



## Задание 2. Изучение лампочки накаливания

При подготовке к Новому году Федор решил самостоятельно изготовить гирлянду из лампочек накаливания. Чтобы сразу не сжечь все имеющиеся лампочки, и чтобы они нормально светились, Федор решил провести экспериментальные исследования характеристик этого нехитрого прибора.

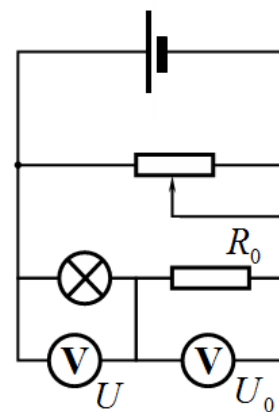
### Часть 1. Вольтамперная характеристика лампочки.

Федор переключил мультиметр в режим омметра и измерил сопротивление лампочки при комнатной температуре  $t_0 = 23^\circ\text{C}$ , оно оказалась равным  $R_{0л} = 1,92\text{ Ом}$ .

Основной характеристикой любого элемента электрической цепи является ВАХ – вольтамперная характеристика – зависимость силы тока от приложенного напряжения. Для ее измерения Федор собрал электрическую цепь, показанную на рисунке.

Изменяя сопротивление переменного резистора, Федор измерил значения напряжений на лампочке  $U$  и на постоянном резисторе (сопротивление которого  $R_0 = 0,62\text{ Ом}$ ) –  $U_0$ .

Результаты измерений приведены в Таблице 1 Листов ответов.



**1.1** Постройте график вольтамперной характеристики лампочки накаливания по результатам измерений Федора.

*Результаты необходимых расчетов приведите в свободных столбцах Таблицы 1, укажите формулы, по которым Вы провели расчет, график постройте на бланке Листов ответов.*

Для проверки своих измерений и построений Федор собрал цепь из трех последовательно соединенных лампочек и подключил к источнику напряжения  $U_1 = 4,5\text{ В}$ .

**1.2** Чему равна потребляемая мощность  $P_1$  в этой цепи?

После этого Федор соединил эти 3 лампочки параллельно и подключил к тому же источнику напряжения  $U_1 = 4,5\text{ В}$ .

**1.3** Чему равна потребляемая мощность  $P_2$  в этой цепи?

Для теоретического описания проведенного эксперимента Федор решил использовать следующие приближения:

1) Сопротивление лампочки линейно зависит от ее температуры  $t$ :

$$R = R_0(1 + \alpha(t - t_0)) \quad (1)$$

Температурный коэффициент сопротивления вольфрама Федор нашел в справочнике  $\alpha = 5,0 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Здесь  $K$  - градус Кельвина. Температура по абсолютной шкале Кельвина связана с температурой по шкале Цельсия простым соотношением

$$T(^{\circ}K) = t(^{\circ}C) + 273,15^{\circ}K \quad (2)$$

2) Мощность тепловых потерь лампочки (т.е. количество теплоты уходящей в воздух в единицу времени) пропорциональна разности температур нити накаливания  $t$  и окружающего воздуха  $t_0$ :

$$P = \beta(t - t_0) \quad (3)$$

где  $\beta$  - неизвестный постоянный коэффициент, который Федор решил определить на основании экспериментальных данных.

В рамках этой линейной модели Федор сумел получить явный вид зависимости силы тока через лампочку от напряжения на ней.

**1.4** Найдите явный вид зависимости силы тока через лампочку от напряжения на ней  $I(U)$  в рамках линейной модели.

Полученная зависимость оказалась слишком громоздкой и трудно поддающейся анализу. Кроме того, у Федора возникла идея, как можно проверить применимость линейной модели к проведенному эксперименту.

Он сообразил, что можно легко рассчитать на основе результатов измерений мощность, выделяющуюся на лампочке  $P$  и ее сопротивление  $R$  и построить соответствующий график  $R(P)$ .

Федор провел необходимые расчеты, построил график этой зависимости и... с сожалением, отверг линейную модель!

**1.5** Найдите явный вид зависимости сопротивления лампочки от выделяющейся на ней мощности  $R(P)$ .

**1.6** Проведите необходимые численные расчеты и постройте график зависимости  $R(P)$  и кратко поясните, почему Федор отверг линейную модель.

Примечания. Результаты расчетов занесите в Таблицу 2 листов ответов. не забудьте подписать столбцы таблицы. Достаточно провести расчеты для половины точек, только выбирайте их разумно. График постройте на соответствующем бланке Листов ответов.

Для дальнейшего анализа Федор, тем не менее, решил оценить максимальную температуру нити накаливания в своем эксперименте.

**1.7** Оцените максимальную температуру нити накаливания на основании линейной модели.

## Часть 2. Строгая теоретическая модель

После продолжительных размышлений Федор решил, что основной недостаток линейной модели заключается в выборе механизма тепловых потерь лампочки, который описывается формулой (3). Действительно, нить накала разогревается достаточно сильно, в результате чего она и светится. Следовательно, основным механизмом тепловых потерь является излучение света. Пришлось опять обратиться к справочникам. В результате «рысканий» по Интернету Федор решил использовать следующие данные:

1) Мощность теплового излучения нагретых тел определяется формулой

$$P_{\text{изл.}} = AT^n, \quad (4)$$

где  $T$  - абсолютная температура тела,  $A$  - некоторый постоянный коэффициент,  $n$  - целое число.

2) Абсолютная температура  $T$  и электрическое сопротивление вольфрамовой нити в достаточно широком диапазоне температур связаны соотношением

$$\frac{T}{T_0} = \left( \frac{R}{R_0} \right)^{\frac{4}{5}}, \quad (5)$$

здесь  $R_0$  - сопротивление нити при температуре  $T_0$ .

**2.1** Проведите необходимые расчеты и постройте график зависимости мощности потерь лампочки от абсолютной температуры  $P(T)$ .

*Примечания.* Не забудьте привести все формулы, которые Вы использовали в ходе расчетов. Результаты расчетов занесите в Таблицу 2 Листов ответов. Достаточно провести расчеты для половины точек, только выбирайте их разумно. Можете построить график зависимости  $P(T)$  в относительных единицах (не забудьте указать каких). График постройте на бланке Листов ответов.

**2.2** Используя любой метод (строгого расчета, подбора, угадывания – но с обоснованием найденного значения) определите показатель степени в формуле (5).

**2.3** Найдите максимальную температуру нити накаливания лампочки в этом эксперименте.