Всероссийская олимпиада школьников по физике

заключительный этап

Т10 – 18

заполнять печатными буквами!!!

Баликов
Фамилия

Аркадий
Имя

Сергеевич
Отчество

8-987-699-40-95
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 Т10-18 **V 3.0**

Задача №1 **Проверяющий** Андреев Т.А.

№	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 $\omega = \sqrt{\frac{F\cos(\alpha)}{Lm_1}}$.	1		
4	Записаны верные исходные уравнения, позволяющие найти β	2	2	
5	Значение $\beta = \frac{F\sin(\alpha)}{Lm_1}$.	1	1	
6	Записано верное уравнение для поиска τ ($\omega = \beta\tau$)	1	1	
7	Значение $\tau = \sqrt{\frac{Lm_1\cos(\alpha)}{F\sin^2(\alpha)}}$	1		
8	Записано верное уравнение для поиска φ ($\varphi = \beta t^2/2$)	1	1	
9	Значение $\varphi = \frac{ctg(\alpha)}{2}$	1		
	ИТОГО	10	5	

Задача №2 **Проверяющий** Ворожнин

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Условие на координаты частиц из постоянства расстояний между ними $x^2 + y^2 = R^2$	1	0	
2	Связь скоростей частиц через закон сохранения энергии $v_x^2 + v_y^2 = const$	1	0	
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	1	
4	Доказательство возможности движения, описанного в условии	3	0	
5	Метод, позволяющий получить решение.	2	1	
6	Правильный ответ $kq^2/(2R)$	1	1	
	ИТОГО	10	3	

30

ШИФР T 10-16 **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~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	1	
5	Найден КПД 1/9	0,5		
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	1	
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	

$\Sigma = 8$

Задача №4 **Проверяющий** Воронцов А.Г

№	Критерий	Макс.	Пров.	Апел.
1	Потенциал вершины равностороннего треугольника со стороной а равен $\frac{\varphi_2}{2}$	1	1	
2	Указано, что при масштабировании пластины потенциал изменяется кратно.	2	0	
3	Предыдущее утверждение доказано	1	0	
4	$\varphi_C = \varphi_2$	1	0	
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	0	

Σ 4

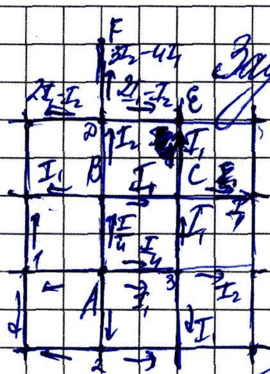
Задача №5 **Проверяющий** Вилл

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

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

10

Шифр: J10-18



Задача 5

Сила тока из т. A в точки B, 1, 2, 3 будет составлять $\frac{I}{4}$ (в силу симметрии)

~~Тогда по правилу Кирхгофа~~

~~Т.е. втекает ток $2I$, вытекает равно~~

Расставим на рисунке токи, пользуясь правилами Кирхгофа и симметрией.

В точке B ток делится на 3 части, 2 из которых одинаковы и равны I_1

$$\frac{I}{4} = 2I_1 + I_2$$

По звену DE течет ~~ток~~ $2I_1 - I_2$ (из правил Кирхгофа)

~~$I_{DE} \geq 0$, $2I_1 \geq I_2$~~ $I_{DE} \geq 0$ $2I_1 \geq I_2$

~~$I_1 \geq \frac{I_2}{2}$~~ $I_1 \geq \frac{I_2}{2}$

~~$I_{1\,макс} = \frac{I}{8} = 0,125\ I$~~ $I_{1\,макс} = \frac{I}{8} = 0,0125 I$

$$I_{1\,мин} = \frac{I}{16} = 0,0625\ I$$

То есть ток I_1 находится где-то между этими значениями.

В звене DF ток равен $3I_2 - 4I_1 \geq 0$

$$3I_2 \geq 4I_1$$

$$I_1 \leq \frac{3}{4} I_2$$

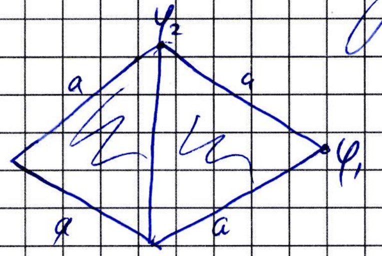
Тогда новый $I_{1\,макс} = \frac{3}{40} I = 0,075\ I$. Тогда

$I_1 = I_{BC} =$ ~~0,07~~ $0,062 \pm 0,0069I$ ($I_{1\,мин}$ и $I_{1\,макс}$ попадают в диапазон)

Ответ: $I_{BC} = 0,069I$.

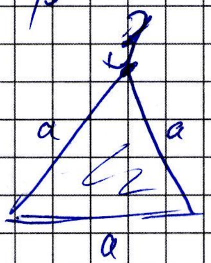
Шифр: T10 – 18

Задача 4

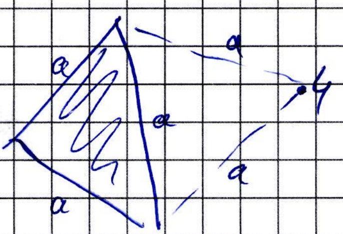


Введем следующие обозначения (все треугольники равносторонние)

φ_3 – потенциал точки 3 в этом случае:



φ_4 – потенциал точки 4 в этом случае:



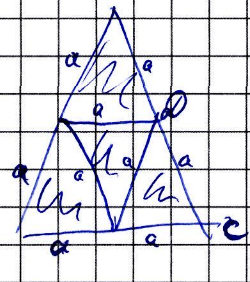
По принципу суперпозиции

$\varphi_2 = 2\varphi_3$ ✓ $\qquad \varphi_3 = \frac{\varphi_2}{2}$

$\varphi_1 = \varphi_3 + \varphi_4 = \frac{\varphi_2}{2} + \varphi_4$ ✓

$\varphi_4 = \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{2}$

Так как $\varphi \sim \frac{q}{\ell}$, а треугольник ABC имеет тоже 6 и сторону 2a, то ✓

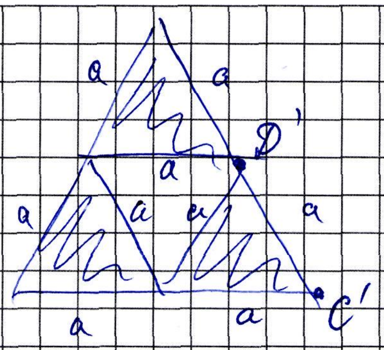


$\varphi_C = \frac{\varphi_3}{1} = \frac{\varphi_2}{2}$

$\varphi_D = 2\varphi_3 + \varphi_1 = \varphi_2 + \varphi_1$ ✓

лист 2 из 9

Шифр: T10-18



$\varphi_{D'} = \varphi_D - \varphi_3 = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$

$\varphi_{C'} = \varphi_C - \varphi_4 = \frac{\varphi_2}{2} - \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2} =$

$= \varphi_2 - \varphi_1$.

Ответ:

$\varphi_C = \frac{\varphi_2}{[illegible]}$

$\varphi_D = \varphi_2 + \varphi_1$

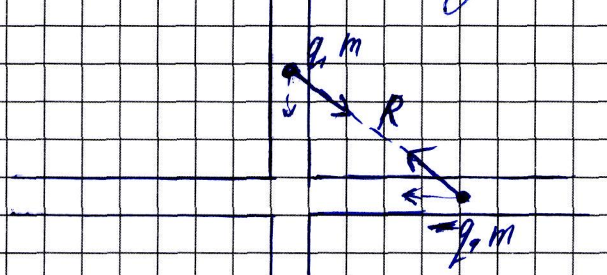
$\varphi_{D'} = \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{2}$

$\varphi_{C'} = \varphi_2 - \varphi_1$.

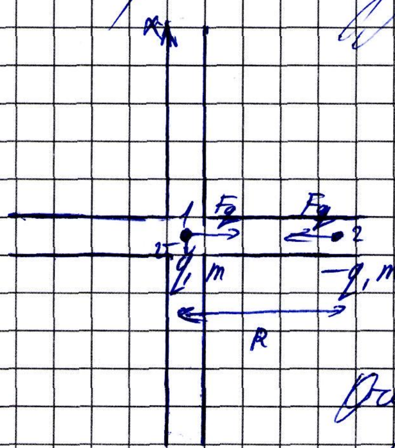
лист 3 из 9

Шифр: Т10-18

Задача 2



Рассмотрим следующий случай:



$$ma = k\frac{q^2}{R^2}$$

Очевидно, что если тело 1 уйдет в канал ~~к~~ телу 2, то они столкнутся. Значит тело ~~1 не~~ имеет ненулевую скорость, а тело 2 тогда должно иметь нулевую, так как далее произойдет та же ситуация опять, но тела "поменяются местами", т.е. тело 2 будет в узоре, а тело 1 — в канале. Получается, что мы имеем дело с колебательной системой.

Тогда $E_{кин} = m\frac{v_1^2+v_2^2}{2} = const$

~~Направим ось X как показано на рисунке.~~

~~Рассмотрим систему в произвольный момент времени~~

Значит эти колебания являются гармоническими

$X = R\cos(\omega t)$, $\dot{X} = -\omega R\sin(\omega t)$, $\ddot{X} = -\omega^2 R\cos(\omega t)$

Шифр: T10-18

~~Задача 2~~

?

$\ddot{x} = a$

$a = -k\frac{q^2}{R^2 m}$

$x = R$ } — это всё происходит в одной точке ?

$\frac{\ddot{x}}{x} = \omega^2$

$\frac{a_{макс}}{x_{макс}} = \frac{kq^2}{R^3 m} = \omega^2$

$\omega^2 = \frac{kq^2}{mR^3}$

$\omega = \sqrt{\frac{kq^2}{mR^3}} = \sqrt{\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 m R^3}}$.

$\cancel{v_{макс} = \frac{a_{макс}}{\omega} = \frac{q}{\sqrt{mR^3 \cdot 4\pi\varepsilon_0}}}$

$\cancel{E_{кин} = \frac{m v^2_{макс}}{2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 m R^3}}$

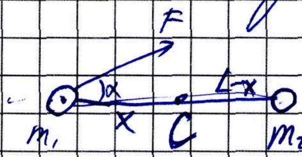
$v_{макс} = \frac{a_{макс}}{\omega} = \frac{q^2\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mR^3}}{q\left(\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mR^2}\right)^2} = \frac{q}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mR}}$

$E_{кин} = \frac{m v^2_{макс}}{2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$.

Ответ: $E_{кин} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}$.

Шифр: T10 - 18

Задача 1



C – центр масс гантели

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

~~Найдём~~ $\cancel{w}$

Относительно т. C

$$Fx\sin\alpha = I_c\varepsilon$$

$$Fx\sin\alpha = (m_1x^2 + m_2(L-x)^2)\varepsilon$$

$$\cancel{\frac{FL m_2\sin\alpha}{m_1+m_2} = \varepsilon L^2\frac{m_1 m_2}{(m_1+m_2)}}$$

$$\frac{FL\, m_2\sin\alpha}{m_1+m_2} = \varepsilon L^2\frac{m_1m_2^2 + m_2m_1^2}{(m_1+m_2)^2} = \varepsilon L^2\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}$$

$$F\sin\alpha = \varepsilon L m_1$$

$$\frac{dw}{dt} \quad \varepsilon = \frac{F\sin\alpha}{m_1L} \quad +$$

$$F\cos\alpha = \frac{m_1w^2x^2}{x}$$

$$\cancel{w = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m_1x}} = \sqrt{\frac{F\cos\alpha(m_1+m_2)}{m_1m_2L}}}$$

$$\cancel{\tau = \frac{w}{\varepsilon} =}$$

$$\cancel{= \sqrt{\frac{F\cos\alpha(m_1+m_2)}{m_1m_2L}}\frac{m_1L}{F\sin\alpha} = \sqrt{\frac{m_1^2L^2F\cos\alpha(m_1+m_2)}{m_1m_2LF^2\sin^2\alpha}} =}$$

$$\cancel{= \sqrt{\frac{m_1L\cos\alpha(m_1+m_2)}{m_2F\sin^2\alpha}}}$$

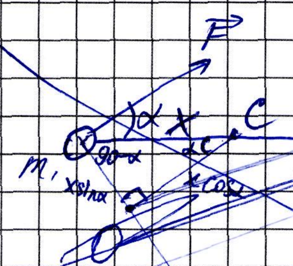
$$\frac{m_1w^2x^2}{x} + \left(\frac{m_2w^2(L-x)^2}{L-x}\right) = F\cos\alpha$$

$$w^2(m_1x + m_2(L-x)) = F\cos\alpha$$

лист 6 ~~ц~~ 9

Шифр: T10-18

~~Задача 1~~



~~Точка O — точка вращения системы~~

~~X — расстояние от тела m_1 до центра масс системы C.~~

$$\cancel{X = L\frac{m_2}{m_1+m_2}}$$

$$w^2 = \frac{F\cos\alpha\,(m_1+m_2)}{2Lm_1m_2}$$

$$w = \sqrt{\frac{F\cos\alpha\,(m_1+m_2)}{2Lm_1m_2}}$$

+ $$\tau = \frac{w}{\varepsilon} = \sqrt{\frac{F\cos\alpha\,(m_1+m_2)}{2Lm_1m_2}}\cdot\frac{m_1L}{F\sin\alpha} =$$

$$= \sqrt{\frac{F\cos\alpha\,L^2m_1^2(m_1+m_2)}{2Lm_1m_2F^2\sin^2\alpha}} = \sqrt{\frac{L(m_1+m_2)\cos\alpha\cdot m_1}{2m_2F\sin^2\alpha}}$$

+ $$\varphi = \frac{\varepsilon\tau^2}{2} = \frac{w^2}{2\varepsilon} = \frac{F\cos\alpha\,(m_1+m_2)\,m_1L}{2Lm_1m_2\,F\sin\alpha} = \frac{m_1+m_2}{2m_2}\,ctg\alpha.$$

Ответ:

$$w = \sqrt{\frac{F\cos\alpha\,(m_1+m_2)}{2Lm_1m_2}}$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{F\sin\alpha}{m_1L}$$

$$\tau = \sqrt{\frac{Lm_1(m_1+m_2)\cos\alpha}{2m_2F\sin^2\alpha}}$$

$$\varphi = \frac{m_1+m_2}{2m_2}\,ctg\alpha$$

Шифр: T10-18

Задача 3

$$C = C_V + \frac{pdV}{\nu R dT} = C_V + \frac{pdV}{pdV + Vdp} = \frac{1}{1+\frac{V}{p}\frac{dp}{dV}}$$

$C_p = C_V + R = \frac{5}{2}R$

$C_V = \frac{i}{2}R = \frac{3}{2}R$, т. к. газ одноатомный

Значит, так как на графике $C = \frac{3}{2}R$ представлено лишь точкой, а процесс круговой, то на оси x отложены либо объём, либо плотность.

Тогда $C = 2$

$$\frac{1}{1+\frac{V}{p}\frac{dp}{dV}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{V}{p}\frac{dp}{dV} = 1$$

$$\frac{V}{dV} = \frac{p}{dp}$$

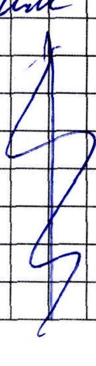
$$\frac{dp}{p} = \frac{dV}{V}$$

$$\ln\frac{p}{p_0} = \ln\frac{V}{V_0}$$

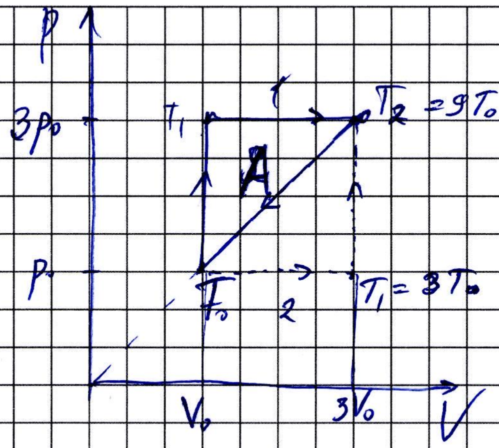
$$\frac{p}{p_0} = \frac{V}{V_0}$$

$$p = V\frac{p_0}{V_0}$$

Начертим PV диаграмму



Шифр: T10-18



Возможны 2 варианта

$p_0 V_0 = \nu R T_0$

$3 p_0 V_0 = \nu R T_1 = 3 \nu R T_0$

$9 p_0 V_0 = \nu R T_2 = 9 \nu R T_0$

$A = 2 p_0 V_0$

$\eta = \frac{A}{Q}$

$Q_1 = \frac{3}{2} \nu R \cdot 2T_0 + \frac{5}{2} \nu R \cdot 6 T_0 = 18 \nu R T_0 = 18 p_0 V_0$

$Q_2 = \frac{3}{2} \nu R \cdot 6T_0 + \frac{5}{2} \nu R \cdot 2T_0 = 14 \nu R T_0 = 14 p_0 V_0$

$\eta_{макс}$ будет при $Q_{мин}$

$\eta_{макс} = \frac{A}{Q_2} = \frac{2}{14} = \frac{1}{7} = 0{,}14$

Ответ: 0,14

?

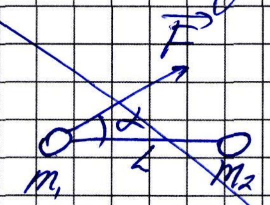
6

лист 9 из 9

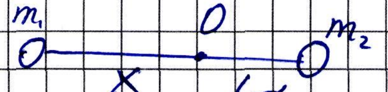
Черновик!

Шифр: T10-18

Задача 1.



Рассмотрим момент времени t.



Точка O - центр масс системы, относительно него система и будет вращаться

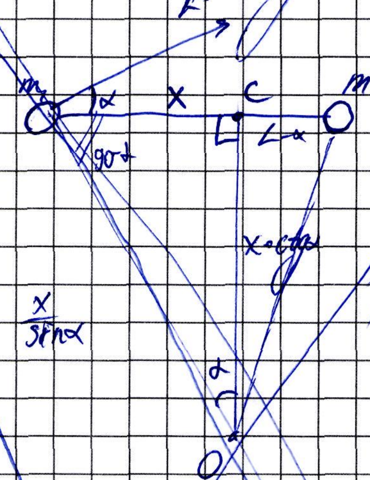
Тогда $m_1 x = m_2 (L-x)$

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

черновик

Шифр: Т10-18

Задача 1



Точка C — центр масс гантели

Точка O — центр вращения

$$m_1 x = m_2 (L-x)$$

$$x = L\frac{m_2}{m_1+m_2} \qquad L-x = L\frac{m_1}{m_1+m_2}$$

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

$$I_O = I_C + (m_1+m_2)x^2 ctg^2\alpha =$$

$$= I_C + L^2\frac{m_2^2}{m_1+m_2}ctg^2\alpha = L^2\frac{m_2(m_1+m_2 ctg^2\alpha)}{m_1+m_2}$$

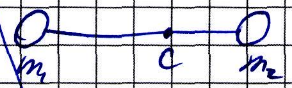
$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon = \frac{Fx}{I_O\sin\alpha} = \frac{F\cdot L\cdot m_2}{L^2 m_2(m_1+m_2 ctg^2\alpha)} = \frac{F}{L(m_1+m_2 ctg^2\alpha)}$$

черновик

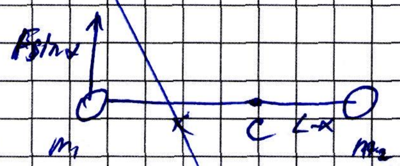
Шифр: T10-18

Задача 1

Выполним пересадку в СО центра масс гантели



В этой системе отсчёта:



При этом заметим, что на самом деле гантеля вращается вокруг другой точки, но в нашей системе отсчёта — вокруг точки C. При этом $\omega = \omega_C$ и $\varepsilon = \varepsilon_C$, так как полный оборот очевидно что будет совершен за одно и то же время.

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

$$L - x = L\frac{m_1}{m_1+m_2}$$

$$I = L^2\frac{m_1 m_2^2 + m_2 m_1^2}{(m_1+m_2)^2}$$

$$F\sin\alpha\, x = I\varepsilon$$

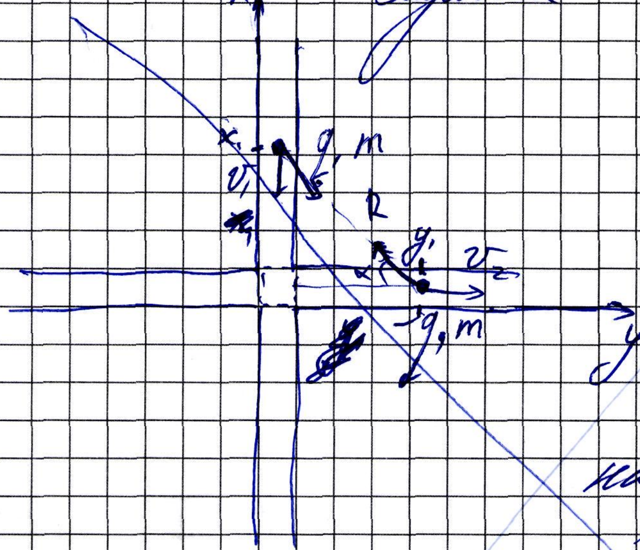
$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon = \frac{F\sin\alpha\, L\, m_2 (m_1+m_2)^2}{(m_1+m_2) L^2 (m_1 m_2^2 + m_2 m_1^2)} = \frac{F\sin\alpha\, m_2 (m_1+m_2)}{L(m_1 m_2 + m_1^2)} = \frac{F\sin\alpha}{L}\frac{m_2}{m_1}$$

Черновик!

Черновик!

Шифр: Т10-18

Задача 2



Из условия ясно, что ширина канала $d \ll R$.

Введём систему координат показанную на рисунке.

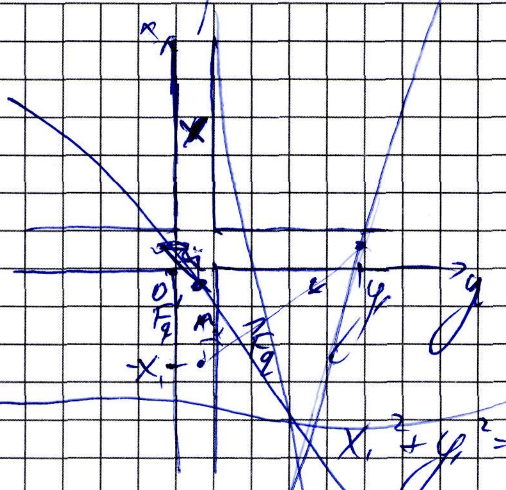
Сила ~~электростатиче~~ ~~электрического~~ взаимодействия зарядов $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{R^2}$

Пусть в некоторый момент времени координаты частиц равны x_1 и y_1 соответственно. Найдём ускорение, которое они получат.

Черновик!

Черновик!

Шифр: T10-18



$$x_1^2 + y_1^2 = R^2$$

$$F_q = k\frac{q^2}{R^2}$$

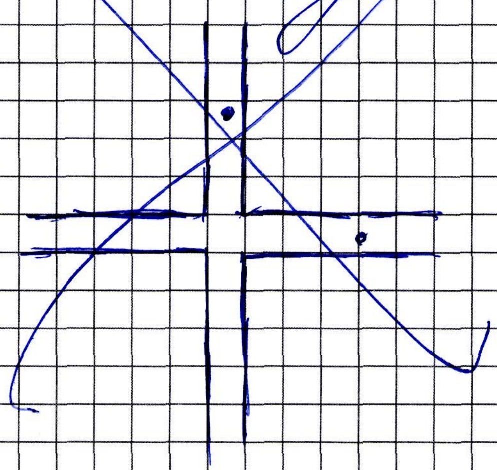
$$F_q' = F_q \frac{R}{x_1}$$

$$a_x = k\frac{q^2}{R^2 m}\cdot\frac{R}{x_1}$$

$$dv = a_x\,dt = k\frac{q^2}{R^2 m}\cdot\frac{R}{x_1}\,dt$$

Шифр: Т10-18

Задача 2

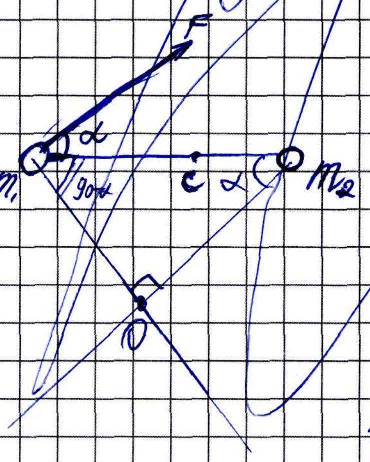


Черновик!

Шифр: Т10-18

~~черновик!~~

~~Задача 1~~



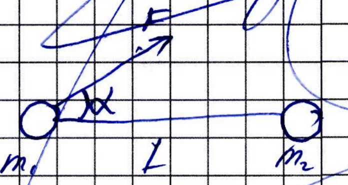
~~Вращение системы будет в любой момент времени происходить вокруг т. O~~

черновик!

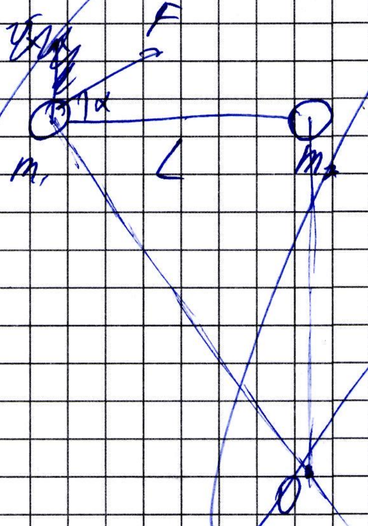
черновик!

Шифр: T10-18

Задача 1



Рассмотрим ситуацию, когда стержень не напряжён. т. O - центр вращения стержня в этот момент



черновик

Черновик!

Шифр: Т10-18

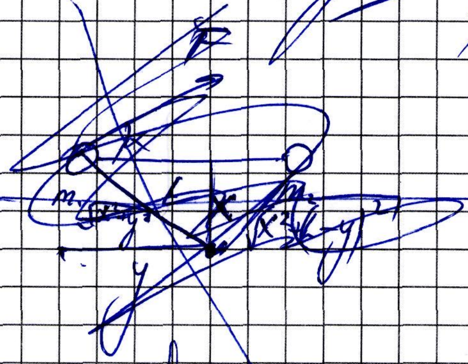
~~Задача 5~~

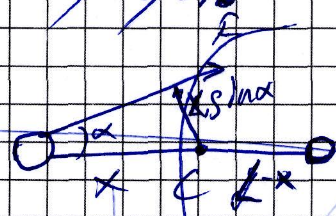
Черновик!

Шифр: Т10-18

~~Задача 1~~ Это черновик

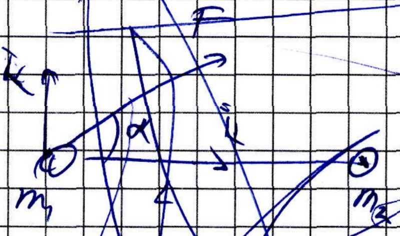
просьба не проверять





$F \cdot x \sin\alpha = (m_1 x^2 + m_2(L-x)^2)\cdot \varepsilon$

$$\boxed{\varepsilon = \frac{F x \sin\alpha}{m_1 x^2 + m_2(L-x)^2}}$$

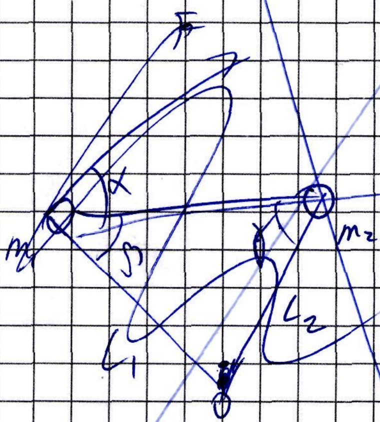


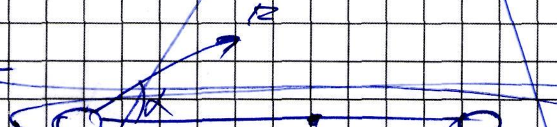
$\cancel{F\tau = I \cdot w}$

$I = m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2$

$F \cdot dt = I \cdot dw$

$\frac{dw}{dt} = \frac{F}{m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2}$





$F\cos\alpha = \frac{m w^2 x^2}{x}$ $\quad v = w x$

$$\boxed{w = \sqrt{\frac{F\cos\alpha}{m x}}}$$

$$\boxed{\tau = \frac{w}{\varepsilon} = \frac{\sqrt{F\cos\alpha}\,(m_1 x^2 + m_2(L-x)^2)}{\sqrt{m x^3}\,F\sin\alpha}}$$