МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Покори ВоробьевыГоры!»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Рогов Константин Сергеевич**

Класс: 11

Технический балл: **94**

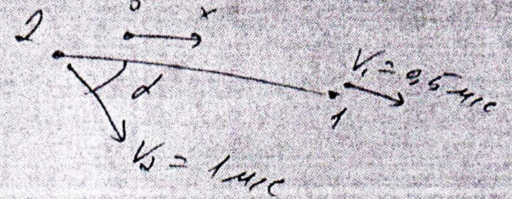
1	2	3	4	Σ	итог
5	5	5	4	19	94
16	20	19	20	75	

Дата проведения: **26 марта 2021 года**

Чистовик

Задание 1

Вопрос:



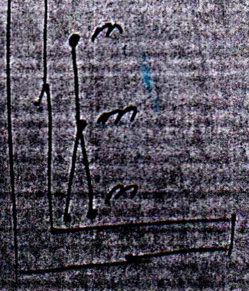
~~По закону~~

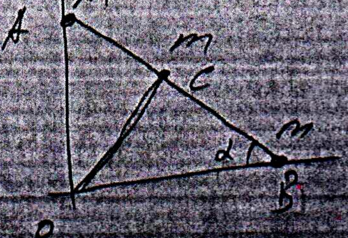
Как известно, проекции скоростей любых двух точек жесткого стержня на ось параллельную стержню должны быть равны. И правда, если бы это было не так, то за следующие $\Delta t \to 0$ сек. эти две точки сместились вдоль стержня на разное расстояние, что вызвало бы деформацию стержня, что противоречит ~~усло~~ тому, что стержень жёсткий. Имеем:

$V_x = V_{2x}$; $V_1 = V_2 \cos\alpha \to \cos\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{0{,}5}{1} = \frac{1}{2} \Rightarrow$

$\alpha = 60^\circ$

Задача





1

Чистовик

×

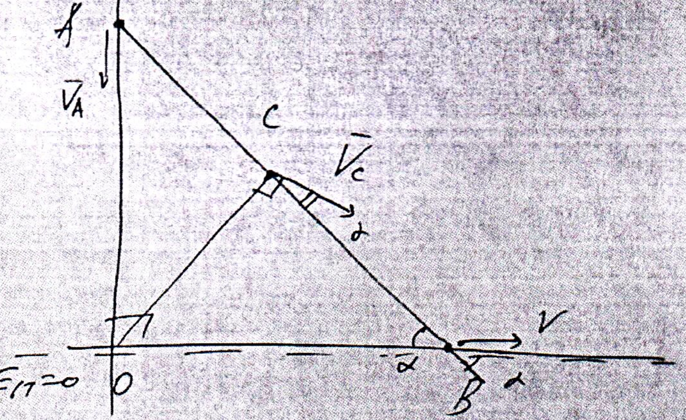
Задание 1

Задача

1) Т.к. по усл. $OC = \frac{1}{2}AB$ и $AC = CB \to AC = CB = \frac{1}{2}AB \Rightarrow$

$OC = AC = CB \to \angle AOB = 90°$

2) Пусть масса всех шариков m, скорость нижнего шарика V, верхнего - $\bar{V}_A$, среднего - $\bar{V}_C$.



По закону „палочки" (то что обсуждалось в вопросе): $V\cos\alpha = V_C\cos\gamma = V_A\cos(90° - \alpha) \to$

$$\begin{cases} V_A \sin\alpha = V\cos\alpha \\ V_C\cos\gamma = V\cos\alpha \end{cases}$$

$\gamma = 90° - \angle OCB = 90° - (180 - \angle COB - \angle CBO) = 2\angle CBO - 90° = 2\alpha - 90 \to$

$$\begin{cases} V_A = V\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = V\operatorname{ctg}\alpha \\ V_C = \frac{V\cos\alpha}{\cos\gamma} = \frac{V\cos\alpha}{\cos(2\alpha - 90)} = \frac{V\cos\alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{V}{2\sin\alpha} \end{cases}$$

3) ЗСЭ для системы „стержни + все шарики" для процесса от начала падения до рассматриваемого момента

$mg \cdot 0 + mg\frac{L}{2} + mgL = mg0 + mgh_C + mgh_A + \frac{mV^2}{2} + \frac{mV_A^2}{2} + \frac{mV_C^2}{2}$,

$h_C = \frac{L}{2}\sin\alpha$; $h_A = L\sin\alpha$; $\to$

Чистовик Задание 1. Задача

$$mgL\left(\frac{1}{2}+1\right) = \cancel{mg\frac{L}{}}\left(\frac{1}{}\right. mgL\sin\alpha\left(\frac{1}{2}+1\right)+\frac{m}{2}\left(V^2+V^2\mathrm{ctg}^2\alpha+\right.$$
$$\left.+\frac{V^2}{2^2\sin^2\alpha}\right)\Big]$$

$$mgL\frac{3}{2}(1-\sin\alpha) = \frac{mV^2}{2}\left(1+\mathrm{ctg}^2\alpha+\frac{1}{4\sin^2\alpha}\right) \Big| \cdot \frac{2}{m}$$

$$3gL(1-\sin\alpha) = V^2\left(\frac{1}{\sin^2\alpha}+\frac{1}{4\sin^2\alpha}\right) = \frac{5}{4\sin^2\alpha}V^2$$

$$V(\alpha) = V = \sqrt{\frac{3gL(1-\sin\alpha)4\sin^2\alpha}{5}}$$

$$V(\alpha=60^\circ) = \sqrt{\frac{3gL(1-\sin 60^\circ)4\sin^2 60^\circ}{5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{3gL\,\frac{2-\sqrt{3}}{2}\cdot 4\,\frac{3}{4}}{5}} = \sqrt{\frac{3gL\,(2-\sqrt{3})\cdot 3}{10}} =$$

$$= \sqrt{\frac{9(2-\sqrt{3})gL}{10}} = 3\sqrt{\frac{(2-\sqrt{3})gL}{10}} = 3\sqrt{\frac{(2-1{,}73)\cdot 10\,\text{м/с}^2\cdot 0{,}8\,\text{м}}{10}}$$

$$= 3\sqrt{(2-1{,}73)\cdot 0{,}8}\;\text{м/с} = 3\sqrt{0{,}27\cdot 0{,}8} =$$

$$= 3\sqrt{27\cdot 8\cdot 10^{-3}} = 3\cdot 2\cdot 3\sqrt{2\cdot 3\cdot 10^{-3}} =$$

$$= 18\cdot 10^{-1}\sqrt{0{,}6} = 1{,}8\sqrt{0{,}6} = 1{,}8\cdot 0{,}25 =$$

$$= 1{,}8\cdot \frac{1}{4}\,\text{м/с} = 0{,}45\,\text{м/с}$$

$1{,}71^2 =$

$= (1{,}7+0{,}01)^2 = 2{,}89+10^{-4}+3{,}4\cdot 0{,}01 =$

$= 2{,}9241$

$1{,}72^2 = 2{,}89+10^{-4}\cdot 4+3{,}4\cdot 0{,}02 =$

$= 2{,}9584$

$1{,}73^2 = 2{,}89+10^{-4}\cdot 9+3{,}4\cdot 0{,}03 =$

$= 2{,}9929$

$0{,}25^2 = 0{,}625$

$0{,}24^2 = 0{,}576$

Чистовик   Задание 1. Задача

4) Т.к. нижний шарик движется по прямой, вдоль направляющих, то центростремительного ускорения у него нет. → $a = a_\tau = \frac{dV}{dt}$

За dt-то верхний шарик опустится на

$dh_A = V_A dt = V\,ctg\alpha\,dt$, а нижний сдвинется на

$dl = V dt$ вправо, а угол станет равен $\alpha + \Delta\alpha$ ($\Delta\alpha < 0$)

$$\cancel{tg(\alpha+\Delta\alpha) = \frac{h_A - dh_A}{l + dl} = \frac{L\sin\alpha - V ctg\alpha\,dt}{L\cos\alpha + V dt}}$$

$$\cancel{tg'_t\alpha = \frac{tg(\alpha+\Delta\alpha) - tg\alpha}{dt} = \frac{1}{\cos^2\alpha}\frac{d\alpha}{dt}};$$

$$\cancel{tg(\alpha+\Delta\alpha) - tg\alpha} = \frac{L\sin\alpha - V ctg\alpha\,dt}{L\cos\alpha + V dt};$$

$$a_\tau = \frac{dV}{dt} = V'_t = \left(\sqrt{\frac{3gL(1-\sin\alpha)4\sin^2\alpha}{5}}\right)'_t =$$

$$= \sqrt{\frac{12gL}{5}}\left(\sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha}\right)'_t = \sqrt{\frac{12gL}{5}}\,\frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{2\sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha}}\cdot\frac{d\alpha}{dt}$$

$\sin\alpha = \frac{h_A}{L} = \sin\alpha;\quad \sin(\alpha+\Delta\alpha) = \frac{h_A - V ctg\alpha\,dt}{L}$

$\sin(\alpha+\Delta\alpha) = \sin\alpha\cos\Delta\alpha + \cos\alpha\sin\Delta\alpha \approx \sin\alpha + \cos\alpha\,\Delta\alpha \rightarrow$

$$\Delta\alpha = \frac{\sin(\alpha+\Delta\alpha) - \sin\alpha}{\cos\alpha} = \frac{\frac{h_A - V ctg\alpha\,dt}{L} - \frac{h_A}{L}}{\cos\alpha} = \frac{-V ctg\alpha\,dt}{L\cos\alpha} \rightarrow$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\Delta\alpha}{dt} = \frac{-V ctg\alpha}{L\cos\alpha} \rightarrow$$

Чистовик Задание 1. Задача 4

$$a_\tau = \sqrt{\frac{12gL}{5}} \cdot \frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{2\sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha}} \cdot \frac{-V\cos\alpha}{L\cos\alpha} =$$

$$= \sqrt{\frac{12gL}{5}} \; \frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{2\sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha}} \; \frac{-1}{L\sin\alpha} \cdot \sqrt{\frac{3gL(1-\sin\alpha)4\sin^2\alpha}{5}} =$$

$$= \frac{12gL}{5} \cdot \frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{2\sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha}} \; \frac{-1}{L\sin\alpha} \cdot \sqrt{\sin^2\alpha - \sin^3\alpha} =$$

$$= \frac{12g}{5} \; \frac{-1}{\sin\alpha} \; \frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{2} = \frac{-6g}{5} \; \frac{2\sin\alpha - 3\sin^2\alpha}{\sin\alpha} =$$

$$= \frac{-6g}{5}(2 - 3\sin\alpha) =; \quad a_\tau(\alpha = 60°) = \frac{-6g}{5}(2 - 3\sin 60°) =$$

$$= \frac{-6g}{5}\left(2 - 3\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = -\frac{3g}{5}(4 - 3\sqrt{3}) = \frac{3g}{5}(3\sqrt{3} - 4) =$$

$$= \frac{3g}{5}(3 \cdot 1{,}73 - 4) = \frac{3g}{5}(5{,}19 - 4) = \frac{1{,}19 \cdot 3}{5} \cdot g =$$

$$\frac{3{,}57}{5} \cdot 10\,м/с^2 = 3{,}57 \cdot 2\,м/с^2 = 7{,}14\,м/с^2$$

Ответ: $V = 0{,}45\,м/с$

$a = |a_\tau| = 7{,}14\,м/с^2$

Чистовик

~~Зада~~ Задание 7.

Вопрос. $A = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \alpha V\,dV = \alpha \frac{V^2}{2}\Big|_{V_1}^{V_2} =$

$= \frac{\alpha}{2}(V_2^2 - V_1^2) = A_0 = 1$ кДж

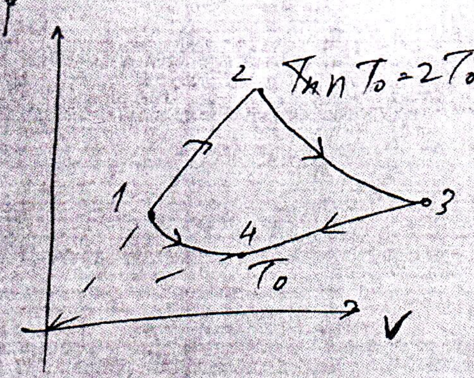
$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R \Delta T = \frac{i}{2}\Delta(pV) = \frac{i}{2}\Delta(\alpha V^2) =$

$= \frac{i}{2}\alpha\,\Delta(V^2) = \frac{3}{2}\alpha\cdot(V_2^2 - V_1^2) = 3\frac{\alpha(V_2^2-V_1^2)}{2} = 3A_0 =$

$= 3$ кДж

Задача.

1) Нарисуем график цикла на PV-диаграмме



2) Пусть в 1-2: объём увеличился в z раз, тогда давление тоже увеличилось в z раз, а температура тогда увеличилась в z^2 раз, т.к.

из Менделеева-Клапейрона $\frac{pV}{T} = \nu R = const$ (если $\nu = const$) подсл. T изменилось в n раз $\rightarrow z = \sqrt{n}$. Работа в таком процессе $A_{12} = +S_{тр} = \frac{p_1 + p_1\sqrt{n}}{2}(V_1\sqrt{n} - V_1) = \frac{p_1V_1}{2}(n-1)$, где p_1, V_1 — давление и объём в точке один. Пользуюсь полученным результатом в „Вопросе" $\Delta U_{12} = 3A_{12} = \frac{3p_1V_1}{2}(n-1) \rightarrow$ по:

Чистовик

Задание 2

Задача

По первому началу термодинамики для 12:

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{3p_1V_1}{2}(n-1) + \frac{3p_1V_1}{2}(n-1) = 2p_1V_1(n-1)$$

Аналогично рассуждая для ~~п-1~~ процесса 3-4:

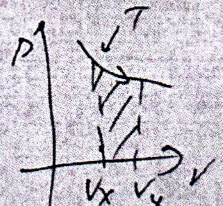
$|A_{34}| = \frac{p_2V_2}{2}(n-1)$, $|Q_{34}| = 2p_2V_2(n-1)$, где

p_2, V_2 – давление и объём в т. 4. и $A_{34}<0$, $Q_{34}<0$.

2) Работа в изотермическом процессе. Вывод: из Менделеева Клапейрона

$p = \frac{\nu RT}{V} \to A_{xy} = \int_{V_x}^{V_y} p\,dV = \int_{V_x}^{V_y} \frac{\nu RT}{V}\,dV =$

$= \nu RT \int_{V_x}^{V_y} \frac{dV}{V} = \nu RT(\ln V_y - \ln V_x) = \nu RT \ln\frac{V_y}{V_x}$



В нашем случае

$$A_{23} = \nu R n T_0 \ln\frac{V_3}{V_2} = \nu R n T_0 \ln\frac{V_2\sqrt{n}}{V_1\sqrt{n}} = \nu R T_0 \cdot n \ln\frac{V_2}{V_1}$$

По ~~менд~~ усл: $A_{23} = k|A_{34}|$; $\to \nu R T_0 n \ln\frac{V_2}{V_1} = k\frac{p_2V_2}{2}(n-1)$;

т.к. по Менделееву Клапейрону для т. 4: $p_2V_2 = \nu RT_0 \to$

$n\ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{k(n-1)}{2}$; $\ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{k(n-1)}{2n}$

Чистовик

Задание 2

4) $A_{41} = \nu R T_0 \ln \frac{V_1}{V_4} = -\nu R T_0 \ln \frac{V_2}{V_1} = -\nu R T_0 \frac{k(n-1)}{2n}$.

5) КПД $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_н} = 1 - \frac{|Q_{34}| + |Q_{41}|}{|Q_{12} + Q_{23}|}$;

где Q_x - отведённое от газа тепло в цикле, $Q_н$ - подведённое.

По первому началу термодинамики

1-2: $Q_{12} = 2p_1V_1(n-1)$; было ранее 2-3

2-3: $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = A_{23} = \nu R T_0 \cdot n \ln \frac{V_2}{V_1} = k|A_{34}| =$

$T = const \Rightarrow \Delta U = 0$

$= k \frac{p_2V_2}{2}(n-1)$

3-4: $Q_{34} = A_{34} + \Delta U_{34}$; $|Q_{34}| = 2p_2V_2(n-1)$; $Q_{34} =$

4-1: $Q_{41} = A_{41} + \Delta U_{41} = A_{41} = -\nu R T_0 \frac{k(n-1)}{2n} = -p_1V_1 \frac{k(n-1)}{2n}$ -,

$T = const$

$|Q_{41}| = p_1V_1 \frac{k(n-1)}{2n}$

$$\eta = 1 - \frac{2p_2V_2(n-1) + p_1V_1 \frac{k(n-1)}{2n}}{2p_1V_1(n-1) + k\frac{p_2V_2}{2}(n-1)}$$; учтём, что

$p_1V_1 = p_2V_2$, т.к.

4-1 - изотермический процесс

$$\eta = 1 - \frac{2(n-1) + \frac{k(n-1)}{2n}}{2(n-1) + k\frac{n-1}{2}} = 1 - \frac{2 + \frac{k}{2n}}{2 + \frac{k}{2}} = 1 - \frac{4 + \frac{k}{n}}{4 + k} =$$

$$= 1 - \frac{4 + \frac{2}{2}}{4 + 2} = 1 - \frac{5}{6} = \frac{1}{6} = \frac{100\%}{6} \approx 16{,}6\%$$;

8

Чистовик

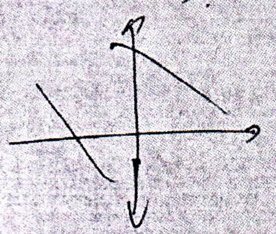
Задание 2

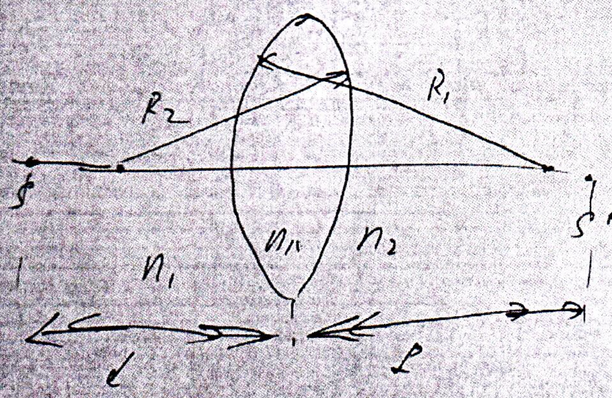
Ответ: $\eta = 1 - \frac{4 + \frac{k}{n}}{4+k} = 1 - \frac{4n+k}{(4+k)n} = \frac{1}{6}$

$\eta = \frac{1}{6} \approx 16,6\ \%$

Задание 4

Вопрос: Тонкими линзами называют линзы, у которых толщина не влияет на преломление лучей (точнее влияет, но этим можно пренебречь). Обобщённая формула тонкой линзы





$$\cancel{\frac{x}{d}} \pm \frac{n_1}{d} \pm \frac{n_2}{f} = \mp \frac{n_л - n_1}{R_1} \mp \frac{n_2 - n_л}{R_2} =$$

$$= \frac{n_1}{F_1} = \frac{n_2}{F_2}$$

$\pm$ - ставятся в определённых случаях (сейчас это не спрашивают) F_1 - фокус слева от линзы в ~~сред~~ среде с показателем преломления n_1, F_2 - справа, с n_2.

Оптическая сила $D = \pm \frac{n_л - n_1}{R_1} \pm \frac{n_2 - n_л}{R_2} =$)

$D = \frac{n_1}{F_1} = \frac{n_2}{F_2}$, для линзы в воздухе $n_1 = n_2 = 1$ -

9

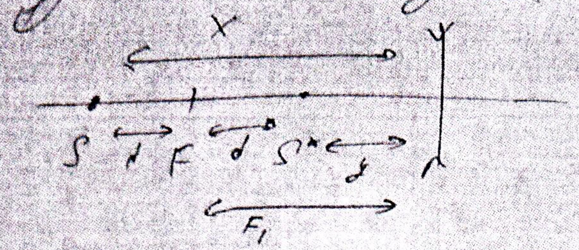
Чистовик

Задание 4

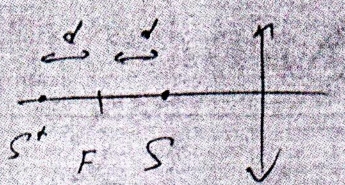
Вопрос: $F_1 = F_2 = \frac{1}{D}$

Задача

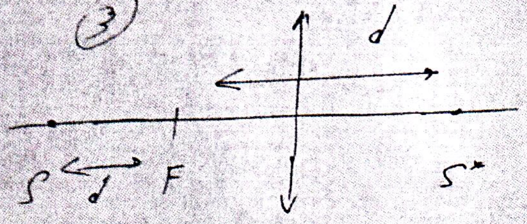
①



②



③



1) В принципе могут существовать три представленных случая, но это ещё предстоит проверить. Других случаев нет, т.к. это все возможные варианты изображений действительного ~~л~~ предмета в линзе.

2) ~~Разб~~ Пусть X – расстояние от S до линзы, y – от S* до линзы

3) Разберём все 3 случая

① из геометрии: $y = X - 2d$; Формула тонкой линзы

$\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = \frac{-1}{F_1}$ $\qquad \frac{1}{x} - \frac{1}{x-2d} = \frac{-1}{F_1}$ и из геометрии $F_1 = x - d \Rightarrow$

Чистовик

Задание 4

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x-2d} = \frac{-1}{F} = \frac{-1}{x-d};$$

$$\frac{1}{x} + \frac{-1}{x-d} = \frac{1}{x-2d} \quad \Big| \cdot x(x-d)(x-2d),$$

$$(x-d)(x-2d) + x(x-2d) = x(x-d)$$

$$x^2 - 3dx + 2d^2 + x^2 - 2dx = x^2 - dx$$

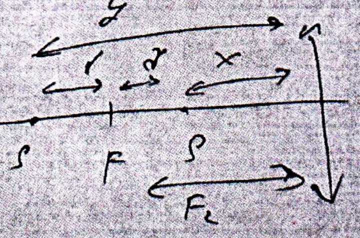
$$x^2 - 4dx + 2d^2 = 0; \quad x = 2d \pm \sqrt{(2d)^2 - 2d^2} = 2d \pm \sqrt{2d^2} =$$

$$= 2d \pm d\sqrt{2} = d(2 \pm \sqrt{2}); \quad x_1 = d(2+\sqrt{2})$$
$$x_2 = d(2-\sqrt{2})$$

x_1: $F_1 = x_1 - d = d(2+\sqrt{2}) - d = d(1+\sqrt{2})$

x_2: $F_1 = x_2 - d = d(2-\sqrt{2}) - d = d(1-\sqrt{2}) < 0 \rightarrow$ такого быть не может.

В этом случае $F_1 = d(1+\sqrt{2})$



2) случай:

из геометрии: $F_2 = x + d$

$y = x + 2d$

Формула тонкой линзы: $\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = \frac{1}{F_2}$; $\frac{1}{x} - \frac{1}{x+2d} = \frac{1}{x+d}$;

$$(x+2d)(x+d) - x(x+d) = x(x+2d);$$

11

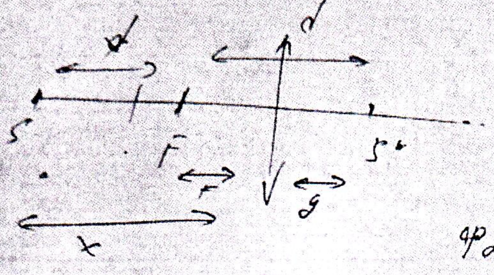
Задание 4 Чистовик

$x^2 + 3dx + 2d^2 - x^2 - dx = x^2 + 2dx;$

$x^2 = 2d^2; \quad x = +\sqrt{2}\,d;$

$F_2 = x + d = (\sqrt{2}+1)\,d$

3 случай



из геометрии

$2d = x + y \Rightarrow y = 2d - x$

$F_3 + y = d \Rightarrow F = d - y =$

$= d - (2d - x) = x - d$

Формула тонкой линзы:

$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{F_3}; \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{2d - x} = \frac{1}{x - d}$

$(x-d)(2d-x) + x(x-d) = (2d-x)x;$

$-x^2 + 3dx - 2d^2 + x^2 - dx = 2dx - x^2$

$x^2 = 2d^2; \quad x = \sqrt{2}\,d; \quad F_3 = x - d = (\sqrt{2}-1)\,d$

4) Расчёты

$F_1 = d(1+\sqrt{2}) = 15см(1+1{,}41) = 2{,}41 \cdot 15см =$

$= 30см + 6см + 0{,}15см \; 36{,}15см \approx 36см$

$F_2 = (\sqrt{2}+1)d = 36см;$

$F_3 = (\sqrt{2}-1)d = (1{,}41 - 1)\,15см = 0{,}41 \cdot 15см = 6см + 0{,}15см = 6{,}15см \approx 6см$

12

Чистовик

Задание 4.

~~Ответ~~ т.к. Изображение прямое, то (3) случай не подходит, т.к. собирающая линза даёт перевернутое изображение предмета находящегося дальше фокуса → $F = F_1 = F_2 = 36$ см

~~Ответ: 36 см = F~~ $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{36,15 \text{ см}} = \frac{1}{0,3615}$ дптр $\approx$

$\approx 2,7$ дптр

10000 | 3615
7230 | 2,7
27700
25305
2395

Ответ: $D = 2,7$ дптр.

P.S. про ± в формуле тонкой линзы $\pm\frac{1}{x} \pm \frac{1}{y} = \pm\frac{1}{F}$

± ~~то~~ перед x „+" - если предмет действительный, у нас всегда так было в данной задаче; „-" - если мнимый,

$\pm\frac{1}{y}$, + - если действительное ~~предмет~~ изображение

действительное изображение создаётся только собирающей линзой если $d>F$ (и если предмет действительный); если изображение мнимое оставшиеся...

~~Достаточно от~~ мнимое изображение может быть получено в рассеивающей линзе при $d>0$, и в собирающей при $d \in (0; F)$

(13)

Чистовик

Задание 4

$\pm F$; + ставится ~~к~~ если линза собирающая, "–" если рассеивающая

Задание 3.

Вопрос. Т.к. цилиндр металлический, то он ~~пров~~ хорошо проводит ток, он - проводник →

Вследствие электростатической индукции ~~напряжение~~ разность потенциалов центров оснований цилиндра равна нулю. И правда если бы это было не так, то внутри цилиндра должно было бы существовать электрическое поле, которое меняло бы потенциал. Но тогда бы в движение пришли электроны в металле. И система установилось бы только когда ~~раз~~ пропадет поле ⇒ разность потенциалов будет равна 0.

Ответ на вопрос: ~~ну~~ разность потенциалов равна нулю.

14

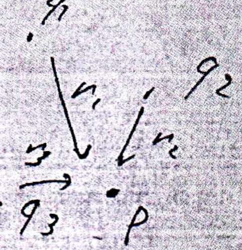
Задание 3 Чистовик

Задача.

1) Потенциал создаваемый элементарным зарядом: $\varphi = \frac{kq}{r^2}$, где k - постоянная кулона, r - расстояние до интересующей нас точки. Как ~~видно~~ и ~~т.к. так как~~

~~Т.к. нашу систему можно разбить~~

и Т.к. потенциал системы электрических зарядов это ~~где~~ сумма потенциалов отдельных зарядов (принцип супер позиции), то можно сказать, что суммарный потенциал в системе $\varphi_1 = \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 + \alpha_3 q_3 + ..$, где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, ...$ - это коэффициенты зависящие только от взаимного расположения и свойств среды.

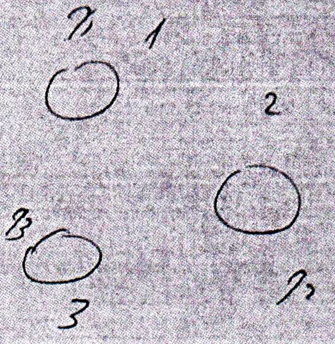


В нашей задаче взаимное разсположение и свойства среды не меняются, поэтому можно сказать, что эти коэффициенты остаются постоянными.

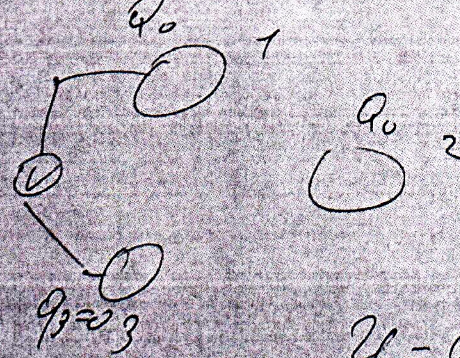
Чистовик

Задание 3

А еще в силу симметрии можно будет сказать, что коэффициенты взаимного влияния (коэффициенты стоящие перед зарядом цилиндра в формуле потенциала другого цилиндра) и собственного влияния равны. (собств коэффициент собственного влияния коэффициент стоящий перед зарядом цилиндра в формуле потенциала этого самого цилиндра). Пусть коэффициент взаимного влияния это β, а собственного — γ.



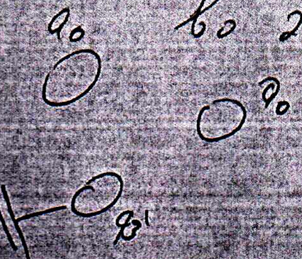
Тогда в 1ом состоянии



$$\varphi_1 = \beta q_2 + \beta q_3 + \gamma q_1 = \beta Q_0 + \gamma Q_0$$

$$\varphi_3 = \beta q_1 + \beta q_2 + \gamma q_3 = \beta Q_0 + \beta Q_0 = 2\beta Q_0$$

$$U = (\varphi_1 - \varphi_3) = (\beta Q_0 + \gamma Q_0 - 2\beta Q_0) = ((\gamma - \beta) Q_0) = U$$



во 2ом состоянии

$$\varphi_1' = \beta Q_0 + \beta q_3' + \gamma Q_0$$

$$\varphi_3' = \gamma q_3' + 2\beta Q_0$$

т.к. заземлили

$$\to \text{и } \varphi_3' = 0 \to q_3' = \frac{-2\beta Q_0}{\gamma}$$

Чистовик

Задание 3

$$u' = (\varphi_1' - \varphi_3') = (\beta Q_0 + \beta q_3' + \gamma Q_0 + \gamma q_3' - 2\beta Q_0) =$$

$$= (\cancel{\beta}\,(\gamma-\beta) Q_0 - (\gamma-\beta) q_3') = u'$$

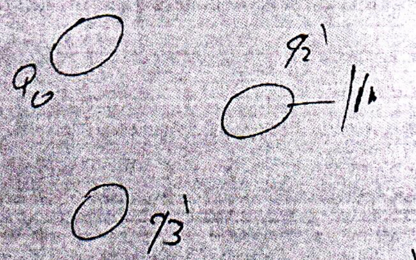
Имеем

$$\begin{cases} u = ((\gamma-\beta) Q_0) \\ u' = ((\gamma-\beta) Q_0 - (\gamma-\beta) q_3') \\ q_3' = \frac{-2\beta Q_0}{\gamma} \end{cases}$$

~~Пусть $Q_0>0$ (от это ничего не зависит~~, т.к. был бы знак другой, для цилиндра

$$\begin{cases} u = ((\gamma-\beta) Q_0) \\ u' = ((\gamma-\beta)(Q_0 - \frac{-2\beta Q_0}{\gamma})) = (\frac{(\gamma-\beta)}{\gamma} Q_0 (\gamma+2\beta)) \end{cases}$$

3ее состояние системы



$\varphi_2' = \beta Q_0 + \gamma q_2' + \beta q_3'$;

$\varphi_2' = 0$, т.к. заземлили цилиндр 2.

$$\Rightarrow \beta Q_0 + \gamma q_2' + \beta q_3' = 0$$

$$q_2' = \frac{-\beta q_3' - \beta Q_0}{\gamma} = \frac{-\beta \frac{-2\beta Q_0}{\gamma} - \beta Q_0}{\gamma} = \frac{\beta Q_0}{\gamma}\left(\frac{2\beta}{\gamma} - 1\right) =$$

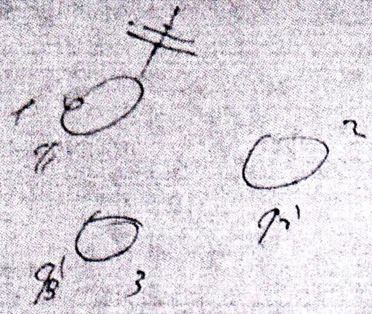
$$= \frac{\beta Q_0}{\gamma^2}(2\beta - \gamma)$$

17

чистовик

Задание 3

4ое состояние системы



$\varphi_1'' = \gamma q_1' + \beta q_2' + \beta q_3'$

$\varphi_1'' = 0$, т.к. цилиндр 1 заземлен $\to$

$\gamma q_1' + \beta q_2' + \beta q_3' = 0$

$$q_1' = \frac{-\beta q_2' - \beta q_3'}{\gamma} =$$

$$= \frac{-\beta \frac{\beta Q_0}{\gamma^2}(2\beta-\gamma) - \beta \frac{-2\beta Q_0}{\gamma}}{\gamma} = \frac{\frac{\beta Q_0}{\gamma}\left(-\frac{\beta}{\gamma}(2\beta-\gamma) + 2\beta\right)}{\gamma} =$$

$$= \frac{\beta^2 Q_0}{\gamma^2}\left(\cancel{\gamma\,\gamma} \frac{-(2\beta-\gamma)}{\gamma} + 2\right) = \frac{\beta^2 Q_0}{\gamma^2} \cdot \frac{\gamma - 2\beta + 2\gamma}{\gamma} =$$

$$= \frac{3\gamma - 2\beta}{\gamma^3} \beta^2 Q_0$$

$\varphi_1'' = 0$; $\varphi_3'' = \beta q_1' + \beta q_2' + \gamma q_3' =$

$$= \frac{3\gamma - 2\beta}{\gamma^3} \beta^3 Q_0 + \frac{\beta^2 Q_0}{\gamma^2}(2\beta - \gamma) + \gamma \frac{-2\beta Q_0}{\gamma} =$$

$$= \beta Q_0 \left(\frac{3\gamma - 2\beta}{\gamma^3} \beta^2 + \frac{\beta}{\gamma^2}(2\beta - \gamma) - 2 \right) =$$

$$= \frac{\beta Q_0}{\gamma^3}\left(3\gamma\beta^2 - 2\beta^3 + 2\beta^2\gamma - \gamma^2\beta - 2\gamma^3\right) =$$

$$= \frac{\beta Q_0}{\gamma^3}\left(5\gamma\beta^2 - 2\beta^3 - \gamma^2\beta - 2\gamma^3\right)$$

18

Задание 3 чистовик

~~Имеем~~ $U'' = (U_1' - U_3') - (0 - U_3') = (-U_3'') =$

$= \left(\frac{\beta Q_0}{\gamma^3} (2\gamma^3 + \gamma^2\beta + 2\beta^3 - 5\gamma\beta^2) \right)$

Имеем

$$\begin{cases} U = (\gamma - \beta) Q_0 & (1) \\ U' = \left(\frac{\gamma - \beta}{\gamma} (\gamma + 2\beta) Q_0 \right) & (2) \\ U'' = \frac{\beta Q_0}{\gamma^3} (2\gamma^3 + \gamma^2\beta + 2\beta^3 - 5\gamma\beta^2) \end{cases}$$

из (1) и (2) (1) во (2) $U' = (\gamma - \beta) Q_0 \cdot \frac{\gamma + 2\beta}{\gamma} = U \frac{\gamma + 2\beta}{\gamma} \rightarrow$

$\frac{\gamma + 2\beta}{\gamma} = U'/U = \frac{60\ В}{40\ В} = \frac{3}{2} \rightarrow$ ~~$3\gamma + 6$~~ $3\gamma = 2\gamma + 4\beta \rightarrow$

$\gamma = 4\beta \rightarrow$ в (1): $(\gamma - \beta) Q_0 = 3\beta Q_0 = U \rightarrow \beta Q_0 = \frac{U}{3} \rightarrow$

в (3): $U'' = \frac{\beta Q_0}{\gamma^3} (2\gamma^3 + \gamma^2\beta + 2\beta^3 - 5\gamma\beta^2) =$

$= \frac{\beta Q_0}{64\beta^3} (2 \cdot 64\beta^3 + 16\beta^3 + 2\beta^3 - 20\beta^3) = \frac{\beta Q_0}{64} (128 + 16 + 2 - 20) =$

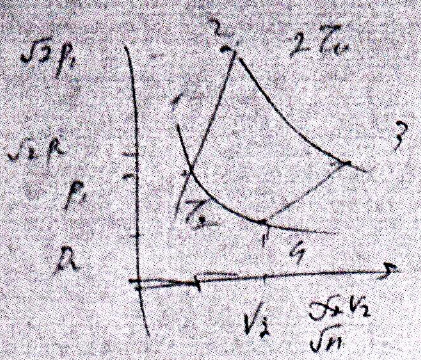
$= \frac{\beta Q_0}{64} (126 = \frac{U}{3 \cdot 64} \cdot 126 = \frac{U \cdot 42}{64} = \frac{21\ U}{32} = \frac{21 U}{32} =$

$= \frac{21}{32}\ 40\ В = \frac{21 \cdot 5}{4}\ В = \frac{105}{4}\ В = \frac{100 + 5}{4}\ В = 25\ В + 1{,}25\ В = 26{,}25\ В$

Ответ: $U'' = 26{,}25\ В$

Черновик

К задаче №2. (2) – КПД цикла



$$|A_{34}| = \frac{p_2 + \sqrt{n}p_2}{2}(\sqrt{n}-1)V_2 = \frac{n-1}{2}p_2V_2$$

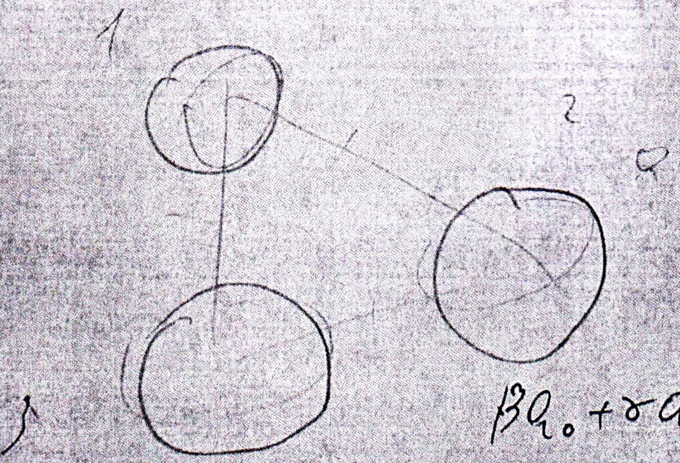
$$A_{23} = \nu R n T_0 \ln\frac{V_2\sqrt{n}}{V_1\sqrt{n}}$$

$$\nu R T_0 = p_2 V_2$$

$$\frac{\nu R n T_0 \ln\frac{V_2\sqrt{n}}{V_1\sqrt{n}}}{\frac{n-1}{2}p_2V_2} = k$$

$$\frac{n\ln\frac{V_2}{V_1}}{\frac{n-1}{2}} = \frac{2n}{n-1}\ln\frac{V_2}{V_1} = k$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} \qquad Q_- = Q_{34} + Q_{41}$$



$$\beta Q_0 + \gamma Q_0 - \frac{2\beta^2 Q_0}{\gamma} =$$

$$= \frac{Q_0}{\gamma}(\beta\gamma + \gamma^2 - 2\beta^2) =$$

$$= \frac{Q_0}{\gamma}(\beta(\gamma-\beta) + (\gamma+\beta)(\gamma-\beta)) =$$

$$= \frac{Q_0}{\gamma}(\gamma-\beta)(\gamma+2\beta)$$

20