

## Условие

### Задача 10-1 Терморезистор

**Приборы и оборудование:** терморезистор, термометр, мультиметр, секундомер, штатив, горячая и холодная вода в стаканах, алюминиевый цилиндр.

Терморезистор – полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого зависит от температуры. Электрическое сопротивление можно измерять с помощью мультиметра, работающего в режиме омметра (ознакомьтесь с инструкцией).

**Вам предстоит измерять сопротивление терморезистора, опущенного в воду – следите, чтобы отводящие контакты находились выше уровня воды!**

#### Часть 1. Градуировка терморезистора.

Поместите терморезистор в сосуд, в который будете наливать воду. Также поместите в этот же сосуд термометр для измерения температуры, термометр закрепите в лапке штатива.

1.1 Измерьте зависимость сопротивления терморезистора от температуры. Постройте график полученной зависимости. Для ускорения процесса измерений вы можете смешивать холодную горячую воду.

#### Физическая подсказка.

Ознакомьтесь с краткой  
выдержкой из книги

Мэклин Э. Д.  
М15 Терморезисторы: Пер. с англ./Под общей редакцией  
К. И. Мартюшова. — М.: Радио и связь, 1983. — 208 с.,  
ил.  
95 к.

*Физическая подсказка.*

Ознакомьтесь с краткой выдержкой из книги

Мэклин Э. Д.

М15 Терморезисторы: Пер. с англ./Под общей редакцией К. И. Мартюшова. — М.: Радио и связь, 1983. — 208 с., ил.

95 к.

Чтобы электрон мог преодолеть воздействие положительного заряда, окружающего ион, например  $\text{Fe}^{3+}$ , он должен обладать определенной минимальной энергией. Общее число электронов, участвующих в проводимости, будет зависеть от числа имеющихся электронов, энергия которых превышает некоторую минимальную энергию переноса. Так как энергия электронов прежде всего определяется температурой материала, то энергия, а также число свободных электронов возрастают с ростом температуры. Эта минимальная энергия переноса называется *энергией активации* процесса прыжковой проводимости, и электропроводность  $\sigma$  находится из уравнения

$$\sigma = \sigma_0 \exp \frac{-\Delta E}{2 k T}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_0$  — проводимость при  $T \rightarrow \infty$ , которая определяется полным числом электронов, способных участвовать в процессе проводимости.

Чтобы электрон мог преодолеть воздействие положительного заряда, окружающего ион, например  $\text{Fe}^{3+}$ , он должен обладать определенной минимальной энергией. Общее число электронов, участвующих в проводимости, будет зависеть от числа имеющихся электронов, энергия которых превышает некоторую минимальную энергию переноса. Так как энергия электронов прежде всего определяется температурой материала, то энергия, а также число свободных электронов возрастают с ростом температуры. Эта минимальная энергия переноса называется энергией активации процесса прыжковой проводимости, и электропроводность  $\sigma$  находится

из уравнения

$$\sigma = \sigma_0 \exp \frac{-\Delta E}{2kT}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_0$  — проводимость при  $T \rightarrow \infty$ , которая определяется полным числом электронов, способных участвовать в процессе проводимости.

В приведенной формуле (1.1)  $\Delta E$  — энергия активации,  $T$  — абсолютная температура,  $k = 1,380 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  — постоянная Больцмана.

1.2 Используя эту цитату, покажите, что приведенная формула применима к выданному вам терморезистору<sup>2</sup>.

1.3 Рассчитайте энергию активации (в электрон-вольтах) электронов терморезистора. Не забудьте про оценку погрешности. Заряд электрона  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{Кл}$ .

<sup>2</sup> Если вас сильно испугала эта цитата, и вы страшно боитесь экспоненциальной функции, то п.1.2 и 1.3 лучше пропустите, приступайте к выполнению Части 2. Результаты то п.1.2 и 1.3 в ней не используются.

**Математическая подсказка.** В физике широко используется экспоненциальная функция  $\exp(x) = e^x$  — обычная показательная функция, основанием которой служит число  $e = 2,71828...$  (не путайте с зарядом электрона) Обратной к ней является логарифмическая функция  $\ln x$ . Причем  $\ln(\exp(x)) = x$ . Кроме того, логарифм произведения равен сумме логарифмов  $\ln(x \cdot y) = \ln x + \ln y$ . Наконец, у вас есть калькулятор для расчета этих функций!

## **Часть 2. Измерение теплоемкости.**

В этой части работы все измерения проводите с помощью терморезистора. Для измерения времени используйте секундомер — удобно использовать память этапов. В выданном вам стакане на внутренней стороне нанесены две метки. Нижней отметке соответствует объем воды 60 мл, верхней — 80 мл. Объем алюминиевого цилиндра  $20 \text{ см}^3$ .

2.1 В сосуд залейте 80 мл горячей воды. Измерьте зависимость температуры воды от времени в процессе остывания в диапазоне температур от  $80^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ . Постройте график полученной зависимости.

**Методическая подсказка.** Процесс измерения удобно проводить следующим образом. Заранее приготовить таблицу, в первую колонку которой следует занести значения температур (в этом пункте достаточно с интервалом в  $5^\circ\text{C}$ ). Во вторую колонку следует занести соответствующие значения сопротивлений терморезистора, используя свои результаты первой части. Затем в сосуд залить горячую воду, когда ее температура опустится до  $80^\circ\text{C}$ , пустить секундомер, далее в процессе остывания фиксировать времена, когда температура достигает очередного фиксируемого значения (можно использовать память секундомера)

2.2 Мощность теплоотдачи в окружающую среду, можно считать линейной функцией от температуры воды  $t$

$$P = \frac{\delta Q}{\Delta \tau} = At + B. \quad (2)$$

Здесь  $\delta Q$  — количество теплоты, отданное водой за малый промежуток времени  $\Delta \tau$ ,  $A$  — коэффициент теплоотдачи,  $B$  — некоторый постоянный параметр. Используя результаты измерений в п.2.1 постройте график зависимости мощности теплоотдачи от температуры воды. Определите средние значения коэффициента теплоотдачи  $A$  и параметра  $B$ .

**Подсказка.** В при изменении температуры на  $5^\circ\text{C}$  можно пренебречь изменением мощности теплоотдачи. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{К}}$ .

2.3 Измерьте процесс остывания воды, в который опущен алюминиевый цилиндр, изначально находящийся при комнатной температуре. Для этого в сосуд залейте 60 мл горячей воды, когда ее температура опустится до  $80^{\circ}\text{C}$  опустите в нее цилиндр<sup>4</sup> (при

— <sup>3</sup> Во избежание путаницы в данной работе температуры обозначаются буквой  $t$ , а времена —  $\tau$ . <sup>4</sup> Когда цилиндр погрузится в воду, суммарный объем станет равным 80 мл, поэтому можно считать, что найденные параметры зависимости (2) останутся прежними.

комнатной температуре) и одновременно пустите секундомер. Постройте график зависимости температуры воды в диапазоне от  $80^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$  от времени в этом случае (на том же бланке, что и график в п.2.1)

2.4 В каждом из интервалов температур рассчитайте (не забудьте привести расчетные формулы):  $\delta Q_0$  - количество теплоты, отданное водой;  $\delta Q_1$  - количество теплоты, отданное в окружающую среду;  $\delta Q_2$  - количество теплоты, полученной цилиндром (эти величины могут быть отрицательными).

*Для расчета величин  $\delta Q_1$  предпочтительнее использовать формулу (2) и найденное среднее значение коэффициента теплоотдачи.*

2.5 Постройте график зависимости теплоты  $Q_2$ , полученной цилиндром от температуры воды. Качественно объясните полученную зависимость. 2.6 Используя полученные данные, оцените теплоемкость цилиндра. *Оценивать погрешность в данном пункте не требуется.*

---

<sup>2</sup> , , 1.2 1.3 Если вы сильно испугались этой задачи и выстрашно боитесь экспоненциальной функции то лучше пропустите, приступайте к выполнению Части 2. Результаты то п.1.2 и 1.3 в ней не используются.

<sup>3</sup>  $t$  , -  $\tau$  . Во избежание путаницы в данной работе температуры обозначаются буквой  $t$  а времена —  $\tau$  . <sup>4</sup> , Когда цилиндр погрузится в воду суммарный объем станет равным 80 мл поэтому можно считать что найденные параметры зависимости (2) останутся прежними.

<sup>2</sup> , На самом деле температура цилиндра должна быть все время чуть выше температуры воды для обеспечения теплопередачи от цилиндра к воде. Однако процесс остывания идет достаточно медленно, а теплопроводность алюминия высока, поэтому можно считать, что в любой момент времени температура цилиндра равна температуре воды.