

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ДАРЫН»
ЧЕТВЕРТЫЙ (ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ) ЭТАП РЕСПУБЛИКАНСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО
ПРЕДМЕТУ ФИЗИКА (2024-2025 УЧЕБНЫЙ ГОД)
9 класс, 1 тур

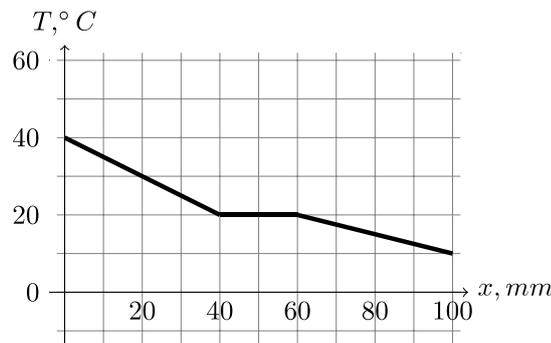
Время работы: 5 часов

Задача_1. «Солянка» [10,0 баллов]

Эта задача состоит из трех независимых частей.

Часть 1.1. Неравномерный разогрев (3,5 балла)

Цилиндрический сосуд высотой $h = 10$ см, наполненный до краев жидкостью, имеет начальное распределение температуры в зависимости от высоты, как показано на рисунке ниже. В данной задаче теплообменом с окружающей средой пренебречь. 1) Найдите установившуюся температуру жидкости в сосуде после завершения теплообмена. После установление температуры, в сосуд опустили однородное тело. Плотность тела в два раза больше плотности жидкости, а удельная теплоемкость тела в два раза меньше удельной теплоемкости жидкости. После завершения теплообмена в сосуде установилась температура $\theta_1 = 28^\circ\text{C}$. 2) Какой была бы установившаяся температура в сосуде θ_2 , если вместо одного тела в него сразу опустили два таких одинаковых тела при той же начальной температуре?

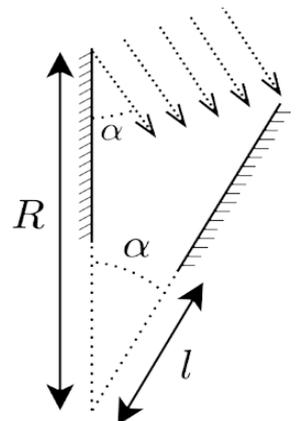


Часть 1.2 Физика и футбол (3,0 балла)

У Нурбола были мяч и секундомер. Он одновременно пнул мяч под некоторым углом к горизонту и запустил секундомер, измерив время до того момента, когда, как ему казалось, мяч был в своей наивысшей точке траектории (угол над горизонтом, под которым был виден мяч с точки зрения Нурбола был максимальный). Секундомер показал $t_1 = 0.622$ с. Оцените рост Нурбола. Ускорение свободного падения $g = 9.81$ м/с².

Часть 1.3 Двойное зеркало (3,5 балла)

Два плоских одинаковых прямоугольных зеркала образуют двугранный угол α , смотрите рисунок справа. Одна сторона зеркала бесконечна (перпендикулярно рисунку), длина второй стороны составляет R . Начиная с вершины угла убираем части зеркал длиной l (лучи могут уходить через убранные части). На зеркало запускаются лучи под углом α к одной из сторон, как показано на рисунке. При каком минимальном соотношении $k_{min} = l/R$ все лучи выйдут через убранную часть зеркала? Какое максимальное количество раз отразится один луч от обоих зеркал при k_{min} ? Во всех частях задачи считать $\alpha = \pi/32$.



Задача 2. Небесная гавань Циолковского [10,0 баллов]

В мире ближайшего будущего, вдохновленного идеями Константина Циолковского, который в 1895 году впервые задумался о небесной башне, ведущей в космос, ученые и инженеры создали уникальную систему доставки грузов в космос. Космический корабль "Прометей", оснащенный стабилизирующими двигателями, неподвижно висит над экватором Земли на высоте $H = \alpha R$, оставаясь в фиксированном положении относительно наземной станции снабжения "Терра-1". Для поддержания этого положения его двигатели постоянно компенсируют силу гравитации.

Основные параметры системы: радиус Земли $R = 6400$ км, масса Земли $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг, угловая скорость вращения Земли $\omega = 7,27 \cdot 10^{-5}$ рад/с, безразмерный параметр высоты башни $\alpha = 1,8\alpha_k$, α_k - критическое значение, соответствующее высоте, на которой центробежная сила может полностью компенсировать гравитацию.

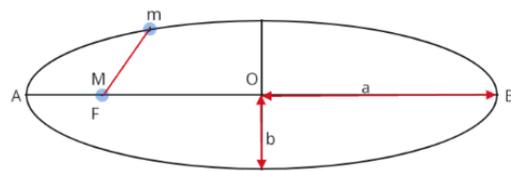
Гравитационная постоянная равна $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг · с²).

Для транспортировки грузов между Землей и кораблем была построена жесткая вертикальная труба, имеющая однородные стенки и массу $m_t = 3,6 \cdot 10^9$ кг. Нижний конец трубы прочно закреплен на платформе "Терра-1" и удерживается в строго вертикальном положении. Грузы перемещаются по трубе с помощью капсулы, стартующей с нижней части трубы и плавно поднимающейся вверх вдоль стенки. Скорость капсулы поддерживается стабильной, чтобы избежать перегрузок и повреждений. Обозначим массу капсулы вместе с грузом как $m = 5$ т.

Учитывая, что трение между капсулой и стенками трубы пренебрежимо мало, а вращение Земли принимается во внимание, но её орбитальное движение вокруг Солнца игнорируется, определите:

- 1) Критическое значение безразмерного параметра высоты α_k , на которой центробежная сила полностью компенсирует гравитацию.
- 2) Работу гравитационной силы при подъеме груза от станции снабжения "Терра-1" до корабля "Прометей".
- 3) Работу центробежной силы инерции при подъеме груза от станции снабжения "Терра-1" до корабля "Прометей".
- 4) Какую минимальную работу должен совершить внешний источник силы для доставки груза на корабль?
- 5) На какой высоте H_0 гравитационная сила Земли и центробежная сила инерции совершают нулевую суммарную работу при подъеме груза?
- 6) Если можно управлять тягой корабля "Прометей" так, чтобы он не оказывал никакого воздействия на трубу в отсутствие грузоперемещения, определите силу, с которой платформа "Терра-1" действует на трубу, если высота корабля $H = \alpha R$.

После доставки груза на корабль «Прометей», некоторые грузы могут быть отправлены на орбитальный транспортный спутник, который движется по эллиптической орбите вокруг Земли, как показано на рисунке. Эллипс — это замкнутая плоская кривая, представляющая собой сжатую в одном направлении окружность. Важная особенность эллиптической орбиты состоит в том, что Земля (или любая центральная планета) всегда находится в одном из фокусов эллипса F, а не в центре. Это следует из законов Кеплера, которые описывают движение небесных тел.



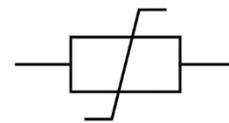
Используя гравитационную постоянную G , массу Земли M , массу спутника m , большую полуось орбиты a и малую полуось b , определите:

- 7) Полную механическую энергию движения спутника.
- 8) Площадь, заметаемую радиус-вектором спутника за единицу времени.
- 9) Период обращения спутника.

Примечание: Площадь эллипса определяется как: $S_э = \pi ab$. Для эллиптической орбиты расстояние от центра эллипса до фокуса, в котором находится Земля, обозначается как c и связано с полуосями формулой: $c = \sqrt{a^2 - b^2}$.

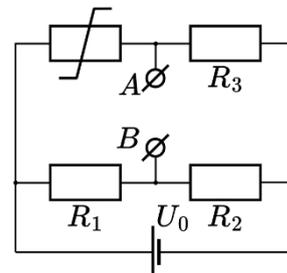
Задача 3. Нелинейные элементы и электрический мост (10,0 баллов)

Известно, что для широкого ряда металлических проводников электрическое сопротивление линейно зависит от температуры в широком диапазоне. Однако для полупроводниковых элементов данная зависимость нелинейна и, более того, сопротивление такого элемента снижается с увеличением температуры! В данной задаче полупроводниковый элемент графически обозначается так, как на рисунке справа.



Воспоминания о прошлом

Школьник по имени Галым, спустя уже семь лет, окончил университет, и однажды решил навестить свою прежнюю школу. Там он заглянул в свой старый кабинет физики, где раньше любил собирать электрические цепи. С разрешения учителя он взял полупроводниковый элемент и другие электрические компоненты, из которых собрал электрический мост Уитстона, подключив к клеммам A и B идеальный вольтметр. Номиналы элементов схемы были на них написаны и оказались равными $U_0 = 9$ В, $R_1 = 40$ Ом, $R_2 = 80$ Ом, а $R_3 = 60$ Ом.



3.1. Сразу при подключении оказалось, что показание вольтметра было $U = 0$ В. Определите начальное сопротивление R_0 полупроводникового элемента.

Отключив вольтметр и подключив к тем же клеммам идеальный миллиамперметр, бакалавр Галым ожидаемо увидел показание 0. Однако спустя некоторое время, показание амперметра установилось равным $I_A = 18$ мА, причём Галым не обратил внимание, в какой полярности он подключил амперметр.

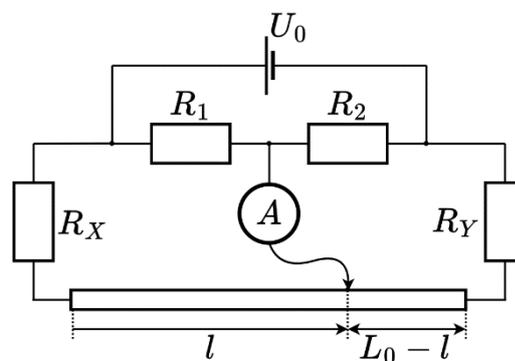
3.2. Найдите возможные значения установившегося сопротивления R'_0 нелинейного элемента. Учитывая, что он изготовлен из полупроводника, укажите правильное значение для R'_0 .

Бакалавру Галыму повезло с тем, что показания амперметра в цепи были достаточно малы, учитывая малость использованных сопротивлений – номинальное максимальное показание амперметра было равно $I_{\max} = 20$ мА. Было также указано, что внутреннее сопротивление амперметра $R_A = 4$ Ом, что было достаточно мало для того, чтобы считать амперметр идеальным в пункте **3.2**. Отключив амперметр из цепи, Галым решил «прокачать» его: использовать шунт в виде нихромовой проволоки диаметром $d = 0.4$ мм и удельным сопротивлением $\rho = 1.2 \cdot 10^{-6}$ Ом · м для того, чтобы измерять с помощью шунта этим миллиамперметром токи до $I'_{\max} = 100$ мА.

3.3. Какой длины L должен быть отрезок нихромовой проволоки? Нарисуйте схему подключения миллиамперметра с шунтом, обозначив сопротивление шунта как R_{sh} .

Модифицированный электрический мост

Бакалавру Галыму из курсов электротехники известно, что существуют различные вариации моста Уитстона. Заметив, что сопротивление полупроводникового элемента сильно зависит от температуры, Галым решил использовать так называемый мост Кэри Фостера, который позволяет сравнивать сопротивления элементов R_X и R_Y , как указано на рисунке справа. Измерения производятся следующим образом: по мостиковому шунту из тонкой нихромовой проволоки, подключенному последовательно с R_X и R_Y , может скользить подключенный к идеальному амперметру электрический контакт. В момент, когда сила тока через амперметр обращается в нуль, фиксируется отсчитываемое от R_X расстояние l_X вдоль проволоки. Затем сопротивления R_X и R_Y меняют местами, и производится аналогичное измерение расстояния l_Y от сопротивления R_Y (это не указано на рисунке, но, иными словами, l всегда отсчитывается слева направо). Пусть сопротивление шунта на единицу длины известно и равно σ , а его полная длина – L_0 .



3.4. Выразите сопротивление R_X через R_Y , σ , l_X и l_Y .

Температурная зависимость сопротивления полупроводника

В прошлом опыте Галым заметил, что сопротивление полупроводникового элемента может сильно меняться, что совсем не похоже на поведение металлических резисторов. Поэтому он решил использовать мост Кэри Фостера для того, чтобы исследовать электрические и термические характеристики полупроводникового элемента.

3.5. Определите, отрезок какой длины L_0 нихромовой проволоки (такого же материала и диаметра, как в **3.3**) должен использовать Галым для того, чтобы можно было измерять разницу сопротивлений $|R_X - R_Y| = R_0$, где R_0 определён Вами в пункте **3.1**.

Как Галым получил ранее, сопротивление полупроводникового элемента при комнатной температуре равно R_0 . Теперь, в качестве R_X , Галым использовал полупроводниковый элемент и, с помощью моста Кэри Фостера он, в качестве R_Y , подобрал резистор с сопротивлением R_0 . Галым решил измерять зависимость l_X и l_Y от внешнего напряжения U_0 .

3.6. На основании полученного Галымом графика, который приведен в Приложении 1 (показаны экспериментальные данные в виде точек), графически изобразите зависимость напряжения U_X на полупроводниковом элементе от протекающей через него силы тока I . Отобразите Ваши промежуточные расчёты в таблице данных.

Воспользовавшись справочными материалами, Галым оценил тепловые свойства данного ему полупроводника. Как оказалось, тепловая отдача полупроводникового элемента в окружающий воздух подчинялась закону Ньютона-Рихмана

$$P = A(t - t_0),$$

где, как установил Галым, $A = 5 \cdot 10^{-3}$ Вт/°С для данного полупроводника, t – температура полупроводника, а t_0 – температура окружающей среды. Термометр в школьном кабинете показывал значение $t_0 = 23^\circ\text{C}$.

3.7. Графически изобразите зависимость сопротивления R_X полупроводникового элемента от температуры t . Отобразите Ваши промежуточные расчёты в таблице данных.

Приложение 1. График, используемый в Задаче 3.

