

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП
2021-2022 УЧЕБНЫЙ ГОД
ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАДЫ
ПО ФИЗИКЕ**

Задания заключительного этапа по физике включают по 5 задач для каждого класса. На его выполнение отводится 4 часа (**180 минут**). Внимательно прочтите задания. Постарайтесь взять задания в том порядке, в котором они даны. К пропущенному заданию можете вернуться после выполнения всей работы, если останется время. Разрешается пользоваться калькулятором.

Физические постоянные, которые могут быть востребованы при решении задач для 8-11 классов:

Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Плотность алюминия $\rho_{\text{А}} = 2700 \text{ кг/м}^3$,

Теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Теплоемкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Теплоемкость железа $c_{\text{ж}} = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°С)}$.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$.

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}\cdot\text{м}^{-1}$, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н}\cdot\text{м}^2)/\text{Кл}^2$.

Гравитационная постоянная $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг}\cdot\text{с}^2)$.

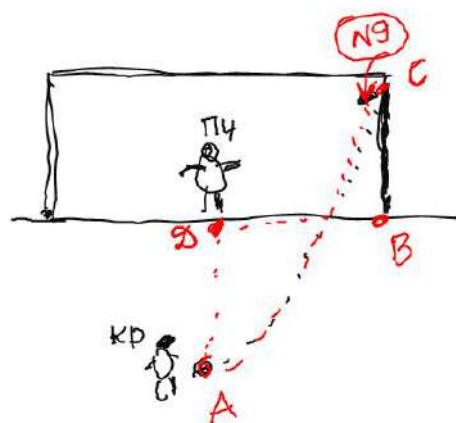
Удачи!

11 класс (Вариант 1)

Задача 1. Это футбол

Криштиану Роналду бьет пенальти. На воротах находится Петр Чех, который может допрыгнуть до «девятки» ворот за 0,5с (см.рис).

По стандартам УЕФА размер футбольных ворот должен быть 7,32 метра в длину и 2,44 метра в высоту. Точка для удара пенальти находится на расстоянии 11 м от центра ворот. С какой скоростью и под каким



углом должен ударить мяч Криштиану, чтобы мяч вошел в «девятку» ворот в точке максимального подъема? Трением воздуха можно пренебречь. (10 баллов)

расстояние от точки пенальти до угла: $AB^2 = (AD^2 + DB^2) = 11^2 + 3.66^2 = 134,4$	1балл
расстояние от точки пенальти до «девятки» по горизонтали: $x = \sqrt{AB^2 + BC^2} = 11,85 \text{ м.}$	1балл
скорость мяча по горизонтали: $v_x = x/t = 11,85/0,5 = 23,7 \text{ м/с}$	2балла
скорость мяча по вертикали: $v_y = gt = 9,8 \cdot 0,5 = 4,9 \text{ м/с}$ (условие равенства нулю $v_y=0$)	2балла
скорость мяча, используя теорему Пифагора: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 24,2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$	2балла
угол находим из соотношения: $\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x} = 4,8367, \alpha = 78,3^\circ$	2балла

Решение: найдем (по 2 балла за каждый пункт)

7) расстояние от точки пенальти до угла: $AB^2 = (AD^2 + DB^2) = 11^2 + 3.66^2 = 134,4$

8) расстояние от точки пенальти до «девятки» по горизонтали:

$$x = \sqrt{AB^2 + BC^2} = 11,85 \text{ м.}$$

9) скорость мяча по горизонтали: $v_x = x/t = 11,85/0,5 = 23,7 \text{ м/с}$

10) скорость мяча по вертикали: $v_y = gt = 9,8 \cdot 0,5 = 4,9 \text{ м/с}$ (условие равенства нулю $v_y=0$)

11) скорость мяча, используя теорему Пифагора:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 24,2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

12) угол находим из соотношения:

$$\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x} = 4,8367, \alpha = 78,3^\circ$$

Задача 2. Магнит по наклонной плоскости

Эрчим решил сравнить силы, которые необходимы для перемещений магнита по верхней поверхности стальной плиты, наклоненной под углом к 45° к горизонту, сначала вверх по плите, а потом вниз. Магнит прижимается к плите с силой $F_{\text{маг}} = 5mg$, где m – масса магнита. Коэффициент трения скольжения между магнитом и плитой $\mu = 0,5$. Какое отношение сил получил Эрчим? (10 баллов)

По первому закону Ньютона нужно приложить силу $F_1 = F_{\text{ск}} + mgsin\alpha = \mu N + mgsin\alpha$	2 балла
$F_1 = mg(6\mu\cos\alpha + sin\alpha),$	2 балла
$F_2 = F_{\text{ск}} - mgsin\alpha = \mu N - mgsin\alpha$	2 балла
$F_2 = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha - mgsin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha - sin\alpha).$	2 балла
$k = \frac{F_1}{F_2} = \frac{6\mu + 1}{6\mu - 1} = 2.$	2 балла

Решение: Для равномерного перемещения магнита вверх по стальной плите к нему согласно первому закону Ньютона нужно приложить силу

$F_1 = F_{\text{ск}} + mgsin\alpha = \mu N + mgsin\alpha = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha + mgsin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha + sin\alpha)$,
где N – сила реакции опоры.

Аналогично при перемещении магнита вниз по стальной плите:

$$F_2 = F_{\text{ск}} - mgsin\alpha = \mu N - mgsin\alpha = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha - mgsin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha - sin\alpha).$$

Эрчим получит отношение сил для перемещений магнита:

$$k = \frac{F_1}{F_2} = \frac{6\mu + 1}{6\mu - 1} = 2.$$

Задача 3. Цилиндр с газами

У Эрчимэ есть вертикально расположенный герметичный цилиндрический сосуд, разделённый на две части подвижным поршнем массы m площадью S на две части, в каждой из которых содержится газ. В первоначальном положении сосуда объёмы газов по обе стороны поршня одинаковы. Когда Эрчим перевернул сосуд, поршень сместился вниз так, что объём газа под ним оказался в 3 раза меньше объёма газа над ним. Найдите первоначальные давления газов. Температуры газов всё время остаются одинаковыми и постоянными. (10 баллов)

$p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}$.	2 балла
$p_1 V = p_1' \frac{V}{2}$,	2 балла
$p_2 V = p_2' \frac{3V}{2}$	2 балла
$p_1' = p_2' + \frac{mg}{S}$	2 балла
$p_1 = 2,25 \frac{mg}{S}, p_2 = 1,25 \frac{mg}{S}$.	2 балла

Решение. Обозначим первоначальные объёмы газов по обе стороны от поршня обозначим как V , давление газа над поршнем p_1 . Начальное давление газа под поршнем будет равно:

$$p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}.$$

Начальные и конечные состояния газов связаны законом Бойля-Мариотта (изотермический процесс):

$$p_1 V = p_1' \frac{V}{2},$$

$$p_2 V = p_2' \frac{3V}{2}.$$

Конечные давления газов связаны соотношением:

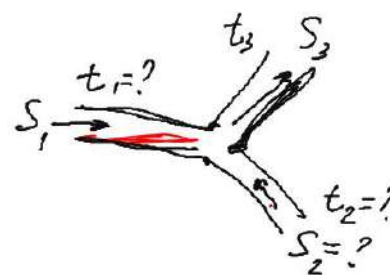
$$p_1' = p_2' + \frac{mg}{S}.$$

Решив получившуюся систему уравнений получаем ответ:

$$p_1 = 2,25 \frac{mg}{S}, p_2 = 1,25 \frac{mg}{S}.$$

Задача 4. Дело «труба»

Для отопления комнаты по двум теплоизолированным трубам с различными площадями поперечного сечения можно подавать горячую воду с различными



температурами и скоростями. При этом на выходе в третьей трубе получается общая температура смеси 78°C.

Диаметры поперечного сечения одной из подающих труб 30 см, а выходной трубы 50 см. Найдите начальные температуры воды в подающих трубах, если скорости подачи воды во всех трубах одинаковые.

используя закон сохранения массы и теорему Пифагора, получаем соотношение для масс воды $m_1 + m_2 = m_3$ или $\rho S_1 v + \rho S_2 v = \rho S_3 v$, по условию скорости воды во всех трубах равны	2 балла
находим площадь сечения второй трубы $D_1^2 + D_2^2 = D_3^2$	2 балла
уравнение теплового баланса $cm_1 \Delta t_1 = cm_2 \Delta t_2$	2 балла
находим температуру первой трубы диаметром 30 см: $t_1 = 94^\circ\text{C}$, 46°C	2 балла
находим температуру второй трубы диаметром 40 см: $t_2 = 67^\circ\text{C}$, 96°C	2 балла

Решение: (по 2 балла за каждый пункт) + два варианта решение (2 балла)

9) используя закон сохранения массы и теорему Пифагора, получаем соотношение для масс воды

$m_1 + m_2 = m_3$ или $\rho S_1 v + \rho S_2 v = \rho S_3 v$, по условию скорости воды во всех трубах равны

10) находим площадь сечения второй трубы $D_1^2 + D_2^2 = D_3^2$

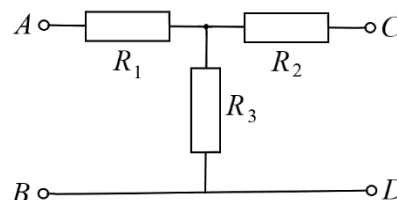
11) уравнение теплового баланса $cm_1 \Delta t_1 = cm_2 \Delta t_2$

12) находим температуру первой трубы диаметром 30 см: $t_1 = 94^\circ\text{C}$, 46°C

13) находим температуру второй трубы диаметром 40 см: $t_2 = 67^\circ\text{C}$, 96°C

Задача 5. Три резистора

Если клеммы А и В подключить к источнику с напряжением 10 В, а клеммам С и D подключить идеальный вольтметр, то он покажет напряжение 8 В. Если к тому же источнику подключить клеммы С и D, то на клеммах А и В напряжение равно 4 В. Найти значение сопротивлений, если $R_1 + R_2 + R_3 = 22$ Ом (см. рис.). (10 баллов)

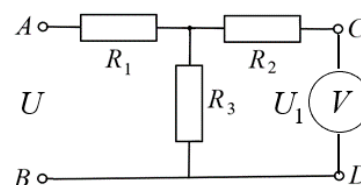


Нарисована схема для первого случая	1 балл
Записан закон Ома для участка цепи: $U = I_1(R_1 + R_3)$, $U_1 = I_1 R_3$,	2 балла
Нарисована схема для второго случая	1 балл
Записан закон Ома для участка цепи в втором случае: $U = I_2(R_2 + R_3)$, $U_2 = I_2 R_3$,	2 балла
Получено выражение для сопротивления $R_3 = \frac{U_1}{U - U_1} R_1$, $R_2 = \frac{U - U_2}{U_2} R_3 = \frac{U - U_2}{U - U_1} \frac{U_1}{U_2} R_1$.	2 балла
найден ответ: $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 8$ Ом.	1 балл

Решение. А) Точки А и В подключены к источнику тока, вольтметр подключен к точкам С и D. По закону Ома для участка цепи:

$$U = I_1(R_1 + R_3), U_1 = I_1 R_3,$$

где $U = 10$ В, $U_1 = 8$ В.



Б) Точки С и D подключены к источнику тока, вольтметр подключен к точкам Аи В. По закону Ома для участка цепи:

$$U = I_2(R_2 + R_3), U_2 = I_2R_3,$$

где $U = 10$ В, $U_2 = 4$ В.

Из этих выражений получаем:

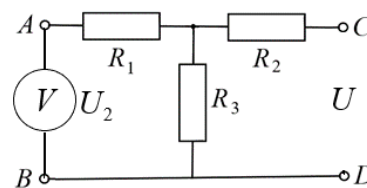
$$R_3 = \frac{U_1}{U - U_1} R_1, R_2 = \frac{U - U_2}{U_2} R_3 = \frac{U - U_2}{U - U_1} \frac{U_1}{U_2} R_1.$$

Подставим полученные выражения для R_2 и R_3 в сумму

$$R_1 + R_2 + R_3 = 22 \text{ Ом}$$

и получим ответ:

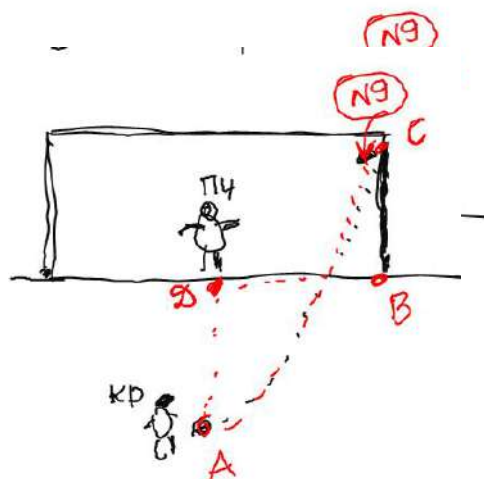
$$R_1 = 2 \text{ Ом}, R_2 = 12 \text{ Ом}, R_3 = 8 \text{ Ом}.$$



11 класс (Вариант 2)

Задача 1. Это футбол

По стандартам УЕФА размер футбольных ворот должен быть 7,32 метра в длину и 2,44 метра в высоту. Точка для удара пенальти находится на расстоянии 11 м от центра ворот. На воротах находится Петр Чех (см.рис). Криштиану Роналду бьет пенальти под углом 78,3 градуса к горизонту со скоростью 24,2 м/с с целью попасть в «девятку». За какое время Чех должен допрыгнуть до «девятки», чтобы спасти матч? Трением воздуха можно пренебречь. Найдите возможные варианты решения задачи. (10 баллов)



расстояние от точки пенальти до «девятки» по горизонтали: $x = \sqrt{AB^2 + BC^2} = 11,85 \text{ м}.$	2балла
скорость мяча по горизонтали: $v_x = V_x = V \cos \alpha = 23,7 \text{ м/с}$	2балла
скорость мяча по вертикали: $v_y = V_y = V \sin \alpha = 4,9 \text{ м/с}$	2балла
время реакции Чеха можно найти из соотношения (2): $t = x/V_x = 0,5 \text{ сек}$	2балла
второй вариант - время реакции Чеха находим из соотношения (3): $t = V_y/g = 0,49 \text{ сек}$	2балла

Решение: найдем (по 2 балла за каждый пункт)

6) расстояние от точки пенальти до «девятки» по горизонтали:

$$x = \sqrt{AB^2 + BC^2} = 11,85 \text{ м}.$$

7) скорость мяча по горизонтали: $v_x = V_x = V \cos \alpha = 23,7 \text{ м/с}$

8) скорость мяча по вертикали: $v_y = V_y = V \sin \alpha = 4,9 \text{ м/с}$

9) первый вариант - время реакции Чеха можно найти из соотношения (2): $t = x/V_x = 0,5 \text{ сек}$

10) второй вариант - время реакции Чеха находим из соотношения (3): $t = V_y/g = 0,49 \text{ сек}$

Задача 2. Цилиндр с газами

У Эрчим есть вертикально расположенный герметичный цилиндрический сосуд, разделённый на две части подвижным поршнем массы m площадью S на две части, в каждой из которых содержится газ. В первоначальном положении сосуда объём газа над поршнем в 3 раза больше объёма газа под поршнем. Когда Эрчим перевернул сосуд, поршень сместился так, что объёмы газов по обе стороны поршня оказались равными.

Найдите первоначальные давления газов. Температуры газов всё время остаются одинаковыми и постоянными. (10 баллов)

$p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}$.	2 балла
$p_1 V = p_1' \frac{V}{2}$,	2 балла
$p_2 V = p_2' \frac{3V}{2}$	2 балла
$p_1' = p_2' + \frac{mg}{S}$	2 балла
$p_1 = 2,25 \frac{mg}{S}, p_2 = 1,25 \frac{mg}{S}$.	2 балла

Решение. Обозначим объём газа под поршнем обозначим как V , давление газа над поршнем p_1 . Начальное давление газа под поршнем будет равно:

$$p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}.$$

Начальные и конечные состояния газов связаны законом Бойля-Мариотта (изотермический процесс):

$$p_1 3V = p_1' 2V,$$

$$p_2 V = p_2' 2V.$$

Конечные давления газов связаны соотношением:

$$p_1' = p_2' + \frac{mg}{S}.$$

Решив получившуюся систему уравнений получаем ответ:

$$p_1 = 2,25 \frac{mg}{S}, p_2 = 1,25 \frac{mg}{S}.$$

Задача 3. Магнит по наклонной плоскости

Эрчим решил сравнить силы, которые необходимы для перемещений магнита по верхней поверхности стальной плиты, наклоненной под углом к 45° к горизонту, сначала вниз по плите, а потом вверх. Магнит прижимается к плите с силой $F_{\text{маг}} = 5mg$, где m – масса магнита. Коэффициент трения скольжения между магнитом и плитой $\mu = 0,5$. Какое отношение сил получил Эрчим? (10 баллов)

По первому закону Ньютона нужно приложить силу $F_1 = F_{\text{ск}} + mgs\sin\alpha = \mu N - mgs\sin\alpha$	2 балла
$F_1 = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha - mgs\sin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha - \sin\alpha)$,	2 балла
$F_2 = F_{\text{ск}} + mgs\sin\alpha = \mu N + mgs\sin\alpha$	2 балла
$F_2 = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha + mgs\sin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$.	2 балла
$k = \frac{F_1}{F_2} = \frac{6\mu - 1}{6\mu + 1} = 0,5$.	2 балла

Решение: Для равномерного перемещения магнита вниз по стальной плите к нему согласно первому закону Ньютона нужно приложить силу

$$F_1 = F_{\text{ск}} - mgs\sin\alpha = \mu N - mgs\sin\alpha = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha - mgs\sin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha - \sin\alpha),$$

где N – сила реакции опоры.

Аналогично при перемещении магнита вверх по стальной плите:

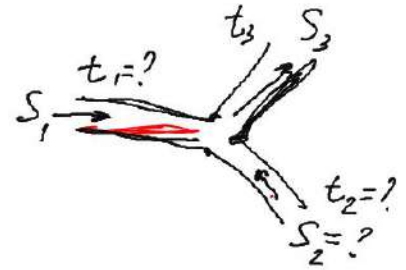
$$F_2 = F_{\text{ск}} + mgs\sin\alpha = \mu N + mgs\sin\alpha = \mu(F_{\text{маг}} + mg)\cos\alpha + mgs\sin\alpha = mg(6\mu\cos\alpha + \sin\alpha).$$

Эрчим получит отношение сил для перемещений магнита:

$$k = \frac{F_1}{F_2} = \frac{6\mu - 1}{6\mu + 1} = 0,5.$$

Задача 4. Дело «труба»

Для отопления комнаты по двум теплоизолированным трубам с различными площадями поперечного сечения можно подавать горячую воду с различными температурами и скоростями. При этом на выходе в третьей трубе получается общая температура смеси 78°C .



Диаметры поперечного сечения одной из подающих труб 30 см, а выходной трубы 50 см. Найдите начальные температуры воды в подающих трубах, если скорости подачи воды во всех трубах одинаковые. (10 баллов)

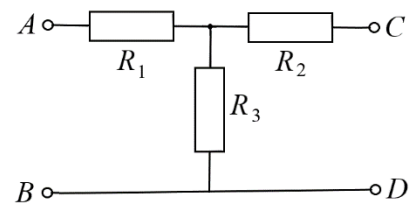
используя закон сохранения массы и теорему Пифагора, получаем соотношение для масс воды $m_1 + m_2 = m_3$ или $\rho S_1 v + \rho S_2 v = \rho S_3 v$, по условию скорости воды во всех трубах равны	2 балла
находим площадь сечения второй трубы $D_1^2 + D_2^2 = D_3^2$	2 балла
уравнение теплового баланса $cm_1 \Delta t_1 = cm_2 \Delta t_2$	2 балла
находим температуру первой трубы диаметром 30 см: $t_1 = 94^{\circ}\text{C}$, 46°C	2 балла
находим температуру второй трубы диаметром 40 см: $t_2 = 67^{\circ}\text{C}$, 96°C	2 балла

Решение: (по 2 балла за каждый пункт) + два варианта решение (2 балла)

- б) используя закон сохранения массы и теорему Пифагора, получаем соотношение для масс воды
 $m_1 + m_2 = m_3$ или $\rho S_1 v + \rho S_2 v = \rho S_3 v$, по условию скорости воды во всех трубах равны
- 7) находим площадь сечения второй трубы $D_1^2 + D_2^2 = D_3^2$
- 8) уравнение теплового баланса $cm_1 \Delta t_1 = cm_2 \Delta t_2$
- 9) находим температуру первой трубы диаметром 30 см: $t_1 = 94^{\circ}\text{C}$, 46°C
- 10) находим температуру второй трубы диаметром 40 см: $t_2 = 67^{\circ}\text{C}$, 96°C

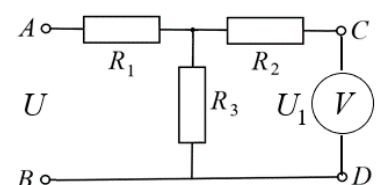
Задача 5. Три резистора

Если клеммы А и В подключить к источнику с напряжением 5 В, а клеммам С и D подключить идеальный вольтметр, то он покажет напряжение 4 В. Если к тому же источнику подключить клеммы С и D, то на клеммах А и В напряжение равно 2В. Найти значение сопротивлений, если $R_1 + R_2 + R_3 = 11 \text{ Ом}$ (см. рис.). (10 баллов)



Нарисована схема для первого случая	1 балл
Записан закон Ома для участка цепи: $U = I_1(R_1 + R_3)$, $U_1 = I_1 R_3$,	2 балла
Нарисована схема для второго случая	1 балл
Записан закон Ома для участка цепи в втором случае: $U = I_2(R_2 + R_3)$, $U_2 = I_2 R_3$,	2 балла
Получено выражение для сопротивления $R_3 = \frac{U_1}{U - U_1} R_1$, $R_2 = \frac{U - U_2}{U_2} R_3 = \frac{U - U_2}{U - U_1} \frac{U_1}{U_2} R_1$.	2 балла
найден ответ: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 4 \text{ Ом}$.	2 балла

Решение. А) Точки А и В подключены к источнику тока, вольтметр подключен к точкам С и D. По закону Ома для участка цепи:



$$U = I_1(R_1 + R_3), U_1 = I_1 R_3,$$

где $U = 5\text{В}$, $U_1 = 4\text{В}$.

Б) Точки С и D подключены к источнику тока, вольтметр подключен к точкам Аи В. По закону Ома для участка цепи:

$$U = I_2(R_2 + R_3), U_2 = I_2 R_3,$$

где $U = 5\text{В}$, $U_2 = 2\text{В}$.

Из этих выражений получаем:

$$R_3 = \frac{U_1}{U - U_1} R_1, R_2 = \frac{U - U_2}{U_2} R_3 = \frac{U - U_2}{U - U_1} \frac{U_1}{U_2} R_1.$$

Подставим полученные выражения для R_2 и R_3 в сумму

$$R_1 + R_2 + R_3 = 11 \text{ Ом}$$

и получим ответ:

$$R_1 = 1 \text{ Ом}, R_2 = 6 \text{ Ом}, R_3 = 4 \text{ Ом}.$$

