

Условие

1. Снимите зависимость сопротивления R вольфрамовой нити от её температуры t в возможно более широком температурном диапазоне. Результаты измерений занесите в таблицу.

2. Выясните, выполняется ли для вольфрама зависимость

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t),$$

где α — температурный коэффициент сопротивления, R_0 — сопротивление при $t = 0^\circ\text{C}$.

3. Определите значения сопротивления R_0 и температурного коэффициента сопротивления α в области линейной зависимости $R(t)$.

4. Используя ваши экспериментальные данные и данные, указанные на упаковке лампы, оцените рабочую температуру t_p спирали лампы в номинальном режиме работы.

5. Погрузите лампочку в воду и снимите зависимость мощности P теплопередачи от разности $\Delta t = t - t_v$ температур спирали лампочки t и окружающей лампочку воды t_v (P — установившаяся мощность теплоотвода от спирали лампочки к воде).

6. Выясните, выполняется ли для мощности теплоотвода закон Ньютона-Рихмана $P = k\Delta t$, где k — коэффициент теплопередачи.

7. Определите коэффициент k в области выполнения закона Ньютона-Рихмана.

8. Оцените вклад излучения спирали в мощность погруженной в воду лампы при её подключении к батареек напрямую.

Примечание. Мощность теплового излучения тела с площадью поверхности S , абсолютная температура которого равна T , равна $P = \sigma ST^4$, где постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Оборудование. Лампа накаливания в упаковке, патрон для лампы, пенопластовый фиксатор лампы, мультиметр, 2 провода для мультиметра с «крокодилами», батарейка «крона», клемма для батарейки, макетная плата, 2 соединительных провода («крокодил-крокодил» и «плата-крокодил»), переменный резистор (0–1,0 кОм), резистор с сопротивлением $R_N = 10 \text{ Ом}$, термометр, 2 пластиковые ёмкости, алюминиевая кружка, штатив с лапкой, горячая и холодная дистиллированная вода (по требованию).

Возможное решение

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 $R_0 = 196,5 \pm 2,0 \text{ Ом}$, $\alpha = (4,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

По значениям номинальных мощности и напряжения, взятых с коробки для лампы, находим её сопротивление в номинальном режиме $R_n = U_n^2/P_n = 2645 \text{ Ом}$, а отсюда температуру спирали:

$$t_p = \frac{R_n - R_0}{\alpha R_0} = 2800 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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 батареек через переменный резистор, позволяющий регулировать силу тока через лампочку. Последовательно с лампочкой подсоединяем также резистор $R_N = 10 \text{ Ом}$. 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_v . Температуру t_v воды регистрируем термометром. В процессе измерений t_v 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 $k = 1,0 \pm 0,1 \text{ мВт/К}$.

Возможное решение

1. Для измерения коэффициента пропускания в держателе закрепим светодиод, фотодиод и жидкокристаллическую ячейку между ними. Соберём схему измерения (рис. 7). 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 $I_{\Phi} = U_{\text{в}}/R_{\text{в}}$). Построим график $I_{\Phi}(U_{\text{я}})$ (рис. 8).

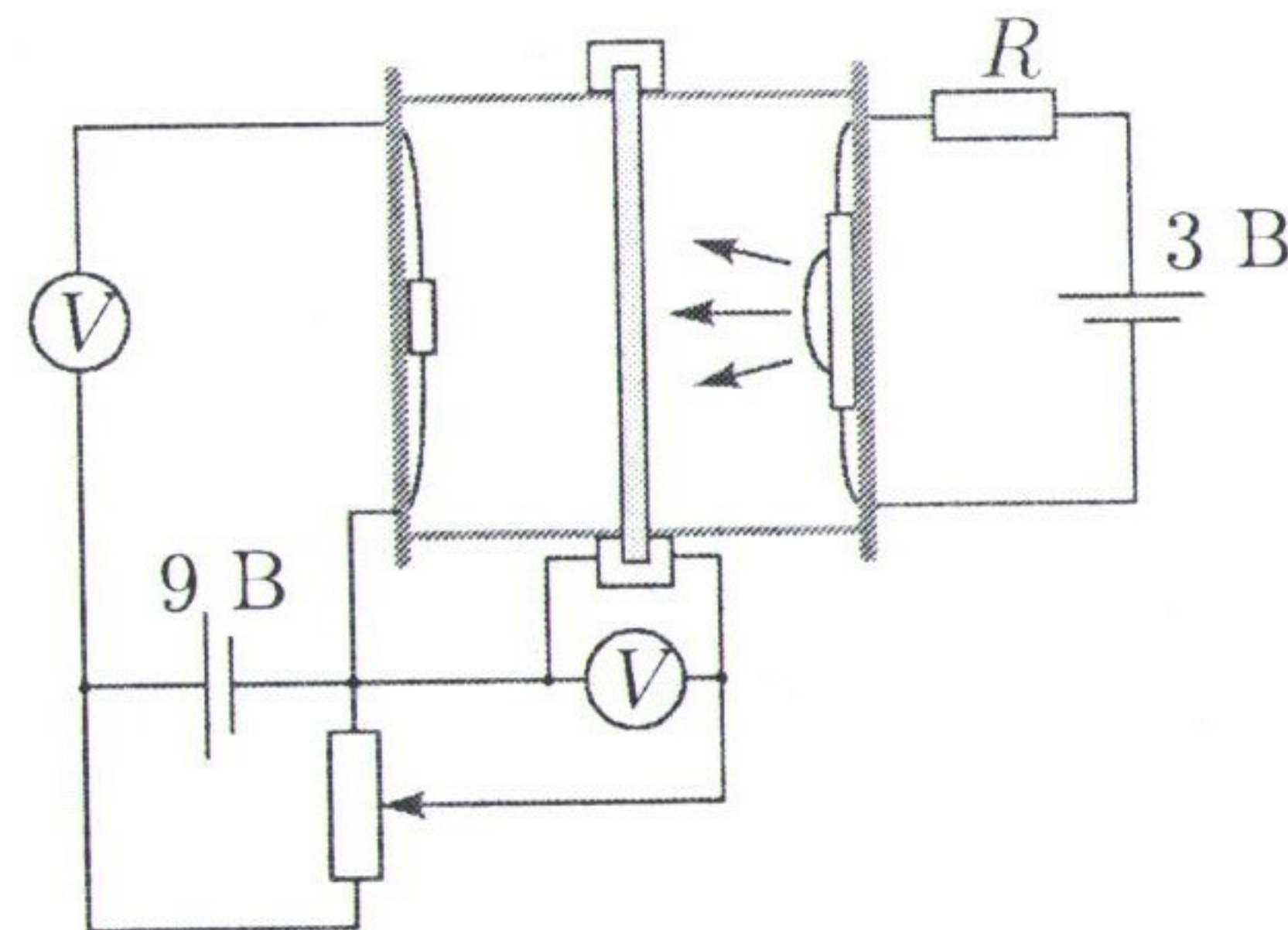


Рис. 7

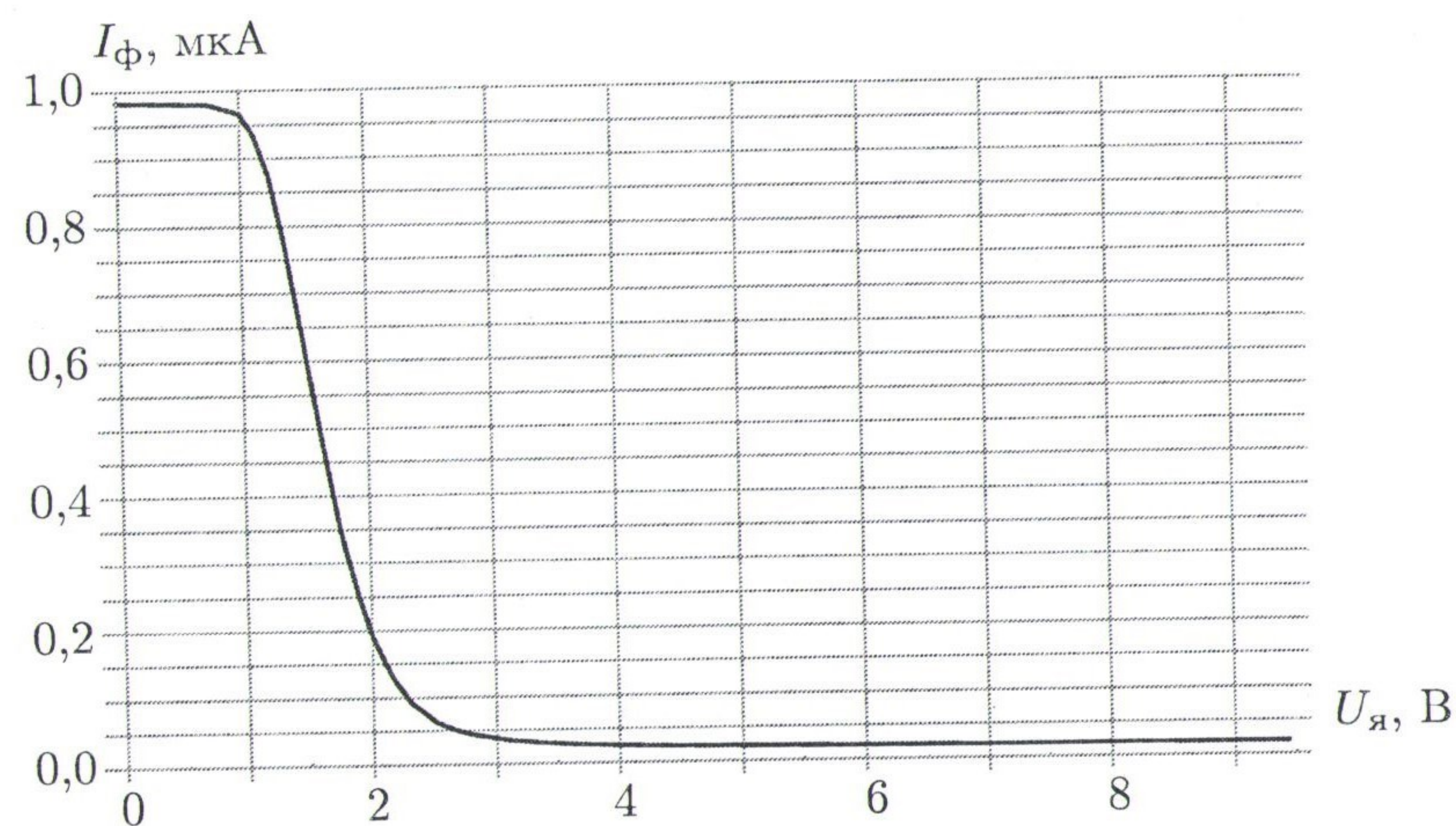


Рис. 8

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 графиком коэффициента пропускания, полученного в пункте 1. Результаты занесём в таблицу.

Е-11-2

$U, \text{В}$	0.69	1.34	1.41	1.53	1.72	1.84	2.02
$C, \text{нФ}$	30	14.3	15.8	16.5	16.9	18.0	18.5
$U, \text{В}$	2.16	2.28	2.4	2.56	2.79	2.99	
$C, \text{нФ}$	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 добьёмся 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. 9 а). После приложения некоторого напряжения ячейка «не доворачивает» свет в результате интенсивность прошедшего света определяется законом Малюса (рис. 9 б):

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

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

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{I_{\Phi}}{I_{\Phi 0}}}.$$

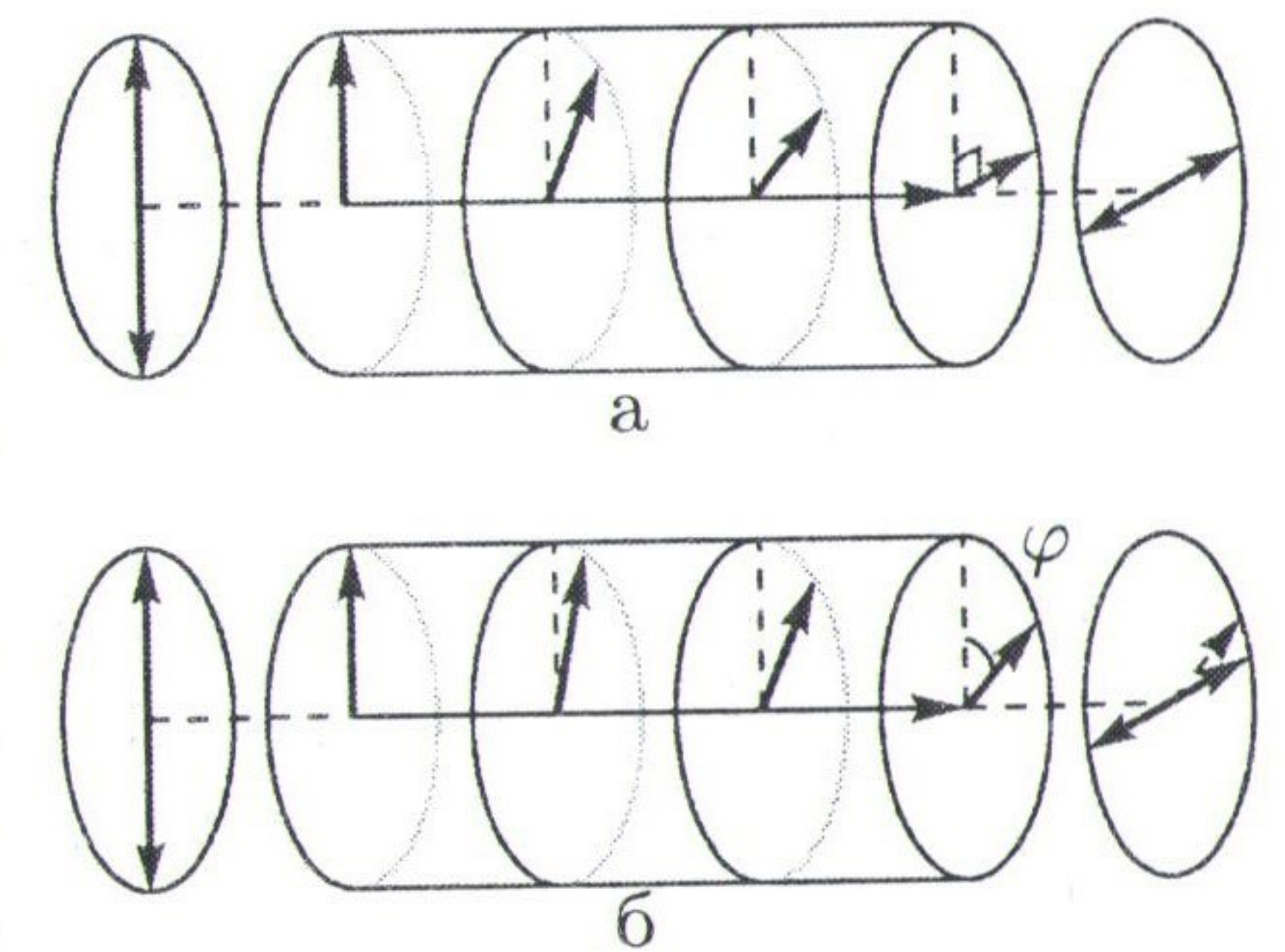


Рис. 9

Условие

Жидкие кристаллы — это вещества, обладающие кристаллическими свойствами в одних направлениях (упорядоченность) и свойствами жидкостей в других. Они имеют широкое применение в науке и технике. Например, жидкие кристаллы используются в современных мониторах и экранах мобильных устройств (ЖК-дисплей). Жидкокристаллическая ячейка — это составляющая часть пикселя жидкокристаллического дисплея. Увеличенный образец такой ячейки предлагается исследовать в данной задаче.

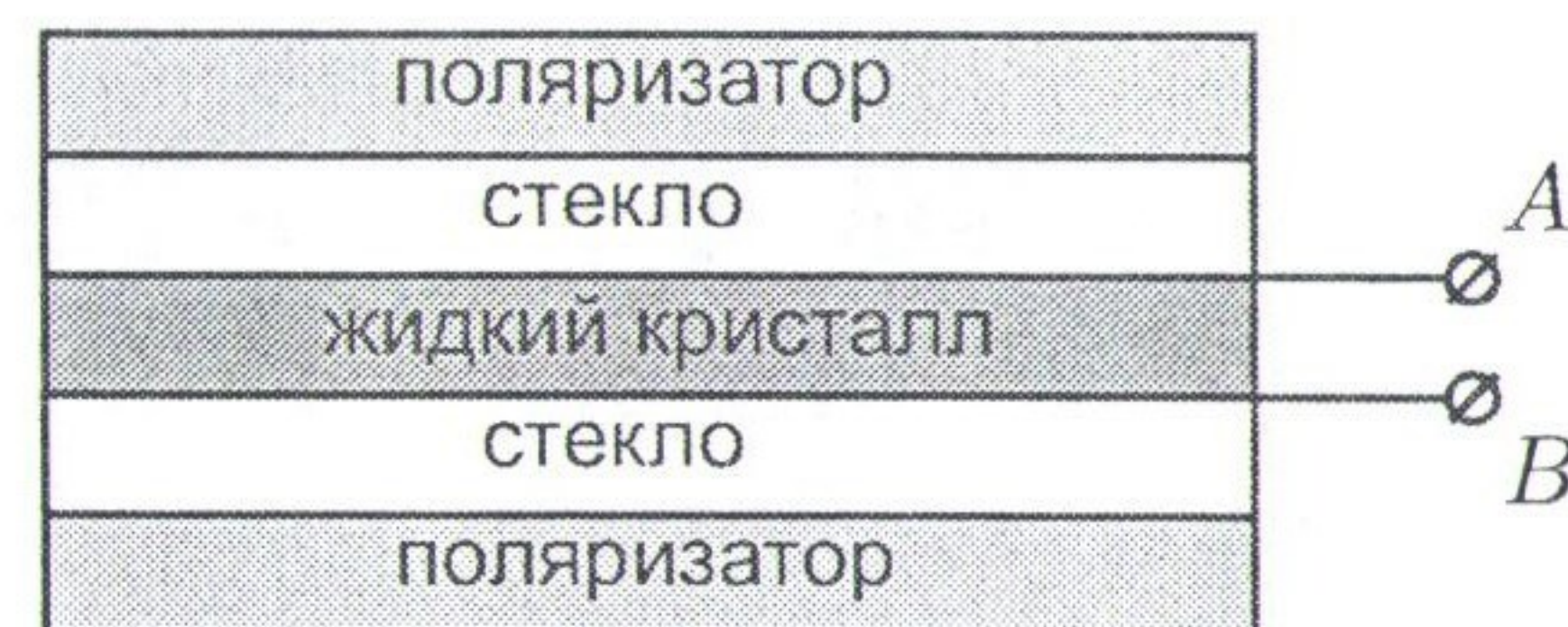


Рис. 1

ЖК-ячейка является структурой из нескольких прозрачных слоёв (рис. 1). Между парами поляризаторов с проводящими поверхностями находится слой жидкого кристалла. Проводящие поверхности и слой жидкого кристалла представляют собой конденсатор. При приложении напряжения к ячейке длинные молекулы жидкого кристалла оказываются в электрическом поле и поворачиваются, тем самым меняются оптические свойства кристалла. После прохождения первого поляризатора свет становится линейно поляризован. Слой жидкого кристалла поворачивает плоскость поляризации света и не меняет амплитуду.

Ёмкость такого конденсатора зависит от приложенного напряжения. Кроме того, жидкий кристалл обладает слабой проводимостью, и конденсатор характеризуется некоторым сопротивлением утечки.

Задание:

1. Соберите установку, указанную на схеме (рис. 2). Закрепите ЖК-ячейку между корпусами фото- и светодиода. Корпуса должны плотно соприкасаться с ячейкой, чтобы уменьшить фоновую засветку. Сверху накройте установку чёрной плёнкой (закрепите резинкой). Снимите зависимость интенсивности прошедшего света $I_{пр}$ (в относительных единицах) от напряжения $U_{я}$ на ячейке. Исследуйте диапазон $U_{я}$ от 0 В до 9 В. ЖК-ячейка является неполярной. Для измерения интенсивности света пользуйтесь люксметром (см. примечание).

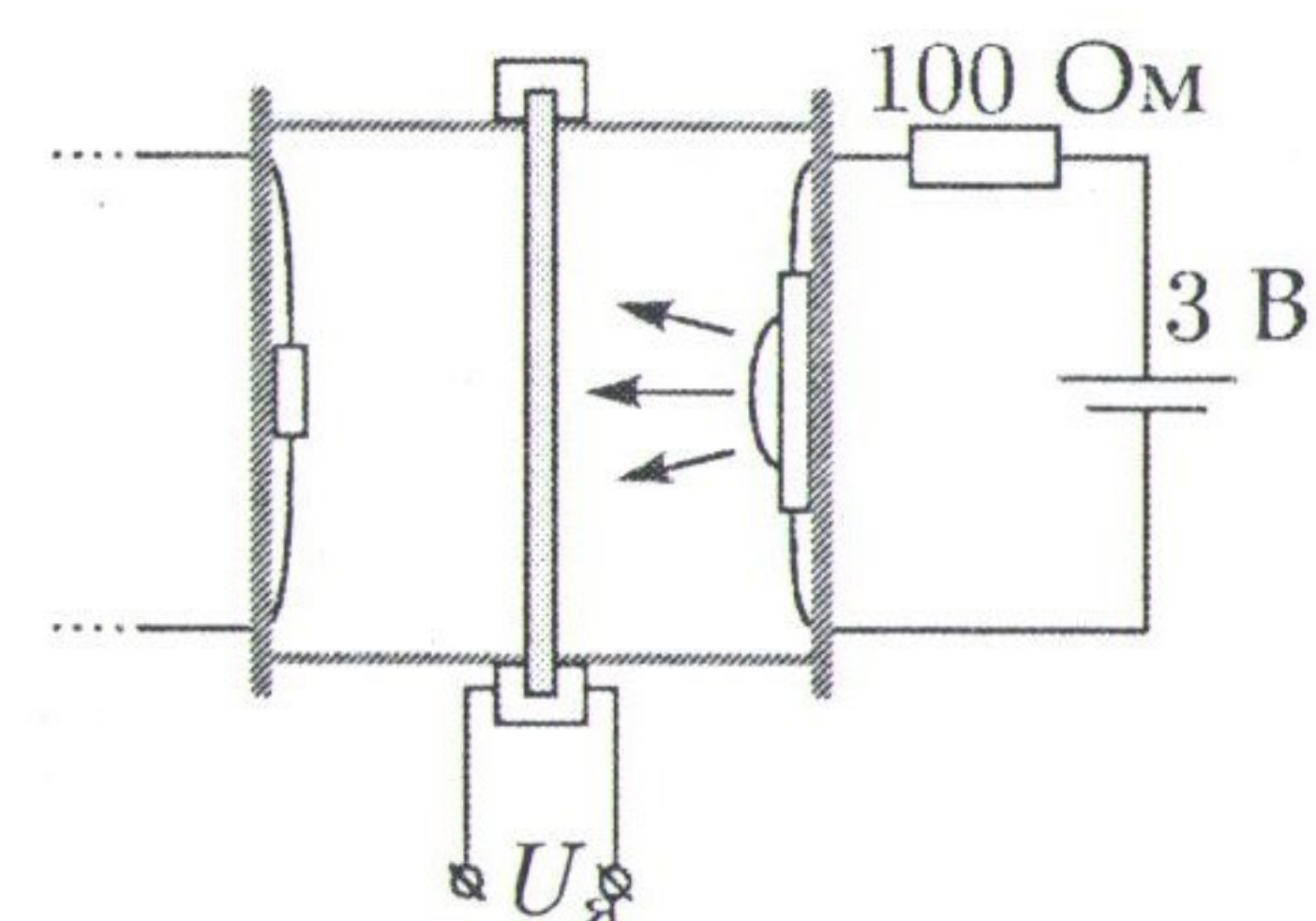


Рис. 2

Постройте график полученной зависимости. 3 б.

2. Снимите зависимость ёмкости ЖК-ячейки от напряжения $U_{я}$ в интервале от 1 В до 3 В. 6 б.

3. Оцените сопротивление утечки ЖК-ячейки. 1 б.

4. Определите разрешённые направления поляризаторов ЖК-ячейки. После этого перерисуйте изображения ячейки (рис. 3) в своё решение (буквы на рисунке обозначают цвет проводов), и на каждом рисунке стрелкой ука-

жите разрешённое направление переднего поляризатора при таком расположении проводов. 1,5 б.

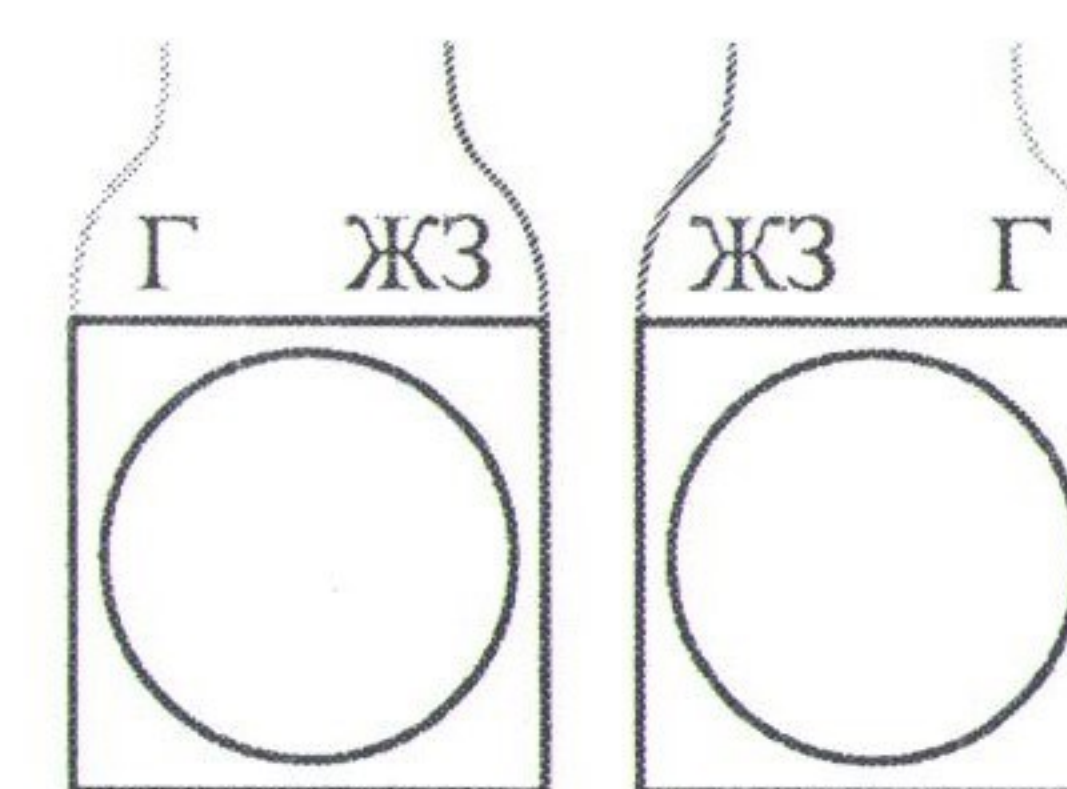


Рис. 3

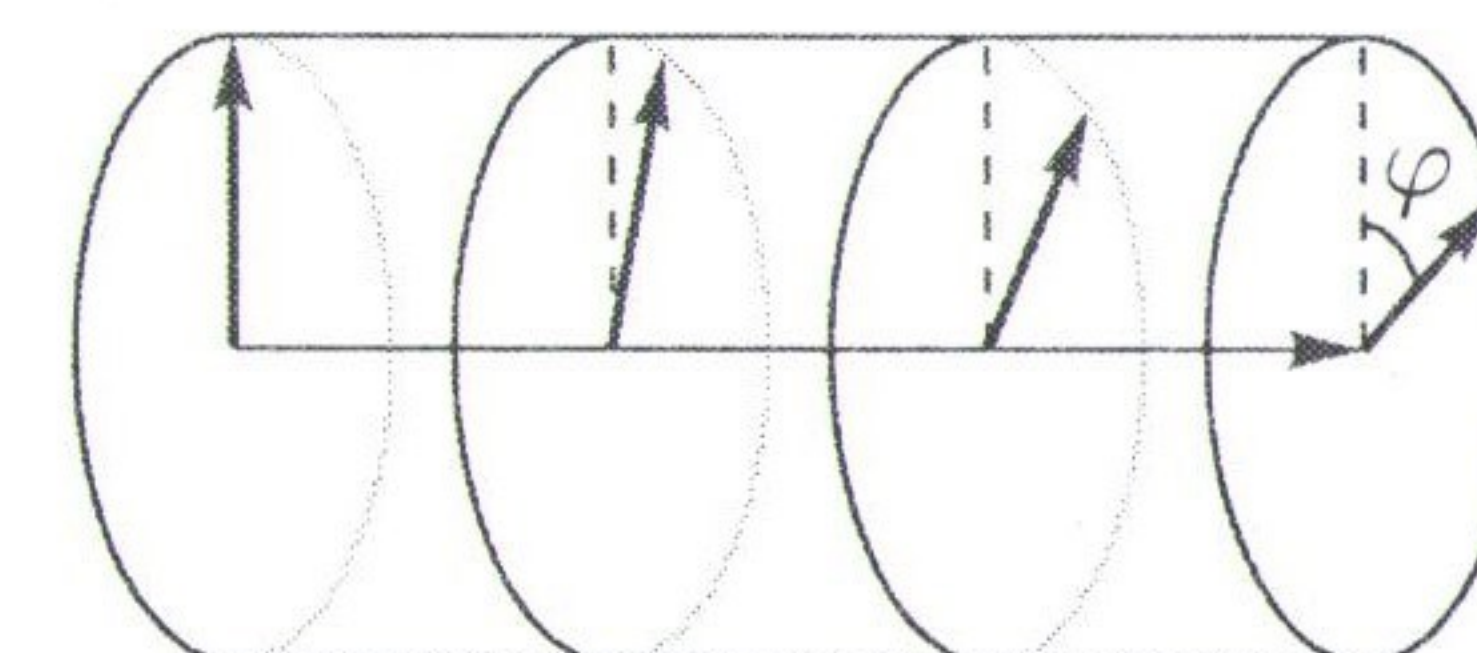


Рис. 4

5. Найдите зависимость угла φ поворота плоскости поляризации (рис. 4) в ЖК-ячейке от приложенного к ней напряжения. Считайте, что угол поворота при отсутствии напряжения $\varphi(U_{я} = 0) = 90^\circ$ 3,5 б.

Примечание. В данной задаче оценивать погрешность не нужно!

Примечание. Инструкция по использованию макетной платы. Каждые пять выводов макетной платы, расположенные в одном столбце по одну сторону от середины платы, соединены внутри платы друг с другом. Например, выводы, отмеченные серым (рис. 5), замкнуты между собой.

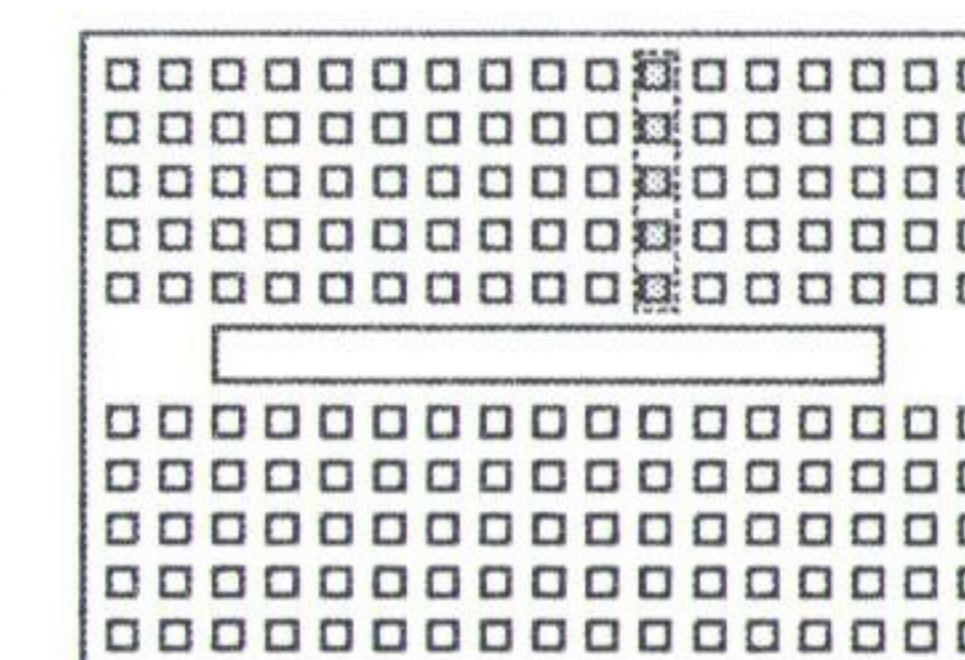


Рис. 5

Примечание. Инструкция по использованию люксметра. Для измерения интенсивности света используется люксметр. Он состоит из фотодиода в корпусе, батарейки и измерителя тока, собранных по схеме. (рис. 6)

В этой схеме ток через фотодиод прямо пропорционален интенсивности падающего на него света. Для измерения тока используйте мультиметр в режиме *вольтметра*. Внутреннее сопротивление вольтметра равно 1,00 МОм на всех диапазонах измерений.

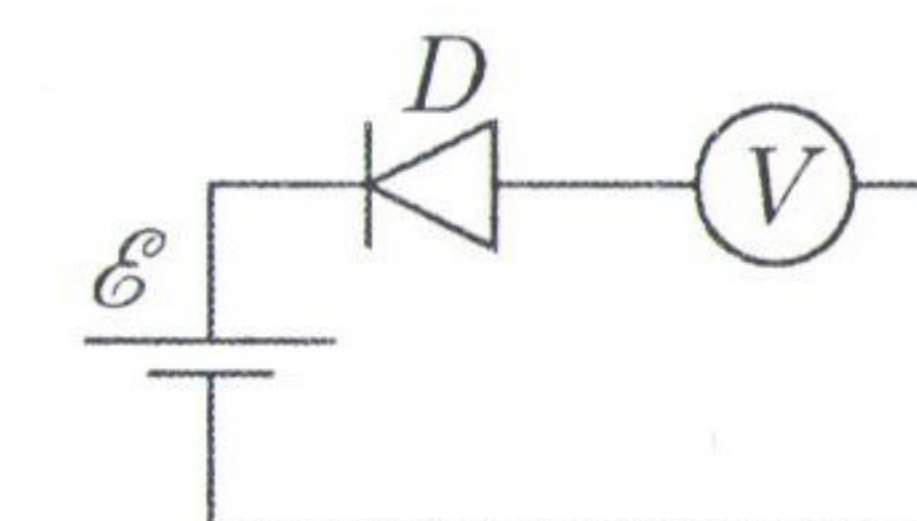


Рис. 6

Примечание. Светодиод — это источник света, а фотодиод — это измеритель интенсивности света. Не перепутайте!

Оборудование. Жидкокристаллическая ячейка в рамке с проводами, светодиод в корпусе (последовательно соединён с резистором), фотодиод в корпусе, поляризатор (направление поляризации указано меткой), держатели корпусов светодиода и фотодиода на подставке, макетная плата, батарейка «крона», 2 батарейки АА в корпусе с проводами (только для питания светодиода), потенциометр, конденсатор 10 нФ, секундомер, 2 мультиметра, 2 провода для соединения мультиметра и макетной платы, два провода типа «крокодил», чёрная плёнка, резинка.

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: $\beta = P_{\text{из}}/P \leq 7\%$.