Шифр: 13-17

Всероссийская олимпиада школьников
Региональный этап
по физике
2018/2019
Ленинградская область

Район Всеволожский

Школа Сертоловская СОШ №1

Класс 10

ФИО Лукьянов Александр Сергеевич.

1	2	3	4	5	Σ
10	10	0	3	6	29

В-17.
4 листа

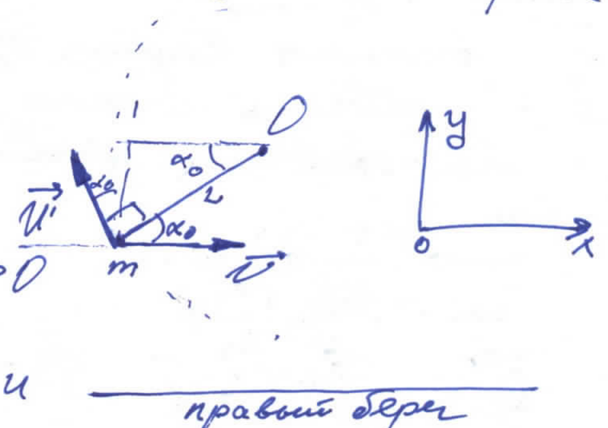
Задача №1

Дано: v, L, U, α_0, m

Найти: u_0 - ? T - ?

1) В то время, когда лыжник оторвался от воды, он одновременно двигался со скоростью U' по окружности, центр O которой находится в точке крепления троса к лодке, и со скоростью v вдоль реки.

В момент отрыва



$\vec{u}_0 = \vec{v} + \vec{U'}$ (можно пренебречь вертикальной составляющей)

2) Т.к. ~~воднолыжник удал~~ расстояние между воднолыжником и правым берегом увеличивается со скоростью U, то $u_{0y} = U$. Также: ~~$u_{0y} = U' \cos\alpha_0 \Rightarrow U = U'\cos\alpha$~~

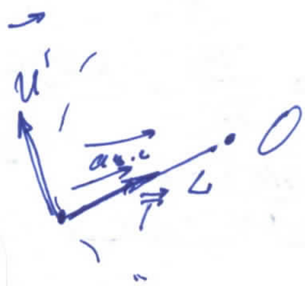
$u_{0y} = U'\cos\alpha_0 + v_y = U'\cos\alpha_0 \Rightarrow U = U'\cos\alpha_0$

3) Ox: $u_{0x} = v_x + u'_x$

$$u_{0x} = v + U'\sin\alpha_0 = v + \frac{-U}{\cos\alpha_0}\cdot\sin\alpha_0 = v - U\,tg\,\alpha_0$$

4) $u_0 = \sqrt{u_{0y}^2 + u_{0x}^2} = \sqrt{U^2 + (v - U\,tg\,\alpha)^2}$

5) Найдём T.



$m\vec{a}_{ц.с} = \vec{T}$

$m\frac{U'^2}{L} = T$

$$\boxed{T = m\frac{U^2}{L\cos^2\alpha_0}}$$

Ответ: $u_0 = \sqrt{U^2 + (v - U\,tg\,\alpha)^2}$

$T = m\frac{U^2}{L\cos^2\alpha_0}$

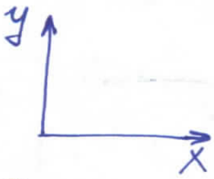
1

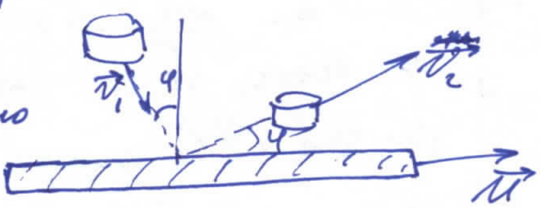
Задача №2

Дано:
$\varphi = 30^\circ$
$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$

μ_{min} – ?
μ_{max} – ?

1. Пусть плита движется со скоростью $\vec{u}$, тогда рассмотрим скорости $\vec{v_1}'$ и $\vec{v_2}'$ шайбы до и после взаимодействия относительно этой плиты.





$$\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$$

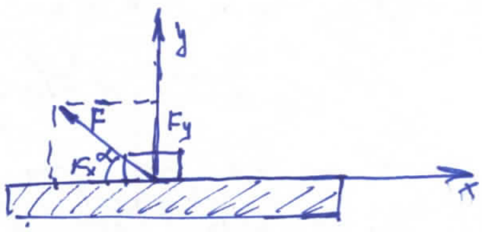
$$\vec{v}_1 = \vec{v_1}' + \vec{u} \qquad \vec{v}_2 = \vec{v_2}' + \vec{u}$$

$$\vec{v_1}' = \vec{v}_1 - \vec{u} \qquad \vec{v_2}' = \vec{v}_2 - \vec{u}$$

2. Рассмотрим, как меняется импульс тела после взаимодействия. $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v_2}' - m\vec{v_1}' = m\vec{v}_2 - \cancel{m\vec{u}} - m\vec{v}_1 + \cancel{m\vec{u}} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

$$\vec{F} = \frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$$



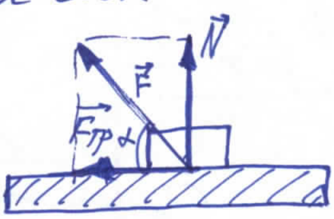
Oy: $F_y = \dfrac{m(v_{2y} - v_{1y})}{\Delta t} = \dfrac{mv(\sin\varphi + \cos\varphi)}{\Delta t}$

$$F_x = \frac{m(v_{2x} - v_{1x})}{\Delta t} = \frac{mv(\cos\varphi - \sin\varphi)}{\Delta t}$$

$$tg\alpha = \frac{F_y}{F_x} = \frac{mv(\sin\varphi + \cos\varphi)}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta t}{mv(\cos\varphi - \sin\varphi)} = \frac{\sin\varphi + \cos\varphi}{\cos\varphi - \sin\varphi}$$

$$tg\alpha = \frac{\sin\varphi + \cos\varphi}{\cos\varphi - \sin\varphi}$$

3. Рассмотрим вз-ие с точки зрения сил



$$tg\alpha = \frac{N}{F_{тр}}$$

$(F_{тр})_{max} = \mu N \Rightarrow (tg\alpha)_{min} = \dfrac{1}{\mu}$

~~$(F_{тр})_{min} = 0 \Rightarrow (tg\alpha)_{max} = \infty$~~

Это значения, ~~что~~ $\mu \in [\frac{1}{tg\alpha}; +\infty)$

2

$tg\alpha \geq (tg\alpha)_{min}$

$tg\alpha \geq \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu \geq \frac{1}{tg\alpha} \Rightarrow \boxed{\mu \geq \frac{\cos\varphi - \sin\varphi}{\cos\varphi + \sin\varphi}}$

$\mu \geq \frac{\cos 30° - \sin 30°}{\cos 30° + \sin 30°}$

$\frac{\cos 30° - \sin 30°}{\cos 30° + \sin 30°} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{3} - 1}{\sqrt{3} + 1} \approx 0{,}27$

$\mu \geq 0{,}27$

$\mu_{min} \approx 0{,}27$

$\mu_{max} \to \infty$.

Ответ: $\mu_{min} \approx 0{,}27$;

$\mu_{max} \to \infty$.

Задача №5

Дано:

R, m, g, μ, v_0

Найти:

а) $F_{тр_0}$ – ?

б) a_0 – ?

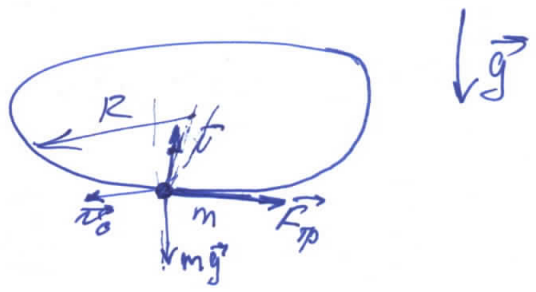
а)

1) Сила реакции кольца может быть представлена в виде 2-х сил:

N_{mg} – компенсирует силу тяжести

~~$N_{ц.с.}$~~

N_1 – движущую ~~тот~~ бусинку по окружности.



$N = \sqrt{N_1^2 + N_{mg}^2}$

$N = mg$

$N_1 = m a_{ц.с.} = m\frac{v_0^2}{R}$

$N = m\sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$

2) $F_{тр_0} = \mu N = \mu m \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$

$\boxed{F_{тр_0} = \mu m \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}}$ ✓

б)

$$m\vec a_0 = m\vec g + \vec N + \vec F_{тр0}$$

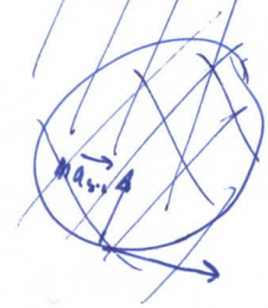
1. Из. п.а):

$$\underbrace{\vec N = \vec N_{mg} + \vec N_1} \qquad \boxed{N = m\sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}}$$

2. $$m\vec a_0 = m\vec g + \vec N + \vec F_{тр0} = \cancel{m\vec g} + \cancel{\vec N_{mg}} + \vec N_1 + \vec F_{тр0} = m\vec a_{ц.с} + \vec F_{тр0}$$

$$\vec N_1 = m\vec a_{ц.с.} \qquad F_{тр0} = \mu N = \mu m\sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$$

„Вид сверху"



$$ma_0 = \sqrt{(ma_{ц.с})^2 + F_{тр0}^2} = \sqrt{m^2\frac{v_0^4}{R^2} + \mu^2 m^2\left(g^2 + \frac{v_0^4}{R^2}\right)} =$$

$$= m\sqrt{\left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2 + \mu^2\left(g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2\right)}$$

$$\boxed{a_0 = \sqrt{\left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2 + \mu^2\left(g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2\right)}}$$

✓

~~Ответ: a_0 =~~

Задача №4

Дано:

$\mu = 28 \frac{г}{моль}$

$g = 9{,}9 \frac{м}{с^2}$

$p_0 = 500$ кПа

$h_1 = 1000$ м

$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль\,К}$

график $t(h)$

p_1 - ?

ρ_1 - ?

1) Приблизительно до ~~2 к~~ высоты в 2 км функция $t(h)$ имеет линейную зависимость.

2) Заметим, что если ~~из координата~~ этот график перенести в систему координат, где осью ординат будет температура в Кельвинах, то получится тот же график, смещённый на 273 К вверх.

3) $T(h) = -1{,}6h + 273$ (T в Кельвинах, h в километрах) справедливо до $h = 2$ км.

4) ~~Найдём давление~~

Найдём зависимость давления от плотности на высоте h.

Рассмотрим очень маленький объём воздуха на высоте h.

$$p(h)\Delta V = \frac{m(h)}{\mu}\cdot RT(h)$$

$$p(h)\cancel{\Delta V} = \frac{\rho(h)\cancel{\Delta V}}{\mu} RT(h)$$

$$p(h) = \frac{\rho(h)}{\mu}\cdot RT(h)$$

5) Рассмотрим участок от 2,3 км до 3,8 км, где $T=const$.

Возьмём ~~две~~ там две точки h_3 и h_4, $h_3 < h_4$.

$$p_3\cdot\Delta V = \frac{m_3}{\mu}RT \qquad p_4\Delta V = \frac{m_4}{\mu}RT$$

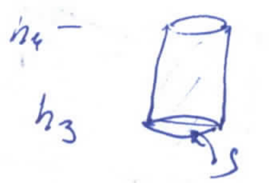
$$p_4 - p_3 = \frac{RT}{\mu\Delta V}(m_4 - m_3)$$

$$\frac{m_в g}{S} = \frac{RT}{\mu\Delta V}(m_4 - m_3)$$

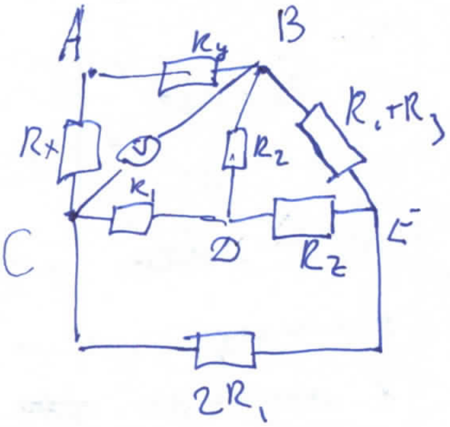
линейная з-сть m от h.

$p_4 = p_3 + \frac{m_в g}{S}$, где

$m_в$ – масса воздуха ~~в цилиндре, расп~~ в цилиндре ~~выс~~ площади S, ~~распол~~ нижнее основание которого лежит в h_3, а верхнее в h_4.



Задача №3

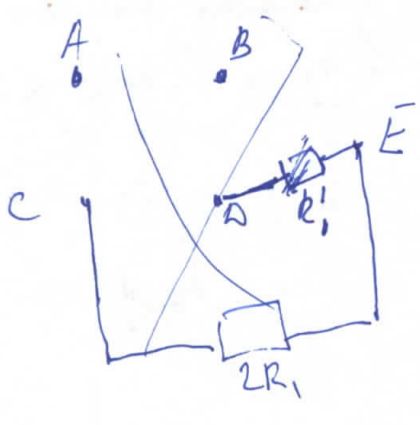


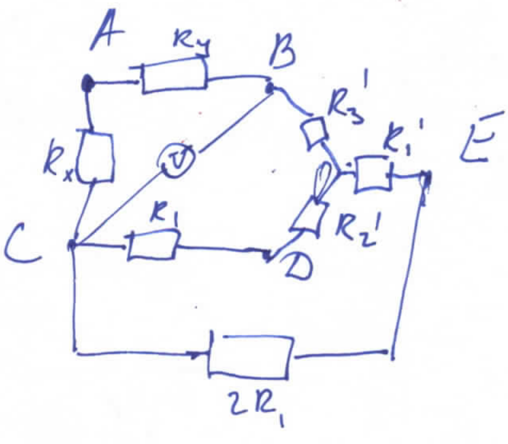
$R_1 = 1\,кОм$

$R_2 = 2\,кОм$

$R_3 = 3\,кОм$

1) Заменим ΔBDE на звезду



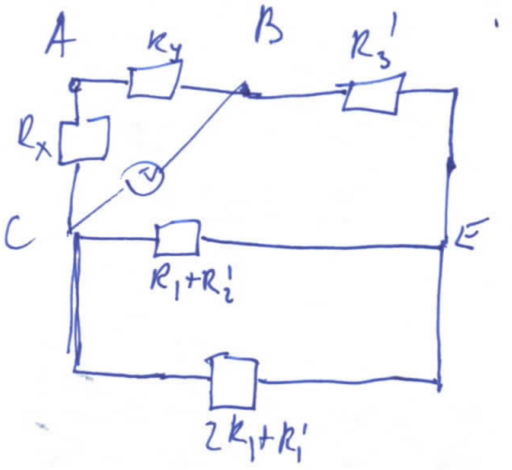


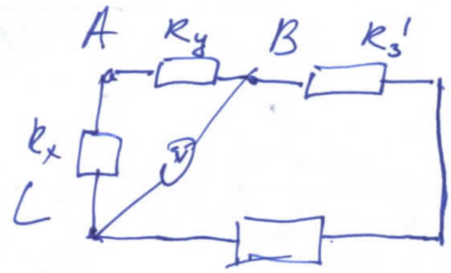
6

Тогда: $R_1' = \dfrac{(R_1+R_3)R_z}{R_1+R_2+R_3+R_z}$ $\qquad R_2' = \dfrac{R_2 \cdot R_z}{R_1+R_2+R_3+R_z}$.

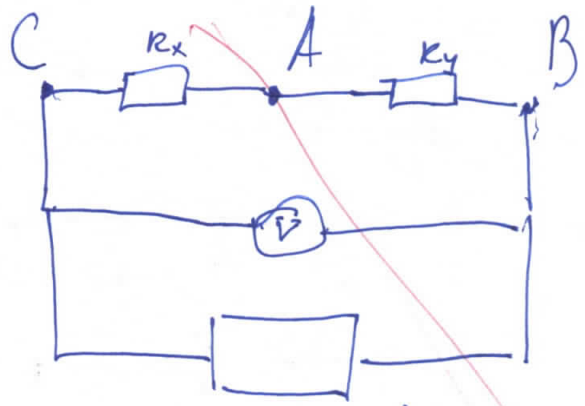
$R_3' = \dfrac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3+R_z}$

2) Схема преобразовывается к виду:





$\dfrac{(2R_1+R_1')(R_1+R_2')}{3R_1+R_1'+R_2'}$



$R_1' = \dfrac{4R_z}{6+R_z}$ (всё в кОм)

$R_2' = \dfrac{2R_z}{6+R_z}$

$R_3' = \dfrac{8}{6+R_z}$

$$\frac{(2R_1+R_1')(R_1+R_2')}{3R_1+R_1'+R_2'} + R_3' =$$

$$= \frac{\left(12+\frac{4R_z}{R_z+6}\right)\left(1+\frac{2R_z}{R_z+6}\right)}{3+\frac{6R_z}{6+R_z}} =$$

$$= \frac{2R_z+12+4R_z}{R_z+6}\cdot\frac{3R_z+6}{R_z+6}\cdot\frac{6+R_z}{18+9R_z} =$$

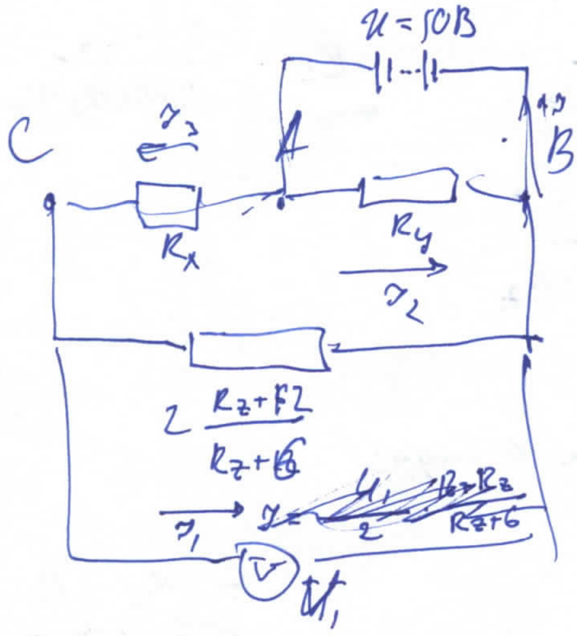
$$= \frac{6R_z+12}{R_z+6}\cdot\frac{3(R_z+2)}{9(R_z+2)} = 2\,\frac{R_z+12}{R_z+6}.$$

Об шит

(7)

15–17

4)



$$I_1 = \frac{U_1}{2}\cdot\frac{R_z+6}{R_z+12}$$

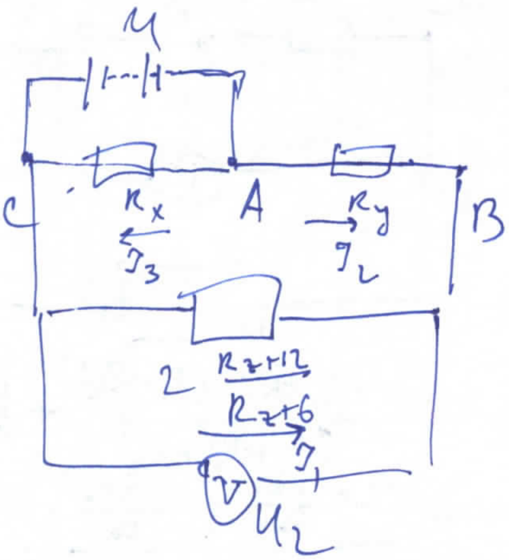
$$I_2 = \frac{U}{R_y}$$

$$I_3 = \frac{U-U_1}{R_x}$$

$$\cancel{\left(2\frac{R_z+6}{R_z+12}+R_x\right)}\cdot$$

$$\cancel{I_3 = I_2 \Rightarrow \frac{U}{R_y} = \frac{U-U_1}{R_x}}$$

$$I_1 = I_3 \Rightarrow \frac{U_1}{2}\,\frac{R_z+6}{R_z+12} = \frac{U-U_1}{R_x} \quad (1)$$



$$I_1 = \frac{U_2}{2}\cdot\frac{R_z+6}{R_z+12}$$

$$I_2 = \frac{U-U_2}{R_y}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_x}$$

$$I_1 = I_2 \qquad \frac{U-U_2}{R_y} = \frac{U_2}{2}\cdot\frac{R_z+6}{R_z+12} \quad (2)$$

и у-ние с $R_{общ}$.
Решая систему получаем ответ. 8

10.2. В-17

1) Проведём следующий эксперимент:

При разных напряжениях измерим время, необходимое для повышения температуры резистора на 1°С.

Начальная температура резистора — 26°С.
Время, за которое он нагреется до 27°С — τ_{27}, до 28°С — τ_{28}, до 29°С — τ_{29}, до 30° — τ_{30}, до 31 — τ_{31}, до 32°С — τ_{32}

Результаты измерений:

2 б

U, В	τ_{27}, с	τ_{28}, с	τ_{29}, с	τ_{30}, с	τ_{31}, с	τ_{32}, с
3,00	10	22	40	63	110	—
3,50	8	16	28	40	55	82
4,00	6	13	20	28	39	49
4,50	5	10	16	22	29	37

$P_{эл} = P_{полез} + P_{потерь}$

В начале ~~теплоотдачи~~ теплопотерь практически нет, поэтому можно считать что электрическая мощность равна полезной мощности (видно из эксперимента (на нач. стадиях $\tau \sim \Delta t$))

$$\frac{U^2}{R}\tau = C\Delta t$$

$$C = \frac{U^2 \tau}{R\,\Delta t}, \quad \Delta t = 1°C, \quad R \approx 100\,Ом$$

$$\boxed{C = \frac{U^2 \tau_{27}}{R\,\Delta t}}$$

2) ~~Усредним "C"~~. Найдём C при разных напряжениях и найдём среднее арифметическое значение.

U, В	C, $\frac{Дж}{°C}$	$C_{ср}$, $\frac{Дж}{°C}$
~~3,00~~		
~~3,50~~		
~~4,00~~		
~~4,50~~		

U, В	C, $\frac{Дж}{°C}$	$C_{ср}$, $\frac{Дж}{°C}$
~~3,00~~		
~~3,50~~		
~~4,00~~		
~~4,50~~		

U, В	C, $\frac{Дж}{°C}$	$C_{ср}$, $\frac{Дж}{°C}$
3,00	0,90	0,96
3,50	0,98	
4,00	0,96	
4,50	1,01	

$$\boxed{C = 0,96\ \frac{Дж}{°C}}$$

3) Чтобы найти $P_{потерь}$ при разных температурах, выразим её.

$$P_{потерь} = P_{эл} - P_{полез}$$

$$P_{потерь} = \frac{U^2}{R} - \frac{c\,\Delta t}{\tau}$$

Для более точного измерения найдём $P_{потерь}$ при разных напряжениях для каждой температуры.

P_{27} – мощность потерь при 27°C

P_{28} – при 28°C

P_{29} – при 29°C

P_{30} – при 30°C

P_{31} – при 31°C

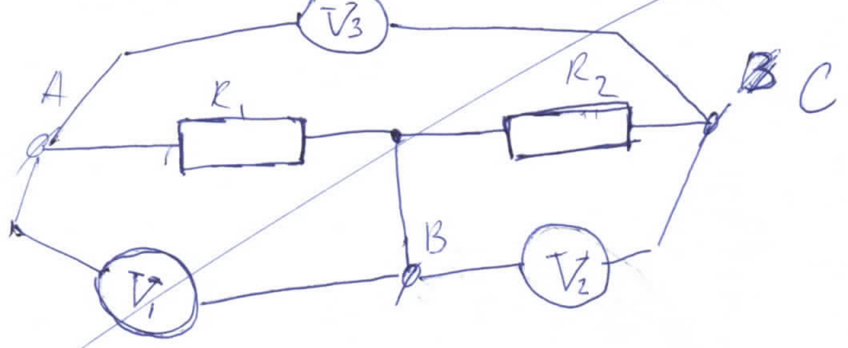
↓

10-2.

В-17 (3 листа)

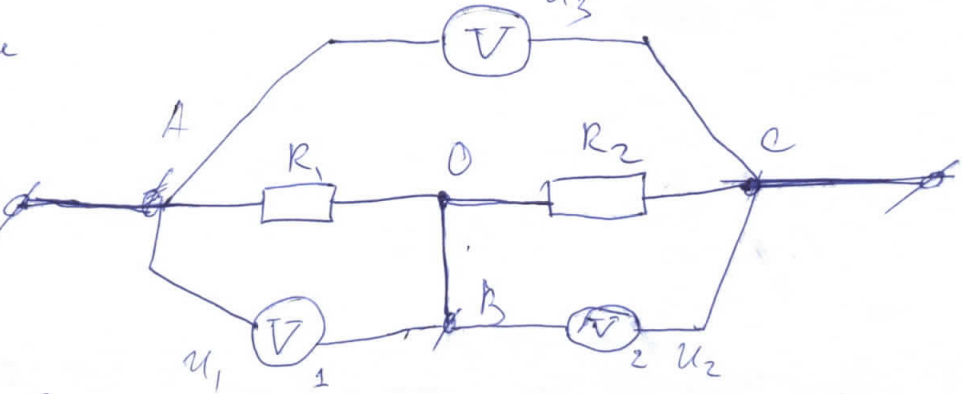
Рассмотрим различные подключения вольтметра ~~к цепи~~ к выводам чёрного ящика.

Не установлена идеальность



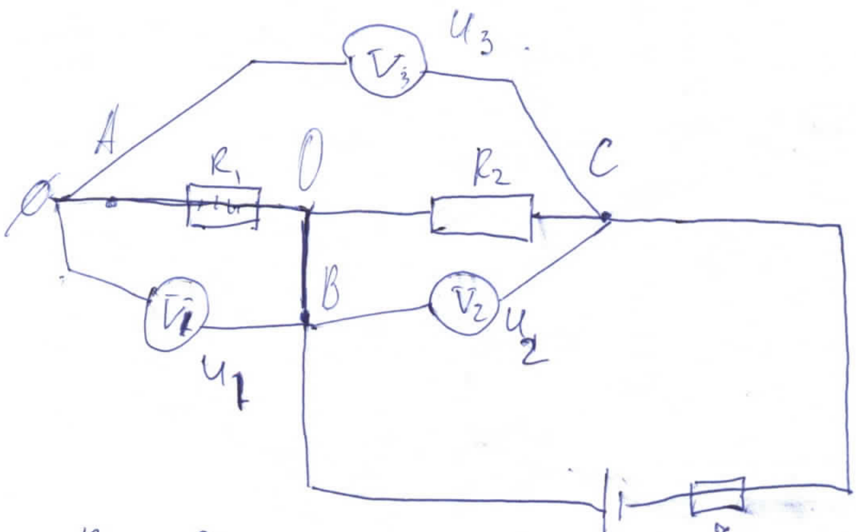
Если

I.



Если точки А и С соединить с выводами источника тока и ~~замерят~~ измерить напряжение между точками А и В; В и С; А и С, то $U_1+U_2=U_3$.

II.



Если точки В и С соединить с выводами источника тока, то вольтметр, подключенный к ним покажет напряжение U_2 на резисторе R_2. Резистор R_1 будет добавочным сопротивлением к вольтметру, подключенному ~~к~~ либо к точкам A и C, либо к точкам A и B и, как показывает эксперимент, на их показания ~~очень~~ ~~слабо~~ влияет очень слабо. $U_1 = U_{OB} = 0$; $U_3 = U_{AC} = U_2$.

~~Рассмотрев~~

Проведём эксперимент:

~~Сделаем~~

1) Соединим с ~~целью~~ выводами источника постоянного тока:

а) красный и синий провода;

б) белый и синий;

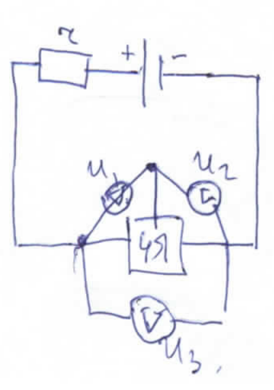
в) белый и красный.

2) ~~Заме~~ Измерим напряжение ~~на~~ между ~~концо~~

а) концом провода посередине и ~~одним контактом~~ одной точкой соединения чёрного ящика с ~~не~~ выводом ист. тока

б) концом провода посередине и ~~одной~~ другой точкой соединения чёрного ящика со вторым выводом ист. тока.

в) между двумя точками соединения чёрного ящика с выводами ист. тока.



10-2 B-17

3) Выберем случай, когда $U_1 + U_2 = U_3$.

Это случай, когда красный провод посередине. Красный — пустой (без резистора)

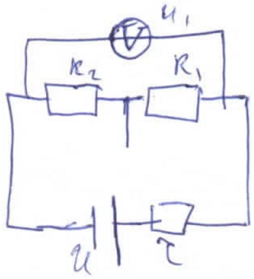
$U_3 = 2{,}16\,В \pm 0{,}01\,В$

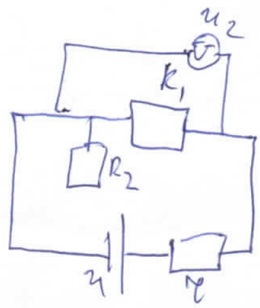
$U_2 = 1{,}52\,В \pm 0{,}01\,В$ $U_1 + U_2 = 1{,}52\,В + 0{,}64\,В = 2{,}16\,В \pm 0{,}02\,В$

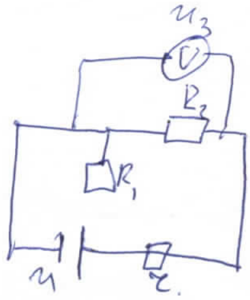
$U_1 = 0{,}64\,В \pm 0{,}01\,В$ $U_1 + U_2 = U_3$.

4) Определим R_1 и R_2:

3 схемы:







$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2 + r}$

$\underbrace{U_1 = \frac{U}{R_1 + R_2 + r}(R_1 + R_2)}$

$U_1 = 2{,}16\,В \pm 0{,}01\,В$

$I_2 = \frac{U}{R_1 + r}$

$\underbrace{U_2 = \frac{U}{R_1 + r} R_1}$

$U_2 = 1{,}90\,В \pm 0{,}01\,В$

$I_3 = \frac{U}{R_2 + r}$

$\underbrace{U_3 = \frac{U}{R_2 + r} R_2}$

$U_3 = 1{,}21\,В \pm 0{,}01\,В$.

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + r} \cdot \frac{R_1 + r}{R_1}$

$\frac{U_2}{U_3} = \frac{R_1}{R_1 + r} \cdot \frac{R_2 + r}{R_2}$

~~$\frac{U_1}{U_2} = 0{,}63 \pm \Delta$ $\Delta = (\varepsilon_{U_3} + \varepsilon_{U_2}) \cdot \frac{U_1}{U_2} \approx 0{,}0085$~~

~~$\frac{U_1}{U_2} = 0{,}63 \pm 0{,}0085$~~

~~$\frac{U_2}{U_3} =$~~

↓

$$\frac{U_1}{U_2} = 1,14$$

$$\frac{U_2}{U_3} = 1,57$$

$$1,14 = \left(1 - \frac{1000}{R_1+R_2+1000}\right)\left(1 + \frac{1000}{R_1}\right) (1)$$

~~R — в Ом~~

R_1 и R_2 — в Ом.

$$1,57 = \frac{R_1}{R_1+1000} \cdot \left(1 + \frac{1000}{R_2}\right) (2)$$

(1): $$1,14 = 1 + \frac{1000}{R_1} - \frac{1000}{R_1+R_2+1000} - \frac{\cancel{1000 R_1} + 10^6}{R_1(R_1+R_2+1000)}$$

$$\cancel{1,14}\ 0,14 = \frac{\cancel{1000 R_1} + 1000 R_2 + \cancel{10^6} - \cancel{1000 R_1} - \cancel{10^6}}{R_1(R_1+R_2+1000)}$$

$$0,14 R_1 (R_1 + R_2 + 1000) = 1000 R_2 \qquad 0,14 R_1^2 + 0,14 R_1 R_2 + 140 R_1 = 1000 R_2.$$

(2): $$1,57 = \frac{R_1}{R_1+1000} + \frac{1000 R_1}{(R_1+1000) R_2}$$

$$1,57 = \frac{R_1 R_2 + 1000 R_1}{(R_1+1000) R_2}.$$

$$1,57 R_1 R_2 + 1570 R_2 = R_1 R_2 + 1000 R_1$$

$$0,57 R_1 R_2 = 1000 R_1 - 1570 R_2$$

(1) $57 R_1 R_2 = 10^5 R_1 - 15700 R_2 \quad | \cdot 14$

(2) $\cancel{14 R_1^2}\ 14 R_1 R_2 = \cancel{1000 R_2 - 2014}\ 10^5 R_2 - 14 R_1^2 - 14000 R_1 \quad | \cdot 57.$

$798 R_1 R_2 = 14 \cdot 10^5 R_1 - 14 \cdot 15700 R_2$

$798 R_1 R_2 = \cancel{57} \cdot 10^5 R_2 - 14 \cdot 57 \cdot R_1^2 - 57 \cdot 14000 R_1$

$\ominus: \; 14 \cdot 10^5 R_1 + 57 \cdot 14000 R_1 + 14 \cdot 57 \cdot R_1^2 = R_2 (57 \cdot 10^5 + 14 \cdot 15700)$

$$R_2 = \frac{798 R_1^2 + 2198000 R_1}{5919800}$$

$\frac{u_1}{u_2}$ ~~1,14 =~~ $\cancel{\frac{798 R_1^2}{}}$

$$\frac{u_2}{u_3} = \frac{R_1}{R_1 + 1000} \cdot \frac{\frac{798 R_1^2 + 2198000 R_1}{5919800} + 1000}{\frac{798 R_1^2 + 2198000 R_1}{5919800}}$$

$$1{,}57 = \frac{R_1}{R_1 + 1000} \cdot \frac{5919800000}{798 R_1^2 + 2198000 R_1}$$

$$1{,}57 = \frac{5919800000 \cancel{R_1}}{798 R_1^3 + 2198000 R_1^2 + 798000 R_1^2 + 2198000000 \cancel{R_1}}$$

$$157 = \frac{591980000000}{798 R_1^2 + 2198000 R_1 + 798000 R_1 + 2198000000}$$

$125289 R_1^2 + 470372000 R_1 + 157 \cdot 2198 \cdot 10^6 - 5919800 \cdot 10^6 = 0.$

$125289 R_1^2 + 470372000 R_1 - 5574714000000 = 0.$

~~$\Delta = \sqrt{47}$~~

$$R_1 = \frac{\sqrt{(470372000)^2 + 4 \cdot 125289 \cdot 5574714000000} - 470372000}{2 \cdot 125289}$$

~~R_2~~ R

$R_2 =$