

$v_{min} = ?$

$v_s = \sqrt{3} v$

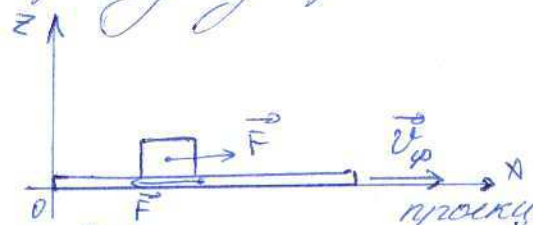
$v_p = v$

1. По закону сохранения энергии скорости бруска и границы будут постоянно уменьшаться, т.к. часть кинетической энергии каждого из них идет на увеличение внутренней. Следовательно, скорость будет минимальной,

когда прекратятся потери энергии или  $F_{трения} = 0$ . Это случится тогда, когда скорости бруска и границы станут равными.

2. Рассмотрим процесс в плоскости, перпендикулярной  $\vec{v}$ .

проекция  $\vec{v}_s$  равна 0  
 проекция  $\vec{v}_p$  равна  $v_p$

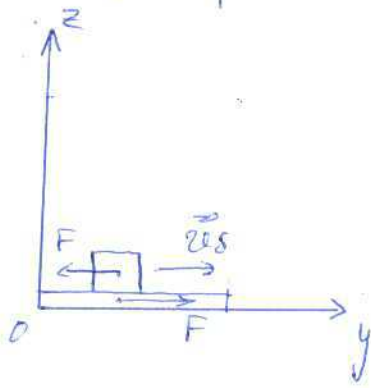


Найдем конечные скорости бруска и границы на этой плоскости. На брусок и грань действует проекция силы трения ( $F$ ). Массы бруска и границы равны  $m$ , у каждого. Тогда: Заметим, что движение происходит вдоль оси  $X$ . Тогда:

$$\left. \begin{aligned} \text{б) } v_{minx} &= \frac{F}{m} t \\ \text{г) } v_p \cdot v_{minx} &= v_p - \frac{F}{m} t \end{aligned} \right\} 2 \cdot v_{minx} = v_p \Rightarrow v_{minx} = \frac{v_p}{2} = \frac{v}{2}$$

Мы нашли проекцию  $v_{min}$  на  $X$ .

3. Рассмотрим плоскость перпендикулярную  $\vec{v}_p$



проекция  $\vec{v}_p$  равна  $v_p$   
проекция  $\vec{v}_p$  равна 0

Аналогично, рассматриваем движение бруса  $\vec{v}$

$F$  - сила трения,  $M$  - масса бруса и гантелей (у каждого масса  $M$ ).

$$\left. \begin{aligned} v_{\min y} &= v_0 - \frac{F}{M} t \\ v_{\min y} &= \frac{F}{M} t \end{aligned} \right\} 2v_{\min y} = v_0 \Rightarrow v_{\min y} = \frac{v_0}{2} = \frac{\sqrt{3}v_0}{2}$$

$$4. v_{\min} = \sqrt{v_{\min x}^2 + v_{\min y}^2} = \sqrt{\frac{v_0^2}{4} + \frac{3v_0^2}{4}} = v_0$$

Ответ:  $v_0$

№2

$L_1, L_2 - ?$

$M$

$$m = \frac{M}{3}$$

$v_0$

① Пусть тележка после нескольких столкновений движется со скоростью  $v_0$

② Запишем ЗСЭ для следующего столкновения:

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{M v_2^2}{2} \quad (v_1 - \text{скорость тележки после этого столкновения, } v_2 - \text{скорость бруска})$$

$$m v_0^2 = m v_1^2 + M v_2^2$$

$$m (v_0^2 - v_1^2) = M v_2^2; \quad m (v_0 - v_1)(v_0 + v_1) = M v_2^2$$

$$\frac{M}{3} (v_0 - v_1)(v_0 + v_1) = M v_2^2; \quad (v_0 - v_1)(v_0 + v_1) = 3v_2^2$$

③ Запишем ЗСИ:

$$m v_0 = -m v_1 + M v_2; \quad m (v_0 + v_1) = M v_2; \quad \frac{1}{3} (v_0 + v_1) = v_2; \quad v_0 + v_1 = 3v_2$$

④ Подставим:

2

$$(v - v_1) \cdot 3v_2 = 3v_2^2$$

$$v - v_1 = v_2$$

5. Сложим п. 3 и п. 4

$$(v + v_1) + (v - v_1) = 3v_2 + v_2$$

$$2v = 4v_2$$

$$v = 2v_2; v_2 = \frac{v}{2}$$

Найдем разность п. 3 и п. 4

$$(v + v_1) - (v - v_1) = 3v_2 - v_2$$

$$2v_1 = 2v_2$$

$$v_1 = v_2$$

Тогда:

$$v_1 = \frac{v}{2}$$

6: Запишем ЗСЭ для бруска:

$$\frac{mv_2^2}{2} = \mu Mgl$$

$$\Rightarrow \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m(\frac{v}{2})^2}{2} + \mu Mgl$$

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_2^2}{8} = \mu Mgl$$

$$\boxed{\frac{3mv_2^2}{8} = \mu Mgl}$$

В-8  
 7: Получается, что после каждого столкновения, например, с правой брусом, скорость тележки уменьшается в 2 раза и выполняется уравнение из п. 6.

8: Выпишем такие уравнения для каждого столкновения с правой брусом:

$$\frac{3mv_0^2}{8} = \mu Mgl_1$$

$$\frac{3m(\frac{v_0}{4})^2}{8} = \mu Mgl_2$$

$$\frac{3m(\frac{v_0}{16})^2}{8} = \mu Mgl_3$$

Сложим:

$$\frac{3mv_0^2}{8} \left( 1 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{1}{16}\right)^2 + \dots \right)$$

$$\text{Пусть } S = 1 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{1}{16}\right)^2 + \dots$$

$$\text{тогда } 16S = 16 + \underbrace{1 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \dots}_S$$

(все члены последовательности отменяются в 4<sup>2</sup> раз)

$$15S = 16$$

$$S = \frac{16}{15}$$

$$\frac{3m\ell_0^2}{8} \cdot S = \mu Mg (l_1 + l_2 + \dots)$$

$$\frac{3m\ell_0^2}{8} \cdot \frac{16}{15} = \mu Mg L_1$$

$$\frac{2m\ell_0^2}{5} = \mu Mg L_1$$

$$L_1 = \frac{2m\ell_0^2}{5\mu Mg} = \frac{2\ell_0^2}{15\mu g}$$

9) ЗЦЭ для всей системы:

$$\frac{m\ell_0^2}{2} = \mu Mg L_1 + \mu Mg L_2$$

$$\frac{m\ell_0^2}{2} = \frac{2m\ell_0^2}{5} + \mu Mg L_2$$

$$\frac{5m\ell_0^2 - 4m\ell_0^2}{10} = \mu Mg L_2$$

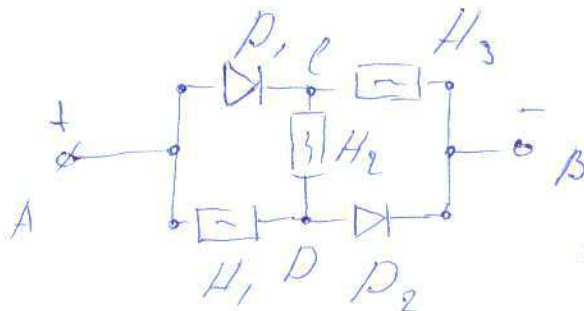
$$L_2 = \frac{m\ell_0^2}{10\mu Mg} = \frac{\ell_0^2}{30\mu g}$$

Ответ:  $\frac{2\ell_0^2}{15\mu g}$  и  $\frac{\ell_0^2}{30\mu g}$ .

1)  $U_H$  2)  $I_D$  - ?

$$U_{AB} = 5B$$

$$I = \kappa U^2$$



Т. Рассмотрим случай, когда ток идет через оба диода.

1) Тогда  $U_{AC} = U_{DB} = 1B$

2)  $U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$

$$5 = 1 + U_{CB}$$

$$U_{CB} = 4B$$

3)  $U_{AB} = U_{AD} + U_{DB}$

$$5 = U_{AD} + 1$$

$$U_{AD} = 4B$$

4) Т.к.  $U_{AC} = 1B$  и  $U_A = 5B$ ,

$$U_C = 4B$$

4

5. Т.к.  $U_{CB} = 1B$  и  $\varphi_B = 0B$ ,

$\varphi_D = 1B$

6.  $U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 3B$

7.  $\frac{I_{AD}}{I_{CB}} = \frac{I_{CD}}{I_{CB}} = K$

$I_{AD} = K U_{AD}^2 = 0,1 \cdot (4)^2 = 1,6A$

$I_{CB} = K U_{CB}^2 = 0,1 \cdot (4)^2 = 1,6A$

$I_{CD} = K U_{CD}^2 = 0,1 \cdot (3)^2 = 0,9A$

8. Первое правило Кирхгофа:

Р1)  $I_{AC} = I_{CB} + I_{CD}$  (на участке CD ток идет от C к D, т.к.  $\varphi_C > \varphi_D$ )

$I_{AC} = 1,6A + 0,9A = 2,5A$

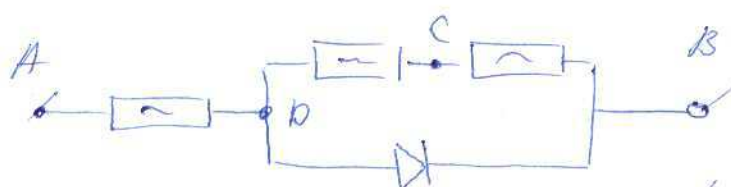
Р2)  $I_{AD} + I_{CD} = I_{DB}$

$1,6A + 0,9A = 2,5A$

$I_{AD} = 2,5A$

II. Чтобы доказать, что случай, рассматриваемый в I - единственный возможный, докажем противоречивость остальных случаев:

1) Если ток не идет через D, AC - разрыв цепи и  $\varphi_C - \varphi_A < 1B$



1.  $U_{CB} = 1B$  (подключен диод)

2.  $U_{DC} = U_{CB}$

$(\frac{I_{DC}}{I_{CB}} = \frac{I_{CD}}{I_{CB}})$   
 $K I_{DC}^2 = K I_{CB}^2$

5

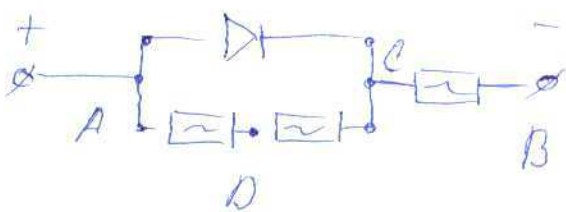
3) Т.к.  $U_{DC} + U_{CB} = U_{DB} = 1B$  и  $U_{DC} = U_{CB}$ ,  $U_{CB} = 0,5B$  и  $\varphi_C = 0,5B$   
 ( $\varphi_B = 0$ )

4)  $\varphi_A = 5B$

5)  $\varphi_A - \varphi_C = 4,5B > 1B$  - противоречие.

2) Если ток не идет через  $D_2$ :

$DB$ -разрыв цепи и  $\varphi_D - \varphi_B < 1B$



1)  $U_{AC} = 1B$  (задано)

2)  $U_{AD} = U_{DC}$  ( $I_{AD} = I_{DC}$ ,  
 $K I_{AD}^2 = K I_{DC}^2$ )

3)  $U_{AD} + U_{DC} = U_{AC}$

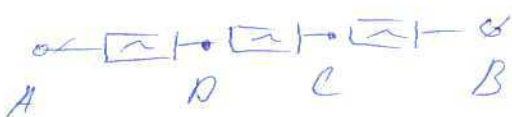
$$2U_{AD} = U_{AC}$$

$$U_{AD} = 0,5B$$

4)  $\varphi_A = 5B \Rightarrow \varphi_D = 4,5B$  ( $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D$ )

5)  $\varphi_D - \varphi_B = 4,5B > 1B$  - противоречие

3) Если ток не идет через  $D_1$  и  $D_2$



$$\varphi_A - \varphi_C < 1B$$

$$\varphi_D - \varphi_B < 1B$$

1)  $U_{AD} = U_{DC} = U_{CB}$  ( $I_{AD} = I_{DC} = I_{CB}$ ;  $K I_{AD}^2 = K I_{DC}^2 = K I_{CB}^2$ )

2)  $U_{AD} + U_{DC} + U_{CB} = 5B$

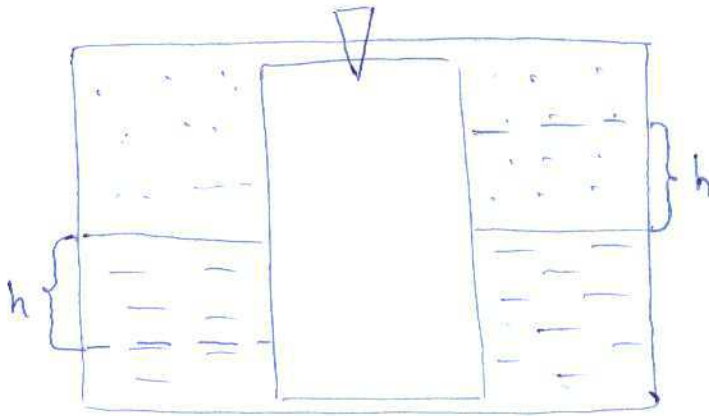
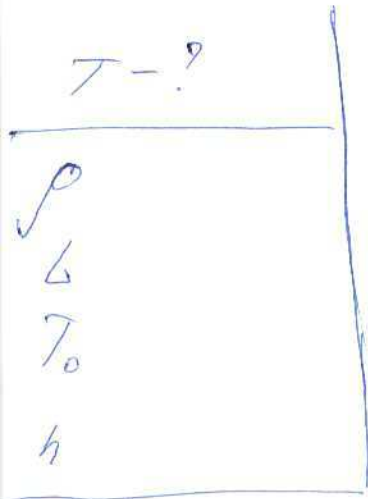
$$3U_{AD} = 5B$$

$$U_{AD} = \frac{5}{3}B$$

3)  $U_{AC} = U_{AD} + U_{DC} = \frac{10}{3}B > 1B$  - противоречие

Ответ: 1)  $U_{H1} = 4B$ ,  $U_{H2} = 3B$ ,  $U_{H3} = 4B$   
 2)  $I_{D1} = 2,5A$ ,  $I_{D2} = 2,5A$

6



1) После нагревания:

$$p_1 SL = \nu_1 RT_0 - \text{в первом цилиндре}$$

$$p_2 SL = \nu_2 RT - \text{во втором цилиндре}$$

2)  ~~$p_1 = p_2 \rightarrow \nu_1 T_0 = \nu_2 T$~~   
 $\nu$  - кол-во в-ва в том газе

3)  $\nu_1 + \nu_2 = \nu$ , где  $p_0 SL = \nu RT_0$

4)  $\rho g(L-h) + p_1' = \rho g(L+h) + p_2'$ , где  $L$  - начальный уровень воды

$$\Rightarrow p_1' = 2\rho gh + p_2'$$

5)  ~~$p_1' = p_1$~~

$$p_1 \cdot SL = p_1' \cdot S(L+h) \quad (T_0 \text{ температура не меняется})$$

$$p_1' = \frac{L}{L+h} p_1$$

6)  $\frac{p_2 \cdot SL}{T} = \frac{p_2' \cdot S(L-h)}{T_0}$

$$p_2' = \frac{L}{L-h} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot p_2$$

7) Пусть  $p_1 = p_2 = p_{12}$

8)  $\frac{p_{12} SL}{RT_0} + \frac{p_{12} SL}{RT} =$

$$= \frac{2\rho_0 SL}{RT_0} \quad (\nu_1 + \nu_2 = \nu)$$

(n.1 и n.3)

$$9) p_{12} \left( \frac{1}{T_0} + \frac{1}{T} \right) = \frac{2p_0}{T_0}$$

$$p_{12} \cdot \frac{T_0 + T}{T_0 T} = \frac{2p_0}{T_0}$$

$$p_{12} = \frac{2p_0 T}{T_0 + T}$$

$$10) p_1' = \frac{L}{L+h} \cdot \frac{2p_0 T}{T_0 + T}$$

$$11) p_2' = \frac{L}{L-h} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{2p_0 T}{T_0 + T}$$

$$12) \frac{L}{L+h} \cdot \frac{2p_0 T}{T_0 + T} = \cancel{\rho g h} + L-h \cdot \frac{2p_0 T_0}{T_0 + T}$$

$$\frac{p_0 L}{T_0 + T} \left( \frac{2T}{L+h} - \frac{2T_0}{L-h} \right) = \rho g h$$

$$\frac{p_0 L}{T_0 + T} \left( \frac{T}{L+h} - \frac{T_0}{L-h} \right) = \rho g h$$

$$\frac{p_0 L T}{L+h} - \frac{p_0 L T_0}{L-h} = \rho g h (T_0 + T)$$

$$T \left( \frac{p_0 L}{L+h} - \rho g h \right) = \rho g h T_0 + \frac{p_0 L T_0}{L-h}$$

$$T = \frac{\rho g h + \frac{p_0 L}{L-h}}{\frac{p_0 L}{L+h} - \rho g h} T_0$$

$$\text{Answer: } T = \frac{\rho g h + \frac{p_0 L}{L-h}}{\frac{p_0 L}{L+h} - \rho g h} T_0$$



Задача 10.1

B-8  
1 2  
13 13  
1129 - 1131

1. ① Поставили пустой шприц на весы, чтобы в последующих измерениях его вес не учитывался.

② Наберем в шприц крупок, чтобы она почти полностью заполнила шкалу (это необходимо, чтобы уменьшить относительную погрешность измерения) и замаскировать как можно сильнее,

③  $\rho_{\text{крупок}} = \frac{m_{\text{крупок}}}{V_{\text{шприца}}}$ ;  $E_{\rho} = E_m + E_v$

П.к. весы электронные (цифровые)

примем  $E_m = 0,01$

(абсолютную)

Погрешность шкалы шприца примем равной 1 мл, учитывая как погрешность самой шкалы (0,5 мл), так погрешность экспериментатора (еще 0,5 мл).

④ Измерения:

N	m	V	$\rho$	$E_m$	$E_v$	$E_{\rho}$
1	12 г	14 мл	$850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,071	0,08
2	15 г	18 мл	$830 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,056	0,07
3	17 г	20 мл	$850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,050	0,08

Примечание: К сожалению шкала шприца позволяет отобразить лишь две значащие цифры в проведенных измерениях

1

$$5) \bar{\rho} = 840 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \bar{\epsilon}_p = 0,07$$

Таким образом:

$$\rho = (840 \pm 59) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ответ:  $(840 \pm 59) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

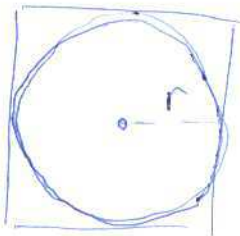
н. 1 - 18  
н. 2 - 25.  
н. 3 - 15.

II. 1) Заметим, что если поместить одну кубический крутинку в сосуд с ребром  $2r$ , то она будет занимать  $\frac{\pi}{6}$  часть этого сосуда

$$\left( \frac{V_{\text{крутинки}}}{V_{\text{сосуда}}} = \frac{\pi}{6}, \text{ т.к. } V_{\text{крутинки}} = \frac{4}{3}\pi r^3, \right.$$

$$\left. V_{\text{сосуда}} = 8r^3 \right)$$

Рисунок



$2r$

$$\frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{8r^3} = \frac{\pi}{6}$$

2) Тогда, если заполнить шарик  $N$  крутинками, занимающими объем  $V$ , то

$$\frac{V_{\text{крутинки}} \cdot N}{V} \approx \frac{\pi}{6}$$

2

$$V_{\text{крупинки}} = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{V}{N}$$

$$\textcircled{3.} m_{\text{крупинки}} = \frac{m_{\text{крупы}}}{N}$$

$$\textcircled{4.} \rho_{\text{крупинки}} = \frac{m_{\text{крупинки}}}{V_{\text{крупинки}}} = \frac{\frac{m}{N}}{\frac{\pi}{6} \cdot \frac{V}{N}} = \frac{6m}{\pi V}$$

⑤. Измерения из I пойдут и для этой задачи:

N	m	V	$\rho_{\text{крупинки}}$	$E_m$	$E_V$	$E_\rho$
1	12г	14мл	$1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,071	0,08
2	15г	18мл	$1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,056	0,07
3	17г	20мл	$1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,01	0,050	0,06

$$\textcircled{6.} \bar{\rho}_{\text{крупинки}} = 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \bar{E}_\rho = 0,07$$

Таким образом:

$$\left[ \rho_{\text{крупинки}} = (1600 \pm 110) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

n. 4 - 18.  
n. 5 - 20.

Ответ:  $(1600 \pm 110) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

III. ① Заполним шприц крупой, поставим на весы, чтобы не учитывать при измерении его вес.

2. Измерили начальный объем кружки ( $V_0$ )  
~~Он равен 11 мл.~~

3. Теперь положили в ширину все  
 гранулы и измерили новый объем.  
 (3 штуки взято, чтобы уменьшить

погрешность измерения <sup>ширины</sup>  
 (необходимо встряхнуть, чтобы крупа равномерно  
 распределилась по объему)

4.

$n$	$V_0$	$V_1$	$\Delta V$	$m$	$\rho_{гранул}$	$\epsilon_{\Delta V}$	$\epsilon_m$	$\epsilon_{\rho}$
1	11 мл	15 мл	4 мл	4,8 г	$1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,5	0,01	0,51
2	13 мл	17 мл	4 мл	4,9 г	$1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,5	0,01	0,51
3	15 мл	19 мл	4 мл	4,9 г	$1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,5	0,01	0,51

$$\epsilon_{\Delta V} = \frac{2 \text{ мл}}{\Delta V}$$

т.к.  $\Delta V$  - разность  
 двух измерений  
 с погрешностями  
 1 мл каждое

5.

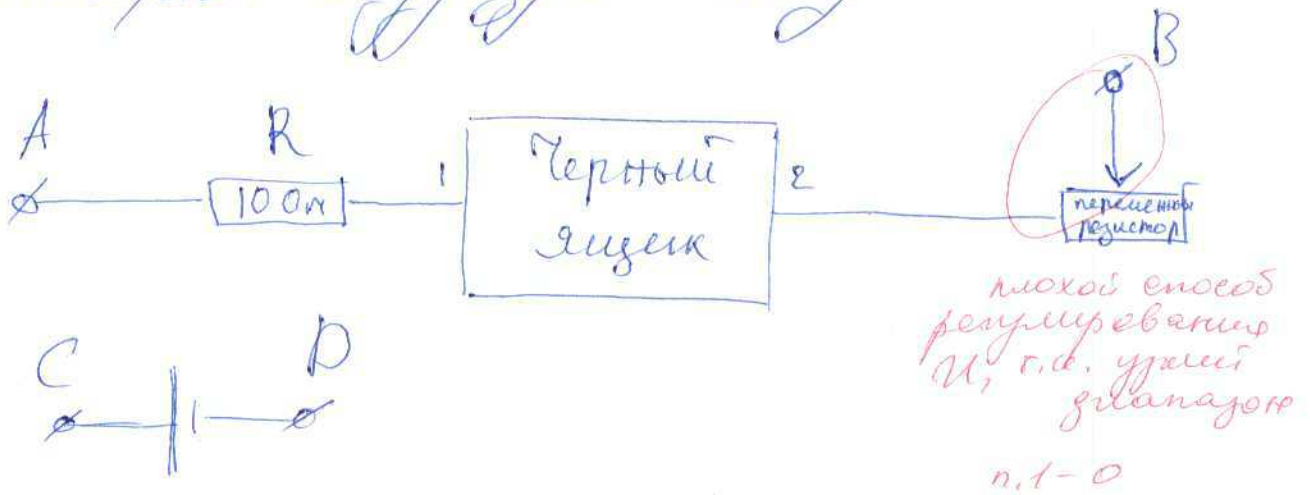
$$\bar{\rho}_{гранул} = 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \bar{\epsilon}_{\rho} = 0,51$$

$$\rho_{гранул} = (1200 \pm 612) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\text{Ответ: } (1200 \pm 612) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

- n. 7. - 18
- n. 8. - 18.
- n. 9. - 18.
- n. 10. - 28
- n. 11 - 05.

I. ① Собери следующую схему:



② Будем подключать источник питания и смотреть с помощью мультиметра напряжения на  $R$  и Э.Э., при этом крутя ручку переменного резистора.

③ Сначала подключим  $B$  к  $C$  и  $A$  к  $D$ . Заметим, что при ~~минимальном~~ ~~счете~~ при вращении ручки напряжение на  $R$  находится в промежутке от  $27$  мВ до  $235$  мВ. Поделим этот интервал на несколько промежутков (начиная с  $27$  мВ будем прибавлять по  $20,8$  мВ, крутя ручку переменного резистора) ⑤

Одновременно выписали ток в цепи и напряжение гирного мизика.  
(отн. погрешность будем считать равной 0,01, т.к. прибор цифровой)

④ ВАР 1 (для погрешн. U)

n	U <sub>R</sub> (мВ)	U <sub>г.з</sub> (В)	I (мА)	ε
1	94	1,64	9,4	0,01
2	48	2,09	4,8	0,01
3	69	2,34	6,9	0,01
4	89	2,57	8,9	0,01
5	110	2,98	11	0,01
6	131	3,12	13,1	0,01
7	152	3,41	15,2	0,01
8	172	3,57	17,2	0,01
9	188	3,78	18,8	0,01
10	214	3,95	21,4	0,01
11	235	4,01	23,5	0,01

Ток в цепи находится по градуировочной формуле:

$$I = \frac{U_R}{R}, \text{ где}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

(т.к. R - величина данная в условии, погрешность I будет также 0,01)

n, 2 - 10, n, 3 - 0,5  
ежема гв, по цель не та  
n, 4 - 25.

⑤ Теперь подключили А к С и В к D:

ВАХ 2  
(для отриц. U)

n	U <sub>R</sub> (мВ)	U <sub>г.з</sub> (В)	I (мА)	ε
1	275	1,66	27,5	0,01
2	321	1,95	32,1	0,01
3	370	2,22	37,0	0,01
4	413	2,50	41,3	0,01

Теперь напряжение на R находится в направлении от 27 мВ до 41 мВ, прибавили по U, г.з

⑥

N	$U_R$ (кВ)	$U_{с.з.}$ (В)	$I$ (мА)	$\mathcal{E}$
5	45,9	3,92	4,54	0,01
6	50,5	3,08	5,05	0,01
7	55,1	3,84	5,51	0,01
8	59,7	3,63	5,97	0,01
9	64,3	3,89	6,43	0,01
10	68,9	4,18	6,89	0,01
11	73,5	4,43	7,35	0,01

n. 5-2

II. График начерчен на отдельном листке  
n. 6,7 - 1+18

III. Из графика мы видим, что в 3 координатной четверти наблюдается прямая пропорциональная зависимость, следовательно кроме того схема несимметрична относительно

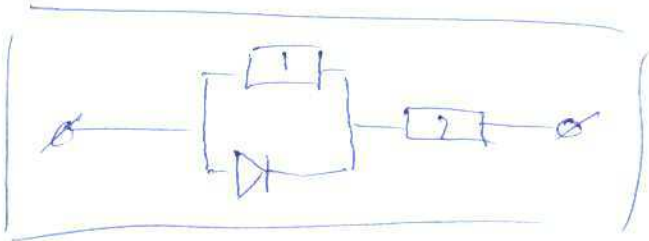
начала координат. На основании этого можно утверждать, что в цепи есть диод (также у него график несимметричен). Диод должен быть включен параллельно резистору, иначе

n. 8-1

7

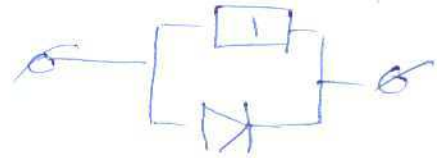
в 3 координатной четверти (при отриц. напр.)

не было бы тока. Т.к. в цепи только один нелинейный элемент и это диод, есть еще 1 или 2 резистора. Два варианта схемы:



Эта схема подходит.

н. 9. - 18.



В этом случае при полном открывании диода должно быть короткое замыкание.

Но макс. ток был всего лишь  $23,5 \text{ mA}$ .

IV. ① Когда диод выключен (3 координат. четверть) можно вычислить  $R_1 + R_2$ :

$$R_1 + R_2 = 588 \text{ Ohm}$$

$$E_{R_1 + R_2} = 2E = 0,02$$

$$(E_{R_1 + R_2} = E_I + E_U)$$

$$\Rightarrow R_1 + R_2 = (588 \pm 11,8) \text{ Ohm}$$

②



2. Когда диод включен сопротивление цепи становится  $R_2$ . Для того

~~$R_2$~~   
 чтобы его измерить возьмем значения двух сил токов при двух наибольших напряжениях, т.е строки 10 и 11 из ВАН. 1.

10)  $R_2 = 185 \text{ Ом}$

n. 10 - 25.

11)  $R_2 = 170 \text{ Ом}$

$\bar{R}_2 = 178 \text{ Ом}$

$\epsilon = 0,02 \left( \epsilon_{R_2} = \epsilon_I + \epsilon_{u_2} \right)$

$R_2 = (178 \pm 3,56) \text{ Ом}$

n. 12 - 05. (100%)

Тогда

$R_1 = (410 \pm 15,36) \text{ Ом}$

n. 11 - 0,55 (500%)

Ответ:  $(410 \pm 15,36) \text{ Ом}$  и  $(178 \pm 3,56) \text{ Ом}$ .

