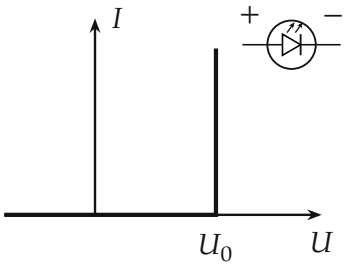
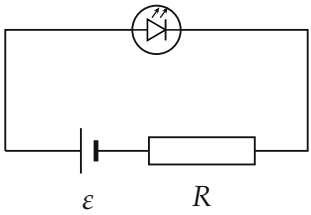
Светодиод и токоограничивающий резистор

Задача 2. [ИОШ 2025/26, отборочный этап, 11 класс, задача 2] Вольтамперная характеристика светодиода приведена на рисунке справа; напряжение открытия диода $U_0 = 3$ В. Известно, что если мощность энерговыделения на светодиоде превосходит значение $P_m = 100$ мВт, светодиод перегорает.



Светодиод включают в электрическую цепь вместе с идеальным источником ЭДС $\varepsilon = 6$ В и токоограничивающим резистором, функция которого заключается в ограничении тока в цепи (см. рисунок слева). При каком минимальном значении R светодиод не перегорит?



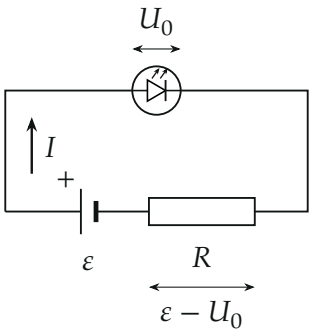
▲ **Решение. Что происходит.** Это задача на нелинейный элемент в цепи: сначала по вольтамперной характеристике определяем, в каком состоянии диод (закрыт или открыт), затем пишем закон Ома для остальной цепи. Открытый светодиод держит на себе постоянное напряжение U_0 при любом токе, поэтому ток в цепи задаёт только резистор, а мощность на диоде пропорциональна току. Резистор нужен, чтобы этот ток был не слишком большим.

Обозначения. I — ток в цепи, U — напряжение на светодиоде, $P = UI$ — мощность на нём. Источник идеальный (внутреннего сопротивления нет), провода без сопротивления. Светодиод включён в прямом направлении: ток от «+» источника идёт через него от анода к катоду, как на рисунке.

1. Состояние светодиода. По характеристике: при $U < U_0$ ток равен нулю (диод закрыт), ток может течь только при $U = U_0$, и тогда он может быть любым. Предположим, что диод закрыт: $I = 0$, на резисторе напряжения нет, и всё напряжение источника $\varepsilon = 6$ В оказалось бы на диоде. Но $6\text{ В} > U_0$, а при таком напряжении закрытого диода не бывает. Значит, диод открыт: $U = U_0$, ток течёт.

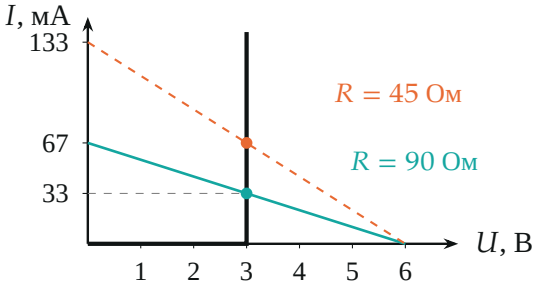
2. Ток в цепи. Второе правило Кирхгофа для контура (сумма напряжений на элементах равна ЭДС): $U_0 + IR = \varepsilon$. Напряжение на резисторе $\varepsilon - U_0$, и по закону Ома для резистора

$$I = \frac{\varepsilon - U_0}{R}.$$



Напряжения в цепи: на открытом светодиоде U_0, на резисторе $\varepsilon - U_0$; ток I один на всю цепь.

То же самое графически: ток и напряжение светодиода — точка пересечения его характеристики с «нагрузочной прямой» резистора $I = (\varepsilon - U)/R$. Прямая пересекает вертикальную ветвь характеристики при $U = U_0$, и ток там равен $(\varepsilon - U_0)/R$. Чем меньше R, тем круче прямая и выше точка пересечения.



Характеристика светодиода (чёрная) и нагрузочные прямые резистора: при $R = 90$ Ом ток 33 мА, мощность 3 В · 33 мА = 0,1 Вт; при $R = 45$ Ом ток вдвое больше, светодиод сгорит.

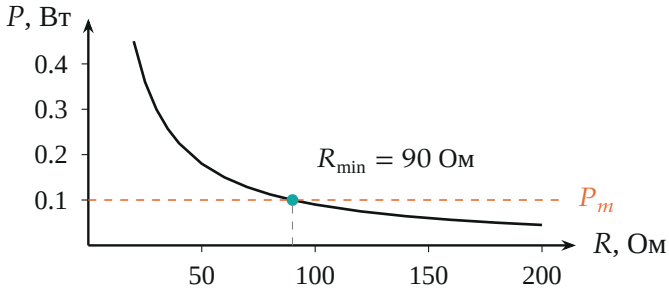
3. Мощность на светодиоде. Работа электрического поля над зарядом, прошедшим через диод, за единицу времени:

$$P = U_0 I = \frac{U_0(\varepsilon - U_0)}{R}.$$

Обратите внимание: на светодиоде напряжение U_0, а не ε; мощность εI отдаёт источник, и она делится между светодиодом и резистором.

4. Условие «не перегорит». $P \le P_m$:

$$\frac{U_0(\varepsilon - U_0)}{R} \le P_m \quad \Rightarrow \quad R \ge R_{\min} = \frac{U_0(\varepsilon - U_0)}{P_m} = 90 \text{ Ом}.$$



Мощность на светодиоде $P = 9\ В^2/R$: убывает с ростом R; ниже штриховой линии P_m светодиод цел, это $R \ge 90$ Ом.

Проверка. Размерность: $\text{В} \cdot \text{В}/\text{Вт} = \text{В}^2/(\text{В} \cdot \text{А}) = \text{Ом}$. Пределы: при $\varepsilon \to U_0$ ток исчезает и резистор не нужен ($R_{\min} \to 0$); при $R \to 0$ ток неограничен — без резистора светодиод сгорает, для этого резистор и ставят. Число: при $R = 90$ Ом $I = 3/90 = 33{,}3$ мА и $P = 3 \cdot 0{,}0333 = 0{,}1$ Вт $= P_m$.

Смысл: открытый светодиод — как «стабилизатор» напряжения U_0, ток ему задаёт резистор; чтобы ограничить мощность, ограничивают ток.

Ответ. $R_{\min} = \dfrac{U_0(\varepsilon - U_0)}{P_m} = 90$ Ом.