0 432950 020003

43-29-50-02
(107.3)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 11

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Покори Воробьёвы Горы
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Голова Михаила Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

+1 лист

Подпись участника

Дата
«01» 04 2023 года

43-29-50-02 (107.3)

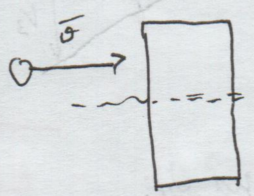
Чистовик (Везде далее чистовик!)

Задание 1

Ответ на вопрос: Т.к. брусок гладкий, то шайба никогда вращаться не будет, а брусок зависит от удара.

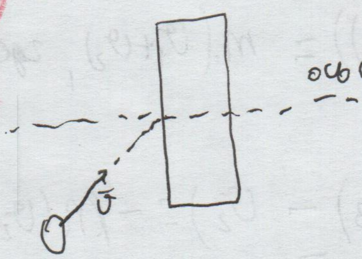
Будут ли вращаться тела зависит от того какий будет удар: центральный или нет. А так же в какую часть бруска ударит шайба. (для бруска).

центральный удар вращения не будет.



будет вращение бруска

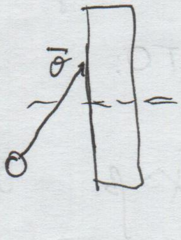
ось симметрии.



ось симметрии

брусок не будет вращаться, т.к. он гладкий.

брусок будет вращаться.



Итак, вращение будет, если $\vec{L} = [\vec{\Delta p}; \vec{r}] \neq \vec{0}$

$\vec{r}$ – радиус вектор из точки симметрии бруска в точку удара (при $t_{уд} \to 0$); Δp – переданный импульс; Δ импульс шайбы

Задача:

Т.к. бруски гладкие, то скорость шайбы по горизонтали const; шайба не вращается.

З	1	2	3	4
Б	3	3	2	5
З	~~11~~ 13*	9	~~14~~	~~6~~ 5

$\Sigma = \cancel{58}$ 55*

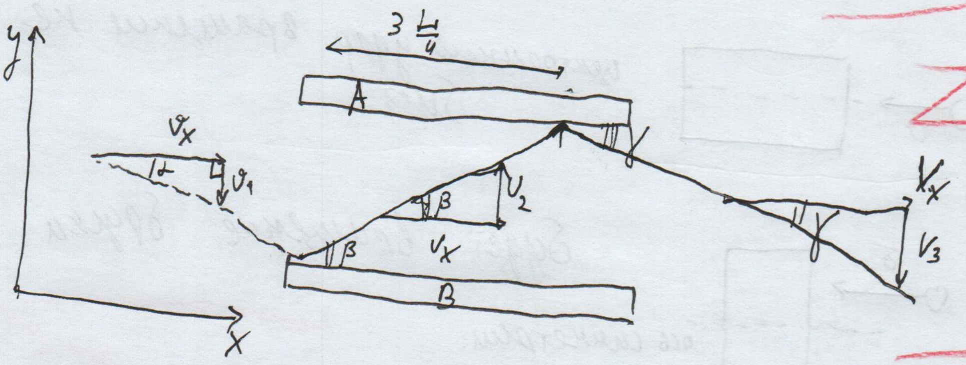
* по результатам апелляции

Степаньянц К.В.

Чистовик.

Заметим, что углы малые, поэтому sin и tg этих углов приблизительно равны самим углам в радианной мере.

$\alpha = \frac{2,6^\circ}{180^\circ} \cdot \pi$ $\beta = \frac{2,2^\circ}{180^\circ} \cdot \pi$ $\gamma = \frac{2,0^\circ}{180^\circ} \cdot \pi$



Изменение импульса для шайбы на O_y:

после I удара: $\Delta p_1 = m(v_2 - (-v_1)) = m(v_1 + v_2)$, где m – масса шайбы.

после II удара:

$$\Delta p_2 = m((-v_3) - v_2) = -m(v_2 + v_3)$$

Т.к. α и β малые и $\vec{v_x} \uparrow\uparrow \vec{v}$ (т.к. действующих сил нет, кроме когда удар), то:

$$v_1 = v_x \cdot \alpha \quad v_2 = v_x \cdot \beta \quad v_3 = v_x \cdot \gamma$$

Пусть J момент инерции от-но центра бруска

$J = k \cdot M \cdot L^2$

безразмерный коэффициент получаемый при интегрировании, сейчас, я думаю, он мне не важен.

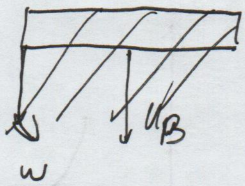
ЗС момента импульса:

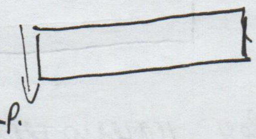
$$m \cdot v_1 \cdot \frac{L}{2} = J \cdot$$

43-29-50-02 (107.3)

ЗСИ: O_y:

$$-m\vartheta_1 = -M u_B + m\vartheta_2$$





ЗСЭ:

$$\cancel{\frac{m(\vartheta_1^2+\vartheta_x^2)}{2} - \frac{m\vartheta_2^2}{2}}$$

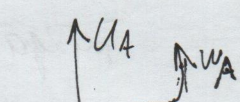
$$\frac{m(\vartheta_1^2+\vartheta_x^2)}{2} - \frac{m(\vartheta_2^2+\vartheta_x^2)}{2} = \frac{M\cdot u_B^2}{2} + \frac{J\cdot\omega^2}{2}; \quad \omega = u_B / \frac{L}{2}$$

Итого для 1 удара:

$$\begin{cases} m\cdot\vartheta_x\cdot L = M\cdot u_B - M\cdot\vartheta_x\cdot\beta \\ m\cdot\vartheta_x^2\cdot L^2 - M\cdot\vartheta_1^2\cdot\beta^2 = M\cdot u_B^2 + J\cdot\frac{u_B^2}{L^2}\cdot 4 \end{cases}$$

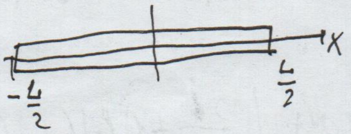
Тоже самое для 2 удара:

$$\begin{cases} m\,\vartheta_x(\beta+\gamma) = M\cdot u_A \\ m\,\vartheta_x^2(\beta^2-\gamma^2) = M\cdot u_4^2 + J\cdot\omega_A^2 \end{cases};$$



$$\omega_A\cdot\frac{L}{4} = u_A$$

Осталось вывести J:



$$J = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{m}{L}\cdot x^2\,dx = \frac{m}{3L}\cdot x^3\Big|_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} =$$

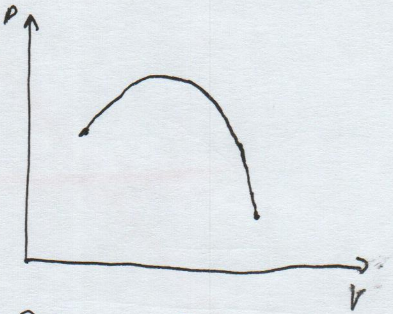
$$= \frac{2m}{3L}\cdot\frac{L^3}{8} = \frac{mL^2}{12}$$

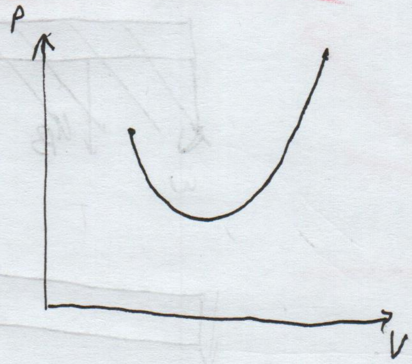
См. продолжение в конце.

Задание 2.

Вопрос:

$i=5$ – двухатомный газ.





$\delta Q = \delta U + dA$ – первое начало термодин.

$\delta Q = C \nu dT$

$\delta U = \frac{i}{2} R \nu dT$

$dA = p dV$

Т.к. график парабола, то $P = aV^2 + bV + C$

$dA = (aV^2 + bV + C) dV$

Уравн. ~~менделеева~~ менделеева – клапейрона:

$PV = \nu RT$.

$(aV^2 + bV + C)V = \nu RT$ – диф.

$(3aV^2 + 2bV + C) dV = \nu R dT$.

Тогда I нач. термодин:

$$C \cdot \frac{3aV^2 + 2bV + C}{R} dV = \frac{i}{2}(3aV^2 + 2bV + C) dV + (aV^2 + bV + C) dV$$

Т.к. $\nu = const$, то когда молярная теплоёмкость постоянна, то и теплоёмкость постоянна.

$C = const \Leftrightarrow$:

$$C = R \cdot \frac{\left(\frac{3i}{2}+1\right)aV^2 + \left(\frac{2i}{2}+1\right)bV + C}{3aV^2 + 2bV + C} = const$$

43-29-50-02 (107.3)

вне зависимости от υ. ~~но это возможно лишь если~~

$$\left(\frac{3i}{2}+1\right)a\upsilon^2+(i+1)b\upsilon+c=3a\upsilon^2\cdot k+2b\cdot\upsilon\cdot k+c\cdot k$$

k - коэф. пропорц.

$$a\cdot\left(\frac{3i}{2}+1-3k\right)\upsilon^2+(i+1-2k)\upsilon+c(1-k)=0$$

при любом υ, т.е.

$$\begin{cases} a\cdot\left(\frac{3i}{2}+1-3k\right)=0 & (1)\\ (i+1-2k)\,b=0 & (2)\\ c(1-k)=0 & (3)\end{cases}$$

(3): Если $k=1$, то в общем случае (при неизвестном i) $a=0$ и $b=0$ - но тогда это не парабола, поэтому $c=0$.

$a\neq0$ т.к. это парабола, поэтому

$$k=\frac{i}{2}+\frac{1}{3}$$, но тогда в общем случае $b=0$.

Итак, молярная теплоемкость будет

$$C=R\cdot\left(\frac{i}{2}+\frac{1}{3}\right)$$ при параболе $P=a\upsilon^2$.

при $i=5$:

$$C=R\cdot\left(\frac{5}{2}+\frac{1}{3}\right)=R\cdot\frac{17}{6}$$

$\left(k=\frac{17}{6};\quad 5+1-2k\neq0\text{, т.е. } b=0\right)$

перебрав $i=\{3;5;6\}$: ~~когда~~

$i=3$: $k=\frac{3}{2}+\frac{1}{3}=\frac{11}{6}$ $\quad 3+1-2k\neq0$

$i=6$: $k=\frac{6}{2}+\frac{1}{3}=\frac{10}{3}$ $\quad 6+1-2k\neq0$

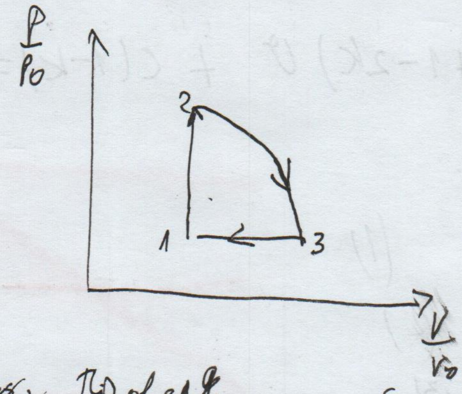
$\Rightarrow b=0$ и $c=0$ всегда.

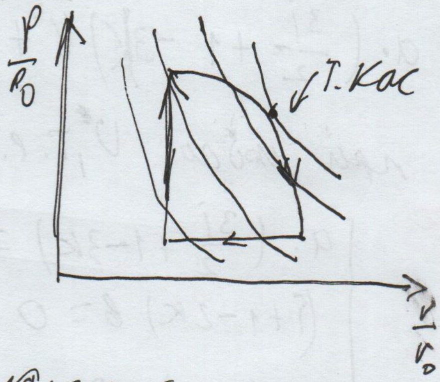
Задача:

$$P = \frac{P_0}{6}\left(36 + 5\frac{V}{V_0} - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2\right)$$

Т.к. тепловая машина, то цикл по часовой стрелке.

схематично:





~~Т.к.~~: проведя адиабаты находим получаю, что на 1–2 тепло подводится; на 3–1 отводится; на 2–3 частично подводится, частично отводится.

Найду т. кас. 2–3 с адиабат. уравн: $P \cdot V^{\frac{C_p}{C_V}} = const$

$$C_p = \frac{i+2}{2}R; \quad C_V = \frac{i}{2}R$$

$$P \cdot V^{\frac{i+2}{i}} = const.$$

Точка касания имеет смысл:

$(P_k; V_k)$ и удовлетвор. уравн. адиабат., уравн $P(V)$ и равенство производных.

$$P' = \frac{P_0}{6}\left(\frac{5}{V_0} - 2\frac{V}{V_0^2}\right)$$

$$P' \cdot V^{\frac{i+2}{i}} + P \cdot \frac{i+2}{i} V^{\frac{2}{i}} = 0. \text{ - диф. уравн. адиаб.}$$

$$\frac{P_0}{6}\left(\frac{5}{V_0} - 2\frac{V_k}{V_0^2}\right) \cdot V_k^{\frac{i+2}{i}} + \frac{P_0}{6}\left(36 + 5\frac{V_k}{V_0} - \frac{V_k^2}{V_0^2}\right) \cdot \frac{i+2}{i} \cdot V_k^{\frac{2}{i}} = 0$$

$$\begin{cases} \frac{1}{a} - \frac{1}{b} = D_1 \\ \frac{1}{b} + \frac{1}{L} = D_2 \\ |\Gamma| = \frac{b}{a} \cdot \frac{c-L}{L+b} \end{cases}$$

(1+2): $$\begin{cases} \frac{1}{a} - \frac{1}{b_1} = D_1 \\ \frac{1}{a} - \frac{1}{b_2} = D_1 \\ \frac{1}{b_1} + \frac{1}{L_1} = D_2 \\ \frac{1}{b_2} + \frac{1}{L_2} = D_2 \\ \Gamma_1 = \frac{b_1}{a} \cdot \frac{c-L_1}{L_1+b_1} \\ \Gamma_2 = \frac{b_2}{a} \cdot \frac{c-L_2}{L_2+b_2} \end{cases}$$

c; a; b_1; D_1; D_2; b_2 - неизв.

6 неизвестных ; 6 уравнения

система имеет решение

отсюда находим ~~D_1 и D_2~~ все неизвестные.

При L_3: $\Gamma_3 = \frac{b_3}{a} \cdot \frac{c-L_3}{L_3+b_3}$; $\frac{1}{a} - \frac{1}{b_3} = D_1$

b_3 ищется, т.к.

D_1 и D_2 - неизвест. уже можно считать известными.

...

след. стр.

Задача 1 продолжение:

$$\begin{cases} m \vartheta_x (\alpha+\beta) = M \cdot u_B \\ m \vartheta_x^2 (\alpha^2-\beta^2) = M \cdot u_B^2 + \frac{ML^2}{12} \cdot \frac{u_B^2}{L^2} \cdot 4 \\ m \vartheta_x^2 (\beta^2-\gamma^2) = M u_A^2 + \frac{ML^2}{12} \cdot \frac{u_A^2}{L^2} \cdot 16 \\ m \vartheta_x (\beta+\gamma) = M u_A. \end{cases}$$

выражаем u_A; u_B из 1 и 4 и подстав. в 2 и 3

Найду из этого уравн. V_k: $/ \left(\frac{P_0}{6} \cdot V_k \frac{2}{i}\right)$

$$\left(\frac{5}{V_0} - 2\frac{V_k}{V_0^2}\right) \cdot V_k^1 + \left(36 + 5\frac{V_k}{V_0} - \frac{V_k^2}{V_0^2}\right) \cdot \frac{i+2}{i} \cdot 1 = 0.$$

$$5 \cdot \frac{V_k}{V_0} - 2 \cdot \frac{V_k^2}{V_0^2} + 36\left(1 + \frac{2}{i}\right) + 5 \cdot \frac{V_k}{V_0} \cdot \frac{i+2}{i} - \frac{V_k^2}{V_0^2} \cdot \frac{i+2}{i} = 0$$

пусть $\frac{V_k}{V_0} = X$ для простоты:

$$X^2\left(1 + \frac{2}{i} + 2\right) - \cancel{V_k} X \cdot \left(5 \cdot \left(1 + \frac{2}{i}\right) + 5\right) - 36 \cdot \left(1 + \frac{2}{i}\right) = 0$$

$$X^2\left(3 + \frac{2}{i}\right) - X \cdot 2\left(5 + \frac{1}{i}\right) - 36 \cdot \left(1 + \frac{2}{i}\right) = 0.$$

$$\frac{D}{4} = \left(5 + \frac{1}{i}\right)^2 + \left(3 + \frac{2}{i}\right) \cdot 36\left(1 + \frac{2}{i}\right) =$$

$$= 25 + \frac{10}{i} + \frac{1}{i^2} + 36 \cdot \left(3 + \frac{8}{i} + \frac{4}{i^2}\right) =$$

$$= \frac{145}{i^2} + \frac{298}{i} + 133.$$

$36 \cdot 4 = 144$; $36 \cdot 8 = 288$; $36 \cdot 3 = 108$; $108 + 25 = 133$

$$X = \frac{5 + \frac{1}{i} \pm \sqrt{\frac{145}{i^2} + \frac{298}{i} + 133}}{3 + \frac{2}{i}}$$

$V_k = V_0 \cdot X$

Если $V_k \in [3V_0; 8V_0]$, то там происходит смена δQ.

Если подставить $i = 5$ в X, то могу предположить, что при вычислениях получится $V_k = 5V_0$

Найду Q_+:

$Q_+ = Q_{12} + Q_{24}$; где 4 – т. кас.

$$Q_{12} = C_V \cdot \nu \Delta T = \frac{i}{2} R \nu (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \underbrace{(3 \cdot V_0 \cdot 7P_0 - 3V_0 \cdot 2P_0)}_{\text{по уравн. менд клапр.}} =$$

$$Q_{12} = \frac{i}{2} \cdot (21-6)P_0V_0 = \frac{i}{2} \cdot 15 P_0V_0$$

$$Q_{24} = \Delta U_{24} + A_{24}$$

$$\Delta U_{24} = \frac{i}{2} \left(P_{(V_K)} \cdot V_K - 7P_0 \cdot 3V_0 \right)$$

$$A_{24} = \int_{3V_0}^{V_K} P_{(V)}\, dV \quad ; \quad P_{(V)} = \frac{P_0}{6}\left(36 + \frac{5V}{V_0} - \frac{V^2}{V_0^2}\right)$$

~~подставляя~~

$$\eta = \frac{A_{цикла}}{Q_+}$$

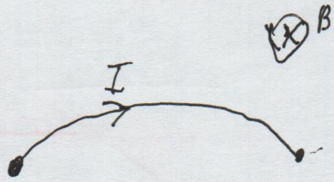
$$\cancel{A_{цикла} = \left(\int_{3V_0}^{8V_0} P_{(V)}\, dV\right) - \ ; P_{(V)} = \frac{P_0}{6}\left(36 + \frac{5V}{V_0} - \frac{V^2}{V_0^2}\right)}$$

$$A_{цикла} = \left(\int_{3V_0}^{8V_0} P_{(V)}\, dV\right) - 2P_0 \cdot (8V_0 - 3V_0) ; \quad P_{(V)} = \frac{P_0}{6}\left(36 + \frac{5V}{V_0} - \frac{V^2}{V_0^2}\right)$$

Осталось подставить числа и найти определенные интегралы.

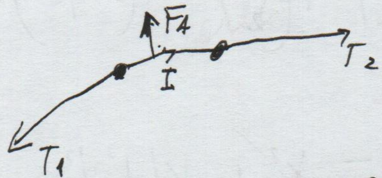
Задание 3

Вопрос:



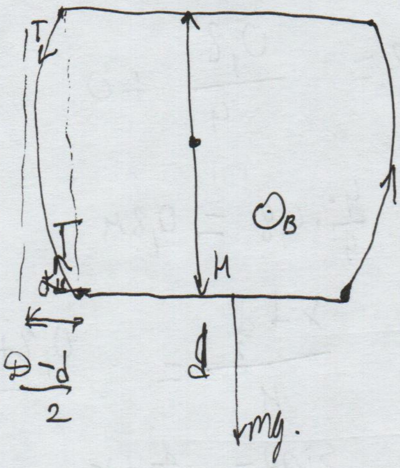
Т.к. провод гибкий, то T – сила натяжения всегда направлена по проводу

$\vec{F}_A \perp \vec{\ell} \Rightarrow |\vec{T}_2| = |\vec{T}_1| = T$



Тогда сила натяжения направлена всегда по касательной а это значит, что провод примет форму ~~окружности~~ части ~~окружности~~ (дуга).

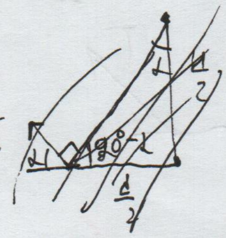
Задача:



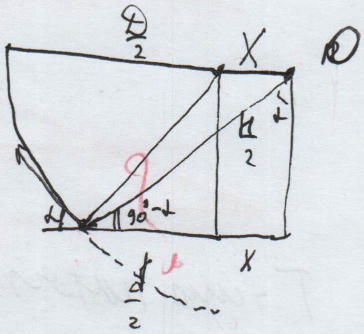
← дуги окружностей.

~~задача:~~

~~xq, xz~~



Из геом. соображений найду угол α, под которым направлена T.



$$\left(x+\frac{D}{2}\right)^2=\left(x+\frac{d}{2}\right)^2+\left(\frac{H}{2}\right)^2 \quad (=R^2)$$

$$\cancel{x^2}+xD+\frac{D^2}{4}=\cancel{x^2}+xd+\frac{d^2}{4}+\frac{H^2}{4}$$

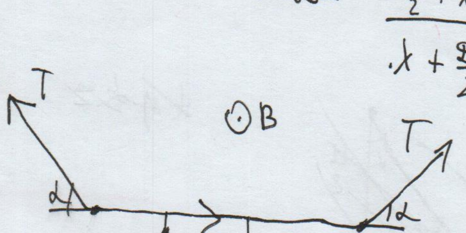
$$x(D-d)=\frac{d^2}{4}+\frac{H^2}{4}-\frac{D^2}{4}$$

$$x\cdot 0{,}2=\frac{0{,}8^2}{4}+0 \quad м$$

$$x=\frac{4}{4}\cdot 0{,}8=0{,}8\,м$$

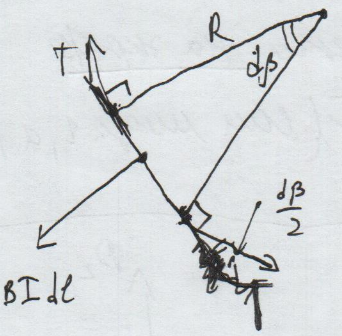
$$tg\,\alpha=\frac{x+\frac{d}{2}}{H}=\frac{0{,}8+0{,}4}{1}=1{,}2$$

$$\sin\alpha=\frac{\frac{d}{2}+x}{x+\frac{D}{2}}=\frac{0{,}4+0{,}8}{0{,}8+0{,}5}=\frac{12}{13}$$



$$2T\sin\alpha=mg+BId$$

Выделим малый участок провода



$BIdl = 2T \cdot \frac{d\beta}{2}$

$BI\,Rd\beta = T \cdot d\beta$

$T = BIR$

$2BIR\sin\alpha - BId = mg$

$BI\left(2\left(x + \frac{D}{2}\right) - d\right) = mg$

$I = \frac{mg}{B \cdot (2x + D - d)}$

$I = \frac{0{,}8 \cdot 9{,}8}{\frac{7}{2} \cdot (2 \cdot 0{,}8 + 1 - 0{,}8)} = \frac{8 \cdot 9{,}8}{5 \cdot 7 \cdot 1{,}8} = \frac{8 \cdot 98}{5 \cdot 7 \cdot 18} =$

$\frac{98}{7} = 14$

$= \frac{8 \cdot 14}{5 \cdot 18} = \frac{56}{45} \approx 1{,}24A$

$560000 : 45 = 1{,}2444...$

Ответ: 1,24A.

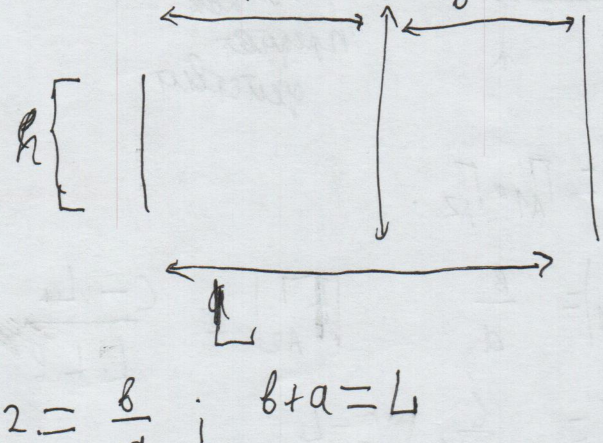
Задача 4

Вопрос

$h = 4$ мм

$L = 90$ см

$H = 8$ мм.



$|\Gamma| = \frac{H}{h} = 2 = \frac{b}{a}$; $b + a = L$

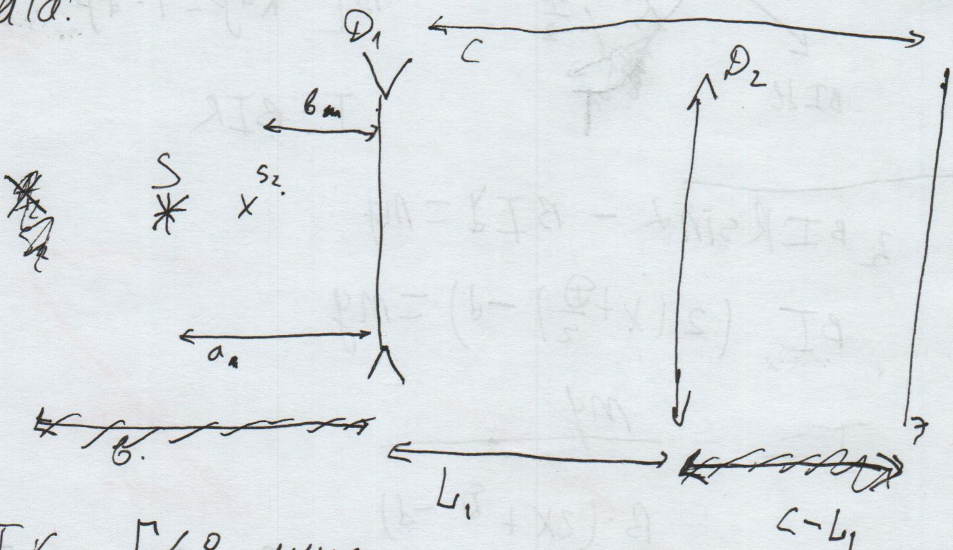
$\begin{cases} b = 2a \\ b + a = L \end{cases}$ $\begin{cases} b = 60 \text{ см} \\ a = 30 \text{ см} \end{cases}$

$$D = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{60}\right) см^{-1} = \left(\frac{1}{30} \cdot \frac{3}{2}\right) см^{-1} = \frac{1}{20} см^{-1} = \frac{1}{0{,}2 м} = 5 \text{ Дптр}$$

$D > 0$

(получить четкое изображение на экране можно только собирающей линзой (если линза 1, а не ~~[illegible]~~ система)).

задача:



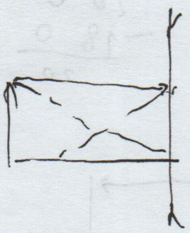
Т.к. $\Gamma < 0$, линзы 2 то одна из них собирающая другая рассеивающая.

$$\cancel{\frac{1}{a} + }$$

мнимое изобр.

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = D_1$$

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{L_1} = D_2$$



однако как предмет действит.

$$\Gamma = \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2}.$$

$$|\Gamma_{A1}| = \frac{b}{a} \qquad |\Gamma_{A2}| = \frac{C - L_1}{L + b}$$

$$\Gamma = \frac{b}{a} \cdot \frac{C - L}{L + b}$$

Решение апел. комиссии:
Повысить оценку на
2 балла (новая оценка
54 балла)
21.04.2023

Председателю апелляционной
комиссии олимпиады школьников
"Покори Воробьевы горы!"
Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова
академику В.А. Садовничему.
ученика 11 класса в
ГБОУ школы №2007 ФМШ
расположенная по адресу
г. Москва Чечёрский проезд дом 6
Голова Михаила Андреевича.

апелляция.

Прошу пересмотреть выставленные технические баллы (52) за мою работу заключительного этапа по физике.
Так как я пропустил момент подачи заявления на показ работ в связи с тем, что ожидал появления ~~розды~~ заявки на показ работы в течение рабочей недели, а не на выходных, т.к. считал, что комиссия не работает в субботу и воскресенье. Поэтому я буду писать по памяти. Большую часть работы я помню хорошо, а там где помню плохо, я напишу „если я правильно помню".

- Вопрос 1: моё решение совпадает с авторским. 5 баллов
- Задача 1: ЗСИ в проекциях для шайбы 1 балл

  ЗСЭ 3 балла

  квадратичная связь энергии вращения с угловой скоростью 2 балла.

  Использование малости углов 1 балл.

  Обоснованная линейная связь угловой скорости и ℓ – 4 балла.

* Если я правильно помню, то все необходимые уравнения были записаны.

Итого, за задачу от 11 до 15 баллов, в зависимости от *.

- Вопрос 2:

В условии явно прописано парабола в осях PV, т.е. P-функция V-переменная. Так как парабола в осях YX это $y = ax^2 + bx + c$, а $x = ay^2 + by + c$ — даже не функция (т.к. при одном значении x м.б. несколько значений y), то вопрос имеет единственный ответ. Надеюсь, я смог объяснить свою точку зрения. Если у меня нет арифметических ошибок, то за этот вопрос должно быть 5 баллов.

- Задача 2:

Указано, что на параболическом участке есть точка изменения знака δQ — 3 балла.

Качественно верно определены участки, где РТ получает и отдает тепло, но ошибся в вычислениях и вместо $6V_0$ получил $5V_0$. Поэтому я считаю, что за этот подпункт половина баллов, т.е. 2 из 4.

Работа на параболическом участке записана через интеграл, однако из предыдущего пункта тянется ошибка с $5V_0$ вместо $6V_0$. Т.к. новых ошибок не допущено, то баллы сняты в предыдущем пункте, за этот должно быть 3 балла.

Записаны кол-во подведенной теплоты и работа газа за цикл (формулой). Т.к. меня смутили числа в задаче, которая решается без калькулятора, то я досчитывать формульный ответ не стал. Поэтому, я думаю, что этот пункт оценивается в 4 балла из 8.

Итого, за задачу 12 баллов.

- Вопрос 3: моё решение совпадает с авторским, но, возможно, оно не достаточно обосновано. 4 балла.

- Задача 3: решение совпадает с авторским. Не обосновывал симметрию, т.к. считал её очевидной. С учетом этого 18 баллов.

- Вопрос 4: Если я правильно помню, то решение совпадает с авторским 5 баллов

- Задача 4:

Использование принципа последовательного построения 2 балл

Произведение увеличений последовательно созданных изображений – 3 балла.

Если я правильно понимаю своё решение, по критериям 1.4 – 2 балла; 2.1 – 2 балла.

2.2 – 2 балла, т.к. написана система уравнений, но она не решена.

Итого, за задачу должно быть от 5 до 11 баллов

Подведу итоги. Сумма баллов за олимпиаду, согласно критериям, должна быть от 65 до 75.

Голов

24.04.2023