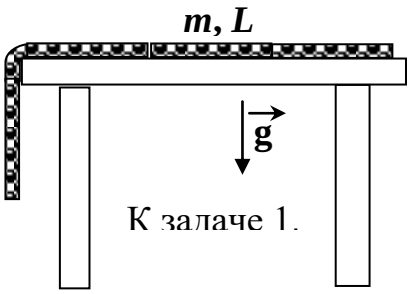
Всероссийская олимпиада школьников по физике. Муниципальный этап
Возможные решения задач 11 класса

Задача 1. Соскальзывание каната

Гибкий нерастяжимый канат массы ***m*** и длины ***L*** покоится на шероховатом горизонтальном столе, при этом свешивается четвертая часть его длины. От малого толчка канат начинает соскальзывать со стола. Какую скорость будет иметь канат, когда он полностью перейдет в вертикальное положение? Трением о край стола пренебречь**. (10 баллов)**



К задаче 1.

Возможное решение

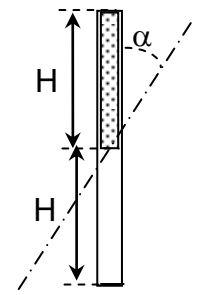
1) Из условия равновесия $\frac{1}{4}mg = \frac{3}{4}\mu mg$. Откуда $\mu = \frac{1}{3}$.
2) По закону изменения энергии $\Delta\frac{mv^2}{2} = \frac{mv^2}{2} = A_{mg} - \left|A_{трения}\right|$
3) Если канат соскользнул на расстояние ***x***, то сила тяжести вертикальной части $mg_x = \frac{m}{L}g\left(\frac{L}{4} + x\right)$. Она линейно зависит от *x*.
4) Тогда работа силы тяжести до достижения канатом вертикального положения $A_{mg} = mg_{средн} \cdot \frac{3}{4}L = \frac{15}{32}mgL$. Или этот результат можно получить, А)построив график зависимости силы тяжести от *x*, и вычислив площадь фигуры (трапеции) под графиком. Б)или подсчитать убыль потенциальной энергии, вертикальной части каната.
5) Зависимость силы трения от *x*: $F_{трения} = \mu mg(\frac{3}{4} - \frac{x}{L})$. Она тоже линейная функция *x*.
6) Работу силы трения можно вычислить графически или по среднему значению, аналогично пунктам 4 и 4А. $\left|A_{трения}\right| = \frac{9}{32}\mu mgL = \frac{3}{32}mgL$
7) Тогда из 2) с учетом 4) и 6) получим $v = \frac{\sqrt{3gL}}{2}$

Критерии оценивания

1. Пункт 1)	1 балл
2. Пункт 2)	1 балл
3. Пункт 3)	1 балл
4. Пункт 4)	2 балла
5. Пункт 5)	1 балл
6. Пункт 6)	2 балла
7. Пункт 7)	2 балла

Задача 2 Барометрическая трубка

Нижний конец вертикальной узкой трубки длиной 2H (см) запаян, верхний открыт в атмосферу. В нижней половине трубки находится идеальный газ, а верхняя половина заполнена ртутью. Трубку медленно наклоняют. При этом ртуть начинает выливаться из трубки. Определить зависимость длины столбика ртути h, находящегося в трубке, от угла наклона трубки α к вертикали. При каком угле наклона ртуть вся выльется из трубки. Капиллярными эффектами пренебречь. Атмосферное давление H см. ртутного столба. Процесс считать изотермическим. **(10 баллов)**



К задаче 2.

Возможное решение

1. Давление газа в вертикальной трубке $P_0=2\rho gH$, объем $V_0=HS$.
2. В наклоненной трубке $P_1=\rho g(H+h\cos\alpha)$, а объем $V_1=(2H-h)S$.
3. Из закона Бойля-Мариотта следует:

$$2H^2=(H+h\cos\alpha)(2H-h)$$

4. Откуда $h = H(2\cos\alpha-1)$ (тривиальное решение не представляет для нас интереса).

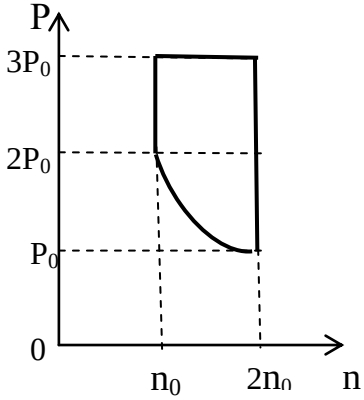
5, Искомый угол находится из условия h=0. При этом $\cos\alpha=0.5$, и $\alpha = 60^0$.

Критерии оценивания

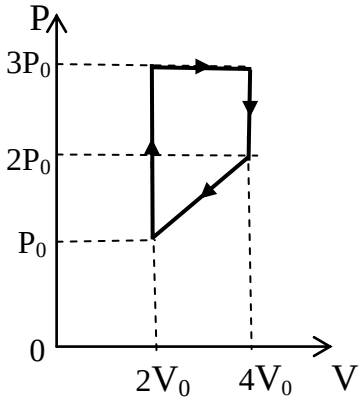
1. Пункт 1)	1 балл
2. Пункт 2)	4 балла
3. Пункт 3)	1 балл
4. Пункт 4)	2 балла
5. Пункт 5)	2 балла

Задача 3 Циклический процесс

Тепловая машина, рабочим веществом которой являются четыре моля одноатомного идеального газа, осуществляет циклический процесс, изображённый на графике зависимости давления газа P от его концентрации n. Три стороны этого цикла – отрезки прямых линий, а четвертая сторона – гипербола, кривая, описывающая процесс, при котором давление обратно пропорционально концентрации. Считая известными P_0 и n_0, определить работу газа за цикл и КПД цикла. **(10 баллов)**



Возможное решение



1) Изобразим этот цикл на плоскости (V,P), где обозначено $V_0 = \dfrac{N_A}{n_0}$. N_A – число Авогадро.
2) Работа газа за цикл численно равна площади цикла $A = 3P_0V_0 = \dfrac{3P_0N_A}{n_0}$.
3) Количество теплоты, сообщаемое газу при

изохорном нагревании

$$Q_V = \Delta U_V = \frac{3}{2} \cdot 2P_0 2V_0 = 6P_0V_0 = \frac{6P_0N_A}{n_0}.$$

4) Количество теплоты, сообщаемое газу при изобарном расширении

5) $Q_P = \Delta U_P + A_P = \frac{3}{2} \cdot 3P_0 \cdot 2V_0 + 3P_0 \cdot 2V_0 = 15P_0V_0 = \frac{15P_0N_A}{n_0}.$

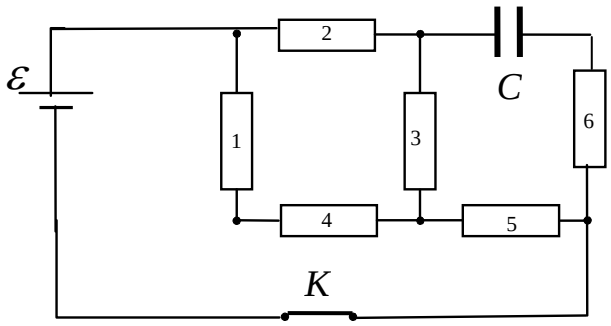
5) КПД цикла $\eta = \frac{A}{Q_V + Q_P} = \frac{1}{7}.$

Критерии оценивания

1. За правильный рисунок пункта 1)	3 балла
2. Пункт 2)	2 балла
3. Пункт 3)	1 балл
4. Пункт 4)	2 балла
5. Пункт 5)	2 балла

Задача 4. Выделение тепла в цепи.

Электрическая схема содержит шесть одинаковых резисторов, источник тока с ЭДС равной $\mathcal{E}$, конденсатор ёмкости C и ключ K. Элементы цепи соединены, как показано на рисунке. Вначале ключ K замкнут. Определить количество теплоты, которое выделится на резисторе 5 после размыкания ключа. **(10 баллов)**



К задаче 4

Возможное решение

Пусть сопротивление одного резистора – R.

1) Сила тока в замкнутой цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{1234} + R_5} = \frac{\mathcal{E}}{2R}.$

2) Напряжение на конденсаторе $U_C = U_3 + U_5 = \frac{I}{2}R + IR = \frac{3}{2}IR = \frac{3}{4}\mathcal{E}.$

3) Энергия заряженного конденсатора $W_C = \frac{CU_C^2}{2} = \frac{9}{32}C\mathcal{E}^2.$

4) После размыкания ключа токи через ветку 3-2-1-4 и через резисторы 5 и 6 – одинаковые. Следовательно, количества теплоты, выделяемые на этих участках (по закону Джоуля-Ленца) пропорциональны их сопротивлениям.

$Q_{3214} : Q_5 : Q_6 = \frac{3}{4} : 1 : 1.$ С другой стороны: $Q_{3214} + Q_5 + Q_6 = W_c$

5) Из последних формул находим $Q_5 = \frac{4}{11}W_c = \frac{9}{88}C\mathcal{E}^2.$

Критерии оценивания

1. Пункт 1) 1 балл
2. Пункт 2) 3 балла
3. Пункт 3) 1 балл
4. Пункт 4) 3 балла
5. Пункт 5) 2 балла

Задача 5. Кольцо в магнитном поле.

По тонкому диэлектрическому кольцу, радиуса ***R***, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, равномерно распределен заряд ***Q.*** Кольцо находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией ***B.*** Индукция начинает равномерно уменьшаться до нуля. Найти массу кольца, если к моменту исчезновения магнитного поля кольцо приобретает линейную скорость вращения v. **(10 баллов)**

Возможные решения

I ВАРИАНТ

1). При выключении магнитного поля возникает в пространстве вихревое электрическое поле, которое воздействует на заряды и раскручивает кольцо.

2).По закону электромагнитной индукции $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\pi R^2}{\tau}$, где τ – время исчезновения поля. Из закона изменения индукции ***B*** со временем вытекает, что ЭДС индукции – const.

3). Из определения ЭДС следует $\varepsilon_i = E_{вихр} 2\pi R$, где $E_{вихр}$ - напряжённость вихревого электрического поля.

4). По второму закону Ньютона для элемента кольца : $f = \Delta q E_{вихр} = \Delta m a_\tau$ или, суммируя по всему кольцу, $QE_{вихр} = ma_\tau$

5). Т.к. скорость $v = a_\tau \tau$, то с учетом 2), 3),4) получим $m = \frac{QBR}{2v}$

Критерии оценивания

1. Пункт 1) 1 балл
2. Пункт 2) 2 балла
3. Пункт 3) 3 балла
4. Пункт 4) 2 балла
5. Пункт 5) 2 балла

II ВАРИАНТ

1). При выключении магнитного поля возникает в пространстве вихревое электрическое поле, которое воздействует на заряды и раскручивает кольцо.

2).По закону электромагнитной индукции $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\pi R^2}{\tau}$, где τ–время исчезновения поля. Из закона изменения индукции со временем вытекает, что ЭДС индукции – const.

3). Из определения ЭДС следует, что работа вихревого поля (сторонних сил) $A_\Sigma = Q\varepsilon_i N$, где N- число оборотов кольца за время τ.

4). По формулам равнопеременного движения $N = \frac{v\tau}{2}\frac{1}{2\pi R}$

5). По теореме об изменении кинетической энергии $\frac{mv^2}{2} = A_\Sigma$

6). Из 5) с учетом 2), 3), 4) находим $m = \frac{QBR}{2v}$.

Критерии оценивания

1. Пункт 1)	1 балл
2. Пункт 2)	2 балла
3. Пункт 3)	2 балла
4. Пункт 4)	1 балл
5. Пункт 5)	1 балл
6. Пункт 6)	3 балла