МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

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

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Айвазов Никита Александрович**

Класс: 11

Технический балл: **90**

Дата проведения: **24 марта 2022 года**

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

ШИФР РАБОТЫ	1649915

Результаты проверки:

	1	2	3	4	Σ
В	5	3	3	5	90
З	20	20	14	20	

Степаньянц Константин Викторович
Чистякова Наталия Игоревна

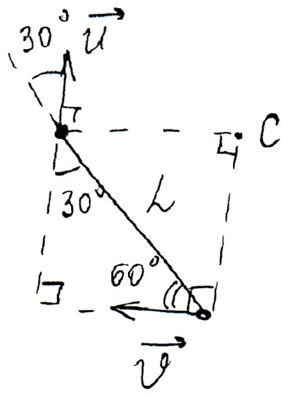
ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА:90

1649915

Чистовик:

Задание 1

Вопрос: Движение гантели в рассматриваемый момент времени можно представить как вращение с искомой угловой скоростью ω вокруг точки, называемой мгновенным центром вращения.

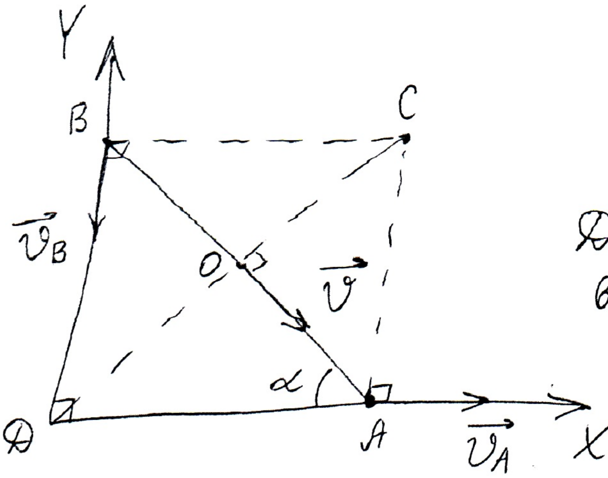


Эту точку (C на рисунке) можно найти как точку пересечения прямых, проходящих через концы гантели и перпендикулярных скоростям концов.

Тогда $v = \omega \cdot L \sin 60° \Rightarrow \omega = \dfrac{v}{L \sin 60°} = \dfrac{1{,}5 \cdot 2}{0{,}6 \cdot \sqrt{3}} \approx 2{,}8 \, \dfrac{рад}{с}$

Ответ: $\omega = 2{,}8$ рад/с +

Задача:



В момент времени t скорость нижнего конца лестницы равна $v_A = a_0 t$.

Действуя аналогично ответу на вопрос, находим мгновенный центр вращения ~~стержня~~ лестницы в момент t (точка C на рисунке) и её угловую скорость вращения вокруг него

$$\omega = \frac{v_A}{AC} = \frac{a_0 t}{L \sin\alpha};$$

Тогда $v = \omega \cdot OC = \omega \cdot \dfrac{L}{2} = \dfrac{a_0 t}{2 \sin\alpha} = \dfrac{1}{2 \sin\alpha} \cdot \sqrt{\dfrac{a_0 L}{2}} =$

$= \dfrac{\sqrt{a_0 L}}{2};$ +

1

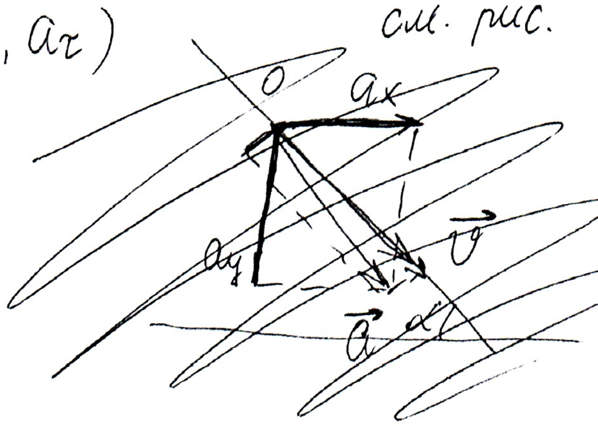
Чистовик:

Так как в момент t $\alpha = 45^\circ$ и ABCD являетая квадратом вектор $\vec{v}$ направлен вдоль лестницы или, что то же под углом $\alpha = 45^\circ$ к полу (т.к. C - мгновенный центр вращения лестници $\vec{v} \perp OC$)

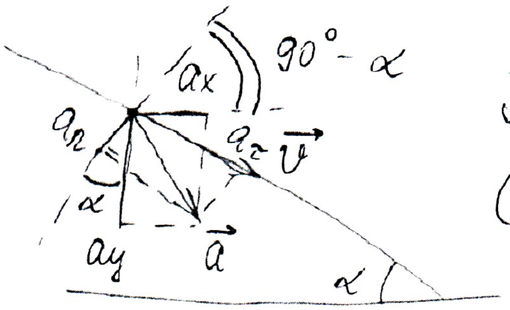
Из геометрических соображений ясно, что величина DO в течение всего движения лестницы остаётая постоянной и равной $\frac{L}{2}$, т.е. в лабараторной СО точка O движется по окружности радиуса $\frac{L}{2}$. Тогда её нормальная составляющая ускорения равна $a_n = \frac{2v^2}{L}$.

Заметим также, что в любой момент времени $x_O = \frac{x_A}{2}$. Дифференцируя дважды по времени это соотношение приходим к $a_x = \frac{a_0}{2}$, т.е. проекция ускорения точки O на ось x постоянна. и равна $\frac{a_0}{2}$.

Таким образом, вектор $\vec{a}$ можно разложить на компоненты двумя способами (a_x, a_y и a_n, a_τ) см. рис.



Чистовик:



Тогда $a_n = a_y \cos\alpha - a_x \cos(90^\circ - \alpha)$

(„связь" проекций)

$$a_y = a_x tg\alpha + \frac{a_n}{\cos\alpha} =$$

$$= \frac{a_0}{2} tg\alpha + \frac{2v^2}{L\cos\alpha} =$$

$$= \frac{a_0}{2} tg\alpha + \frac{2}{L\cos\alpha} \cdot \frac{1}{4\sin^2\alpha} \cdot \frac{a_0 L}{2} = \frac{a_0}{2}\left(tg\alpha + \frac{1}{2\sin^2\alpha\cos\alpha}\right) =$$

$$= \frac{a_0(1+\sqrt{2})}{2}; \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \frac{a_0}{2}\sqrt{4+2\sqrt{2}}$$ и +

направлено под углом $\beta = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{4+2\sqrt{2}}}\right)$ к полу.

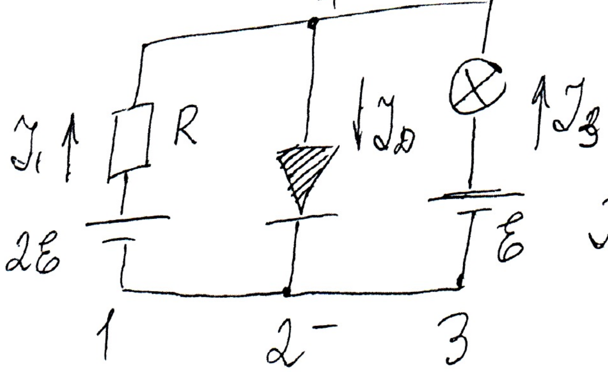
Ответ: $v = \sqrt{\frac{a_0 L}{2}}$; $a = \frac{a_0\sqrt{4+2\sqrt{2}}}{2}$

Задание 3 Вопрос: Построив в данной системе координат ВАХ внутр. сопротивления источника (прямая, проходящая через точки (0;0) и (4;1)), необходимо найти такое значение силы тока при котором сумма падений напряжения на диоде и внутр. сопротивлении равна ЭДС, т.е. 4В. Этому условию удовлетворяет значение силы тока немного большее 0,6 А.

Ответ: $I \approx 0{,}6$ А

±

Задача:



Обозначим напряжение на каждой ветви схемы U_D.

Тогда напряжения на резисторе и лампе равны соответственно:

Чистовик:

$(2\mathcal{E} - U_D)$ и $(\mathcal{E} - U_D) \Rightarrow I_1 = \frac{2\mathcal{E} - U_D}{R}$ (по закону Ома для участка цепи)

$I_3 = \sqrt{\frac{\mathcal{E} - U_D}{\mathcal{E}}} \cdot I_0$ (ВАХ лампы)

По I правилу Кирхгофа $I_D = I_1 + I_3 = \frac{2\mathcal{E} - U_D}{R} + I_0\sqrt{\frac{\mathcal{E} - U_D}{\mathcal{E}}}$

Для точного определения I_D и U_D необходимо построить график функции $I_D(U_D)$ в приведённой системе координат и найти точку его пересечения с графиком ВАХ диода.

$$I_D = \frac{2 - \frac{U_D}{5}}{20} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \frac{U_D}{5}}$$ +

Потребляемая диодом мощность равна

$$P = I_D U_D =$$

Ответ: $P \approx$?

Задание 4

Вопрос: Оптическая сила тонкой линзы помещённой в однородную среду может быть найдена по формуле $D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$, где R_1, R_2 – радиусы её сферических поверхностей, n – ~~от~~ относительный показатель преломления в-ва линзы относительно среды. При помещении поэтому линзы в оптически более плотную среду её оптическая сила

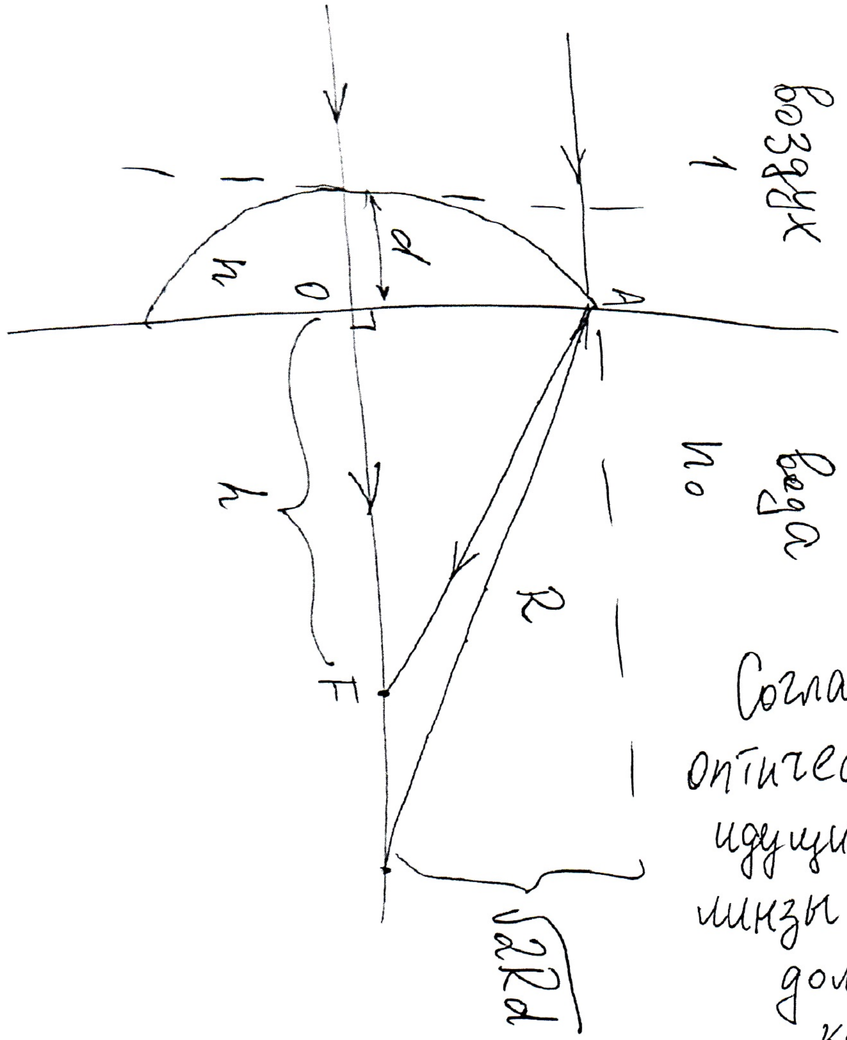
Чистовик:

будет уменьшаться вместе с n

Ответ. уменьшится

Задача: $R_1 = R$; $R_2 \to \infty$ Поэтому в воздухе

$D = \frac{n-1}{R}$, где n - абсолютный показ-ль преломления в-ва линзы



$OA = \sqrt{R^2 - (R-d)^2} =$

$= \sqrt{d(2R-d)} \approx \sqrt{2Rd}$

(т.к. $d \ll R$)

Согласно принципу Ферма оптические длины лучей идущих через центр линзы и её край должны быть одинаковы.

Так как оба луча параксиальны они пересекутся в фокусе (см. рис.)

Тогда

$$nd + n_0 h = d + n_0\sqrt{h^2 + 2Rd}, \quad \text{т.к. } d \ll R$$

$$\underbrace{nd + n_0 h}_{\text{оптич. длина луча, идущего через центр}} \approx \left.d + n_0 h\left(1 + \frac{Rd}{h^2}\right)\right\} \text{оптич. длина луча, идущего через край}$$

5

Чистовик:

$$nd = d + n_0 \frac{Rd}{h} \Rightarrow n_0 = (n-1)\frac{h}{R} = Dh =$$
$$= 7 \cdot 0{,}2 = 1{,}4$$

Ответ: 1,4

+

Задание 2

Вопрос: Температура в МКТ понимается как средняя мера ~~хаотического~~ кинетической энергии хаотического движения молекул, что выражается соотношением

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT;$$

В абсолютной шкале температура измеряется в Кельвинах. За 0 К принята температура при которой молекулы в-ва полностью прекращают движение.

±

Задача: В данном процессе согласно графику

$$\rho(T) = -\frac{\rho_0}{T_0}\cdot T + 6\rho_0$$

Согласно ур-ию Менделеева-Клапейрона для постоянной массы гелия.

$$p(T) = \frac{\rho(T)}{M}RT = \frac{R}{M}\left(-\frac{\rho_0}{T_0}\cdot T^2 + 6\rho_0 T\right)$$

Эта зависимость квадратичная. Она имеет максимум в точке $3T_0$, (газ действительно пребывает в этом состоянии), т.е.

Чистовик:

$$P_{max} = p(3T_0) = \frac{R}{M}\left(-9\rho_0 T_0 + 18\rho_0 T_0\right) = 9\cdot\frac{\rho_0}{M}RT_0$$

Минимум, как легко видеть, достигается в точке 1 или 2. (функция монотонно возрастает на отрезке $(T_0; 3T_0)$ и монотонно убывает на отрезке $(3T_0; 4T_0)$)

$$p(T_0) = \frac{R}{M}\left(-\rho_0 T_0 + 6\rho_0 T_0\right) = 5\cdot\frac{\rho_0}{M}RT_0;$$

$$p(4T_0) = \frac{R}{M}\left(-16\rho_0 T_0 + 24\rho_0 T_0\right) = 8\frac{\rho_0}{M}RT_0;$$

$p(T_0) < p(4T_0)$ поэтому $p_{min} = p(T_0)$,

а искомое отношение равно:

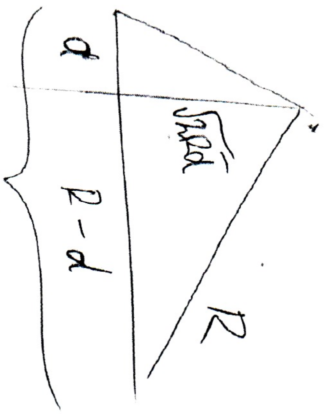
$$\frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{9}{5} = 1{,}8$$

+

Ответ: в 1,8 раз

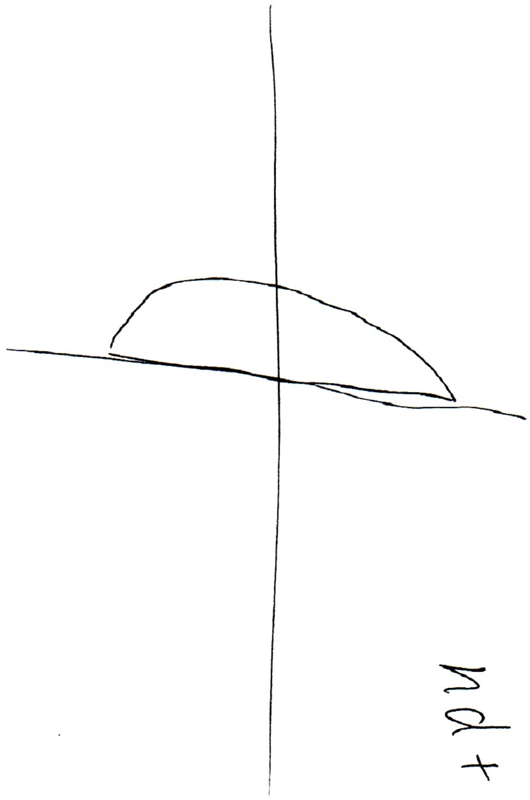
Черновик:

$$\frac{1}{10} - \frac{49}{100} + \frac{1}{2} - \frac{49}{20}$$



$$\frac{6}{10} \quad \frac{3}{5} -$$

$$\frac{1}{\sqrt{5}} + 0,09$$



$\cancel{d}$

$$\begin{array}{r} 23 \\ \times\, 23 \\ \hline 69 \\ 46 \\ \hline 529 \end{array}$$

$\sqrt{2Rd}$

$$\frac{2,3}{5}$$

230 50

$hd + h_0 h' =$

$= d + h_0 \sqrt{h^2 + 2Rd}$

8

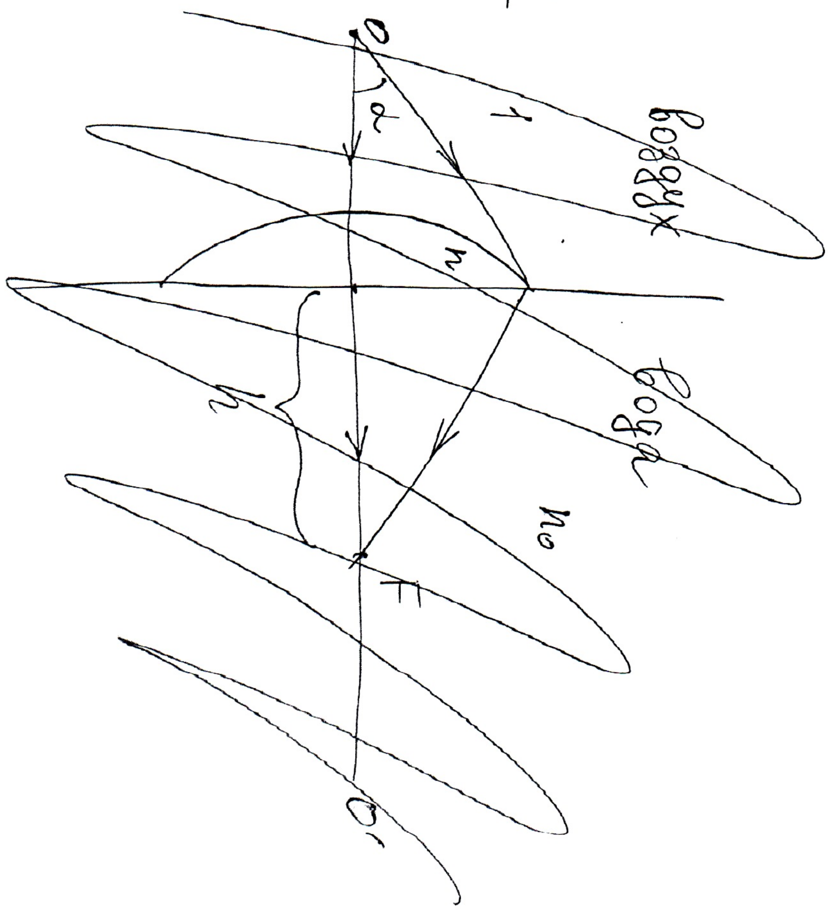
Черновик:

будет уменьшаться вместе с n.

Ответ: уменьшится.

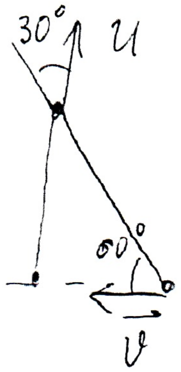
Задача:

$R_1 = R$; $R_2 \to \infty$ Поэтому в воздухе $D = \frac{n-1}{R}$, где n – абсолютный показатель преломления в-ва линзы.



$\frac{a_0}{2}$ $1 + 3 + 2\sqrt{2}$

Черновик



$$u\cos 30^\circ = v\cos 60^\circ$$

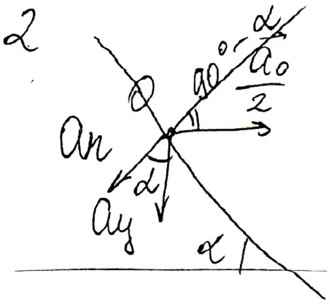
$$u = v\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{\sqrt{3}} = v\frac{\sqrt{3}}{3}$$

$\frac{10\sqrt{3}}{6}$ $\qquad$ $\frac{17}{6}$

$$\begin{array}{r|l} 17 & 6 \\ -12 & 2{,}8 \\ \hline 50 & \\ 48 & \\ \hline 2 & \end{array}$$

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

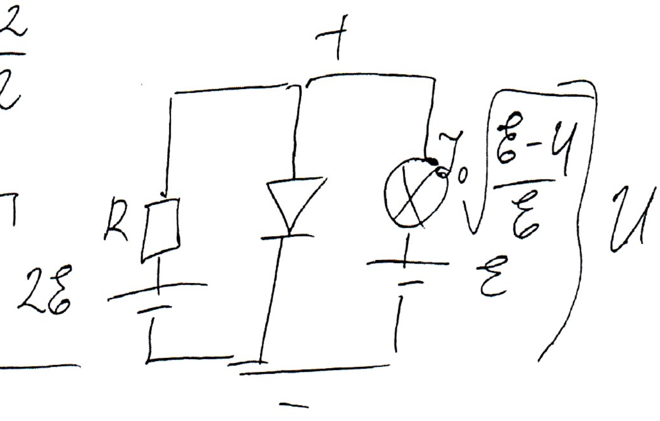
$$\frac{a_0 \cdot \frac{L}{2a_0}}{2}$$



$$I = I_0\sqrt{\frac{U}{\mathcal{E}}}$$

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

$$I_D = \frac{2\mathcal{E} - U}{R} + I_0\sqrt{\frac{\mathcal{E}-U}{\mathcal{E}}}$$



$$\frac{2-x}{20} + 0{,}5\sqrt{1-x}$$