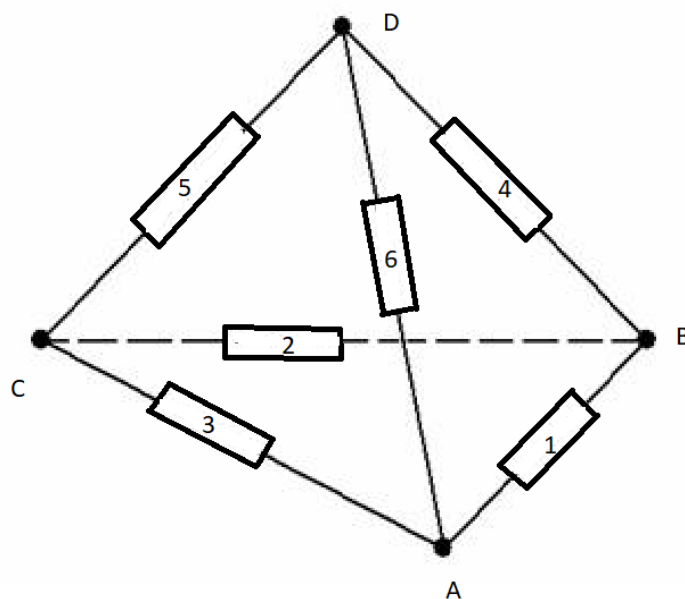


Городская открытая олимпиада школьников по физике 2022/23 года

Заключительный этап Экспериментальный тур

Задание 8.1 Пирамида из резисторов

В сером ящике собрана схема из шести резисторов в виде треугольной пирамиды:



При этом к соответствующим вершинам пирамиды подключены четыре провода, выходящие из серого ящика. Обозначения проводов соответствует обозначению вершин на схеме.

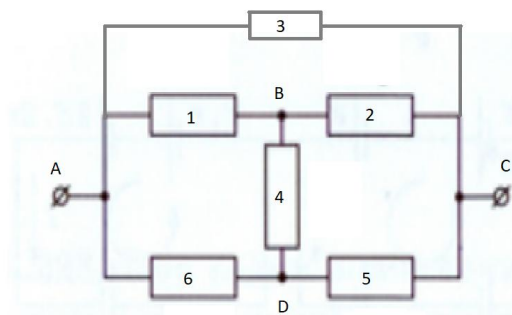
Известно, что сопротивление резистора 1 $R_1 = 300$ кОм. Резистор 1 находится между вершинами A и B.

С помощью выданного вам вольтметра (мультиметра в режиме вольтметра) и источника напряжения, определите сопротивления оставшихся резисторов. Вскрывать серый ящик и соединять друг с другом выходы серого ящика запрещено. Мультиметр разрешено использовать только в режиме вольтметра. Сопротивление источника мало по сравнению с сопротивлениями резисторов в сером ящике.

Оборудование: Серый ящик, источник напряжения, мультиметр в режиме вольтметра

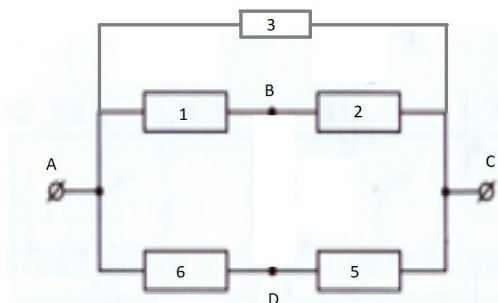
Решение 8.1 Пирамида из резисторов

Подключим источник напряжения к выходам A и C. Тогда исходную схему можно перерисовать в следующем виде:



С помощью вольтметра измерим напряжения между всеми выходами. Заметим, что напряжение между выходами В и D равно нулю $U_{BD} = 0$ В.

По закону Ома $I_{BD} = \frac{U_{BD}}{R_4} = 0$ А, это означает, что ток через резистор 4 не идет и его можно выкинуть из рассмотрения. Тогда эквивалентная схема будет такой:



В этой схеме резисторы 1 и 2 подключены последовательно. По следствиям из законов последовательного соединения $\frac{U_{AB}}{U_{BC}} = \frac{R_1}{R_2}$, откуда

$$R_2 = \frac{R_1}{U_{AB}} U_{BC} = 600 \text{ кОм}$$

Аналогично находим оставшиеся сопротивления, подключая источник к другим точкам:

$R_3 = 900$ кОм через R_2 при подключении к АВ (ток через R_1 не идет)

$R_4 = 200$ кОм через R_1 при подключении к AD (ток через R_6 не идет)

$R_5 = 600$ кОм через R_3 при подключении к АВ (ток через R_1 не идет)

$R_6 = 300$ кОм через R_1 при подключении к BD (ток через R_4 не идет)

Критерии оценивания (максимум 15 баллов).

Нарисована схема собранной установки	1
Определено, что при подключении источника напряжение между двумя оставшимися выходами будет равно нулю.	1
Сделан вывод, что резистор, напряжение на котором ноль, можно не учитывать в эквивалентной схеме	3
Сопротивление R_2 попадает в интервал от 570 кОм до 630 кОм	2
Сопротивление R_2 попадает в интервал от 540 кОм до 660 кОм	1
Сопротивление R_3 попадает в интервал от 855 кОм до 945 кОм	2
Сопротивление R_3 попадает в интервал от 810 кОм до 990 кОм	1
Сопротивление R_4 попадает в интервал от 190 кОм до 210 кОм	2
Сопротивление R_4 попадает в интервал от 180 кОм до 220 кОм	1
Сопротивление R_5 попадает в интервал от 570 кОм до 630 кОм	2
Сопротивление R_5 попадает в интервал от 540 кОм до 660 кОм	1
Сопротивление R_6 попадает в интервал от 285 кОм до 315 кОм	2
Сопротивление R_6 попадает в интервал от 270 кОм до 330 кОм	1

Задание 8.2 Тает лед

Можно показать, что при таянии кубика льда, подвешенного в воздухе, масса не растаявшего льда m зависит от времени таяния τ следующим образом:

$$\sqrt[3]{m} = -\frac{2 \cdot \alpha \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{л}})}{\lambda \cdot \sqrt[3]{\rho^2}} \cdot \tau + \sqrt[3]{m_0}, \text{ где}$$

α – коэффициент теплоотдачи

$t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха

$t_{\text{л}} = 0^\circ\text{C}$ – температура тающего льда

$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ – плотность льда

$\lambda = 333 \text{ кДж/кг}$ – удельная теплота плавления льда

m_0 – начальная масса льда

С помощью выданного вам оборудования соберите установку для измерения массы льда. Установка должна как можно более точно измерять массу льда, и при этом вода, стекающая с кубика льда, не должна попадать на весы.

С помощью этой установки и секундомера, измерьте зависимость массы льда от времени его таяния. Обратите внимание, что при долгой работе весы могут отключаться. При повторном включении весов не забывайте проводить тарирование не нагруженной установки заново.

Постройте график зависимости корня кубического из массы льда от времени таяния льда. По угловому коэффициенту построенного графика определите коэффициент теплоотдачи α . Температуру окружающего воздуха $t_{\text{в}}$ можно определить по термометру в кабинете.

Оборудование: Штатив с муфтой и лапкой, линейка, электронные весы, короткий круглый карандаш, кубик льда на ниточке, салфетки для удаления избытка воды с кубика льда, ведро для стекающей воды, лист миллиметровки, термометр.

Решение задания 8.2 Тает лед

При таянии кубика льда, он поглощает тепло из окружающей среды. Мощность теплопередачи P при этом может быть рассчитана по следующей формуле:

$$P = \alpha \cdot S \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{л}}), \text{ где}$$

α – коэффициент теплоотдачи в воздух

S – площадь поверхности льда

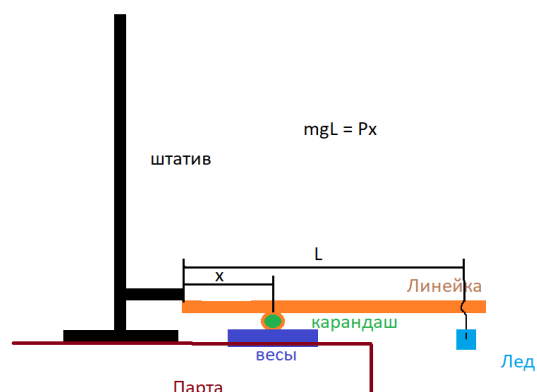
$t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха

$t_{\text{л}} = 0^\circ\text{C}$ – температура тающего льда

Коэффициент теплоотдачи α показывает, какая мощность поглощается единицей площади льда при разности температуры льда и окружающего воздуха в 1°C .

Для его определения соберем следующую установку:

Тарированием обнулим показания весов в состоянии, когда кусочек льда не подвешен. В этом случае вес конструкции без льда можно не учитывать в правиле моментов. Запишем правило моментов для конструкции с подвешенным льдом:



$mgL = Nx$, где x и L - плечи сил, указанные на рисунке, а N – сила нормальной реакции опоры, действующая со стороны весов.

По третьему закону Ньютона $N = P$, где P – вес, действующий на весы ($P = m_{\text{весов}}g$)

Тогда по показаниям весов $m_{\text{весов}}$ с подвешенным к установке льдом можно определить массу льда:

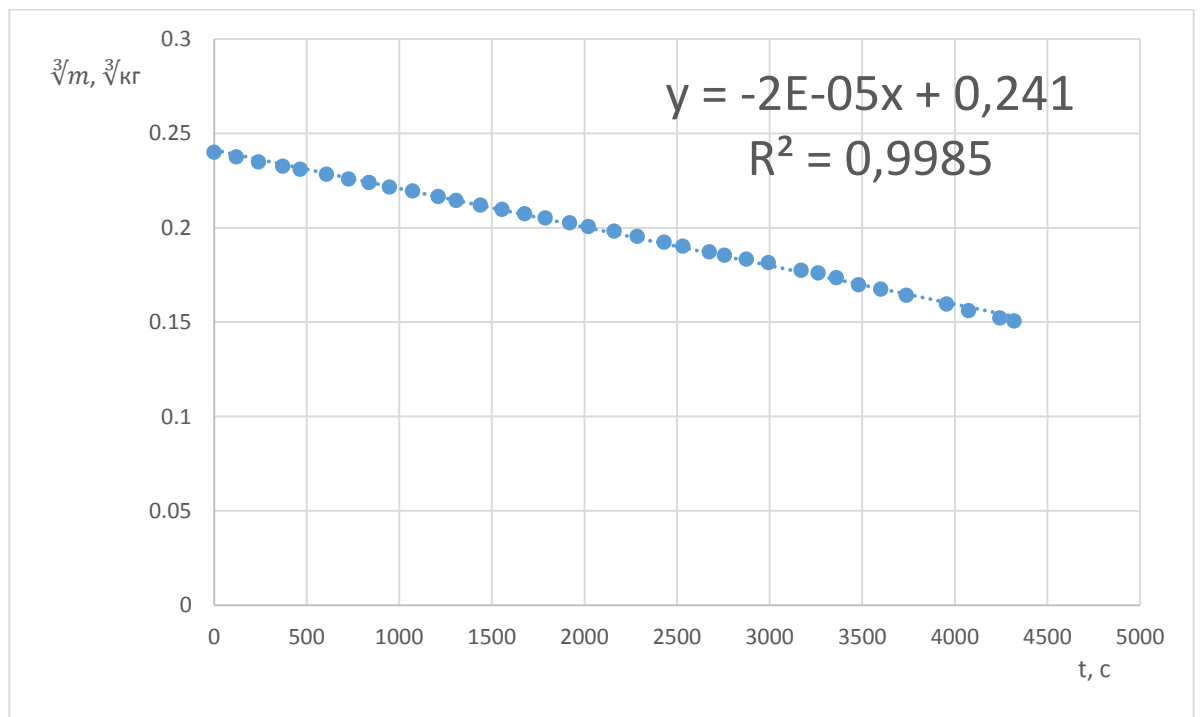
$$m = m_{\text{весов}} \cdot \frac{x}{L}$$

Измеряя зависимость массы льда от времени таяния льда получаем подобную таблицу:

$m_{\text{весов}}, \text{Г}$	$t, \text{с}$	$m, \text{кг}$	$\sqrt[3]{m}, \sqrt[3]{\text{кг}}$
82,9	0	0,013817	0,239958
80,4	120	0,0134	0,237521
77,7	240	0,01295	0,234832
75,48	371	0,01258	0,232573
73,92	465	0,01232	0,23096
71,41	607	0,011902	0,228316
69,08	726	0,011513	0,225805
67,38	837	0,01123	0,223937
65,22	947	0,01087	0,221518
63,4	1072	0,010567	0,219438
60,9	1210	0,01015	0,216515
59,16	1307	0,00986	0,214433
57,14	1438	0,009523	0,211964
55,34	1555	0,009223	0,209715

53,52	1677	0,00892	0,20739
51,81	1788	0,008635	0,205158
49,9	1920	0,008317	0,202605
48,45	2021	0,008075	0,200623
46,7	2160	0,007783	0,198178
44,78	2285	0,007463	0,195424
42,7	2430	0,007117	0,19235
41,3	2531	0,006883	0,190224
39,36	2674	0,00656	0,187198
38,26	2756	0,006377	0,185438
36,98	2874	0,006163	0,183346
35,88	2993	0,00598	0,18151
33,52	3170	0,005587	0,17744
32,73	3262	0,005455	0,176035
31,36	3360	0,005227	0,173543
29,36	3480	0,004893	0,169773
28,18	3600	0,004697	0,167467
26,57	3738	0,004428	0,164215
24,38	3955	0,004063	0,159574
22,81	4074	0,003802	0,156072
21,15	4243	0,003525	0,15219
20,49	4320	0,003415	0,15059

Строим график полученной зависимости:



Из формулы, приведенной в условии следует, что угловой коэффициент этой зависимости

$$k = -\frac{2 \cdot \alpha \cdot (t_B - t_L)}{\lambda \cdot \sqrt[3]{\rho^2}}$$

По графику $k = -2 \cdot 10^{-5} \frac{\sqrt[3]{\text{кг}}}{\text{с}}$, тогда, используя табличные данные получаем:

$$\alpha = \frac{k \cdot \lambda \cdot \sqrt[3]{\rho^2}}{2 \cdot (t_B - t_L)} = 15,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Критерии оценивания (максимум 15 баллов).

Описана схема экспериментальной установки, удовлетворяющая условию, с помощью которой можно найти массу подвешенного в воздухе льда.	3
Записано выражение, связывающее массу льда и показания весов	2
Снята зависимость массы льда от времени 5 -6 измерений – 1 балл 7-9 измерений – 2 балла 10 и более измерений – 3 балла Максимум 3 балла	3
Построен график зависимости корня кубического из массы льда от времени таяния льда. а) подписаны оси с единицами измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям (0,5 балла) д) проведена интерполяционная прямая : (1 балл) Максимум 3 балла	3
По графику определен угловой коэффициент полученной прямой	1
Определен коэффициент теплоотдачи α попадает в интервал от 12 до 18 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ - 3 балла α попадает в интервал от 9 до 21 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ - 2 балла α попадает в интервал от 5 до 25 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ - 1 балл Максимум 3 балла	3