



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

## **ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

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

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Панкин Алексей Васильевич**

Класс: **11**

Технический балл: **85**

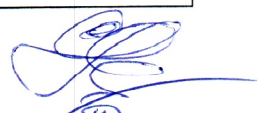
Дата проведения: **24 марта 2022 года**

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

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <b>ШИФР РАБОТЫ</b> | <b>1830326</b> |
|--------------------|----------------|

Результаты проверки:

|          | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Σ</b> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>В</b> | 5        | 3        | 5        | 3        | 85       |
| <b>З</b> | 10       | 20       | 19       | 20       |          |

Маркова Светлана Николаевна   
Виньцова Юлия Александровна 

**ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА:85**

Исходные

113 13

## Задание 1

Вопрос:

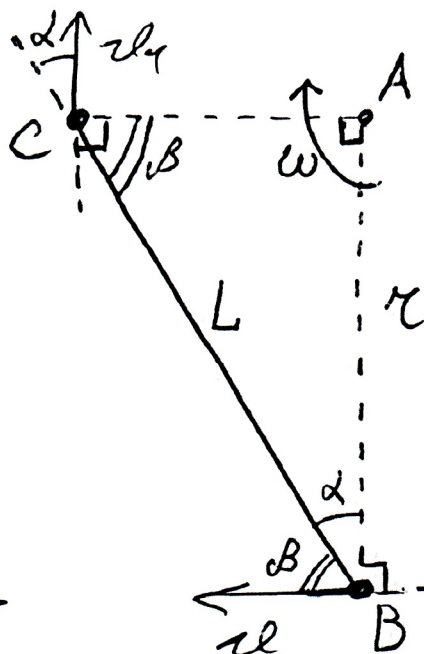
 $\omega - ?$ 

$$L = 60 \text{ см}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$v = 4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



Не ограничивая общности, пусть рисунок выглядит так.

A - мгновенный центр вращения, который лежит на пересечении перпендикуляров к сторонам. Поскольку  $\alpha + \beta = 90^\circ$ , то  $\triangle ABC$  - прямоугольный с гипотенузой L.

Получено из условий жесткости стержня.

~~или~~

$$v = \omega r \Leftrightarrow$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{v}{L \cos \alpha} = \frac{4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0,6 \text{ м} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{5}{\sqrt{3}} \text{ с}^{-1}$$

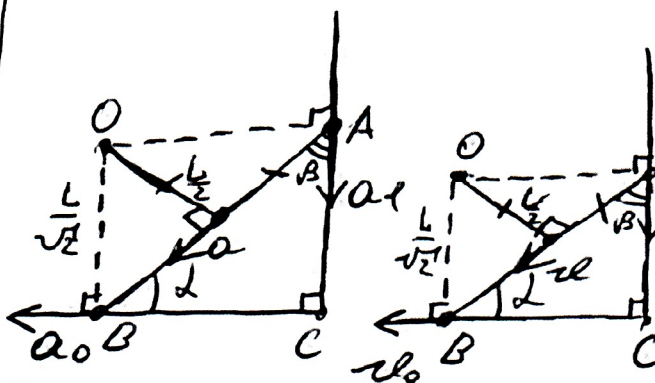
Ответ:  $\omega = \frac{v}{L \cos \alpha} = \frac{5}{\sqrt{3}} \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega$  направлена по часовой стр.

Задача:

 $\vec{v} - ?$ ;  $\vec{a} - ?$  $a_0$ 

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

$$\alpha = 45^\circ$$



Поскольку стержень жесткий, то  $a_0 \cos \alpha = a_1 \cos \beta$   
 $v_0 \cos \alpha = v_1 \cos \beta$   
 Т.к.  $\alpha = 45^\circ$ , то  $\beta = 45^\circ$   
 и  $v_0 = v_1$  и  $a_0 = a_1$   
 Т.к.  $a_0 = \text{const}$ , то  
 $v_0 = a_0 t$   $a_1 = \frac{v_1}{t}$

O - мгновенный центр вращения.  $a_0 = \frac{v_0}{t}$ ,  $a_1 = \frac{v_1}{t} =$   
 $= a_0 \frac{\sqrt{2}}{2}$ ;  $v_0 = \frac{a_0 L}{\sqrt{2}}$ ,  $v = \frac{v_0 L}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} v_0 = \frac{\sqrt{2}}{2} a_0 t = \frac{1}{2} \sqrt{a_0 L}$

Ответ:  $|\vec{v}| = \frac{1}{2} \sqrt{a_0 L}$ ;  $|\vec{a}| = a_0 \frac{\sqrt{2}}{2}$ ; направлены по стержню к центру.



# Умножение

## Задача 2

2 13 9

Вопрос:

Температура с точки зрения колебательно-кинетической теории является мерой средней кинетической энергии молекул вещества. Абсолютная шкала температур является шкалой Гельсина, где 0 К является абсолютным нулем, достигание которого невозможно и при котором молекулы вещества прекращают движение, а  $273 \text{ K}$  является  $0^\circ \text{C}$ , чтобы перевести из Цельсия в Гельсина или наоборот можно воспользоваться следующей формулой:  $T_K = 273 + t_C$

Задача:

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = ?$$

$$\frac{P}{P_0} \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

$$V = \text{const}$$

$$PV = \nu RT = \frac{M}{\mu} RT \Rightarrow P = \frac{M}{V} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot RT = \frac{\rho}{\mu} RT$$

$$= \frac{\rho}{\mu} PT. \quad P_{\max}: PT \rightarrow \max; \quad P_{\min}: PT \rightarrow \min.$$

или  $\gamma = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad x = \frac{T}{T_0}$

$P_{\max}: xy \rightarrow \max; \quad P_{\min}: xy \rightarrow \min.$

Поскольку масса  $\rho(x)$  и  $T(x)$ , то максимум  $xy$  лежит на пересечении функций из  $(0;0)$  и  $\gamma(x)$ , максимум  $xy$  лежит на наибольшем удалении от максимума. Это следует из свойств графика.

$$(xy)_{\max} = 9, \quad (xy)_{\min} = 5$$

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{9}{5}$$

Ответ:  $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{9}{5}$



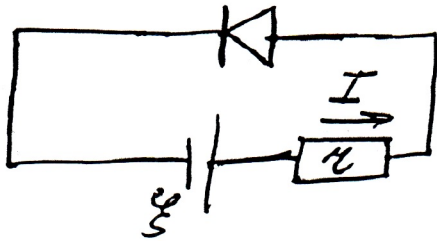
# Числовик

## Задача 3

3 V3 9

Вопрос:

$I_1$  - ?  
 $\xi = 4 \text{ В}$   
 $r = 4 \Omega$   
 $I(u)$



II-й з-н Кирхгофа:

$$\xi = I r + U(I)$$

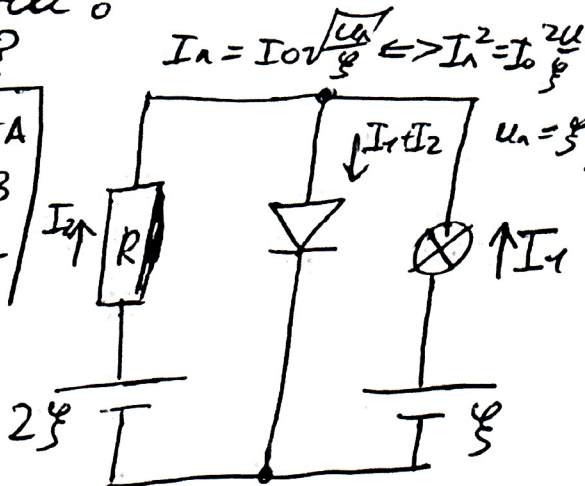
$$I = \frac{\xi}{r} - \frac{U}{r} \Leftrightarrow$$

$\Leftrightarrow I(u) = \frac{\xi}{r} - \frac{u}{r}$  - найдём на графике  $I(u)$  точку, удовлетворяющую данному уравнению. Заметим, что такая точка только одна:  $(1,5 \text{ В}; 0,6 \text{ А}) \Rightarrow I_1 = 0,6 \text{ А}$

Ответ:  $I_1 = 0,6 \text{ А}$

Задача:

$N_0$  - ?  
 $I_0 = 0,5 \text{ А}$   
 $\xi = 5 \text{ В}$   
 $R = 20 \Omega$   
 $I(u)$



II-й з-н Кирхгофа:

$$\begin{cases} \xi = U_d(I_1) + U_0(I_1 + I_2) \\ \xi = I_2 R - U_d(I_1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \xi = I_2 R - \xi \frac{I_1^2}{I_0^2} \\ \xi = \xi \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_0(I_1 + I_2) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{\xi}{R} \left( 1 + \frac{I_1^2}{I_0^2} \right)$$

$$\xi = \xi \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_0 \left( I_1 + \frac{\xi}{R} \left( 1 + \frac{I_1^2}{I_0^2} \right) \right); t = I_1 + \frac{\xi}{R} \left( 1 + \frac{I_1^2}{I_0^2} \right) \Rightarrow I_1 = \sqrt{t} - \frac{t}{2}$$

$$\xi = \xi \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_0(t) \Rightarrow U_0(t) = 20(\sqrt{t} - t), \text{ где } t - \text{ток через диод.}$$

Проверим, что мы удовлетворяем уравнению. Найдем минимальное  $t = 0,81 \text{ А} \Rightarrow N_0 = 1,44 \text{ Вт}$

Ответ:  $N_0 = 1,44 \text{ Вт}$

## Задача 4

Вопрос:

$D = 2(n_n - n_{cp})$ , где  $2$  - некоторый постоянный разрывный коэффициент,  $n_n$  - показатель преломления линзы,  $n_{cp}$  - показатель преломления среды вокруг.

$$D_1 = 2(n_n - n_B) ; D_2 = 2(n_n - n_{ax}) ; D_1 - D_2 = \frac{D_2}{D_1} = \frac{n_n - n_{ax}}{n_n - n_B}$$

$$n_{ax} > n_B \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} < 1$$

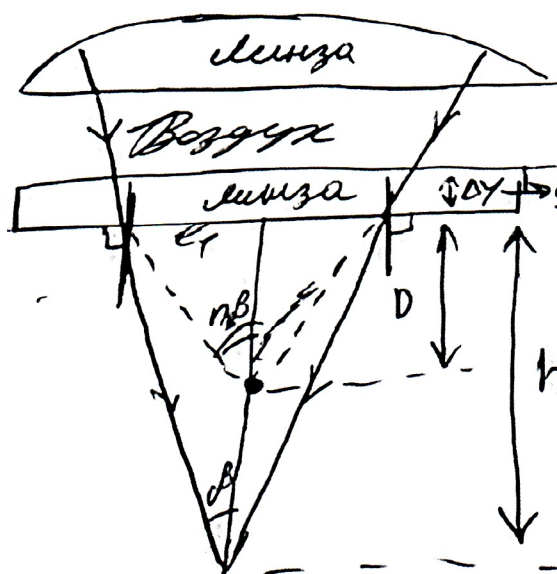
Ответ: уменьшится.

## Задача

$$\frac{n_B - ?}{h = 20 \text{ см}}$$

$$D = 7,4 \text{ мтр}$$

Круговые



Отрезок между линзами равен  $\Delta x \rightarrow 0$

$$\beta, \alpha \rightarrow 0$$

$$n_B \sin \alpha = \sin \beta$$

$$n_B \beta = \alpha$$

$$\frac{\alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{D} ; \frac{\alpha}{\sin \beta} = h ; \frac{\alpha}{n_B \beta} = \frac{1}{D} ; \frac{\alpha}{\beta} = h$$

$$hD = n_B = 0,2 \cdot 7 = 1,4$$

Ответ:  $n_B = hD = 1,4$

перелом

5 из 9

$$n_{\text{ж}} > n_{\text{в}}$$

$$D = 2(n_{\text{ж}} - n_{\text{в}})$$

$$\frac{h}{F} = n_{\text{в}}$$

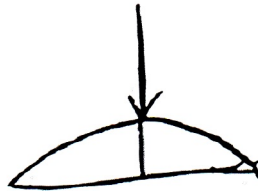
$$hD = n_{\text{в}}$$



$$0,2 \cdot 7 = 1,4$$

$$\frac{1,4}{7} = 0,2 \text{ см.}$$

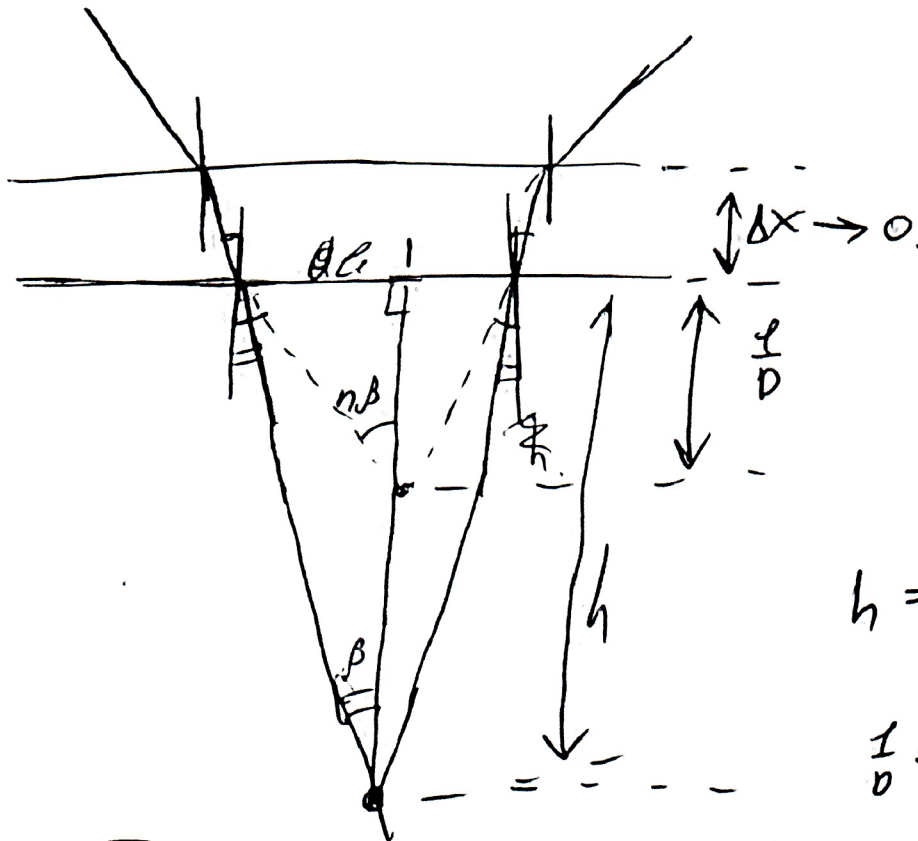
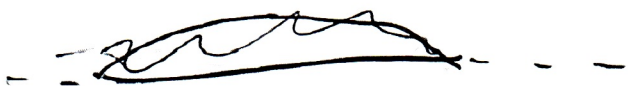
$$F = \frac{1}{D}$$



$$D = 7,4 \text{ мтр.}$$

$$\frac{h}{n_{\text{в}}} = h_{\text{р.}}$$

$$\frac{20}{14,3}$$



$$l = n_{\text{в}}$$

$$h = \frac{l_{\gamma}}{\sin \beta} = \frac{l_{\gamma}}{\beta}$$

$$\frac{1}{D} = \frac{l_{\gamma}}{\sin \alpha} = \frac{l_{\gamma}}{n_{\text{в}}}$$

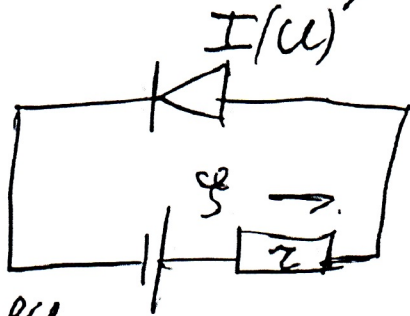
$$\frac{n}{D} = \frac{l_{\gamma}}{\beta} = h.$$

$$h = hD$$



Упроблема

6.13.9



$$\mathcal{E} = I\mathcal{E} + U(I_r)$$

$$\frac{\mathcal{E} - U(I_r)}{r} = I_c$$

$$I(u) = 2u^2 + \beta u$$

$$I = 2I \quad \beta = \frac{\mathcal{E}}{2} - 22$$

$$\frac{\mathcal{E} - U(I_r)}{r} = I_c(u)$$

$$0,6 = 2 \cdot 2,25 + 1,5\beta \quad 0,6 = 2,25\beta + \frac{3}{4} - 32$$

$$r = 42 + 2\beta$$

$$I_c = \frac{\mathcal{E}}{r} - \frac{U}{r} \quad 0,6 = -0,75 + \frac{3}{4} \quad U(I_r) = \mathcal{E} - I_r r$$

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{2}{5} = \frac{5-4}{10} = \frac{1}{10}$$

$$\mathcal{E} = 4B, r = 40 \Omega$$

$$U = 4B, \beta = 0,1, \lambda = 0,2$$

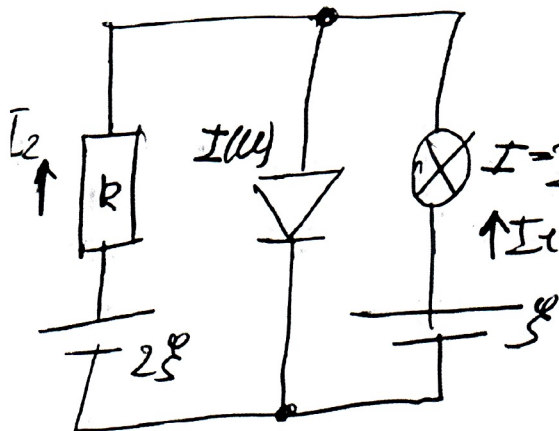
$$I_c = 1A - \frac{U}{40 \Omega} \quad \begin{matrix} 1,25 \\ 1,25 \end{matrix}$$

$$I(u) = 0,2u^2 + 0,1u$$

$$0,4 = 0,2 \cdot 0,0$$

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U}{\mathcal{E}}}; I_0 = 0,5A; \mathcal{E} = 5B; I(u)/R = 0,2$$

$$I^2 = I_0^2 \frac{U}{\mathcal{E}} \Leftrightarrow U = \mathcal{E} \frac{I^2}{I_0^2} = 0,1 \cdot \frac{15}{8} = 1,875$$



$$\mathcal{E} = U_c(I_1) + U_d(I_1)$$

$$\mathcal{E} = U_c(I_1) + U_d(I_1 + I_2)$$

$$\mathcal{E} = I_2 R - U_c(I_1)$$

$$\mathcal{E} = I_2 R - \mathcal{E} \frac{I_1^2}{I_0^2}$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{I_1^2}{I_0^2}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_d(I_1 + I_2)$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_d(I_1 + \frac{\mathcal{E}}{R} (1 + \frac{I_1^2}{I_0^2}))$$

Упроблек 7 43 9

$$v_0 = a_0 t = \sqrt{\frac{a_0 L}{2}}$$

$$v_0 = \frac{1}{2} \sqrt{a_0 L}$$

Задача 2

Температура с точки зрения калейдоскопа представляет собой среднюю кинетическую энергию молекул вещества. Абсолютной шкалой температур является шкала Кельвина, где 0 К является абсолютным нулем, достижение которого невозможно и при котором все молекулы прекращают движение, а  $\approx 273,15$  К является 0°C, т.е. все превращается из кельвинов в градусы Цельсия и наоборот можно воспользоваться следующим соотношением:  $T_c = 273,15 + T_k$

$\gamma = \text{const, Me}$

$$PV = \nu RT = \frac{M}{\mu} RT \Rightarrow P = \frac{M}{V} \cdot \frac{1}{\mu} RT$$

$$= \frac{\rho}{\mu} RT$$

9.

$$\rho = \rho_0 T \cdot \frac{R}{\mu} = \rho_0 T \cdot 2.$$

$y = kx + b.$

$\rho \cdot T \rightarrow \max \parallel \rho \cdot T \rightarrow \min.$

$$\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} = \frac{9}{5}$$

Упрощен

ЛУЗ 9

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_0 \left( I_1 + \frac{\mathcal{E}}{R} \left( 1 + \frac{I_1^2}{I_0^2} \right) \right)$$

$$I_1 + \frac{\mathcal{E}}{R} \left( 1 + \frac{I_1^2}{I_0^2} \right) = t.$$

$$I_1 + \frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{\mathcal{E}}{R I_0^2} I_1^2 - t = 0$$

$$\frac{\mathcal{E}}{R I_0^2} I_1^2 + I_1 + \left( \frac{\mathcal{E}}{R} - t \right) = 0 \quad \frac{5}{20 \cdot 0.125} \quad \frac{1}{4} \cdot 4$$

$$\text{D} = \text{D}$$

$$I_1^2 + I_1 + \left( \frac{1}{4} - t \right) = 0. \quad \text{BCD} \neq \text{CU}.$$

$$I_1 = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 1 + 4t}}{2} = \frac{2\sqrt{t} - 1}{2} = \sqrt{t} - \frac{1}{2} \quad \begin{matrix} 0.03 \\ 0.3 \cdot 0.3 \end{matrix}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} \frac{I_1^2}{I_0^2} + U_0(t)$$

$$0.5 \cdot 0.5 \quad 0.2 \cdot 0.2$$

$$U = 20\sqrt{t} - 20t \quad \begin{matrix} 0.7 \cdot 0.7 & 0.04 \\ 0.5 & 0.8 \cdot 0.8 \\ 0.64 \end{matrix}$$

$$5 = 5 \cdot \frac{t - \sqrt{t} + \frac{1}{4}}{0.125} + U_0(t)$$

$$U = 20\sqrt{t} - 20t \quad \begin{matrix} t = 0.64 \\ 0.8 - 0.64 \\ 0.16 \cdot 20 \\ 3.2 \cdot B. \end{matrix}$$

$$5 = 5 (4t - 4\sqrt{t} + 1) + U_0(t)$$

$$0.7 - 0.5$$

$$0.2 \cdot 20$$

$$4 \cdot B$$

$$I_0^2 = I_1^2 + I_0^2 \frac{U_0(t)}{\mathcal{E}}$$

$$6.84 A$$

$$0.9 \cdot 0.9 = 0.81 B$$

$$0.09 \cdot 20$$

$$0.9 \cdot 2 = 1.8 \cdot B.$$

$$I_1^2 = I_0^2 \left( 1 - \frac{U_0(t)}{\mathcal{E}} \right) \quad 0.81 \cdot 1.8 =$$

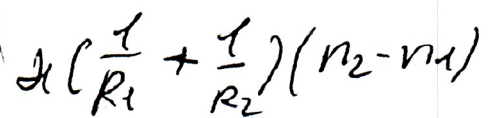
$$t - \sqrt{t} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} - \frac{U_0(t)}{\mathcal{E}} = \frac{1}{2} - \frac{U_0(t)}{\mathcal{E}}$$

$$0.8 \cdot 1.8 = \frac{2^3 \cdot 9 \cdot 2}{1.04} \cdot \frac{2^4 \cdot 20}{2^4 \cdot 32} \cdot \frac{6.21^2 \cdot 3^2}{2}$$

$$1.44 B_T$$



9 VB 9



$$D = 2(n_2 - n_1)$$

$$\omega_{r2} = \omega$$

$$w = \frac{r}{r_2} = \frac{r}{L \sin \beta}$$

$$= \frac{2\ell}{L\sqrt{3}} = \frac{3}{6 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} e^{-\ell}$$

$$= \frac{5}{\sqrt{3}} e^{-t}$$



$$v_{\text{low}} = v_y \cos(90^\circ - 2)$$

$$Q \Rightarrow v_0 = -v_1 = a_{\text{rot}}$$

$$a_0 = a_1$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} v_0 = v_1$$

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