

Задача 1. «Солянка» (10,0 балла)

Эта задача состоит из трех независимых частей.

Часть 1А (3,0 балла)

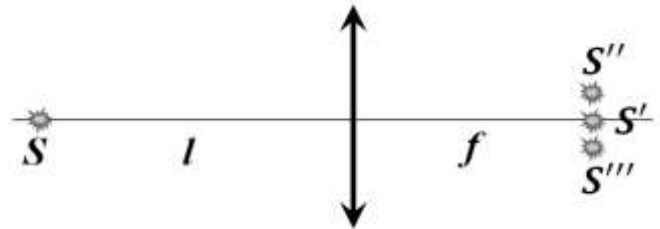
Цепочка массы m , длиной l висит неподвижно, касаясь нижним концом поверхности стола. Цепочку отпускают. Найдите зависимость силы давления цепочки на стол от времени. Ускорение свободного падения g .

Часть 1В (3,5 баллов)

Кубик льда, имеющий температуру 0°C бросили в калориметр с горячим чаем. К моменту установления теплового равновесия температура чая понизилась на 12°C . Когда в калориметр бросили другой такой же кубик льда, температура чая понизилась еще на 10°C . Найдите массу кубика льда. Первоначальная масса чая 100 г . Теплоемкостью калориметра, теплообменом с окружающей средой и примесями заварки в чае пренебречь.

Часть 1С (3,5 баллов)

Собирающая линза дает изображение точечного источника S , расположенного на главной оптической оси на расстоянии l от нее, в точке S' на расстоянии f от линзы. Линза треснула по диаметру, после чего ее разлом отшлифовали и склеили так, что она стала давать два симметричных относительно оси изображения S'' и S''' , расстояние между которыми равно a . Найдите толщину слоя, который был снят при шлифовке.

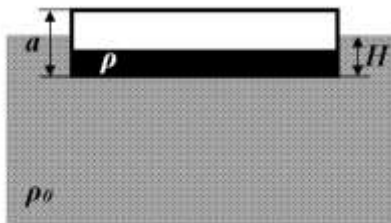


Задача 2. Что не договорил Архимед? (10,0 балла)

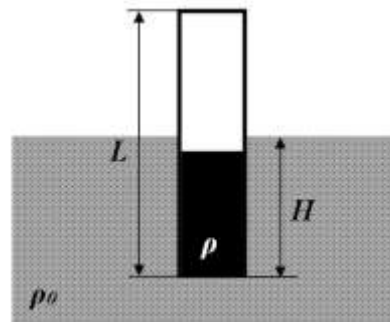
Из водонепроницаемого твердого материала изготовлен тонкостенный сосуд в форме параллелипипеда размерами $a \times a \times L$, где $a = 10,0$ см, а $L = 50,0$ см, и массой $m_0 = 1,00$ кг. В сосуд долили ртуть некоторой массой m , плотность которой равна $\rho = 13,6 \times 10^3$ кг/м³, и герметично закрыли. Затем сосуд с ртутью опустили в глубокий водоем очень большого размера, так что он плавает, а изменением уровня воды в нем можно пренебречь. В дальнейших расчетах примите, что плотность воды равна $\rho_0 = 1,00 \times 10^3$ кг/м³, а ускорение свободного падения составляет $g = 9,80$ м/с².

Закон Архимеда утверждает, что масса вытесненной сосудом воды равна массе сосуда с ртутью. Однако он ничего не говорит о том, в каком положении будет плавать сосуд в водоеме. Вполне логично предположить, что возможны два таких положения, показанные на рисунке ниже. Назовем их положение №1 и положение №2 соответственно.

Положение №1



Положение №2



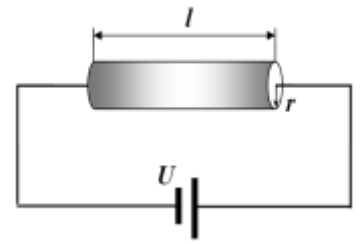
1. Найдите и рассчитайте максимальную массу ртути m_{cr} , при которой сосуд вообще сможет плавать?
2. Пусть сосуд плавает в положении №1. Найдите и рассчитайте глубину погружения его нижней грани относительно поверхности воды при $m = 2,00$ кг.
3. Пусть сосуд плавает в положении №2. Найдите и рассчитайте глубину погружения его нижней грани относительно поверхности воды при $m = 2,00$ кг.
4. Пусть сосуд плавает в положении №1. Найдите и рассчитайте изменение потенциальной энергии U_1 системы (сосуд с ртутью плюс вытесненная вода) относительно уровня воды в водоеме при $m = 2,00$ кг.
5. Пусть сосуд плавает в положении №2. Найдите и рассчитайте изменение потенциальной энергии U_2 системы (сосуд с ртутью плюс вытесненная вода) относительно уровня воды в водоеме при $m = 2,00$ кг.

В физике известен следующий принцип: любая система стремится занять положение с наименьшей возможной потенциальной энергией. В нашем случае возможны два положения, но лишь одно из них имеет наименьшую потенциальную энергию, оно и соответствует устойчивому положению равновесия, в котором будет плавать сосуд в водоеме.

6. В каком из положений, №1 или №2, будет плавать сосуд при $m = 2,00$ кг.
7. При каком значении $m = m'$ возможны оба положения равновесия?
8. Пусть в сосуд постепенно добавляют ртуть, так что масса m меняется от нуля до m_{cr} , найденного в пункте 1. Постройте графическую зависимость глубины H погружения нижней грани сосуда относительно поверхности воды от массы налитой ртути m .

Задача 3. Что такое стабилизатор? (10,0 балла)

Стабилизатором напряжения называется электронное устройство, напряжение на котором практически не изменяется при варьировании электрического тока в некотором достаточно широком интервале. Для простоты рассмотрим полупроводниковый стабилизатор напряжения, представляющий собой цилиндрический стержень из кремния радиуса $r = 1,00 \times 10^{-3}$ м и длины $l = 2,00 \cdot 10^{-1}$ м. Стержень находится в воздухе, температура которого постоянна и равна $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Количество теплоты, которое отводится воздухом с единицы площади поверхности стержня в единицу времени, определяется законом Ньютона-Рихмана



$$q = \alpha(t - t_0),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, t – температура поверхности стержня.

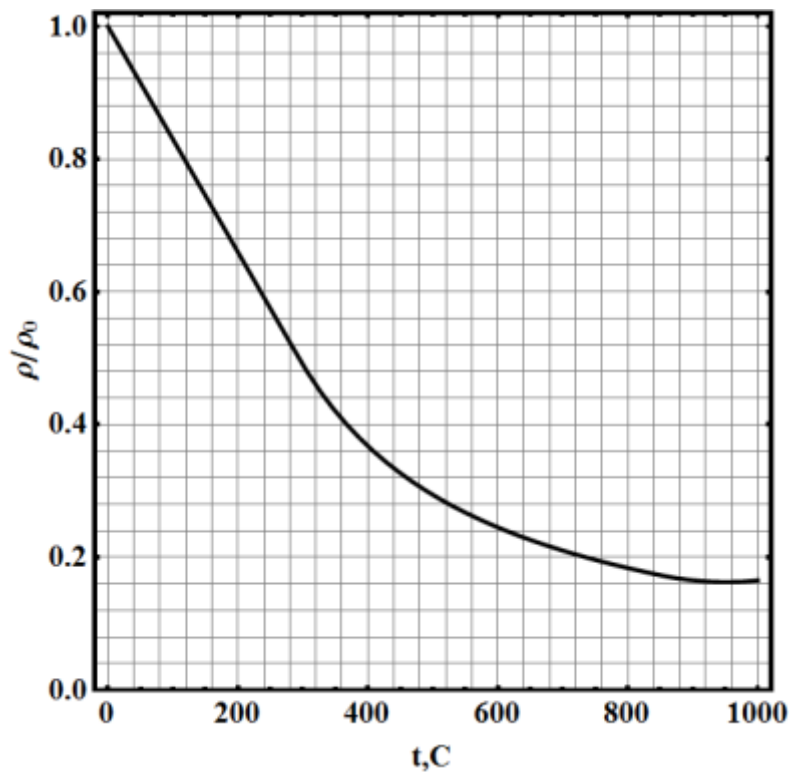
Таблица физических характеристик кремния, необходимых для решения задачи.

| | |
|--|--|
| Удельное сопротивление при 0°C | $\rho_0 = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ |
| Температурный коэффициент сопротивления | $\gamma = -1,70 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ |
| Коэффициент теплоотдачи | $\alpha = 50,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{}^\circ\text{C}}$ |

Внимание! В задаче рассматривается стационарный режим работы стабилизатора напряжения после установления теплового равновесия, поэтому рассчитывать временные характеристики процессов не требуется!

1. Рассчитайте значение сопротивления стержня R_0 при температуре 0°C .
2. Запишите формулу зависимости сопротивления стержня R от его температуры t . Рассчитайте значение сопротивления стержня при $t = 100^\circ\text{C}$.
3. Мощность теплоотдачи P_0 стабилизатора определяется формулой $P_0 = At$. Рассчитайте значение коэффициента A .
4. Получите зависимость температуры стержня t от напряжения U на нем. Постройте график этой зависимости так, чтобы напряжение менялось в интервале от 0 до 3 В.
5. Из полученного выше выражения следует, что существует максимальное напряжение U_{max} , при котором может работать данный стабилизатор. Найдите U_{max} и рассчитайте его.
6. Постройте вольтамперную характеристику стабилизатора, то есть график зависимости приложенного к нему напряжения U от протекающей силы тока I так, чтобы сила тока изменялась в интервале от 0 до 10 А.
7. При малых напряжениях на стабилизаторе оно оказывается пропорциональным силе тока I , то есть $U = R_{eff}I$. Определите коэффициент пропорциональности R_{eff} этой зависимости.
8. Найдите напряжение на стабилизаторе при силе тока, стремящейся в бесконечность, то есть $I \rightarrow \infty$.
9. Постройте вольтамперную характеристику цепи, состоящей из стабилизатора и подключенного к нему параллельно резистора сопротивлением $R_1 = 10 \text{ Ом}$. График построьте на том же рисунке, что и в пункте 6. Построения обоснуйте.

Стабилизатор в рассмотренной выше модели не может стабилизировать напряжение. У реального стабилизатора при достаточно больших температурах зависимость удельного сопротивления от температуры перестает быть линейной. Реальная зависимость $\rho(t)$ приведена на графике ниже.



Зависимость удельного сопротивления кремния от температуры.

10. Используя приведенную реальную зависимость $\rho(t)$, постройте вольтамперную характеристику реального стабилизатора.
11. Найдите из графика и запишите численное значение напряжения стабилизации U_{st} стабилитрона, которое не зависит от силы протекающего через него тока.
12. Укажите диапазон изменения силы тока $[I_{min}, I_{max}]$, в котором стабилизатор стабилизирует напряжение в цепи. Необходимо, чтобы в этом диапазоне напряжение изменялось не более чем на 3,3%.