

11 класс

Задача 1. Лампа Вановского

Для измерения зависимости сопротивления R лампы от температуры t наливаем в алюминиевый стакан горячую воду и погружаем в воду лампочку. К выводам лампочки подсоединяем мультиметр в режиме омметра. Считаем, что температура нити лампочки равна температуре воды, так как ток омметра достаточно мал, а скорость охлаждения воды невелика. Измеряя температуру с помощью термометра, снимаем зависимость показаний омметра от температуры воды по мере её охлаждения, при необходимости подливая холодную или горячую воду. По полученным данным строим график зависимости $R(t)$. Видно, что практически во всём температурном диапазоне сопротивление R изменяется с температурой по линейному закону. Находим численные значения $R_0 = 196,5 \pm 2,0$ Ом, $\alpha = (4,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

По номинальным значениям мощности и напряжения, взятых с коробки для лампы, находим её сопротивление в номинальном режиме $R_{\text{н}} = U_{\text{н}}^2/P_{\text{н}} = 2645$ Ом, а отсюда температуру спирали:

$$t_P = \frac{R_{\text{н}} - R_0}{\alpha R_0} = 2800 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Заметим, что получившаяся температура близка к яркостной температуре, указанной на коробке от лампочки (2800 К). Это подтверждает правомерность экстраполяции зависимости сопротивления от температуры.

Лампу подключаем к батарее через переменный резистор, позволяющий регулировать силу тока через лампочку. Последовательно с лампочкой подсоединяем также резистор $R_N = 10$ Ом. Напряжение U на лампочке измеряем мультиметром в режиме вольтметра, а ток — по падению напряжения U_N на резисторе R_N : $I = U_N/R_N$. Погружаем лампу в воду при комнатной температуре и снимаем зависимость установившегося значения мощности P , выделяемой на спирали лампы, от разности Δt температур t спирали и окружающей лампу воды $t_{\text{в}}$. Температуру $t_{\text{в}}$ воды регистрируем термометром. В процессе измерений $t_{\text{в}}$ практически не изменяется. Температуру спирали определяем, зная её сопротивление R , по формуле:

$$t = \frac{R - R_0}{\alpha R_0}.$$

Мощность, выделяемую на спирали находим по формуле $P = IU$, где I — ток через лампочку, U — падение напряжения на лампочке. Сопротивление спирали рассчитываем по закону Ома: $R = U/I$.

Для проверки закона теплопередачи Ньютона-Рихмана строим график зависимости $P(\Delta t)$. Видно, что в исследованном диапазоне разности температур Δt зависимость $P(\Delta t)$ можно считать прямой пропорциональностью $P \sim \Delta t$,

значит закон Ньютона-Рихмана более-менее выполняется. Коэффициент теплопередачи $k = 1,0 \pm 0,1$ мВт/К.

Оценим сверху вклад излучения спирали в мощность, зная температуру в номинальном режиме, где можно предполагать, что значительная часть потребляемой мощности выделяется в виде излучения:

$$P_{\text{н}} \geq \sigma S T_p^4, \quad P_{\text{из}} = \sigma S T^4, \quad \text{откуда} \quad P_{\text{из}} \leq \left(\frac{T}{T_p}\right)^4 P_{\text{н}} \approx 15 \text{ мВт.}$$

Потребляемая лампой мощность при таком подключении $P = 0,2$ Вт. Вклад излучения достаточно мал: $\beta = P_{\text{из}}/P \leq 7\%$.

Задача 2. Исследование жидкокристаллической ячейки

1. Для измерения коэффициента пропускания в держателе закрепим светодиод, фотодиод и жидкокристаллическую ячейку между ними. Соберём схему измерения (рис. 22). Вращая ручку потенциометра, будем изменять напряжение $U_{\text{я}}$ на ячейке, и снимать показания люксметра (значение обратного тока через фотодиод найдём, зная внутреннее сопротивление вольтметра $I_{\text{ф}} = U_{\text{в}}/R_{\text{в}}$). Построим график $I_{\text{ф}}(U_{\text{я}})$ (рис. 23).

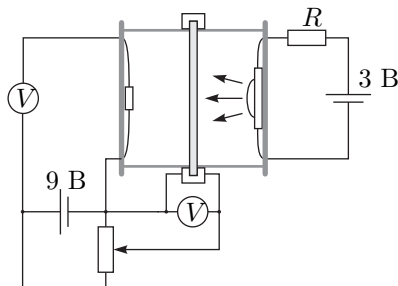


Рис. 22

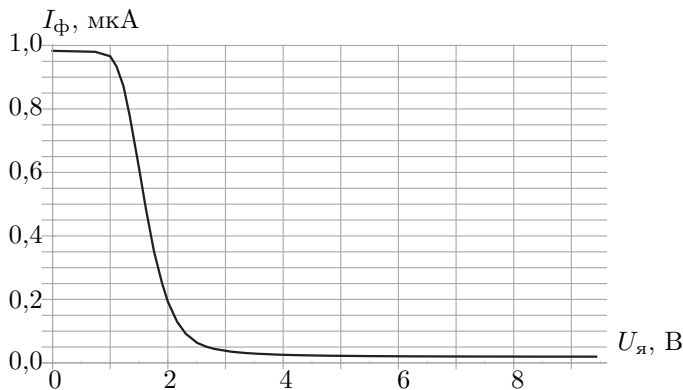


Рис. 23

2. Зарядим конденсатор $C_0 = 10$ нФ до некоторого напряжения U_0 , а ЖК-ячейку разрядим. Ёмкость ячейки C определим заряжая её от конденсатора C_0 . После перераспределения заряда $q_0 = C_0 U_0$ напряжение U_1 на конденсаторах одинаково, поэтому ёмкость затвора равна

$$C = C_0 \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right).$$

Заметим, что напряжение U_1 на конденсаторах не удаётся определить с помощью вольтметра, так как характерное время разрядки через вольтметр $\tau = R_{\text{в}}C \approx 1$ мс. Для определения напряжения на ячейке воспользуемся графическим коэффициентом пропускания, полученного в пункте 1. Результаты занесём в таблицу.

U , В	0.69	1.34	1.41	1.53	1.72	1.84	2.02
C , нФ	30	14.3	15.8	16.5	16.9	18.0	18.5
U , В	2.16	2.28	2.4	2.56	2.79	2.99	
C , нФ	19.3	19.7	21.1	21.8	21.6	22.0	

3. Зарядим ячейку до напряжения $U_0 = 3,0$ В, отключим от батарейки и будем наблюдать за показаниями люксметра от времени. Через время $t = 60$ с напряжение на ячейке составит $U_1 = 1,8$ В. Для оценки считаем что ёмкость постоянна в данном диапазоне напряжений. Сопротивление утечки равно

$$R = \frac{t}{C \ln U_0/U_1} \approx 2 \text{ ГОм.}$$

4. После прохождения через неподключенную ячейку свет поляризован в направлении поляризации второго поляризатора. Будем смотреть сквозь анализатор (внешний поляризатор) и ЖК-ячейку. Вращая анализатор возле ячейки добъёмся минимального пропускания света. В данном случае направление поляризации анализатора и ближнего поляризатора ЖК-ячейки перпендикулярны.

5. Из предыдущего пункта можно сделать вывод, что направления поляризации слоёв ячейки перпендикулярны. Таким образом, поскольку жидкий кристалл поворачивает на 90° поляризацию света прошедшего через первый поляризатор, то в результате направление поляризации света на выходе из ЖК совпадает с разрешённым направлением второго поляризатора, а интенсивность проходящего света максимальна (рис. 24 а). После приложения некоторого напряжения ячейка «не доворачивает» свет в результате интенсивность прошедшего света определяется законом Малюса (рис. 24 б):

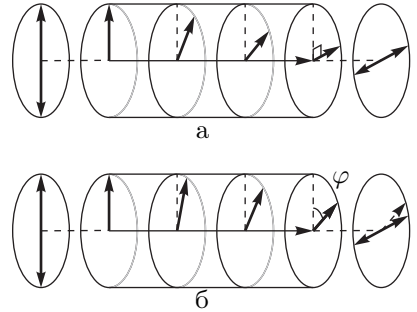


Рис. 24

$$I = I_0 \cos^2(90^\circ - \varphi) = I_0 \sin^2 \varphi.$$

Угол поворота ячейки найдём пересчётом зависимости интенсивности проходящего света от напряжения из пункта 1:

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{ф0}}}}.$$