



Условия задач, ответы и критерии оценивания

1. Измерение отклонений (10 баллов)

Крюков П. А.

Сопротивление терморезистора сильно зависит от температуры (график показан на рисунке), поэтому их используют в точных измерителях отклонения температуры ΔT от заданного значения T_0 .

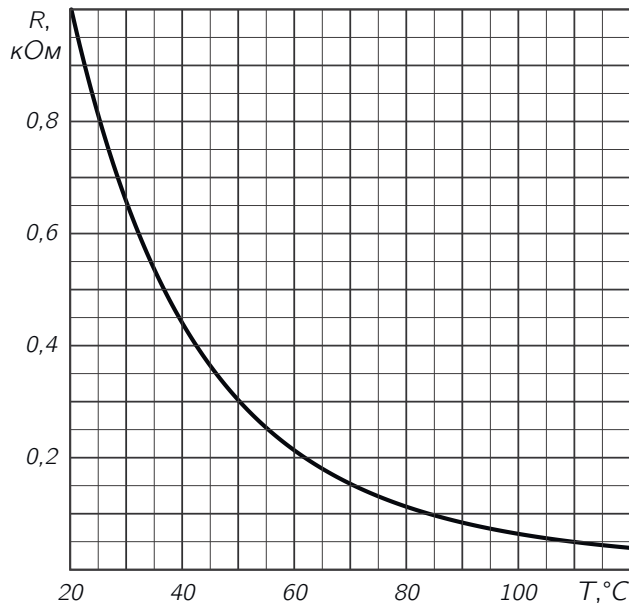
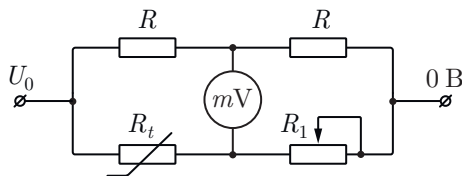


Схема измерителя показана на втором рисунке. Терморезистор обозначен R_t . Сопротивление переменного резистора R_1 можно изменять в диапазоне от 0 до 900 Ом. Выводы подключают к идеальному источнику с напряжением $U_0 = 6$ В. Перед началом измерения отклонения ΔT от температуры T_0 измеритель калибруют, подбирая сопротивление резистора R_1 так, чтобы идеальный стрелочный милливольтметр показывал ноль. В дальнейшем при изменении температуры на величину ΔT сопротивление терморезистора изменяется, милливольтметр показывает напряжение U .



1) Для температуры $T_0 = 50^\circ\text{C}$ определите зависимость $U(\Delta T)$, считая изменение сопротивления терморезистора малым. В области каких температур (высоких или низких) измеритель обеспечивает меньшую относительную погрешность измерения? (7 баллов)

Примечание. Может оказаться полезной приближённая формула $(1+x)^{-1} \approx 1-x$, справедливая для малых x ($x \ll 1$).

2) В каком диапазоне температур может работать данный измеритель, если нежелательно, чтобы на терморезисторе выделялась тепловая мощность больше $P_0 = 0,15$ Вт? (3 балла)

2. Мальчик с шариком (10 баллов)

Варламов С. Д., Крюков П. А.

Мальчик Влад бегает по кругу, держа в руке конец нитки длиной $2\sqrt{2}$ м, к другому концу которой прикреплен небольшой надувной шарик с гелием внутри. Один круг Влад пробегает за 2π секунд. Рука, держащая нить, движется по окружности радиусом 2 м. Шарик движется по окружности такого же радиуса на 2 метра выше руки по вертикали. С какой установившейся скоростью будет взлетать шарик, если нить отпустить.

Можно считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости, а радиус шарика много меньше длины нити. Ускорение свободного падения равно $g = 10$ м/с².

3. Эолипил (10 баллов)

Ромашка М. Ю.

Эолипил (паровой двигатель, изобретённый в Древней Греции) представляет собой металлический котёл с двумя трубками на крышке, на которых, как на оси, может вращаться турбина в виде полого шара с двумя одинаковыми Г-образными патрубками (соплами). В котел заливают воду, герметично закрывают его и ставят на огонь. Образовавшийся при кипении водяной пар по трубкам поступает в шар и выходит с большой скоростью через сопла, заставляя шар вращаться (см. рисунок из «Википедии»). Пусть мощность подвода тепла к воде равна $P = 1$ кВт, площадь сечения патрубка $S = 0,1$ см², а расстояние от сопла до оси вращения $d = 10$ см. Считайте, что из сопла выходит насыщенный пар при атмосферном давлении, равном $p_0 = 10^5$ Па. Трением в оси и сопротивлением воздуха можно пренебречь.

1) Определите момент сил, действующих на шар со стороны пара, если шар зафиксирован.



2) Какое максимальное количество оборотов в минуту будет делать шар, если ему позволить свободно вращаться?

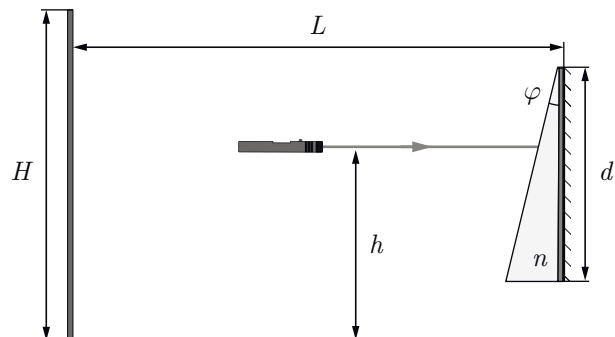
4. Автомобильное зеркало (10 баллов)

Бычков А. И.

При падении света на границу раздела воздух-стекло (показатель преломления стекла равен $n = 1,5$) под малым углом к нормали доля, равная $R = 4\%$, энергии падающего излучения отражается, а $T = 96\%$ энергии проходит во вторую среду. При этом не важно, в какую сторону распространяется свет: из воздуха в стекло или из стекла в воздух.

К идеальному зеркалу (отражающему весь падающий свет) прислонили стеклянный клин (призму) размером $d = 10$ см с малым углом $\varphi = 0,06$ рад при вершине (см. рисунок). На призму падает лазерный луч, направленный по нормали к зеркалу. При этом на экране высотой

$H = 40$ см, расположенном параллельно зеркалу на расстоянии $L = 1$ м от него, наблюдают несколько пятен разной яркости. Показатель преломления стекла равен $n = 1,5$. Расстояние от лазерного луча до нижнего края экрана по вертикали равно $h = 25$ см.



1) Найдите приближённо расстояние от верхнего края экрана до каждого пятна и подсчитайте долю энергии падающего излучения (в процентах, округлив до целых), приходящуюся на лучи, формирующие это пятно. Учтите, что приближённые соотношения: $\sin \alpha \approx \alpha$ и $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ с хорошей точностью выполняются даже для углов около $0,4$ рад. (6 баллов)

2) На какой угол следует повернуть зеркало с призмой в плоскости рисунка, чтобы на месте самого яркого пятна оказалось другое, следующее по яркости? (3 балла)

3) Компания Chrysler в 1958 г. использовала зеркало с призмой в качестве зеркала заднего вида с двумя режимами работы. С помощью специального рычажка его можно было перевести из «дневного» режима в «ночной», так чтобы свет фар автомобилей, едущих сзади, отражённый зеркалом, не слепил водителя. Объясните принцип работы такого автомобильного зеркала. (1 балл)

5. Морозильник с горячей стенкой

(10 баллов), Крюков П. А., Дергачёв А. А.

Задняя стенка не очень современного морозильника, на которой располагаются трубки конденсатора холодильной машины, работающей по обратному циклу Карно, греется, так что её средняя температура T_S в рабочем режиме выше температуры в комнате T_R . Внутри морозильной камеры холодильная машина поддерживает среднюю температуру $T_C = -23^\circ\text{C}$.

Известно, что в стационарном режиме, когда температура задней стенки и температура в камере установились, а температура в комнате не меняется со временем, мотор компрессора этого не очень современного морозильника работает без остановки.

В жару, когда температура в комнате поднимается до $T_R^{(0)} = +27^\circ\text{C}$, задняя стенка нагревается до $T_S^{(0)} = +47^\circ\text{C}$. Определите температуру задней стенки морозильника зимой в холодный день, когда температура воздуха в комнате уменьшается до значения $T_R^{(1)} = +17^\circ\text{C}$.

Мощность передачи тепла от горячего тела холодному (например, от воздуха в комнате холодильной камере через теплоизоляцию) пропорциональна разности соответствующих температур.