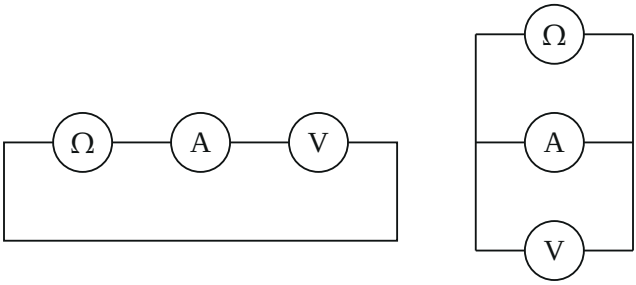
Омметр, амперметр, вольтметр

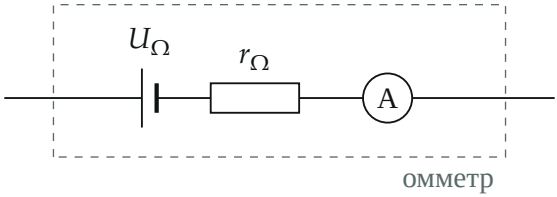
Задача 1. [Росатом 2021/22, заключительный этап, 9 класс, задача 1] Когда омметр, амперметр и вольтметр соединили последовательно (левый рисунок), их показания были следующими: омметра $R_0 = 1{,}0$ Ом, амперметра $I_0 = 1{,}0$ А, вольтметра $U_0 = 1{,}0$ В. Какими будут показания приборов, когда их соединили так, как показано на правом рисунке, если внутреннее сопротивление омметра равно $r_\Omega = 1{,}0$ Ом.



Указание: омметр — прибор для измерения сопротивлений — представляет собой последовательно соединенные источник напряжения, амперметр и резистор. Омметр измеряет силу электрического тока в цепи и пересчитывает ее и напряжение источника в сопротивление внешней цепи.

▲ **Решение.** **Что происходит.** Омметр — это источник с внутренним сопротивлением и встроенным амперметром: он видит ток I в цепи и пишет $R = U_\Omega/I - r_\Omega$ — то сопротивление внешней цепи, при котором шёл бы такой ток. Класс задачи — измерительные приборы как обычные резисторы: по первой схеме находим параметры приборов, по второй — считаем новую цепь.

Обозначения. U_Ω — напряжение источника внутри омметра, r_Ω — его внутреннее сопротивление, r_A и r_V — сопротивления амперметра и вольтметра; I_1, U_1, R_1 — показания амперметра, вольтметра и омметра во второй схеме.



Омметр изнутри: источник U_Ω, резистор r_Ω и амперметр последовательно

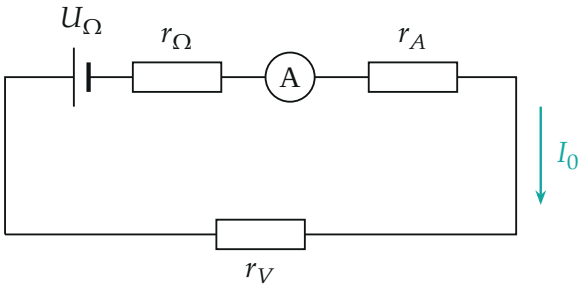
1. Сопротивление вольтметра. В первой схеме все приборы соединены последовательно, через каждый идёт ток I_0. Вольтметр показывает напряжение на самом себе, поэтому по закону Ома

$$r_V = \frac{U_0}{I_0} = 1{,}0 \text{ Ом}.$$

2. Сопротивление амперметра. Омметр показывает сопротивление всей внешней по отношению к нему цепи, а это последовательно соединённые амперметр и вольтметр: $R_0 = r_A + r_V$. Отсюда

$$r_A = R_0 - r_V = 0.$$

Точнее, r_A много меньше r_V и при точности показаний до десятых не обнаруживается.



Эквивалентная схема первого соединения: всё последовательно, ток I_0 (амперметр внутри омметра показан кружком)

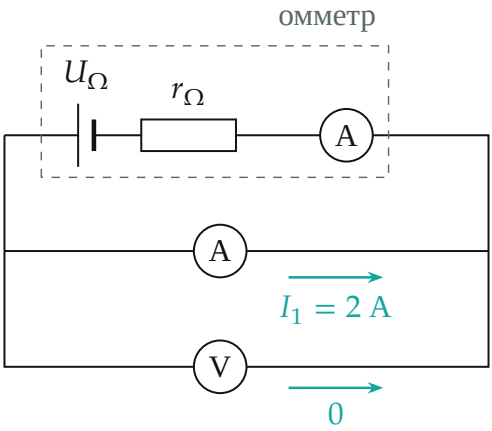
3. Напряжение источника омметра. Закон Ома для полной цепи: ЭДС источника равна сумме напряжений на всех сопротивлениях цепи:

$$U_\Omega = I_0 r_\Omega + I_0(r_A + r_V) = I_0 r_\Omega + U_0 = 2{,}0 \text{ В}.$$

4. Вторая схема. Теперь омметр, амперметр и вольтметр подключены к одной паре точек. Амперметр с нулевым сопротивлением замыкает эти точки накоротко: напряжение между ними $U = Ir_A = 0$. Тогда через вольтметр ток не идёт, вольтметр показывает $U_1 = 0$, а весь ток источника омметра идёт через амперметр. Закон Ома для полной цепи (внешнее сопротивление нулевое):

$$I_1 = \frac{U_\Omega}{r_\Omega} = \frac{I_0 r_\Omega + U_0}{r_\Omega} = 2{,}0 \text{ А}.$$

Омметр видит ток 2,0 А и пересчитывает: $R_1 = \dfrac{U_\Omega}{I_1} - r_\Omega = 0$.



Вторая схема: амперметр ($r_A = 0$) закорачивает вольтметр и выход омметра

Обратите внимание. Вольтметр подключён параллельно амперметру и поэтому показывает напряжение на амперметре, а оно равно нулю: $U_1 = I_1 r_A = 0$. Ноль у вольтметра и омметра — не поломка, а следствие ничтожного сопротивления амперметра.

Проверка. Размерность: В/Ом = А. Второй способ для U_Ω: в первой схеме омметр показал $R_0 = 1$ Ом при токе 1 А, значит, $U_\Omega = I_0(R_0 + r_\Omega) = 1 \cdot 2 = 2$ В — то же. Предел: если бы r_A было малым, но не нулевым, вольтметр показал бы $U_1 \approx I_1 r_A$, омметр — $R_1 \approx r_A$: малые величины, при точности задачи нули. Смысл: короткое замыкание омметра — максимальный ток U_Ω / r_Ω и нулевое «сопротивление».

Ответ. Вольтметр $U_1 = 0$; амперметр $I_1 = 2{,}0$ А; омметр $R_1 = 0$.