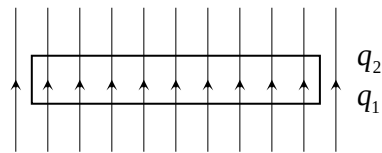


**Всероссийский конкурс научных работ школьников «Юниор»,
профиль «Инженерные науки»,
Решения и критерии оценивания задач олимпиадной части финала конкурса
2025-2026 учебного года, 11 класс
Олимпиада по физике**

1. Металлическая пластинка площадью S заряжена положительным зарядом Q и помещена в однородное электрическое поле напряженности $\vec{E}$, перпендикулярное пластинке. Найти заряды q_1 и



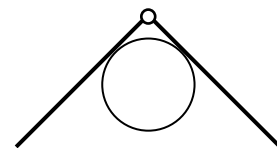
q_2 , индуцированные на поверхностях пластинки (q_1 - на той стороне пластинки, в которую входят силовые линии внешнего поля, q_2 - на той стороне пластинки, откуда силовые линии выходят; см. рисунок). Краевыми эффектами пренебречь.

2. Тело массой m , брошенное под углом к горизонту, имеет в верхней точке траектории ускорение $a = 6g/5$ (g - ускорение свободного падения). Определить силу сопротивления воздуха в этой точке.

3. Льдинка привязана веревкой ко дну цилиндрического сосуда и плавает, полностью находясь в воде. Площадь сосуда $S = 7 \text{ см}^2$. При таянии льдинки уровень воды в сосуде понизился на $\Delta h = 0,5 \text{ см}$. Какой была сила натяжения нити до таяния льдинки? Плотность воды $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$. Считать, что $g = 10 \text{ м/с}^2$.

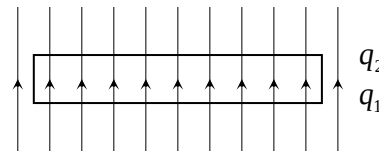
4. С одноатомным идеальным газом проводят следующий замкнутый процесс 1-2-3-1. Процесс 1-2 – изотермическое расширение, в котором газу сообщили количество теплоты $Q_{1-2} = q$. Процесс 2-3 – изобарическое сжатие, в котором у газа забрали количество теплоты $Q_{2-3} = (7/4)q$. Процесс 3-1 – изохорическое нагревание до первоначального состояния. Найти количество теплоты, полученное газом в изохорическом процессе 3-1, и термодинамический КПД цикла.

5. На гладкий горизонтальный цилиндр радиуса R сверху кладут два стержня длиной $4R$ каждый, которые скреплены с помощью шарнира. Шарнир находится точно посередине цилиндра (см. рисунок). Найти угол между стержнями в равновесии, если трением можно пренебречь. Найти также силу, действующую на стержни со стороны шарнира. Трение между всеми поверхностями отсутствует.



Решения и критерии оценивания

1. Металлическая пластинка, заряженная положительным зарядом Q , помещена в однородное электрическое поле напряженности $\vec{E}$, перпендикулярное пластинке. Найти заряды q_1 и q_2 , индуцированные на поверхностях пластинки (q_1 - на той стороне пластинки, в которую входят силовые линии внешнего поля, q_2 - на той стороне пластинки, откуда силовые линии выходят). Краевыми эффектами пренебречь.



1. Из закона сохранения электрического заряда и условия равенства нулю напряженности поля внутри пластинки имеем

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= Q \\ \frac{q_1}{2S\epsilon_0} - \frac{q_2}{2S\epsilon_0} + E &= 0 \end{aligned}$$

где S - площадь пластинки, ϵ_0 - электрическая постоянная. Решая систему уравнений, получим

$$q_1 = \frac{Q}{2} - S\epsilon_0 E, \quad q_2 = \frac{Q}{2} + S\epsilon_0 E.$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Использование формулы для напряженности поля равномерно заряженной плоскости – 1 балл
2. Использование закона сохранения заряда – 1 балл
3. Правильная система уравнений для зарядов сторон пластинки – 1 балл
4. Правильный ответ для q_1 – 1 балл
5. Правильный ответ для q_2 – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Поскольку сила сопротивления среды направлена противоположно скорости тела, движущегося в этой среде, в верхней точке траектории она направлена горизонтально. Поэтому равнодействующая сил тяжести и сопротивления воздуха равна

$$\sqrt{(mg)^2 + (F_c)^2},$$

а из второго закона Ньютона находим ускорение тела:

$$ma = \sqrt{(mg)^2 + (F_c)^2}.$$

Решая это уравнение относительно силы сопротивления, и учитывая, что по условию $a = 6g/5$, получим:

$$F_c = \frac{\sqrt{11}}{5} mg.$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

1. Правильно определено направление силы сопротивления воздуха в верхней точке – 1 балл
2. Правильно найдена равнодействующая сил тяжести и сопротивления – 1 балл

3. Правильный второй закон Ньютона для тела в верхней точке – 1 балл
 4. Правильный ответ для силы сопротивления – 1 балл
 5. Правильный ответ для направления силы сопротивления – 0,5 балла
 Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.

3. Пусть объем льдинки V , а плотность льда ρ . Вниз на льдинку действуют сила тяжести $mg = \rho g V$ (m - масса льдинки) и сила натяжения нити T , вверх – выталкивающая сила Архимеда $\rho_0 g V$. Тогда условие равновесия льдинки в воде дает

$$\rho V g + T = \rho_0 V g \quad \text{или} \quad T = (\rho_0 - \rho) V g. \quad (*)$$

С другой стороны, при таянии льдинки она превратится в воду такой же массы, как и льдинка. Поэтому объем V_0 воды, получившийся при таянии льдинки, можно найти как

$$\rho_0 V_0 = \rho V \quad \Rightarrow \quad V_0 = \frac{\rho}{\rho_0} V \quad (**)$$

Поскольку плотность льда меньше плотности воды, $V_0 < V$, и, следовательно, при таянии льдинки, полностью погруженной в воду, уровень воды опустится. Величину опускания уровня можно найти из очевидного условия

$$S \Delta h = V - V_0 \quad \Rightarrow \quad \Delta h = \frac{V - V_0}{S}$$

где S - площадь сечения сосуда. Используя формулу (**), получим

$$\Delta h = \frac{V(\rho_0 - \rho)}{S \rho_0}. \quad (***)$$

Деля формулы (*) и (***) друг на друга, найдем

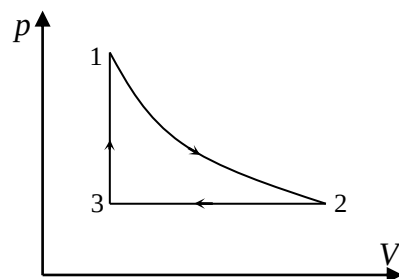
$$T = \rho_0 S \Delta h g = 35 \text{ мН.}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

1. Правильное условие равновесия для льдинки на нити – 1 балл
 2. Использование правильной формулы для силы Архимеда – 1 балл
 3. Правильно найден объем получившейся при таянии льдинки воды – 1 балл
 4. Правильное выражения для опускания уровня воды при таянии льдинки – 1 балл
 5. Правильный ответ для силы натяжения нити – 1 балл
 Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.

4. Поскольку изменение внутренней энергии газа в изобарическом процессе составляет $3/5$ от количества теплоты, полученного газом в этом процессе, то для изменения температуры газа в процессе 2-3 имеем

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{2-3} = -\frac{3}{5} Q_{2-3} = -\frac{21}{20} q$$



(минус в этой формуле появился потому, что данное в условии количество теплоты Q_{2-3} - это количество взятой у газа теплоты). Здесь ν - количество вещества (число молей газа), R - универсальная газовая постоянная. Отсюда находим

$$\Delta T_{2-3} = -\frac{7}{10} \frac{q}{\nu R}$$

Процесс 1-2 – изотермический, поэтому изменение температуры газа в процессе 3-1 по модулю равно изменению температуры газа в процессе 2-3

$$\Delta T_{3-1} = -\Delta T_{2-3}$$

А поскольку количество теплоты, полученное газом в изохорическом процессе равно изменению его внутренней энергии, находим

$$Q_{3-1} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{3-1} = \frac{21}{20} q$$

Найдем КПД цикла. Газ получает от нагревателя за цикл количество теплоты

$$Q_{\text{н}} = Q_{3-1} + Q_{1-2} = \frac{41}{20} q,$$

а отдает холодильнику количество теплоты

$$Q_{\text{х}} = Q_{2-3} = \frac{7}{4} q$$

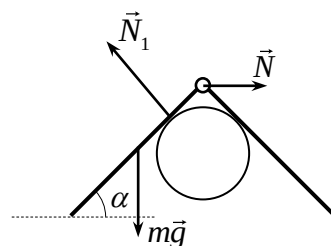
Поэтому КПД цикла равен

$$\eta = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{\frac{41}{20} q - \frac{7}{4} q}{\frac{41}{20} q} = \frac{6}{41} = 14,6\%$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильная связь количество теплоты, отданного газом в изобарическом процессе, и изменения его внутренней энергии - 1 балл
 2. Правильное утверждение, что изменение внутренней энергии газа в процессах 2-3 и 3-1 одинаковы по модулю – 1 балл.
 3. Правильный ответ для количество теплоты, полученного газом при изохорическом нагревании – 1 балл
 4. Правильное определение КПД – 1 балл
 5. Правильный ответ для КПД цикла – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. На каждый стержень действуют – сила реакции шарнира $\vec{N}$, сила реакции со стороны цилиндра $\vec{N}_1$ и сила тяжести $m\vec{g}$ (m - масса каждого стержня). Причем сила реакции в шарнире может быть направлена только горизонтально, т.к. с одной стороны эти силы должны быть одинаковыми для двух стержней, а с другой по третьему закону Ньютона они противоположны по направлению (на рисунке



показаны силы, действующие на левый стержень). Поэтому

$$N_1 \cos \alpha = mg \quad (*)$$

Условие моментов относительно шарнира дает

$$mg \frac{l}{2} \cos \alpha = N_1 R \operatorname{tg} \alpha$$

Используя формулу (*), получим

$$2 \cos \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Умножая правую часть на основное тригонометрическое тождество

$$2 \cos \alpha = \frac{\sin \alpha (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}{\cos^2 \alpha}$$

и деля на $\cos \alpha$, получим

$$\operatorname{tg}^3 \alpha + \operatorname{tg} \alpha - 2 = 0$$

Группируя следующим образом слагаемые

$$(\operatorname{tg}^3 \alpha - 1) + (\operatorname{tg} \alpha - 1) = 0$$

и используя формулу разности кубов, получим

$$(\operatorname{tg} \alpha - 1)(\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg} \alpha + 2) = 0.$$

Квадратное уравнение не имеет корней, поэтому

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 45^\circ$$

Следовательно, угол между стержнями равен

$$180^\circ - 2\alpha = 90^\circ.$$

Теперь находим силу, действующую на каждый стержень со стороны шарнира. Имеем

$$N = N_1 \sin \alpha$$

Из формулы (*) и условия $\operatorname{tg} \alpha = 1$ получаем

$$N = mg \operatorname{tg} \alpha = mg.$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

1. Правильно определено направление силы реакции в шарнире – 1 балл
 2. Правильное условие моментов относительно шарнира – 1 балл
 3. Правильное уравнение для угла наклона стержней к горизонту – 1 балл.
 4. Правильный ответ для угла между стержнями – 1 балл
 5. Правильный ответ для силы реакции шарнира – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.

Оценка работы участника

Итоговая оценка работы равна сумме оценок за каждую задачу. Пересчет на 50-балльную шкалу осуществляется умножением итоговой оценки на 2.