

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

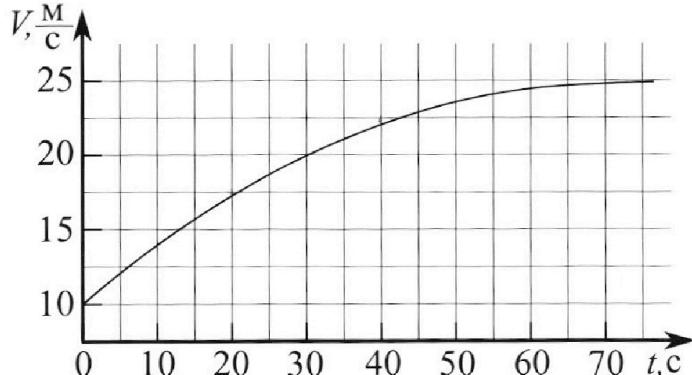
## Вариант 11-01

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Автомобиль массой  $m = 1800$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна  $F_k = 500$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.

- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости  $V_1 = 20$  м/с.
- 2) Найти силу тяги  $F_1$  при скорости  $V_1$ .
- 3) Какая мощность  $P_1$  передается от двигателя на ведущие колеса при скорости  $V_1$ ?

Требуемая точность числе нного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.



Математическое решение:

$$V = \frac{1}{2} k t^2 + V_0$$

$$V_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$k = \frac{1}{2} \cdot \frac{25 - 10}{70^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{15}{4900} = \frac{15}{9800} \text{ м/с}^2$$

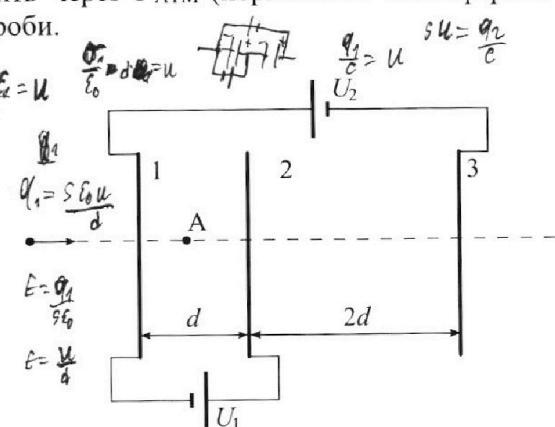
$$V = \frac{15}{9800} t^2 + 10$$

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 5T_0/4 = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $v$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kp v$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$  моль/(м<sup>3</sup>·Па). При конечной температуре  $T$  углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что  $k = k_{RT}$ , где  $R$  - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите начальное давление в сосуде  $P_0$ . Ответ выразить через  $P_{\text{атм}}$  (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях  $d$  и  $2d$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = U$  и  $U_2 = 4U$ . Частица массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость  $V_0$  на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд  $q$  намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $d/3$  от сетки 1.

**Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023**

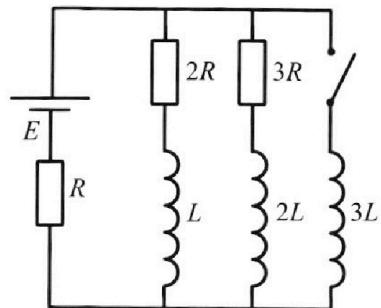
**Вариант 11-01**

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

**4.** Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

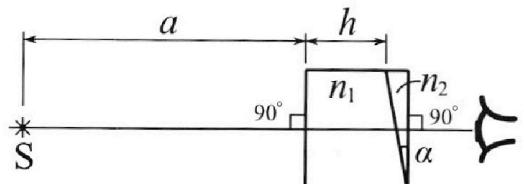
- 1) Найти ток  $I_{10}$  через резистор с сопротивлением  $2R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $3L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $2R$  при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



**5.** Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  и находится в воздухе с показателем преломления  $n_b = 1,0$ . Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии  $a = 194$  см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  радиан можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_b = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая  $n_1 = 1,5$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



Handwritten calculations for question 5:

Given:  $n_b = 1,0$ ,  $n_1 = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ ,  $a = 194$  cm,  $h = 9$  cm,  $\alpha = 0,1$  rad.

1) Angle of deviation  $\delta$ :

$$\delta = A - \alpha n^2$$

$$\delta = 0,1421 - 0,1 \cdot 1,7^2$$

$$\delta = 0,1421 - 0,49$$

$$\delta = 0,0421$$

$$\frac{\delta}{h} = \frac{A}{n_1}$$

$$\frac{0,0421}{9} = \frac{0,1421}{1,5}$$

$$0,00467 = 0,09473$$

$$\frac{0,00467}{0,09473} = \frac{0,0421}{0,1421}$$

$$0,0499 = 0,2857$$

$$\delta = 0,2857 \text{ rad}$$

$$\delta = 16,68^\circ$$

2) Distance between source and image  $s$ :

$$s = \frac{a}{n_2 - 1} = \frac{194}{1,7 - 1} = 323 \text{ cm}$$

3) Image distance  $s'$ :

$$s' = \frac{s}{n_1} = \frac{323}{1,5} = 215 \text{ cm}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1) *ysbelgevill* *Kelametlasyro* K. ~~1990~~ (30 c; 20 m/10) <sup>N1</sup> <sup>yalomnik, "ums"</sup> <sup>ysbelgevill</sup> *Kelametlasyr* *ysbelgevill* *ysbelgevill*

$$\text{mehr Wärme } (20\text{C}; 17,5 \text{W/c}) \text{ u. } (40\text{C}; 27,5 \text{W/c}) \Rightarrow K_1 = \frac{dV}{dt} = Q_1 \\ \text{Korrig. Korrektur} \quad Q_1 = \frac{(27,5 - 17,5) \text{W/C}}{(40 - 20) \text{C}} = \frac{5}{20} \text{W/C}^2 = 0,25 \text{W/C}^2$$

2)  ~~$F = m \cdot a$~~   ~~$F_1 = m \cdot a_1 = 1800 \cdot 0,2511 = 4519 N$~~

$$2) F_c = \frac{c}{d} V \quad \text{zulässig, } \text{max } V = 25 \mu\text{s} - \text{max defizitärer } \eta \text{ definiert} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_k = 2 \cdot 25 \frac{N}{m} \quad d = \frac{500H}{25 \frac{N}{m}} = 20 \frac{m}{N} \quad F_{G1} = 2 \cdot V_1 = 20 \frac{N \cdot m}{m} \cdot 20 \frac{m}{N} = 400 H$$

$$F_1 = F_{c1} + M d_1 = 400 \text{ N} + 1800 \cdot 0.25 \text{ m} = \underline{\underline{850 \text{ N}}}$$

$$F_{G1} = 2V_1 = 20 \frac{mC}{\mu} \cdot 20mC = 400H$$

$$3) \quad \cancel{\frac{dE}{dt} = \frac{d(\frac{mv^2}{2})}{dt}} = \frac{m \cdot 2v \cdot v}{\cancel{dt}} = m v \frac{dv}{dt} = m v \alpha$$

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{d(\frac{1}{2}mv^2 + FcdS)}{dt} = mv\cancel{dv} + 2\cancel{v}ds = mV\alpha + \cancel{\frac{2Vds}{dt}} = mV\alpha + 2V^2$$

$$P_1 = m V_1 \alpha_1 + \alpha V_1^2 = 1800 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s} \cdot 0,28 \text{ m/s}^2 + 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 20^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 9000 \text{ Nm} + 8000 \text{ Nm} = \underline{\underline{17000 \text{ Nm}}}$$

Problem:  $\alpha_1 = 0,25 \text{ m} \cdot \text{c}^2$ ;  $F_1 = 850 \text{ N}$ ;  $P_1 = 14 \text{ kNm}$ .

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

**МФТИ**



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

N 2

1)  $P_0 = P_0 = \frac{V_1 R T_0}{V_2} = \frac{V_1 R T_0}{V_1 + V_2}$   $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2}$   $\frac{V_1}{V_0} = 2$

2)  $V_1 = \frac{11}{20} V$   $T = \frac{5}{4} T_0$   $\frac{P}{P_0} \frac{V}{V_0} = \frac{V_1 R T}{V_1 R T_0}$   $\frac{P}{P_0} \frac{V}{V_0} = \frac{5}{4}$   $P = \frac{25}{8} P_0$

 $V_2 = \frac{9}{20} V$   $P \frac{V}{V_0} = V_2 R T$   $\frac{V_2}{V_1} = \frac{9}{20} > \frac{11}{20}$   $V_2 = \frac{9}{11} V_0$

2)  $V_1 = \frac{11}{20} V$   $P \cdot \frac{11}{20} V = V_1 R T$   $\frac{P}{P_0} \frac{11 V}{20 V} = \frac{V_1 R T}{V_1 R T_0}$   $P = \frac{11}{20} \cdot \frac{5}{4} P_0 = \frac{25}{22} P_0$

 $V_2 = \frac{9}{20} V$   $P \cdot \frac{V}{V_0} = V_2 R T$   $\frac{V_2}{V_1} = \frac{9}{20} < \frac{11}{20}$   $V_2 = \frac{9}{11} V_0$

$\Delta V_2 = K W \cdot (P_0 - P)$

$K = \frac{7}{3} \cdot 10^{-3} \text{ Дж/К}^2 \text{ м}^3 \text{ К}^{-1}$

$R T \approx 3 \cdot 10^3 \text{ Дж/Колл}$

$P_{ATM} = 101325 \text{ Па}$

$P_0 \frac{V_0}{V} = V_0 R T_0 = \frac{K V P_0}{V} R T_0$

$\frac{1}{4} = \frac{K}{V} R T_0$   $K R T = ?$

$\Rightarrow K R T_0 = 2 \Rightarrow K R T = ?$

$P_0 = \frac{16}{5} \frac{V_0 R T}{V}$

$P_0 = \frac{16}{5} \cdot \frac{K P_0 + R T}{V}$

Задача: 2;

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

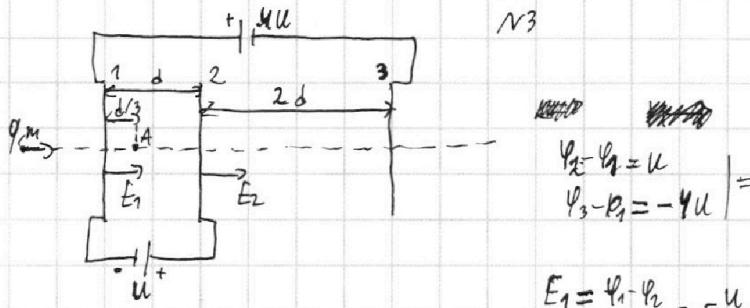
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\begin{aligned} \psi_2 - \psi_1 &= u \\ \psi_3 - \psi_2 &= -4u \end{aligned} \Rightarrow \psi_3 - \psi_1 = -5u$$

$$E_1 = \frac{\psi_1 - \psi_2}{d} = -\frac{u}{d}$$

$$1) ma = F = qE \quad a_1 = q \frac{E_1}{m} = -\frac{qu}{dm} \quad |a_1| = \frac{qu}{dm}$$

$$2) A = \Delta \varphi \cdot q \quad A = \alpha E \quad K_1 - K_2 = q \cdot (-u) = -uq$$

$$3) k_4 = k_1 + A_{1A} = k_1 + qE_1 \cdot \frac{1}{3} = \frac{mV_0^2}{2} + \frac{qd}{3} \cdot \left(-\frac{u}{d}\right) = \frac{mV_0^2}{2} - \frac{qu}{3} = \frac{mV_0^2}{2}$$

$$V_4 = \sqrt{V_0^2 - \frac{2qu}{3m}}$$

$$\text{Ответ: } |a_1| = \frac{qu}{dm}; K_1 - K_2 = -uq; V_4 = \sqrt{V_0^2 - \frac{2qu}{3m}}.$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

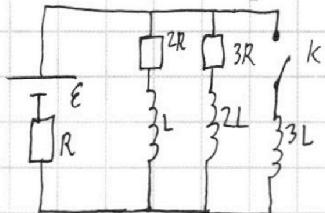
решение которой представлено на странице:

- |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

**МФТИ**



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



№4

$$1) \text{ уставновившися режим } I = \text{const} \Rightarrow U_L = L \cdot \dot{I} = 0$$

$$\begin{cases} E = IR + 0 + 2RI_{10} \\ E = IR + 0 + 3R I_{20} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2I_{10} = 3I_{20} \\ I_{10} + I_{20} = I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{10} = \frac{3}{2}I_{20} \\ I_{20} + \frac{3}{2}I_{20} = I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{10} = \frac{3}{5}I \\ I_{20} = \frac{2}{5}I \end{cases}$$

$$E = IR + 2R I_{10}$$

2) ~~Установившийся режим~~

$$E = IR + 3L \dot{I}_3 \Rightarrow L \dot{I}_3$$

$$\dot{I}_3 = \frac{E}{3L} \quad I_1 = \frac{E}{L}$$

$$2) \begin{cases} I_{20} = \frac{2}{5}I \\ I_{10} = \frac{3}{5}I \end{cases}$$

$$\Rightarrow I_{10} = \frac{E}{R} \cdot \frac{3}{5} = \underline{\underline{}}$$

$$E = R \cdot \frac{3}{5} I_{10} + 2R \cdot I_{10}$$

$$3) E - IR = 2R \cdot I_1 + L \dot{I}_1 = 3R I_2 + 2L \dot{I}_2 = 3L \dot{I}_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

также через резистор <sup>2</sup> перенесем токи при условии:  $I_3 = 0 \Rightarrow I_3 = \text{const} = I \Rightarrow$

$$2) \begin{cases} I = I_3 \\ E = IR \\ I_1 = I_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow E_K = \frac{L I_3^2}{2} = \frac{L E^2}{2R^2} \quad E_A = \frac{L I_{10}^2}{2} + \frac{2L I_{20}^2}{2} = \frac{L E^2 \cdot 9}{R^2 \cdot 121} + L \cdot \frac{4}{9} \cdot \frac{9 E^2}{R^2 \cdot 121} = \frac{L E^2 \cdot 13}{R^2 \cdot 121} = \frac{L E^2 \cdot 13}{R^2 \cdot 242}$$

$$Q = A - \alpha U$$

$$Q_0 + Q_1 + Q_2$$

$$(I^2 R + I_1^2 R + I_2^2 \frac{3}{2} R) dt = \Delta Q E - \frac{L E^2}{2R^2} (1 - \frac{13}{242}) \rightarrow I = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{13}{242} t})$$

$$\Delta Q_1 = n \frac{L E}{R^2}$$

$$\text{Ответ: } I_{10} = \frac{3E}{11R}; \quad I_1 = \frac{E}{3L}; \quad \Delta Q_1 = n \frac{L E}{R^2}.$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



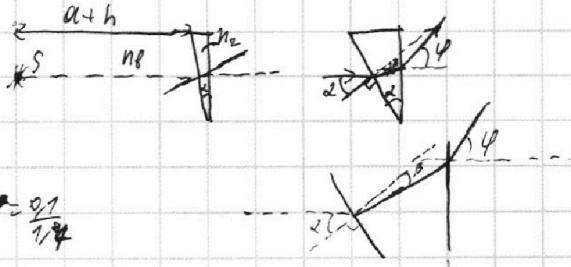
- |                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

N5

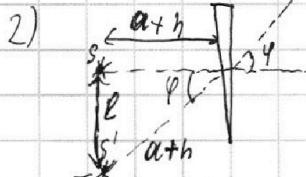
1)  $n_1 = n_2 = n_B \Rightarrow$   $n_1 - n_2$  будем 忽視овать  
забыть на лучах.



$$m.b. \text{ } \alpha \ll 1 \Rightarrow \frac{\alpha}{n_2} \approx \frac{\beta}{n_B} \quad \beta = \frac{2 \cdot 25^\circ}{24^\circ} = \frac{50^\circ}{24^\circ} = \frac{25}{12}$$

$$2, \beta \ll 1 \Rightarrow \frac{\alpha}{n_2} = \frac{\psi}{n_B} \quad \text{[забыли про погрешность]}$$

$$\psi = 24^\circ \cdot \frac{25+21}{2} = \frac{25+21}{2} \cdot 24^\circ = 0,14 \cdot 24^\circ = 0,04$$



2)  $n_1$  оптическая и материальная  $\Rightarrow$  оптический путь не  
изменяется от её материала.  
 $\Rightarrow$  Угломерение будет уменьшено на материальную  
расходимость  $n_1 + n_2$ .

Угломерия  $\cos \varphi$  и расходимость расходимость:

$$\cos \varphi \approx 1 - \frac{\varphi^2}{2}$$

$$l^2 = 2(a+h)^2 - 2(a+h)^2 \cdot \cos \varphi \Rightarrow l = (a+h) \sqrt{2 - 2 \cos \varphi} = (a+h) \cdot \sqrt{\varphi^2}$$

$$l = 0,04 \cdot 2,03 \text{ m} \approx 0,0812 \text{ m} = 8,12 \text{ cm} = 14,21 \text{ cm}$$

$$3) \frac{\alpha^2 - 2^2 \cdot \frac{n_2}{n_1}}{n_2} = \frac{\psi}{n_B} \quad \text{[забыли про погрешность]} \quad \psi = 2^2 \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_1}, \quad l^2 = (a+h)^2 + \left( \frac{a+h}{n_1} \right)^2 - 2(a+h) \left( \frac{a+h}{n_1} \right) \cos \varphi$$

$$l = \sqrt{2,03^2 + \left( 2,94 + \frac{0,09}{2,5} \right)^2} = 2,2,03 \cdot \left( 2,94 + \frac{0,09}{2,5} \right) \cos \varphi \approx \sqrt{2,03^2 + 4 \cdot 8,12 \left( 1 - \frac{49}{750^2} \right)} \text{ m}$$

$$\psi = 0,04 \cdot \frac{0,09}{2,5} = \frac{4}{750} \quad l = \sqrt{8,12 \cdot 0,9999 + \frac{49}{750^2}} \text{ m} = \sqrt{8,12 \cdot 0,9999 + 0,0022} \text{ m} \approx \sqrt{8,12 \cdot 0,9999 + 0,0022} \text{ m}$$

$$l \approx \sqrt{0,0037} \text{ m} = \frac{\sqrt{37}}{100} \text{ m} = \frac{5,5}{100} \text{ m} = 5,5 \text{ cm}$$

Ответ: 0,04; 14,21 см; 5,5 см.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        |
| <input type="checkbox"/> |

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

**МФТИ**



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!