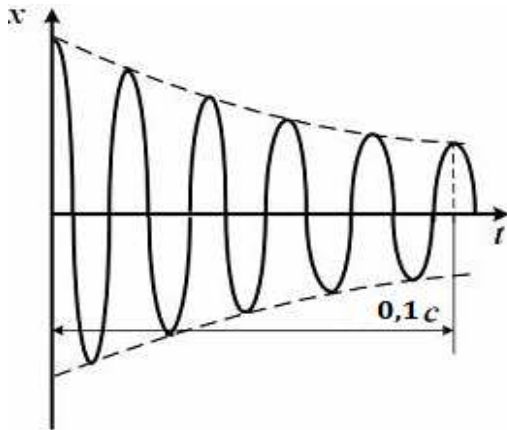
4. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении:



- 1) 4;      2) 1;      3) 3;      4) 2.

5. График зависимости координаты  $x$  материальной точки от времени  $t$  для затухающих колебаний имеет вид, показанный на рисунке.





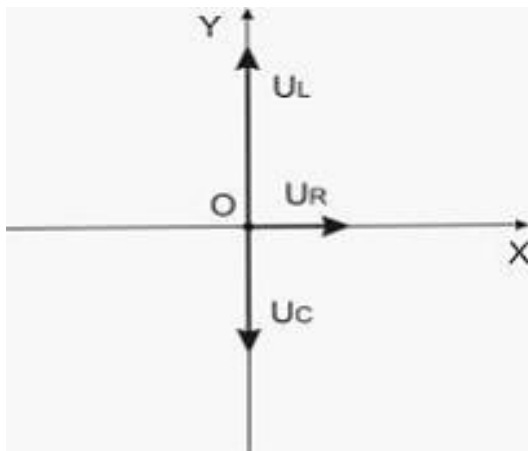
Циклическая частота затухающих колебаний равна:

- 1)  $10^3 \pi c^{-1}$ ;    2)  $10^2 c^{-1}$ ;    3)  $10^3 \pi c^{-1}$ ;    4)  $5 \cdot 10^2 c^{-1}$ .

6. В упругой среде плотности  $\rho$  распространяется плоская синусоидальная волна. Если амплитуда волны увеличится в 3 раза, то плотность потока энергии (вектор Умова) увеличится в \_\_\_\_\_ раз(-а):

- 1) 9;    2) 1,5;    3) 18;    4) 3.

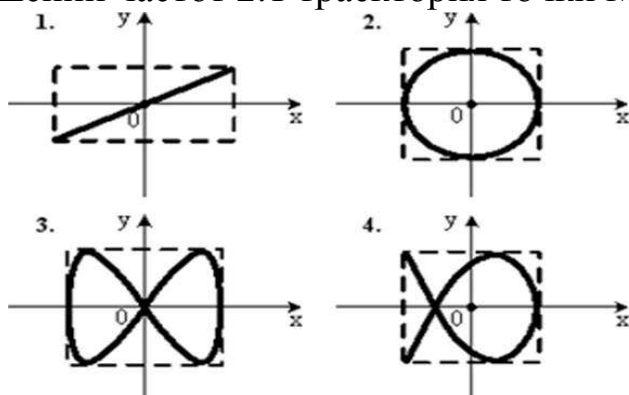
7. Резистор, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону  $U = \sqrt{8} \cos(3,14t)$  В. На рисунке представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Амплитудные значения напряжений соответственно равны: на резисторе  $U_R = 2$  В; на катушке индуктивности  $U_L = 6$  В; на конденсаторе  $U_C =$



- 1) 4 В;    2) 6 В;    3) 2 В;    4)  $2\sqrt{2}$  В.

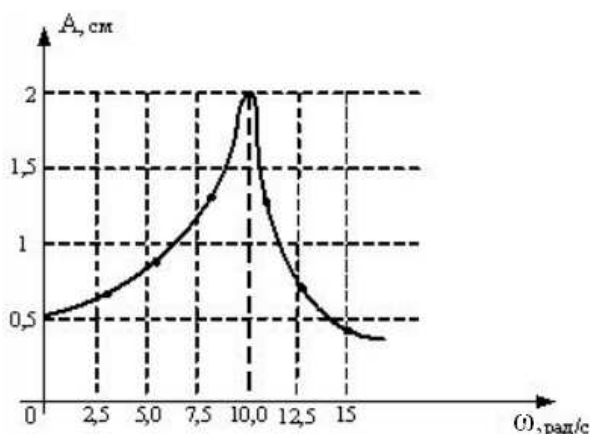
*Вариант 4*

1. Точка М одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $OY$  и  $OX$  с одинаковыми амплитудами. При соотношении частот 2:1 траектория точки М имеет вид:



- 1) 4;            2) 1;            3) 3;            4) 2.

2. На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний груза массой 0,2 кг на пружине от частоты внешней силы.



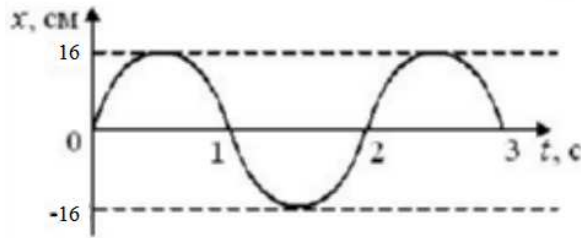
При малом затухании в системе коэффициент жесткости пружины равен:

- 1) 2 Н/м;            2) 20 Н/м;            3) 200 Н/м;            4) 2000 Н/м.

3. В упругой среде плотности  $\rho$  распространяется плоская синусоидальная волна с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ . Если частоту уменьшить в 2 раза, а амплитуду увеличить в 4 раза, объемная плотность энергии:

- 1) увеличится в 4 раза;  
 2) увеличится в 64 раза;  
 3) увеличится в 2 раза;  
 4) уменьшится в 2 раза.

4. Из графика колебаний материальной точки следует, что модуль скорости в момент времени  $t = \frac{1}{3}$  с равен:



- 1)  $8\pi\sqrt{3}$  см/с;      2) 8 см/с;      3)  $8\pi$  см/с;      4) 0.

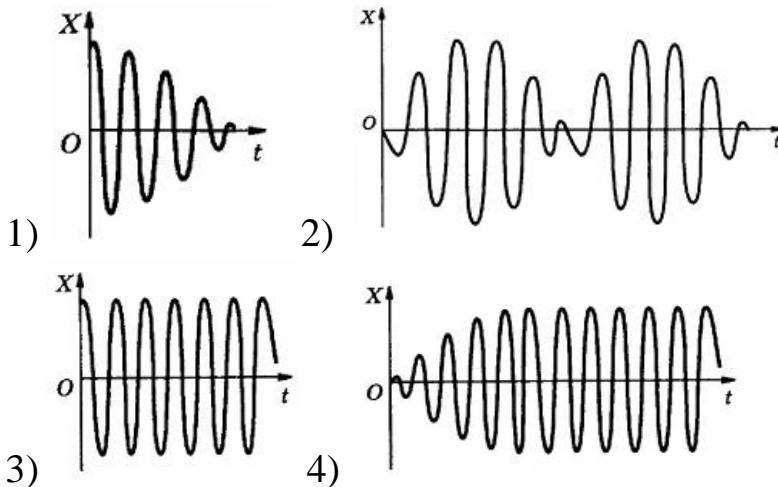
5. При некоторой частоте внешнего напряжения амплитуды падений напряжения на элементах цепи соответственно равны  $U_R = 8$  В,  $U_L = 9$  В,  $U_C = 3$  В. При этом амплитуда приложенного напряжения равна:

- 1) 20 В;      2) 6 В;      3) 9 В;      4) 10 В.

6. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $Ox$  со скоростью  $v = 500$  м/с, имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - kx)$ . Волновое число  $k$  равно,  $m^{-1}$ :

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

7. Колебание материальной точки, возникающее под действием внешней периодически изменяющейся силы, происходит по закону:  $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$ , где  $\beta$  – коэффициент затухания;  $\omega_0$  – циклическая частота собственных колебаний. Зависимость смещения  $x$  материальной точки от времени имеет вид, показанный на рисунке.



## 5. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

### Вариант 1

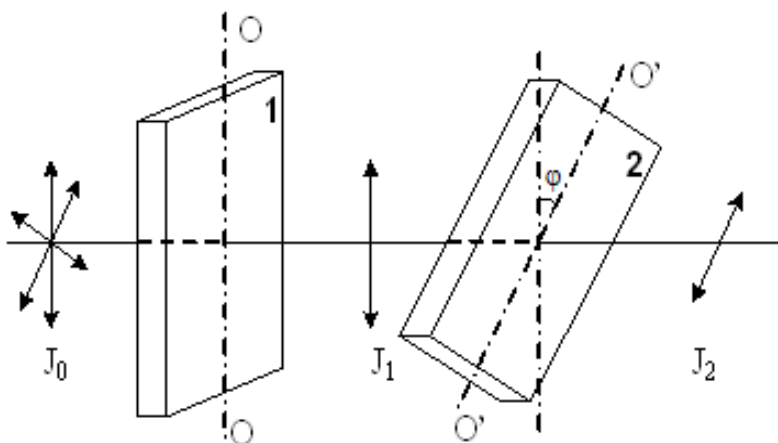
1. Дифракционная решетка разлагает белый свет в спектр. Наибольшее отклонение у \_\_\_\_\_ части спектра:

- 1) желтой;
- 2) фиолетовой;
- 3) зеленой;
- 4) красной.

2. Из приведенных утверждений, касающихся сложения волн, неверным является следующее утверждение:

- 1) при сложении когерентных волн суммарная интенсивность не равна сумме интенсивностей складываемых волн;
- 2) при интерференции когерентных волн одинаковой интенсивности суммарная интенсивность равна учетверенной интенсивности каждой волны;
- 3) суммарная интенсивность при интерференции двух когерентных волн зависит от разности фаз интерферирующих волн.

3. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и  $J_2 = 1/2 J_1$ , то угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  равен:



- 1)  $90^\circ$ ;
- 2)  $30^\circ$ ;
- 3)  $60^\circ$ ;
- 4)  $0^\circ$ ;
- 5)  $45^\circ$ .

4. Интерференцией называется:

- 1) изменение средней интенсивности при наложении электромагнитных волн с постоянной разностью фаз;
- 2) наложение электромагнитных волн разной частоты;
- 3) наложение электромагнитных волн одинаковой частоты с постоянной разностью фаз.

5. Угол между плоскостями пропускания двух поляризаторов равен  $30^\circ$ . Если угол увеличить в 3 раза, то интенсивность света, прошедшего через оба поляризатора:

- 1) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз;
- 2) станет равной нулю;
- 3) увеличится в 3 раза;
- 4) увеличится в 2 раза.

6. Оптические разности хода лучей для соседних темных интерференционных полос отличаются:

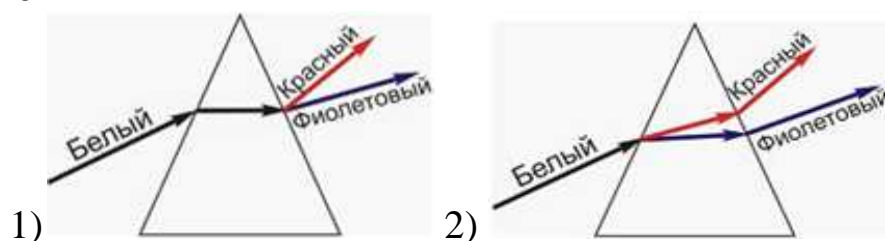
- 1) на  $\lambda/4$ ;
- 2)  $\lambda$ ;
- 3)  $2\lambda$ ;
- 4)  $\lambda/2$ .

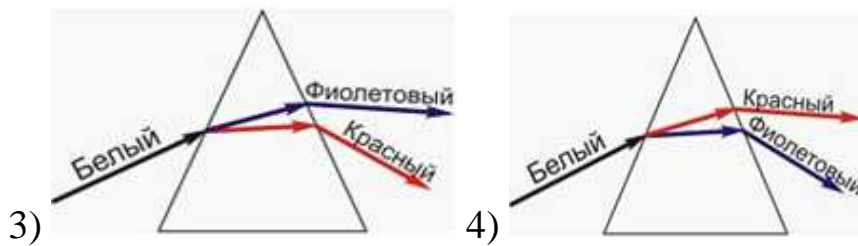
7. Разность фаз двух монохроматических электромагнитных волн равна  $(2m+1)\pi$ . Оптическая разность хода  $\Delta$  для этих волн равна:

- 1)  $(2m + 1)\lambda_0$ ;
- 2)  $(2m + 1)\lambda_0/2$  ;
- 3)  $(2m + 1)2\lambda_0$ ;
- 4)  $(2m + 1)\lambda_0/4$ .

### Вариант 2

1. Стекла́нная призма разлагает белый свет. На рисунках представлен ход лучей в призме. Правильно отражает реальный ход лучей рисунок





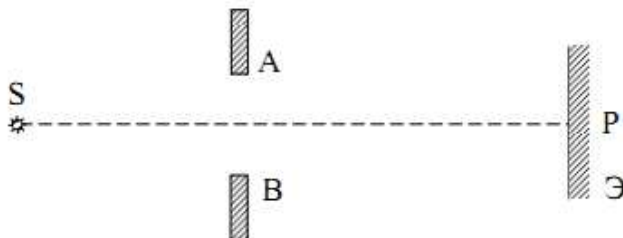
2. У электромагнитной волны при отражении от оптически менее плотной среды:

- 1) фазы векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  изменяются на  $\pi$ ;
- 2) фаза вектора  $\vec{B}$  изменяется на  $\pi$ ;
- 3) фаза вектора  $\vec{E}$  изменяется на  $\pi$ ;
- 4) фазы векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  не изменяются.

3. Радиус когерентности протяженного монохроматического источника света размером  $l$  (на расстоянии  $L$  от источника):

- 1)  $\approx \lambda L / l$ ;
- 2)  $\approx \lambda l / L$ ;
- 3)  $\approx l / L$ ;
- 4)  $\approx L / l$ .

4. Круглое отверстие АВ освещается монохроматическим светом от точечного источника S. Пусть в отверстии укладывается 5 зон Френеля. На экране увидим:



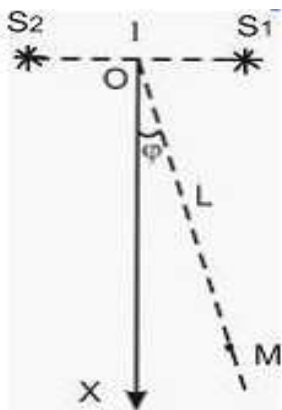
- 1) освещенное круглое пятно с небольшими колебаниями интенсивности вблизи границ пятна;
- 2) чередование темных и светлых колец со светлым пятном в центре;
- 3) чередование темных и светлых колец с темным пятном в центре.

5. Когерентными называются волны (или колебания):

- 1) с одинаковой длиной волны;
- 2) с одинаковой разностью хода и разной частотой;

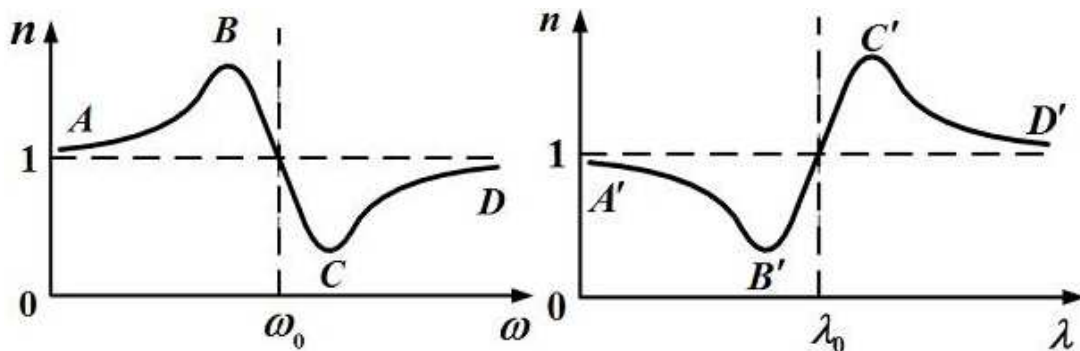
- 3) дающие устойчивую интерференционную картину при их наложении;
- 4) у которых разность хода больше радиуса когерентности.

6. Два гармонических осциллятора, колеблющихся с одинаковыми частотой и начальной фазой, находятся на расстоянии  $l = \lambda$  друг от друга, где  $\lambda$  – длина волны излучения. Расстояние  $L$  до точки наблюдения  $M$  много больше расстояния  $l$  между осцилляторами. Амплитуда результирующей волны максимальна при угле излучения  $\varphi$ , равном:



- 1)  $60^\circ$ ;
- 2)  $0^\circ$ ;
- 3)  $30^\circ$ ;
- 4)  $45^\circ$ .

7. Графики дисперсионных кривых зависимостей показателя преломления среды от частоты  $\omega$  и длины волны  $\lambda$  света имеют вид, представленный на рисунках.



Участки кривых  $CD$  и  $A'B'$  соответствуют дисперсии:

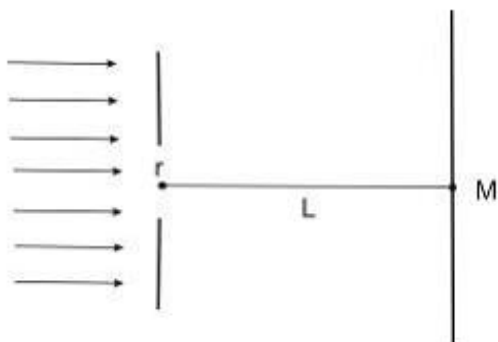
- 1)  $CD$  – нормальной,  $A'B'$  – нормальной;
- 2)  $CD$  – аномальной,  $A'B'$  – аномальной;
- 3)  $CD$  – нормальной,  $A'B'$  – аномальной;
- 4)  $CD$  – аномальной,  $A'B'$  – нормальной.

### Вариант 3

1. При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Угол преломления равен  $60^\circ$ . Тогда показатель преломления диэлектрика равен:

- 1) 1,73;      2) 0,58;      3) 1,41;      4) 0,73.

2. На диафрагму с круглым отверстием радиусом 5 мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 1 м помещают экран. В центре экрана в точке М будет наблюдаться:

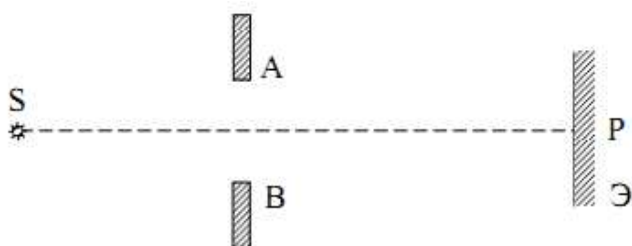


- 1) темное пятно, так как в отверстии укладываются 2 зоны Френеля;  
2) светлое пятно, так как в отверстии укладываются 3 зоны Френеля;  
3) светлое пятно, так как в отверстии укладываются 5 зон Френеля;  
4) темное пятно, так как в отверстии укладываются 4 зоны Френеля.

3. Длина когерентности излучения точечного источника волн равна 3 см. Тогда время когерентности для него равно:

- 1)  $10^{-9}$  с;      2)  $10^{-12}$  с;      3)  $10^{-10}$  с.

4. Круглое отверстие АВ освещается монохроматическим светом от точечного источника S. Пусть в отверстии укладываются 8 зон Френеля. На экране Э в центре дифракционной картины увидим:



1) освещенное круглое пятно с небольшими колебаниями интенсивности вблизи границ пятна;

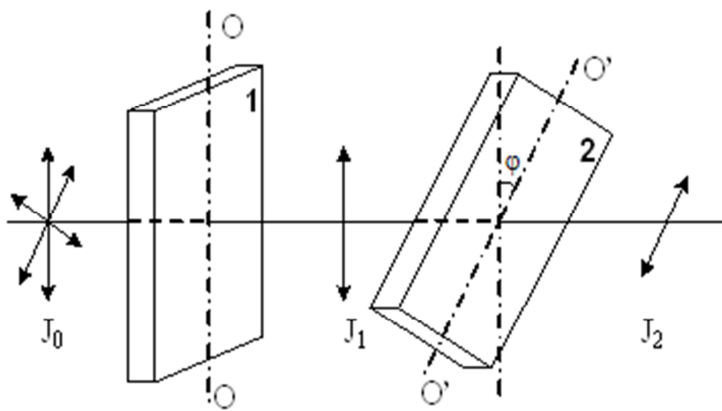


2) чередование темных и светлых колец со светлым пятном в центре;

3) чередование темных и светлых колец с темным пятном в центре.

5. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  равен  $30^\circ$  то  $J_1$  и  $J_2$  связаны соотношением:

1)  $J_2 = \frac{3}{4}J_1$ ;    2)  $J_2 = J_1$ ;    3)  $J_2 = \frac{J_1}{4}$ ;    4)  $J_2 = \frac{J_1}{2}$ .



6. При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Если угол преломления  $30^\circ$ , то угол падения равен:

1)  $90^\circ$ ;    2)  $30^\circ$ ;    3)  $60^\circ$ ;    4)  $45^\circ$ .

2) Скорость распространения света в сероуглероде  $184000$  км/с. Определите показатель преломления алмаза

1) 1,76;    2) 1,21;    3) 1,42;    4) 1,63;    5) 1,57.

#### Вариант 4

1. Интенсивность естественного света, проходящего через поляризатор и анализатор, ослабляется в два раза. Тогда угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора равен:

1)  $45^\circ$ ;    2)  $60^\circ$ ;    3)  $0^\circ$ ;    4)  $30^\circ$ .

2. При падении света на границу раздела диэлектриков под произвольным углом:

- 1) отраженный свет полностью поляризован;
- 2) преломленный свет полностью поляризован;
- 3) отраженный свет частично поляризован;
- 4) преломленный свет не поляризован.

3. Естественный свет проходит через границу раздела двух изотропных сред (диэлектриков). После прохождения отраженная световая волна оказывается полностью поляризованной. Чему равен угол между падающим и отраженным лучами?

- 1)  $60^\circ$ ;
- 2)  $120^\circ$ ;
- 3)  $90^\circ$ ;
- 4)  $30^\circ$ .

4. Закон Бугера имеет вид  $I = I_0 e^{-k^l}$ . Что обозначено символом  $k$ ?

- 1) коэффициент отражения света;
- 2) коэффициент поглощения света;
- 3) коэффициент рассеяния света;
- 4) коэффициент преломления света.

5. Появление цветных радужных пятен на поверхности воды, покрытой тонкой бензиновой или масляной пленкой, является следствием явления:

- 1) интерференции света;
- 2) дисперсии света;
- 3) поляризации света;
- 4) дифракции света.

6. На диэлектрическое зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. Для преломленного луча справедливо утверждение:

- 1) преломленный луч полностью поляризован;
- 2) отраженный луч поляризован частично;
- 3) оба луча не поляризованы;
- 4) преломленный луч частично поляризован.

7. Оптические разности хода лучей для соседних темных интерференционных полос отличаются:

- 1) на  $\lambda/4$ ;
- 2)  $\lambda$ ;
- 3)  $2\lambda$ ;
- 4)  $\lambda/2$ .

## 6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

### Вариант 1

1. При  $\alpha$ -распаде:

1) заряд ядра уменьшается на  $2e$ , масса ядра уменьшается на  $4a$  а.е.м.;

2) заряд ядра не изменяется, масса ядра увеличивается на  $4$  а.е.м.;

3) заряд ядра уменьшается на  $4e$ , масса ядра уменьшается на  $2$  а.е.м.;

4) заряд ядра увеличивается на  $2e$ , масса не изменяется.

2. Чем меньше энергия связи ядра, тем:

1) меньшую работу нужно совершить, чтобы разделить это ядро на отдельные нуклоны;

2) меньше энергии выделится в реакции термоядерного синтеза этого ядра с другими ядрами;

3) больше энергии выделится при распаде этого ядра на отдельные нуклоны;

4) меньше у него энергия покоя;

5) больше у него дефект масс.

3. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц выбрасывается при превращении ядра таллия  ${}_{81}^{210}\text{Tl}$  в изотоп свинца  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ ?

1) 3  $\alpha$ - и 2  $\beta^-$ -частицы;

2) 2  $\alpha$ - и 4  $\beta^-$ -частицы;

3) 3  $\alpha$ - и  $\beta^-$ -частицы;

4)  $\alpha$ -частица и 3  $\beta$ -частицы.

4. Для уравнения Шредингера

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0$$

являются справедливыми утверждения:

1) уравнение стационарно;

2) уравнение соответствует трехмерному случаю;

3) уравнение описывает состояние частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме;

4) уравнение описывает движение частицы вдоль оси  $x$  под действием квазиупругой силы, пропорциональной смещению частицы от положения равновесия.

5. К фундаментальным частицам относятся (укажите не менее двух вариантов):

- 1) фотоны;
- 2) электроны;
- 3) нейтроны;
- 4) протоны;
- 5) кварки.

6. В процессе сильного взаимодействия принимают участие:

- 1) электроны;
- 2) фотоны;
- 3) нуклоны;
- 4)  $\mu$ -мезоны.

7. Согласно гипотезе де Бройля каждую частицу можно рассматривать как волну, для которой  $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$ , где  $p$  – импульс частицы. Если частицы имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наибольшей скоростью обладает:

- 1) нейтрон;
- 2) позитрон;
- 3)  $\alpha$ -частица;
- 4) протон.

### Вариант 2

1. Ширина энергетического уровня атома, время жизни которого в возбужденном состоянии 20 нс, составляет не менее (постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ · с):

- 1)  $6,6 \cdot 10^{-8}$  эВ;
- 2)  $1,5 \cdot 10^{-10}$  эВ;
- 3)  $6,6 \cdot 10^{-10}$  эВ;
- 4)  $3,3 \cdot 10^{-8}$  эВ.

2. Электрон в атоме переходит из возбужденного состояния с энергией  $E_1$  в основное состояние с энергией  $E_0$ . При этом испускается фотон. Масса испущенного фотона равна:

- 1)  $\frac{E_1 - E_0}{c^2}$ ;
- 2)  $\frac{E_0 - E_1}{c^2}$ ;
- 3)  $\frac{E_1 - E_0}{hc}$ ;
- 4)  $\frac{E_0 - E_1}{hc}$ ;
- 5)  $\frac{E_1 + E_0}{c}$ .

3. Согласно гипотезе де Бройля каждую частицу можно рассматривать как волну, для которой  $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$ , где  $p$  – импульс частицы.

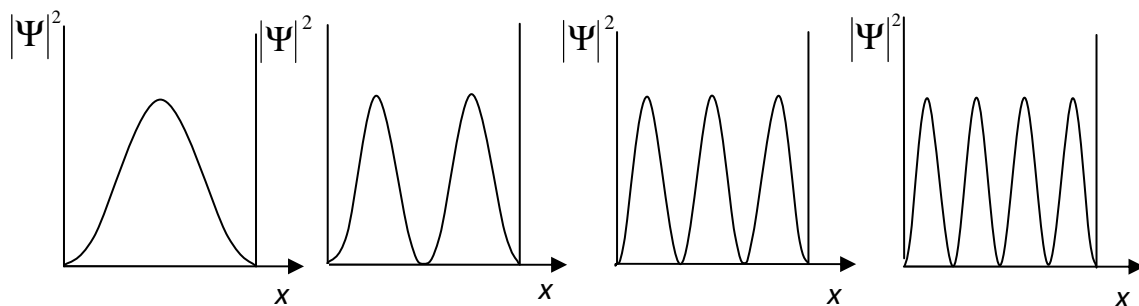
Если ускоряющее напряжение поля, в котором движется электрон, уменьшить в 2 раза, то длина волны де Бройля электрона:

- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз;
- 3) уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз;
- 4) увеличится в 2 раза.

4. При  $\beta$ -распаде значение зарядового числа  $Z$  меняется:

- 1) на единицу;
- 2) на два;
- 3) на четыре;
- 4) не меняется.

5. На рисунках представлены графики распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состоянию частицы с наибольшей энергией соответствует:



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

6. При радиоактивном  $K$ -захвате возможно превращение бериллия  ${}^7_4\text{Be}$ :

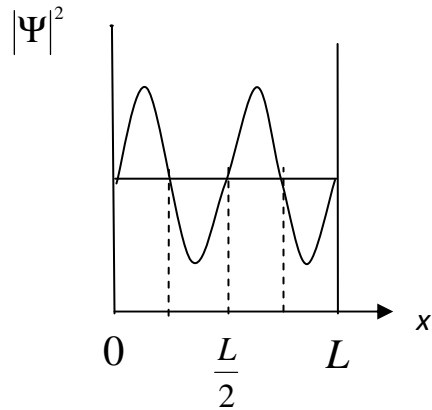
- 1) в  ${}^7_5\text{Be}$ ;
- 2)  ${}^7_3\text{Be}$ ;
- 3)  ${}^8_4\text{Be}$ ;
- 4)  ${}^7_3\text{Li}$ .

7. Если интенсивность света, падающего на катод вакуумного фотоэлемента, уменьшится в 2 раза, то количество фотоэлектронов, вырываемых светом за 1 с:

- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 4 раза;
- 3) увеличится в 2 раза;
- 4) не изменится.

*Вариант 3*

1.  $\psi_n(x)$ -функция электрона в одномерной потенциальной яме шириной  $L$  имеет вид, указанный на рисунке. Вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{L}{8} \leq x \leq \frac{L}{2}$  равна:



- 1)  $\frac{1}{4}$ ;      2)  $\frac{1}{8}$ ;      3)  $\frac{1}{2}$ ;      4)  $\frac{3}{8}$ ;      5)  $\frac{1}{3}$ .

2. В природе существуют четыре типа фундаментальных взаимодействий. Фотоны участвуют:

- 1) в электромагнитном и гравитационном;
- 2) в сильном, слабом и гравитационном;
- 3) в сильном и гравитационном;
- 4) в слабом, электромагнитном и гравитационном.

3. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии  $\sim 10^{-3}$  с. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ  $\cdot$  с, ширина метастабильного уровня будет не менее, эВ:

- 1)  $6,6 \cdot 10^{-19}$ ;    2)  $1,5 \cdot 10^{-19}$ ;    3)  $1,5 \cdot 10^{-13}$ ;    4)  $6,6 \cdot 10^{-13}$ .

4. Какое из перечисленных условий определяет возможность обнаружить волновые свойства микрочастиц?

- 1) движение с релятивистской скоростью;
- 2) наличие электрического заряда;
- 3) наличие магнитного момента;
- 4) малая масса частицы.

5. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с энергией квантов 10 эВ. Если фототок прекращается при подаче на фотоэлемент задерживающего напряжения 6 В, то работа выхода электронов с катода равна:

- 1) 4 эВ;    2) 3 эВ;    3) 0,5 эВ;    4) 2,5 эВ;    5) 16 эВ.

6. Реакция  $p + n \rightarrow e^+ + \nu_e$  не может идти из-за нарушения закона сохранения:

- 1) барионного заряда;  
2) спинового момента импульса;  
3) электрического заряда;  
4) лептонного заряда.

7. Электрон является античастицей по отношению:

- 1) к нейтрону; 2) протону; 3) позитрону; 4) фотону; 5) нейтрино.

#### *Вариант 4*

1. Положение пылинки массой  $m = 10^{-9}$  кг можно установить с неопределенностью  $\Delta x = 0,1$  мкм. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, неопределенность скорости  $\Delta V_x$  будет не менее, м/с:

- 1)  $1,05 \cdot 10^{-24}$ ;    2)  $1,05 \cdot 10^{-21}$ ;    3)  $1,05 \cdot 10^{-18}$ ;    4)  $1,05 \cdot 10^{-27}$ .

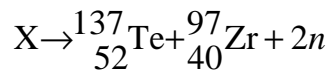
2. Величина изменения длины волны  $\Delta \lambda$  излучения при комптоновском рассеянии зависит:

- 1) от свойств рассеивающего вещества;  
2) энергии падающего фотона;  
3) угла рассеяния излучения.

3. Если зачерненную пластинку, на которую падает свет, заменить зеркальной той же площади, то световое давление:

- 1) останется неизменным;  
2) уменьшится в 2 раза;  
3) увеличится в 2 раза.

4. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме



Ядро этого элемента содержит:

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

5. В результате решения уравнения Шредингера можно определить:

- 1) траекторию частицы;
- 2) местонахождение частицы;
- 3) вероятность нахождения частицы в определенной области пространства.

6. В ядерной реакции  ${}^1_6\text{C} + X \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_0n$  буквой  $X$  обозначена частица:

- 1) протон; 2) нейтрон; 3)  $\alpha$ -частица; 4)  $\beta$ -частица.

7. Позитрон является античастицей по отношению:

- 1) к нейтрону; 2) протону; 3) электрону; 4) фотону; 5) нейтрино.

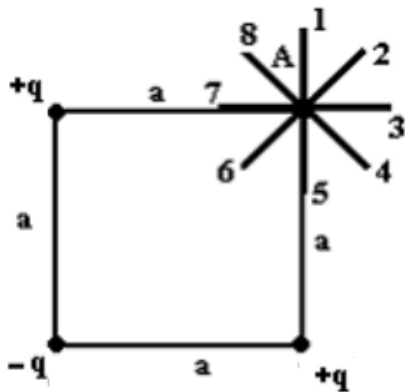


## КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ С ОТВЕТАМИ

### Вариант 1

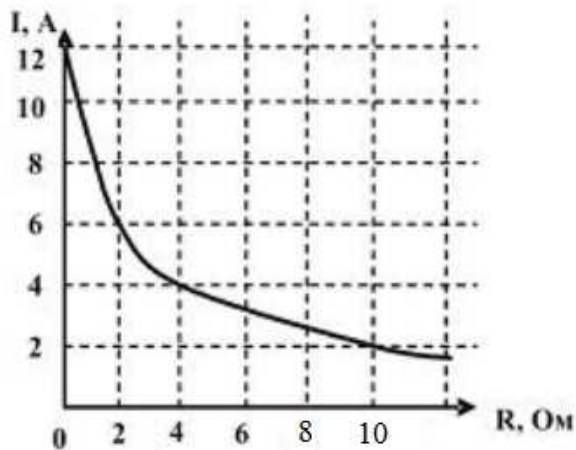
#### Задание № 1

Электростатическое поле создано системой точечных зарядов  $+q, -q$  и  $+q$ . Градиент потенциала поля в точке А ориентирован в направлении \_\_\_\_ .



- 1) 6
- 2) 2
- 3) 5
- 4) 4
- 5) 3
- 6) 1
- 7) 7
- 8) 8

#### Задание № 2

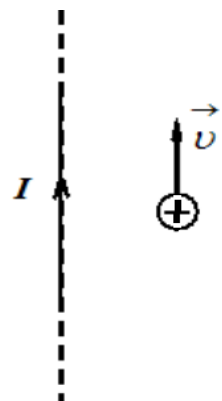


На рисунке представлены результаты экспериментального исследования зависимости силы тока в цепи от значения сопротивления, подключенного к источнику постоянного тока. ЭДС источника и его внутреннее сопротивление соответственно равны:

- 1) 12 В, 1 Ом;
- 2) 9 В, 0,5 Ом;
- 3) 24 В, 2 Ом;
- 4) 18 В, 3 Ом.

#### Задание № 3

Позитрон влетает в магнитное поле, создаваемое прямолинейным длинным проводником с током в направлении, параллельном проводнику (см. рисунок).



При этом сила Лоренца, действующая на позитрон:

- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;
- 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;
- 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «от нас»;
- 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «к нам».

#### Задание № 4

Утверждение: «Силловые линии магнитного поля не имеют источника и всегда замкнуты, т. е. магнитное поле имеет вихревой характер» – раскрывает физический смысл уравнения:

$$1) \oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$$

$$2) \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$$

$$3) \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV;$$

$$4) \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

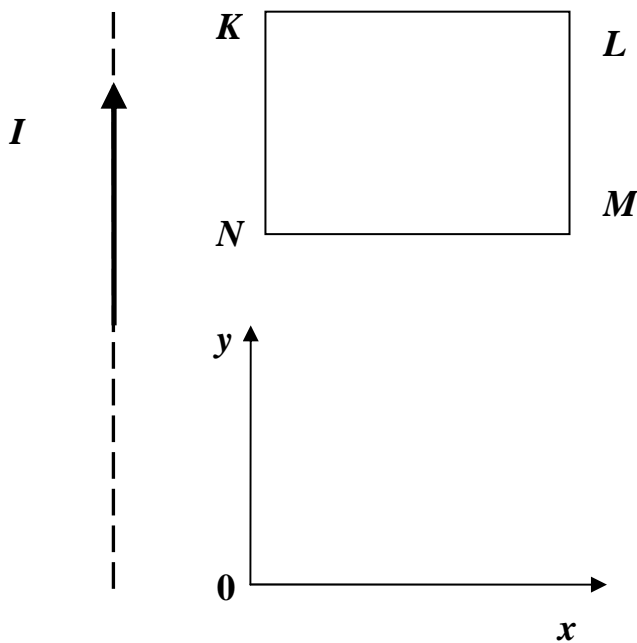
#### Задание № 5

Физический смысл магнитной проницаемости  $\mu$ : Если магнетик заполняет все пространство соленоида, то  $\mu$  показывает:

- 1) магнитный момент единицы объема;
- 2) во сколько раз магнитная индукция поля в данном веществе, образованного намагничивающим током, отличается от индукции поля, образованного в воздухе;
- 3) намагниченность вещества;
- 4) степень намагничивания магнетика.

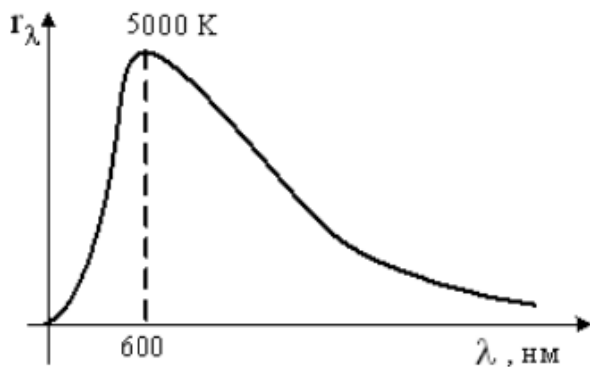
#### Задание № 6

Прямоугольная проволочная рамка расположена в одной плоскости с прямолинейным длинным проводником, по которому течет ток  $I$ . Индукционный ток в рамке будет направлен против часовой стрелки при ее:



- 1) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $ox$ ;
- 2) поступательном перемещении в отрицательном направлении оси  $ox$ ;
- 3) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $oy$ ;
- 4) вращении вокруг оси, совпадающей с длинным проводником.

*Задание № 7*



На рисунке представлено распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела в зависимости от длины волны для температуры  $T = 5000$  К. При увеличении температуры в 2 раза длина волны, соответствующая максимуму излучения, будет равна, нм:

ния, будет равна, нм:

- 1) 900;      2) 1200;      3) 150;      4) 300.

*Задание № 8*

При наблюдении интерференции красного света в опыте Юнга расстояние между соседними темными полосами на экране равно 6 мм. Если источник красного света заменить источником фиолетового света, длина волны которого в 1,5 раза меньше, то это расстояние станет равным, мм:

- 1) 9;      2) 8;      3) 4;      4) 3.

### Задание № 9

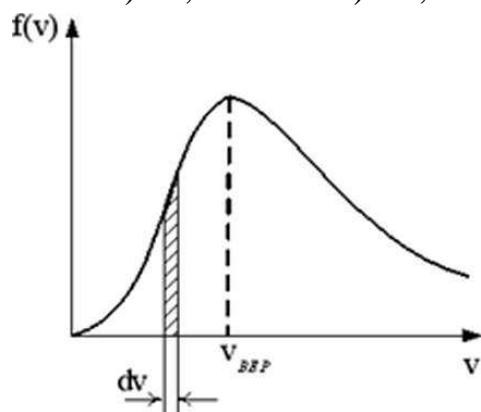
На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и  $J_2 = 1/4 J_1$ , то угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  равен:

- 1)  $90^\circ$ ;      2)  $30^\circ$ ;      3)  $60^\circ$ ;      4)  $0^\circ$ .

### Задание № 10

КПД цикла Карно равен 70 %. Если на 30 % уменьшить температуру нагревателя и на 40 % увеличить температуру холодильника, КПД достигнет значения, %:

- 1) 80;      2) 60;      3) 20;      4) 40.



### Задание № 11

Кинетическая энергия всех молекул в 4 г аргона при температуре 310 К равна, Дж:

- 1) 386;      2) 831;      3) 249;  
4) 773.

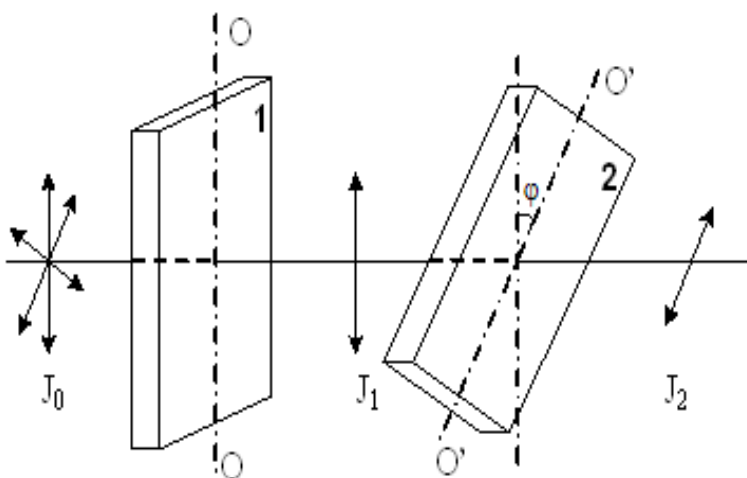
### Задание № 12

На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчет на единицу интервала.

Неверным утверждением является:

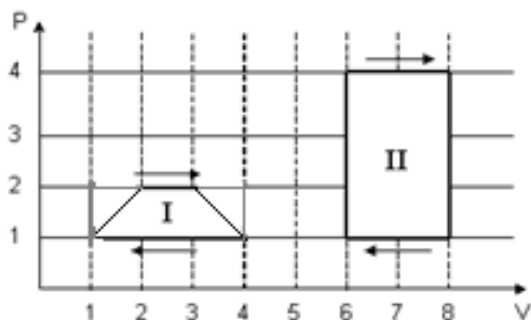
1) при понижении температуры площадь под кривой не изменяется;

2) с ростом температуры наиболее вероятная скорость молекул увеличивается;



3) положение максимума кривой зависит не только от температуры, но и от природы газа.

*Задание № 13*



На (P,V)-диаграмме изображены два циклических процесса. Отношение работ  $A_I/A_{II}$ , совершенных в этих циклах, равно:

- 1)  $1/3$ ;
- 2) 3;
- 3) 2;
- 4)  $1/2$ .

*Задание № 14*

В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности  $L = 30$  Гн, конденсатора  $C = 10$  мкФ и сопротивления  $R = 15$  Ом, время релаксации в секундах равно:

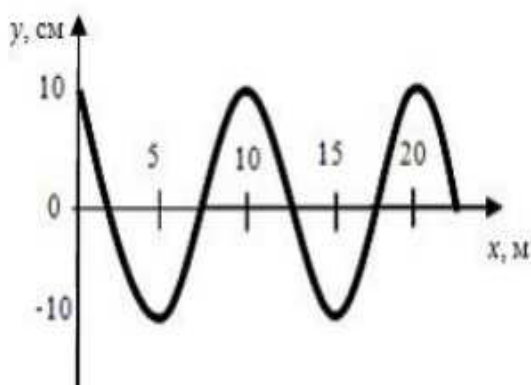
- 1) 2;
- 2) 4;
- 3) 1;
- 4) 3.

*Задание № 15*

В упругой среде плотности  $\rho$  распространяется плоская синусоидальная волна с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ . При переходе волны в другую среду, плотность которой в 2 раза больше, амплитуду уменьшают в 4 раза, частоту увеличивают в 4 раза, тогда объемная плотность энергии, переносимой волной, увеличится в \_\_\_\_\_ раз(-а)

- 1) 4;
- 2) 8;
- 3) 2;
- 4) 6.

*Задание № 16*



На рисунке представлен профиль поперечной бегущей волны, которая распространяется со скоростью  $v = 100$  м/с. Амплитуда скорости колебаний точек среды равна, м/с:

- 1) 6,28;
- 2) 100;
- 3) 12,56;
- 4) 0,1.

**Задание № 17**

Тело массой  $m$ , прикрепленное к пружине с жесткостью  $k$ , без трения движется по горизонтальной поверхности (пружинный маятник).

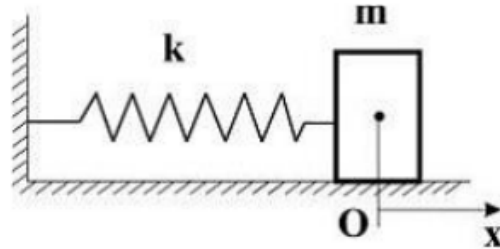
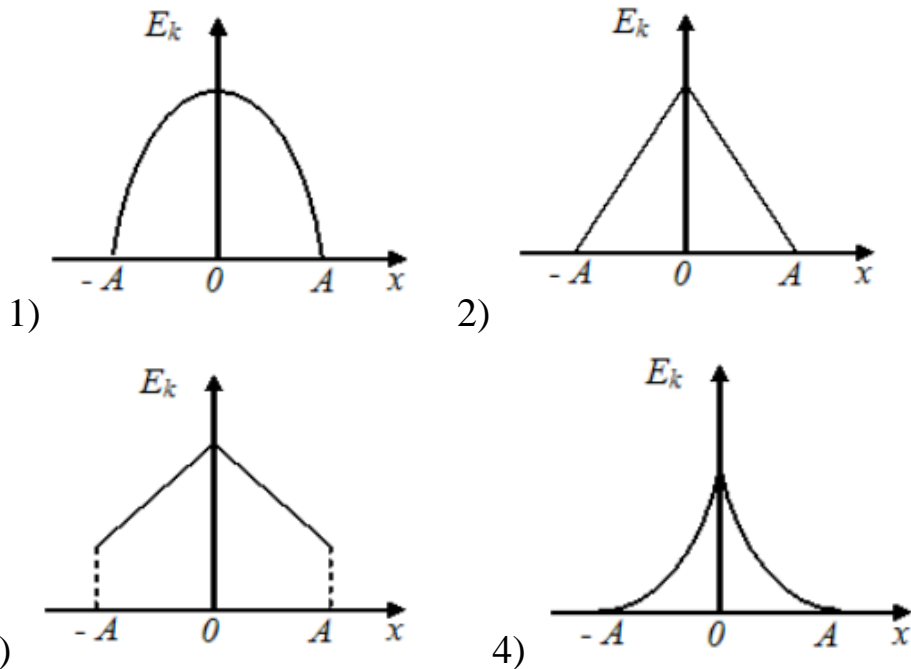


График зависимости кинетической энергии тела от величины его смещения из положения равновесия имеет вид



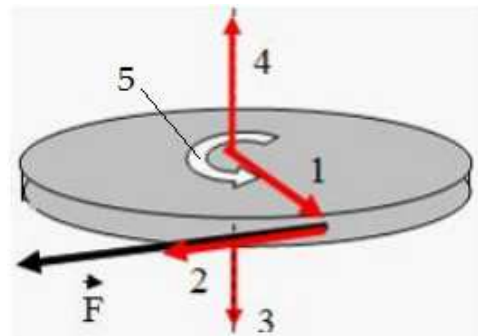
**Задание № 18**

Импульс материальной точки изменяется по закону  $p = 6t^3 - 3t^2 + 10$  (кг·м/с). Модуль силы, действующей на точку в момент времени  $t = 2$  с, равен, Н:

- 1) 46; 2) 72; 3) 60; 4) 70.

**Задание № 19**

Диск вращается вокруг вертикальной оси как показано на стрелке 5. К ободу диска приложена сила  $\vec{F}$ , направ-



ленная по касательной.

Правильно изображает направление момента силы  $\vec{F}$  вектор:

- 1) 3;      2) 1;      3) 2;      4) 4.

*Задание № 20*

Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость  $V = 0,4 c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения  $\beta$ -частицу, скорость которой  $v = 0,75 c$  относительно ускорителя. Скорость  $\beta$ -частицы относительно ядра равна:

- 1) 0,5 c;      2) 0,27 c;      3) 0,88 c;      4) 1,64 c.

*Задание № 21*

Потенциальная энергия частицы задается функцией  $U = -3xyz$ .

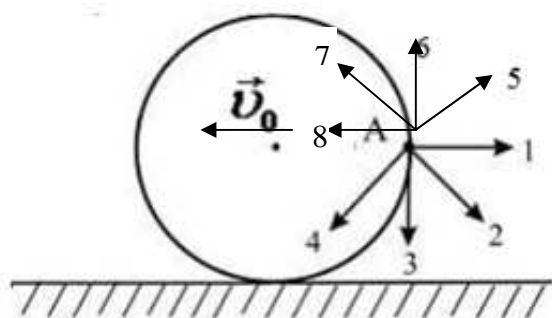
$F_y$  – компонента вектора силы, действующей на частицу в точке А (1,2,3), равна, Н:

(Функция  $U$  и координаты точки А заданы в единицах СИ).

- 1) -3      2) -9;      3) 9;      4) 3.

*Задание № 22*

Диск катится равномерно по горизонтальной поверхности со скоростью без проскальзывания. Вектор скорости точки А, лежащей на ободе диска, ориентирован в направлении:

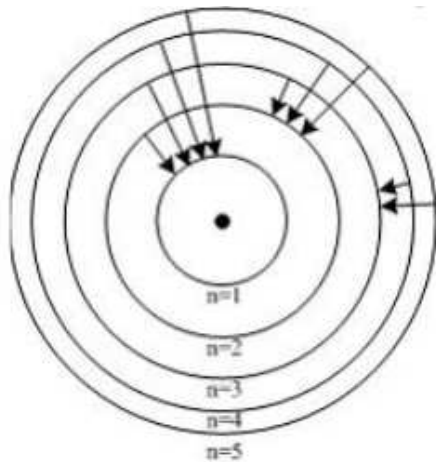


- 1) 2;      2) 7;      3) 3;      4) 4;      5) 6;      6) 5;      7) 8;      8) 1.

*Задание № 23*

Согласно модели Бора – Резерфорда электроны в атоме движутся по стационарным орбитам. При переходе электрона с одной орбиты на другую излучается или поглощается один фотон. В ультрафио-

летовой области спектра такие переходы образуют серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Для переходов, представленных на рисунке, наибольшей частоте кванта в серии Лаймана соответствует переход:

- 1)  $n = 5 \rightarrow n = 3$ ;
- 2)  $n = 4 \rightarrow n = 3$ ;
- 3)  $n = 5 \rightarrow n = 2$ ;
- 4)  $n = 5 \rightarrow n = 1$ .

#### Задание № 24

Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0,$$

где  $U = U(x, y, z)$  – потенциальная энергия частицы, движущейся в силовом поле. Движение электрона в атоме водорода описывает уравнение:

- 1)  $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0$ ;
- 2)  $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r} \right) \psi = 0$ ;
- 3)  $\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0$ ;
- 4)  $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0$ .

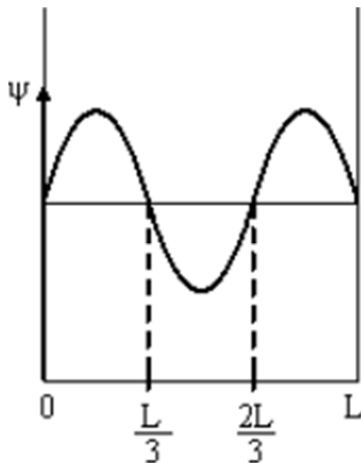


Задание № 25

При равных длинах волн де Бройля отношение скоростей протона и  $\alpha$ -частицы равно:

- 1)  $\frac{1}{4}$ ;      2) 2;      3)  $\frac{1}{2}$ ;      4) 4.

Задание № 26



– функция электрона в одномерной потенциальной яме шириной  $L$  имеет вид, показанный на рисунке. Вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{L}{6}$  до  $\frac{5L}{6}$  равна:

- 1)  $\frac{2}{3}$ ;      2)  $\frac{1}{3}$ ;      3)  $\frac{1}{2}$ ;      4)  $\frac{5}{6}$ .

Задание № 27

Законом сохранения электрического заряда запрещена реакция

- 1)  $n \rightarrow \bar{p} + e^+ + \bar{\nu}_e$ ;  
 2)  $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ ;  
 3)  $\bar{p} \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu}_e$ ;  
 4)  $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$ .

Задание № 28

Радиоактивному  $\beta^-$ -распаду соответствует схема:

- 1)  ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e + \nu_e$ ;  
 2)  ${}_1^1p + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_0^1n + \nu_e$ ;  
 3)   ;  
 4)  ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^0e + \nu_e$ .

Задание № 29

Определите частицу с зарядом  $+1e$ , массой  $1836,2m_p$  и спином  $-\frac{1}{2}$ .

Это основные характеристики:

- 1) протона;  
 2) нейтрона;  
 3) мюона;

4) позитрона.

### Задание № 30

Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и переносчиками этих взаимодействий.

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. Электромагнитное. | <i>d</i> ) фотоны;    |
| 2. Сильное.          | <i>a</i> ) нейтроны;  |
| 3. Слабое.           | <i>e</i> ) гравитоны. |
| 4. Гравитационное.   | <i>b</i> ) глюоны;    |
|                      | <i>c</i> ) бозоны;    |

1) 1 – d

2) 1 – a

3) 1 – e

2 – b

2 – b

2 – d

3 – c

3 – c

3 – c

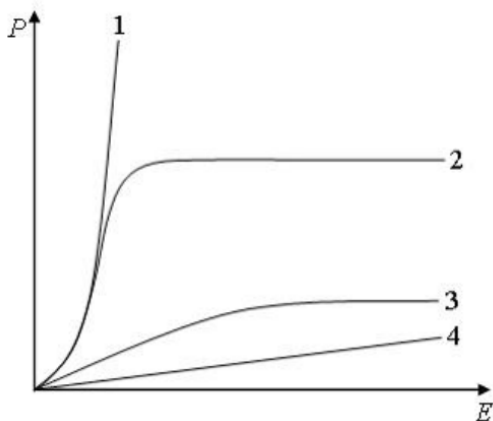
4 – e

4 – d

4 – b

### Задание № 31

На рисунке представлены графики зависимости поляризованности  $P$  диэлектрика от напряженности внешнего электрического поля  $E$ .



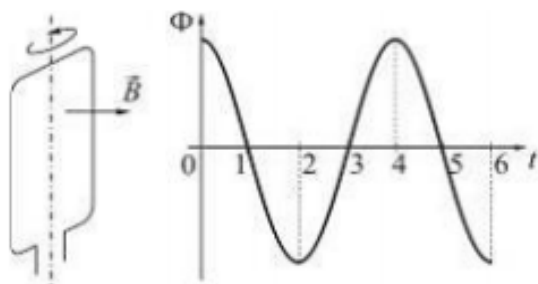
Кривая 2 соответствует:

- 1) полярным диэлектрикам;
- 2) ферромагнетикам;
- 3) неполярным диэлектрикам;
- 4) диамагнетикам.

### Задание № 32

Проводящая рамка вращается с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле вокруг оси, лежащей в плоскости рамки

и перпендикулярной вектору индукции  $\vec{B}$  (см. рисунок). На рисунке также представлен график зависимости от времени потока вектора магнитной индукции, пронизывающего рамку.



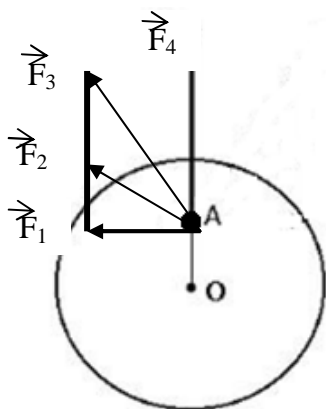
Если максимальное значение магнитного потока  $\Phi_m = 4$  мВб, а время измерялось в секундах, то закон изменения со временем ЭДС индукции имеет вид:

- 1)  $\varepsilon_i = 2\pi \cdot 10^{-3} \sin 0,5\pi t$ ;
- 2)  $\varepsilon_i = 2\pi \cdot 10^{-3} \cos 0,5\pi t$ ;
- 3)  $\varepsilon_i = 4 \cdot 10^{-3} \cos \pi t$ ;
- 4)  $\varepsilon_i = 4 \cdot 10^{-3} \sin \pi t$ .

### Вариант 2

#### Задание № 1

Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. В точке А прикладывают одну из сил ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  или  $\vec{F}_4$ ), лежащих в плоскости диска. Верным для моментов этих сил относительно рассматриваемой оси является соотношение:



- 1)  $M_1 = M_2 = M_3, M_4 = 0$ ;
- 2)  $M_1 < M_2 < M_3 < M_4$ ;
- 3)  $M_1 > M_2 > M_3, M_4 = 0$ ;
- 4)  $M_1 < M_2 < M_3, M_4 = 0$ .

#### Задание № 2

Частица движется в двумерном поле, причем ее потенциальная энергия задается функцией  $U = -2xy(z+1)$ . Работа сил поля по перемещению частицы из точки С (1, 2, 1) в точку В (2, 1, 2) равна, Дж:

(Функция и координаты точек заданы в единицах СИ) .

- 1) 8;            2) 12;            3) 20;            4) 4.

*Задание № 3*

Диск и обруч, имеющие одинаковые радиусы и  $m_1=2m_2$ , вкатываются без проскальзывания с одинаковыми скоростями на горку. Если трением и сопротивлением воздуха можно пренебречь, то отношение высот  $\frac{h_1}{h_2}$ , на которые смогут подняться эти тела, равно:

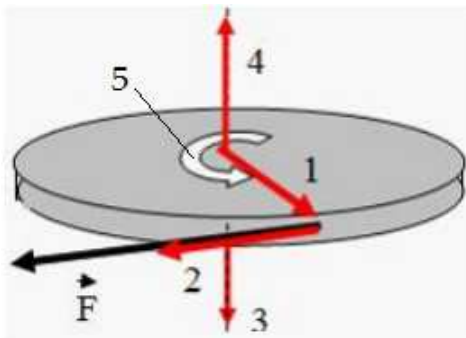
- 1)  $\frac{3}{4}$ ;            2)  $\frac{7}{10}$ ;            3)  $\frac{14}{15}$ ;            4) 1.

*Задание № 4*

Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью  $V = 0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, перпендикулярного направлению движения корабля, в положение 2, параллельное этому направлению. Тогда длина стержня с точки зрения другого космонавта:

- 1) равна 1,0 м при любой его ориентации;
- 2) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,8 м в положении 2;
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,6 м в положении 2;
- 4) изменится от 0,8 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2.

*Задание № 5*



Колесо вращается вокруг вертикальной оси в направлении, указанном стрелкой 5. К ободу колеса приложена сила  $\vec{F}$ , направленная по касательной.

Правильно изображает направление момента силы  $\vec{F}$  вектор:

- 1) 1;    2) 3;    3) 2;    4) 4.

*Задание № 6*

Механическая система состоит из трех частиц, массы которых  $m_1 = 0,6$  г,  $m_2 = 0,4$  г,  $m_3 = 0,2$  г. Первая частица находится в точке с координатами (3, 2, 0), вторая – в точке (0, 3, 2), третья – в точке (3, 0, 2) (координаты даны в сантиметрах). Тогда  $U_c$  – координата центра масс (в сантиметрах) равна:

- 1) 1,2;                    2) 2;                    3) 1;                    4) 2,4.

*Задание № 7*

Определите частицу с зарядом 0, массой  $1836,2m_e$  и спином  $\frac{\hbar}{2}$ .

Это основные характеристики:

- 1) протона; 2) нейтрона; 3) мюона; 4) позитрона; 5) нейтрино.

*Задание № 8*

Если через интервал времени  $T$  остались нераспавшимися 25 % первоначального количества радиоактивных ядер, то это время равно \_\_\_\_\_ периодам(у) полураспада:

- 1)  $\frac{1}{2}$ ;                    2) 1;                    3) 2;                    4) 4.

*Задание № 9*

Законом сохранения электрического заряда запрещена реакция:

1)  $n \rightarrow \bar{p} + e^+ + \bar{\nu}_e$ ;

2)  $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ ;

3)  $\bar{p} \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu}_e$ ;

4)  $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$ .

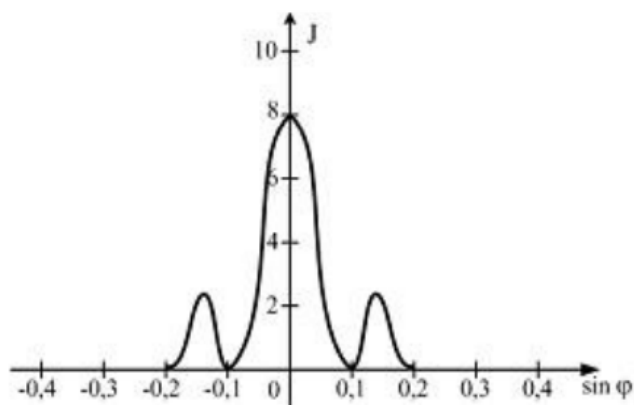
*Задание № 10*

Показатель преломления воды для красного света меньше, чем для зеленого. В связи с этим при прохождении света в воде наблюдается:

- 1) аномальная дисперсия;  
2) нормальная дисперсия;  
3) оптическая активность;  
4) поляризация.

*Задание № 11*

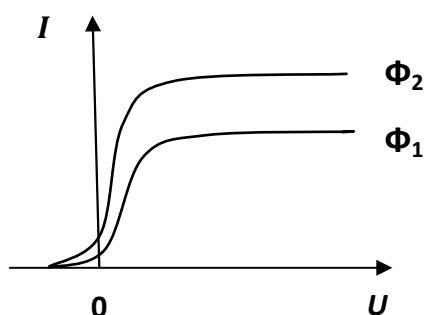
Зависимость интенсивности монохроматического излучения от синуса угла дифракции представлена на рисунке. Дифракция наблюдается на щели шириной  $b = 5$  мкм, тогда длина волны излучения равна, нм:



- 1) 600;            2) 400;            3) 500;            4) 1000.

*Задание № 12*

На рисунке приведены вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента для двух световых потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ ,  $\nu$  – частота падающего на фотоэлемент света. Определить условия, при которых проводились измерения:



- 1)  $\nu_1 = \nu_2$ ;  $\Phi_1 > \Phi_2$ ;  
 2)  $\nu_1 > \nu_2$ ;  $\Phi_1 = \Phi_2$ ;  
 3)  $\nu_1 = \nu_2$ ;  $\Phi_1 < \Phi_2$ ;  
 4)  $\nu_1 < \nu_2$ ;  $\Phi_1 = \Phi_2$ .

*Задание № 13*

Фотон с длиной волны 4,86 пм рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Комптоновская длина волны электрона  $\lambda_c = 2,43$  пм. Отношение максимально возможной длины волны рассеянного фотона к его первоначальной длине равно:

- 1) 1;            2) 2;            3) 1/2;            4) 2/3.

### Задание № 14

Собственные функции электрона в атоме водорода  $\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)$  зависят от трех целочисленных параметров:  $n$  – главное квантовое число;  $l$  – орбитальное (азимутальное) квантовое число;  $m$  – магнитное квантовое число. Магнитное квантовое число  $m$  определяет:

- 1) энергию электрона в атоме водорода;
- 2) величину орбитального момента импульса электрона;
- 3) проекцию орбитального момента импульса электрона на некоторое направление;
- 4) величину собственного момента импульса электрона.

### Задание № 15

Нестационарным уравнением Шредингера является уравнение:

$$1) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0;$$

$$2) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

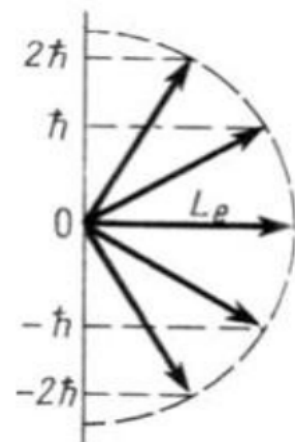
$$3) \nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \right) \psi = 0;$$

$$4) -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2\Psi + U(x, y, z, t)\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}.$$

### Задание № 16

Состояние электрона в атоме водорода определяют квантовые числа:  $n$  – главное квантовое число;  $l$  – орбитальное (азимутальное) квантовое число,  $m$  – магнитное квантовое число;  $s$  – спиновое квантовое число. Если вектор момента импульса  $\vec{L}_e$  ориентирован так, как указано на рисунке, то значение орбитального квантового числа равно:

- 1) 0;
- 2) 1;
- 3) 2;
- 4) 3.



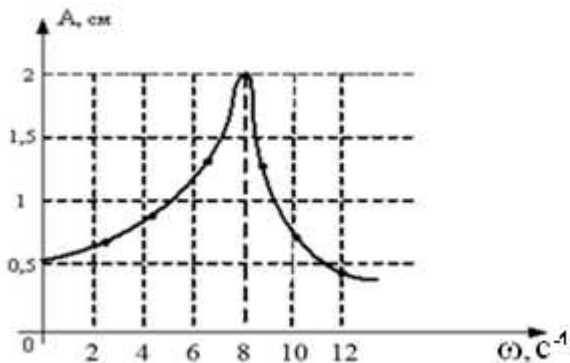
*Задание № 17*

Если длины волн де Бройля протона и  $\alpha$ -частицы одинаковы, то отношение их скоростей равно:

- 1)  $1/4$ ;      2) 4;      3)  $1/2$ ;      4) 2.

*Задание № 18*

На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний математического маятника от частоты внешней силы при слабом затухании.

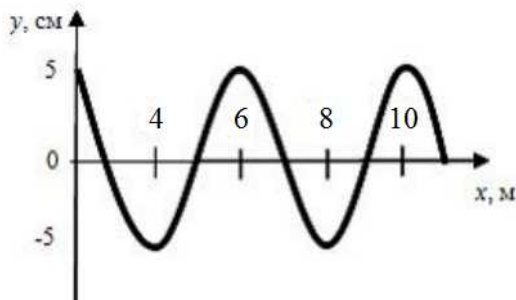


Длина нити маятника равна, см:

- 1) 16;      2) 14;      3) 12;      4) 9.

*Задание № 19*

На рисунке представлен профиль поперечной упругой бегущей волны. Согласно рисунку значение волнового числа равно,  $m^{-1}$ :



- 1) 1,047;      2) 0,314;      3) 0,628;      4) 1,57.

*Задание № 20*

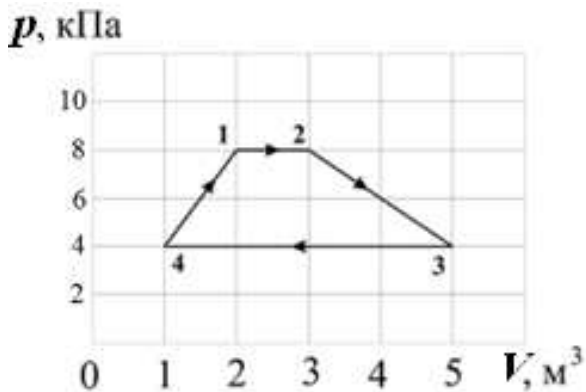
Если увеличить в 2 раза амплитуду волны и при этом увеличить в 3 раза скорость распространения волны (например, при переходе из одной среды в другую), то плотность потока энергии увеличится в \_\_\_\_\_ раз(-а):

- 1) 4;      2) 6;      3) 8;      4) 12.



**Задание № 21**

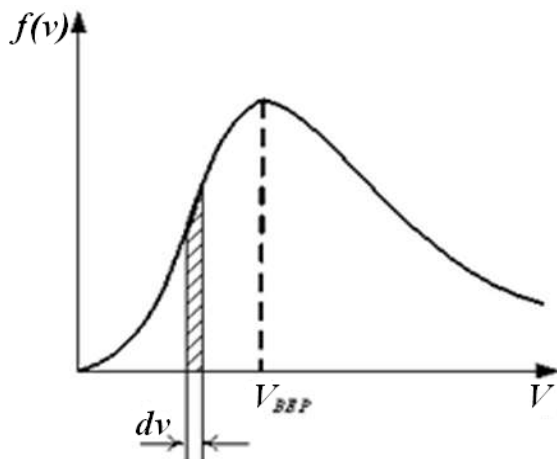
Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Работа газа за цикл равна, кДж:



- 1) 10;                      2) 5;                      3) 2;                      4) 12.

**Задание № 22**

На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчет на единицу интервала.



Неверным является утверждение:

- 1) при изменении температуры площадь под кривой не изменяется;
- 2) с увеличением температуры величина максимума функции уменьшается;
- 3) при изменении температуры положение максимума не изменяется.

**Задание № 23**

При плавлении вещества энтропия изолированной термодинамической системы:

- 1) увеличивается;
- 2) остается постоянной;
- 3) убывает;
- 4) может как убывать, так и оставаться постоянной.

*Задание № 24*

В соответствии с законом равномерного распределения энергии по степеням свободы средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна:  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы соответственно. При условии, что имеют место только поступательное и вращательное движения, для неона (Ne) число  $i$  равно:

- 1) 6;      2) 5;      3) 7;      4) 3.

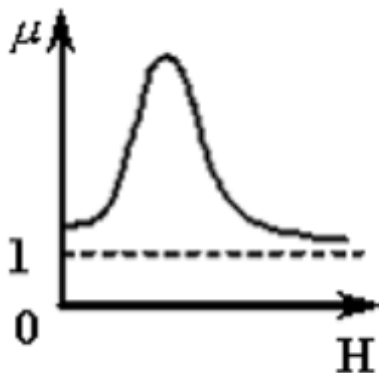
*Задание № 25*

Птица сидит на проводе линии электропередачи, сопротивление которого  $2,5 \cdot 10^{-5}$  Ом на каждый метр длины. Если по проводу течет ток силой 2 кА, а расстояние между лапами птицы составляет 4 см, то птица находится под напряжением:

- 1) 2,5 мВ;      2) 2 мВ;      3) 0,2 В;      4) 40 мВ.

*Задание № 26*

На рисунке показана зависимость магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля  $H$ :



- 1) для ферромагнетика;  
2) диамагнетика;  
3) парамагнетика;  
4) любого магнетика.

*Задание № 27*

На рисунках представлены графики зависимости напряженности поля  $E(r)$  для различных распределений заряда.

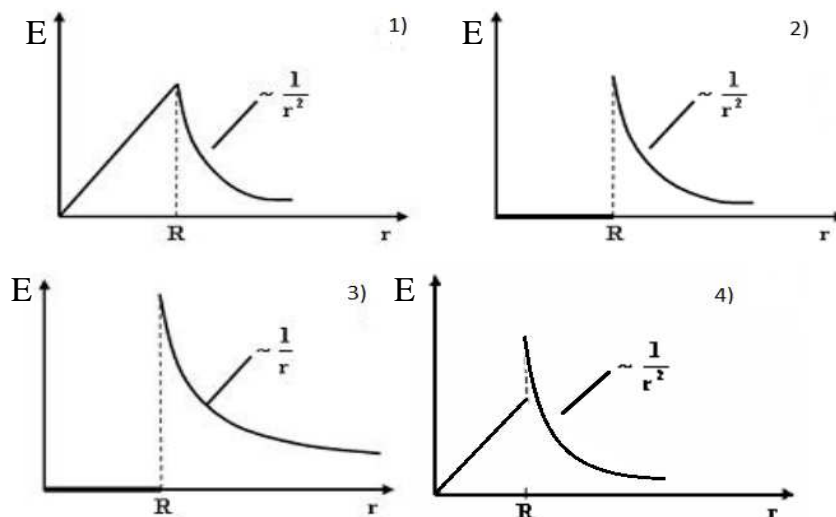


График зависимости  $E(r)$  для заряженной металлической сферы радиусом  $R$  показан на рисунке

- 1) 1;      2) 2;      3) 4;      4) 3.

### Задание № 28

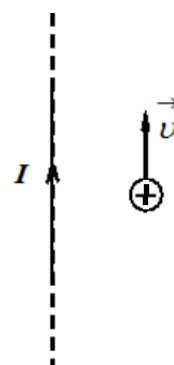
Утверждение «Магнитное поле может быть образовано не только токами проводимости, но и переменным электрическим полем» является следствием уравнения

- 1)  $\int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0;$
- 2)  $\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$
- 3)  $\int_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t};$
- 4)  $\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = I_{\text{макро}} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial t}.$

### Задание № 29

Протон влетает в магнитное поле, создаваемое прямолинейным длинным проводником с током в направлении, параллельном проводнику. При этом сила Лоренца, действующая на протон:

- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;
- 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;
- 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «от нас»;
- 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «к нам».



*Задание № 30*

Кинетическая энергия всех молекул в 4 г аргона при температуре 310 К равна, Дж:

- 1) 249;      2) 831;      3) 386;      4) 773.

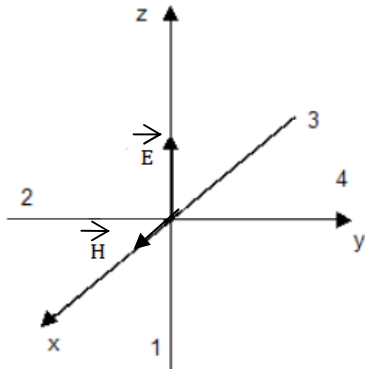
*Задание № 31*

Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси OX, имеет вид  $\xi = 0,01\sin(10^3t - 4x)$ . Тогда скорость распространения волны равна, м/с:

- 1) 250;      2) 1000;      3) 500;      4) 100.

*Задание № 32*

На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического ( $\vec{E}$ ) и магнитного ( $\vec{H}$ ) полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении



- 1) 1;      2) 4;      3) 3;      4) 2.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ БЕЗ ОТВЕТОВ

### Вариант 1

#### Задание № 1

Частица, у которой заряд равен  $+e$ , масса составляет  $1836,2 m_e$ , спин равен  $\hbar/2$ , называется:

- 1) протон;
- 2) нейтрон;
- 3) мюон;
- 4) позитрон.

#### Задание № 2

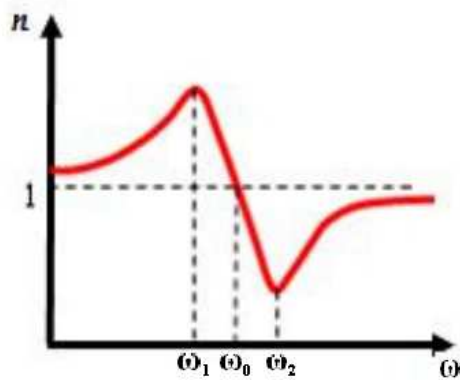
Законом сохранения барионного заряда запрещена реакция:

- 1)  $\bar{p} + n \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e$ ;
- 2)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ;
- 3)  $\bar{p} \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu}_e$ ;
- 4)  $p + e^+ \rightarrow n + \bar{\nu}_e$ .

#### Задание № 3

В результате соударения дейтрона  ${}^2_1\text{H}$  с ядром бериллия  ${}^9_4\text{Be}$  образуются изотоп бора  ${}^{10}_5\text{B}$  и

- 1) протон;
- 2) 2 протона;
- 3)  $\alpha$ -частица;
- 4) нейтрон.



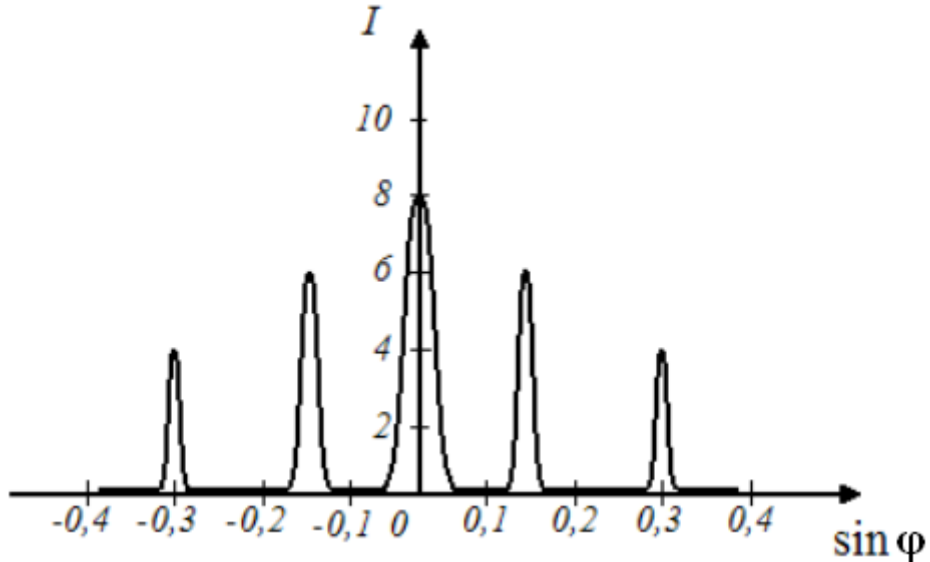
#### Задание №4

На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Аномальная дисперсия наблюдается для диапазона частот

- 1) от  $\omega_1$  до  $\omega_2$ ;
- 2) от 0 до  $\omega_1$ ;
- 3) от  $\omega_1$  до  $\omega_0$ ;
- 4) от  $\omega_2$  до  $\infty$ .

*Задание № 5*

При дифракции на дифракционной решетке с периодом  $d$ , равным  $0,004$  мм, наблюдается зависимость интенсивности монохроматического излучения от синуса угла дифракции, представленная на рисунке (изображены только главные максимумы). Длина волны монохроматического излучения равна, нм:



- 1) 400;            2) 600;            3) 200;            4) 300.

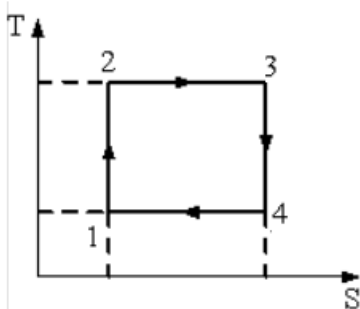
*Задание № 6*

При энергетической освещенности  $E = 100$  Вт/м<sup>2</sup> давление  $p$  света на поверхность, имеющую коэффициент отражения  $\rho = 0,5$ , составляет:

- 1) 0,5 мкПа;        2) 1 мкПа;        3) 1,5 мкПа;        4) 2 мкПа.

*Задание № 7*

На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатное расширение происходит на этапе:

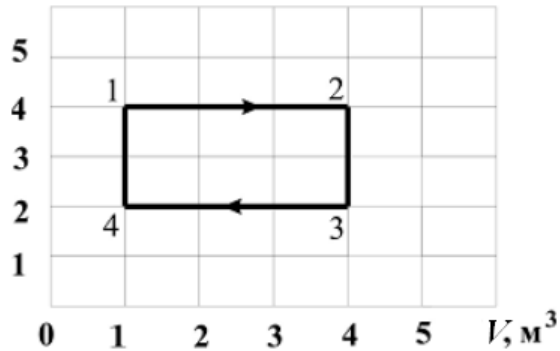


- 1) 4 – 1;            2) 2 – 3;            3) 1 – 2;            4) 3 – 4.

*Задание № 8*

Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы газа за цикл к работе при нагревании газа по модулю равно

$p, \text{кПа}$



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

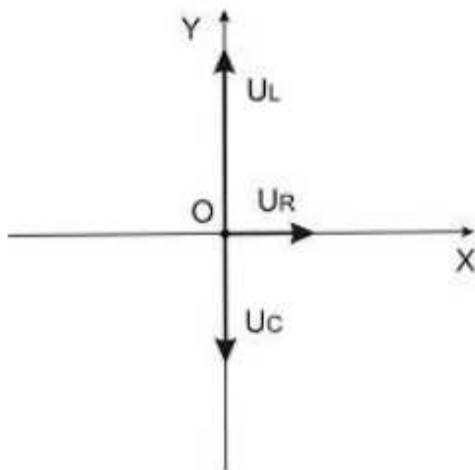
*Задание № 9*

Кинетическая энергия всех молекул в 4 г аргона при температуре 310 К равна, Дж:

- 1) 249;            2) 831;            3) 386;            4) 773.

*Задание № 10*

Сопротивление, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону  $U = U_0 \cos \omega t$  (В). На рисунке представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Найдите амплитудное значение напряжения на этих элементах, если  $U_R = 3$  В;  $U_L = 10$  В;  $U_C = 4$  В.



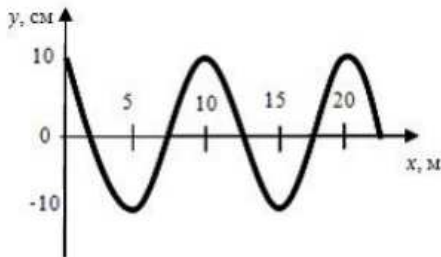
- 1) 45 В;                    2)  $3\sqrt{5}$  В;                    3) 17 В;                    4)  $\sqrt{5}$  В.

*Задание № 11*

В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности  $L = 30$  Гн, конденсатора  $C = 10$  мкФ и сопротивления  $R = 15$  Ом, коэффициент затухания равен:

- 1) 1/4;                    2) 4;                    3) 1;                    4) 2.

*Задание № 12*



На рисунке представлен профиль поперечной бегущей волны, которая распространяется со скоростью  $v = 200$  м/с. Амплитуда скорости колебаний точек среды равна, м/с:

- 1) 6,28;                    2) 200;                    3) 12,56;                    4) 0,05.

*Задание № 13*

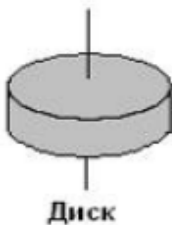
Если в электромагнитной волне, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n = 1,5$ , значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно равны  $E = 450$  В/м,  $H = 8$  А/м, то объемная плотность энергии составляет, мкДж/м<sup>3</sup>:

- 1) 18;                    2) 50;                    3) 12;                    4) 55.

*Задание № 14*

Рассматриваются три тела: диск, кольцо и тонкостенная труба; причем массы  $m$  и радиусы  $R$  их оснований одинаковы.

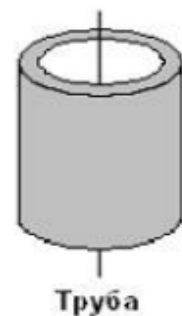
1



2



3



Для моментов инерции рассматриваемых тел относительно указанных осей верным является соотношение:



- 1)  $I_1 < I_2 = I_3$ ; 2)  $I_1 < I_3 < I_2$ ; 3)  $I_1 = I_3 < I_2$ ; 4)  $I_3 < I_1 < I_2$ .

*Задание № 15*

Частица движется в двумерном поле, причем ее потенциальная энергия задается функцией  $U = -4yz$ . Работа сил поля по перемещению частицы из точки В (2, 1, 1) в точку А (2, 2, 3) равна, Дж:

(Функция и координаты точек заданы в единицах СИ).

- 1) 24; 2) 20; 3) 28; 4) 16.

*Задание № 16*

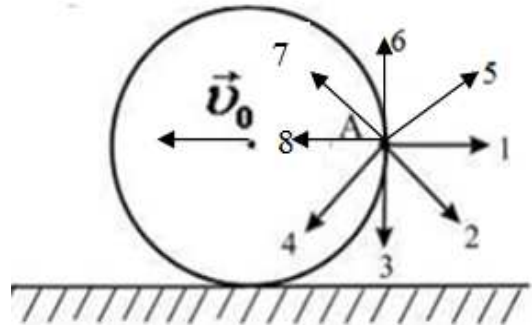
Тело начало двигаться со скоростью, при которой его длина в направлении движения уменьшилась на 30 %. При этом масса тела:

- 1) уменьшилась в 1,3 раза;  
2) увеличилась в 1,3 раза;  
3) уменьшилась на 30 %;  
4) увеличилась на 30 %.

*Задание № 17*

Диск катится равномерно по горизонтальной поверхности со скоростью без проскальзывания. Вектор скорости точки А, лежащей на ободу диска, ориентирован в направлении:

- 1) 2; 2) 1; 3) 3; 4) 4;  
5) 7; 6) 5; 7) 6; 8) 8.



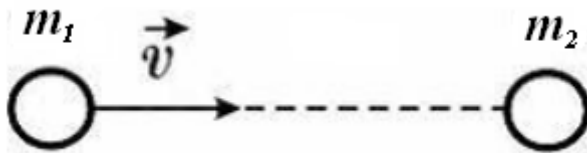
*Задание № 18*

Импульс материальной точки изменяется по закону  $p = 6t^3 - 3t^2 + 10$  (кг·м/с). Модуль силы, действующей на точку в момент времени  $t = 1$  с, равен, Н:

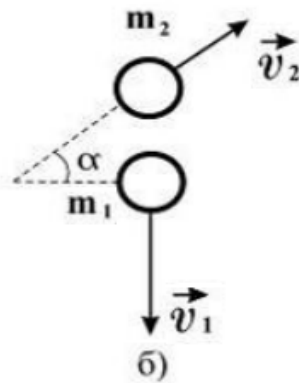
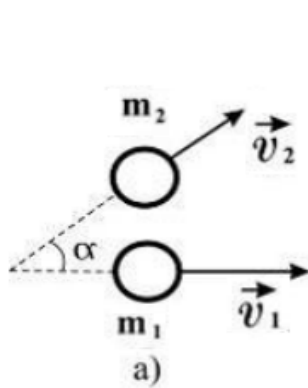
- 1) 22; 2) 12; 3) 13; 4) 24.

*Задание № 19*

Шар массой  $m_1$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}$ , налетает на покоящийся шар массой  $m_2$ .



Могут ли после соударения скорости шаров  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  иметь направления, показанные на следующем рисунке (а и б)?



- 1) могут в случае б);
- 2) могут в случае а);
- 3) могут в обоих случаях;
- 4) не могут ни в одном из указанных случаев.

#### Задание № 20

Утверждение «Магнитное поле имеет вихревой характер» раскрывает физический смысл уравнения:

$$1) \oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$$

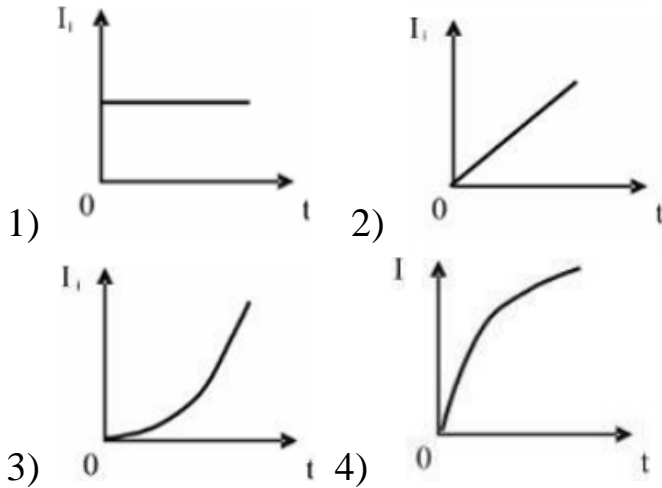
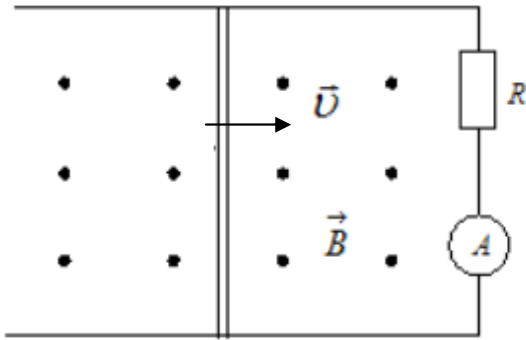
$$2) \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$$

$$3) \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV;$$

$$4) \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

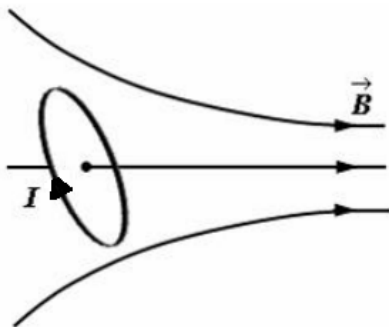
#### Задание № 21

По параллельным металлическим проводникам, расположенным в однородном магнитном поле, с постоянной скоростью перемещается проводящая перемычка длиной  $l$  (см. рисунок). Если сопротивлением перемычки и направляющих можно пренебречь, то зависимость индукционного тока от времени можно представить графиком:



### Задание № 22

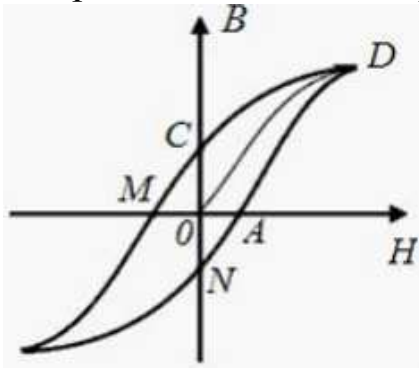
Небольшой контур с током  $I$  помещен в неоднородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Плоскость контура перпендикулярна плоскости чертежа, но не перпендикулярна линиям индукции. Под действием поля контур :



- 1) повернется по часовой стрелке и сместится вправо;
- 2) повернется против часовой стрелки и сместится вправо;
- 3) повернется против часовой стрелки и сместится влево;
- 4) повернется по часовой стрелке и сместится влево.

*Задание № 23*

На рисунке изображена петля гистерезиса. Здесь  $B$  – магнитная индукция поля в веществе,  $H$  – напряженность внешнего магнитного поля. Коэрцитивной силе на графике соответствует отрезок:



- 1) OA;                      2) OC;                      3) AM;                      4) ON.

*Задание № 24*

На рисунках представлены графики зависимости напряженности поля  $E(r)$  для различных распределений заряда.

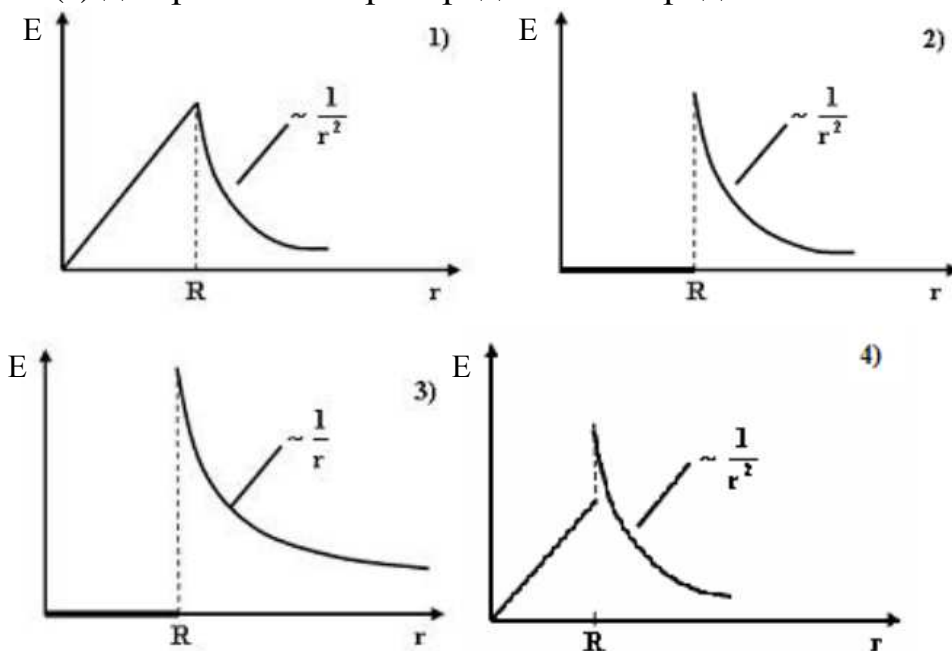


График зависимости  $E(r)$  для заряженной металлической сферы радиусом  $R$  показан на рисунке:

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4.

*Задание № 25*

Маленьким электрокипятильником можно вскипятить в автомобиле стакан воды для чая или кофе. Напряжение аккумулятора 12 В.

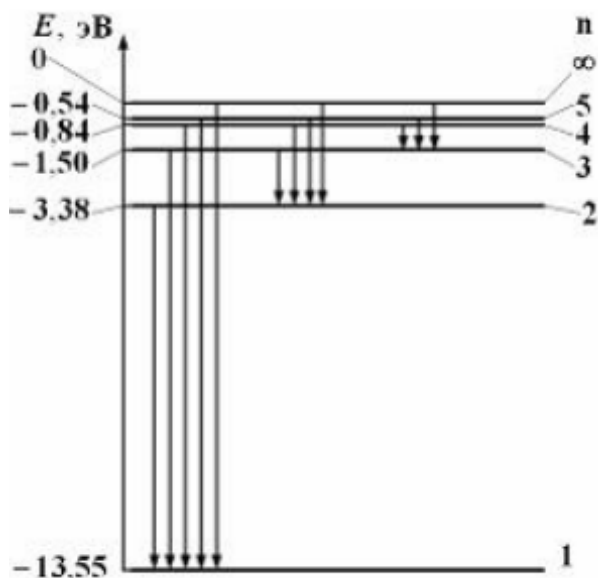
Если он за 10 мин нагревает 200 мл воды от 10 до 100 °С, то сила тока, потребляемого от аккумулятора, равна, А:

(Теплоемкость воды равна 4200 Дж/кг·К.)

- 1) 21;                      2) 12,6;                      3) 10,5;                      4) 0,048.

*Задание № 26*

На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода.



Переход электрона с верхнего энергетического уровня на ниже-расположенный приводит к излучению электромагнитных волн. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы образуют серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.

Наибольшая длина волны спектральной линии серии Лаймана равна ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с):

- 1) 122 нм;                      2) 92 нм;                      3) 661 нм;                      4) 368 нм.

*Задание № 27*

Координаты протона и  $\alpha$ -частицы определены с одинаковой точностью. Отношение неопределенностей проекций скоростей частиц на некоторое направление равно:

- 1) 1/2;                      2) 2;                      3) 1/4;                      4) 4.

*Задание № 28*

Электрону, движущемуся в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, соответствует уравнение Шредингера:

$$1) \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

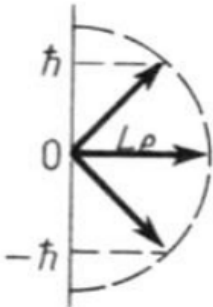
$$2) \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$$

$$3) \nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \right) \psi = 0;$$

$$4) \nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0.$$

### Задание № 29

Величина орбитального момента импульса электрона в атоме для состояния, представленного на рисунке, равна:



$$1) \hbar \sqrt{2};$$

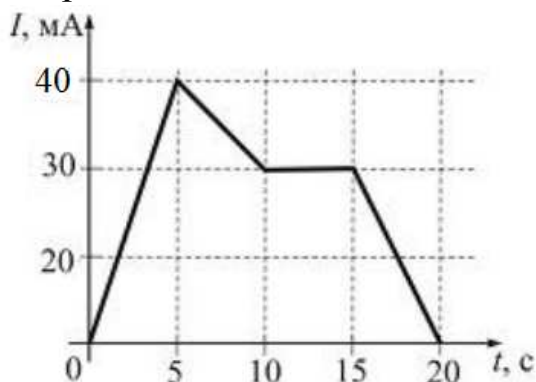
$$2) \hbar \sqrt{6};$$

$$3) \hbar;$$

$$4) 2\hbar.$$

### Задание № 30

На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени.



Наибольший заряд протечет через поперечное сечение проводника в промежутке времени \_\_\_\_\_ с.

$$1) 5 - 10;$$

$$2) 0 - 5;$$

$$3) 10 - 15;$$

$$4) 15 - 20.$$

**Задание № 31**

Два проводника заряжены до потенциалов 46 В и –14 В. Заряд 100 нКл нужно перенести со второго проводника на первый. При этом необходимо совершить работу, равную, мкДж:

- 1) 2;            2) 3;            3) 6;            4) 12.

**Задание № 32**

При комптоновском рассеянии фотонов кинетическая энергия отдачи электрона будет максимальной, если угол рассеяния равен:

- 1) 45 °С;            2) 60 °С;            3) 90 °С;            4) 180 °С.

**Вариант 2**

**Задание № 1**

Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ·с, ширина энергетического уровня возбужденного состояния атома будет не менее:

- 1)  $6,6 \cdot 10^{-8}$  эВ;    2)  $1,5 \cdot 10^{-10}$  эВ;    3)  $1,5 \cdot 10^{-13}$  эВ;    4)  $6,6 \cdot 10^{-13}$  эВ.

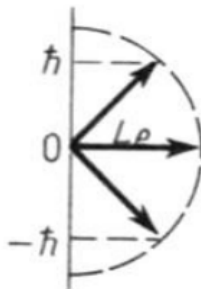
**Задание № 2**

Стационарное уравнение Шредингера имеет вид  $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0$ . Это уравнение описывает:

- 1) движение свободной частицы;  
2) электрон в трехмерном потенциальном ящике;  
3) линейный гармонический осциллятор;  
4) электрон в водородоподобном атоме.

**Задание № 3**

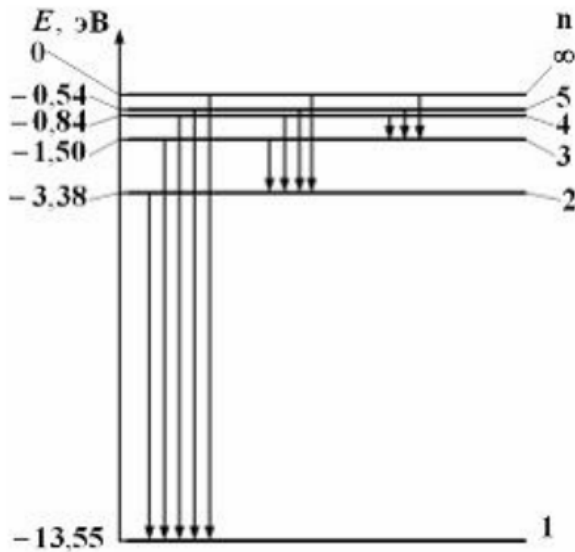
На рисунке приведены возможные ориентации вектора момента импульса электрона в атоме  $\vec{L}_e$ . Величина орбитального квантового числа для состояния, представленного на рисунке, равна:



- 1) 0;            2) 1;            3) –1;            4) 2.

#### Задание № 4

На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода.



Переход электрона с верхнего энергетического уровня на ниже-расположенный приводит к излучению электромагнитных волн. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы образуют серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.

Отношение максимальной частоты линии в серии Пашена  $\nu_{\max\P}$  к минимальной частоте линии в серии Бальмера  $\nu_{\min\text{Б}}$  равно:

- 1) 4/5;            2) 1/3;            3) 4/27;            4) 5/36.

#### Задание №5

Потенциальная энергия частицы задается функцией  $U = -xy^2z$ ,  $F_x$  – компонента вектора силы, действующей на частицу в точке А (3,2,1), равна, Н:

(Функция  $U$  и координаты точки А заданы в единицах СИ).

- 1) -4;            2) 12;            3) 4;            4) 3.

#### Задание № 6

Вдоль оси ОХ навстречу друг другу движутся две частицы массами  $m_1 = 4$  г,  $m_2 = 6$  г и скоростями  $v_1 = 8$  м/с,  $v_2 = 5$  м/с соответственно. Проекция скорости центра масс на ось ОХ (в единицах СИ) равна \_\_\_\_\_:





- 1)  $+31/5$ ;      2)  $+1/5$ ;      3)  $-31/5$ ;      4)  $-1/5$ .

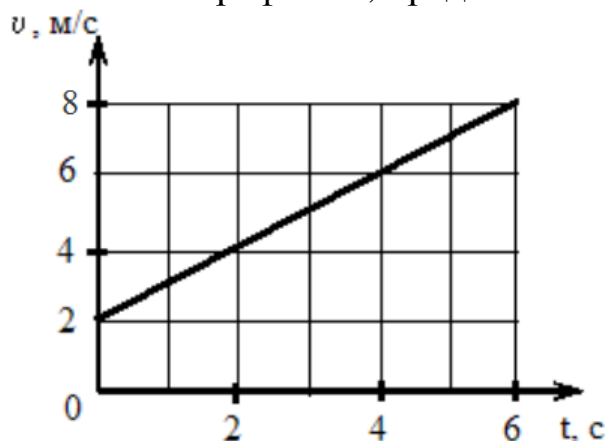
*Задание № 7*

Тело начало двигаться со скоростью, при которой его длина в направлении движения уменьшилась на 30 %. При этом масса тела:

- 1) уменьшилась в 1,3 раза;
- 2) увеличилась в 1,3 раза;
- 3) уменьшилась на 30 %;
- 4) увеличилась на 30 %.

*Задание № 8*

Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси. Скорость точки, находящейся на расстоянии 10 см от оси, изменяется со временем в соответствии с графиком, представленным на рисунке.



Зависимость угловой скорости тела от времени (в единицах СИ) задается уравнением:

- 1)  $\omega = 2 + t$ ;
- 2)  $\omega = 0,1(2 + t)$ ;
- 3)  $\omega = 20 + 10 t$ ;
- 4)  $\omega = 0,2 + 10 t$ .

*Задание № 9*

Тело массой  $m$ , прикрепленное к пружине с жесткостью  $k$ , без трения движется по горизонтальной поверхности (пружинный маятник).

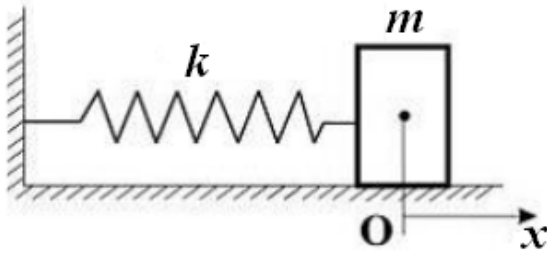
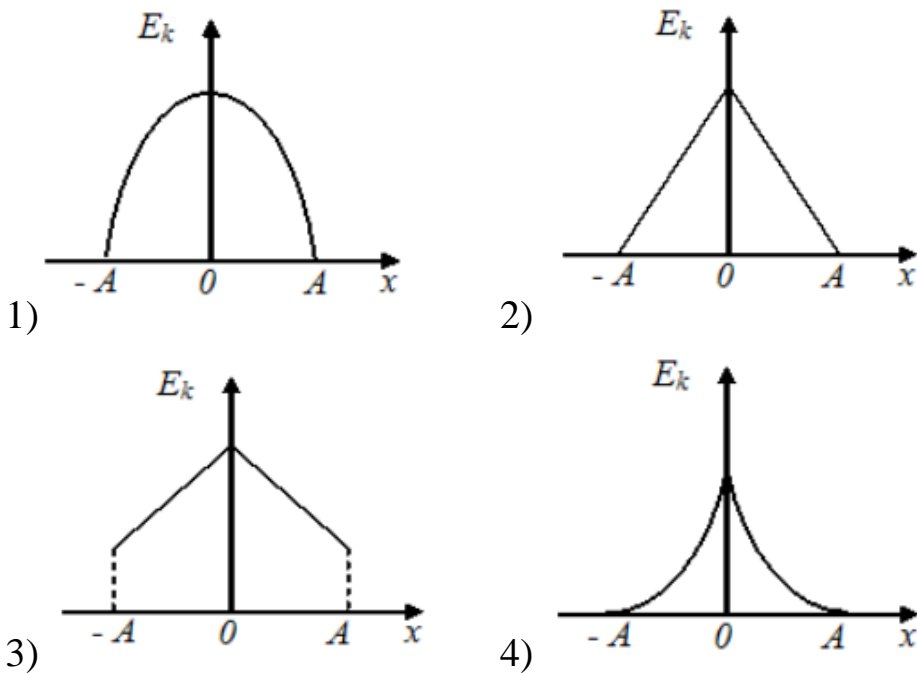
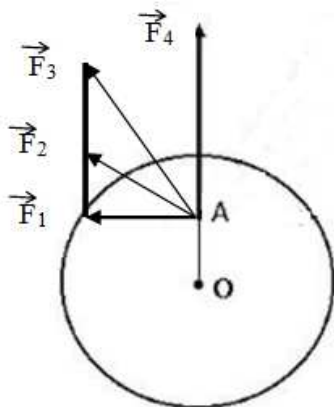


График зависимости кинетической энергии тела от величины его смещения из положения равновесия имеет вид, показанный на рисунке:



### Задание № 10

Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. В точке A прикладывают одну из сил ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  или  $\vec{F}_4$ ), лежащих в плоскости диска. Верным для



моментов этих сил относительно рассматриваемой оси является соотношение:

- 1)  $M_1 = M_2 = M_3, M_4 = 0$ ;
- 2)  $M_1 < M_2 < M_3 < M_4$ ;
- 3)  $M_1 > M_2 > M_3, M_4 = 0$ ;
- 4)  $M_1 < M_2 < M_3, M_4 = 0$ .

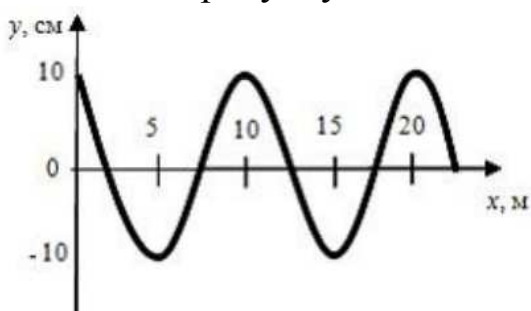
### Задание № 11

Если в электромагнитной волне, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n = 2$ , значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно равны  $E = 375 \text{ В/м}$ ,  $H = 4 \text{ А/м}$ , то объемная плотность энергии составляет \_\_\_\_\_ мкДж/м<sup>3</sup>.

- 1) 125;            2) 50;            3) 10;            4) 55.

### Задание № 12

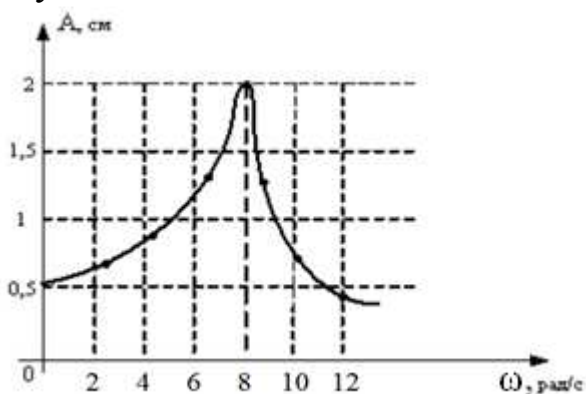
На рисунке представлен профиль поперечной упругой бегущей волны. Согласно рисунку значение волнового числа равно, м<sup>-1</sup>:



- 1) 0,628;            2) 0,314;            3) 1,256;            4) 2,512.

### Задание № 13

На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний математического маятника от частоты внешней силы при слабом затухании.



Длина нити маятника равна, см:

- 1) 9;            2) 14;            3) 12;            4) 16.

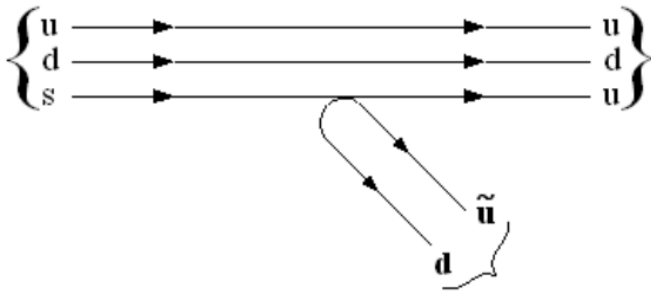
### Задание № 14

При бомбардировке ядер изотопа азота  $^{14}_7\text{N}$  нейтронами образуются изотоп бора  $^{11}_5\text{B}$  и:

- 1) нейтрон;
- 2) протон;
- 3)  $\alpha$ -частица;
- 4) 2 протона.

*Задание № 15*

На рисунке показана кварковая диаграмма распада  $\Lambda$ -гиперона.



Эта диаграмма соответствует реакции:

- 1)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ ;
- 2)  $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^-$ ;
- 3)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^+$ ;
- 4)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0$ .

*Задание № 16*

Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре  $T$  зависит от их конфигурации и структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле и самой молекулы. При условии, что имеют место поступательное, вращательное движение молекулы как целого и колебательное движение атомов в молекуле, средняя кинетическая энергия молекулы азота ( $N_2$ ) равна:

- 1)  $\frac{7}{2}kT$ ;
- 2)  $\frac{3}{2}kT$ ;
- 3)  $\frac{5}{2}kT$ ;
- 4)  $\frac{1}{2}kT$ .

*Задание № 17*

КПД цикла Карно равен 70 %. Если на 20 % увеличить температуру нагревателя и на 20 % уменьшить температуру холодильника, КПД достигнет значения, %:

- 1) 40;
- 2) 60;
- 3) 20;
- 4) 80.

*Задание № 18*

Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = 3\pi$ , амплитуда результирующего колебания равна:

- 1)  $A_0\sqrt{2}$ ;    2) 0;    3)  $2A_0$ ;    4)  $A_0\sqrt{3}$ .

*Задание № 19*

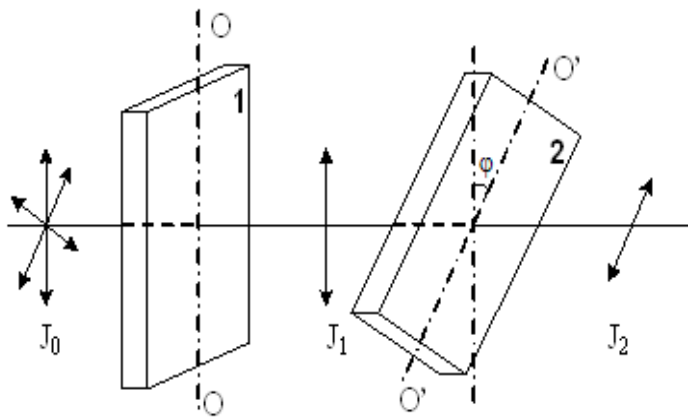
При изотермическом расширении 2 молей газа при температуре 100 К объем увеличился в  $e$  раз ( $e \approx 2,7$ ). Работа газа равна, Дж:

- 1) 3324;    2) 831;    3) 973;    4) 1662.

*Задание № 20*

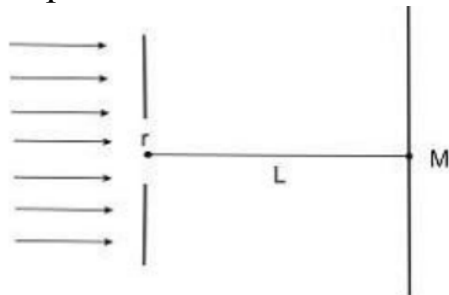
На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если  $J_1$  и  $J_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и  $J_2 = 1/4 J_1$ , то угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  равен:

- 1)  $30^\circ$ ;    2)  $60^\circ$ ;  
3)  $45^\circ$ ;    4)  $90^\circ$ .



*Задание № 21*

На диафрагму с круглым отверстием радиусом 4 мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 4 м помещают экран. В отверстии диафрагмы для точки М укладываются \_\_\_\_\_ зона(ы) Френеля:



- 1) 8;    2) 4;    3) 6;    4) 10.

*Задание № 22*

Давление  $p$  света на поверхность, имеющую коэффициент отражения 0,5, при энергетической освещенности  $E = 300 \text{ Вт/м}^2$  равно, мкПа:

- 1) 1;      2) 1,5;      3) 0,33;      4) 3,3.

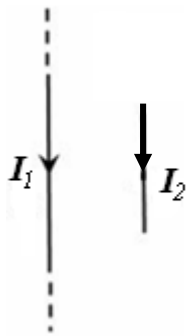
*Задание № 23*

Если при внешнем фотоэффекте интенсивность света увеличивается, а частота при этом остается неизменной, то:

- 1) количество электронов, вырванных с поверхности металла, уменьшается, а их кинетическая энергия остается неизменной;  
2) количество электронов, вырванных с поверхности металла, остается неизменным, а их кинетическая энергия уменьшается;  
3) количество электронов, вырванных с поверхности металла, увеличивается, а их кинетическая энергия остается неизменной;  
4) количество электронов, вырванных с поверхности металла, и их кинетическая энергия увеличиваются.

*Задание № 24*

Поле создано прямолинейным длинным проводником с током  $I_1$ . Если отрезок проводника с током  $I_2$  расположен в одной плоскости с длинным проводником так, как показано на рисунке, то сила Ампера:

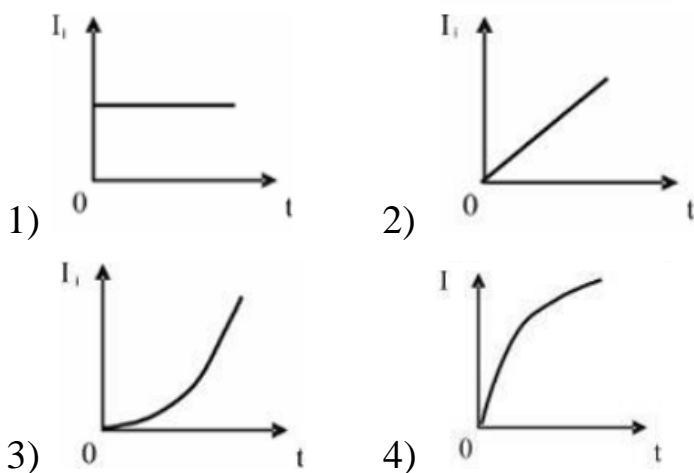
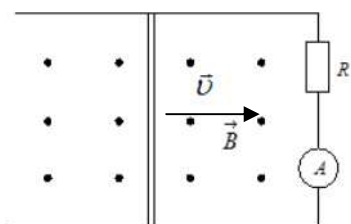


- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;  
2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;  
3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «от нас»;  
4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «к нам».

*Задание № 25*

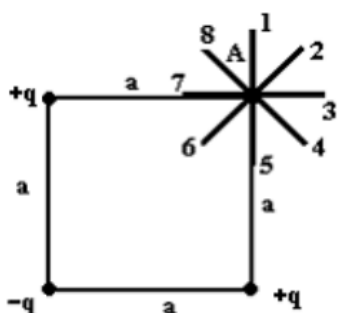
По параллельным металлическим проводникам, расположенным в однородном магнитном поле, с постоянной скоростью перемещает-

ся проводящая перемычка (см. рисунок). Если сопротивлением перемычки и направляющих можно пренебречь, то зависимость индукционного тока от времени можно представить графиком:



### Задание № 26

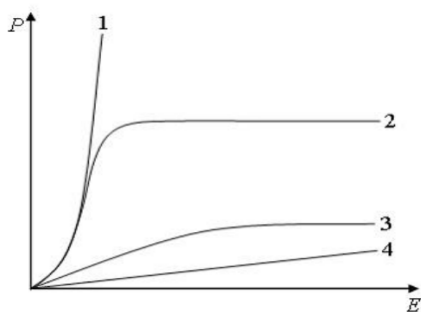
Электростатическое поле создано системой точечных зарядов  $+q$ ,  $-q$  и  $+q$ . Градиент потенциала поля в точке А ориентирован в направлении:



- 1) 8; 2) 7; 3) 6; 4) 5; 5) 4; 6) 3; 7) 2; 8) 1.

### Задание № 27

На рисунке представлены графики зависимости поляризованности  $P$  диэлектрика от напряженности внешнего электрического поля  $E$ .



Кривая 2 соответствует:

- 1) полярным диэлектрикам;
- 2) ферромагнетикам;
- 3) неполярным диэлектрикам;
- 4) диамагнетикам.

### Задание № 28

Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме имеет вид:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \qquad \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV \qquad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Следующая система уравнений

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \qquad \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0 \qquad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

справедлива:

- 1) для электромагнитного поля в отсутствие свободных зарядов;
- 2) электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
- 3) электромагнитного поля в отсутствие свободных зарядов и токов проводимости;
- 4) стационарных электрических и магнитных полей.



*Задание № 29*

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль оси ОХ, имеет вид  $\xi = 0,01e^{i(10^3t - 8x)}$ . Тогда скорость распространения волны равна, м/с:

- 1) 500;                    2) 0,01;                    3) 250;                    4) 125.

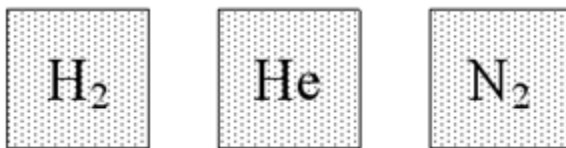
*Задание № 30*

При комнатной температуре отношение  $\frac{c_V}{c_P}$  молярных теплоемкостей при постоянных давлении и объеме равно 3/5:

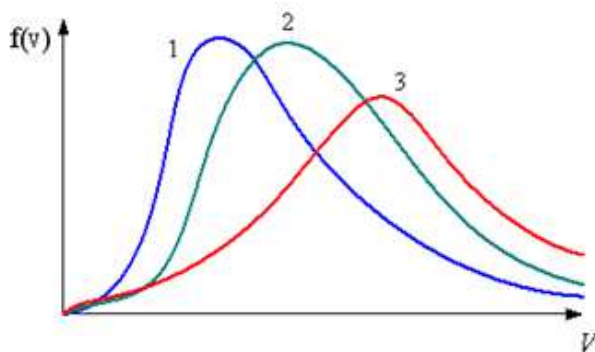
- 1) для гелия;  
2) водяного пара;  
3) воздуха;  
4) кислорода.

*Задание № 31*

В трех одинаковых сосудах при равных условиях находится одинаковое количество водорода, гелия и азота



Распределение скоростей молекул водорода будет описывать кривая



- 1) 3;                    2) 2;                    3) 1.

*Задание № 32*

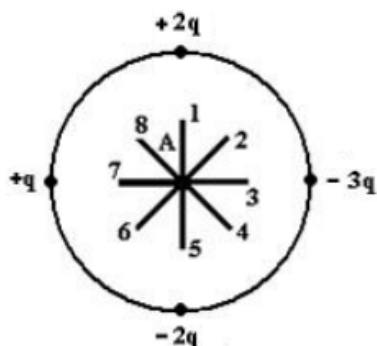
Интенсивность естественного света, проходящего через поляризатор и анализатор, ослабляется в 4 раза. Тогда угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора равен

- 1) 45°;                    2) 60°;                    3) 0°;                    4) 30°.

### Вариант 3

#### Задание № 1

Электростатическое поле создано системой точечных зарядов.

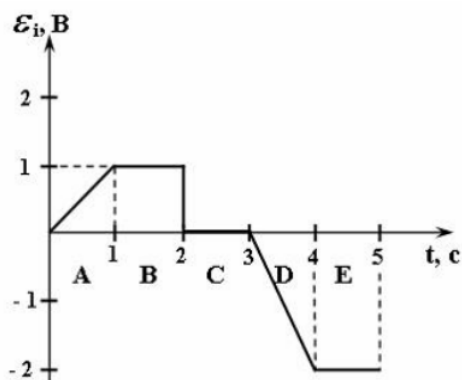


Вектор напряженности  $\vec{E}$  поля в точке А ориентирован в направлении:

- 1) 5;    2) 3;    3) 1;    4) 8;    5) 2;    6) 4;    7) 6;    8) 7.

#### Задание № 2

На рисунке представлена зависимость ЭДС индукции в контуре от времени. Магнитный поток сквозь площадку, ограниченную контуром, уменьшается со временем по линейному закону в интервале:



- 1) E;    2) B;    3) A;    4) D;    5) C.

#### Задание № 3

Напряжение на концах медного провода диаметром  $d$  и длиной  $l$  равно  $U$ . Если взять медный провод диаметром  $2d$  длиной  $8l$  и увеличить напряжение в 2 раза, то средняя скорость направленного движения электронов вдоль проводника:

- 1) увеличится в 4 раза;  
2) увеличится в 2 раза;  
3) не изменится;  
4) уменьшится в 4 раза.

#### Задание № 4

Вещество является однородным изотропным парамагнетиком, если:

1) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению внешнего магнитного поля;

2) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и внешнее магнитное поле;

3) магнитная восприимчивость велика, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и внешнее магнитное поле;

4) магнитная восприимчивость велика, вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению внешнего магнитного поля.

#### Задание № 5

Утверждение «Магнитное поле имеет вихревой характер» является следствием уравнения:

$$1) \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0;$$

$$2) \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$$

$$3) \int_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t};$$

$$4) \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = I_{\text{макро}} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial t}.$$

#### Задание № 6

Поле создано прямолинейным длинным проводником с током  $I_1$ . Если отрезок проводника с током  $I_2$  расположен в одной плоскости с длинным проводником так, как показано на рисунке, то сила Ампера:

- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;
- 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;
- 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «от нас»;
- 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена «к нам».



### Задание № 7

Если число фотонов, падающих в единицу времени на единицу площади зеркальной поверхности, увеличить в 4 раза, а зеркальную пластинку заменить черной, то световое давление увеличится:

- 1) в 2 раза;
- 2) в 4 раза;
- 3) в 8 раз;
- 4) не изменится.

### Задание № 8

Атомное ядро расположено в центральной части атома, положительно заряжено и обладает основной массой атома. Верным является утверждение, что:

- 1) ядерные силы обладают зарядовой независимостью;
- 2) масса ядра равна сумме масс образующих ядро нуклонов;
- 3) наименее устойчивы ядра с четными числами протонов и нейтронов;
- 4) ядра с одинаковыми массовыми, но разными зарядовыми числами называются изотопами.

### Задание № 9

Радиоактивному  $\beta$ -распаду соответствует схема:

- 1)  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^{-1}_0e + \nu_e$ ;
- 2)  ${}^1_1p + {}^{-1}_0e \rightarrow {}^1_0n + \nu_e$ ;
- 3)  ${}^0_+e + {}^{-1}_0e \rightarrow 2\gamma$ ;
- 4)  ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_+e + \nu_e$ .

### Задание № 10

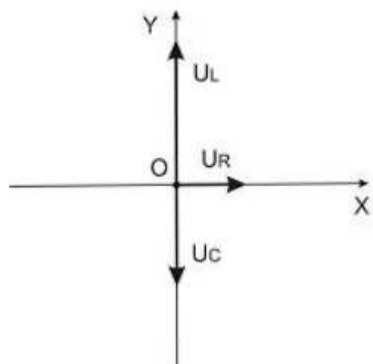
Установите соответствие между группами элементарных частиц и характерными типами фундаментальных взаимодействий:

- |             |                      |
|-------------|----------------------|
| 1) фотоны;  | a) электромагнитное; |
| 2) лептоны; | b) слабое;           |
| 3) адроны;  | c) сильное.          |
|             | d) гравитационное.   |

### Задание № 11

Сопротивление, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону  $U = U_0 \cos \omega t$  (В). На рисунке

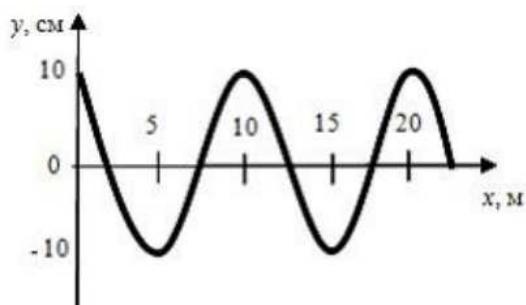
представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Установите соответствие между амплитудными значениями напряжений на этих элементах, если  $U_R = 3 \text{ В}$ ;  $U_L = 4 \text{ В}$ ;  $U_C = 10 \text{ В}$ .



- 1) 45 В;
- 2)  $\sqrt{5}$  В;
- 3) 17 В;
- 4)  $3\sqrt{5}$ .

*Задание № 12*

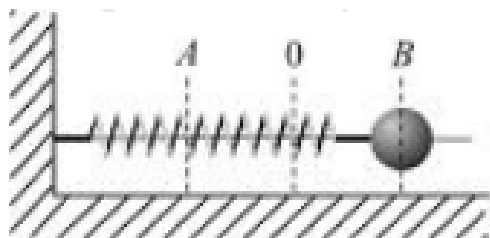
На рисунке представлен профиль поперечной упругой бегущей волны. Согласно рисунку значение волнового числа равно,  $\text{м}^{-1}$ :



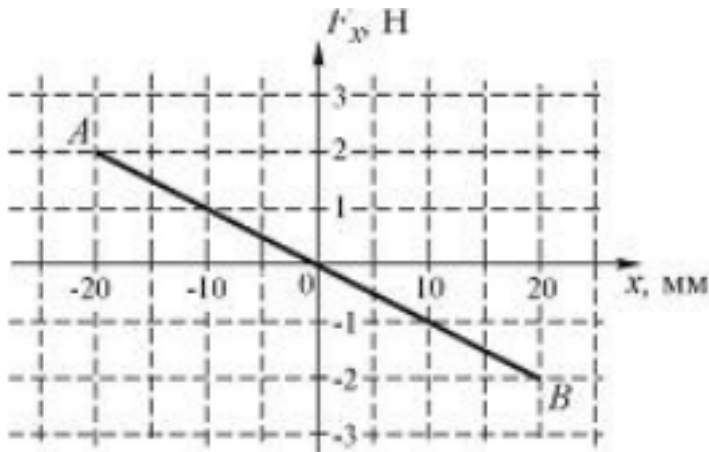
- 1) 0,628;
- 2) 1,256;
- 3) 0,314;
- 4) 2,512.

*Задание № 13*

Шарик, прикрепленный к пружине и насаженный на горизонтальную направляющую, совершает гармонические колебания.



На графике представлена зависимость проекции силы упругости пружины на ось X от координаты шарика.



Работа силы упругости при смещении шарика из положения В в положение О составляет, мДж:

- 1) 40;            2) -40;            3) 20;            4) -20.

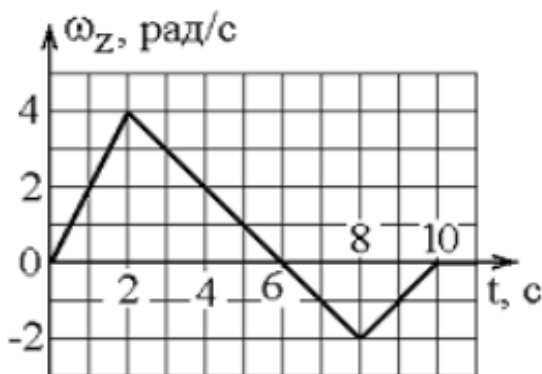
*Задание № 14*

Если в электромагнитной волне, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n = 2$ , значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно равны  $E = 1500$  В/м,  $H = 1$  А/м, то объемная плотность энергии составляет, мкДж/м<sup>3</sup>:

- 1) 125;            2) 50;            3) 10;            4) 55.

*Задание № 15*

Твердое тело начинает вращаться вокруг оси Z с угловой скоростью, проекция которой изменяется со временем, как показано на графике.

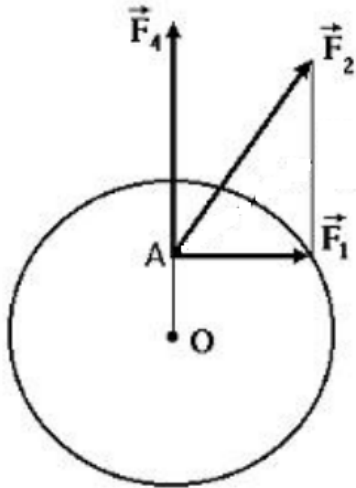


Угловое перемещение (в радианах) в промежутке времени от 4 до 6 с равно:

- 1) 6;            2) 2;            3) 4;            4) 8.

Задание № 16

Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. В точке А прикладывают одну из сил ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  или  $\vec{F}_3$ ), лежащих в плоскости диска. Верным для моментов этих сил относительно рассматриваемой оси является соотношение:



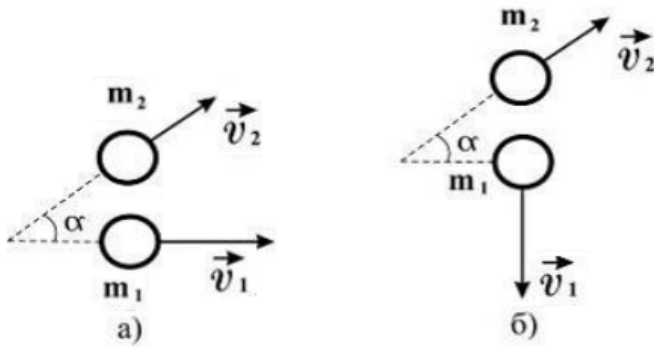
- 1)  $M_1 = M_2, M_3 = 0$  ;
- 2)  $M_1 < M_2 < M_3$  ;
- 3)  $M_1 > M_2, M_3 = 0$  ;
- 4)  $M_1 < M_2, M_3 = 0$  .

Задание № 17

Шар массой  $m_1$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}$ , налетает на покоящийся шар массой  $m_2$ .



Могут ли после соударения скорости шаров  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  иметь направления, показанные на следующем рисунке (а) и б))?



- 1) могут в случае б);
- 2) могут в случае а);
- 3) могут в обоих случаях;
- 4) не могут ни в одном из указанных случаев.

*Задание № 18*

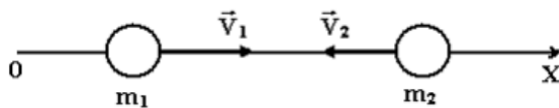
Частица движется в двумерном поле, причем ее потенциальная энергия задается функцией  $U = -2xy(z+2)$ . Работа сил поля по перемещению частицы из точки С (1, 2, 1) в точку В (2, 1, 2) равна, Дж:

(Функция и координаты точек заданы в единицах СИ.)

- 1) 8;
- 2) 12;
- 3) 20;
- 4) 4.

*Задание № 19*

Вдоль оси ОХ навстречу друг другу движутся две частицы массами  $m_1 = 2$  г,  $m_2 = 6$  г и скоростями  $v_1 = 10$  м/с,  $v_2 = 2$  м/с соответственно. Проекция скорости центра масс на ось ОХ (в единицах СИ) равна:



- 1) 1;
- 2) 4;
- 3) -1;
- 4) -4.

*Задание № 20*

$\pi^0$ -мезон, двигавшийся со скоростью  $v$  ( $c$  – скорость света в вакууме) в лабораторной системе отсчета, распадается на два фотона:  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . В системе отсчета мезона фотон  $\gamma_1$  был испущен вперед, а фотон



$\gamma_2$  – назад относительно направления полета мезона. Скорость фотона  $\gamma_2$  в лабораторной системе отсчета равна:

- 1) -1,0 с;            2) +1,8 с;            3) -0,2 с;            4) +1,0 с.

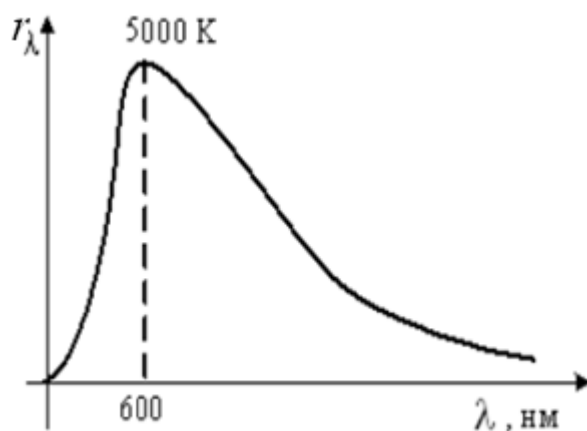
*Задание № 21*

Показатель преломления воды для красного света меньше, чем для синего. В связи с этим при прохождении света в воде наблюдается:

- 1) нормальная дисперсия;  
2) аномальная дисперсия;  
3) оптическая активность;  
4) поляризация.

*Задание № 22*

На рисунке представлено распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела в зависимости от длины волны для температуры  $T = 5000$  К. При уменьшении температуры в 2 раза длина волны, соответствующая максимуму излучения, будет равна:



- 1) 150 нм;  
2) 300 нм;  
3) 600 нм;  
4) 1200 нм.

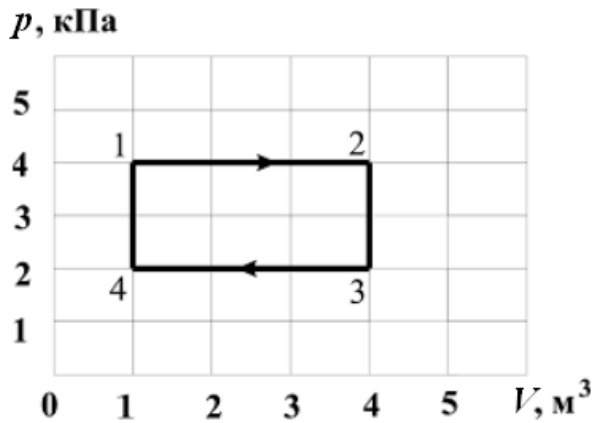
*Задание № 23*

При наблюдении интерференции фиолетового света в опыте Юнга расстояние между соседними темными полосами на экране равно 4 мм. Если источник фиолетового света заменить источником красного света, длина волны которого в 1,5 раза больше, то это расстояние станет равным, мм:

- 1) 1,3;            2) 3;            3) 2,5;            4) 6.

*Задание № 24*

Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы газа за цикл к работе при нагревании газа по модулю равно:



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

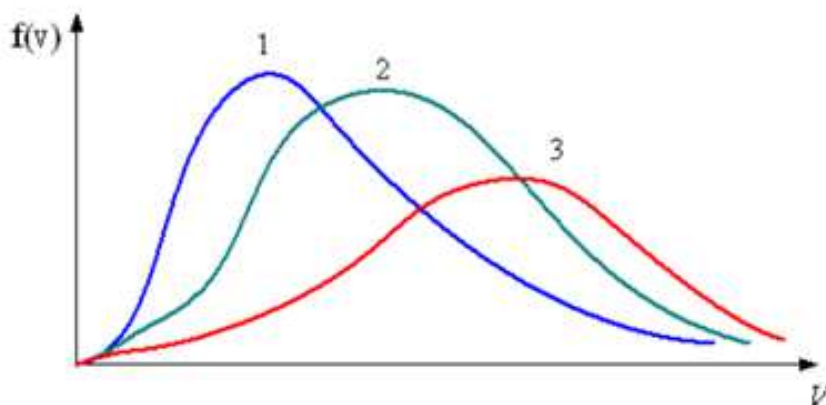
*Задание № 25*

В ходе обратимого процесса при поступлении в неизолированную термодинамическую систему тепла для приращения энтропии верным будет соотношение:

- 1)  $dS > \frac{\delta Q}{T}$ ;  
2)  $dS = \frac{\delta Q}{T}$ ;  
3)  $dS < \frac{\delta Q}{T}$ ;  
4)  $dS \leq \frac{\delta Q}{T}$ .

*Задание № 26*

На рисунке представлены графики функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала.



Для этих функций верными являются утверждения, что

- 1) распределение 1 соответствует газу, имеющему наибольшую температуру;
- 2) распределение 3 соответствует газу, имеющему наименьшую температуру;
- 3) распределение 1 соответствует газу, имеющему наибольшую массу молекул;
- 4) распределение 3 соответствует газу, имеющему наибольшую массу молекул.

#### Задание № 27

Если не учитывать колебательные движения в молекуле водяного пара, то отношение кинетической энергии поступательного движения к полной кинетической энергии молекулы равно:

- 1)  $\frac{2}{5}$ ;
- 2)  $\frac{2}{7}$ ;
- 3)  $\frac{1}{3}$ ;
- 4)  $\frac{1}{2}$ .

#### Задание № 28

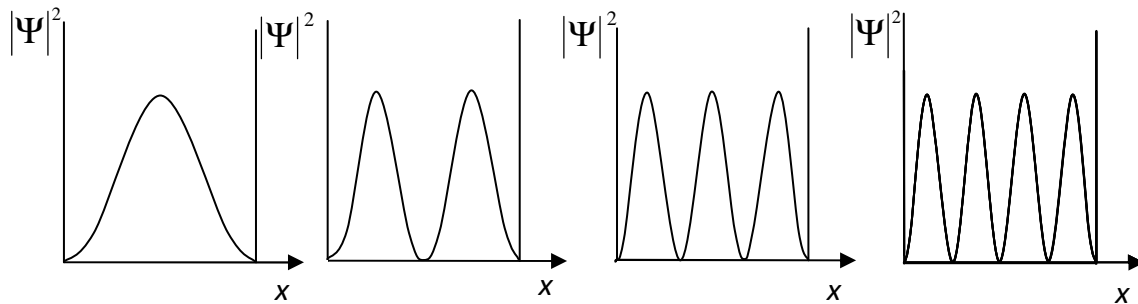
Собственные функции электрона в атоме водорода  $\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)$  зависят от трех целочисленных параметров:  $n$  – главное квантовое число,  $l$  – орбитальное (азимутальное) квантовое число,  $m$  – магнитное квантовое число. Главное квантовое число  $n$  определяет:

- 1) энергию электрона в атоме водорода;
- 2) величину орбитального момента импульса электрона;
- 3) проекцию орбитального момента импульса электрона на некоторое направление;
- 4) величину собственного момента импульса электрона.

*Задание № 29*

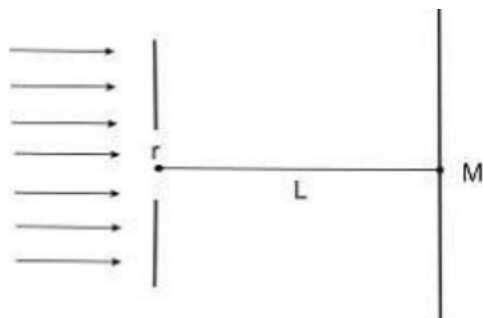
На рисунках представлены графики распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состоянию частицы с наименьшей энергией соответствует:

- 1)                      2)                      3)                      4)



*Задание № 30*

На диафрагму с круглым отверстием радиусом 3 мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 2 м помещают экран. В отверстии диафрагмы для точки М укладывается зона(-ы) Френеля:



- 1) 9;                      2) 6;                      3) 3;                      4) 18.

*Задание № 31*

КПД цикла Карно равен 70 %. Если на 20 % уменьшить температуру нагревателя и на 20 % увеличить температуру холодильника, КПД достигнет значения, %:

- 1) 60;                      2) 40;                      3) 20;                      4) 80.

*Задание № 32*

Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость  $V = 0,4 c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения  $\beta$ -частицу, скорость которой  $v = 0,75 c$  относительно ускорителя. Скорость  $\beta$ -частицы относительно ядра равна:

- 1)  $0,5 c$ ;      2)  $0,27 c$ ;      3)  $0,88 c$ ;      4)  $1,64 c$ .

**Вариант 4**

*Задание № 1*

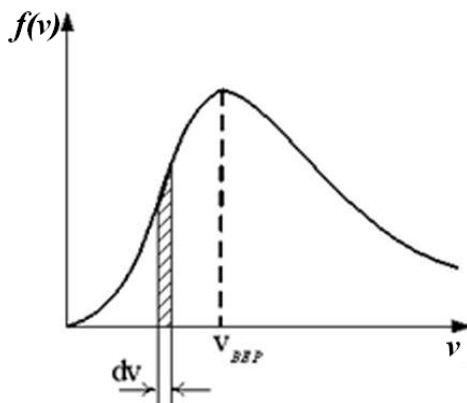
КПД цикла Карно равен 70 %. Если на 20 % уменьшить температуру нагревателя и на 20 % увеличить температуру холодильника, КПД достигнет значения, %:

- 1) 60;      2) 40;      3) 20;      4) 80.

*Задание № 2*

На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где  $f(v) = \frac{dN}{Ndv}$  – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчет на единицу интервала.

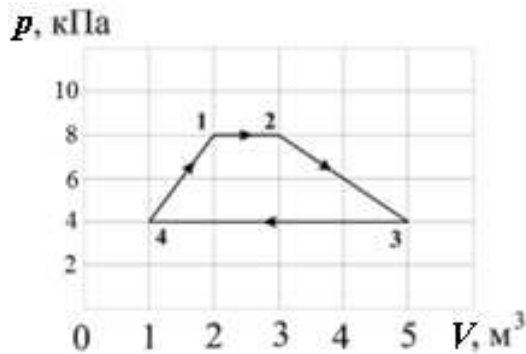
Неверным является утверждением:



- 1) с увеличением температуры площадь под кривой не изменяется;
- 2) при изменении температуры положение максимума не изменяется;
- 3) с увеличением температуры максимум кривой смещается вправо.

*Задание № 3*

Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Работа газа за цикл равна, кДж:



- 1) 10;                    2) 5;                    3) 2;                    4) 12.

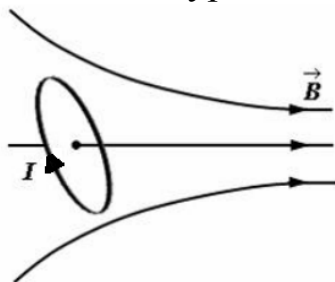
*Задание № 4*

В соответствии с законом равномерного распределения энергии по степеням свободы средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{п}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{к}}$ , где  $n_{\text{п}}$ ,  $n_{\text{вр}}$  и  $n_{\text{к}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы соответственно. При условии, что имеет место только поступательное и вращательное движение, для неона (Ne) число  $i$  равно:

- 1) 3;                    2) 5;                    3) 7;                    4) 6.

*Задание № 5*

Небольшой контур с током  $I$  помещен в неоднородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Плоскость контура перпендикулярна плоскости чертежа, но не перпендикулярна линиям индукции. Под действием поля контур:

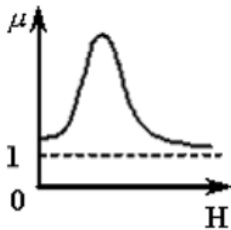


- 1) повернется против часовой стрелки и сместится вправо;  
2) повернется по часовой стрелке и сместится вправо;

- 3) повернется против часовой стрелки и сместится влево;
- 4) повернется по часовой стрелке и сместится влево.

*Задание № 6*

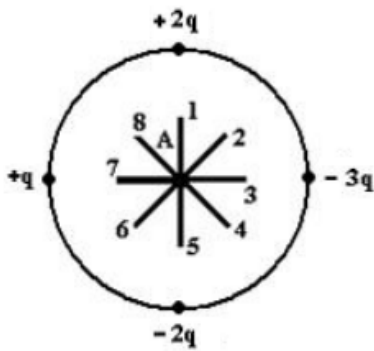
На рисунке показана зависимость магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля  $H$ :



- 1) для ферромагнетика;
- 2) диамагнетика;
- 3) парамагнетика;
- 4) любого магнетика.

*Задание № 7*

Электростатическое поле создано системой точечных зарядов.

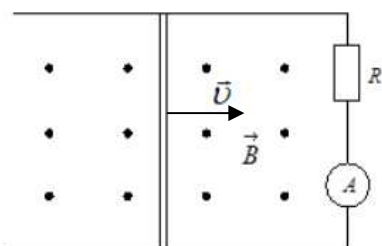


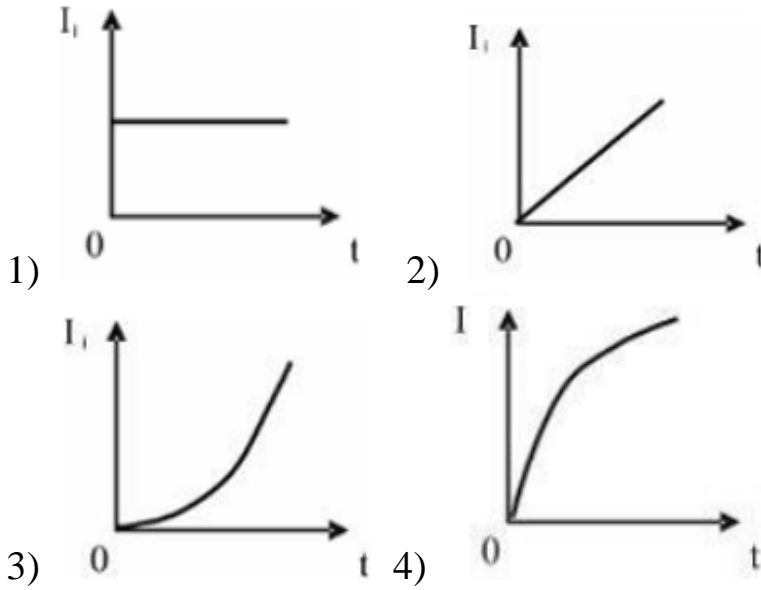
Вектор напряженности  $\vec{E}$  поля в точке  $A$  ориентирован в направлении:

- 1) 1;    2) 2;    3) 3;    4) 4;    5) 5;    6) 6;    7) 7;    8) 8.

*Задание № 8*

По параллельным металлическим проводникам, расположенным в однородном магнитном поле, с постоянной скоростью перемещается проводящая перемычка, длиной  $l$  (см. рисунок). Если сопротивлением перемычки и направляющих можно пренебречь, то зависимость индукционного тока от времени можно представить графиком:





### Задание № 9

Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме имеет вид:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} \quad \oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV \quad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Система распадается на две группы независимых уравнений:

$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = 0, \quad \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = q,$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = I, \quad \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

при условии, что:

- 1) электрическое поле нестационарно:  $\vec{E} \neq \text{const}$ ;
- 2) магнитное поле нестационарно:  $\vec{B} \neq \text{const}$ ;
- 3) магнитное и электрическое поля стационарны:  $\vec{B} \neq \text{const}$ ,  $\vec{E} \neq \text{const}$ ;
- 4) магнитное и электрическое поля нестационарны  $\vec{B} \neq \text{const}$ ,  $\vec{E} \neq \text{const}$ .



*Задание № 10*

Распад мюона по схеме  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$  не может идти из-за нарушения закона сохранения:

- 1) барионного заряда;
- 2) электрического заряда;
- 3) спина;
- 4) лептонного заряда.

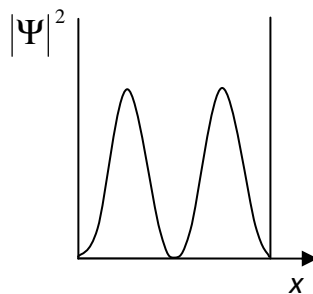
*Задание № 11*

В центральной части атома, занимая небольшой объем и обладая его основной массой, находится положительно заряженное ядро. Верным является утверждение, что:

- 1) масса ядра равна сумме масс образующих ядро нуклонов;
- 2) наименее устойчивы ядра с четными числами протонов и нейтронов;
- 3) ядерные силы обладают зарядовой независимостью;
- 4) ядра с одинаковыми массовыми, но разными зарядовыми числами называются изотопами.

*Задание № 12*

Вероятность нахождения частицы в центре одномерной потенциальной ямы для состояния, представленного на рисунке, равна



- 1)  $1/2$ ;      2)  $1/4$ ;      3) 0;      4) 1.

*Задание № 13*

Существуют три разновидности радиоактивного  $\beta$ -распада: электронный  $\beta^-$ -распад, позитронный  $\beta^+$ -распад и  $K$ -захват.  $K$ -захват – это ядерное превращение, происходящее по схеме:

- 1)  $\frac{1}{0}n \rightarrow \frac{1}{1}p + \frac{0}{-1}e + \nu_e$ ;
- 2)  $\frac{1}{1}p + \frac{0}{-1}e \rightarrow \frac{1}{0}n + \nu_e$ ;
- 3)  $\frac{0}{+1}e + \frac{0}{-1}e \rightarrow 2\gamma$ ;
- 4)  $\frac{1}{1}p \rightarrow \frac{1}{0}n + \frac{0}{+1}e + \nu_e$ .

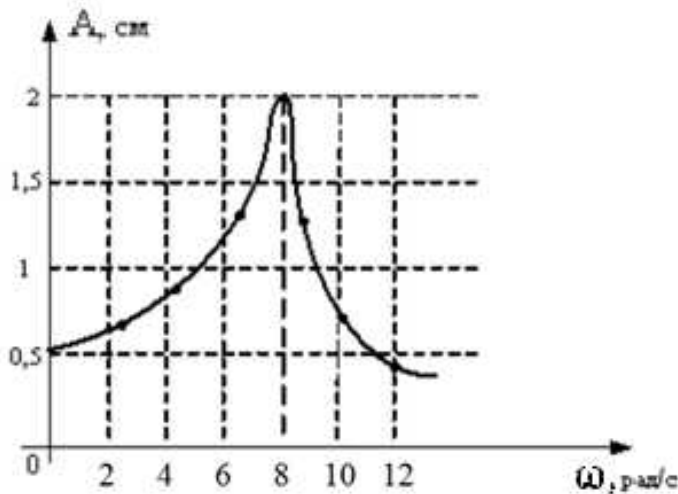
*Задание № 14*

В упругой среде плотности  $\rho$  распространяется плоская синусоидальная волна с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ . При переходе волны в другую среду, плотность которой в 2 раза больше, амплитуду уменьшают в 4 раза, тогда объемная плотность энергии, переносимой волной, уменьшится в \_\_\_\_\_ раз(-а)

- 1) 4;                      2) 8;                      3) 2;                      4) 16.

*Задание № 15*

На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний математического маятника от частоты внешней силы при слабом затухании.

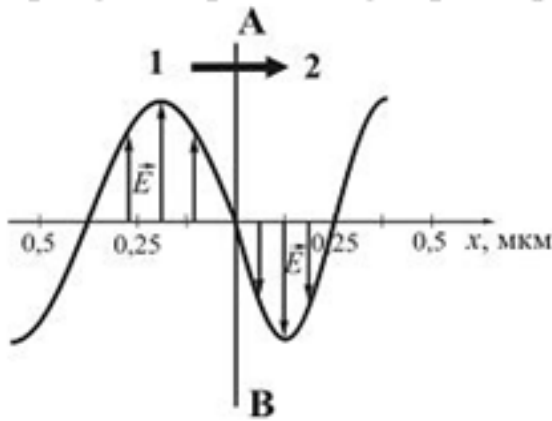


Длина нити маятника равна, см:

- 1) 12;                      2) 9;                      3) 16;                      4) 14.

*Задание № 16*

На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела АВ.



Относительный показатель преломления  $n_{12}$  двух сред равен:

- 1) 0,84;      2) 1,33;      3) 0,67;      4) 1,50.

*Задание № 17*

Диск и обруч, имеющие одинаковые радиусы и массы  $m_1=2m_2$ , вкатываются без проскальзывания с одинаковыми скоростями на горку. Если трением и сопротивлением воздуха можно пренебречь, то отношение высот  $\frac{h_1}{h_2}$ , на которые смогут подняться эти тела, равно:

- 1)  $\frac{3}{4}$ ;      2)  $\frac{7}{10}$ ;      3)  $\frac{14}{15}$ ;      4) 1.

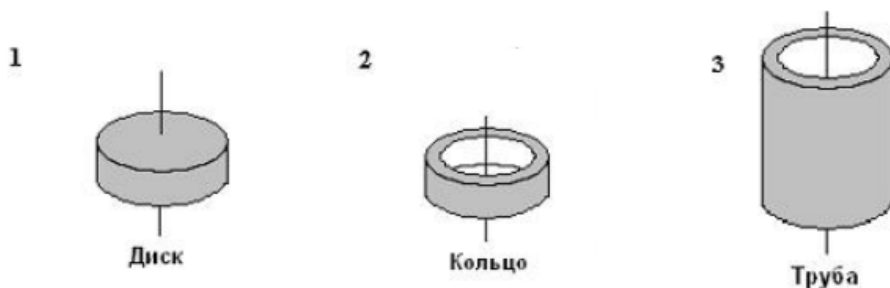
*Задание № 18*

Механическая система состоит из трех частиц, массы которых  $m_1=0,6$  г,  $m_2=0,4$  г,  $m_3=0,2$  г. Первая частица находится в точке с координатами (3, 2, 0), вторая – в точке (0, 3, 2), третья – в точке (3, 0, 2) (координаты даны в сантиметрах). Тогда  $Y_C$  – координата центра масс равна, см:

- 1) 1,2;      2) 2;      3) 1;      4) 2,4.

*Задание № 19*

Рассматриваются три тела: диск, тонкостенная труба и кольцо, причем массы  $m$  и радиусы  $R$  их оснований одинаковы.

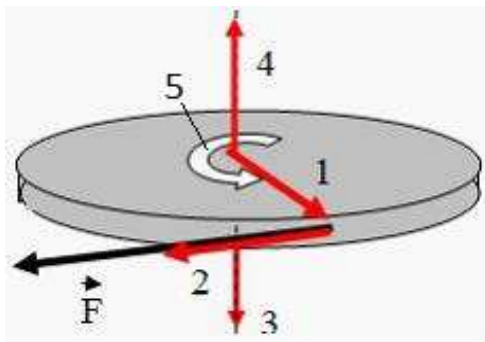


Для моментов инерции рассматриваемых тел относительно указанных осей верным является соотношение:

- 1)  $J_1 < J_2 = J_3$ ;
- 2)  $J_1 < J_3 < J_2$ ;
- 3)  $J_1 = J_3 < J_2$ ;
- 4)  $J_3 < J_1 < J_2$ .

*Задание № 20*

Диск равномерно вращается вокруг вертикальной оси в направлении, указанном стрелкой 5. В некоторый момент времени к ободу диска была приложена сила, направленная по касательной.



При этом правильно изображает направление угловой скорости диска вектор:

- 1) 4;
- 2) 1;
- 3) 2;
- 4) 3.

*Задание № 21*

Частица совершила перемещение по некоторой траектории из точки 1 с радиус-вектором  $\vec{r}_1 = \vec{i} - 3\vec{j}$  в точку 2 с радиус-вектором  $\vec{r}_2 = 3\vec{i} + 2\vec{j}$ . При этом на нее действовала сила  $\vec{F} = 4\vec{i} + 3\vec{j}$  (радиус-векторы  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  и сила  $\vec{F}$  заданы в единицах СИ). Работа, совершенная силой  $\vec{F}$ , равна:

- 1) 33;
- 2) 23;
- 3) 13;
- 4) 11.

*Задание № 22*

Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью  $V = 0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, перпендикулярного направлению движения корабля, в положение 2, параллельное

этому направлению. Тогда длина стержня с точки зрения другого космонавта:

- 1) равна 1,0 м при любой его ориентации;
- 2) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,8 м в положении 2;
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,6 м в положении 2;
- 4) изменится от 0,8 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2.

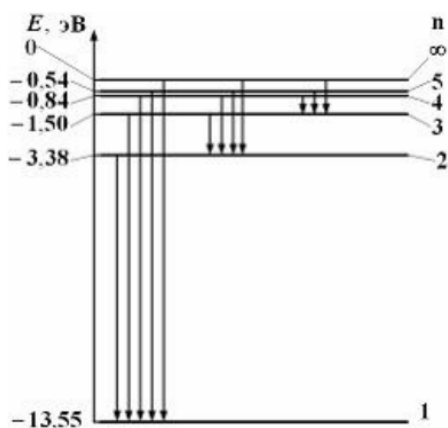
### Задание № 23

Отношение неопределенностей проекций скоростей нейтрона и  $\alpha$ -частицы на некоторое направление при условии, что соответствующие координаты частиц определены с одинаковой точностью, равно:

- 1) 4;
- 2) 1/4;
- 3) 1/2;
- 4) 2.

### Задание № 24

На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода, а также условно изображены переходы электрона с одного уровня на другой, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой области – серию Бальмера, в инфракрасной области – серию Пашена и т.д.



Отношение максимальной частоты линии в серии Пашена  $\nu_{\max\P}$  к минимальной частоте линии в серии Бальмера  $\nu_{\min\text{Б}}$  равно:

- 1) 4/5;
- 2) 1/3;
- 3) 4/27;
- 4) 5/36.

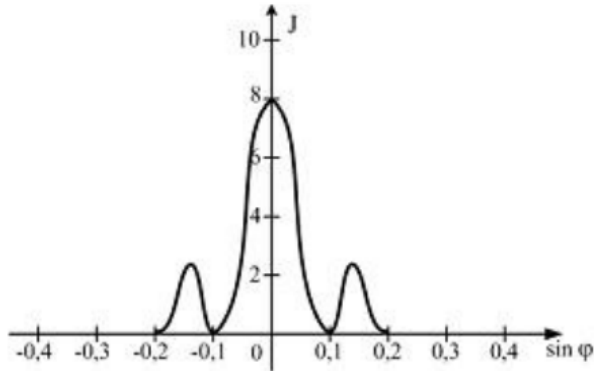
### Задание № 25

При интерференции когерентных лучей с длиной волны 600 нм максимум второго порядка возникает при разности хода:

- 1) 1200 нм;
- 2) 600 нм;
- 3) 300 нм;
- 4) 200 нм.

*Задание № 26*

Зависимость интенсивности монохроматического излучения от синуса угла дифракции представлена на рисунке. Дифракция наблюдается на щели шириной  $b = 5$  мкм, тогда длина волны излучения равна, нм:



- 1) 1000;      2) 500;      3) 600;      4) 400.

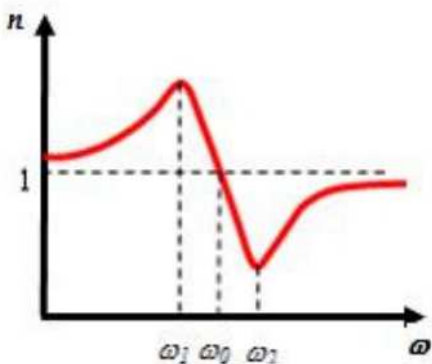
*Задание № 27*

На черную пластинку падает поток света. Если число фотонов, падающих на единицу площади поверхности в единицу времени, уменьшить в 2 раза, а черную пластинку заменить зеркальной, то световое давление

- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) не изменится;
- 4) уменьшится в 4 раза.

*Задание № 28*

На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Нормальная дисперсия наблюдается на участке:



- 1) от  $\omega_1$  до  $\omega_2$ ;    2) от 0 до  $\omega_1$ ;    3) от  $\omega_1$  до  $\omega_0$ ;    4) от  $\omega_2$  до  $\infty$ .

*Задание № 29*

Свет, падающий на металл, вызывает эмиссию электронов из металла. Если интенсивность света увеличивается, а его частота при этом остается неизменной, то:

- 1) количество выбитых электронов уменьшается, а их кинетическая энергия остается неизменной;
- 2) количество выбитых электронов остается неизменным, а их кинетическая энергия уменьшается;
- 3) количество выбитых электронов увеличивается, а их кинетическая энергия остается неизменной;
- 4) количество выбитых электронов и их кинетическая энергия увеличиваются.

*Задание № 30*

Если воздушный конденсатор отключить от источника, а затем заполнить диэлектриком, то:

- 1) емкость уменьшится, напряжение между обкладками не изменится;
- 2) емкость увеличится, заряд на обкладках не изменится;
- 3) напряжение между обкладками не изменится, заряд на обкладках уменьшится;
- 4) емкость уменьшится, заряд на обкладках не изменится.

*Задание № 31*

Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . Амплитуда результирующего колебания равна  $A_0\sqrt{2}$  при разности фаз  $\Delta\psi =$ :

- 1)  $\pi$ ;
- 2)  $3\pi/2$ ;
- 3)  $\pi/2$ ;
- 4) 0.

*Задание № 32*

Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре  $T$  зависит от их конфигурации и структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле и самой молекулы. При условии, что имеют место поступательное, вращательное движение молекулы как целого и колебательное движение атомов в молекуле, средняя кинетическая энергия молекулы водяного пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) равна:

- 1)  $\frac{7}{2}kT$ ;
- 2)  $\frac{3}{2}kT$ ;
- 3)  $\frac{5}{2}kT$ ;
- 4)  $\frac{1}{2}kT$ .

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ ФИЗИКИ

## ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

### Кинематика

- Средняя и мгновенная скорости материальной точки

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\overline{\Delta \vec{r}}}{\Delta t}; \quad \langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}; \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}; \quad v = \frac{dS}{dt};$$

где  $\overline{\Delta \vec{r}}$  – элементарное перемещение точки за промежуток времени  $\Delta t$ ;

$\vec{r}$  – радиус-вектор точки;  $\Delta S$  – путь, пройденный точкой за промежуток времени  $\Delta t$ .

- Среднее и мгновенное ускорение материальной точки

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\overline{\Delta \vec{v}}}{\Delta t}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

- Полное ускорение при криволинейном движении

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \quad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2},$$

где  $a_\tau = \frac{dv}{dt}$  – тангенциальная составляющая ускорения;

$a_n = \frac{v^2}{r}$  – нормальная составляющая ускорения ( $r$  – радиус кривизны траектории в данной точке).

- Путь и скорость для равноускоренного движения

$$S = V_0 t \pm \frac{at^2}{2}; \quad V = V_0 \pm at,$$

где  $V_0$  – начальная скорость.

- Угловая скорость  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ .

- Угловое ускорение  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ .

- Угловая скорость для равномерного вращательного движения

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

где  $T$  – период вращения;  $n$  – частота вращения ( $n = N/t$ , где  $N$  – число оборотов, совершаемых телом за время  $t$ ).

- Угол поворота и угловая скорость для равнопеременного вращательного движения

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}; \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t,$$



где  $\omega_0$  – начальная угловая скорость.

- Связь между линейными и угловыми величинами:

$$S = R\varphi ; v = R\omega ; a_{\tau} = R\varepsilon ; a_n = \omega^2 R ,$$

где  $R$  – расстояние от оси вращения.

### Динамика материальной точки и поступательного движения твёрдого тела

- Импульс (количество движения) материальной точки:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

- Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики материальной точки)

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} .$$

- Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = fN,$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения;  $N$  – сила нормального давления.

- Закон сохранения импульса для замкнутой системы

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const},$$

где  $n$  – число материальных точек (или тел), входящих в систему.

### Работа и энергия

- Работа, совершаемая постоянной силой:

$$dA = F_s ds = F ds \cos \alpha,$$

где  $F_s$  – проекция силы на перемещения;  $\alpha$  – угол между направлениями силы и перемещения.

- Работа, совершаемая переменной силой, на пути  $s$ :

$$A = \int_s F_s ds = \int_s F \cos \alpha ds.$$

- Мгновенная мощность:

$$N = \frac{dA}{dt}, \text{ или } N = \vec{F} \cdot \vec{v} = F_s v = Fv \cos \alpha.$$

- Кинетическая энергия движущегося тела:  $T = mv^2/2.$

•Связь между силой, действующей на тело в данной точке поля, и потенциальной энергией частицы:

$$\vec{F} = -\text{grad}\Pi, \text{ или } \vec{F} = -\left(\frac{d\Pi}{dx}\vec{i} + \frac{d\Pi}{dy}\vec{j} + \frac{d\Pi}{dz}\vec{k}\right),$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы координатных осей.

•Потенциальная энергия тела, поднятого над поверхностью Земли на высоту  $h$ :

$$\Pi = mgh,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения

•Сила упругости:

$$F = -kx,$$

где  $x$  – деформация,  $k$  – коэффициент упругости.

•Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$\Pi = kx^2/2.$$

•Закон сохранения механической энергии (для консервативной системы):

$$T + \Pi = E = \text{const.}$$

### Механика твердого тела

•Момент инерции материальной точки

$$J = mr^2,$$

где  $m$  – масса точки;  $r$  – расстояние до оси вращения.

•Момент инерции системы (тела)

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где  $r_i$  – расстояние от материальной точки массой  $m_i$  до оси вращения. В случае непрерывного распределения масс  $J = \int r^2 dm$ .

•Теорема Штейнера

$$J = J_c + ma^2,$$

где  $J_c$  – момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс;

$J$  – момент инерции относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстоянии  $a$ ;  $m$  – масса тела.

•Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси  $z$ :

$$T_{\text{вр}} = j_z \omega^2 / 2,$$

где  $J_z$  – момент инерции тела относительно оси  $z$ ;  $\omega$  – его угловая скорость.

• Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения:

$$T = \frac{1}{2} m v_c^2 + \frac{1}{2} j_c \omega^2,$$

где  $m$  – масса тела;

$v_c$  – скорость центра масс тела;

$J_c$  – момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс;

$\omega$  – угловая скорость тела.

• Момент силы относительно неподвижной точки

$$\vec{M} = [\vec{r} \vec{F}],$$

где  $\vec{r}$  – радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы  $F$ . Модуль момента силы  $M = Fl$ , где  $l$  – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения).

• Работа при вращении тела

$$dA = M_z d\varphi,$$

где  $d\varphi$  – угол поворота тела;  $M_z$  – момент силы относительно оси  $z$ .

• Момент импульса (момент количества движения) твердого тела относительно оси вращения

$$L_z = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = J_z \omega,$$

где  $r_i$  – расстояние от оси  $z$  до отдельной частицы тела;  $m_i v_i$  – импульс этой частицы;  $J_z$  – момент инерции тела относительно оси  $z$ ;  $\omega$  – его угловая скорость.

• Уравнение моментов. Закон динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение;  $J_z$  – момент инерции тела относительно оси  $z$ .

• Закон сохранения момента импульса (момента количества движения) для замкнутой системы

$$\vec{L} = \text{const}$$

- Напряжение при упругой деформации:

$$\sigma = F/S,$$

где  $F$  – растягивающая (сжимающая) сила;  $S$  – площадь поперечного сечения.

- Закон Гука для продольного растяжения (сжатия)

$$\sigma = E\varepsilon_L$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $\varepsilon_L$  – относительное удлинение  $\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$ .

## Тяготение Элементы теории поля

- Закон всемирного тяготения

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

где  $F$  – сила всемирного тяготения (гравитационная сила) двух материальных точек массами  $m_1$  и  $m_2$ ;  $r$  – расстояние между точками;  $G$  – гравитационная постоянная.

- Сила тяжести:  $P=mg$ ,

где  $m$  – масса тела;  $g$  – ускорение свободного падения.

- Напряженность поля тяготения

$$g = \vec{F}/m,$$

где  $F$  – сила тяготения, действующая на материальную точку массой  $m$ , помещенную в данную точку поля.

• Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами  $m_1$  и  $m_2$ , находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга

$$\Pi = - Gm_1 m_2/r.$$

- Потенциал поля тяготения:

$$\varphi = \Pi/m,$$

где  $\Pi$  – потенциальная энергия материальной точки массой  $m$ , помещенной в данную точку поля.

• Связь между потенциалом поля тяготения и его напряженностью

$$\vec{g} = -\text{grad}\varphi, \text{ или } \vec{g} = -\left(\frac{d\varphi}{dx}\vec{i} + \frac{d\varphi}{dy}\vec{j} + \frac{d\varphi}{dz}\vec{k}\right),$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы координатных осей.

### Элементы механики жидкостей

- Гидростатическое давление столба жидкости на глубине  $h$

$$p = \rho \cdot g \cdot h,$$

где  $\rho$  – плотность жидкости.

- Закон Архимеда

$$F_a = \rho \cdot g \cdot V,$$

где  $F_a$  – выталкивающая сила;  $V$  – объем вытесненной жидкости.

- Уравнение неразрывности

$$S \cdot v = \text{const},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубки тока;

$v$  – скорость жидкости.

- Уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости

$$\frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h + p = \text{const},$$

где  $p$  – статическое давление жидкости для определенного сечения трубки тока;

$v$  – скорость жидкости для этого же сечения;  $\rho v^2/2$  – динамическое давление жидкости для этого же сечения;

$h$  – высота, на которой расположено сечение;

$\rho gh$  – гидростатическое давление.

- Формула Торричелли, позволяющая определить скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом широком сосуде:

$$v = \sqrt{2gh},$$

где  $h$  – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в сосуде.

- Сила внутреннего трения между слоями текущей жидкости

$$F = \eta \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| S,$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость жидкости;  $\frac{\Delta v}{\Delta x}$  – градиент скорости;  $S$  – площадь соприкасающихся слоев.

- Формула Стокса, позволяющая определить силу сопротивления, действующую на медленно движущийся в вязкой среде шарик:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где  $r$  – радиус шарика;  $v$  – его скорость.

## Элементы специальной (частной) теории относительности

- Преобразования Лоренца

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

где предполагается, что система отсчета  $K'$  движется со скоростью  $v$  в положительном направлении оси  $x$  системы отсчета  $K$ , причем оси  $x'$  и  $x$  совпадают, а оси  $y'$  и  $y$  и  $z'$  и  $z$  параллельны;  $c$  – скорость распространения света в вакууме.

- Релятивистское замедление хода часов

$$t' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

где  $\tau$  – промежуток времени между двумя событиями, отсчитанный движущимися вместе с телом часами;  $t'$  – промежуток времени между теми же событиями, отсчитанный покоящимися часами.

- Релятивистское (лоренцево) сокращение длины

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

где  $l_0$  – длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой стержень покоится (собственная длина);

$l$  – длина стержня, измеренная в системе отсчета, относительно которой он движется со скоростью  $v$ .

- Релятивистский закон сложения скоростей

$$v_1 = \frac{v + v_2}{1 + (v v_2 / c^2)},$$

где предполагается, что система  $K_2$  движется относительно системы отсчета  $K_1$  со скоростью  $v$  вдоль оси  $X$ ; частица движется со скоро-

стью  $v_2$  относительно системы  $K_2$  параллельно оси  $X$ . Её скорость относительно  $K_2$  равна  $v_2$ .  $v_1$  – скорость частицы относительно системы  $K_1$ .

- Интервал между событиями (инвариантная величина)

$$s_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2 = inv ,$$

где  $t_{12}$  – промежуток времени между событиями 1 и 2;

$l_{12}$  – расстояние между точками, где произошли события.

- Масса релятивистской частицы и релятивистский импульс

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}},$$

где  $m_0$  — масса покоя.

- Основной закон релятивистской динамики

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где  $\vec{p}$  – релятивистский импульс частицы.

- Полная и кинетическая энергии релятивистской частицы

$$E = mc^2 = m_0 c^2 + T, \quad T = (m - m_0)c^2.$$

- Связь между энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2, \quad pc = \sqrt{T(T + 2m_0 c^2)}.$$

## ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

### Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов

- Закон Бойля — Мариотта

$$pV = \text{const} \quad \text{при } T = \text{const}, \quad m = \text{const},$$

где  $p$  – давление;  $V$  – объем;  $T$  – термодинамическая температура;  $m$  – масса газа.

- Закон Гей-Люссака

$$V = V_0(1 + \alpha t), \quad \text{или} \quad V_1/V_2 = T_1/T_2 \quad \text{при } p = \text{const}, \quad m = \text{const};$$

$$p = p_0(1 + \alpha t), \quad \text{или} \quad p_1/p_2 = T_1/T_2 \quad \text{при } V = \text{const}, \quad m = \text{const},$$

где  $t$  – температура по шкале Цельсия;  $V_0$  и  $p_0$  – объем и давление при  $0^\circ\text{C}$  соответственно; коэффициент  $\alpha = 1/273\text{K}^{-1}$ ; индексы 1 и 2 относятся к произвольным состояниям.

- Закон Дальтона для давления смеси  $n$  идеальных газов

$$p = \sum_{i=1}^n p_i,$$

где  $p_i$  – парциальное давление  $i$ -го компонента смеси.

- Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона – Менделеева)

$$pV_m = RT \text{ (для 1 моля газа),}$$

$$pV = (m/M)RT \text{ (для произвольной массы газа),}$$

где  $V_m$  – молярный объем;  $R$  – молярная газовая постоянная;  $M$  – молярная масса газа;  $m$  – масса газа;  $m/M = \nu$  – количество вещества.

- Зависимость давления газа от концентрации  $n$  молекул и температуры  $T$ :

$$P = nkT,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана ( $k = R/N_A$ ,  $N_A$  – постоянная Авогадро).

- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \langle v_{KB} \rangle^2,$$

или

$$pV = \frac{2}{3} N \left( \frac{m_0 \langle v_{KB} \rangle^2}{2} \right) = \frac{2}{3} E,$$

или

$$pV = \frac{1}{3} Nm_0 \langle v_{KB} \rangle^2 = \frac{1}{3} m \langle v_{KB} \rangle^2,$$

где  $\langle v_{KB} \rangle$  – средняя квадратичная скорость молекул;  $E$  – суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа;  $n$  – концентрация молекул;  $m_0$  – масса одной молекулы;  $m = Nm_0$  – масса газа;  $N$  – число молекул в объеме газа  $V$ .

- Скорость молекул:

- наиболее вероятная  $v_E = \sqrt{2RT/M} = \sqrt{2kT/m_0}$ ;

- средняя квадратичная  $\langle v_{KB} \rangle = \sqrt{3RT/M} = \sqrt{3kT/m_0}$ ;

- средняя арифметическая  $\langle v \rangle = \sqrt{8RT/(\pi M)} = \sqrt{8kT/(\pi m_0)}$ ,

где  $m_0$  – масса молекулы.

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы идеального газа



$$\langle \varepsilon_0 \rangle = \frac{3}{2} kT .$$

• Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям

$$f(v) = \frac{dN(v)}{Ndv} = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-m_0 v^2 / (2kT)},$$

где функция  $f(v)$  распределения молекул по скоростям определяет относительное число молекул  $dN(v)/N$  из общего числа  $N$  молекул, скорости которых лежат в интервале от  $v$  до  $v + dv$ .

• Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по энергиям теплового движения

$$f(\varepsilon) = \frac{dN(\varepsilon)}{Nd\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\varepsilon/(kT)},$$

где функция  $f(\varepsilon)$  распределения молекул по энергиям теплового движения определяет относительное число молекул  $dN(\varepsilon)/N$  из общего числа  $N$  молекул, которые имеют кинетические энергии  $\varepsilon = m_0 v^2 / 2$ , заключенные в интервале от  $\varepsilon$  до  $\varepsilon + d\varepsilon$ .

• Барометрическая формула

$$p_h = p_0 e^{-Mg(h-h_0)/(RT)},$$

где  $p_h$  и  $p_0$  – давление газа на высоте  $h$  и  $h_0$ .

• Распределение Больцмана во внешнем потенциальном поле

$$n = n_0 e^{-Mgh/(RT)} = n_0 e^{-m_0 gh/(kT)}, \quad n = n_0 e^{-\Pi/(kT)}$$

где  $n$  и  $n_0$  – концентрация молекул на высоте  $h$  и  $h = 0$ ;

$\Pi = m_0 gh$  – потенциальная энергия молекулы в поле тяготения.

• Среднее число соударений, испытываемых молекулой газа за 1 с,

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle ,$$

где  $d$  – эффективный диаметр молекулы;  $n$  – концентрация молекул;

$\langle v \rangle$  – средняя арифметическая скорость молекул.

• Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\langle l \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} .$$

• Закон теплопроводности Фурье

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St,$$

где  $Q$  – теплота, прошедшая посредством теплопроводности через площадь  $S$  за время  $t$ ;  $dT/dx$  – градиент температуры;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \langle v \rangle \langle l \rangle \rho$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме;  $\rho$  – плотность газа;  $\langle v \rangle$  – средняя арифметическая скорость теплового движения его молекул;  $\langle l \rangle$  – средняя длина свободного пробега молекул.

•Закон диффузии Фика

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} S t,$$

где  $M$  – масса вещества, переносимая посредством диффузии через площадь  $S$  за время  $t$ ;  $d\rho/dx$  – градиент плотности,  $D$  – коэффициент диффузия:

$$D = \frac{1}{3} \langle l \rangle \langle v \rangle.$$

•Закон Ньютона для внутреннего трения (вязкости)

$$F = -\eta \frac{dv}{dx},$$

где  $F$  – сила внутреннего трения между движущимися слоями площадью  $S$ ;  $dv/dx$  – градиент скорости;  $\eta$  – коэффициент динамическая вязкости:

$$\eta = \frac{1}{3} \langle l \rangle \langle v \rangle.$$

## Основы термодинамики

•Средняя кинетическая энергия поступательного движения, приходящаяся на одну степень свободы молекулы,

$$\langle \epsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT.$$

•Средняя энергия молекулы

$$\langle \mathcal{E} \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где  $i$  – сумма поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы ( $i = n_{\text{пост}} + n_{\text{вращ}} + 2n_{\text{колеб}}$ ).

- Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \nu \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT,$$

где  $\nu$  – количество вещества;  $m$  – масса газа;  $M$  – молярная масса газа;  $R$  – молярная газовая постоянная.

- Первое начало термодинамики

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

где  $Q$  – количество теплоты, сообщенное системе или отданное ею;  $\Delta U$  – изменение ее внутренней энергии;  $A$  – работа системы против внешних сил.

- Первое начало термодинамики для малого изменения системы

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

- Молярные теплоемкости газа при постоянных объеме и давлении

$$C_v = \frac{i}{2} R, \quad C_p = \frac{i+2}{2} R$$

- Уравнение Майера

$$C_p = C_v + R.$$

- Изменение внутренней энергии идеального газа

$$dU = \frac{m}{M} C_v dT.$$

- Работа, совершаемая газом при изменении его объема,

$$dA = p dV.$$

- Полная работа при изменении объема газа

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV,$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – начальный и конечный объемы газа соответственно.

- Работа газа:

– при изобарном процессе  $A = p(V_2 - V_1)$ , или  $A = \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$ ;

– при изотермическом процессе

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad \text{или} \quad A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

- Уравнение адиабатического процесса (уравнение Пуассона)

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}, \quad T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const},$$

где  $\gamma = C_p/C_v = (i+2)/i$  – показатель адиабаты.

- Работа в случае адиабатического процесса

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2),$$

$$A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{M} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right],$$

где  $T_1$  и  $T_2$  и  $V_1$  и  $V_2$  – начальные и конечные температуры и объемы газа соответственно.

- Термический коэффициент полезного действия для кругового процесса (цикла)  $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ,

где  $Q_1$  – количество теплоты, полученное системой;  $Q_2$  – количество теплоты, отданное системой;  $A$  – работа, совершаемая за цикл.

- Термический коэффициент полезного действия цикла Карно

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

где  $T_1$  – температура нагревателя;  $T_2$  – температура холодильника.

- Изменение энтропии при равновесном переходе из состояния 1 в состояние 2

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dU + dA}{T}.$$

## Реальные газы, жидкости и твердые тела

- Уравнение состояния реальных газов (уравнение Ван-дер-Ваальса) для моля газа

$$\left( p + \frac{a}{V_m^2} \right) (V_m - b) = RT,$$

где  $V_m$  – молярный объем;  $a$  и  $b$  – постоянные Ван-дер-Ваальса, различные для разных газов.

- Уравнение Ван-дер-Ваальса для произвольной массы газа

$$\left( p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) \left( \frac{V}{v} - b \right) = RT, \quad \left( p + \frac{v^2 a}{V^2} \right) (V - vb) = vRT,$$

где  $v = m/M$  – количество вещества.

- Внутреннее давление, обусловленное силами взаимодействия молекул:

$$p' = a/V_m^2.$$

- Внутренняя энергия реального газа

$$U = \nu (C_v T - a/V_m),$$

где  $C_v$  – молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

- Поверхностное натяжение

$$\sigma = F/l, \quad \text{или} \quad \sigma = \Delta E/\Delta S,$$

где  $F$  – сила поверхностного натяжения, действующая на контур  $l$ , ограничивающий поверхность жидкости;  $\Delta E$  – поверхностная энергия, связанная с площадью  $\Delta S$  поверхности пленки.

- Высота подъема жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r},$$

где  $\theta$  – краевой угол;  $r$  – радиус капилляра;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

- Закон Дюлонга и Пти

$$C_v = 3R.$$

где  $C_v$  – молярная (атомная) теплоемкость химически простых твердых тел.

## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

- Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2},$$

где  $F$  – сила взаимодействия двух точечных зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$  в вакууме;  $r$  – расстояние между зарядами;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

- Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E} = \vec{F}/Q_0; \quad \varphi = \Pi/Q_0, \quad \text{или} \quad \varphi = A_\infty/Q_0,$$

где  $\vec{F}$  – сила, действующая на точечный положительный заряд  $Q_0$ , помещенный в данную точку поля;  $\Pi$  – потенциальная энергия заряда  $Q_0$ ;  $A_{\infty}$  – работа перемещения заряда  $Q_0$  из данной точки поля за его пределы.

- Напряженность и потенциал электростатического поля точечного заряда  $Q$  на расстоянии  $r$  от заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

- Поток вектора напряженности через площадку  $dS$

$$d\Phi_E = \vec{E} d\vec{S} = E_n dS,$$

где  $d\vec{S} = dS n$  – вектор, модуль которого равен  $dS$ , а направление совпадает с нормалью  $n$  к площадке;  $E_n$  – составляющая вектора  $E$  по направлению нормали  $n$  к площадке.

- Поток вектора напряженности через произвольную поверхность  $S$

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S} = \int_S E_n dS.$$

- Принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i.$$

- Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$\vec{E} = -\text{grad}, \quad \text{или} \quad \vec{E} = -\left(\frac{d\varphi}{dx} \vec{i} + \frac{d\varphi}{dy} \vec{j} + \frac{d\varphi}{dz} \vec{k}\right),$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы координатных осей.

- Электрический момент диполя (дипольный момент)

$$\vec{p} = |Q| \vec{l},$$

где  $l$  – плечо диполя.

- Линейная, поверхностная и объемная плотности зарядов

$$\tau = \frac{dQ}{dl}; \quad \sigma = \frac{dQ}{dS}; \quad \rho = \frac{dQ}{dV},$$

т. е. соответственно заряд, приходящийся на единицу длины, поверхности и объема.

- Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV,$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\sum_{i=1}^n Q_i$  – алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности  $S$ ;  $n$  – число зарядов;  $\rho$  – объемная плотность зарядов.

- Циркуляция вектора напряженности электростатического поля вдоль замкнутого контура

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \int_L E_l dl = 0,$$

где  $E_l$  – проекция вектора  $E$  на направление элементарного перемещения  $dl$ . Интегрирование производится по любому замкнутому пути  $L$ .

- Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда  $Q_0$  из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2), \quad A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \int_1^2 E_l dl,$$

где  $E_l$  – проекция вектора  $E$  на направление элементарного перемещения  $dl$ .

- Поляризованность

$$P = \sum_i \frac{\vec{p}_i}{V},$$

где  $V$  – объем диэлектрика;  $\vec{p}_i$  – дипольный момент  $i$ -й молекулы.

- Связь между поляризованностью диэлектрика и напряженностью электростатического поля

$$\vec{P} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E},$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая восприимчивость вещества.

- Связь диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  с диэлектрической восприимчивостью  $\varepsilon$

$$\varepsilon = 1 + \varepsilon.$$

- Связь между напряженностью  $E$  поля в диэлектрике и напряженностью  $E_0$  внешнего поля

$$E = \mathbf{E}_0 - P/\epsilon_0, \quad \text{или} \quad E = E_0/\epsilon.$$

•Связь между векторами электрического смещения и напряженностью электростатического поля

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}.$$

•Связь между  $D$ ,  $E$  и  $P$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

• Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где  $\sum_{i=1}^n Q_i$  – алгебраическая сумма заключенных внутри замкнутой поверхности  $S$  свободных электрических зарядов;  $D_n$  – составляющая вектора  $\vec{D}$  по направлению нормали  $\vec{n}$  к площадке  $dS$ ;  $dS = dS \cdot \vec{n}$  – вектор, модуль которого равен  $dS$ , а направление совпадает с нормалью  $\vec{n}$  к площадке. Интегрирование ведется по всей поверхности.

•Электроемкость уединенного проводника

$$C = Q/\varphi,$$

где  $Q$  – заряд, сообщенный проводнику;  $\varphi$  – потенциал проводника.

•Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где  $S$  – площадь каждой пластины конденсатора;  $d$  – расстояние между пластинами.

•Емкость цилиндрического конденсатора  $C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln(r_2/r_1)}$

где  $l$  – длина обкладок конденсатора;  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы полых коаксиальных цилиндров.

• Емкость сферического конденсатора

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1},$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы концентрических сфер.



- Емкость системы конденсаторов при последовательном и параллельном соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad \text{и} \quad C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где  $C_i$  – емкость  $i$ -го конденсатора;  $n$  – число конденсаторов.

- Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

- Энергия взаимодействия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i,$$

где  $\varphi_i$  – потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд  $Q_i$  со всеми зарядами, кроме  $i$ -го.

- Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{C(\Delta\varphi)^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C},$$

где  $Q$  – заряд конденсатора;  $C$  – его емкость;  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов между обкладками.

- Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора

$$|F| = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0\varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2}.$$

- Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} V.$$

где  $S$  – площадь одной пластины;  $U$  – разность потенциалов между пластинами;  $V = Sd$  – объем конденсатора.

- Объемная плотность энергии

$$w = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2},$$

где  $D$  – электрическое смещение.

## Постоянный электрический ток

- Сила и плотность электрического тока

$$I = \frac{dQ}{dt}; \quad j = \frac{I}{S}$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения проводника.

- Плотность тока в проводнике

$$\vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle,$$

где  $\langle\vec{v}\rangle$  – скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике;  
 $n$  – концентрация зарядов.

- Электродвижущая сила, действующая в цепи:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{Q_0}, \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = \oint \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l},$$

где  $Q_0$  – единичный положительный заряд;  $A$  – работа сторонних сил;  
 $\vec{E}_{\text{ст}}$  – напряженность поля сторонних сил.

• Сопротивление  $R$  однородного линейного проводника, проводимость  $G$  проводника и удельная электрическая проводимость  $\gamma$  вещества проводника

$$R = \rho l/S; \quad G = 1/R; \quad \gamma = 1/\rho,$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление;  $S$  – площадь поперечного сечения проводника;  $l$  – его длина.

• Сопротивление проводников при последовательном и параллельном соединении

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{и} \quad \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

где  $R_i$  – сопротивление  $i$ -го проводника;  $n$  – число проводников.

- Зависимость удельного сопротивления  $\rho$  от температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

- Закон Ома:

– для однородного участка цепи

$$I = U/R,$$

– для неоднородного участка цепи

$$I = (\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12})/R;$$

– для замкнутой цепи

$$I = \mathcal{E}/R,$$

где  $U$  – напряжение на участке цепи;  $R$  – сопротивление цепи (участка цепи);  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  – разность потенциалов на концах участка цепи;  $\mathcal{E}_{12}$  – э.д.с. источников тока, входящих в участок;  $\mathcal{E}$  – э.д.с. всех источников тока цепи.

- Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где  $E$  – напряженность электростатического поля.

- Работа тока за время  $t$

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

- Мощность тока

$$P = UI = I^2 R = U^2/R.$$

- Закон Джоуля – Ленца

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

где  $Q$  – количество теплоты, выделяющееся в участке цепи за время  $t$ .

- Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме

$$w = jE = \gamma E^2,$$

где  $w$  – удельная тепловая мощность тока.

## Магнитное поле

- Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \vec{B}],$$

где  $\vec{B}$  – магнитная индукция;  $\vec{P}_m$  – магнитный момент контура с током:

$$\vec{P}_m = IS\vec{n},$$

где  $S$  – площадь контура с током;  $\vec{n}$  – единичный вектор нормали к поверхности контура.

- Связь магнитной индукции  $B$  и напряженности  $H$  магнитного поля

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H},$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

- Закон Био – Савара – Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3},$$

где  $d\vec{B}$  – магнитная индукция поля, создаваемая элементом длины  $d\vec{l}$  проводника с током  $I$ ;  $\vec{r}$  – радиус-вектор, проведенный от  $d\vec{l}$  к точке, в которой определяется магнитная индукция.

- Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i,$$

где  $\vec{B}$  – магнитная индукция результирующего поля;  $\vec{B}_i$  – магнитные индукции складываемых полей.

- Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током,

$$B = \frac{\mu_0 \mu 2I}{4\pi R},$$

где  $R$  – расстояние от оси проводника.

- Магнитная индукция в центре кругового проводника с током

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

где  $R$  – радиус кривизны проводника.

- Закон Ампера

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}],$$

где  $d\vec{F}$  – сила, действующая на элемент длины  $d\vec{l}$  проводника с током  $I$ , помещенного в магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ .

- Сила взаимодействия двух прямых бесконечных прямолинейных параллельных проводников с токами  $I_1$  и  $I_2$

$$dF = \frac{\mu_0 \mu 2I_1 I_2}{4\pi R} dl,$$

где  $R$  – расстояние между проводниками;  $dl$  – отрезок проводника.

- Магнитное поле точечного заряда  $Q$ , свободно движущегося с нерелятивистской скоростью  $v$ :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu Q [v\vec{r}]}{4\pi r^3},$$

где  $r$  – радиус-вектор, проведенный от заряда к точке наблюдения.

- Сила Лоренца

$$\vec{F} = Q[v\vec{B}],$$

где  $\vec{F}$  – сила, действующая на заряд  $Q$ , движущийся в магнитном поле со скоростью  $v$ .

- Формула Лоренца

$$\vec{F} = Q\vec{E} + Q[v\vec{B}],$$

где  $\vec{F}$  – результирующая сила, действующая на движущийся заряд  $Q$ , если на него действуют электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$  и магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ .

- Закон полного тока для магнитного поля в вакууме (теорема о циркуляции вектора  $\vec{B}$ )

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_t dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $d\vec{l}$  – вектор элементарной длины контура, направленной вдоль обхода контура;  $B_t = B \cos \alpha$  – составляющая вектора  $\vec{B}$  в направлении касательной контура  $L$  произвольной формы (с учетом выбранного направления обхода);  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{B}$  и  $d\vec{l}$ ;  $\sum_{k=1}^n I_k$  – алгебраическая сумма токов, охватываемых контуром.

- Магнитная индукция поля внутри соленоида (в вакууме), имеющего  $N$  витков,

$$B = \mu_0 NI/l,$$

где  $l$  – длина соленоида.

- Магнитная индукция поля внутри тороида (в вакууме)

$$B = \mu_0 NI / (2\pi r).$$

- Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) через площадку  $dS$

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B_n dS,$$

где  $d\vec{S} = dS\vec{n}$  – вектор, модуль которого равен  $dS$ , а направление совпадает с нормалью  $\vec{n}$  к площадке;  $B_n$  – проекция вектора  $\vec{B}$  на направление нормали к площадке.

• Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную поверхность  $S$

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS.$$

• Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi',$$

где  $d\Phi$  – магнитный поток, пересеченный движущимся проводником.

• Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi',$$

где  $d\Phi'$  – изменение магнитного потока, сцепленного с контуром.

## Электромагнитная индукция

• Закон Фарадея

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где  $\mathcal{E}_i$  – э.д.с. индукции.

• Магнитный поток, создаваемый током  $I$  в контуре с индуктивностью  $L$ :

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt},$$

где  $L$  – индуктивность контура.

• Индуктивность соленоида (тороида)

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l},$$

где  $N$  – число витков соленоида;  $l$  – его длина.

• Токи при размыкании и замыкании цепи

$$I = I_0 e^{-t/\tau}; \quad I = I_0 (1 - e^{-t/\tau}),$$

где  $\tau = L/R$  – время релаксации ( $L$  – индуктивность;  $R$  – сопротивление).

- Э.д.с. взаимной индукции (э.д.с, индуцируемая изменением силы тока в соседнем контуре)

$$\mathcal{E} = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где  $L_{12}$  – взаимная индуктивность контуров.

- Взаимная индуктивность двух катушек (с числом витков  $N_1$  и  $N_2$ ), намотанных на общий тороидальный сердечник:

$$L_{12} = L_{21} = \mu_0 \mu \frac{N_1 N_2}{l} S,$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость сердечника;  $l$  – длина сердечника по средней линии;  $S$  – площадь сердечника.

- Энергия магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью  $L$ , по которому течет ток  $I$ ,

$$W = LI^2/2.$$

- Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

### Магнитные свойства вещества

- Связь орбитального магнитного  $\vec{p}_m$  и орбитального механического  $\vec{L}_1$  моментов электрона

$$\vec{p}_m = -g\vec{L}_1 = -\frac{e}{2m}\vec{L}_1,$$

где  $g=e/(2m)$  – гиромагнитное отношение орбитальных моментов.

- Намагниченность

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \sum \vec{p}_a / V,$$

где  $\vec{P}_m = \sum \vec{p}_a$  – магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул.

- Связь между намагниченностью и напряженностью магнитного поля

$$\vec{J} = \chi \vec{H},$$

где  $\chi$  – магнитная восприимчивость вещества.

- Связь между векторами  $\vec{B}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\vec{j}$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{j}),$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

- Связь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью вещества:

$$\mu = 1 + \chi.$$

- Закон полного тока для магнитного поля в веществе (теорема о циркуляции вектора  $\vec{B}$ )

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_t dl = \mu_0(I + I'),$$

где  $d\vec{l}$  – вектор элементарной длины контура, направленный вдоль обхода контура;  $B_t$  – составляющая вектора  $\vec{B}$  в направлении касательной контура  $L$  произвольной формы;  $I$  и  $I'$  – алгебраические суммы макротоков (токов проводимости) и микротоков (молекулярных токов), охватываемых заданным контуром, соответственно

- Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I,$$

где  $I$  — алгебраическая сумма токов проводимости, охватываемых контуром  $L$ .

## Основы теории Максвелла для электромагнитного поля

- Плотность тока смещения

$$\vec{j}_{см} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t},$$

где  $\vec{D}$  – электрическое смещение;  $\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$  – плотность тока смещения в вакууме;  $\frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$  – плотность тока поляризации.

- Полная система уравнений Максвелла в интегральной форме:



$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV;$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S} \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0;$$

в дифференциальной форме:

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \text{div} \vec{D} = \rho; \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \text{div} \vec{B} = 0;$$

где  $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$ ;  $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ ;  $\vec{j} = \gamma \vec{E}$  ( $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные соответственно;  $\epsilon$  и  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости;  $\gamma$  – удельная проводимость вещества).

## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### Механические и электромагнитные колебания

- Уравнение гармонических колебаний

$$s = A \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где  $S$  – смещение колеблющейся величины от положения равновесия;  $A$  – амплитуда колебаний;  $\omega_0 = 2\pi/T = 2\pi\nu$  – круговая (циклическая) частота;  $\nu = 1/T$  – частота;  $T$  – период колебаний;  $\varphi$  – начальная фаза.

- Скорость и ускорение точки, совершающей гармонические колебания,

$$\frac{ds}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 s.$$

- Кинетическая энергия колеблющейся точки массой  $m$

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi).$$

- Потенциальная энергия

$$\Pi = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi).$$

- Полная энергия

$$E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки массой  $m$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx, \quad \text{или} \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0,$$

где  $k$  – коэффициент упругости ( $k = \omega_0^2 m$ ).

- Период колебаний пружинного маятника

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

где  $m$  – масса пружинного маятника;  $k$  – жесткость пружины.

- Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{J/(mgl)} = 2\pi \sqrt{L/g},$$

где  $J$  – момент инерции маятника относительно оси колебаний;  $l$  – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника;  $L = J/(ml)$  – приведенная длина физического маятника;  $g$  – ускорение свободного падения.

- Период колебаний математического маятника

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

где  $l$  – длина маятника.

- Формула Томсона, устанавливающая связь между периодом  $T$  собственных колебаний в контуре без активного сопротивления и индуктивностью  $L$  и емкостью контура  $C$ :

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

- Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний заряда в контуре и его решение:

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{LC} Q = 0, \quad Q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где  $Q_m$  – амплитуда колебаний заряда;

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \text{ – собственная часть контура.}$$

- Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний линейной системы и его решение:

$$\frac{d^2s}{dt^2} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = 0, \quad s = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $s$  – колеблющаяся величина, описывающая физический процесс;  $\delta$  – коэффициент затухания ( $\delta = r/2m$ ) в случае механических колебаний и в случае электромагнитных колебаний ( $\delta = R/2L$ );  $\omega_0$  – циклическая частота свободных незатухающих колебаний той же колебательной системы;  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$  – частота затухающих колебаний;  $A_0 e^{-\delta t}$  – амплитуда затухающих колебаний.

- Декремент затухания

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta T},$$

где  $A(t+T)$  – амплитуды двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период.

- Логарифмический декремент затухания

$$\theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N},$$

где  $\tau = 1/\delta$  – время релаксации;  $N$  – число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в  $e$  раз.

- Добротность колебательной системы

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \frac{\omega_0}{2\delta}.$$

- Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решения для установившихся колебаний:

$$\frac{d^2s}{dt^2} + 2\delta \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = x_0 \cos \omega t; \quad s = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $s$  – колеблющаяся величина, описывающая физический процесс ( $x_0 = F_0/m$  в случае механических колебаний,  $x_0 = U_m/L$  в случае электромагнитных колебаний);

$$A = \frac{x_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

- Резонансная частота и резонансная амплитуда:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}; \quad A_{\text{рез}} = \frac{x_0}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}.$$

- Сдвиг фаз между напряжением и силой тока:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}.$$

### Упругие волны

- Связь длины волны  $\lambda$ , периода  $T$  и частоты  $\nu$

$$\lambda = \nu T; \quad \nu = \lambda \nu,$$

где  $\nu$  – скорость распространения колебаний в среде (фазовая скорость).

- Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси  $x$

$$\xi(x,t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где  $\xi(x,t)$  – смещение точек среды с координатой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $A$  – амплитуда волны;  $\omega$  – циклическая (круговая) частота;  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\nu T} = \frac{\omega}{\nu}$  – волновое число ( $\lambda$  – длина волны;  $\nu$  – фазовая скорость;  $T$  – период колебаний);  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний.

- Связь между разностью фаз  $\delta\varphi$  и разностью хода  $\Delta$

$$\delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}.$$

- Условия максимума и минимума амплитуды при интерференции волн

$$\Delta_{\text{max}} = \pm 2m \frac{\lambda}{2}; \quad \Delta_{\text{min}} = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где  $m=0,1,2,\dots$

- Фазовая  $\nu$  и групповая  $u$  скорости, а также связь между ними

$$v = \frac{\omega}{k}; \quad u = \frac{d\omega}{dk}; \quad u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}.$$

- Уравнение стоячей волны

$$\varepsilon(x,t) = 2A \cos 2\frac{\pi}{\lambda} x \cos \omega t = 2A \cos kx \cos \omega t.$$

- Координаты пучностей и узлов

$$x_{\text{п}} = \pm m \frac{\lambda}{2} \quad x_{\text{у}} = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

- Эффект Доплера в акустике

$$\nu = \frac{(v \pm v_{\text{пр}})\nu_0}{v \pm v_{\text{ист}}},$$

где  $\nu$  – частота звука, воспринимаемая движущимся приемником;  $\nu_0$  – частота звука, посылаемая источником;  $v_{\text{пр}}$  – скорость движения приемника;  $v_{\text{ист}}$  – скорость движения источника;  $v$  – скорость распространения звука. Верхний знак берется, если при движении источника или приемника происходит их сближение, нижний знак – в случае их взаимного удаления.

## Электромагнитные волны

- Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}},$$

где  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$  – скорость распространения света в вакууме;  $\varepsilon_0$  и  $\mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные соответственно;  $\varepsilon$  и  $\mu$  – электрическая и магнитная проницаемость среды соответственно.

- Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей электромагнитной волны

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H,$$

где  $E$  и  $H$  – мгновенные значения напряженностей электрического и магнитного полей волны соответственно.

- Уравнения плоской электромагнитной волны

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi); \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi),$$

где  $\vec{E}_0$  и  $\vec{H}_0$  – амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей волны соответственно;  $\omega$  – круговая частота;  $k = \omega/v$  – волновое число;  $\varphi$  – начальные фазы колебаний в точках с координатой  $x = 0$ .

- Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} .$$

- Плотность потока электромагнитной энергии – вектор Умова – Пойнтинга

$$\vec{S} = [\vec{E} \vec{H}] .$$

## ОПТИКА

### Элементы геометрической оптики

- Законы отражения и преломления света

$$i_1 = i_1' \quad \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21} ,$$

где  $i_1$  – угол падения;  $i_1'$  – угол отражения;  $i_2$  – угол преломления;  $n_{21} = n_2/n_1$  – относительный показатель преломления второй среды относительно первой;  $n_1$  и  $n_2$  – абсолютные показатели преломления первой и второй среды.

- Предельный угол полного отражения при распространении света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную

$$\sin i_{\text{пр}} = n_2/n_1 = n_{21} .$$

- Формула сферического зеркала

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} ,$$

где  $a$  и  $b$  – расстояния от полюса зеркала до предмета и изображения соответственно;  $f$  – фокусное расстояние зеркала;  $R$  – радиус кривизны зеркала.

- Оптическая сила тонкой линзы

$$\Phi = \frac{1}{f} = (N - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} ,$$

где  $f$  – фокусное расстояние линзы;  $N = n/n_1$ , – относительный показатель преломления ( $n$  и  $n_1$  – абсолютные показатели преломления линзы и окружающей среды соответственно);  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны поверхностей ( $R > 0$  для выпуклой поверхности;  $R < 0$  для вогнутой);  $a$  и  $b$  – расстояния от оптического центра линзы до предмета и изображения соответственно.

- Сила излучения

$$I_e = \Phi_e / \omega ,$$

где  $\Phi_e$  – поток излучения источника;  $\omega$  – телесный угол, в пределах которого это излучение распространяется.

- Полный световой поток, испускаемый изотропным точечным источником:

$$\Phi_0 = 4\pi I,$$

где  $I$  – сила света источника.

- Светимость поверхности

$$R = \Phi/S,$$

где  $\Phi$  – световой поток, испускаемый поверхностью;  $S$  – площадь этой поверхности.

- Яркость  $B_\varphi$  светящейся поверхности в некотором направлении  $\varphi$

$$B_\varphi = I / (S \cos \varphi),$$

где  $I$  – сила света;  $S$  – площадь поверхности;  $\varphi$  – угол между нормалью к элементу поверхности и направлением наблюдения.

- Освещенность  $E$  поверхности

$$E = \Phi/S,$$

где  $\Phi$  – световой поток, падающий на поверхность;  $S$  – площадь этой поверхности.

- Связь светимости  $R$  и яркости  $B$  при условии, что яркость не зависит от направления,

$$R = \pi B.$$

## Интерференция света

- Скорость света в среде

$$v = c/n.$$

где  $c$  – скорость распространения света в вакууме;  $n$  – абсолютный показатель преломления среды.

- Разность фаз двух когерентных волн

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где  $L = sn$  – оптическая длина пути ( $s$  – геометрическая длина пути световой волны в среде;  $n$  – показатель преломления этой среды);  $\Delta = L_2 - L_1$  – оптическая разность хода двух световых воли;  $\lambda$  – длина волны в вакууме.

- Условие интерференционных максимумов

$$\Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

- Условие интерференционных минимумов

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

- Ширина интерференционной полосы

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda_0,$$

где  $d$  – расстояние между двумя когерентными источниками, находящимися на расстоянии  $l$  от экрана, параллельного обоим источникам, при условии  $l \gg d$ .

•Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоско-параллельной пленки, находящейся в воздухе ( $n_0=1$ ),

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где  $d$  – толщина пленки;  $n$  – ее показатель преломления;  $i$  – угол падения;  $r$  – угол преломления. В общем случае член  $\pm \lambda_0/2$  обусловлен потерей полуволны при отражении света от границы раздела.

•Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем свете)



$$r_m = \sqrt{(m - 1/2) \lambda_0 R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $m$  – номер кольца;  $R$  – радиус кривизны линзы.

• Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m^* = \sqrt{m \lambda_0 R} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

## Дифракция света

• Радиус внешней границы  $m$ -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda},$$

где  $m$  – номер зоны Френеля;  $\lambda$  – длина волны,  $a$  и  $b$  – расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором дифракционная картина наблюдается соответственно.

• Условия дифракционных максимумов и минимумов от одной щели, на которую свет падает нормально:

$$a \sin \varphi = \pm (2m+1) \frac{\lambda}{2}, \quad a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $a$  – ширина щели;  $\varphi$  – угол дифракции;  $m$  – порядок спектра;  $\lambda$  – длина волны.

• Условия главных максимумов и дополнительных минимумов дифракционной решетки, на которую свет падает нормально:

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots);$$

$$d \sin \varphi = \pm m' \frac{\lambda}{N} \quad (m' = 1, 2, 3, \dots, \text{ кроме } 0, N, 2N, \dots),$$

где  $d$  – период дифракционной решетки;  $N$  – число штрихов решетки.

• Период дифракционной решетки

$$d = 1/N_0,$$

где  $N_0$  – число щелей, приходящихся на единицу длины решетки.

• Условие дифракционных максимумов от пространственной решетки (формула Вульфа — Брэггов)

$$2d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $d$  – расстояние между атомными плоскостями кристалла;  $\theta$  – угол скольжения.

- Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_{\varphi} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi}.$$

- Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN,$$

где  $\lambda$ ,  $(\lambda + \delta\lambda)$  – длины волн двух соседних спектральных линий, разрешаемых решеткой;  $m$  – порядок спектра;  $N$  – общее число штрихов решетки.

### Взаимодействие электромагнитных волн с веществом

- Связь угла  $\varphi$  отклонения лучей призмой и преломляющего угла  $A$  призмы

$$\varphi = A(n - 1),$$

где  $n$  – показатель преломления призмы.

- Связь между показателем преломления и диэлектрической проницаемостью вещества

$$n = \sqrt{\epsilon}.$$

- Закон ослабления света в веществе (закон Бугера)

$$I = I_0 e^{-\alpha x},$$

где  $I_0$  и  $I$  – интенсивности плоской монохроматической световой волны на входе и выходе слоя поглощающего вещества толщиной  $x$  соответственно;  $\alpha$  – коэффициент поглощения.

- Эффект Доплера для электромагнитных волн в вакууме

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + (v/c)\cos\theta},$$

где  $\nu_0$  и  $\nu$  – частоты электромагнитного излучения, испускаемого источником и воспринимаемого приемником соответственно;  $v$  – скорость источника электромагнитного излучения относительно приемника;  $c$  – скорость света в вакууме;  $\theta$  – угол между вектором скорости  $\vec{v}$  и направлением наблюдения, измеряемый в системе отсчета, связанной с наблюдателем.

• Поперечный эффект Доплера для электромагнитных волн в вакууме ( $\theta = \pi/2$ )

$$v = v_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

• Эффект Вавилова — Черенкова

$$\cos\theta = c/(n \cdot v),$$

где  $\theta$  — угол между направлением распространения излучения и вектором скорости частицы;  $n$  — показатель преломления среды.

### Поляризация света

• Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  — максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором соответственно.

• Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где  $I$  — интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор;  $I_0$  — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор;  $\alpha$  — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

• Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21},$$

где  $i_B$  — угол падения, при котором отраженный от диэлектрика луч является плоскополяризованным;  $n_{21}$  — относительный показатель преломления.

• Оптическая разность хода для пластинки в четверть длины волны

$$\Delta = (n_o - n_e)d = \pm (m + 1/4)\lambda_0; \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где знак „плюс” соответствует отрицательным кристаллам, „минус” — положительным;  $\lambda_0$  — длина волны в вакууме.

• Угол поворота плоскости поляризации:

— для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей

$$\varphi = \alpha_0 d;$$

– для оптически активных растворов

$$\varphi = [\alpha] C d,$$

где  $d$  – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;  $\alpha_0$   $[\alpha]$  – удельное вращение;  $C$  – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

## КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И СТРОЕНИЕ АТОМА

### Квантовая природа излучения

- Закон Стефана – Больцмана

$$R = \sigma T^4,$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана – Больцмана,  $T$  – термодинамическая температура.

- Энергетическая светимость серого тела

$$R = A \sigma T^4,$$

где  $A$  – коэффициент теплового излучения (степень черноты) серого тела.

- Энергетическая светимость связана с спектральной плотностью энергетической светимости

$$R = \int_0^{\infty} r_{\omega, T} d\omega,$$

где  $r_{\omega, T}$  – спектральная плотность энергетической светимости, т.е. поток энергии, излучаемый с единицы площади в единичном интервале частот.

- Закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = b/T,$$

где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре,  $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$  м·К – постоянная закона смещения Вина.

- Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости от температуры

$$(r_{\omega, T})_{\max} = CT^5,$$

где постоянная  $C = 1,30 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$ .

• Формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости

$$r(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{\exp \frac{\hbar \omega}{kT} - 1},$$

где  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}$  – круговая частота,  $T$  – термодинамическая температура,  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – постоянная Планка,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$  – постоянная Больцмана.

• Энергия  $\varepsilon$  кванта света – фотона, его импульс  $p$  и масса  $m$  для соответствующей ему волны частотой  $\nu$  и длиной  $\lambda$  в вакууме

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \quad m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}; \quad p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda},$$

где  $h = 2\pi\hbar = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость электромагнитного излучения в вакууме.

• Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность,

$$p = \frac{E_c}{c} (1 + \rho) = w(1 + \rho),$$

где  $E_c = Nh\nu$  – облученность поверхности (энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени);  $\rho$  – коэффициент отражения;  $w$  – объемная плотность энергии излучения.

• Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$\varepsilon = A_g + \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

где  $\varepsilon$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла;  $A_g$  – работа выхода электрона из металла.

• «Красная граница» фотоэффекта для данного металла

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где  $\lambda_0$  – максимальная длина волны излучения ( $\nu_0$  – соответственно минимальная частота), при которой фотоэффект еще возможен.

• Изменение длины волны излучения при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_0c}(1 - \cos\theta), \text{ или } \Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \lambda_c(1 - \cos\theta),$$

где  $m_0$  – масса покоя частицы отдачи;  $c$  – скорость света,  $\lambda$  и  $\lambda'$  – длины волн фотона до и после рассеяния,  $\lambda_c = 2\pi\hbar/m_0c$  – комптоновская длина волны. При рассеянии фотона на электроне  $\lambda_c = 2,43$  пм.

### Атом водорода по теории Бора

- Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний)

$$mvr = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3 \dots,$$

где  $m$  – масса электрона,  $r$  – радиус орбиты,  $v$  – скорость электрона на орбите,  $n$  – главное квантовое число;  $\hbar$  – постоянная Планка.

- Второй постулат Бора (правило частот)

$$\varepsilon = E_{n_2} - E_{n_1},$$

где  $E_{n_1}$  и  $E_{n_2}$  – энергии стационарных состояний атома до и после излучения (поглощения),  $\varepsilon$  – энергия излученного (поглощенного) фотона.

- Энергия электрона, находящегося на  $n$ -й орбите,

$$E_n = -\frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2n^2} = -\frac{E_i}{n^2},$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,  $E_i$  – энергия ионизации. Для атома водорода  $E_i = 13,6$  эВ.

- Энергия фотона, испускаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое,

$$\varepsilon = E_i \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

- Обобщенная формула Бальмера, определяющая длину волны  $\lambda$  света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где  $R = \frac{E_i}{2\pi\hbar c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  – постоянная Ридберга;  $n_1$  и  $n_2$  – целые

числа,  $n_1$  – номер орбиты, на которую переходит электрон, или номер серии спектральных линий:  $n_1 = 1$  – серия Лаймана (ультрафиолетовая область спектра),  $n_1 = 2$  – серия Бальмера (видимая область спектра),  $n_1 = 3$  – серия Пашена (инфракрасная область спектра) и т.д.;  $n_2$  – номер орбиты, с которой переходит электрон,  $n_2 = n_1 + m$ ,  $m$  – номер спектральной линии в данной серии.

### Элементы квантовой механики

• Формула де Бройля, выражающая связь длины волны  $\lambda$  с импульсом  $p$  движущейся частицы

$$p = m_0 v, \quad \lambda = \frac{2\pi\hbar}{p} = \frac{2\pi\hbar}{m_0 v},$$

где  $m_0$  – масса покоя частицы.

• Связь длины волны де Бройля с кинетической энергией

$$T = \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{p^2}{2m_0}; \quad \lambda = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2m_0 T}}.$$

• Соотношения де Бройля для энергии и импульса:

$$E = \hbar\omega, \quad p = \hbar k,$$

где  $E$  – энергия движущейся частицы;  $p$  – импульс частицы;  $k = 2\pi/\lambda$  – волновой вектор.

• Соотношения неопределенностей:

– для координаты и импульса частицы

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar, \quad \Delta y \Delta p_y \geq \hbar, \quad \Delta z \Delta p_z \geq \hbar,$$

где  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  – неопределенности координат;  $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$  – неопределенности соответствующих проекций импульса частицы на оси координат;

– для энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где  $\Delta E$  – неопределенность энергии данного квантового состояния;  $\Delta t$  – время пребывания системы в данном состоянии.

• Волновая функция, описывающая состояние свободной частицы в одномерном случае

$$\Psi(x, t) = A \exp^{i/\hbar(px - Et)}$$

где  $A$  – амплитуда волны де Бройля;  $p$  и  $E$  – импульс и энергия частицы.

- Вероятность нахождения частицы в объеме  $dV$

$$dW = \psi \psi^* dV = |\psi|^2 dV,$$

где  $\psi = \psi(x, y, z, t)$  – волновая функция, описывающая состояние частицы;  $\psi^*$  – функция, комплексно сопряженная с  $\psi$ .

- Плотность вероятности

$$w = \frac{dW}{dV} = |\psi|^2.$$

- Условие нормировки вероятностей

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dV = 1,$$

где интегрирование производится по всему пространству, т.е. по координатам  $x, y, z$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

- Общее (нестационарное) уравнение Шредингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}.$$

Здесь  $m$  – масса частицы;  $i$  – мнимая единица;  $\nabla^2$  – оператор Лапласа, результат действия которого на некоторую функцию

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

$U(x, y, z, t)$  – потенциальная энергия частицы, движущейся в силовом поле.

- Уравнение Шредингера для стационарных состояний в трехмерном случае

$$\Delta \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0,$$

где  $E$  – полная энергия частицы.

- Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0.$$



• В случае частицы, находящейся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме

$$U = \begin{cases} \infty, & x < 0, \\ 0, & 0 \leq x \leq l, \\ \infty, & x > l. \end{cases}$$

Стационарное уравнение Шредингера

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0.$$

Собственные значения энергии  $E_n$  частицы, находящейся на  $n$ -м энергетическом уровне

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

где  $m$  – масса частицы;  $l$  – ширина ямы.

Соответствующая этой энергии собственная волновая функция

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

• В случае если частица массой  $m$  движется в положительном направлении оси  $x$  и встречает на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой  $U_0$

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ U_0, & 0 \leq x \leq l, \\ 0, & x > l. \end{cases}$$

Стационарное уравнение Шредингера для области  $0 \leq x \leq l$

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0) \psi = 0.$$

Коэффициент прозрачности  $D$  прямоугольного потенциального барьера конечной ширины  $l$

$$D = D_0 \exp\left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}l\right],$$

где  $D_0$  – множитель, который можно приравнять к единице.

• Потенциальная энергия линейного гармонического осциллятора

$$U(x) = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2},$$

где  $k$  – коэффициент квазиупругой силы, связанный с массой частицы  $m$  и собственной циклической частотой ее колебаний  $\omega_0$ :  $k = m\omega_0^2$ .

Стационарное уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2}{2} x^2 \right) \psi = 0.$$

Собственные значения энергии гармонического осциллятора

$$E_n = \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_0 \quad (n = 1, 2, 3 \dots).$$

• Потенциальная энергия  $U(r)$  взаимодействия электрона с ядром в водородоподобном атоме

$$U(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где  $r$  – расстояние между электроном и ядром;  $Z$  – порядковый номер элемента;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная.

Стационарное уравнение Шредингера для электрона в водородоподобном атоме

$$\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r} \right) \psi = 0.$$

• Собственное значение энергии  $E_n$  электрона в водородоподобном атоме

$$E_n = -\left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

где  $n$  – главное квантовое число.

• Момент импульса (механический орбитальный момент) электрона

$$L_1 = \hbar \sqrt{l(l+1)},$$

где  $l$  – орбитальное квантовое число, принимающее при заданном  $n$  следующие значения:  $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$  (всего  $n$  значений).

• Проекция момента импульса на направление  $z$  внешнего магнитного поля

$$L_{1z} = \hbar m_l,$$

где  $m_l$  – магнитное квантовое число, принимающее при заданном  $n$  следующие значения:  $m_l = 0, \pm 1, \dots, l$  (всего  $(2l+1)$  значения).

- Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел

$$\Delta l = \pm 1 \text{ и } \Delta m_l = 0, \pm 1.$$

- Волновая функция, отвечающая основному состоянию ( $1s$ -состоянию) электрона в атоме водорода:

$$\psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a},$$

где  $a = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/(me^2)$  – величина, совпадающая с первым боровским радиусом.

- Вероятность обнаружить электрон в атоме водорода, находящемся в  $1s$ -состоянии, в интервале от  $r$  до  $r+dr$

$$dW = |\psi_{100}|^2 dV = |\psi_{100}|^2 \cdot 4\pi r^2 dr.$$

- Спин (собственный механический момент импульса) электрона

$$L_s = \hbar\sqrt{s(s+1)},$$

где  $s$  – спиновое квантовое число ( $s = 1/2$ ).

- Проекция спина на направление внешнего магнитного поля

$$L_{sz} = \hbar m_s,$$

где  $m_s$  – магнитное спиновое квантовое число ( $m_s = \pm 1/2$ ).

- Принцип Паули

$$Z(n, l, m_l, m_s) = 0 \text{ или } 1,$$

где  $Z(n, l, m_l, m_s)$  – число электронов, находящихся в квантовом состоянии, описываемом набором четырех квантовых чисел:  $n$  – главного,  $l$  – орбитального,  $m_l$  – магнитного,  $m_s$  – магнитного спинового.

- Максимальное число электронов  $Z(n)$ , находящихся в состояниях, определяемых данным главным квантовым числом  $n$ :

$$Z(n) = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2$$

### Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц

- Символическое обозначение химического элемента  ${}_Z^A X$ , где  $Z$  – зарядовое число или порядковый номер химического элемента в периодической таблице, равный числу протонов в ядре атома. Число нуклонов в ядре  $A = N + Z$  называется массовым числом,  $N$  – число нейтронов в ядре.

- Энергия связи нуклонов в ядре

$$E_{\text{св}} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]c^2 = [Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m]c^2,$$

где  $m_p$ ,  $m_n$ ,  $m_{\text{я}}$  – массы протона, нейтрона и ядра;  $Z$  – зарядовое число;  $A$  – массовое число,  $m_{\text{H}} = m_p + m_e$  – масса атома водорода ( ${}^1_1\text{H}$ );  $m$  – масса атома;  $c$  – скорость света.

- Дефект массы ядра

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}.$$

- Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где  $N_0$  – количество ядер в данном объеме вещества в начальный момент времени  $t = 0$ ;  $N$  – количество ядер в том же объеме к моменту времени  $t$  (число нераспавшихся ядер);  $\lambda$  – постоянная распада, имеющая смысл вероятности распада ядра за 1 с и равная доле ядер, распадающихся в единицу времени.

- Средняя продолжительность жизни радиоактивного изотопа

$$\tau = 1/\lambda.$$

• Период полураспада  $T$  – время, за которое распадается половина первоначального количества ядер:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

• Радиоактивный распад происходит в соответствии с **правилами смещения**, позволяющими установить, какое ядро  $Y$  возникает в результате распада ядра  $X$ :

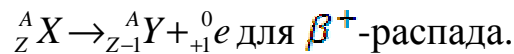
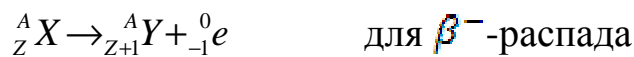


Схема электронного захвата (К-захвата)



где  ${}^0_0 \nu_e$  – электронное нейтрино.

## **ОТВЕТЫ**

### Тесты по разделу Механика

#### Вариант № 1

Номер задания	Ответ
1	3
2	3
3	4
4	3
5	2
6	4
7	1

#### Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	4
2	3
3	1
4	2
5	3
6	4
7	3

### Тесты по разделу Молекулярная физика и термодинамика

#### Вариант № 1

Номер задания	Ответ
1	3
2	3
3	1
4	1
5	4
6	1
7	2

Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	2
2	3
3	4
4	3
5	3
6	1
7	1

Тесты по разделу Электричество и магнетизм

Вариант № 1

Номер задания	Ответ
1	4
2	3
3	2
4	1
5	3
6	3
7	1

Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	4
2	4
3	1
4	4
5	1
6	4
7	3

Тесты по разделу Колебания и волны

Вариант № 1

Номер задания	Ответ
1	3
2	1
3	4
4	3
5	2
6	5
7	3

Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	3
2	3
3	4
4	3
5	1
6	2
7	3

Тесты по разделу Волновая оптика

Вариант № 1

Номер задания	Ответ
1	2
2	3
3	2
4	1
5	3
6	1
7	2

Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	3
2	2
3	1
4	2
5	2
6	2
7	2

Тесты по разделу Квантовая физика и физика атома.  
Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц

Вариант №1

Номер задания	Ответ
1	1
2	5
3	3
4	2
5	3
6	3
7	2

Вариант № 2

Номер задания	Ответ
1	4
2	2
3	2
4	3
5	1
6	2
7	1



Контрольные тесты с ответами

Вариант № 1

Номер задания	Раздел	Ответ
1	3	1
2	3	3
3	3	2
4	3	4
5	3	2
6	3	2
7	5	4
8	5	3
9	5	3
10	2	4
11	2	1
12	2	2
13	2	1
14	4	2
15	4	3
16	4	1
17	4	1
18	1	3
19	1	1
20	1	1
21	1	3
22	1	2
23	6	4
24	6	2
25	6	4
26	6	1
27	6	3
28	6	1
29	6	1
30	6	1
31	3	2
32	3	1

Вариант № 2

Номер задания	Раздел	Ответ
1	1	1
2	1	4
3	1	1
4	1	1
5	1	2
6	1	2
7	6	2
8	6	3
9	6	1
10	5	2
11	5	3
12	5	1
13	5	3
14	5	3
15	6	4
16	6	3
17	6	2
18	4	1
19	4	4
20	4	4
21	2	2
22	2	3
23	2	1
24	2	4
25	3	2
26	3	1
27	3	2
28	3	2
29	3	2
30	2	3
31	4	1
32	4	2

## Библиографический список

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1990. – 478 с.
2. Она же. Физика. 400 основных законов и формул : справ. для студентов вузов / Т. И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1993. – 40 с.
3. Методические указания для подготовки к проверке остаточных знаний студентов по физике / Владим. гос. ун-т; сост.: А. Ф. Галкин, [и др.]; под ред. А. Ф. Галкина. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 60 с.
4. Физика : метод. указания для подготовки к интернет-экзамену (тестовые задания) / Владим. гос. ун-т ; сост.: А. Ф. Галкин, В. В. Дорожков ; под ред. А. Ф. Галкина. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 38 с.
5. Методические указания, программа, вопросы и задачи по физике / Владим. гос. ун-т ; сост.: В. Н. Кунин, А. Ф. Галкин. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 124 с.
6. Сборник задач по физике / сост. Н. С. Прокошева ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 68 с.
7. Галкин, А. Ф. Лекции по физике. В 4 ч. Ч.1. Механика / А. Ф. Галкин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2009. – 68 с.
8. Он же. Лекции по физике. В 4 ч. Ч. 2. Молекулярная физика и термодинамика / А. Ф. Галкин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2006. – 76 с.
9. Он же. Лекции по физике. В 4 ч. Ч. 3. Электромагнетизм / А. Ф. Галкин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2006. – 104 с.
10. Он же. Лекции по физике. В 4 ч. Ч. 4. Колебания, волны, оптика / А. Ф. Галкин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2007. – 100 с.

## Оглавление

Введение .....	3
ТЕСТЫ С РЕШЕНИЯМИ .....	4
1. Механика .....	4
2. Молекулярна физика и термодинамика .....	12
3. Электричество и магнетизм .....	16
4. Колебания и волны .....	24
5. Волновая оптика .....	31
6. Квантовая физика и физика атома .....	35
7. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц .....	47
ТЕСТЫ С ОТВЕТАМИ .....	52
1. Механика .....	52
2. Молекулярна физика и термодинамика .....	58
3. Электричество и магнетизм .....	62
4. Колебания и волны .....	67
5. Волновая оптика .....	71
6. Квантовая физика и физика атома. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц .....	76
ТЕСТЫ БЕЗ ОТВЕТОВ .....	79
1. Механика .....	79
2. Молекулярна физика и термодинамика .....	89
3. Электричество и магнетизм .....	97
4. Колебания и волны .....	107
5. Волновая оптика .....	116
6. Квантовая физика и физика атома. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц .....	123
КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ С ОТВЕТАМИ .....	129
КОНТРОЛЬНЫЕ ТЕСТЫ БЕЗ ОТВЕТОВ .....	149
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ ФИЗИКИ .....	192
ОТВЕТЫ .....	237
Библиографический список .....	242

## ФИЗИКА

Методические указания для подготовки студентов к тестированию

### Составители

ГАЛКИН Аркадий Федорович  
ДОРОЖКОВ Владимир Васильевич  
ПРОКОШЕВА Надежда Сергеевна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В. В. Дорожков

Подписано в печать 18.10.13.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 14,18. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.