Всероссийская олимпиада школьников по физике

заключительный этап

Т10 - 62

заполнять печатными буквами!!!

Казимов

Фамилия

Сулейман

Имя

Патрисович

Отчество

89875739250

Номер вашего мобильного телефона

1. Пишите только с одной стороны листа.
2. Не мните, не сгибайте, не рвите листы.
3. Нумеруйте листы (например, «лист 5 из 8»).

Это лист № 0

Томск, 2019

1	2	3	4	5

ШИФР Т10-62 V 3.0

Задача №1 **Проверяющий** СВ

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Показано, что в момент времени τ первая шайба движется по окружности радиуса L относительно второй	1		
2	Второй закон Ньютона в момент времени τ для первой шайбы (для проекции на стержень)	1		
3	Найдена угловая скорость стержня в момент времени τ $\omega = \sqrt{\frac{Fcos(\alpha)}{Lm_1}}$.	1		
4	Записаны верные исходные уравнения, позволяющие найти β	2		
5	Значение $\beta = \frac{Fsin(\alpha)}{Lm_1}$.	1		
6	Записано верное уравнение для поиска τ ($\omega = \beta\tau$)	1		
7	Значение $\tau = \sqrt{\frac{Lm_1 \cos(\alpha)}{Fsin^2(\alpha)}}$	1		
8	Записано верное уравнение для поиска φ ($\varphi = \beta t^2/2$)	1		
9	Значение $\varphi = \frac{ctg(\alpha)}{2}$	1		
	ИТОГО	10	10	

Задача №2 **Проверяющий** Кузнецов

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Условие на координаты частиц из постоянства расстояний между ними $x^2 + y^2 = R^2$	1	1	
2	Связь скоростей частиц через закон сохранения энергии $v_x^2 + v_y^2 = const$	1	1	
3	Второй закон Ньютона для шариков в проекциях на оси $a_x = -kq^2x/mR^3$ и $a_y = -kq^2y/mR^3$	1+1	2	
4	Доказательство возможности движения, описанного в условии	3	3	
5	Метод, позволяющий получить решение.	2	2	
6	Правильный ответ $kq^2/(2R)$	1	1	
	ИТОГО	10	10	

38,5

ШИФР Т10-62 V 3.0

Задача №3 **Проверяющий** Шкляев

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Верно указаны изохорический и изобарический процессы	1	1	
2	Показано как выглядит процесс с теплоемкостью 2R ($P \sim V$)	2	2	
3	Сделан вывод о том, что по оси абсцисс может быть отложен объем	1	1	
4	Записаны верные уравнения для поиска КПД в 1 случае	1	0	
5	Найден КПД 1/9	0,5	0	
6	Сделан вывод о том, что по оси абсцисс может быть отложена плотность	1	1	
7	Записаны верные уравнения для поиска КПД во 2 случае	1	0	
8	Найден КПД 1/8	0,5	0	
9	Показано, что не могут быть отложены T или P	1	1	
10	Получен правильный ответ (при условии рассмотрения всех случаев)	1	0	

$\Sigma = 6$

Задача №4 **Проверяющий** Воронцов

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Потенциал вершины равностороннего треугольника со стороной a равен $\frac{\varphi_2}{2}$	1	1	
2	Указано, что при масштабировании пластины потенциал изменяется кратно.	2	2	
3	Предыдущее утверждение доказано	1	0	
4	$\varphi_C = \varphi_2$	1	1	
5	Идея разбиения пластины на треугольники (ромб и треугольники)	1	1	
6	$\varphi_D = \varphi_1 + \varphi_2$	1	1	
7	$\varphi'_D = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$	1	1	
8	$\varphi'_C = \frac{3}{2}\varphi_2 - \varphi_1$	2	2	

Σ 9

Задача №5 **Проверяющий** Вин…

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	$I_1 = I/4$	1	1	
2	$I_{BC} = I_{CE} = I_{FC}$	1	1	
3	$I_2 < \frac{3}{40}I$ или более строгая оценка (если $I_2 < I/8$, то 1 балл)	3	1,5	
4	$I_2 > \frac{I}{16}$	3	0	
5	Получена правильная оценка с требуемой точностью	2	0	

Если при оценке записано равенство вместо неравенства, то баллы за соответствующий пункт умножаются на 0,5

3.5

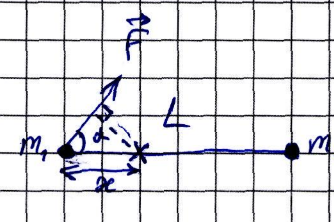
Шифр: Ф10-62

1. Дано: m_1, m_2, L, F, α. Опред.: $\omega, \frac{d\omega}{dt}, \tau, \varphi$.

1) Рассмотрим ~~[зачёркнуто]~~ инерциальную систему отсчёта, в которой в данный момент центр масс неподвижен.

Положение центра масс:

$$x = \frac{0\cdot m_1 + L m_2}{m_1+m_2} = \frac{L m_2}{m_1+m_2}$$



Угловое ускорение:

$$J_0 \frac{d\omega}{dt} = M_0 \text{ — суммарный момент сил}$$

момент инерции

$$M_0 = FL\frac{m_2}{m_1+m_2}\sin\alpha$$

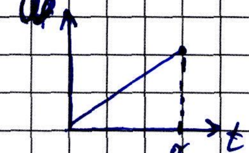
$$J_0 = m_1 x^2 + m_2(L-x)^2 = L^2\frac{m_1 m_2^2 + m_2 m_1^2}{(m_1+m_2)^2} = \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}L^2$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{FL\frac{m_2}{m_1+m_2}\sin\alpha}{\frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}L^2} = \frac{F\sin\alpha}{m_1 L}$$

2) По условию $\frac{d\omega}{dt} = const$, $\omega(0)=0 \Rightarrow \omega(\tau) = \frac{d\omega}{dt}\cdot\tau = \frac{F\tau\sin\alpha}{m_1 L}$

Для вращения с постоянным ускорением:

$$\int_0^\tau \omega dt = \varphi = \frac{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)\tau^2}{2} = \frac{F\tau^2\sin\alpha}{2m_1 L}$$



~~3) Найдём ускорения~~

$$\cancel{\vec{a}_0 = \frac{\vec{F}}{m_1+m_2}}$$

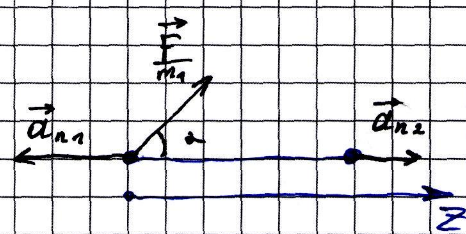
3) Найдём нормальные ускорения грузов (в ИСО, мгновенно сопутствующей центру масс) в момент времени τ.

$$a_{n1} = \left(\frac{d\omega}{dt}\tau\right)^2\cdot x = \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha}{m_1^2 L^2}\,\frac{L m_2}{m_1+m_2} = \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha\, m_2}{L m_1^2(m_1+m_2)}$$

$$a_{n2} = \left(\frac{d\omega}{dt}\tau\right)^2(L-x) = \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha}{m_1^2 L^2}\,\frac{L m_1}{m_1+m_2} = \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha}{L m_1(m_1+m_2)}$$

В момент τ стержень оказался не напряжённым $\Rightarrow$ в проекции на ось z ускорения тел были бы равны и без стержня.

$$\frac{F}{m_1}\cos\alpha - \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha\, m_2}{L m_1^2(m_1+m_2)} = \frac{F^2\tau^2\sin^2\alpha}{L m_1(m_1+m_2)}$$



$$\frac{\cos\alpha}{m_1} = \frac{F\tau^2\sin^2\alpha}{L m_1^2}$$

$$\tau^2 = \frac{m_1 L\cos\alpha}{F\sin^2\alpha}, \quad \tau = \sqrt{\frac{m_1 L\cos\alpha}{F\sin^2\alpha}}$$

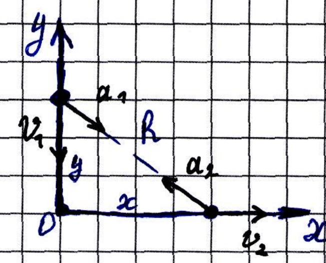
$$\omega = \frac{F\sin\alpha}{m_1 L}\sqrt{\frac{m_1 L\cos\alpha}{F\sin^2\alpha}} = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m_1 L}}$$

$$\varphi = \frac{F\sin\alpha}{2m_1 L}\cdot\frac{m_1 L\cos\alpha}{F\sin^2\alpha} = \frac{\cos\alpha}{2\sin\alpha} = \frac{\mathrm{ctg}\,\alpha}{2}$$

Ответ: $\omega = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m_1 L}}$, $\frac{d\omega}{dt} = \frac{F\sin\alpha}{m_1 L}$, $\tau = \sqrt{\frac{m_1 L\cos\alpha}{F\sin^2\alpha}}$, $\varphi = \frac{\mathrm{ctg}\,\alpha}{2}$ (φ в рад).

Шифр: T10-62

2. Дано: m, q, R. Опред.: K.



1) $K = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2}$

2) $a_1 = a_2 = \frac{k q^2}{R^2 m}$ (нсо)

3) $R^2 = x^2 + y^2$

$x\,dx + y\,dy = 0$

$x v_2 = y v_1$

$v_2^2 + x v_2' = -v_1^2 + y v_1'$

$v_1^2 + v_2^2 = a_1 \frac{y^2}{R} + a_2 \frac{x^2}{R} = \frac{y^2 + x^2}{R} \frac{k q^2}{R^2 m} = \frac{k q^2}{R m}$

$x' = v_2$

$y' = -v_1$

$v_2' = -a_2 \frac{x}{R}$, $v_1' = a_1 \frac{y}{R}$

$K = \frac{m}{2} \cdot \frac{k q^2}{R m} = \frac{k q^2}{2R} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$

Ответ: $K = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$

Шифр: Т10-62

3. Идеальный одноатомный газ [redacted] в изобарических процессах имеет теплоёмкость $C_p = \frac{5}{2}R$, в изохорных $C_V = \frac{3}{2}R$. Пусть по оси абсцисс была отложена величина X.

1) Если X – объём, то в изобар. процессе объём увеличился в 3 раза, в изохорн. не изменялся → нет противоречий.

2) X не давление, т.к. в изобар. процессе давление не измен.

3) $pV = \nu RT \Rightarrow$ и в изобар., и в изохорн. процессе температура не может не изменяться

4) $pV = \frac{m}{\mu}RT$

$p\mu = \rho RT$, $\rho = \frac{p}{T}\cdot\frac{\mu}{R}$. ~~в изобарном процессе~~

$\rho = \frac{\mu}{R}\frac{\nu R}{V} = \frac{\mu\nu}{V}$ → нет противоречий

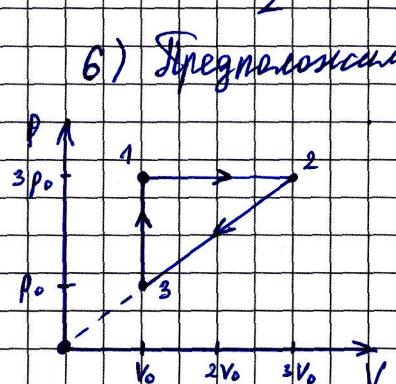
5) В некотором процессе теплоёмкость равна $2R$.

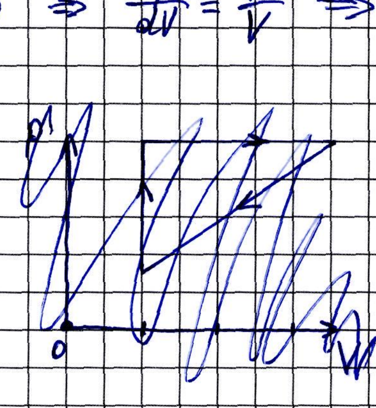
$\cancel{C = \frac{dQ}{\nu dT}}$ $dQ = \frac{3}{2}\nu R dT + p dV = \frac{5}{2}p dV + \frac{3}{2}V dp = 2\nu R dT$

$2p dV + 2V dp = \frac{5}{2}p dV + \frac{3}{2}V dp$

$\frac{V dp}{2} = \frac{p dV}{2} \Rightarrow p dV = V dp \Rightarrow \frac{dp}{dV} = \frac{p}{V} \Rightarrow p \sim V$

6) Предположим, что $X \to V$.





$Q = \Delta U + A$

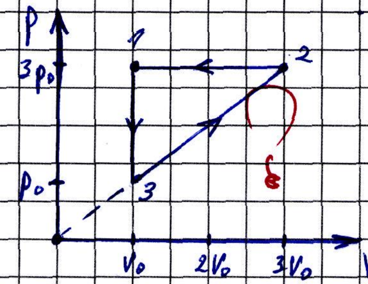
Газ получает тепло на участках $1\to2$, $3\to1$. Газ получил $Q = 9p_0V_0 - p_0V_0 = 8p_0V_0$

Работа газа $A = \frac{1}{2}2p_0\cdot 2V_0 = 2p_0V_0 \Rightarrow \eta_1 = \frac{A}{Q} = \frac{1}{4}$

Шифр: T10-62

7) Предположим, что $X \to \rho$.

Тогда в изобарном процессе объём уменьшается.



~~Работа газа~~ $\cancel{A = 4p_0V_0}$

Газ получает тепло на участке 3→2

Газ получит тот же $Q_н = 8p_0V_0$

Газ отдаёт холодильнику $Q_х = 10p_0V_0$

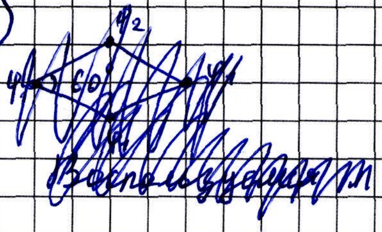
$\eta_2 = \frac{Q_х - Q_н}{Q_н} = \frac{1}{4}$

Ответ: $\eta_{max} = 0,25$

Шифр: T10-62

4. Дано: σ, φ_1, φ_2. Опред.: φ_c, φ_0, φ_c', φ_0'.

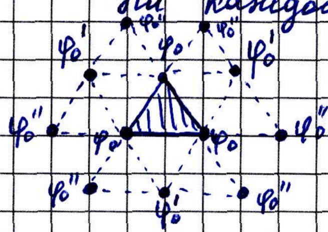
1)



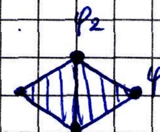
~~Воспользуемся~~

Рассмотрим равносторонний треугольник со стороной a.

На каждой вершине потенциал φ_0, в указанных точках вне треугольника $\to \varphi_0'$, других указанных симметричных отн. центра точках $\to \varphi_0''$.

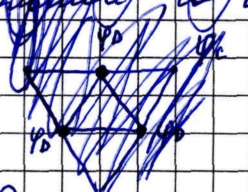


Состыкуем два таких треугольника и воспользуемся ~~[illegible]~~ методом суперпозиции.



$$\begin{cases} \varphi_2 = 2\varphi_0 \\ \varphi_1 = \varphi_0 + \varphi_0' \end{cases} \Rightarrow \quad \varphi_0 = \frac{\varphi_2}{2}, \quad \varphi_0' = \frac{2\varphi_1 - \varphi_2}{2}$$

~~Аналогично состыкуем четыре треуг., получив больший со стороной $2a$. Используем симметрию~~



Рассмотрим вдвое больший треугольник.

Его заряд больше в $\frac{\sigma(2a)^2}{\sigma a^2} = 4$ раза, ~~$\Rightarrow$ [illegible]~~

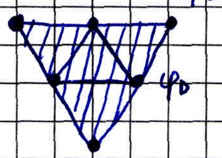
~~соответствующие потенциалы больше в 4 раза т.к. потенциал пропорционален заряду при постоянстве других параметров.~~

размеры в 2, а потенциал $\sim \frac{q}{r} \Rightarrow$ соответствующие потенциалы увеличатся в $\frac{4}{2} = 2$ раза.

$$\Downarrow$$

$$\varphi_c = 2\varphi_0$$

Шифр: Т10-62



Состыкуем 4 маленьк. треуг. и получим большой.

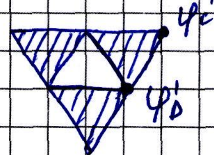
$$\varphi_2=\varphi_c=2\varphi_0=\varphi_0+\varphi_0'+2\varphi_0''$$

$$\frac{\varphi_2}{2}=\frac{2\varphi_1-\varphi_2}{2}+2\varphi_0''$$

$$\varphi_0''=\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}$$

$$\varphi_D=3\varphi_0+\varphi_0'=\frac{3\varphi_2}{2}+\frac{2\varphi_1-\varphi_2}{2}=\varphi_1+\varphi_2$$

Удалим 1 треугольник.

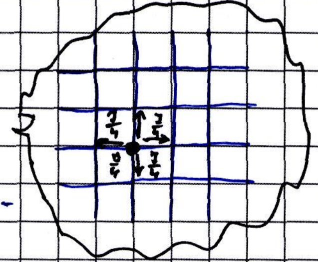


$$\varphi_D'=\varphi_D-\varphi_0=\frac{2\varphi_1+\varphi_2}{2}$$

$$\varphi_c'=\varphi_c-\varphi_0'=\frac{2\varphi_2-(2\varphi_1-\varphi_2)}{2}=\frac{3\varphi_2-2\varphi_1}{2}$$

Ответ: $\varphi_c=\varphi_2$, $\varphi_D=\varphi_1+\varphi_2$, $\varphi_c'=\frac{3\varphi_2-2\varphi_1}{2}$, $\varphi_D'=\frac{2\varphi_1+\varphi_2}{2}$.

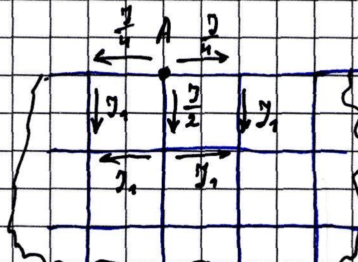
5. Опред.: I_1. Дано: I.



Бесконечная сетка симметрична

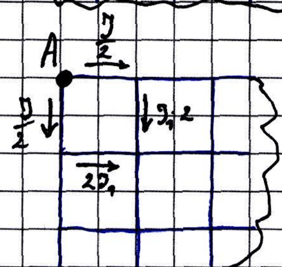
⇓

у симметричных точек одинаковые потенциалы ⇒ сетку можно сложить, не изменив потенциалы точек



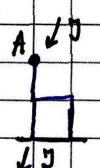
Сопротивление звена R.

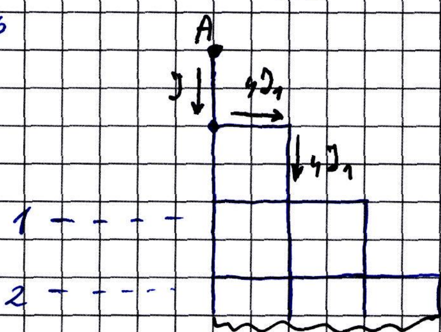
1) Обрежем схему на уровне 1 и измерим I_1.



Будем считать, что схема обнесена квадратным сверхпроводником.

Будем использовать законы Кирхгофа.

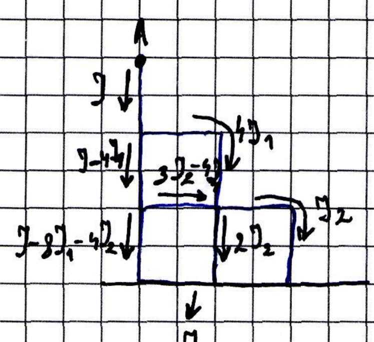




$$4I_1 \cdot 2R = (I - 4I_1)R$$

$$I_1 = \frac{I}{12}$$

2) Обрежем на уровне 2.



$$\begin{cases} (I - 8I_1 - 4I_2)R = 2I_2R + (3I_2 - 4I_1)R \\ 8I_1R = (I - 4I_1)R + (3I_2 - 4I_1)R \end{cases}$$

$$\begin{cases} 16I_1 = I + 3I_2 \\ I = 4I_1 + 9I_2 \end{cases}$$

$$I - 48I_1 = 4I_1 - 3I$$

$$4I = 52I_1, \quad I_1 = \frac{I}{13}$$

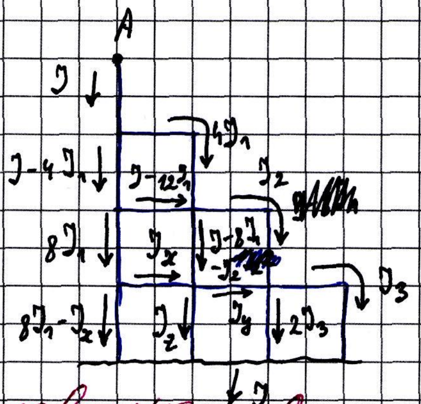
Шифр: Т10-62

3) По уровню 3.

$I_x = 8I_1 - 2I + 20I_1 + I_2 =$

$28I_1 + I_2 - 2I$

$I_y = I - 8I_1 - I_2 - 2I_2 = I - 8I_1 - 3I_2$



$8I_1 - I_x = I_x + I_z$

$I_x + I - 8I_1 - I_2 = I_z + I_y$

$2I_x + I - 16I_1 - I_2 = I_y - I_x$

$84I_1 + 3I_2 - 6I + I - 16I_1 - I_2 = I - 8I_1 - 3I_2$

$68I_1 + 2I_2 - 5I = I - 8I_1 - 3I_2$

$76I_1 + 5I_2 = 6I$

$532I_1 + 35I_2 = 42I$

$-520I_1 + 35I_2 = -35I$

$1052I_1 = 77I$

$I_1 = \frac{77}{1052} I$

Неправильно свернул схему (не все сопротивления должны быть равны)

$3I_3 = I_2 + I_y$

$I_z = I_y + 2I_3$

$3I_z = 5I_y + 2I_2$

$I_z = 8I_1 - 2I_x$

$24I_1 - 6I_x = 5I_y + 2I_2$

$24I_1 - 168I_1 - 6I_2 + 12I = 5I - 40I_1 - 13I_2$

$-104I_1 + 7I_2 + 7I = 0$

$\frac{1}{12} = 0{,}083$

← между ними 7,68% (от большего)

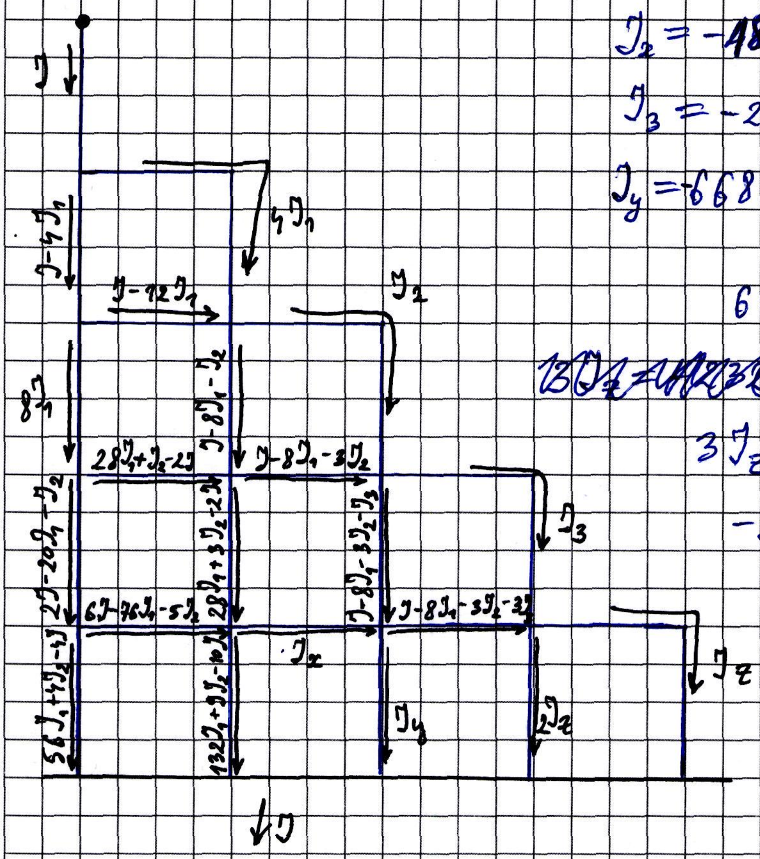
$\frac{1}{13} = 0{,}0769$

← между ними 4,81% (от большего)

$\frac{77}{1052} = 0{,}0732$

самый точный

Шифр: T/O – 62



$I_2 = -480 I_1 - 11 I_2 + 14 I = 44 I_1 + 7 I_2 + I_3 - 4 I$

$I_3 = -224 I_1 - 18 I_2 + 18 I$

$I_y = -668 I_1 - 47 I_2 + 50 I = 312 I_1 + 20 I_2 - 24 I$

$67 I_2 = 74 I - 980 I_1$

$3 I_z = I - 8 I_1 - 3 I_2 + 448 I_1 + 36 I_2 - 36 I =$

$-35 I + 440 I_1 + 33 I_2$

$2 I_z = 312 I_1 + 20 I_2 - 24 I - I + 8 I_1$

$+ 3 I_2 + 3 I_3$

осталось сократить I_z, I_3 и I_2