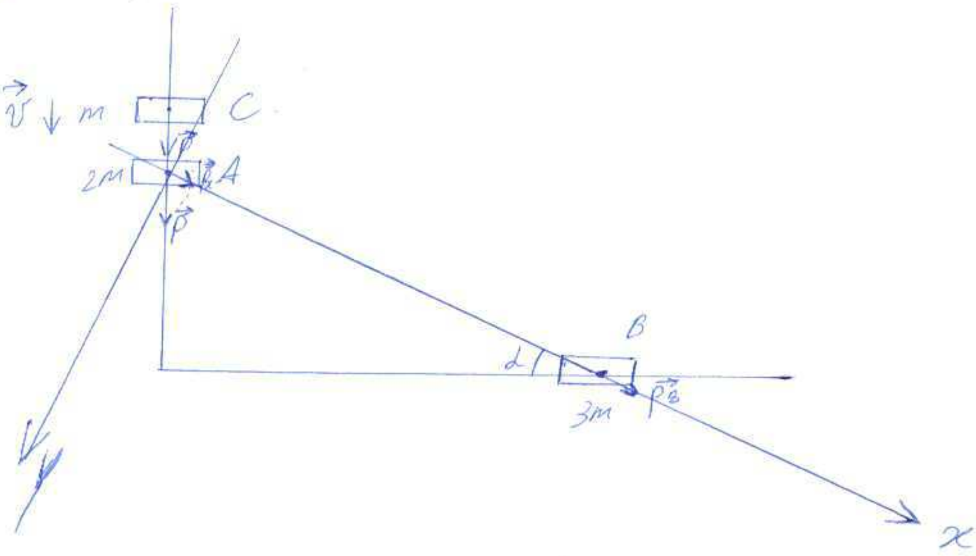
Чистовик

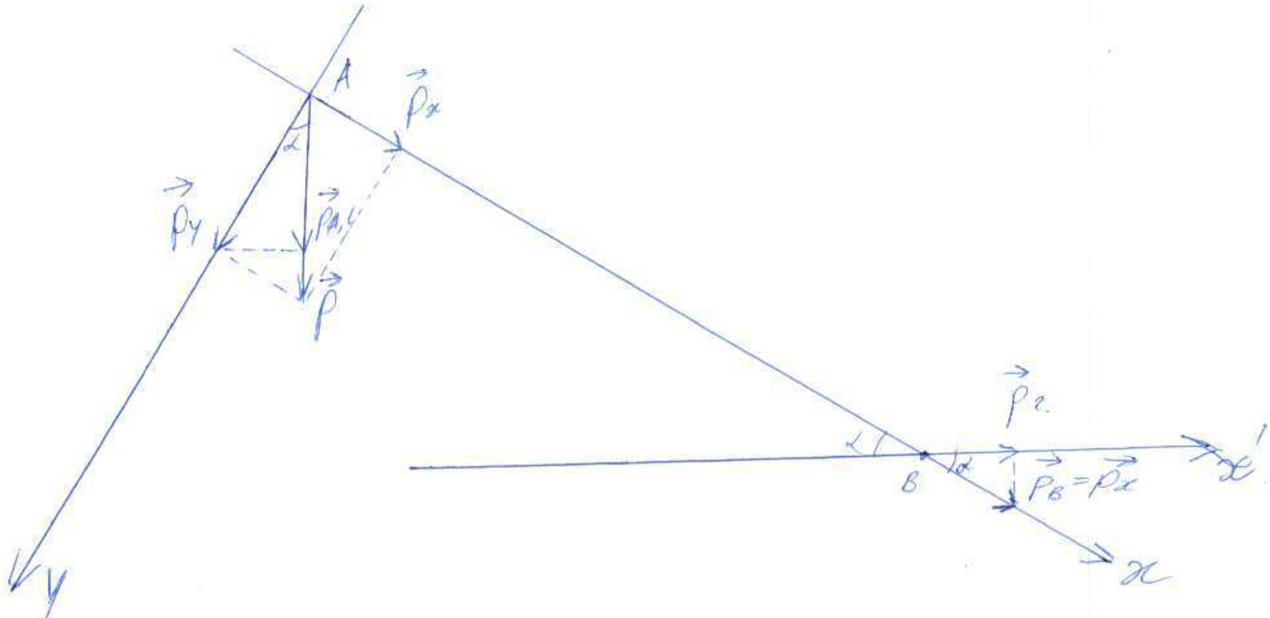
1	2	3	4	5	Σ
10	6	2	6	10	34

С-24

№1

Решение задачи может основываться на законе сохранения энергии или законе сохранения импульса. Решим её через векторное изображение закона сохранения импульса:





10

Начальный импульс тела (муфты) С переходит при разложении по координатным осям плоскости Oxy в $\vec{p_x}$ и $\vec{p_y}$. $\vec{p_y}$ действует вдоль стержня и, следовательно на муфту B. Вертикальная составляющая (в плоскости рисунка) не учитывается: трение в системе равно 0, а горизонтальная $p_г$ равна $p_г = p_x \cdot \cos\alpha$. (1)

Далее:

$$p_x = p \cdot \sin\alpha$$
$$p_y = p \cdot \cos\alpha \qquad p = m\upsilon$$

Тогда с учётом (1)

$$\left.\begin{aligned} p_2 &= p \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha \\ \text{Также } p_2 &= 3m\upsilon_B \end{aligned}\right\} \; 3m\upsilon_B = p \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$$

$$\upsilon_B = \frac{p \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{3m}$$

$$\upsilon_B = \frac{m\upsilon \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{3m}$$

$$\upsilon_B = \frac{\upsilon \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{3}$$

Аналогично рассматриваем p_y: получаем, что по оси A – C действует вертикальная составляющая импульса $\vec{p}_y$ $\vec{p}_{A,C}$.

$$\left.\begin{aligned} p_{A,C} &= p_y \cdot \cos\alpha \\ p_{A,C} &= p \cdot \cos^2\alpha \\ p_{A,C} &= 3m\upsilon_{A,C} \end{aligned}\right\} \; 3\cancel{m}\upsilon_{A,C} = \cancel{m}\upsilon \cdot \cos^2\alpha$$

$$\upsilon_{A,C} = \frac{\upsilon \cdot \cos^2\alpha}{3}$$

Ответ: $\upsilon_A = \frac{\upsilon \cdot \cos^2\alpha}{3}$; $\upsilon_B = \frac{\upsilon \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{3}$; $\upsilon_C = \frac{\upsilon \cdot \cos^2\alpha}{3}$.

№5

Рассмотрим пластины 1-2 и 2-3 как 2 конденсатора, соединённые ~~пара~~ последовательно. Докажем, что это верно. Из-за напряжённости поля, излучаемой нижней (3) пластиной внизу (в плоскости рисунка) на пластине 2 появляется избыточный отрицательный заряд $-|q|$. Аналогично, сверху на пластине 2 образуется заряд $+|q|$. Т.к. $+|q| - |q| = 0$, то вывод не нарушает закон сохранения заряда для изолированной пластины.

Ответ: 1) $I_m = \frac{q\sqrt{3d}}{\sqrt{L\varepsilon_0 S}}$

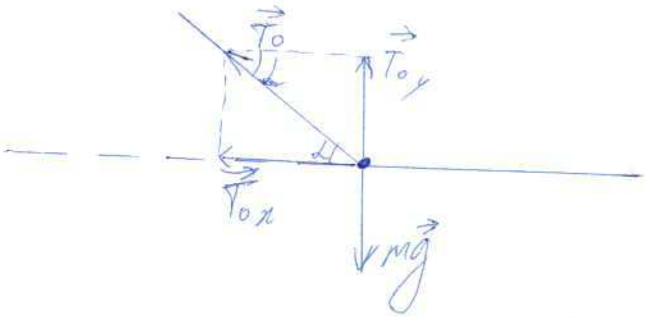
2) $I_m = \frac{q\sqrt{2d(\varepsilon+2)}}{\sqrt{L\varepsilon_0 S(\varepsilon+1)}}$

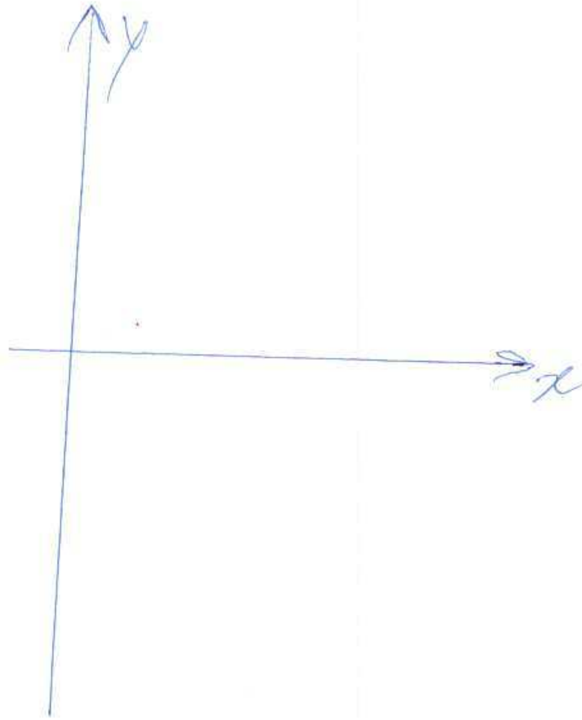
№2

Цилиндр будет ускоряться до тех пор, пока он находится на ленте. Отрыв произойдёт в точке, принадлежащей горизонтальной оси, проведённой через точку O. Т.о. цилиндр пройдёт расстояние $S = R\cdot \sin\alpha$.

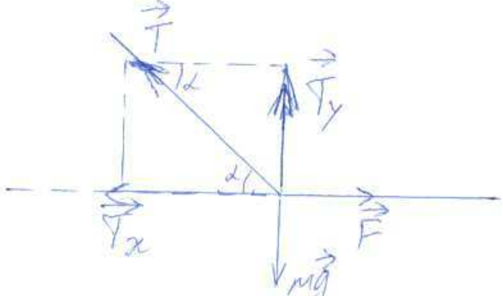
Рассмотрим ситуации:

1) до появления F





2) сразу после начала действия F



Опираясь на законы Ньютона, составим системы уравнений:

$$\begin{cases} T_{0y} = mg \\ T_{0y} = T_0 \cdot \sin\alpha \\ T_{0x} = T_0 \cdot \cos\alpha \end{cases} \qquad \begin{cases} T_x = T_{0x} + F \\ T_x = T \cdot \cos\alpha \\ T_y = T\cdot \sin\alpha \\ T_y - mg = ma \end{cases}$$

Решая совместно, получаем $a = \frac{F\cdot tg\alpha}{m}$

С-24

Чистовик

Согласно закону сохранения энергии, максимальные энергии для катушки и системы конденсаторов равны ввиду отсутствия потерь:

$$\frac{q^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$I_m = \frac{q}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

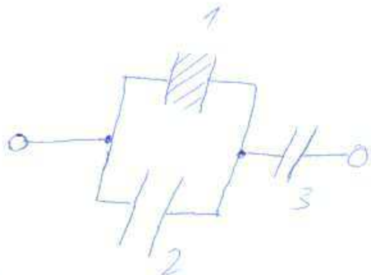
1) Для последовательного соединения двух конденсаторов имеем:

$$\left.\begin{aligned} C_{общ.} &= \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} \\ C_1 &= \frac{\varepsilon_0 S}{d} \\ C_2 &= \frac{\varepsilon_0 S}{2d} \end{aligned}\right\} \quad C_{общ.} = \frac{\varepsilon_0 S}{3d}$$

, тогда с учётом (1)

$$I_m = \frac{q\sqrt{3d}}{\sqrt{L\varepsilon_0 S}}$$

2) Соединение конденсаторов эквивалентно следующей схеме:



$1-2 = I$

Тогда

$$\left.\begin{aligned} C_I &= C_1 + C_2 \\ C_1 &= \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{2d} \\ C_2 &= \frac{\varepsilon_0 S}{2d} \\ C_3 &= \frac{\varepsilon_0 S}{2d} \\ C_{общ} &= \frac{C_I C_3}{C_I + C_3} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} C_I &= \frac{\varepsilon_0 S(\varepsilon+1)}{2d} \\ C_{общ.} &= \frac{\varepsilon_0 S(\varepsilon+1)}{2d(\varepsilon+2)} \end{aligned}$$

С учётом (1)

$$I_m = \frac{q\sqrt{2d(\varepsilon+2)}}{\sqrt{L\varepsilon_0 S(\varepsilon+1)}}$$

10

3

Чистовик

$$\begin{cases} S = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2a} \\ v_0 = 0 \\ S = R \cdot \sin\alpha \\ a = \dfrac{F \cdot tg\alpha}{m} \end{cases} \quad a \neq const? \quad \Longrightarrow \quad v = \sqrt{\dfrac{2FR \cdot \sin\alpha \cdot tg\alpha}{m}}$$

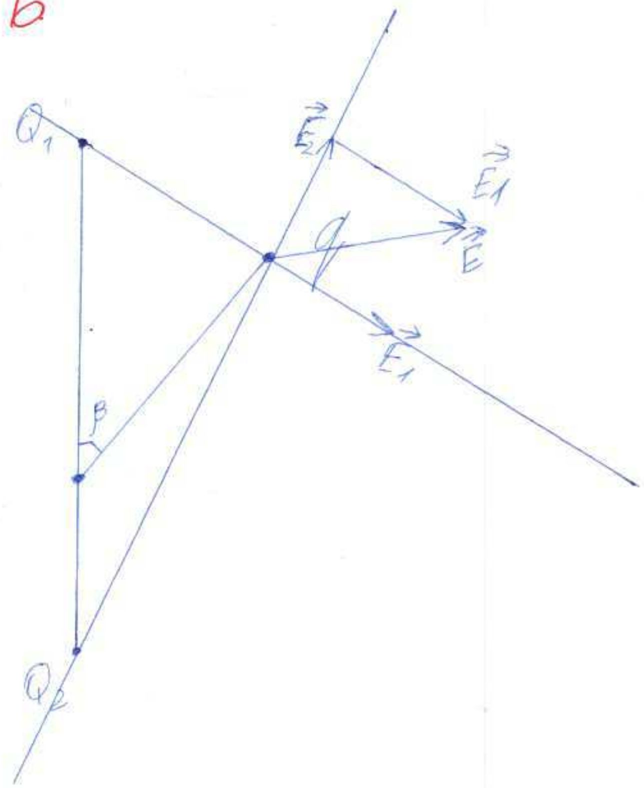
Этот ход решения учитывает изменчивость F в проекции на Ox в зависимости от угла. Иначе говоря, нет необходимости вычислять $v(t)$, где $a(t) = v'(t)$ и вычислять $\int\limits_{F\cdot\cos\alpha}^{F} F(a)\,da$, т.к. в формуле содержится зависимость $a(\alpha)$.

Ответ: $v = \sqrt{\dfrac{2FR \cdot \sin\alpha \cdot tg\alpha}{m}}$

6

№4

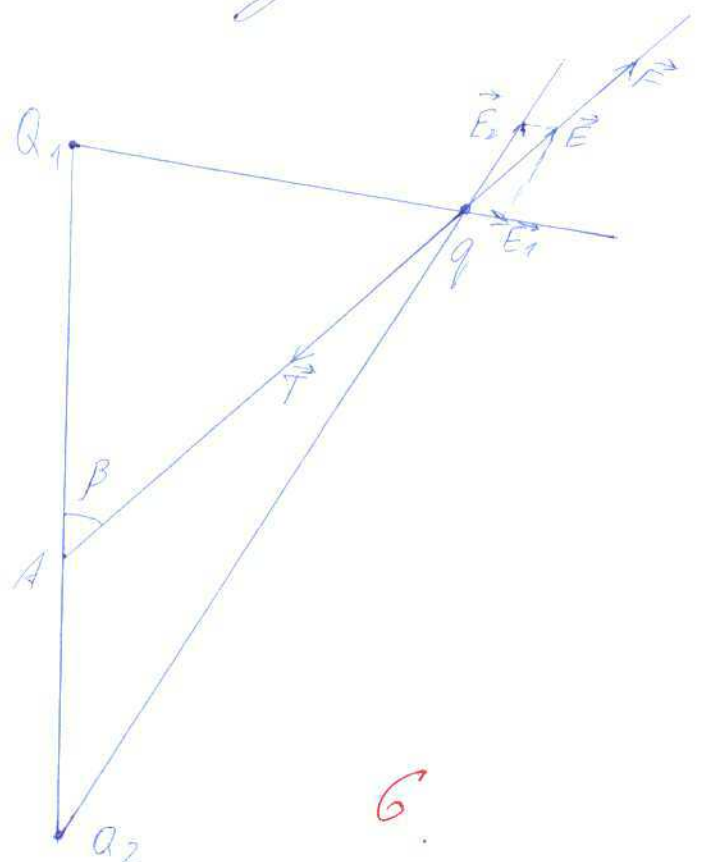
Для определённости будем считать, что все заряды положительны.



5

Т.к. система находится в равновесии, то $\vec{T}=-\vec{F}$, а $\vec{F}\parallel\vec{E}$, тогда уточним рисунок:

$F=T$ согласно 3-ему закону Ньютона



6.

Т.к. $E_1=\frac{kQ_1}{(SQ_q)^2}$, то по теореме косинусов

$$E_1=\frac{kQ_1}{\sqrt{L_1^2+R^2-2L_1R\cdot\cos\beta}}$$ Пусть $a=\sqrt{L_1^2+R^2-2L_1R\cdot\cos\beta}$

Аналогично $$E_2=\frac{kQ_2}{\sqrt{L_2^2+R^2+2L_2R\cos\beta}}$$ Пусть $b=\sqrt{L_2^2+R^2+2L_2R\cdot\cos\beta}$

По теореме косинусов $\cos\angle(Q_2;q;Q_1)=\frac{L_1L_2-R(R+L_2\cos\beta-L_1\cos\beta)}{-ab}$,

а $E=\sqrt{E_1^2+E_2^2\mp2E_1E_2\cos\angle(Q_2qQ_1)}$

учитываем, что $F=Eq$, а также моменты сил относительно т. A.

$$F=q\sqrt{\frac{k^2Q_1^2}{a^2}+\frac{k^2Q_2^2}{b^2}+2\cdot\frac{kQ_1\cdot kQ_2}{ab}\cdot\frac{L_1L_2-R(R+L_2\cos\beta-L_1\cos\beta)}{ab}}$$

6

C-24

Чистовик

№ 3

Запишем уравнение Менделеева - Клапейрона для начального состояния газа:

(1) $p_0(V+0{,}5L\cdot S)=\nu RT_0$ Пусть $V+0{,}5LS=V_0$

При изменении состояния газов в сосуде

$p_1(V_0+\Delta V)=\nu RT_1$

$p_2(V_0-\Delta V)=\nu RT_2$ (если $T_1>T_2$)

$p_1=p_2$

Т.к. $\frac{pV}{T}=const$, то

$\cancel{p_0(V}$ $\left.\begin{array}{l}\frac{p_1(V_0+\Delta V)}{T_1}=\frac{p_2(V-\Delta V)}{T_2}\\ \Delta T=T_1-T_2\end{array}\right\}$

$\Delta T=T_1\left(1-\frac{V-\Delta V}{V+\Delta V}\right)$

Следовательно, из-за взаимной пропорциональности температуры и объёма зависимость не будет линейной, т.к. $\Delta V\sim\Delta x\ (\Delta V=\Delta x\cdot S)$.

Найдём разметку шкалы.

$\underbrace{\nu=\frac{V_0}{V_m}\qquad \nu=\frac{N}{N_A}\qquad (1)}$

$p_0=\frac{RT_0}{V_mN_A}$

2

$\cancel{p_0=}$

7

C-24

Чистовик

Согласно закону сохранения энергии:

$Q = W_{конд. C_0}$, тогда

$$\frac{U_0^2 \Delta t}{R} = \frac{C_0 U_0^2}{2}$$

$$\frac{\Delta t}{R} = \frac{C_0}{2}$$

$$R = \frac{2\Delta t}{C_0} \qquad \Delta t = 35 мин = 2100 с$$

$$R = \frac{2 \cdot 2100 с}{10^{-3} Ф} = 4,2 МОм$$

1	2	Σ
5	8	13

Ответ: $C_1 = 27,7 \cdot 10^{-3} \ldots 29,3 \cdot 10^{-3}$ Ф;

$C_2 = 7,1 \cdot 10^{-4} \ldots 7,5 \cdot 10^{-4}$ Ф;

$R = 4,2$ МОм.

№2

1) Для сравнения $d_м <> d_б$ необходимо определить, в каком из двух случаев отношение $\frac{A_1}{A_2}$ больше, т.к. $d = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \sim \frac{A_1}{A_2}$. Для этого исследуем затухающие колебания в двух случаях с одинаковой начальной амплитудой A_0. Т.к. до полной остановки диск с маленькой гайкой совершает меньше колебаний, чем с большой, то приходим к выводу, что

$$\left(\frac{A_1}{A_2}\right)_м > \left(\frac{A_1}{A_2}\right)_б \qquad d_м > d_б$$

(При отклонении диска на 60° от точки равновесия ($A_0 \approx 6,5$ см в проекции на гориз. ось) $\frac{N_м}{N_б} \approx \frac{1}{2}$).

3

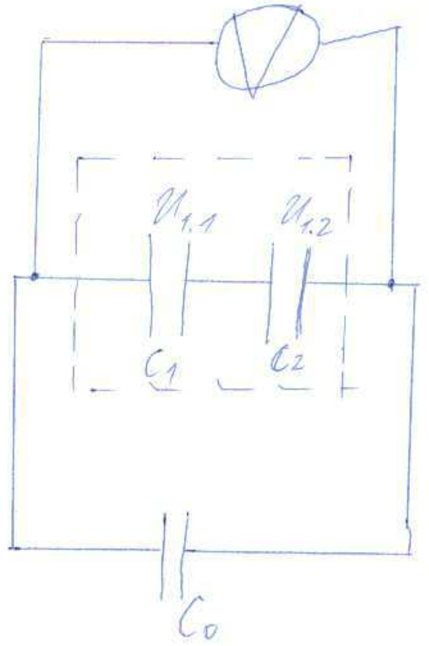
2) Т.к. декремент затухания для большой гайки меньше, то необходимо найти зависимость $T(\alpha)$ для двух таких гаек, закреплённых на концах радиусов. Для точного определения периода малых колебаний T необходимо знать количество колебаний диска N за достаточно ~~большой~~ промежуток времени t: $T = \frac{t}{N}$

α	номер	N	t, c	T, c	номер	N	t, c	T, c
30°	1	15	8,95	0,5970	7	20	11,66	0,583
	2	15	8,97	0,5980	8	20	11,66	0,583
	3	15	8,87	0,5870	9	40	23,22	0,5805
	4	15	9,47	0,6316	10	40	23,25	0,5812
	5	15	8,56	0,5710	11	40	23,37	0,5818
	6	20	11,68	0,5840	12	40	23,22	0,5805
45°	1	25	15,56	0,6224	5	40	24,44	0,6110
	2	25	15,22	0,6090	6	40	24,37	0,6090
	3	40	24,50	0,6125	7	40		
	4	40	24,66	0,6165				
60°	1	40	26,59	0,6648	6	50	32,29	0,6458
	2	40	25,84	0,6460	7	50	32,15	0,6430
	3	40	25,94	0,6485	8	50	32,19	0,6438
	4	40	25,90	0,6475	9	50	32,16	0,6432
	5	40	25,87	0,6468	10	50	31,72	0,6344
75°	1	40	28,28	0,7070	6	50	35,40	0,7080
	2	40	28,35	0,7088	7	50	35,59	0,7118
	3	40	28,31	0,7078	8	50	35,53	0,7106
	4	40	28,31	0,7078	9	50	35,60	0,7120
	5	40	28,84	0,7210	10	50	35,38	0,7076

Чистовик. C-24

№ 1

Заземляя, обнуляем заряд на „серой ящике" и C_0 (этой процедурой пользуемся постоянно для повышения точности измерений). Далее, зарядим конденсатор C_0 от батарейки ($U_0 \approx 1,5$ В). Соберём следующую схему:



C_1, C_2 – искомые значения ёмкостей конденсаторов

5

После замыкания происходит перераспределение зарядов и на вольтметре устанавливается значение $U_1 = 1,14$ В. Далее, пользуясь законами сохранения энергии: $\frac{C_0 U_0^2}{2} = \frac{C_0 U_1^2}{2} + \frac{C_{общ.} U_1^2}{2}$

$$\frac{C_0 U_0^2}{2} = \frac{C_1 U_{1.1}^2}{2} + \frac{C_2 U_{1.2}^2}{2} + \frac{C_0 U_1^2}{2}$$

правилами соединения конденсаторов:

$$C_{общ.} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$U_{1.1} + U_{1.2} = U_1$$

$$\frac{U_{1.1}}{U_{1.2}} = \frac{C_1}{C_2}$$

1

получаем систему уравнений и решаем её. Ввиду большого количества вычислений, приведём только результаты:

$$C_{общ.} = 7,313 \cdot 10^{-4} Ф$$

$$1,139 C_2^2 - 16,674 \cdot 10^{-4} C_2 + 60,97 \cdot 10^{-8} = 0$$

$$C_2 = 7,1 \cdot 10^{-4} Ф$$

$$C_2 = 7,5 \cdot 10^{-4} Ф$$

$$C_2 = 7,1 \cdot 10^{-4} \ldots 7,5 \cdot 10^{-4} Ф$$

(в квадратное уравнение включена погрешность измерений косвенных (C_1 и C_2))

$$C_1 = \cancel{C_2 - C_{общ.}}$$

$$C_1 = \frac{C_{общ.} C_2}{C_2 - C_{общ.}}$$

$$C_1 = 29,3 \cdot 10^{-3} Ф$$

$$C_1 = 0,0277 = 27,7 \cdot 10^{-3} Ф$$

$$C_1 = 27,7 \cdot 10^{-3} \ldots 29,3 \cdot 10^{-3} Ф$$

Для обнаружения сопротивления резистора проанализируем цепь: если нагрузка R подключена параллельно C_2, то после подключения C_0 в цепи возникнет максимальный ток, который будет уменьшаться с течением времени (вплоть до момента, когда $U = 0$ и $I = 0$). Сначала происходит мгновенная зарядка конденсаторов C_1 и C_2, а затем C_1 и C_0 медленно разряжаются через R, нагревая его. Согласно закону(ам) Джоуля - Ленца и Ома:

$$\left.\begin{aligned} Q &= I^2 R \Delta t \\ I &= \frac{U}{R} \end{aligned}\right\} \Rightarrow Q = \frac{U^2 \Delta t}{R}$$

С-24

Чистовик

Из таблицы получаем:

$T_{30° гр.} = 0,5882$

$T_{45° гр.} = 0,6146$

$T_{60° гр.} = 0,6464$

$T_{~~85~~ 75° гр.} = 0,7102$

Из графика приходим к выводу, что зависимость $T(\alpha)$ является квадратичной (с учётом погрешностей) $(T \sim k\alpha^2)$

Ответ: 1) $d_{б.} < d_{м.}$

2) зависимость квадратичная. |

5