МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Покори Воробьёвы Горы!»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Ермаков Сергей Станиславович**

Класс: 11

Технический балл: **96**

Дата проведения: **24 марта 2022 года**

Олимпиада школьников «Покори Воробьевы Горы!»
Заключительный этап 2021/22 учебного года.

ШИФР РАБОТЫ	1705245

Результаты проверки: Орешко Алексей Павлович
Лукашева Екатерина Викторовна

	1	2	3	4	Σ
В	5	3	5	3	96
З	20	20	20	20	

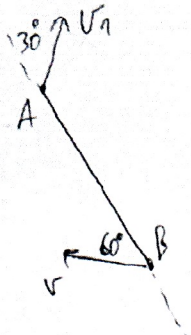
ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА:96

1705245

Ученик Лист 1 из 3

Задание 1

Вопрос:

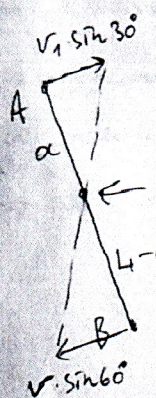


– т.к. стержень – жёсткий (его можно считать абсолютно твёрдым телом), то для него выполняется „правило палочки":

$v \cdot \cos 60^\circ = v_1 \cdot \cos 30^\circ$

$$v_1 = \frac{v \cdot \cos 60^\circ}{\cos 30^\circ} = \frac{\sqrt{3} \cdot 8}{2 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ м/с}$$

– движение стержня является суперпозицией поступательного движения вдоль AB и вращательного движения; перейдём в СО центра масс стержня:



$v_1 \cdot \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4}$ м/с, $v \cdot \sin 60^\circ = \frac{3\sqrt{3}}{2 \cdot 2} = \frac{3\sqrt{3}}{4}$ м/с.

$$\frac{a}{L-a} = \frac{v_1 \cdot \sin 30}{v \cdot \sin 60} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4}{4 \cdot 3\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

$3a = L - a \Rightarrow a = \frac{L}{4}$, $\omega = \frac{v_1 \cdot \sin 30^\circ}{a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4}{4 \cdot 0{,}6} = \frac{5}{\sqrt{3}}$ рад/с

$a(1+\sqrt{3}) = L$

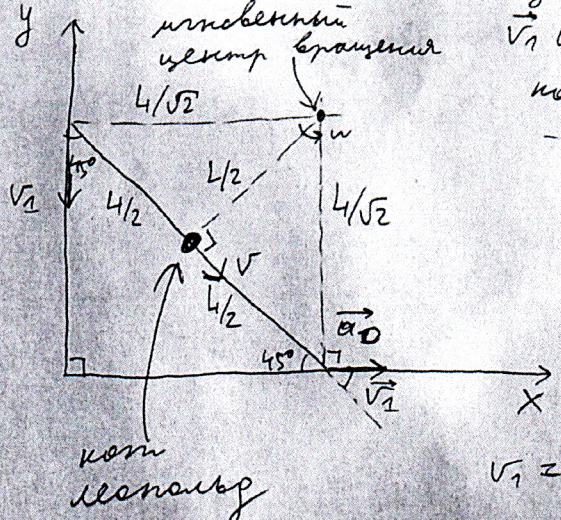
$a = \frac{L}{1+\sqrt{3}} = \frac{L(\sqrt{3}-1)}{2}$

$\omega = \frac{v_1 \sin 30^\circ}{a} = \frac{\sqrt{3}(1+\sqrt{3})}{4 \cdot L} = \frac{\sqrt{3}+3}{2,4}$ рад/с.

Ответ: $\omega = \frac{5}{\sqrt{3}}$ рад/с.

+

Задача:



$\vec{v}_1$ и $\vec{a}_0$ – скорость и ускорение нижнего конца лестницы.

– в соответствии с „правилом палочки" скорость верхнего конца лестницы будет направлена вниз и также равна v_1

$$v_1 = a_0 \cdot t = \sqrt{\frac{L a_0}{2}}$$

$v_1 = \omega \cdot \frac{L}{\sqrt{2}}$, $v = \omega \cdot \frac{L}{2} \Rightarrow \frac{v}{v_1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$v = \frac{v_1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{4 \cdot a_0}}{2}$ → скорость конца кольца, направлена по стержню.

– пусть a_{1y} → ускорение верхнего конца лестницы в проекции на ось Oy.

$x^2 + y^2 = 4^2 \quad | \frac{d}{dt}$

$2xx' + 2yy' = 0. \quad | \frac{d}{dt}.$

$x'^2 + xx'' + y'^2 + yy'' = 0.$; $x'^2 = y'^2 = v_1^2 = \frac{4a_0}{2}$; $x = y = \frac{4}{\sqrt{2}}$; $x'' = a_0$

$4a_0 + \frac{4}{\sqrt{2}}(a_0 + y'') = 0.$

$\sqrt{2}a_0 = -a_0 - y''$

$y'' = -(1+\sqrt{2})a_0$; $|a_{1y}| = |y''| = (1+\sqrt{2})a_0 = a_2$

– кат кольца в проекции на ось Ox всегда находится по середине между проекциями на Ox верхнего и нижнего концов лестницы; скорость и ускорение верхнего конца лестницы на Ox всегда 0 ⇒ ускорение кат кольца в проекции на Ox $a_x = \frac{a_0}{2}$;

– для Oy → аналогично $|a_y| = \frac{a_2}{2} = \frac{1+\sqrt{2}}{2} a_0$.

$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \frac{a_0}{2}\sqrt{1+1+2\sqrt{2}+2} = \frac{a_0}{2}\sqrt{4+2\sqrt{2}}$

$\operatorname{tg}\beta = \frac{a_y}{a_x} = 1+\sqrt{2}$

Ответ: $v = \frac{\sqrt{4 \cdot a_0}}{2}$; $a = \frac{a_0}{2}\sqrt{4+2\sqrt{2}}$; $\vec{v}$ направлено вдоль стержня; $\vec{a}$ направлено под углом $\operatorname{arctg}(1+\sqrt{2})$ к горизонту

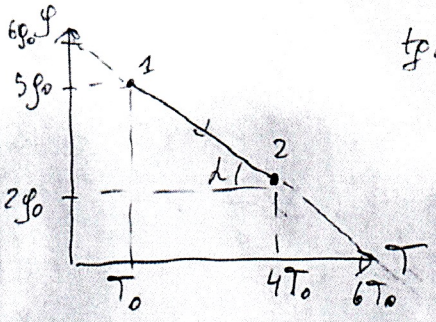
Вар Чистовик Лист 2 из 3

Задание 2

Вопрос: С точки зрения МКТ температура – мера средней кинетической энергии движения молекул. Для идеального газа ~~эту формулу~~ это определение используем формулу для энергии 1 молекулы газа $W_0 = \frac{i}{2} kT$; $W_0 = E_{k_0}$ (т.к. в модели идеального газа считается, что молекулы взаимодействуют только в момент столкновения).

В абсолютной шкале температур за 0 К принимается такая температура, при которой прекращается тепловое движение молекул ($0K \approx -273{,}15°C$). $1K = 1°C$

Задача:



$tg\alpha = \frac{3p_0}{3T_0} = \frac{p_0}{T_0}$

$p(T) = 6p_0 - \frac{p_0}{T_0} T$

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

$p\mu = \rho RT$

$p = \frac{R}{\mu}\left(6p_0 T - \frac{p_0}{T_0} T^2\right)$ → парабола

Вершина: $T_в = \frac{3 \cdot 6p_0 \cdot T_0}{2p_0} = 3T_0$

$p_{max} = \frac{R}{\mu}(18p_0T_0 - 9p_0T_0) = \frac{R}{\mu} \cdot 9p_0T_0$

$p(T_0) = \frac{R}{\mu}(6p_0T_0 - p_0T_0) = \frac{R}{\mu} \cdot 5p_0T_0$

$p(4T_0) = \frac{R}{\mu}\left(24p_0T_0 - \frac{p_0}{T_0} \cdot 16T_0^2\right) = \frac{R}{\mu} \cdot 8p_0T_0$.

$p_{min} = p(T_0) = \frac{R}{\mu} 5p_0T_0$.

$\frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{9}{5} = 1{,}8$

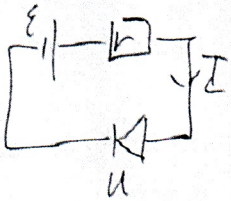
Ответ: $\frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{9}{5} = 1{,}8$

Чистовик

Задание 3

Вопрос:

- пусть у диода $I = F(U)$;



$\varepsilon = Ir + U = F(U) \cdot r + U$

$F(U) = \frac{\varepsilon - U}{r}$ → решаем графически.

$\frac{\varepsilon - U}{r} = 1 - \frac{U}{4}$

U^* → решение ур-ния;

из графика $U^* = 1{,}5$ В

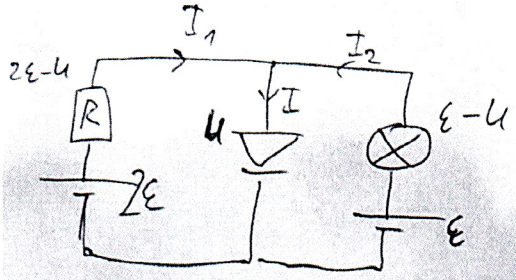
⇓

$I^* \approx 0{,}6$ А.

(+)

Ответ: $I^* \approx 0{,}6$ А.

Задача



U - напряжение на диоде

$I_1 = \frac{2\varepsilon - U}{R}$

$I_2 = I_0 \sqrt{\frac{\varepsilon - U}{\varepsilon}}$

$I = I_1 + I_2 = \frac{2\varepsilon}{R} - \frac{U}{R} + I_0\sqrt{1 - \frac{U}{\varepsilon}} = F(U)$ (*)

из графика $I = F(U) = k\left(\frac{U}{2}\right)^2$

$k = 1\ \frac{А}{В^2}$

$\frac{2\varepsilon - U}{R} + I_0 \sqrt{1 - \frac{U}{\varepsilon}} = k \cdot \frac{U^2}{4}$

$I_0 \sqrt{\frac{\varepsilon - U}{\varepsilon}} = \frac{kU^2}{4} + \frac{U}{R} - \frac{2\varepsilon}{R}$ → не решается

- вернёмся к уравнению (*) и попробуем решить его графически.

U^{**} → решение. $U^{**} \approx 1{,}8$ В. ⇒ $I^{**} \approx 0{,}8$ А > 0 ⇒ диод действительно открыт ↓ всё хорошо.

$P \approx 1{,}8 \cdot 0{,}8 \approx 1{,}45$ Вт.

Ответ: $P \approx 1{,}45$ Вт.

(+)

Чистовик Лист 3 из 3

Задание 4

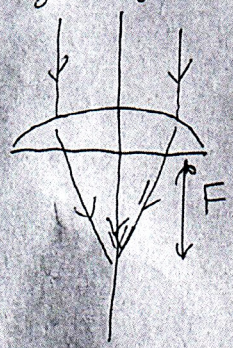
Вопрос: оптическая сила тонкой линзы — это определяемая величина, обратная её фокусному расстоянию: $D = \frac{1}{F}$; $[D] = [\text{дптр}]$; оптическую силу линзы, изготовленной из вещества с показателем преломления n, находящуюся в среде с показателем преломления n_0 можно найти по известной формуле $D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n}{n_0} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ (*), где знак у радиуса "+", если поверхность выпуклая и "−", если вогнутая. Из формулы (*) очевидно, что если мы поместим линзу в жидкость, то ~~оптическая сила линзы уменьшится~~ $\frac{n}{n_0} < n$ (т.к. $n_0 > 1$) $\Rightarrow \left(\frac{n}{n_0} - 1\right) < n - 1 \Rightarrow$ $\Rightarrow$ ~~оптическая сила линзы уменьшится~~ абсолютное значение (с учётом знака) оптической силы линзы уменьшится, если $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} > 0$ (изначально линза была собирающей) или увеличится, если $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} < 0$ (изначально линза была рассеивающей). +

Задача:

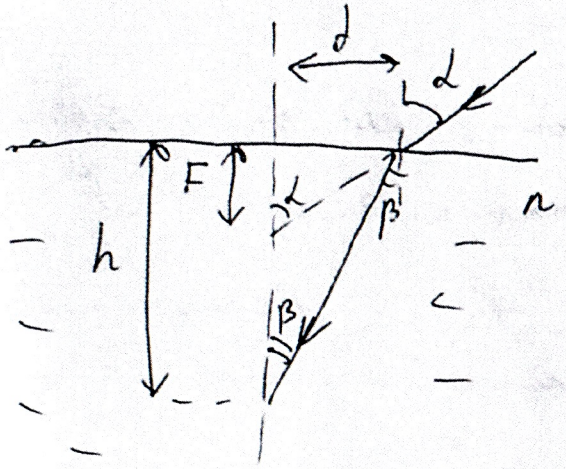
$F = \frac{1}{D} = \frac{1}{\gamma} n \rightarrow$ фокусное расстояние линзы в воздухе.

- сложную оптическую систему можно разбивать на части: сначала рассмотрим ход световых лучей в линзе, а затем посмотрим, как ход лучей изменится после попадания в воду.

- ход лучей в линзе:



- преломление сходящегося пучка лучей в воде:



$\sin\alpha = n\sin\beta$; $\alpha \to 0$; $\beta \to 0$ (в геом. оптике рассматриваются параксиальные лучи)

$\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha \approx \sin\alpha$; $\beta \approx \operatorname{tg}\beta \approx \sin\beta$

$\alpha = \frac{d}{F}$; $\beta = \frac{\alpha}{n} = \frac{d}{h}$

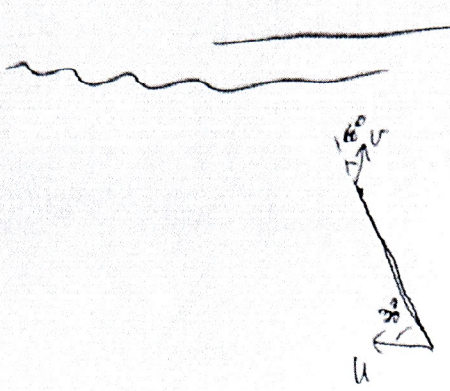
$\frac{d}{n \cdot F} = \frac{d}{h}$.

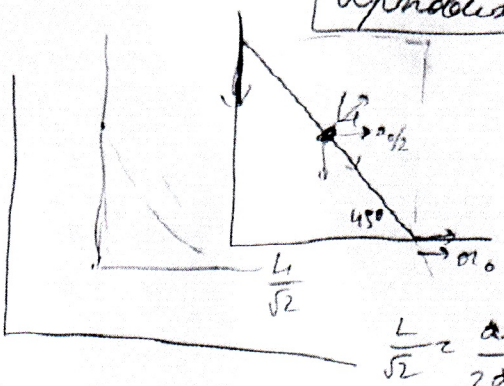
$nF = h$.

$n = \frac{h}{F} = 0{,}2 \cdot 7 = 1{,}4$

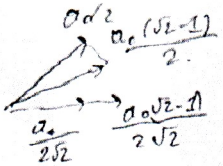
Ответ: $n = 1{,}4$ (+)

Чертёжи



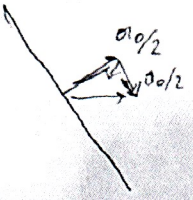


$\frac{L}{\sqrt{2}} = \frac{a_0 L}{2 a_0 2}$



$1 - \frac{1}{\sqrt{2}} =$

$= \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} \frac{a_0}{2}$



$\frac{a_0}{2}\sqrt{1+2-2\sqrt{2}+1} =$

$= \frac{a_0}{2}\sqrt{4-2\sqrt{2}}.$

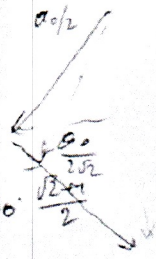
$x^2 + y^2 = L^2$

$2xx' + 2yy' = 0.$

$x'^2 + xx'' + y'^2 + yy' = 0.$

$2v_1^2 + \frac{L}{\sqrt{2}}(a_0 + a_1) = 0.$

$a_n = \frac{v^2 \cdot 2}{L} = \frac{L \cdot a_0 \cdot 2}{2 L}$



$\frac{a_0}{2}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = a_0 \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-2}$

3

$dp_0 - \frac{p_0}{T_0} \cdot pT = 0$

$90 | S = 18$

$1,8$

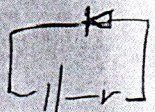
$4 = 2,4 + 1,5 =$

$= 3,9.$

$\frac{2,5}{4} = 0,6 + \frac{0,1}{4}$

2.

4. $I = f(U).$



$\varepsilon = f(U)R + U.$

$f(U) = \frac{\varepsilon - U}{R} = 1 - \frac{U}{4}$

$I = \left(\frac{U}{2}\right)^2.$

$1,5 \cdot 1,5^2 = 0,5 \cdot 2,25 =$

$\times \frac{2,25}{0,5}$

$\frac{1}{4} = 0,25$

$\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}.$

$\frac{1}{8} \to 0,125$

$\frac{1}{16} \to 0,0625$

$\times \frac{0,0625}{0,5625}$

$\times \frac{625}{1250}$

$\frac{9}{20}$

1

$\frac{20}{20} = 0,5 - \frac{U}{20} + 0,5\sqrt{1 - \frac{U}{5}} = f(U).$

$\frac{1}{2}$

$\frac{\varepsilon - U}{4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{5-U}{5} = \frac{(U^2 + U - 10)^2}{4 \cdot 4}$

$1 + 4 \cdot 20 = 41$

$1 + \frac{3}{4} = \frac{7}{4}$

$U = 2$ В.

$0,5 - 0,1 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{2}{5}} = 1.$

$0,4 \quad \sqrt{\frac{3}{5}}$

$U = 1,5$ В.

$0,5 - \frac{3}{40} + 0,5\sqrt{1 - \frac{3}{10}} \approx 0,6$

$\sqrt{\frac{7}{16}}$

$U = 1,75$

$0,5 - \frac{1}{80} + 0,5\sqrt{1 - \frac{7}{20}} = 0,8$

$\sqrt{\frac{13}{20}} \approx \sqrt{\frac{1}{2}}$

$0,4 + 0,5$

$0,4 \quad \frac{0,5}{1,4}$

Черновик

$$0{,}5 + 0{,}5\sqrt{1-\frac{u}{5}} = F(u) + \frac{u}{20}$$

$$1-\frac{u}{5} =$$

$$u =$$

$$2\varepsilon = I_1 R + 2\sqrt{\frac{I}{k}}$$

$$u\sqrt{\frac{I}{k}} = \frac{u}{2} \qquad u = 2\sqrt{\frac{I}{k}}$$

$$\frac{n}{n_0} < n \Rightarrow \frac{n}{n_0} - 1 < n - 1$$

$$\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16} = \frac{5}{6}$$

$$0{,}5 - \frac{9}{100} + 0{,}5\sqrt{1-\frac{9}{25}}$$

$$\frac{u}{5} = 0{,}8$$

$$0{,}4$$

$$0{,}98$$

$$0{,}01$$

$$0{,}98 = 0{,}02$$

$$0{,}5 - \frac{u}{\quad} \qquad \left(\frac{9}{10}\right)^2$$

$$\frac{b}{L-b} = \sqrt{3}$$

$$b = \sqrt{3}L - \sqrt{3}b$$

$$b(1+\sqrt{3}) = \sqrt{3}L \qquad b = \frac{\sqrt{3}L}{1+\sqrt{3}}$$

$$b = \frac{\sqrt{3}(\sqrt{3}-1)}{2}L = \frac{3-\sqrt{3}}{2}L$$

$$\frac{3\sqrt{3}\cdot 4}{4\cdot 3\cdot 0{,}6} = \frac{\sqrt{3}\cdot 10}{6} = \frac{\sqrt{3}\cdot 5}{3}$$

$$0{,}98 + 0{,}64 = 1{,}44$$

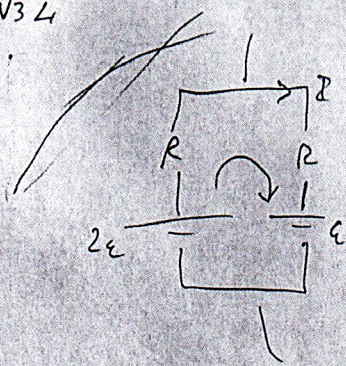
$$F(u) = \frac{7{,}5-u}{10} = 0{,}75 - \frac{u}{10}$$

$$\omega = \frac{3\cdot\sqrt{3}\cdot(1+\sqrt{3})}{2\cdot 2\sqrt{3}\cdot 0{,}6} = \frac{3+3\sqrt{3}}{2{,}4}$$

$$\sqrt{x} = \frac{1}{2\sqrt{x}}$$

$$\frac{1}{2}x$$

$$\omega = \frac{3\sqrt{3}(1+\sqrt{3})}{2\cdot 2\cdot\sqrt{3}L}$$



$$I = I_0 \cdot \frac{u}{2\varepsilon} = \frac{0{,}5}{10}u = 0{,}05u$$

$$R = \frac{u}{I} = 20$$

$$\varepsilon = I \cdot 2R$$

$$I = \frac{\varepsilon}{2R}$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon + IR = \varepsilon + \frac{\varepsilon}{2} = 1{,}5\varepsilon = \frac{3\cdot 5}{2} = 7{,}5\ \text{В}$$

$$R^* = 10\ \text{Ом}$$