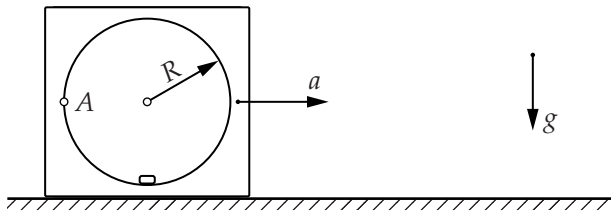


# 1-й отборочный тур

## 1. Шайба в полости и ускорение (3 балла)

На горизонтальной протяжённой плоскости находится брусок, в котором сделана шарообразная полость радиусом  $R = 0,2$  м (см. рисунок, представленный ниже). В нижней точке полости лежит маленькая шайба массой  $m = 0,1$  кг. Изначально система покоится. В некоторый момент брусок начинает двигаться горизонтально с ускорением  $a$  под действием внешней силы. Шайба при этом тоже приходит в движение. Трение в системе отсутствует. Ускорение свободного падения  $g$  считайте равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.



а) (1 балл) При каком минимальном значении  $a_{\min}$  ускорения бруска шайба в процессе движения достигнет точки  $A$ ? Ответ дайте в м/с<sup>2</sup>, округлите до целого.

б) (2 балла) Пусть ускорение бруска равно  $a = g\sqrt{3}$ . Определите силу, с которой шайба действует на брусок, когда она проходит точку  $A$ , лежащую на горизонтальном диаметре полости. Ответ дайте в ньютонах, округлите до целого.

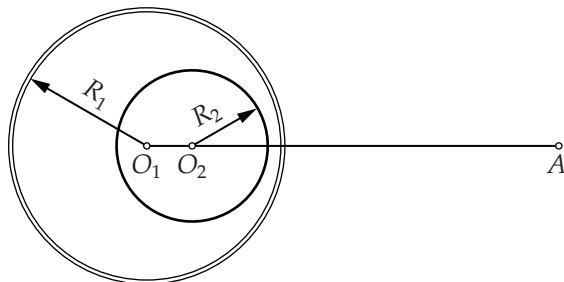
## 2. Треугольный цикл (2 балла)

Рабочим телом тепловой машины является идеальный двухатомный газ. Машина работает по циклу, состоящему из трёх процессов: нагревания при постоянном объёме, изобарного расширения и процесса, в котором давление изменяется пропорционально объёму. КПД этого цикла равен  $\frac{100\%}{31}$ . Определите отношение максимальной температуры газа в цикле к минимальной. Ответ округлите до целого.

## 3. Потенциалы (6 баллов)

Внутри сферической проводящей оболочки радиусом  $R_1 = 30$  см с центром в точке  $O_1$  располагается металлический шарик радиусом

$R_2 = 18$  см. Центр шарика находится в точке  $O_2$ , так что точка  $O_1$  оказывается лежащей внутри шарика, как показано на рисунке.

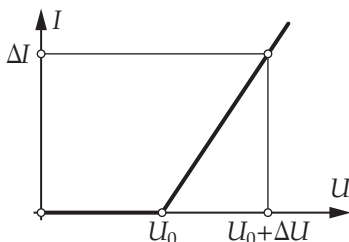
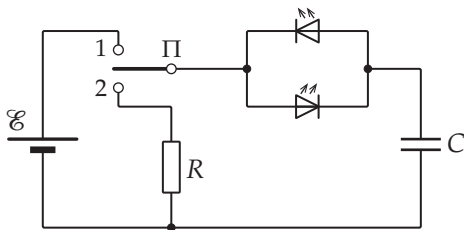


Заряды оболочки и шарика равны  $q_1 = 1$  нКл и  $q_2 = 2$  нКл соответственно, разность потенциалов шарика и оболочки равна  $U = 45$  В. Потенциал бесконечно удалённых точек равен нулю. Значение комбинации постоянных  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  можно считать равным  $9 \cdot 10^9$  (В · м)/Кл. Ответы на вопросы задачи дайте в вольтах, округлите до целого.

- а) (2 балла) Чему равен потенциал точки  $A$ , лежащей на расстоянии  $3R_1$  от центра сферической оболочки  $O_1$ ?
- б) (2 балла) Определите потенциал точки  $O_2$ .
- в) (2 балла) Найдите потенциал поля зарядов оболочки в точке  $O_2$ .

#### 4. Конденсатор и светодиоды (6 баллов)

В цепи, схема которой изображена на рисунке слева, конденсатор изначально не заряжен, обозначенные на схеме параметры считаются известными, переключатель  $\Pi$  находится в среднем положении. Вольт-амперная характеристика светодиода изображена на рисунке справа, при этом  $U_0 = \frac{\mathcal{E}}{5} = 1$  В,  $\Delta U = \Delta IR$ ,  $R = 10$  Ом.



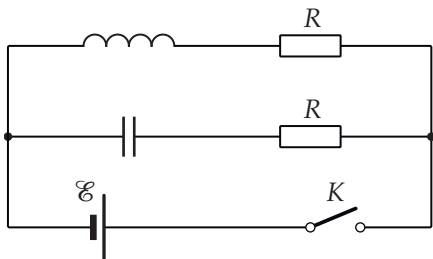
Переключатель перекидывают на короткое время  $\tau$  ( $\tau \ll RC$ ) в положение 1, а затем мгновенно на такое же время в положение 2. Эти две операции повторяют без остановки снова и снова.

а) (4 балла) Определите среднее напряжение на конденсаторе спустя длительное время после начала процесса. Ответ дайте в вольтах, округлите до целого.

б) (2 балла) Чему равна средняя мощность, выделяющаяся на светодиодах через большое время после начала процесса? Ответ дайте в Вт, округлите до десятых.

### 5. Неизвестные параметры (4 балла)

В цепи, схема которой представлена на рисунке, конденсатор изначально не заряжен, ключ разомкнут, внутреннее сопротивление батареи равно нулю. ЭДС батареи и сопротивление резистора равны  $\mathcal{E} = 5$  В и  $R = 5$  Ом соответственно. Ключ замыкают и ждут установления стационарного режима. При этом на резисторе, присоединённом к конденсатору, выделяется количество теплоты  $Q_1 = 25$  мкДж. После того как напряжение на конденсаторе и ток через катушку установятся, ключ размыкают, и за большое время после этого на резисторе, присоединённом к конденсатору, выделяется количество теплоты  $Q_2 = 25$  мкДж.



а) (2 балла) Найдите ёмкость конденсатора. Ответ дайте в мкФ, округлите до целого.

б) (2 балла) Чему равна индуктивность катушки? Ответ дайте в мкГн, округлите до целого.

## 6. Расстояние до зеркала (2 балла)

За линзой с оптической силой 5 дптр на расстоянии  $x$  от неё располагается плоское зеркало. Плоскости зеркала и линзы параллельны. На оптический центр линзы под малым углом к оптической оси падает луч света. Он проходит через линзу, отражается от зеркала и вторично проходит через линзу. Определите расстояние  $x$  от зеркала до линзы в двух случаях:

а) (1 балл) выходящий из системы луч распространяется параллельно главной оптической оси;

б) (1 балл) выходящий из системы луч распространяется параллельно падающему.

Ответы дайте в см, округлите до целых.

# 1-й отборочный тур

## Ответы

1. Перейдём в неинерциальную систему отсчёта, связанную с бруском. Сила инерции, возникающая в этой системе отсчёта, может быть учтена введением эффективного ускорения свободного падения  $\mathbf{g}_{\text{эфф}} = \mathbf{g} - \mathbf{a}$ . В условиях второго вопроса  $\mathbf{g}_{\text{эфф}}$  составляет угол  $\frac{\pi}{6}$  с горизонтом, при этом  $|\mathbf{g}_{\text{эфф}}| = 2g$ .

а)  $a_{\min} = g = 10 \text{ м/с}^2$ ; б)  $N = mg(3\sqrt{3} - 2) \approx 3 \text{ Н}$ .

2. Пусть отношение максимального давления к минимальному равно  $\alpha$ , тогда таким же будет и отношение максимального объёма к минимальному. Если минимальная температура равна  $T_0$ , то максимальная равна  $T_0\alpha^2$ , а КПД цикла даётся формулой  $\eta = \frac{(\alpha-1)}{5+7\alpha} \cdot 100\%$ . Подставляя данные в условия значения, находим  $\alpha = 1,5$ . Таким образом, искомое отношение равно  $\frac{T_{\max}}{T_{\min}} = \alpha^2 = 2,25 \approx 2$ .

3. а)  $\varphi_A = \frac{q_1+q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot 3R_1} \approx 30 \text{ В}$ ; б)  $\varphi_{O_2} = \frac{q_1+q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_1} + U \approx 135 \text{ В}$ ; в)  $\varphi'_{O_2} = \frac{q_1+q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_1} + U - \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_2} \approx 35 \text{ В}$ .

4. а) В квазистационарном режиме (который установится спустя длительное время после начала процесса) напряжение на конденсаторе  $U_C$  будет изменяться крайне незначительно. Поскольку переключатель одинаковое время находится в положениях 1 и 2, токи зарядки и разрядки конденсатора должны быть равны. Этот факт отражает уравнение

$$\frac{\mathcal{E} - U_0 - U_C}{R} = \frac{U_C - U_0}{2R},$$

решая которое находим искомое напряжение:  $U_C = \frac{2\mathcal{E} - U_0}{3} = \frac{3\mathcal{E}}{5}$ .

б) Средняя мощность, выделяющаяся на светодиодах, равна  $\langle P \rangle = (\mathcal{E} - U_C)I = \frac{(\mathcal{E} - U_C)(\mathcal{E} - U_C - U_0)}{R} = \frac{2\mathcal{E}^2}{25R} = 0,2 \text{ Вт}$ .

5. а)  $C = \frac{2Q_1}{\mathcal{E}^2} = 2 \text{ мкФ}$ ; б)  $L = \frac{2Q_2 - Q_1}{\mathcal{E}^2} \cdot 2R^2 = 50 \text{ мкГн}$ .

6. а)  $x = \frac{1}{2D} = 10 \text{ см}$ ; б)  $x = \frac{1}{D} = 20 \text{ см}$ .