

# РАЗБОР ЗАДАНИЙ 2 ТУРА ОЛИМПИАДЫ «ПРОФИ-2019» ФИЗИКА

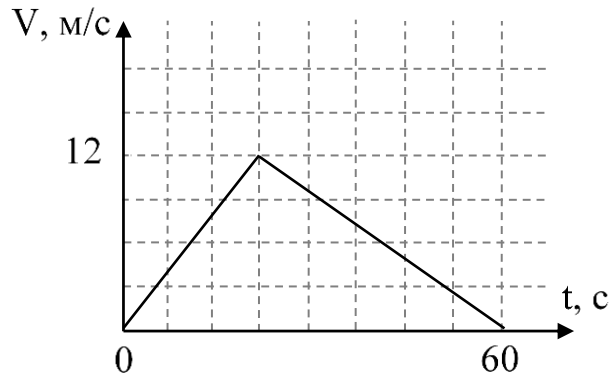
Бурдин Владислав Викторович, к. ф.-м. н., доцент ПНИПУ, председатель предметно-методической комиссии Международной профессиональной олимпиады учителей «ПРОФИ-2019» по физике, ведущий эксперт по проверке развернутой части ЕГЭ по физике, выпускник МФТИ.

1.1 Трамвай проходит расстояние между двумя остановками, двигаясь сначала равноускоренно, а затем - равнозамедленно (временем перехода от одного режима движения к другому пренебречь). Максимальная скорость трамвая при этом равна 12 м/с, полное время движения между остановками 60 с. Чему равно расстояние между остановками?

- 1) от 180 до 720 м; ответ зависит от момента времени начала равнозамедленного движения
- 2) 180 м
- 3) 360 м**
- 4) от 360 до 720 м; ответ зависит от момента времени начала равнозамедленного движения
- 5) 720 м

**Решение:**

Представим вариант графического решения:



Ответ не зависит момента начала равнозамедленного движения. Расстояние между остановками – площадь под графиком зависимости  $V$  от  $t$ :

$$S = \frac{1}{2} V_{\max} t = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 60 = 360 \text{ (м)}$$

**Ответ: 3) 360 м**

1.2 Троллейбус проходит расстояние между двумя остановками, двигаясь сначала равноускоренно, а затем - равнозамедленно (временем перехода от одного режима движения к другому пренебречь). Расстояние между остановками равно 700 м. Время движения 100 с. Определите максимальную скорость троллейбуса на перегоне между остановками.

1) 14 м/с

2) любое значение, большее 7 м/с; ответ зависит от момента времени начала равнозамедленного движения

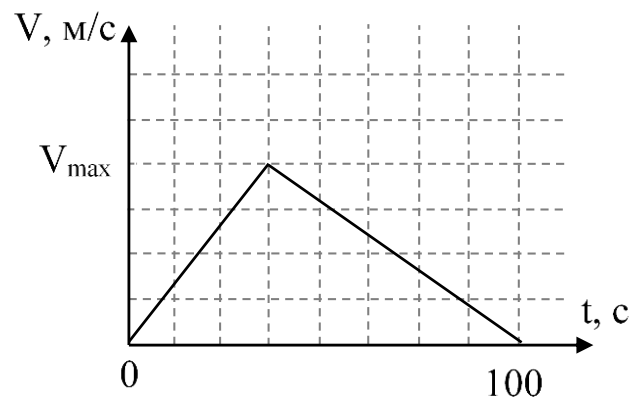
3) 7 м/с

4) от 7 до 14 м/с; ответ зависит от момента времени начала равнозамедленного движения

5) 28 м/с

**Решение:**

Представим вариант графического решения:



Ответ не зависит момента начала равнозамедленного движения. Расстояние между остановками – площадь под графиком зависимости  $V$  от  $t$ :

$$S = \frac{1}{2} V_{\text{max}} t \quad \Rightarrow \quad V_{\text{max}} = \frac{2S}{t} = \frac{2 \cdot 700}{100} = 14 \text{ (м/с)}$$

**Ответ: 1) 14 м/с**

2.1 Два маленьких тела начинают свободно падать из одной точки с большой высоты. Начальная скорость первого тела равна нулю, начальная скорость второго тела направлена горизонтально и равна 20 м/с. Чему будет равно расстояние между телами через 3 с падения? Представьте ответ в м и округлите до целых.

- 1) 75 м      2) 85 м      3) 67 м      4) 45 м      5) **60 м**

**Решение:**

Обозначим начальную скорость второго тела  $V_0=20$  м/с. Рассмотрим движение второго тела относительно первого. В начальный момент времени скорость второго тела относительно первого равна  $V_0$ . Поскольку ускорения тел одинаковы, второе тело движется относительно первого тела прямолинейно и равномерно со скоростью равной относительной скорости в начальный момент времени, т.е.  $V_0$ . Таким образом, расстояние между телами:

$$S = V_0 t = 60 \text{ (м)}$$

**Ответ: 5) 60 м**

2.2 Два маленьких тела начинают свободно падать из одной точки с большой высоты. Начальная скорость первого тела равна нулю, начальная скорость второго тела направлена горизонтально. Через 4 с падения расстояние между телами стало равно 60 м. Определите начальную скорость второго тела. Представьте ответ в м/с и округлите до целых.

- 1) 5 м/с      2) 11 м/с      **3) 15 м/с**      4) 30 м/с      5) 21 м/с

**Решение:**

Обозначим начальную скорость второго тела  $V_0$ . Рассмотрим движение второго тела относительно первого. В начальный момент времени скорость второго тела относительно первого равна  $V_0$ . Поскольку ускорения тел одинаковы, второе тело движется относительно первого тела прямолинейно и равномерно со скоростью равной относительной скорости в начальный момент времени, т.е.  $V_0$ . Таким образом:

$$S = V_0 t \quad \Rightarrow \quad V_0 = \frac{S}{t} = 15 \text{ (м/с)}$$

**Ответ: 3) 15 м/с**

3.1 Из верхней точки колеса радиуса  $R=0.4$  м, катящегося без проскальзывания с угловой скоростью  $\omega=10$  с<sup>-1</sup>, отрывается капля грязи. Определите дальность полета капли. Представьте ответ в м и округлите до десятых.

- 1) 4 м      2) 3,2 м      3) 2,4 м      4) 1,2 м      5) 1,6 м

**Решение:**

После отрыва от колеса капля начнет свободно падать с высоты  $h=2R=0,8$  м. Начальная скорость капли:

$$V_0 = 2\omega R = 8 \text{ (м/с)}$$

Находим время полета капли:

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,4 \text{ (с)}$$

Дальность полета капли:

$$L = V_0 t = 3,2 \text{ (м)}$$

**Ответ: 2) 3,2 м**

3.2 Из верхней точки колеса радиуса  $R=0,1$  м, катящегося без скольжения с угловой скоростью  $\omega=20$  с<sup>-1</sup>, отрывается капля грязи. Определить дальность полета капли. Ответ выразите в м и округлите до десятых.

- 1) 0,4 м      2) 0,6 м      3) **0,8 м**      4) 1,6 м      5) 1,2 м

**Решение:**

После отрыва от колеса капля начнет свободно падать с высоты  $h=2R=0,2$  м. Начальная скорость капли:

$$V_0 = 2\omega R = 4 \text{ (м/с)}$$

Находим время полета капли:

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,2 \text{ (с)}$$

Дальность полета капли:

$$L = V_0 t = 0,8 \text{ (м)}$$

**Ответ: 3) 0,8 м**

4.1 Шар плавает в сосуде с водой, погрузившись наполовину своего объема. Сосуд с водой и шаром помещают в лифт, который поднимается с ускорением  $5 \text{ м/с}^2$ , направленным вертикально вверх. Какая часть объема шара будет погружена в воду в этом случае?

- 1)  $1/2$       2)  $3/4$       3)  $2/3$       4)  $1/4$       5)  $1/3$

**Решение:**

Шар плавает, погрузившись наполовину своего объёма, следовательно плотность шара  $\rho_{\text{ш}}=500 \text{ кг/м}^3$ .

С учетом сил инерции (которые действуют и на шар, и на жидкость) условие равновесия шара в неинерциальной системе отсчета будет иметь вид:

$$m(g+a) = \rho_{\text{в}}(g+a)V_{\text{погр}} \quad \Rightarrow \quad \rho_{\text{ш}}V(g+a) = \rho_{\text{в}}(g+a)V_{\text{погр}} \quad \Rightarrow$$
$$\frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{1}{2}$$

Погруженный объем не изменится.

**Ответ:** 1)  $1/2$

4.2 Шар плавает в сосуде с водой, погрузившись наполовину своего объема. Сосуд с водой и шаром помещают в лифт, который опускается с ускорением  $5 \text{ м/с}^2$ , направленным вертикально вниз. Какая часть объема шара будет погружена в воду в этом случае?

- 1)  $1/3$       2)  $1$       3)  $1/4$       **4)  $1/2$**       5)  $3/4$

**Решение:**

Шар плавает, погрузившись наполовину своего объёма, следовательно плотность шара  $\rho_{ш}=500 \text{ кг/м}^3$ .

С учетом сил инерции (которые действуют и на шар, и на жидкость) условие равновесия шара в неинерциальной системе отсчета будет иметь вид:

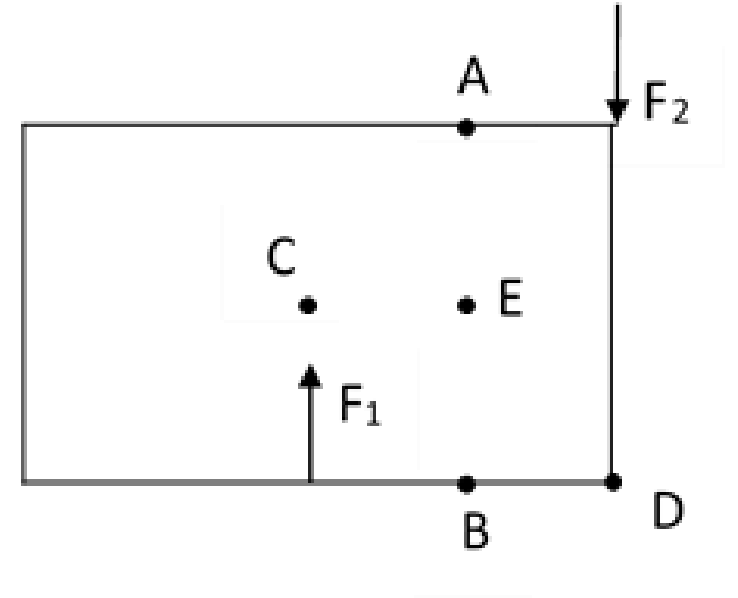
$$m(g-a) = \rho_{\text{в}}(g-a)V_{\text{погр}} \quad \Rightarrow \quad \rho_{ш}V(g-a) = \rho_{\text{в}}(g-a)V_{\text{погр}} \quad \Rightarrow$$
$$\frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{ш}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{1}{2}$$

Погруженный объем не изменится.

**Ответ: 4)  $1/2$**

5.1 На горизонтальную плиту, лежащую на гладкой горизонтальной поверхности одновременно начинают действовать две равные по модулю силы  $F_1$  и  $F_2$  (см. рис.). Плита начнет вращаться вокруг точки...

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



**Решение:**

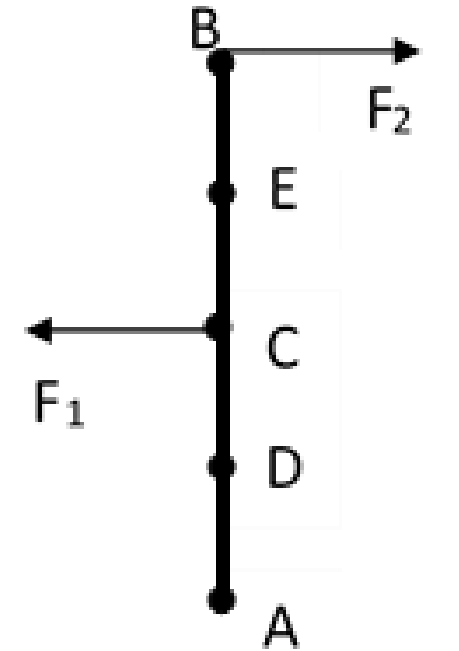
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{a}_c = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{V}_c = \text{const}$$

Поскольку центр масс плиты С в начальный момент покоится, он и останется в состоянии покоя. Плита будет вращаться вокруг центра масс.

**Ответ: 3) C**

5.1 К свободному стержню одновременно приложили две равные по модулю силы  $F_1$  и  $F_2$  (см. рис.). Стержень начнет вращаться вокруг точки...

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



**Решение:**

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{a}_c = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{V}_c = const$$

Поскольку центр масс стержня С в начальный момент покоится, он и останется в состоянии покоя. Стержень будет вращаться вокруг центра масс.

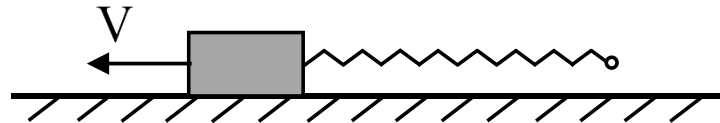
**Ответ: 3) C**

6.1 На горизонтальном гладком столе лежит брусок массой 5 кг с прикрепленной к нему пружиной жесткостью 20 Н/м. В начальный момент пружина не деформирована. За свободный конец пружину начинают тянуть с постоянной скоростью 0,5 м/с. Определите максимальную деформацию пружины. Ответ представьте в см и округлите до целых.

- 1) 10 см      2) 15 см      3) 50 см      4) 5 см      5) 25 см

**Решение:**

Перейдем в инерциальную систему отсчета, движущуюся вместе со свободным концом пружины со скоростью  $V=0,5$  м/с. В этой системе отсчета свободный конец пружины неподвижен и начальное состояние системы выглядит следующим образом:



Находим максимальную деформацию пружины исходя из закона сохранения энергии:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{kx^2}{2} \quad \Rightarrow \quad x = V\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,25 \text{ (м)}$$

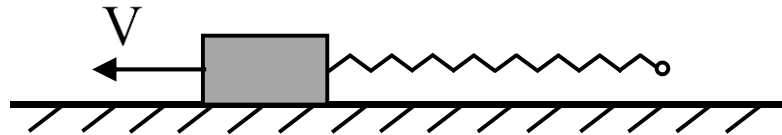
**Ответ: 5) 25 см**

6.2 На горизонтальном гладком столе лежит брусок массой 4 кг с прикрепленной к нему пружиной. В начальный момент пружина не деформирована. За свободный конец пружину начинают тянуть с постоянной скоростью 0,2 м/с. При этом максимальная деформация пружины составила 20 см. Определите коэффициент жесткости пружины. Ответ выразите в Н/м и округлите до целых.

- 1) 4 Н/м      2) 2 Н/м      3) 8 Н/м      4) 12 Н/м      5) 16 Н/м

**Решение:**

Перейдем в инерциальную систему отсчета, движущуюся вместе со свободным концом пружины со скоростью  $V=0,2$  м/с. В этой системе отсчета свободный конец пружины неподвижен и начальное состояние системы выглядит следующим образом:



Находим коэффициент жесткости пружины исходя из закона сохранения энергии:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{kx^2}{2} \quad \Rightarrow \quad k = \frac{mV^2}{x^2} = 0,25 \text{ (м)}$$

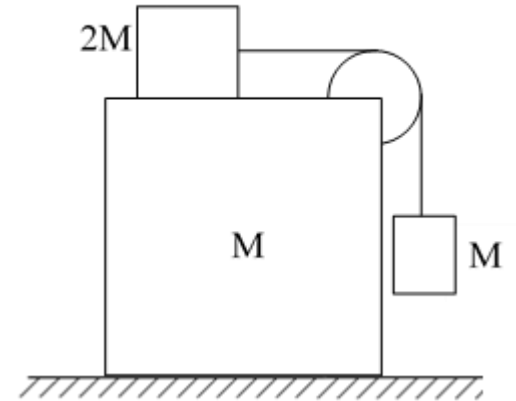
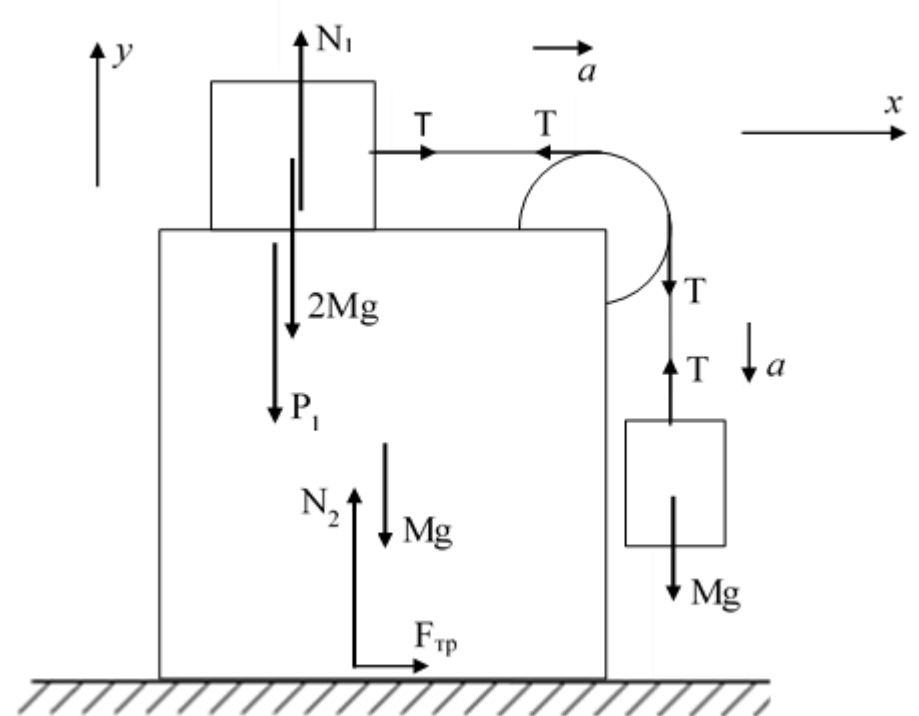
**Ответ: 1) 4 Н/м**

7.1 На столе лежит куб массой  $M$  с гладкой верхней гранью. На нем укреплен невесомый блок (см. рис.). Через блок переброшена невесомая нить, к концам которой прикреплены грузы массами  $2M$  и  $M$ . В начальный момент груз  $2M$  удерживают, а затем отпускают. При каком коэффициенте трения между кубом и столом куб может оставаться неподвижным?

- 1)  $2/5$     2)  $1/6$     3)  $2/11$     4)  $2/3$     5)  $2/9$

**Решение:**

На рисунке представлены силы, действующие на тела системы:



$$\begin{cases} 2Ma = T \\ Ma = Mg - T \end{cases} \Rightarrow T = \frac{2Mg}{3}$$

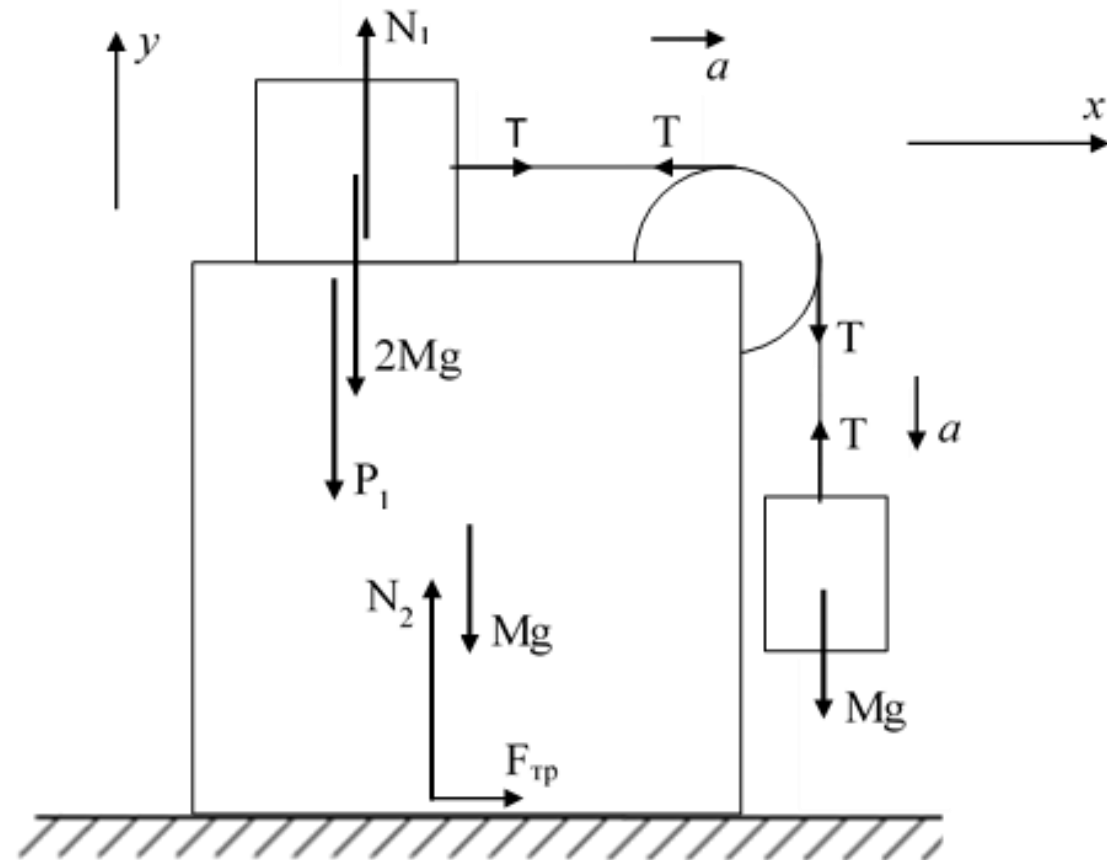
Из второго закона Ньютона для системы куб+блок в проекциях на оси  $x$  и  $y$  получаем:

$$\begin{cases} Mg + P_1 + T = N_2 \\ F_{тр} = T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Mg + P_1 + T = N_2 \\ \mu N_2 = T \end{cases}$$

Учитывая третий закон Ньютона:  $P_1 = N_1 = 2Mg$

$$\begin{cases} \frac{11Mg}{3} = N_2 \\ \mu N_2 = \frac{2Mg}{3} \end{cases}$$

$$\mu \frac{11Mg}{3} = \frac{2Mg}{3} \Rightarrow \mu = \frac{2}{11}$$



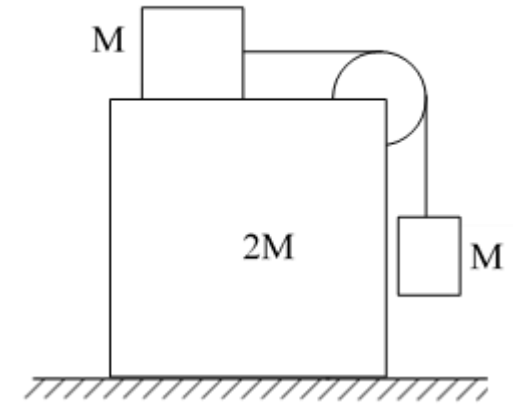
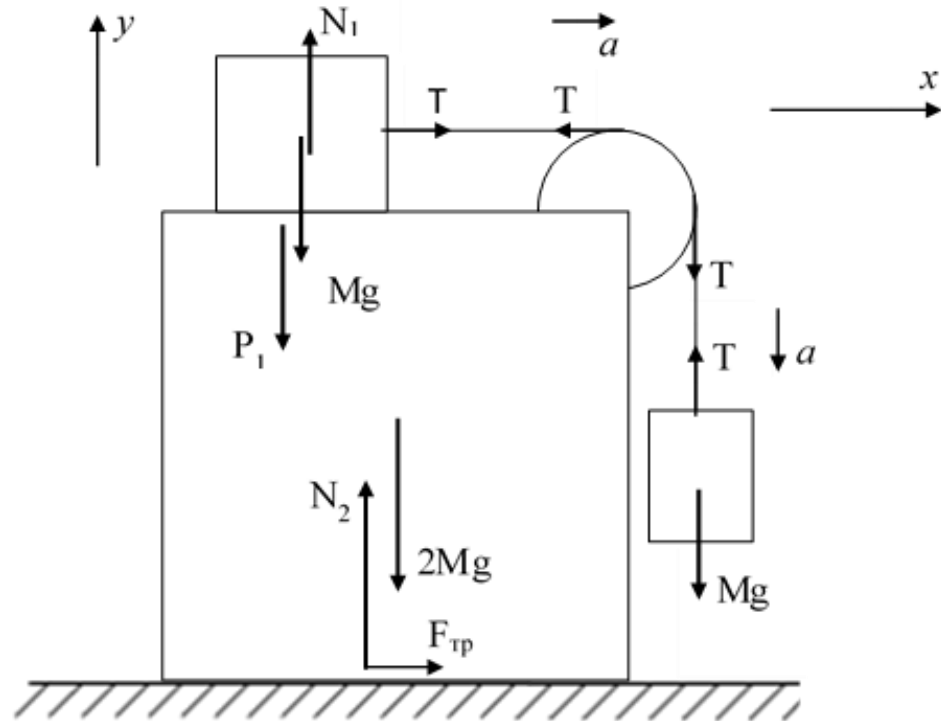
**Ответ: 3)  $\frac{2}{11}$**

7.2 На столе лежит куб массой  $2M$  с гладкой верхней гранью. На нем укреплен невесомый блок (см. рис.). Через блок переброшена невесомая нить, к концам которой прикреплены грузы с одинаковыми массами  $M$ . Систему растормаживают. При каком коэффициенте трения между кубом и столом куб может оставаться неподвижным?

- 1)  $1/5$     2)  $1/7$     3)  $1/6$     4)  $1/8$     5)  $1/4$

**Решение:**

На рисунке представлены силы, действующие на тела системы:



$$\begin{cases} Ma = T \\ Ma = Mg - T \end{cases} \Rightarrow T = \frac{Mg}{2}$$

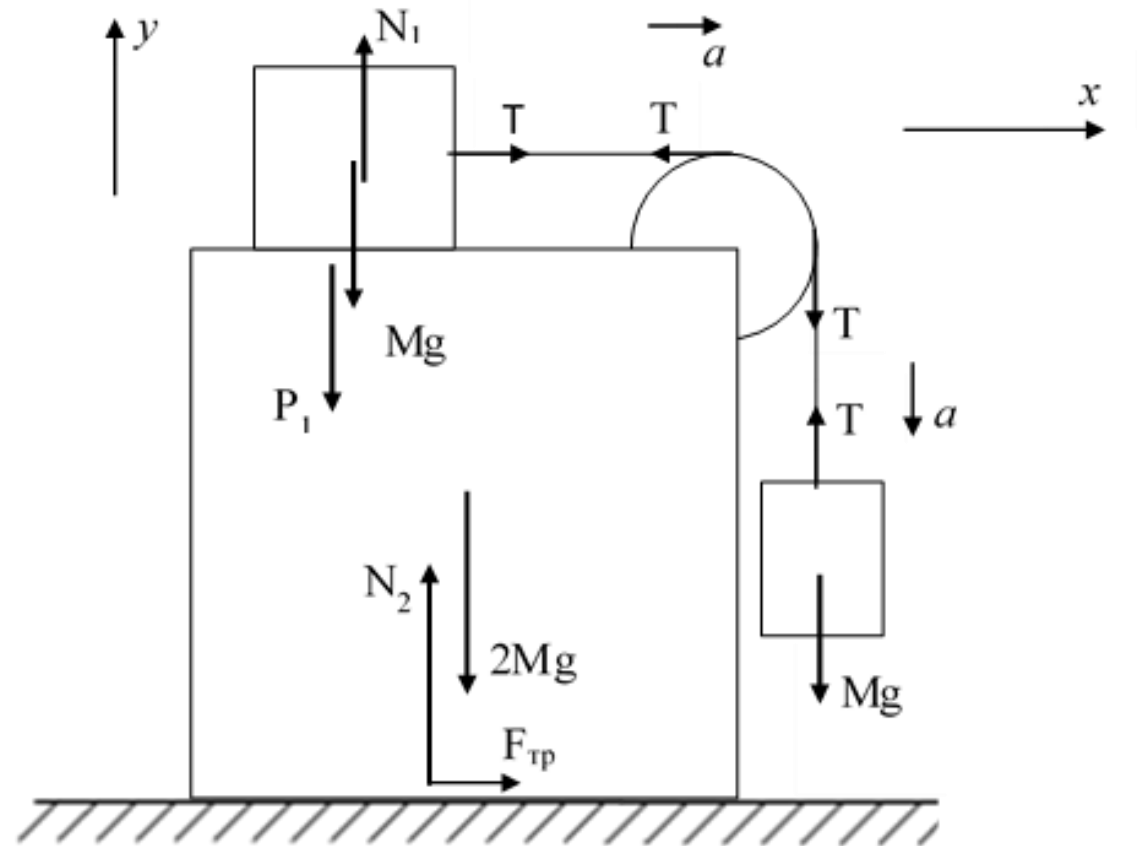
Из второго закона Ньютона для системы куб+блок в проекциях на оси  $x$  и  $y$  получаем:

$$\begin{cases} 2Mg + P_1 + T = N_2 \\ F_{тр} = T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2Mg + P_1 + T = N_2 \\ \mu N_2 = T \end{cases}$$

Учитывая третий закон Ньютона:  $P_1 = N_1 = Mg$

$$\begin{cases} \frac{7Mg}{2} = N_2 \\ \mu N_2 = \frac{Mg}{2} \end{cases}$$

$$\mu \frac{7Mg}{2} = \frac{Mg}{2} \Rightarrow \mu = \frac{1}{7}$$



**Ответ: 2) 1/7**

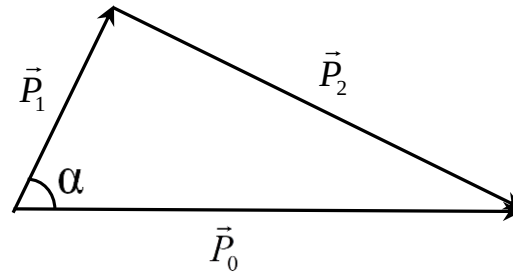
8.1 Первая частица с кинетической энергией  $E$  абсолютно упруго сталкивается с такой же второй неподвижной частицей и отклоняется от первоначального направления на угол  $60^\circ$ . Определите кинетическую энергию первой частицы после соударения.

- 1)  $2E/3$       2)  $3E/4$       3)  $E/3$       **4)  $E/4$**       5)  $E/2$

**Решение:**

Закон сохранения импульса и энергии:

$$\begin{cases} \vec{P}_0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ \frac{P_0^2}{2m} = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{P_2^2}{2m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{P}_0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ P_0^2 = P_1^2 + P_2^2 \end{cases}$$



Вывод: шары разлетаются под прямым углом.

Следовательно:

$$P_1 = P_0 \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad E_1 = \frac{P_1^2}{2m} = \frac{P_0^2 \cos^2 \alpha}{2m} = E \cos^2 \alpha = \frac{E}{4}$$

**Ответ: 4)  $E/4$**

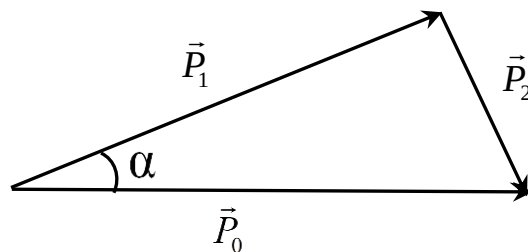
8.2 Первая частица с кинетической энергией  $E$  абсолютно упруго сталкивается с такой же второй неподвижной частицей и отклоняется от первоначального направления на угол  $30^\circ$ . Определите кинетическую энергию первой частицы после соударения.

- 1)  $2E/3$       2)  $3E/4$       3)  $E/3$       4)  $E/4$       5)  $E/2$

**Решение:**

Закон сохранения импульса и энергии:

$$\begin{cases} \vec{P}_0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ \frac{P_0^2}{2m} = \frac{P_1^2}{2m} + \frac{P_2^2}{2m} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{P}_0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ P_0^2 = P_1^2 + P_2^2 \end{cases}$$



Вывод: шары разлетаются под прямым углом.

Следовательно:

$$P_1 = P_0 \cos \alpha \Rightarrow E_1 = \frac{P_1^2}{2m} = \frac{P_0^2 \cos^2 \alpha}{2m} = E \cos^2 \alpha = \frac{3E}{4}$$

**Ответ: 2)  $3E/4$**

9.1 Грузик математического маятника имеет некоторый положительный электрический заряд. Математический маятник помещают в первом случае в однородное электрическое поле, напряженность которого направлена вертикально вниз, во втором случае – в горизонтальное электрическое поле. Выберите верное утверждение о периодах малых колебаний маятников.

- 1) В первом случае период колебаний маятника уменьшится, во втором – не изменится.
- 2) В первом случае период колебаний маятника увеличится, во втором уменьшится
- 3) В обоих случаях период колебаний маятника уменьшится**
- 4) В обоих случаях период колебаний маятника увеличится
- 5) В первом случае период колебаний маятника увеличиться, во втором не изменится

**Решение:**

В первом случае период колебаний маятника составит:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g + \frac{F_{эл}}{m}}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g + \frac{qE}{m}}}$$

Во втором случае:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2 + \left(\frac{F_{эл}}{m}\right)^2}}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2 + \left(\frac{qE}{m}\right)^2}}}$$

**Ответ: 3) В обоих случаях период колебаний маятника уменьшится**

9.2 Грузики математического и пружинного маятников имеют некоторые положительные заряды. Маятники помещают в однородное электрическое поле, напряженность которого направлена вертикально вверх. Выберите верное утверждение о периодах малых колебаний маятников.

- 1) Периоды колебаний обоих маятников увеличатся
- 2) Период колебаний математического маятника увеличится, пружинного – уменьшится
- 3) Периоды колебаний обоих маятников уменьшатся
- 4) Период колебаний математического маятника уменьшится, пружинного – увеличится
- 5) **Период колебаний математического маятника увеличится, пружинного – не изменится**

**Решение:**

Период колебаний математического маятника в электрическом поле составит:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g - \frac{F_{эл}}{m}}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g - \frac{qE}{m}}}$$

Постоянная сила не изменяет период колебаний пружинного маятника. Она только изменяет положение равновесия, вокруг которого происходят колебания.

**Ответ: 5) Период колебаний математического маятника увеличится, пружинного – не изменится**

10.1 Открытая с обеих сторон трубка массой  $M$  представляет собой две цилиндрические части с площадями поперечного сечения  $S$  и  $S/4$  и поставлена широкой частью на ровную горизонтальную резиновую поверхность (см. рис.). В трубку наливают жидкость с плотностью  $\rho$ , заполняя широкую часть, а затем начинают заполнять узкую часть. До какой максимальной высоты можно заполнить узкую часть трубки?

- 1)  $5M/(4\rho S)$       2)  $4M/(\rho S)$       3)  $3M/(4\rho S)$       **4)  $4M/(3\rho S)$**       5)  $4M/(5\rho S)$

**Решение:**

Жидкость будет действовать на трубку вверх с силой (см.рис.):

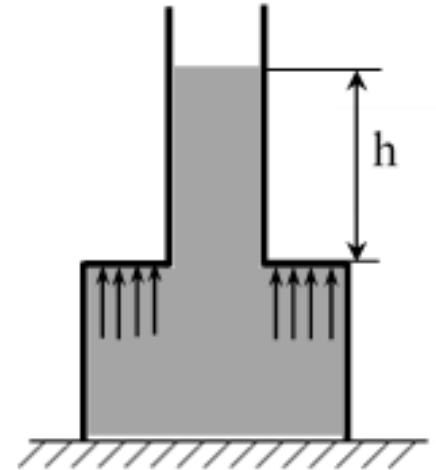
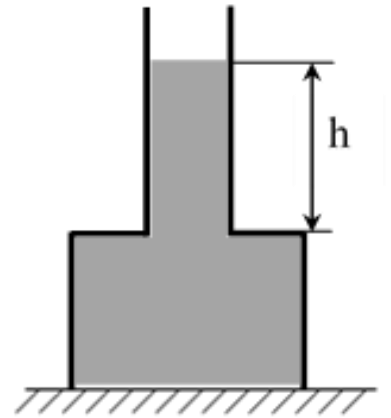
$$F = \rho g h \cdot \left( S - \frac{S}{4} \right) = \rho g h \frac{3S}{4}$$

Когда сила  $F$  уравновесит силу тяжести, жидкость начнет выливаться снизу из под трубки.

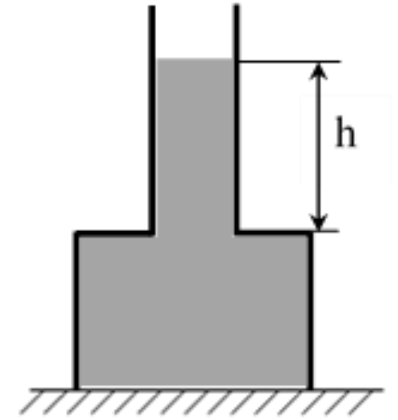
Находим максимальную высоту заполнения трубки:

$$\rho g h \cdot \frac{3S}{4} = Mg \quad \Rightarrow \quad h = \frac{4M}{3\rho S}$$

**Ответ: 4)  $4M/(3\rho S)$**



10.2 Открытая с обеих сторон трубка массой  $M$  представляет собой две цилиндрические части с площадями поперечного сечения  $S$  и  $S/2$  и поставлена широкой частью на ровную горизонтальную резиновую поверхность (см рис.). В трубку наливают жидкость с плотностью  $\rho$ , заполняя широкую часть, а затем начинают заполнять узкую часть. До какой максимальной высоты можно заполнить узкую часть трубки?



- 1)  $2M/(3\rho S)$       2)  $M/(2\rho S)$       3)  $M/(\rho S)$       4)  $3M/(2\rho S)$       5)  $2M/(\rho S)$

**Решение:**

Жидкость будет действовать на трубку вверх с силой (см.рис.):

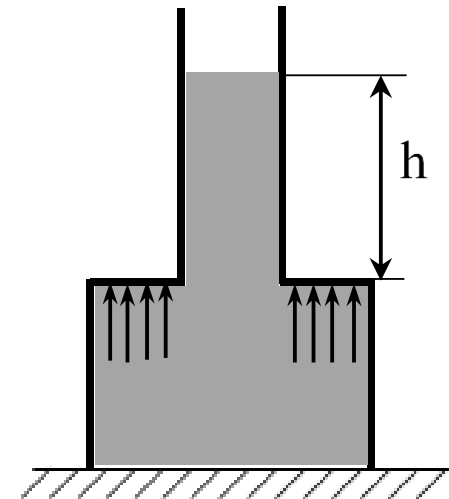
$$F = \rho g h \cdot \left( S - \frac{S}{2} \right) = \rho g h \frac{S}{2}$$

Когда сила  $F$  уравновесит силу тяжести, жидкость начнет выливаться снизу из под трубки.

Находим максимальную высоту заполнения трубки:

$$\rho g h \cdot \frac{S}{2} = Mg \quad \Rightarrow \quad h = \frac{2M}{\rho S}$$

**Ответ: 5)  $2M/(\rho S)$**

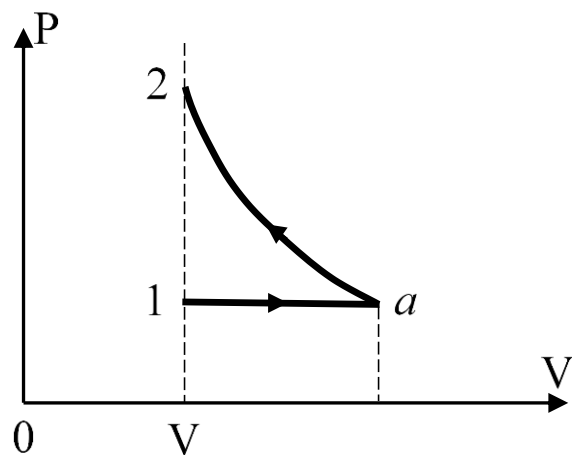


11.1 Идеальный газ сначала изобарно расширяют, а затем адиабатически сжимают до прежнего объема. Суммарные работа газа и изменение его внутренней энергии...

- 1)  $A = 0, \Delta U > 0$     2)  $A > 0, \Delta U = 0$     **3)  $A < 0, \Delta U > 0$**     4)  $A < 0, \Delta U < 0$     5)  $A > 0, \Delta U < 0$

**Решение:**

Задачу удобно решить графически:



Из графика видно, что:

$$P_2 > P_1 \quad \Rightarrow \quad T_2 > T_1 \quad \Rightarrow \quad \Delta U > 0$$
$$|A_{1a}| < |A_{a2}| \quad \Rightarrow \quad A = A_{1a} + A_{a2} < 0$$

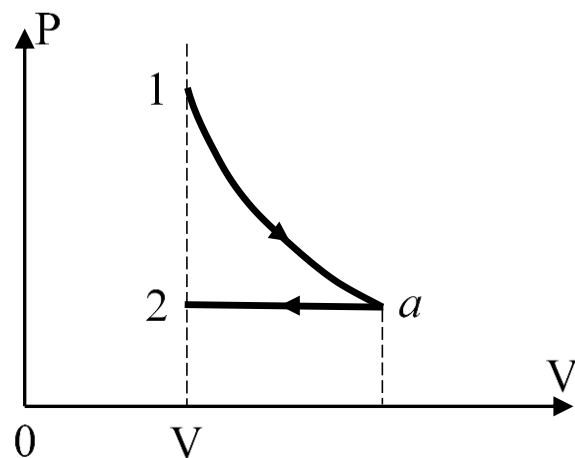
**Ответ: 3)  $A < 0, \Delta U > 0$**

11.2 Идеальный газ сначала адиабатически расширяют, а затем изобарно сжимают до прежнего объема. Суммарные работа газа и изменение его внутренней энергии...

1)  $A > 0, \Delta U < 0$     2)  $A = 0, \Delta U < 0$     3)  $A < 0, \Delta U > 0$     4)  $A > 0, \Delta U > 0$     5)  $A < 0, \Delta U = 0$

**Решение:**

Задачу удобно решить графически:



Из графика видно, что:

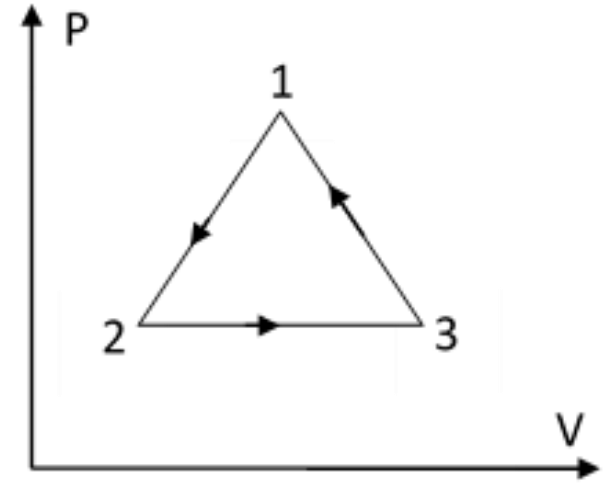
$$P_2 < P_1 \Rightarrow T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta U < 0$$

$$|A_{1a}| > |A_{a2}| \Rightarrow A = A_{1a} + A_{a2} > 0$$

**Ответ: 1)  $A > 0, \Delta U < 0$**

12.1 Циклический процесс, совершаемый с рабочим телом в некотором устройстве, изображен на рисунке. Устройство представляет собой...

- 1) тепловой двигатель
- 2) тепловой двигатель, если  $T_1 > T_3$ . Иначе – холодильную машину.
- 3) тепловой двигатель, если  $T_1 < T_3$ . Иначе – холодильную машину.
- 4) холодильную машину**
- 5) холодильную машину или тепловой двигатель в зависимости от типа рабочего тела.



**Решение:**

Поскольку цикл протекает против часовой стрелки (обратный цикл), за цикл газом совершается отрицательная работа – устройство представляет собой холодильную машину.

**Ответ: 4) холодильную машину**

12.2 Циклический процесс, совершаемый с рабочим телом в некотором устройстве, изображен на рисунке. Устройство представляет собой...

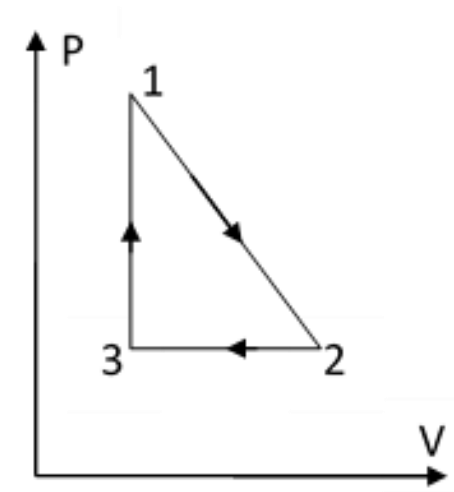
1) тепловой двигатель

2) тепловой двигатель, если  $T_1 > T_2$ . Иначе – холодильную машину.

3) тепловой двигатель, если  $T_1 < T_2$ . Иначе – холодильную машину.

4) холодильную машину

5) холодильную машину или тепловой двигатель в зависимости от типа рабочего тела.



**Решение:**

Поскольку цикл протекает по часовой стрелке (прямой цикл), за цикл газом совершается положительная работа – устройство представляет собой тепловой двигатель.

**Ответ: 1) тепловой двигатель**

13.1 Металлический и деревянный шары имеют одинаковые температуры: в первом случае по  $27^{\circ}\text{C}$ , во втором случае по  $37^{\circ}\text{C}$ , в третьем случае по  $54^{\circ}\text{C}$ . В каком случае деревянный шар будет на ощупь теплее металлического?

- 1) в третьем случае
- 2) во втором случае
- 3) во всех перечисленных случаях шары на ощупь будут одинаково теплыми
- 4) в первом случае**
- 5) деревянный шар будет казаться теплее во всех перечисленных случаях

**Решение:**

Коэффициент теплопроводности деревянного шара значительно меньше, чем коэффициент теплопроводности металлического. Поэтому металлический шар сильнее «обжигает» при высоких температурах (выше температуры человеческого тела) и «охлаждает» при низких (ниже температуры человеческого тела). Вывод: деревянный шар покажется на ощупь теплее (соответственно металлический холоднее) при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ .

**Ответ: 4) в первом случае ( $27^{\circ}\text{C}$ )**

13.2 Металлический и деревянный шары имеют одинаковые температуры: в первом случае по  $27^{\circ}\text{C}$ , во втором случае по  $37^{\circ}\text{C}$ , в третьем случае по  $54^{\circ}\text{C}$ . В каком случае деревянный шар будет на ощупь холоднее металлического?

- 1) в третьем случае
- 2) во втором случае
- 3) во всех перечисленных случаях шары на ощупь будут одинаково теплыми
- 4) в первом случае
- 5) ни в одном из перечисленных случаев

**Решение:**

Коэффициент теплопроводности деревянного шара значительно меньше, чем коэффициент теплопроводности металлического. Поэтому металлический шар сильнее «обжигает» при высоких температурах (выше температуры человеческого тела) и «охлаждает» при низких (ниже температуры человеческого тела). Вывод: при  $54^{\circ}\text{C}$  деревянный шар покажется на ощупь холоднее металлического.

**Ответ: 1) в третьем случае ( $54^{\circ}\text{C}$ )**

14.1 В закрытом сосуде находится воздух и некоторое количество воды при температуре +100<sup>0</sup>С. Объем сосуда медленно увеличивают при неизменной температуре и измеряют давление внутри с точностью 0,5%. Результаты всех измерений, за исключением одного, представлены в таблице:

|                              |            |            |           |           |
|------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i> | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i> | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>160</i> | <i>148</i> |           | <i>60</i> |

Какое число должно быть в пустой ячейке таблицы?  
1) 90      2) 130      3) 100      4) 110      5) **120**

**Решение:**

- 1) При 100<sup>0</sup>С давление насыщенного пара 100 кПа.
- 2) В первом состоянии вода в сосуде еще есть, а пар насыщенный. Поскольку давление в сосуде 160 кПа, давление пара 100 кПа, то давление воздуха 60 кПа. Добавим в таблицу два столбца и будем из заполнять:

|                              |            |            |           |           |
|------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i> | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i> | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>160</i> | <i>148</i> |           | <i>60</i> |
| <i>давление пара, кПа</i>    | <i>100</i> |            |           |           |
| <i>давление воздуха, кПа</i> | <i>60</i>  |            |           |           |

3) Для воздуха в течении всего процесса расширения справедлив закон Бойля-Мариотта, поэтому можно легко заполнить четвертую строку таблицы:

|                              |            |            |           |           |
|------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i> | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i> | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>160</i> | <i>148</i> |           | <i>60</i> |
| <i>давление пара, кПа</i>    | <i>100</i> |            |           |           |
| <i>давление воздуха, кПа</i> | <i>60</i>  | <i>48</i>  | <i>30</i> | <i>15</i> |



|                              |            |            |           |           |
|------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i> | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i> | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>160</i> | <i>148</i> |           | <i>60</i> |
| <i>давление пара, кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> |           | <i>45</i> |
| <i>давление воздуха, кПа</i> | <i>60</i>  | <i>48</i>  | <i>30</i> | <i>15</i> |



|                                  |            |            |           |           |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i>     | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i> | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>             | <i>160</i> | <i>148</i> |           | <i>60</i> |
| <i>давление пара,<br/>кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> |           | <i>45</i> |
| <i>давление<br/>воздуха, кПа</i> | <i>60</i>  | <i>48</i>  | <i>30</i> | <i>15</i> |

4) Далее ясно, что в состоянии 3 пар был уже не насыщенный, иначе при увеличении объёма в 2 раза ( $V_4=2V_3$ ) давление пара уменьшилось бы более, чем в 2 раза, что невозможно.

Окончательный вид таблицы:

|                                  |            |            |            |           |
|----------------------------------|------------|------------|------------|-----------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i>     | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>40</i>  | <i>80</i> |
| <i>давление, кПа</i>             | <i>160</i> | <i>148</i> | <i>120</i> | <i>60</i> |
| <i>давление пара,<br/>кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> | <i>90</i>  | <i>45</i> |
| <i>давление<br/>воздуха, кПа</i> | <i>60</i>  | <i>48</i>  | <i>30</i>  | <i>15</i> |

**Ответ: 5) 120**

14.2 В закрытом сосуде находится воздух и некоторое количество воды при температуре  $+100^{\circ}\text{C}$ . Объем сосуда медленно увеличивают при неизменной температуре и измеряют давление внутри с высокой точностью. Результаты всех измерений, за исключением одного, представлены в таблице:

|                              |            |            |           |            |
|------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i> | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i> | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>180</i> | <i>164</i> |           | <i>51</i>  |

Какое число должно быть в пустой ячейке таблицы?

- 1) 68    2) 60    **3) 127**    4) 136    5) 120

**Решение:**

- 1) При  $100^{\circ}\text{C}$  давление насыщенного пара 100 кПа.
- 2) В первом состоянии вода в сосуде еще есть, а пар насыщенный. Поскольку давление в сосуде 180 кПа, давление пара 100 кПа, то давление воздуха 80 кПа. Добавим в таблицу два столбца и будем из заполнять:

|                                  |            |            |           |            |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i>     | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i> | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>             | <i>180</i> | <i>164</i> |           | <i>51</i>  |
| <i>давление пара,<br/>кПа</i>    | <i>100</i> |            |           |            |
| <i>давление<br/>воздуха, кПа</i> | <i>80</i>  |            |           |            |

3) Для воздуха в течении всего процесса расширения справедлив закон Бойля-Мариотта, поэтому можно легко заполнить четвертую строку таблицы:

|                              |            |            |           |            |
|------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <i>объем, см³</i>            | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i> | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>180</i> | <i>164</i> |           | <i>51</i>  |
| <i>давление пара, кПа</i>    | <i>100</i> |            |           |            |
| <i>давление воздуха, кПа</i> | <i>80</i>  | <i>64</i>  | <i>27</i> | <i>10</i>  |



|                              |            |            |           |            |
|------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <i>объем, см³</i>            | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i> | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>         | <i>180</i> | <i>164</i> |           | <i>51</i>  |
| <i>давление пара, кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> |           | <i>41</i>  |
| <i>давление воздуха, кПа</i> | <i>80</i>  | <i>64</i>  | <i>27</i> | <i>10</i>  |



|                                  |            |            |           |            |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i>     | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i> | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>             | <i>180</i> | <i>164</i> |           | <i>51</i>  |
| <i>давление пара,<br/>кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> |           | <i>41</i>  |
| <i>давление<br/>воздуха, кПа</i> | <i>80</i>  | <i>64</i>  | <i>27</i> | <i>10</i>  |

4) Предположим, что в третьем состоянии пар уже не насыщенный. Тогда из закона Бойля-Мариотта следует, что давление пара  $P_{пз}=109$  кПа, что невозможно. Таким образом, при  $V_3=60$  см<sup>3</sup> пар еще насыщенный, вода испарилась не вся. Окончательный вид таблицы:

|                                  |            |            |            |            |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>объем, см<sup>3</sup></i>     | <i>20</i>  | <i>25</i>  | <i>60</i>  | <i>160</i> |
| <i>давление, кПа</i>             | <i>180</i> | <i>164</i> | <i>127</i> | <i>51</i>  |
| <i>давление пара,<br/>кПа</i>    | <i>100</i> | <i>100</i> | <i>100</i> | <i>41</i>  |
| <i>давление воздуха,<br/>кПа</i> | <i>80</i>  | <i>64</i>  | <i>27</i>  | <i>10</i>  |

**Ответ: 3) 127**

15.1 Один моль гелия нагревают так, что температура изменяется прямо пропорционально квадрату объема. Определите количество теплоты, полученное газом в этом процессе при нагревании от 50 °С до 100 °С. Ответ представьте в Дж и округлите до десятков.

- 1) 1040 Дж      2) 1450 Дж      **3) 830 Дж**      4) 730 Дж      5) 1250 Дж

**Решение:**

Изменение внутренней энергии газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

Далее, согласно условию задачи можно записать:

$$T = CV^2$$

где С – некоторая константа.

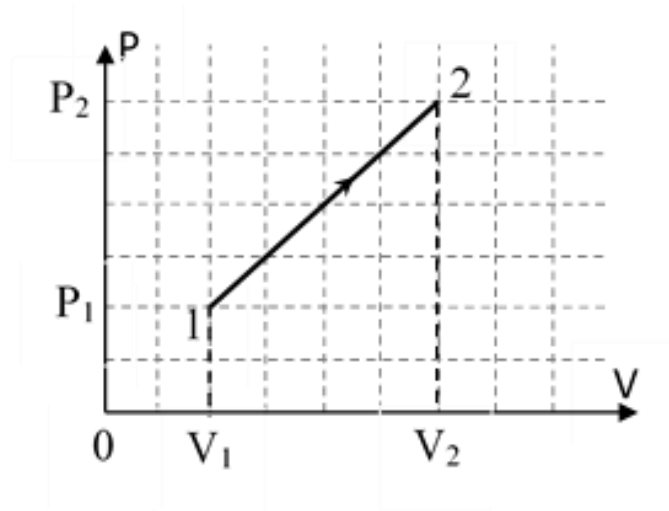
Получаем:

$$\begin{cases} T = CV^2 \\ pV = \nu RT \end{cases}$$

Исключаем из системы Т:

$$pV = \nu R \cdot CV^2 \quad \Rightarrow \quad p = \nu RCV \quad \Rightarrow \quad p = AV$$

Работу газа найдем графически:



$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{AV_1 + AV_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{AV_2^2 - AV_1^2}{2} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{2} \Rightarrow$$
$$A = \frac{\nu R T_2 - \nu R T_1}{2} = \frac{\nu R (T_2 - T_1)}{2}$$

Находим тепло:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 2 \nu R (T_2 - T_1) \approx 830 \text{ (Дж)}$$

**Ответ: 3) 830 Дж**

15.2 Один моль кислорода нагревают так, что абсолютная температура изменяется прямо пропорционально квадрату объема. Определите количество теплоты, полученное газом в этом процессе при нагревании от 50 °С до 100 °С. Ответ выразите в Дж и округлите до десятков.

- 1) 830 Дж      2) 1660 Дж      3) 1040 Дж      4) 1450 Дж      5) **1250 Дж**

**Решение:**

Изменение внутренней энергии кислорода (двухатомного газа):

$$\Delta U = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

Далее, согласно условию задачи можно записать:

$$T = CV^2$$

где  $C$  – некоторая константа.

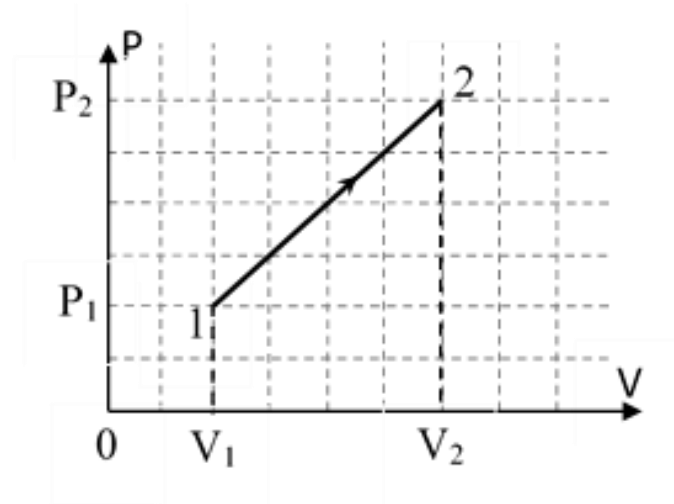
Получаем:

$$\begin{cases} T = CV^2 \\ pV = \nu RT \end{cases}$$

Исключаем из системы  $T$ :

$$pV = \nu R \cdot CV^2 \Rightarrow p = \nu RCV \Rightarrow p = AV$$

Работу газа найдем графически:



$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{AV_1 + AV_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{AV_2^2 - AV_1^2}{2} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{2} \Rightarrow$$
$$A = \frac{\nu R T_2 - \nu R T_1}{2} = \frac{\nu R (T_2 - T_1)}{2}$$

Находим тепло:

$$Q = \Delta U + A = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 3 \nu R (T_2 - T_1) \approx 1250 \text{ (Дж)}$$

**Ответ: 5) 1250 Дж**

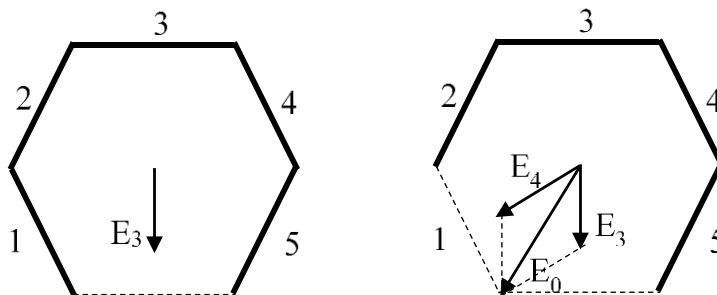
16.1 Пять ребер правильного шестиугольника, пронумерованных последовательно (1, 2, 3, 4, 5), образованы одинаковыми диэлектрическими равномерно заряженными палочками. При этом в точке О, находящейся в центре шестиугольника, напряженность электрического поля равна 100 В/м. Какой станет напряженность поля в точке О, если ребро 1 удалить? Ответ представьте в В/м и округлите до десятков.

- 1) 140 В/м      2) 100 В/м      3) 80 В/м      4) 200 В/м      5) **170 В/м**

**Решение:**

В первом случае напряженность поля в центре равна напряженности только от одной третьей палочки (см. рис.) Поля других палочек компенсируют друг друга. Таким образом,  $E_3 = 100$  В/м. Можно сделать вывод, что поле каждой палочки в центре шестиугольника:

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = 100 \text{ (В/м)}$$



Во втором случае:

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

Вектора напряженности третьей и четвертой палочки направлены под углом  $60^\circ$  по отношению друг к другу и под углами  $30^\circ$  к суммарной напряженности  $E_0$ . Таким образом:

$$E_0 = E_3 \cos 30^\circ + E_4 \cos 30^\circ = 170 \text{ (В/м)}$$

**Ответ: 5) 170 В/м**

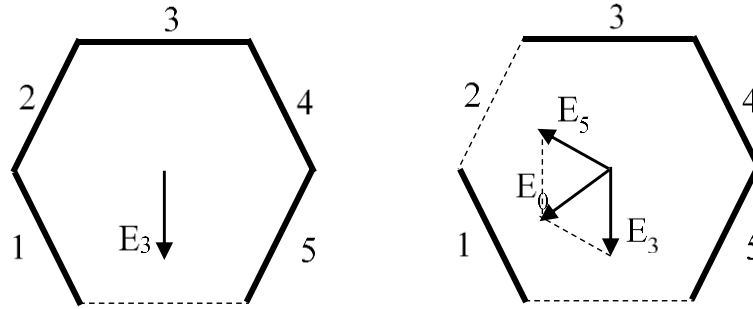
16.2 Пять ребер правильного шестиугольника, пронумерованных последовательно (1, 2, 3, 4, 5), образованы одинаковыми диэлектрическими равномерно заряженными палочками. При этом в точке О, находящейся в центре шестиугольника, напряженность электрического поля равна 100 В/м. Какой станет напряженность поля в точке О, если ребро 2 удалить? Ответ выразите в В/м и округлите до десятков.

- 1) 140 В/м      2) **100 В/м**      3) 80 В/м      4) 200 В/м      5) 170 В/м

**Решение:**

В первом случае напряженность поля в центре равна напряженности только от одной третьей палочки (см. рис.) Поля других палочек компенсируют друг друга. Таким образом,  $E_3 = 100$  В/м. Можно сделать вывод, что поле каждой палочки в центре шестиугольника:

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = 100 \text{ (В/м)}$$



Во втором случае:

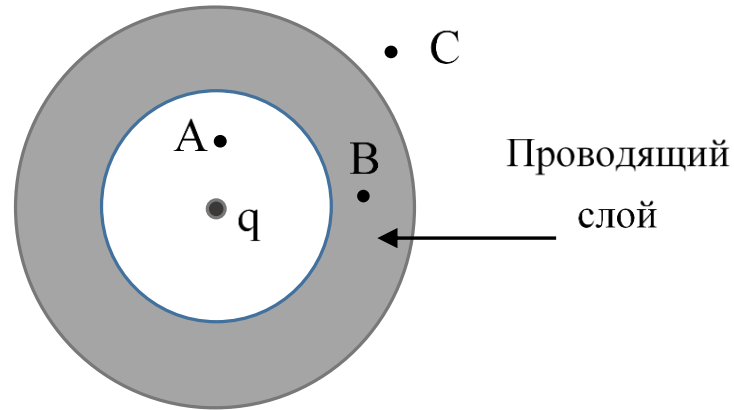
$$\vec{E}_0 = \vec{E}_3 + \vec{E}_5$$

Вектора напряженности третьей и четвертой палочки направлены под углом  $120^\circ$  по отношению друг к другу и под углами  $60^\circ$  к суммарной напряженности  $E_0$ . Таким образом:

$$E_0 = E_3 \cos 60^\circ + E_5 \cos 60^\circ = 100 \text{ (В/м)}$$

**Ответ: 2) 100 В/м**

17.1 В центре сферического проводящего слоя (шаровой полости) находится точечный заряд  $q$  (см. рис.) В каких точках напряженность электрического поля будет отлична от нуля?



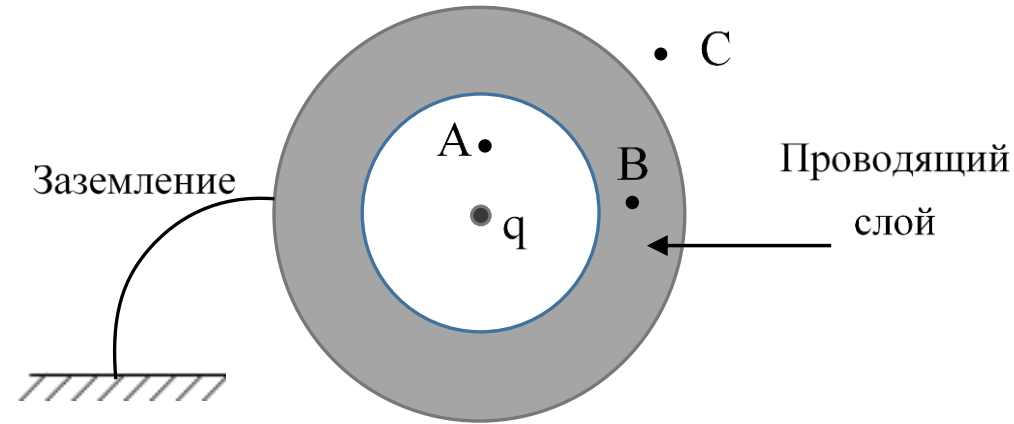
- 1)  $A, B, C$       2)  $B, C$       3)  $C$       4)  $A, C$       5)  $A$

**Решение:**

Напряженность электрического поля будет отлична от нуля в точках  $A$  и  $C$ , внутри проводящего слоя напряженность будет равна нулю.

**Ответ: 4)  $A, C$**

17.2 В центре сферического проводящего заземленного слоя (шаровой полости) находится точечный заряд  $q$  (см. рис.) В каких точках напряженность электрического поля будет равна нулю?



- 1) A, B, C      2) B, C      3) A, B      4) A, C      5) A

**Решение:**

Напряженность электрического поля будет равна нулю внутри проводящего слоя, а также во внешнем пространстве, поскольку шар заземлен (потенциал шара будет равен нулю, как и потенциал точек на бесконечности).

**Ответ: 2) B, C**

18.1 Параллельно отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки влетает поток электронов, движущихся со скоростью  $v_0 = 4 \cdot 10^5$  м/с. При вылете из трубки их скорость оказывается равной  $v = 5 \cdot 10^5$  м/с. Чему будет равна скорость электронов при вылете из трубки, если напряжение на пластинах увеличить в 2 раза? Ответ представьте в виде  $x \cdot 10^5$  м/с, значение  $x$  округлите до десятых.

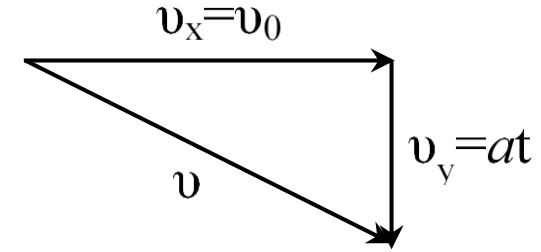
- 1)  $7,2 \cdot 10^5$  м/с    2)  $6,5 \cdot 10^5$  м/с    3)  $6,0 \cdot 10^5$  м/с    4)  $7,8 \cdot 10^5$  м/с    5)  $7,0 \cdot 10^5$  м/с

**Решение:**

Пусть ось  $x$  направлена вдоль пластин, а ось  $y$  перпендикулярно пластинам. Движение электрона вдоль оси  $x$  – равномерное, вдоль оси  $y$  – равноускоренное с нулевой начальной скоростью.

Находим составляющую скорости  $y$  при вылете из конденсатора (см рис.):

$$v_y = \sqrt{v^2 - v_0^2} = 3 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$



Время пролета электрона определяется длиной пластин  $L$  и от напряжения не зависит:

$$t = \frac{L}{v_0}$$

Ускорение электрона можно выразить из второго закона Ньютона:

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

где  $d$  – расстояние между пластинами.

Таким образом:

$$v_y = at = \frac{qUL}{mdv_0}$$

Проекция скорости  $v_y$  зависит от напряжения прямо пропорционально. Поэтому при увеличении напряжения в 2 раза  $v_y$  также увеличится в 2 раза и составит:

$$v_{y1} = 2v_y = 6 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$

Скорость электронов при вылете из трубки составит:

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + v_{y1}^2} \approx 7,2 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$

**Ответ: 1)  $7,2 \cdot 10^5$  м/с**

18.2 Параллельно отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки влетает поток электронов, движущихся со скоростью  $v_0 = 5 \cdot 10^5$  м/с. При вылете из трубки их скорость оказывается равной  $v = 13 \cdot 10^5$  м/с. Чему будет равна скорость электронов при вылете из трубки, если напряжение на пластинах уменьшить в 2 раза? Ответ представьте в виде  $x \cdot 10^5$  м/с, значение  $x$  округлите до десятых.

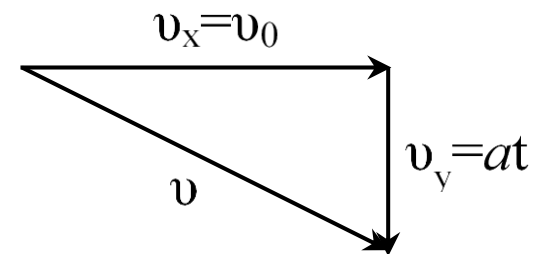
- 1)  $10,7 \cdot 10^5$  м/с    2)  $7,8 \cdot 10^5$  м/с    3)  $9,2 \cdot 10^5$  м/с    4)  $8,0 \cdot 10^5$  м/с    5)  $9,0 \cdot 10^5$  м/с

**Решение:**

Пусть ось  $x$  направлена вдоль пластин, а ось  $y$  перпендикулярно пластинам. Движение электрона вдоль оси  $x$  — равномерное, вдоль оси  $y$  — равноускоренное с нулевой начальной скоростью.

Находим составляющую скорости  $y$  при вылете из конденсатора (см рис.):

$$v_y = \sqrt{v^2 - v_0^2} = 12 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$



Время пролета электрона определяется длиной пластин  $L$  и от напряжения не зависит:

$$t = \frac{L}{v_0}$$

Ускорение электрона можно выразить из второго закона Ньютона:

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$$

где  $d$  – расстояние между пластинами.

Таким образом:

$$v_y = at = \frac{qUL}{mdv_0}$$

Проекция скорости  $v_y$  зависит от напряжения прямо пропорционально. Поэтому при уменьшении напряжения в 2 раза  $v_y$  также уменьшится в 2 раза и составит:

$$v_{y1} = v_y / 2 = 6 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$

Скорость электронов при вылете из трубки составит:

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + v_{y1}^2} \approx 7,8 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}$$

**Ответ: 2)  $7,8 \cdot 10^5$  м/с**

19.1 Первый заряженный плоский конденсатор емкости  $C$ , отключенный от источника напряжения, подключается параллельно ко второму незаряженному конденсатору емкости  $2C$ . Определите конечную энергию первого конденсатора, если его начальная энергия была равна 450 нДж.

- 1) 150 нДж      **2) 50 нДж**      3) 300 нДж      4) 200 нДж      5) 225 нДж

**Решение:**

Пусть начальное напряжение на пластинах первого конденсатора равно  $U_1$ . В равновесии напряжения на пластинах обоих конденсаторах будут равны. Обозначим конечное напряжение на пластинах конденсаторов  $U_0$ . Сумма зарядов конденсаторов остается неизменной:

$$CU_1 = CU_0 + 2CU_0 \quad \Rightarrow \quad U_0 = \frac{U_1}{3}$$

Конечная энергия первого конденсатора:

$$W_{1\text{кон}} = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{1}{9} \cdot \frac{CU_1^2}{2} = \frac{1}{9} \cdot W_{1\text{нач}} = 50 \text{ (нДж)}$$

**Ответ: 2) 50 нДж**

19.2 Первый заряженный плоский конденсатор емкости  $C$ , отключенный от источника напряжения, подключается параллельно ко второму незаряженному конденсатору емкости  $2C$ . Определите энергию второго конденсатора, если начальная энергия первого конденсатора была равна 450 нДж.

- 1) 150 нДж      2) 50 нДж      3) 300 нДж      **4) 100 нДж**      5) 225 нДж

**Решение:**

Пусть начальное напряжение на пластинах первого конденсатора равно  $U_1$ . В равновесии напряжения на пластинах обоих конденсаторах будут равны. Обозначим конечное напряжение на пластинах конденсаторов  $U_0$ . Сумма зарядов конденсаторов остается неизменной:

$$CU_1 = CU_0 + 2CU_0 \quad \Rightarrow \quad U_0 = \frac{U_1}{3}$$

Конечная энергия второго конденсатора:

$$W_{2\text{кон}} = \frac{2CU_0^2}{2} = \frac{2}{9} \cdot \frac{CU_1^2}{2} = \frac{2}{9} \cdot W_{1\text{нач}} = 100 \text{ (нДж)}$$

**Ответ: 4) 100 нДж**

20.1 Электрическая плитка включена в сеть с напряжением 60 В с помощью проводов, имеющих некоторое сопротивление. При этом напряжение на плитке равно 40 В. Чему будет равно напряжение на плитке, если к ней подключить последовательно такую же плитку?

- 1) 18 В      2) 20 В/м      3) 22 В      4) 16 В      5) 24 В

**Решение:**

Пусть  $U_0=60$  В – напряжение сети,  $U_1=40$  В – напряжение на плитке. Тогда в первом случае напряжение на соединительных проводах:

$$U_{1np} = U_0 - U_1 = 20 \text{ (В)}$$

Пусть  $R$  – сопротивление плитки,  $r$  – сопротивление проводов. Тогда, поскольку напряжение на плитке в 2 раза больше:

$$R = 2r$$

Когда к первой плитке подключили последовательно вторую плитку, общее сопротивление схемы составит:

$$R_0 = 2R + r = 5r$$

Сила тока в цепи:

$$I = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_0}{5r}$$

Напряжение на одной плитке:

$$U_2 = IR = \frac{U_0}{5r} \cdot 2r = \frac{2}{5}U_0 = 24 \text{ (В)}$$

**Ответ: 5) 24 В**

20.2 Электрическая плитка включена в сеть с напряжением 60 В с помощью проводов, имеющих некоторое сопротивление. При этом напряжение на плитке равно 40 В. Чему будет равно напряжение на плитке, если к ней подключить параллельно такую же плитку?

- 1) 30 В      2) 24 В/м      3) 16 В      4) 32 В      5) 40 В

**Решение:**

Пусть  $U_0=60$  В – напряжение сети,  $U_1=40$  В – напряжение на плитке. Тогда в первом случае напряжение на соединительных проводах:

$$U_{1np} = U_0 - U_1 = 20 \text{ (В)}$$

Пусть  $R$  – сопротивление плитки,  $r$  – сопротивление проводов. Тогда, поскольку напряжение на плитке в 2 раза больше:

$$R = 2r$$

Когда к первой плитке подключили параллельно вторую плитку, общее сопротивление схемы составит:

$$R_0 = \frac{R}{2} + r = 2r$$

Общий ток в цепи:

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_0}{2r}$$

Напряжение на каждой плитке:

$$U_2 = I_0 \frac{R}{2} = \frac{U_0}{2r} \cdot r = \frac{U_0}{2} = 30 \text{ (В)}$$

**Ответ: 1) 30 В**

21.1 Незаряженная неподвижная частица распалась в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  на две частицы с массами  $m_1=m$  и  $m_2=2m$  и зарядами  $q$  и  $-q$ . Найдите время, через которое произойдет соударение частиц. Кулоновским взаимодействием между частицами пренебречь.

- 1)  $2\pi m/(3qB)$     2)  $2\pi m/(qB)$     3)  $\pi m/(qB)$     **4)  $4\pi m/(3qB)$**     5)  $4\pi m/(qB)$

**Решение:**

Закон сохранения импульса при распаде:

$$0 = m_1 v_1 - m_2 v_2 \Rightarrow m_1 v_1 = m_2 v_2 \Rightarrow m v_1 = 2m v_2 \Rightarrow v_1 = 2v_2$$

Радиус траектории движения заряженных частиц в однородном магнитном поле выводится из второго закона Ньютона:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Поскольку импульсы частиц одинаковы, радиусы также будут одинаковы:

$$R_1 = R_2 = \frac{m_1 v_1}{qB} = \frac{m_2 v_2}{qB}$$

Скорость сближения частиц:

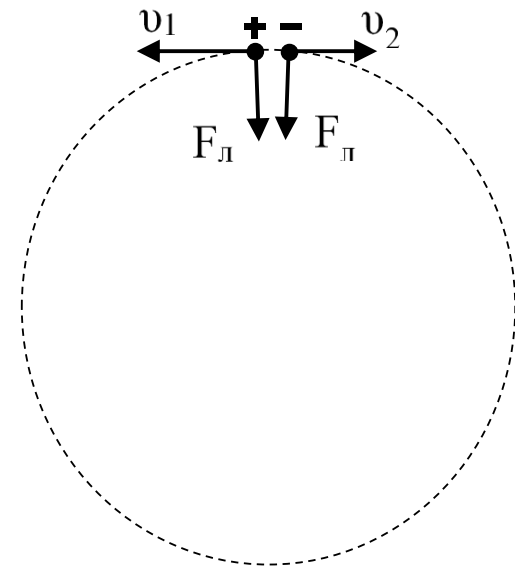
$$V = v_1 + v_2 = 3v_2$$

Время, через которое произойдет соударение:

$$t = \frac{2\pi R}{3v_2} = \frac{2\pi}{3v_2} \cdot \frac{m_2 v_2}{qB} = \frac{2\pi m_2}{3qB} = \frac{4\pi m}{3qB}$$

**Ответ: 4)  $4\pi m/(3qB)$**

Определяя направление силы Лоренца, приходим к выводу, что частицы будут двигаться по одной окружности (!) навстречу друг другу (см. рис.).



21.2 Незаряженная неподвижная частица распалась в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  на две частицы с массами  $m_1=m$  и  $m_2=3m$  и зарядами  $q$  и  $-q$ . Найдите время, через которое произойдет соударение частиц. Кулоновским взаимодействием между частицами пренебречь.

- 1)  $3\pi m/qB$       2)  $4\pi m/qB$       3)  $6\pi m/qB$       4)  $2\pi m/qB$       5)  $3\pi m/2qB$

**Решение:**

Закон сохранения импульса при распаде:

$$0 = m_1 v_1 - m_2 v_2 \quad \Rightarrow \quad m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad \Rightarrow \quad m v_1 = 3m v_2 \quad \Rightarrow \quad v_1 = 3v_2$$

Радиус траектории движения заряженных частиц в однородном магнитном поле выводится из второго закона Ньютона:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Поскольку импульсы частиц одинаковы, радиусы также будут одинаковы:

$$R_1 = R_2 = \frac{m_1 v_1}{qB} = \frac{m_2 v_2}{qB}$$

Скорость сближения частиц:

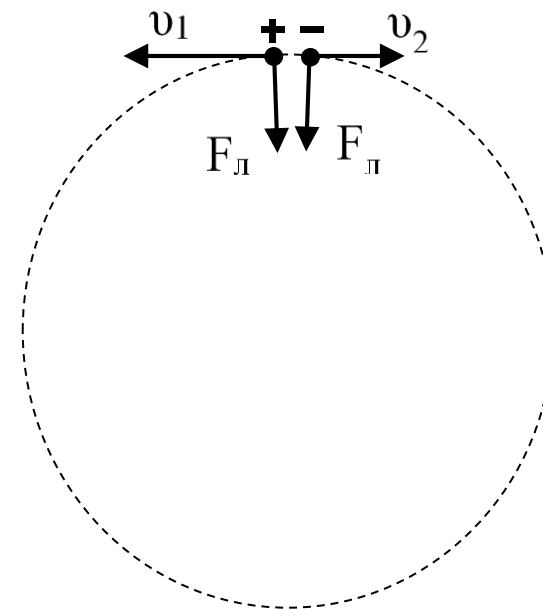
$$V = v_1 + v_2 = 4v_2$$

Время, через которое произойдет соударение:

$$t = \frac{2\pi R}{4v_2} = \frac{2\pi}{4v_2} \cdot \frac{m_2 v_2}{qB} = \frac{\pi m_2}{2qB} = \frac{3\pi m}{2qB}$$

**Ответ: 5)  $3\pi m/(2qB)$**

Определяя направление силы Лоренца, приходим к выводу, что частицы будут двигаться по одной окружности (!) навстречу друг другу (см. рис.).

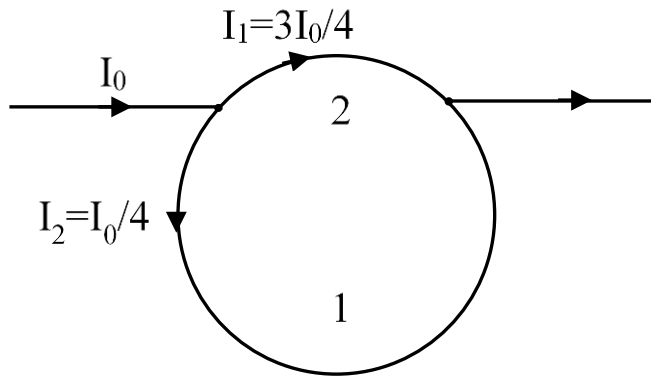


22.1 Из тонкой однородной проволоки сделано кольцо в форме окружности. Если пропустить по кольцу ток  $I_0$ , поле в центре кольца имеет магнитную индукцию  $B_0$ . Кольцо подключили проводами к батарейке таким образом, что точки подсоединения проводов делят кольцо в отношении 3:1. При помощи реостата ток через батарейку установили снова  $I_0$ . Какой будет теперь магнитная индукция в центре кольца?

- 1)  $3B_0/8$       2)  $B_0$       3) **0**      4)  $3B_0/16$       5)  $B_0/2$

**Решение:**

По условию задачи точки подсоединения проводов делят кольцо в отношении 3:1. Следовательно сопротивления двух частей кольца также будут относиться как 3:1. В результате через короткую часть кольца пойдет ток  $3I_0/4$ , а через длинную –  $I_0/4$  (см. рис.).



Векторы магнитной индукции от двух частей кольца с током в центре кольца будут направлены в разные стороны, поэтому:

$$B_0 = B_1 - B_2$$

Известно, что ток  $I_0$ , текущий по всему кольцу, создает поле  $B_0$ . Вклад в это поле вносят все маленькие кусочки кольца (элементарные отрезки с током). Поскольку длина первой части составляет  $3/4$  от длины всего кольца, а сила тока в первой части составляет  $1/4$  части от  $I_0$ , то:

$$B_1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} B_0 = \frac{3}{16} B_0$$

Длина второй части составляет  $1/4$  от длины всего кольца, а сила тока во второй части составляет  $3/4$  от  $I_0$ , поэтому:

$$B_2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{4} B_0 = \frac{3}{16} B_0$$

В итоге получим:

$$B_0 = B_1 - B_2 = \frac{3}{16} B_0 - \frac{3}{16} B_0 = 0$$

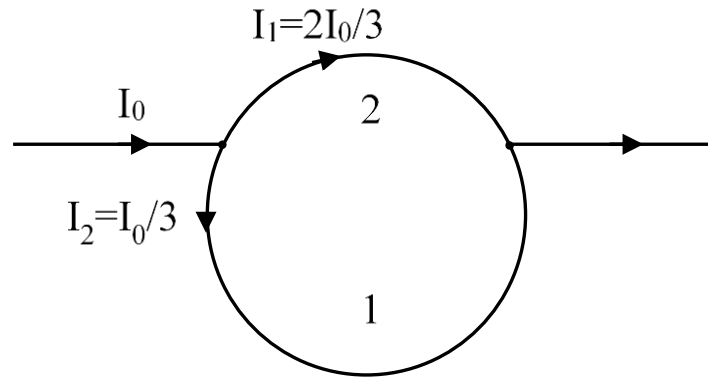
**Ответ: 3) 0**

22.2 Из тонкой однородной проволоки сделано кольцо в форме окружности. Если пропустить по кольцу ток  $I_0$ , поле в центре кольца имеет магнитную индукцию  $B_0$ . Кольцо подключили проводами к батарее таким образом, что точки подсоединения проводов делят кольцо в отношении 2:1. При помощи реостата ток через батарею установили снова  $I_0$ . Какой будет теперь магнитная индукция в центре кольца?

- 1)  $2B_0/9$       2)  $B_0$       3)  $0$       4)  $4B_0/9$       5)  $B_0/3$

**Решение:**

По условию задачи точки подсоединения проводов делят кольцо в отношении 2:1. Следовательно сопротивления двух частей кольца также будут относиться как 2:1. В результате через короткую часть кольца пойдет ток  $2I_0/3$ , а через длинную –  $I_0/3$  (см. рис.).



Векторы магнитной индукции от двух частей кольца с током в центре кольца будут направлены в разные стороны, поэтому:

$$B_0 = B_1 - B_2$$

Известно, что ток  $I_0$ , текущий по всему кольцу, создает поле  $B_0$ . Вклад в это поле вносят все маленькие кусочки кольца (элементарные отрезки с током). Поскольку длина первой части составляет  $2/3$  от длины всего кольца, а сила тока в первой части составляет  $1/3$  части от  $I_0$ , то:

$$B_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} B_0 = \frac{2}{9} B_0$$

Длина второй части составляет  $1/3$  от длины всего кольца, а сила тока во второй части составляет  $2/3$  от  $I_0$ , поэтому:

$$B_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3} B_0 = \frac{2}{9} B_0$$

В итоге получим:

$$B_0 = B_1 - B_2 = \frac{2}{9} B_0 - \frac{2}{9} B_0 = 0$$

**Ответ: 3) 0**

23.1 Определите отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в тот момент, когда сила тока в колебательном LC -контуре в два раза меньше амплитудного значения.

1) 1/3      2) 3      3) 1/2      4) 1      5) 2

**Решение:**

По условию задачи  $I = I_0/2$ . Тогда энергия магнитного поля катушки в данный момент времени:

$$W_{\text{магн}} = \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_0^2}{8}$$

Энергия электрического поля конденсатора в данный момент времени составит:

$$W_{\text{эл}} = \frac{LI_0^2}{2} - \frac{LI_0^2}{8} = \frac{3LI_0^2}{8}$$

Таким образом:

$$\frac{W_{\text{магн}}}{W_{\text{эл}}} = \frac{1}{3}$$

**Ответ:** 1) 1/3

23.2 Определите отношение энергии электрического поля конденсатора к энергии магнитного поля катушки в колебательном LC –контуре в тот момент, когда сила тока в контуре в 2 раза меньше амплитудного значения.

- 1) 1/3      2) 3      3) 1/2      4) 1      5) 2

**Решение:**

По условию задачи  $I = I_0/2$ . Тогда энергия магнитного поля катушки в данный момент времени:

$$W_{\text{магн}} = \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_0^2}{8}$$

Энергия электрического поля конденсатора в данный момент времени составит:

$$W_{\text{эл}} = \frac{LI_0^2}{2} - \frac{LI_0^2}{8} = \frac{3LI_0^2}{8}$$

Таким образом:

$$\frac{W_{\text{эл}}}{W_{\text{магн}}} = 3$$

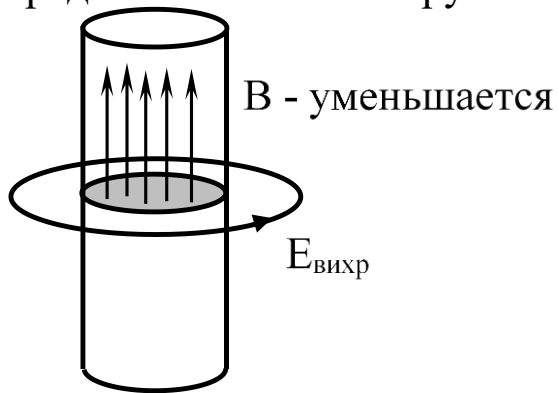
**Ответ: 2) 3**

24.1 На расстоянии  $r > R$  от оси длинного цилиндрического соленоида с током ( $R$  – радиус соленоида) находится положительно заряженная частица (см. рис., частица и ось соленоида лежат в плоскости чертежа). Ток через соленоид отключают. В каком направлении начнет двигаться частица?

- 1) Параллельно оси соленоида  $z$
- 2) В положительном направлении оси  $x$
- 3) **Перпендикулярно плоскости рисунка**
- 4) Останется в состоянии покоя
- 5) В отрицательном направлении оси  $x$

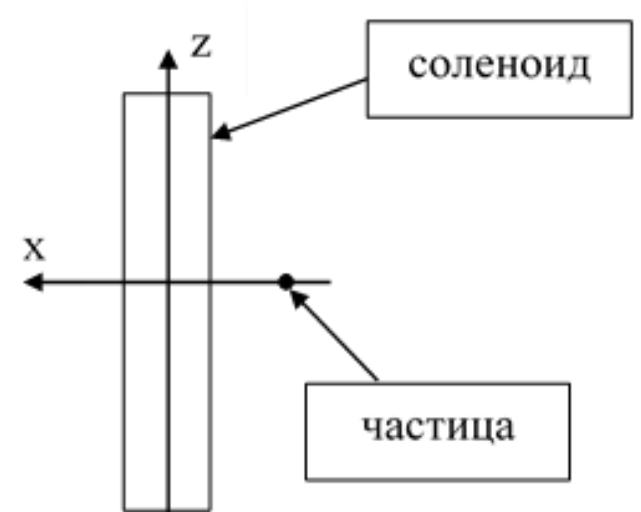
**Решение:**

При выключении магнитного поля, направленного вдоль оси соленоида, появится вихревое электрическое поле, линии напряженности которого будут представлять собой окружности с центром на оси соленоида.



В результате на заряженную частицу будет действовать сила, перпендикулярная плоскости рисунка.

**Ответ: 3) Перпендикулярно плоскости рисунка**

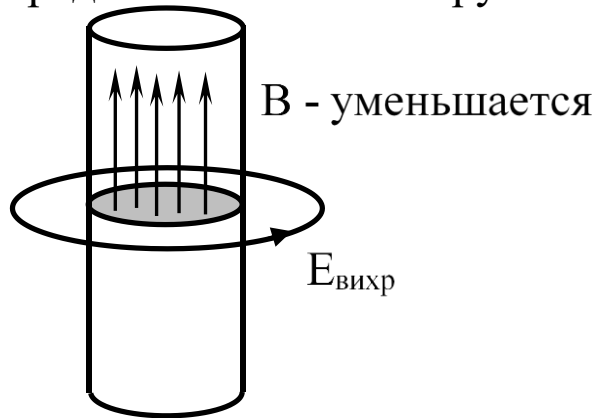


24.2 На расстоянии  $r > R$  от оси длинного цилиндрического соленоида с током ( $R$  – радиус соленоида) находится отрицательно заряженная частица (см. рис., частица и ось соленоида лежат в плоскости чертежа). Ток через соленоид отключают. В каком направлении начнет двигаться частица?

- 1) Параллельно оси соленоида  $z$
- 2) В положительном направлении оси  $x$
- 3) **Перпендикулярно плоскости рисунка**
- 4) Останется в состоянии покоя
- 5) В отрицательном направлении оси  $x$

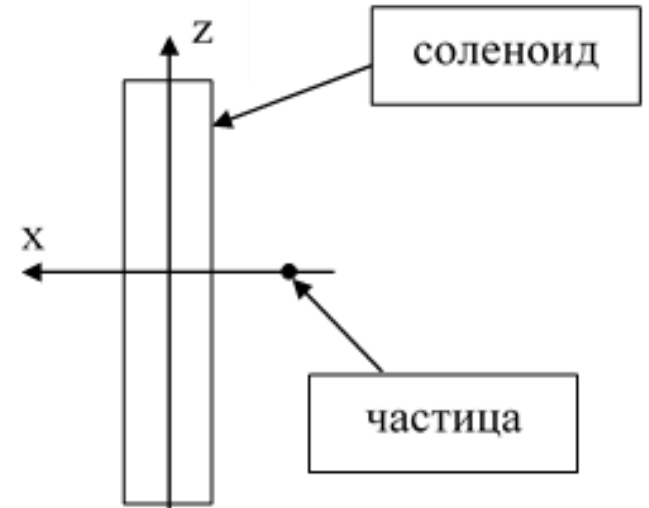
**Решение:**

При выключении магнитного поля, направленного вдоль оси соленоида, появится вихревое электрическое поле, линии напряженности которого будут представлять собой окружности с центром на оси соленоида.



В результате на заряженную частицу будет действовать сила, перпендикулярная плоскости рисунка.

**Ответ: 3) Перпендикулярно плоскости рисунка**



25.1 Предмет находится на расстоянии 0,1 м от переднего фокуса линзы. На экране, расположенном на расстоянии 0,4 м от заднего фокуса линзы, получается четкое изображение предмета. Определите линейное поперечное увеличение линзы.

1) 4      2) 3/2      3) 3      4) 5/2      5) 2

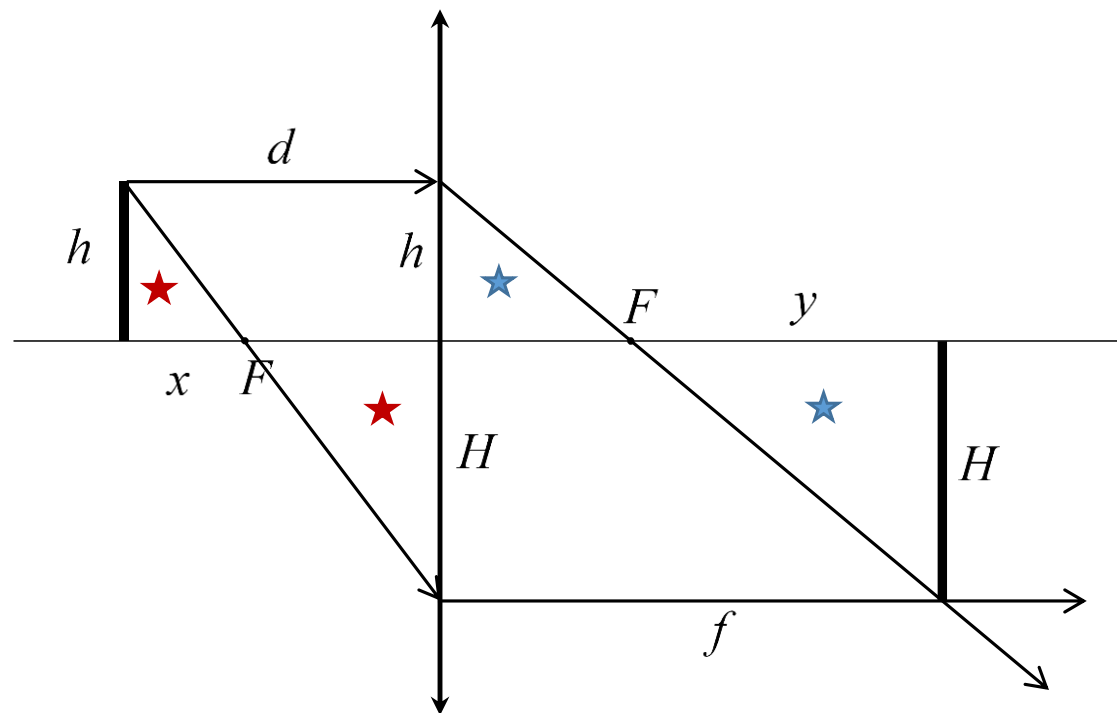
**Решение:**

Обозначим заданные расстояния  $x=0,1$  м и  $y=0,4$  м. Задачу удобно решить геометрически (см. рис.).

$$\begin{cases} \frac{H}{h} = \frac{F}{x} \\ \frac{H}{h} = \frac{y}{F} \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{x} = \frac{y}{F}$$

$$F^2 = xy \Rightarrow F = \sqrt{xy} = 0,2 \text{ (м)}$$

$$\Gamma = \frac{F}{x} = \frac{0,2}{0,1} = 2$$



**Ответ: 5) 2**

25.2 Предмет находится на расстоянии 2 см от переднего фокуса линзы. На экране, расположенном на расстоянии 18 см от заднего фокуса линзы, получается четкое изображение предмета. Определите линейное поперечное увеличение линзы.

- 1) 8      2) 9      3) 6      **4) 3**      5) 4

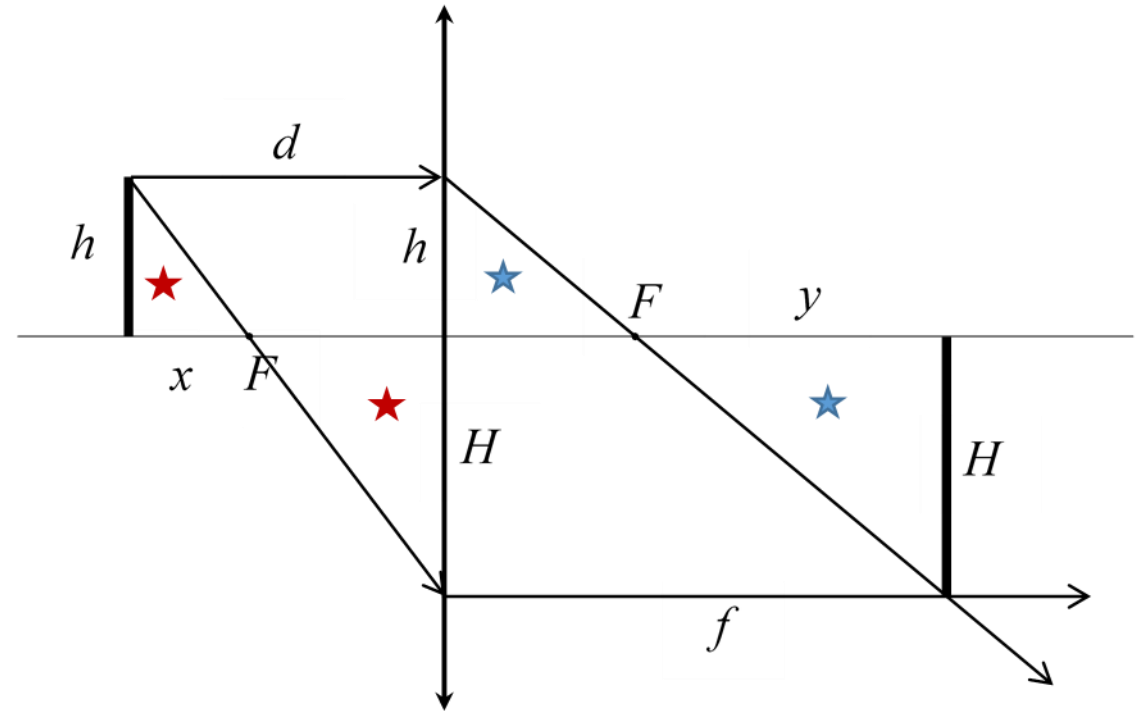
**Решение:**

Обозначим заданные расстояния  $x=2$  см и  $y=18$  см. Задачу удобно решить геометрически (см. рис.).

$$\begin{cases} \frac{H}{h} = \frac{F}{x} \\ \frac{H}{h} = \frac{y}{F} \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{x} = \frac{y}{F}$$

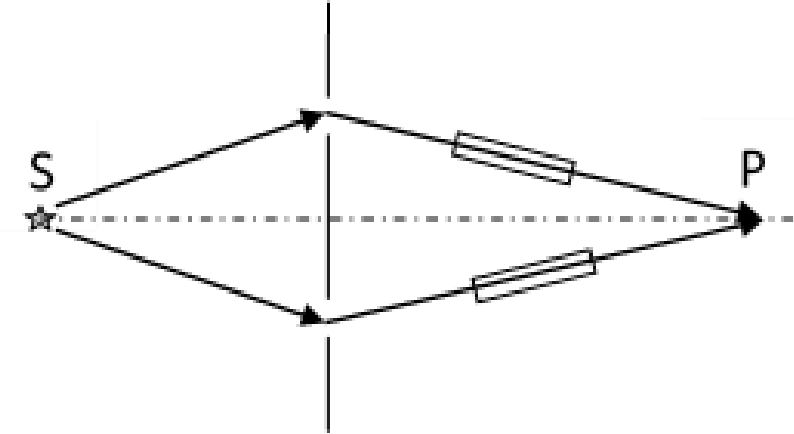
$$F^2 = xy \Rightarrow F = \sqrt{xy} = 6 \text{ (см)}$$

$$\Gamma = \frac{F}{x} = \frac{6}{2} = 3$$



**Ответ: 4) 3**

26.1 Интерференция света от двух малых отверстий в непрозрачном экране наблюдается в точке Р (см. рис.). Позади отверстий на пути лучей поставлены одинаковые кюветы, наполненные воздухом при одинаковом начальном давлении. При изменении давления в одной из кювет изменение интенсивности света в точке Р имеет осциллирующий характер. Определите разность давлений  $\Delta P$  газа в кюветах, при которой в точке Р наступает второй минимум интенсивности, если 1-й минимум интенсивности света наступает при разности давлений  $\Delta P_1 = 10^{-3}$  мм. рт. ст. Показатель преломления воздуха прямо пропорционален его давлению.



- 1)  $1,5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.    2)  $2 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.    3)  $4 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.  
**4)  $3 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.**    5)  $2,5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.

**Решение:**

По условию задачи:

$$n = CP$$

Пусть  $L$  – длина кювет. Тогда оптическая разность хода, возникающая при изменении давления в одной из кювет:

$$\Delta_{opt} = n_2 L - n_1 L = (n_2 - n_1) L = \Delta n L = CL \Delta P$$

В первом случае (1-ый минимум интенсивности):

$$\Delta_{1opt} = \frac{\lambda}{2}$$

Во втором случае (2-ой минимум интенсивности):

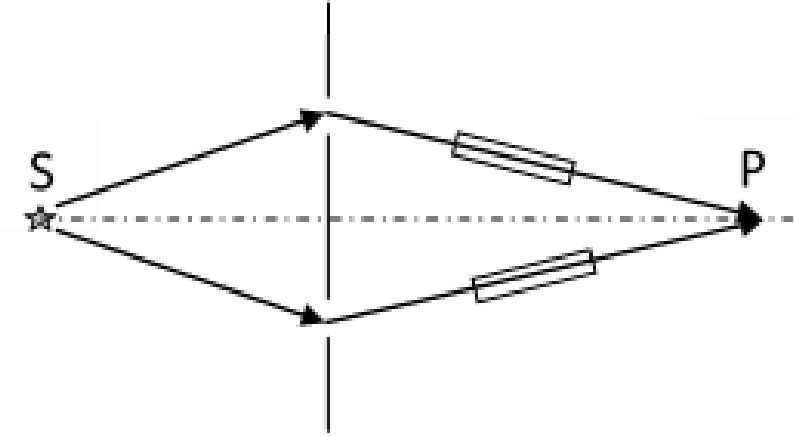
$$\Delta_{2opt} = \frac{3\lambda}{2}$$

В итоге получим:

$$\begin{cases} \frac{\lambda}{2} = CL \Delta P_1 \\ \frac{3\lambda}{2} = CL \Delta P_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = 3 \Rightarrow \Delta P_2 = 3 \Delta P_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ (мм рт. ст.)}$$

**Ответ: 4)  $3 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.**

26.1 Интерференция света от двух малых отверстий в непрозрачном экране наблюдается в точке Р (см. рис.). Позади отверстий на пути лучей поставлены одинаковые кюветы, наполненные воздухом при одинаковом начальном давлении. При изменении давления в одной из кювет изменение интенсивности света в точке Р имеет осциллирующий характер. Определите разность давлений  $\Delta P$  газа в кюветах, при которой в точке Р наступает третий минимум интенсивности, если 1-й минимум интенсивности света наступает при разности давлений  $\Delta P_1 = 10^{-3}$  мм. рт. ст. Показатель преломления воздуха прямо пропорционален его давлению.



- 1)  $1,5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.      2)  $2 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.      3)  $4 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.  
**4)  $3 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.**      5)  $2,5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.

**Решение:**

По условию задачи:

$$n = CP$$

Пусть  $L$  – длина кювет. Тогда оптическая разность хода, возникающая при изменении давления в одной из кювет:

$$\Delta_{opt} = n_2 L - n_1 L = (n_2 - n_1) L = \Delta n L = CL \Delta P$$

В первом случае (1-ый минимум интенсивности):

$$\Delta_{1opt} = \frac{\lambda}{2}$$

Во втором случае (3-й минимум интенсивности):

$$\Delta_{2opt} = \frac{5\lambda}{2}$$

В итоге получим:

$$\begin{cases} \frac{\lambda}{2} = CL \Delta P_1 \\ \frac{5\lambda}{2} = CL \Delta P_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = 5 \Rightarrow \Delta P_2 = 5 \Delta P_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ (мм рт. ст.)}$$

**Ответ: 5)  $5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.**

27.1 Для некоторой длины волны дифракционный максимум третьего порядка наблюдается под углом  $45^\circ$ . Сколько всего максимумов наблюдается на экране? Свет падает на решетку нормально.

- 1) 9      2) 3      3) 6      4) 7      5) 4

**Решение:**

Из формулы, определяющей положения главных максимумов дифракционной решетки, следует:

$$d \sin \alpha = k\lambda \quad \Rightarrow \quad d \sin 45^\circ = 3\lambda \quad \Rightarrow \quad d = 4,24\lambda$$

Номер последнего максимума определяется условием:

$$k_{\max} = \frac{d \sin \alpha}{\lambda} < \frac{d}{\lambda} = \frac{4,24\lambda}{\lambda} = 4,24 \quad \Rightarrow \quad k_{\max} = 4$$

Таким образом, число наблюдаемых максимумов:

$$N = 2k_{\max} + 1 = 9$$

**Ответ: 1) 9**

27.2 Для некоторой длины волны дифракционный максимум третьего порядка наблюдается под углом  $60^\circ$ . Сколько всего максимумов наблюдается на экране? Свет падает на решетку нормально.

- 1) 9      2) 3      3) 6      **4) 7**      5) 4

**Решение:**

Из формулы, определяющей положения главных максимумов дифракционной решетки, следует:

$$d \sin \alpha = k\lambda \quad \Rightarrow \quad d \sin 60^\circ = 3\lambda \quad \Rightarrow \quad d = 3,46\lambda$$

Номер последнего максимума определяется условием:

$$k_{\max} = \frac{d \sin \alpha}{\lambda} < \frac{d}{\lambda} = \frac{3,46\lambda}{\lambda} = 3,46 \quad \Rightarrow \quad k_{\max} = 3$$

Таким образом, число наблюдаемых максимумов:

$$N = 2k_{\max} + 1 = 7$$

**Ответ: 4) 7**

28.1 Ширина запрещенной зоны в PbS составляет 0,37 эВ. На фотоприемник на основе этого соединения падает излучение с длинами волн 1 мкм, 2 мкм, 3 мкм. Излучение с какими длинами волн из перечисленных выше может зарегистрировать приемник?

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

**Решение:**

Приемник регистрирует излучение, если энергия фотона больше ширины запрещенной зоны. При поглощении такого фотона электрон из валентной зоны перейдет в зону проводимости. Проводимость полупроводника увеличится, т.е. мы получим отклик приемника на излучение.

Пусть  $\Delta E = 0,37$  эВ – ширина запрещенной зоны. Найдем длину волны фотона, при которой произойдет переход электрона в зону проводимости:

$$E_{\text{фотона}} > \Delta E \quad \Rightarrow \quad \frac{hc}{\lambda} > \Delta E \quad \Rightarrow \quad \lambda < \frac{hc}{\Delta E} = 3,36 \text{ (мкм)}$$

**Ответ:** 1) 1 мкм, 2 мкм, 3 мкм

28.2 Ширина запрещенной зоны в CdSe составляет 1,7 эВ. На фотоприемник на основе этого соединения падает излучение с длинами волн 700 нм, 800 нм, 900 нм. Излучение с какими длинами волн из перечисленных выше может зарегистрировать приемник?

- 1) 700 нм, 800 нм, 900 нм
- 2) 700 нм, 800 нм
- 3) 800 нм, 900 нм
- 4) 700 нм**
- 5) 900 нм

**Решение:**

Приемник регистрирует излучение, если энергия фотона больше ширины запрещенной зоны. При поглощении такого фотона электрон из валентной зоны перейдет в зону проводимости. Проводимость полупроводника увеличится, т.е. мы получим отклик приемника на излучение.

Пусть  $\Delta E = 1,7$  эВ – ширина запрещенной зоны. Найдем длину волны фотона, при которой произойдет переход электрона в зону проводимости:

$$E_{\text{фотона}} > \Delta E \quad \Rightarrow \quad \frac{hc}{\lambda} > \Delta E \quad \Rightarrow \quad \lambda < \frac{hc}{\Delta E} = 731(\text{нм})$$

**Ответ: 4) 700 нм**

29.1 На неподвижный невозбужденный атом водорода налетает другой невозбужденный атом водорода. Какова должна быть минимальная энергия налетающего атома, для того, чтобы в результате столкновения мог излучиться фотон, соответствующий серии Бальмера? Энергия ионизации атома водорода  $E_0$ .

- 1)  $8E_0/9$       2)  **$16E_0/9$**       3)  $3E_0/4$       4)  $2E_0/3$       5)  $3E_0/2$

**Решение:**

Серия Бальмера – спектральная серия атома водорода, наблюдающаяся при переходах электрона на второй уровень энергии с вышележащих.

Для того, чтобы мог излучиться фотон серии Бальмера, при соударении атомов водорода электрон одного из атомов должен как минимум перейти на третий уровень, т.е. энергия электрона должна увеличиться на величину:

$$\Delta E = E_3 - E_1 = \frac{E_0}{1^2} - \frac{E_0}{3^2} = \frac{8}{9} E_0$$

При соударении во внутреннюю энергию должна перейти энергия  $\Delta E = 8E_0/9$ . При соударении во внутреннюю энергию не может перейти вся энергия налетающего атома. Наибольший переход энергии во внутреннюю будет наблюдаться при неупругом соударении атомов. Запишем законы сохранения импульса и энергии для неупругого соударения двух атомов водорода, один из которых до удара покоился:

$$\begin{cases} mV = 2mu \\ \frac{mV^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \Delta E \end{cases} \Rightarrow \Delta E = \frac{mV^2}{4}$$

Тогда минимальная кинетическая энергия налетающего атома водорода:

$$E = \frac{mV^2}{2} = 2\Delta E = \frac{16E_0}{9}$$

**Ответ: 2)  $16E_0/9$**

29.2 На неподвижный невозбужденный атом водорода налетает другой невозбужденный атом водорода. Какова должна быть минимальная энергия налетающего атома, для того, чтобы в результате столкновения мог излучиться фотон? Потенциал ионизации атома водорода  $E_0$ .

- 1)  $8E_0/9$       2)  $16E_0/9$       3)  $3E_0/4$       4)  $2E_0/3$       5)  $3E_0/2$

**Решение:**

Для того, чтобы мог излучиться фотон, при соударении атомов водорода электрон одного из атомов должен как минимум перейти на второй уровень, т.е. энергия электрона должна увеличиться на величину:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_0}{1^2} - \frac{E_0}{2^2} = \frac{3}{4} E_0$$

При соударении во внутреннюю энергию должна перейти энергия  $\Delta E = 3E_0/4$ . При соударении во внутреннюю энергию не может перейти вся энергия налетающего атома. Наибольший переход энергии во внутреннюю будет наблюдаться при неупругом соударении атомов. Запишем законы сохранения импульса и энергии для неупругого соударения двух атомов водорода, один из которых до удара покоился:

$$\begin{cases} mV = 2mu \\ \frac{mV^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \Delta E \end{cases} \Rightarrow \Delta E = \frac{mV^2}{4}$$

Тогда минимальная кинетическая энергия налетающего атома водорода:

$$E = \frac{mV^2}{2} = 2\Delta E = \frac{3E_0}{2}$$

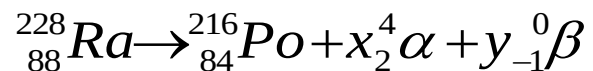
**Ответ: 5)  $3E_0/2$**

30.1 Радий  ${}^{228}_{88}\text{Ra}$  в результате радиоактивного распада или последовательности нескольких распадов превращается в полоний  ${}^{216}_{84}\text{Po}$ . Сколько всего было распадов? Последовательность может состоять только из двух типов распадов -  $\alpha$  или  $\beta^-$ .

- 1) 2      2) 4      3) 5      4) 1      5) 3

**Решение:**

Пусть  $x$  – число  $\alpha$ -распадов,  $y$  – число  $\beta$ -распадов. Тогда:



Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 88 = 84 + 2x - y \\ 228 = 216 + 4x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 3 \\ y = 2 \end{cases} \Rightarrow x + y = 5$$

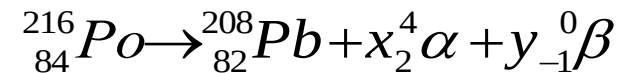
**Ответ: 3) 5**

30.2 Полоний  ${}^{216}_{84}\text{Po}$  в результате радиоактивного распада или последовательности нескольких распадов превратился в свинец  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ . Сколько всего было распадов? Последовательность состояла только из двух типов распадов -  $\alpha$  или  $\beta^-$ .

- 1) 2      2) 4      3) 5      4) 1      5) 3

**Решение:**

Пусть  $x$  – число  $\alpha$ -распадов,  $y$  – число  $\beta$ -распадов. Тогда:



Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 84 = 82 + 2x - y \\ 216 = 208 + 4x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 2 \\ y = 2 \end{cases} \Rightarrow x + y = 4$$

**Ответ: 2) 4**