



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

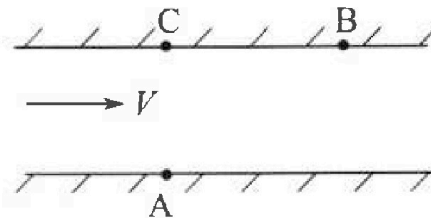
Вариант 09-01

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



1. Пловец трижды переплывает реку. Движение пловца прямолинейное. Скорость пловца в подвижной системе отсчета, связанной с водой, во всех заплывах одинакова по модулю.

В двух первых заплывах А – точка старта, В – точка финиша (см. рис.,  $V$  - неизвестная скорость течения реки). Ширина реки  $AC = d = 70$  м, снос, т.е. расстояние, на которое пловец смещается вдоль реки к моменту достижения противоположного берега,  $CB = L = 240$  м.



Продолжительность первого заплыва  $T_1 = 192$  с, продолжительность второго заплыва  $T_2 = 417$  с.

- 1) Найдите скорости  $V_1$  и  $V_2$  пловца в лабораторной системе отчета в первом и втором заплывах.
  - 2) Найдите скорость  $U$  пловца в подвижной системе отсчета, связанной с водой.
- В третьем заплыве пловец стартует из точки А и движется так, что снос минимальный.
- 3) Найдите продолжительность  $T$  третьего заплыва.

2. Футболист на тренировке наносит удары по мячу, лежащему на горизонтальной площадке и направляет мяч к вертикальной стенке. После абсолютно упругого соударения со стенкой мяч падает на площадку. Наибольшая высота, на которой находится мяч в полете,  $H = 16,2$  м. Расстояние от точки старта до стенки в 5 раз больше расстояния от стенки до точки падения мяча на площадку.

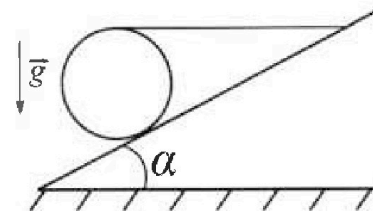
- 1) На какой высоте  $h$  происходит соударение мяча со стенкой?
- 2) Найдите продолжительность  $t_1$  полета мяча от старта до соударения со стенкой.

Допустим, что в момент соударения мяча со стенкой на той же высоте  $h$ , стенка движется навстречу мячу со скоростью  $U = 2$  м/с.

- 3) Найдите расстояние  $d$  между точками падения мяча на площадку в случаях: стенка покоится, стенка движется.

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Соударения мяча со стенкой абсолютно упругие. Траектории мяча лежат в вертикальной плоскости перпендикулярной стенке.

3. Однородный шар массой  $m = 3$  кг удерживается на шероховатой наклонной плоскости горизонтальной нитью, прикрепленной к шару в его наивысшей точке. Наклонная плоскость образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,6$ .



- 1) Найдите силу  $T$  натяжения нити.
- 2) Найдите силу  $F_{тр}$  трения, действующую на шар.
- 3) При каких значениях коэффициента  $\mu$  трения скольжения шар будет находиться в покое? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 09-01



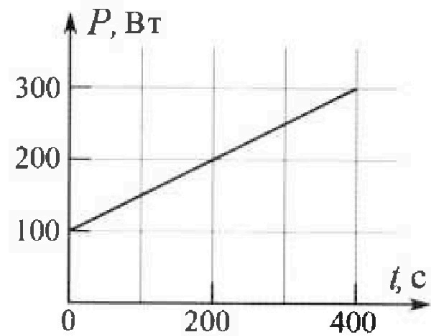
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

4. Воду нагревают на электроплитке. Начальная температура воды  $\bar{t}_0 = 14^\circ\text{C}$ , объем воды  $V = 2$  л. Сопротивление спирали электроплитки  $R = 20$  Ом, сила тока в спирали  $I = 5$  А.

Зависимость мощности  $P$  тепловых потерь от времени  $t$  представлена на графике (см. рис.).

- 1) Найдите мощность  $P_H$  нагревателя.
- 2) Через какое время  $T$  после начала нагревания температура воды станет равной  $\bar{t}_1 = 25^\circ\text{C}$ ?

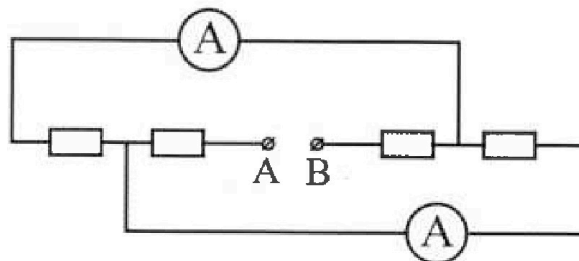
Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·°C).



5. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке, четыре резистора, у двух из которых сопротивление по 20 Ом, у двух других сопротивление по 40 Ом. Сопротивление амперметров пренебрежимо мало.

После подключения к клеммам А и В источника постоянного напряжения показания амперметров оказались различными. Меньшее показание  $I_1 = 1$  А.

- 1) Найдите показание  $I_2$  второго амперметра.
- 2) Найдите напряжение  $U$  источника.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

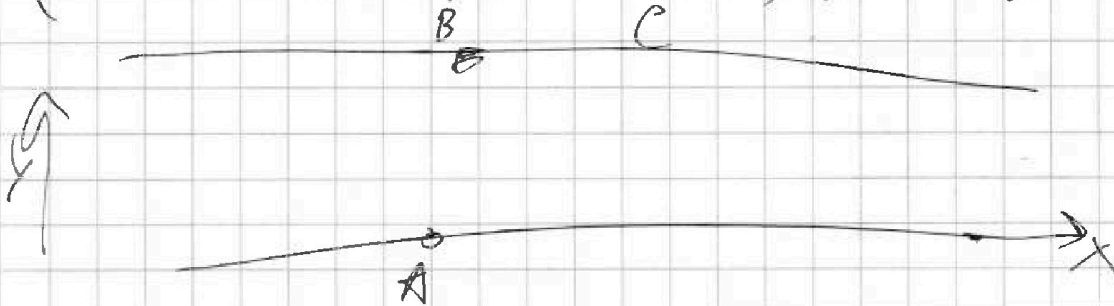
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!

Скорость течения параллельна берегам  
(ответ на вопрос в б87!), тогда



$x \parallel BC$  ;  $y \parallel AB$

$$V_x = V_{ix} - U_{ix} = V_{2x} - U_{2x} \Rightarrow U_{2x} = (V_{2x} - V_{ix}) + U_{ix}$$

$$V_{iy} = U_{iy} ; V_{2y} = U_{2y} \quad \text{м.к.} \quad V_y = 0$$

~~$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} =$$~~

$$U = \sqrt{U_{ix}^2 + U_{iy}^2} = \sqrt{U_{2x}^2 + U_{2y}^2} \Rightarrow$$

$$U_{ix}^2 + V_{iy}^2 = V_{2y}^2 + U_{2x}^2 + (V_{2x} - V_{ix})^2 + 2(V_{2x} - V_{ix})U_{ix}$$

$$U_{ix} = \frac{V_{iy}^2 - V_{2y}^2 - (V_{2x} - V_{ix})^2}{2(V_{2x} - V_{ix})} = \frac{1}{2} \left( (V_1 + V_2) \cdot \frac{d}{L} + (V_1 - V_2) \cdot \frac{L}{\sqrt{d^2 + L^2}} \right)$$

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!

1) Движение прямолинейное:

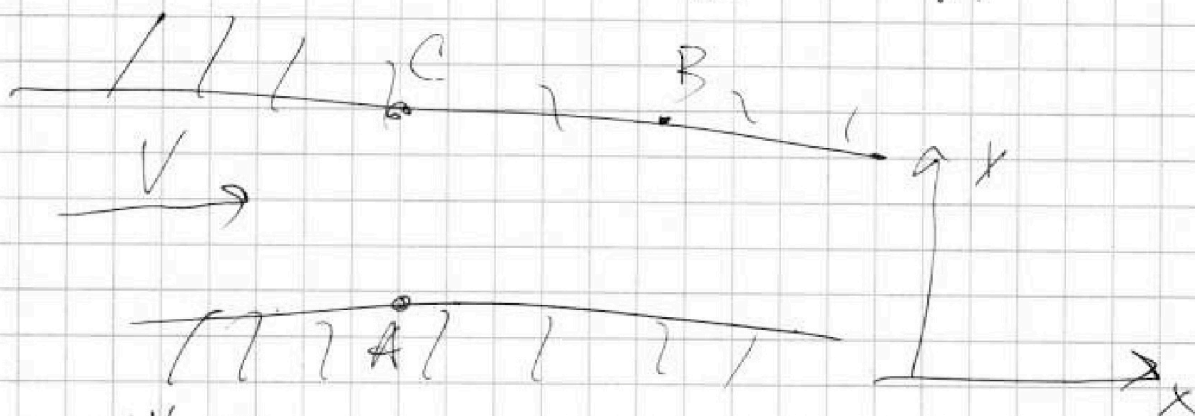
$$\vec{V}_1 = \vec{U} + \vec{V}, \quad \vec{V} = \text{const}; \quad |\vec{U}| = \text{const}$$

$\Rightarrow \vec{U} = \text{const}$  для первого замкнутого м.п.

$\vec{V}_1$  направлена вдоль одной прямой  $\Rightarrow$  движение равномерное

$$V_1 = \frac{AB}{T_1} = \frac{\sqrt{L^2 + d^2}}{T_1} = \frac{125}{96} \text{ м/с}$$

Аналогично:  $V_2 = \frac{\sqrt{L^2 + d^2}}{T_2} = \frac{250}{417} \text{ м/с}$



$x \parallel CB$ ;  $y \parallel AC$

$V_x$  —  $x$ -компонента скорости  $V$ ;

$V_y$  —  $y$ -компонента скорости  $V$ .

~~$$V_x T_1 = V_{1x} T_1 = U_{x1} T_1$$~~

$$V_x = V_{1x} - U_{x1} = V_{2x} - U_{x2}; \quad V_y = V_{2y} - U_{y2} = V_{1y} - U_{y1}$$

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

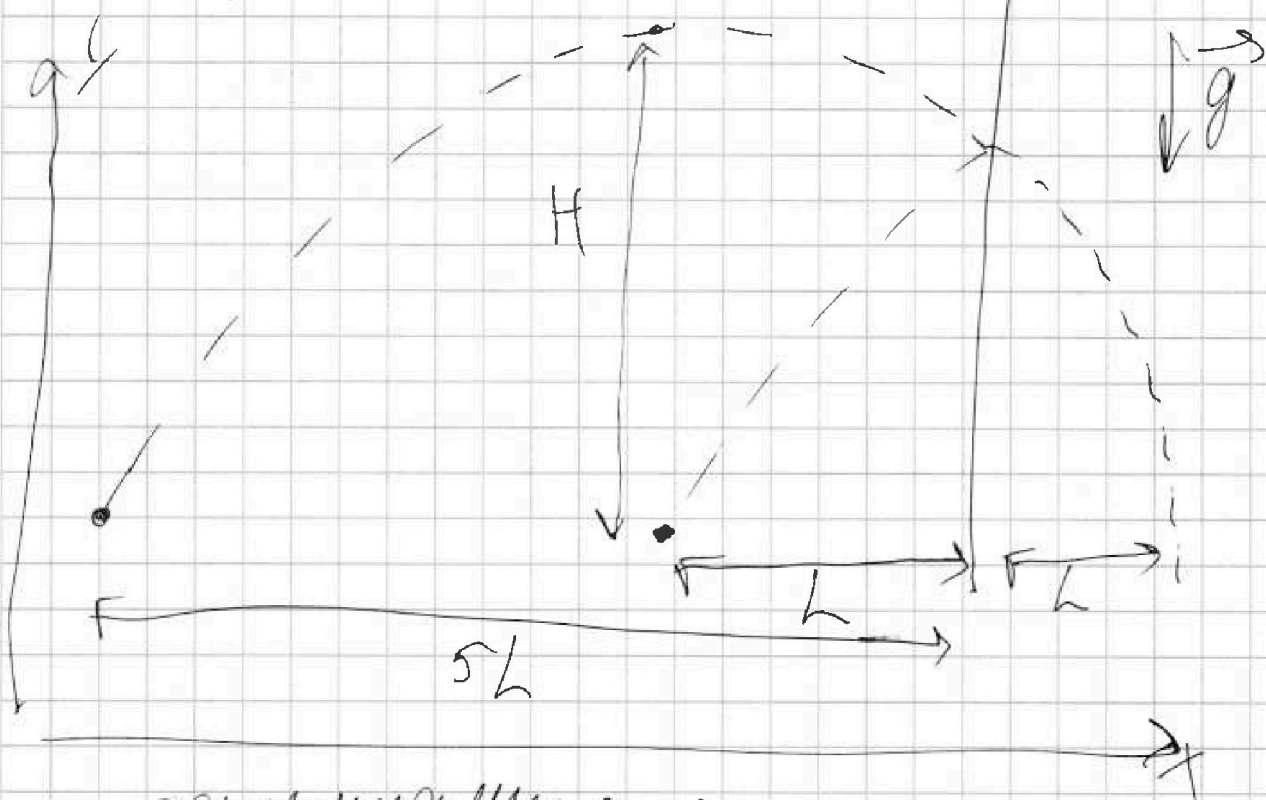
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице.

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!

Даны расстояния от стенки до точки падения  $L$ , тогда от точки старта до стенки  $5L$



$x$  - горизонтальная ось  
 $y$  - вертикальная ось

После упругого соударения  $x$ -компонента скорости меняется на противоположную,  $y$ -компонента не меняется, если бы стенки не было, полёт продолжился бы по параболе, расстояние от старта до падения  $6L$ , тогда вершина траектории от точки старта на  $3L$ .



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"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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!

$$t = \frac{5}{3} \sqrt{\frac{2H}{g}} = 3 \text{ с}$$

Этого времени от соударения до падения равно  $\frac{t}{5} = 0,6 \text{ с}$

Стекла чашечного маятника  $\Rightarrow$  после соударения с мячом она продолжает движение со скоростью  $U$ .

Удар упругий  $\Rightarrow$  в  $\odot$  стекала  $y$ -компонента скорости не изменится.



До удара  $\hat{v}_{0x} = v_x + U$ , после удара  $\hat{v}_{0x} = -v_x - U$  (кинетическая энергия сохраняется), в лабораторной  $\odot$  после удара:  $\hat{v}_{1x} = -v_x - 2U$ , а если бы стекала покоилась, то  $\hat{v}_{2x} = -v_x$ .

Движение стекала не влияет на вертикальное движение, а закончится движение при отрыве вертикальной составляющей  $\Rightarrow$  время до падения не меняется и равно  $\frac{t}{5}$ .

$$\Delta = |\hat{v}_{1x} - \hat{v}_{2x}| \cdot \frac{t}{5} = \frac{2}{5} U t = 2,4 \text{ м}$$

Ответ:  $h = \frac{5}{9} H = 9 \text{ м}$   
 $t = \frac{5}{3} \sqrt{\frac{2H}{g}} = 3 \text{ с}$ ;  $\Delta = \frac{2}{3} U \sqrt{\frac{2H}{g}} = 2,4 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

МФТИ



1  2  3  4  5  6  7

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

Начальная  $y$ -компонента скорости  
равна  $v_y$ ,  $x$ -компонента:  $v_x$ ;  $v_x = \text{const}$   
т.е.  $a_x = 0$ .

$$H = \frac{v_y^2}{2g} \quad ; \quad \text{за время } t_0 = \frac{2L}{v_x} \text{ скорость}$$

по вертикали (проекция изменяется на  $v_x$ );  
в точке  $H$   $v_y = 0$ ; на высоте

$2L$  (около стены) вертикальная скорость (на-  
правлена вниз):  $v_{y1} = v_y \cdot \frac{2L}{3L} = \frac{2}{3} v_y$

Смещение по вертикали (от вершины  
до стены):  $H - h = \frac{(\frac{2}{3}v_y)^2}{2g}$

$$\frac{H-h}{H} = \frac{4}{9} \Rightarrow h = \frac{5}{9} H = 9 \text{ м}$$

Найдём время полёта от вершины до стены:

$$T_x = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} \quad (\text{вертикальная скорость в}$$

вершине была нулевой). Но расстояние ~~от~~  
от стены до стены в  $\frac{5}{2}$  раз больше чем  
от вершины до стены;  $v_x = \text{const} \Rightarrow t = \frac{5}{2} t_x = \frac{5}{2} \sqrt{\frac{8H}{9g}}$

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"/>	<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!

Теперь запишем проекцию сил на ось  $Y$ , перпендикулярно линии движения  $F_{TP}$ :

$$N = mg \cos \alpha + T \sin \alpha = mg \left( \cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{1 + \cos \alpha} \right) = mg = 30 \text{ Н}$$

$$F_{TP} \leq \mu N \quad \text{м.р. шара не соскальзывает} \Rightarrow$$

$$\mu \geq \frac{F_{TP}}{N} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1}{3}$$

$$\text{Ответ: } T = F_{TP} = mg \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = 10 \text{ Н}$$

$$\mu \geq \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1}{3} .$$



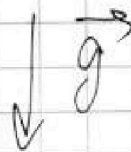
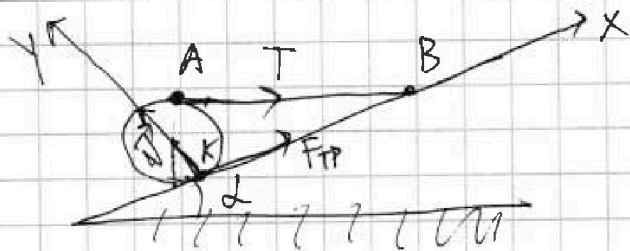
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Поря QR-кода недопустима!



R - радиус шара

A - точка крепления к нити;  
 B - точка крепления нити к наклонной плоскости.  
 A - наивысшая точка шара  $\Rightarrow$  прямая AB горизонтальна и  $\angle ABK = \alpha$ .

K - точка касания шара и наклонной плоскости.

Запишем условия моментов относительно K: шар покоится, а значит моменты силы тяжести и силы натяжения нити уравновешивают друг друга (сила трения и сила нормальной реакции шара приложены в этой точке и дают нулевой момент).

$$mgR \sin \alpha = TR (1 + \cos \alpha)$$

$$T = mg \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} \quad ; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,8$$

т.к.  $\alpha$  - острый угол

$$T = 10 \text{ Н}$$

(ось x перпендикулярна нити, направлена  $\vec{T}$ )

$$\sum F_x = 0$$

$$T \cos \alpha + F_{TPx} = mg \sin \alpha$$

$$F_{TPx} = mg \sin \alpha - T \cos \alpha = 10 \text{ Н} \Rightarrow F_{TP} = mg \sin \alpha \times$$

$$\times \left( 2 - \frac{\cos \alpha}{1 + \cos \alpha} \right) = mg \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = 10 \text{ Н.}$$

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!

1)  $P_H = I^2 R = 500 \text{ Вт}$  - по закону Джоуля-Ленца

2) Выведем функцию зависимости мощности теплоемкостью от времени:

$P(t) = kt + P_0$  , где  $k = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{с}}$ ;  $P_0 = 100 \text{ Вт}$   
из графика

Масса нагреваемой воды:  $m_0 = \rho V$

Уравнение теплообмена:

$$cm_0 (\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0) = P_H T - \int_0^T P(t) dt$$

$$c\rho V (\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0) = I^2 R T - k \frac{T^2}{2} - P_0 T$$

$$\frac{k}{2} T^2 + (P_0 - I^2 R) T + c\rho V (\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0) = 0$$

$$D = (P_0 - I^2 R)^2 - 2k c\rho V (\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0)$$

$$T_{1,2} = \frac{I^2 R - P_0 \pm \sqrt{(P_0 - I^2 R)^2 - 2k c\rho V (\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0)}}{k}$$

$$T_1 = 280 \text{ c}$$

$$; T_2 = 1320 \text{ c} ; \text{ но зависи-}$$

мость на графике представлена для интервала  $T \in [0; 400]$   
значим  $T = 280 \text{ с}$  т.к.  $1320 > 400$ . Ответ:  $P_H = 500 \text{ Вт}$ ;  $T = 280 \text{ с}$ .

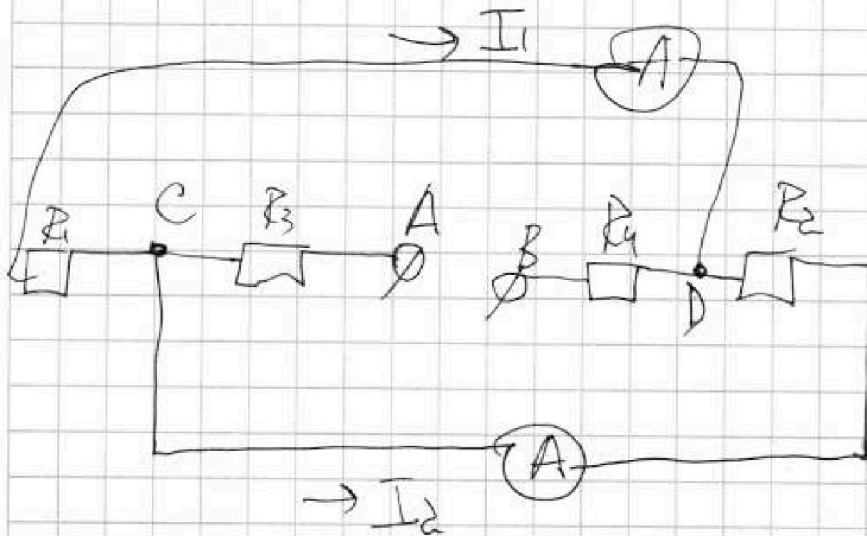
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Напряжение между C и D (отмечены на рисунке):  $U_{CD} = I_1 R_1 = I_2 R_2$ ,  $I_1$  меньше ток,  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} < 1 \Rightarrow R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 40 \text{ Ом}$ ,  $I_2 = I_1 \cdot \frac{40 \text{ Ом}}{20 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}$ ; тогда один из резисторов  $R_3, R_4$  имеет сопротивление 20 Ом, другой 40 Ом.

$$U = U_{AB} = (I_1 + I_2) \cdot (R_3 + R_4) + I_1 R_1 = 220 \text{ В}$$

(Если меньше ток meter через другой амперметр, то  $R_2 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ;  $I_1 = 2 \text{ А}$ ;  $R_3 + R_4 = 60 \text{ Ом}$ ;  $U = 220 \text{ В}$ ).

Ответ:  $I_2 = 2 \text{ А}$ ,  $U = 220 \text{ В}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

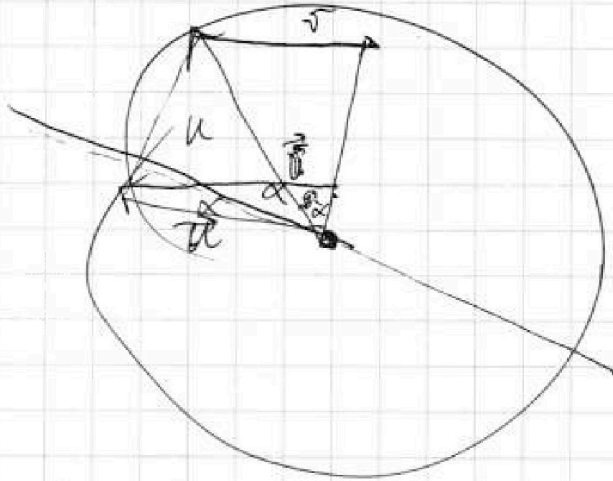
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

 МФТИ



1  2  3  4  5  6  7

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



$$V_2^2 + a^2 - 2ba \cos(\alpha - \beta) = \\ = V_1^2 + a^2 - 2V_1$$

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!

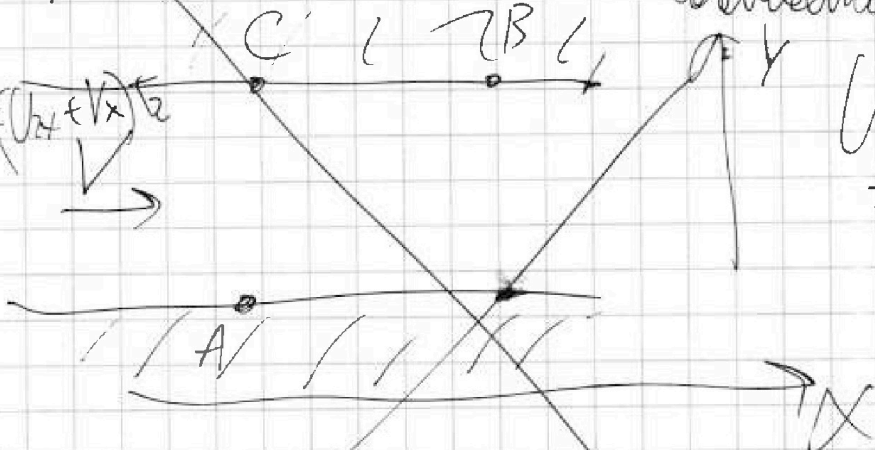
$v_{1x}$  и  $v_{2x}$   
 $v_{1y}$  и  $v_{2y}$

— отрезки времени

x — компоненты скорости  
b1 и 2 — закон сложения скорости

$$(v_{1x} + V) t_1 = (v_{2x} + V) t_2 = L$$

$$v_{1x}^2 - v_{2x}^2 = v_{2y}^2 - v_{1y}^2$$



$$\begin{cases} (v_{1x} + V) t_1 = (v_{2x} + V) t_2 = L \\ v_{1y} t_1 = v_{2y} t_2 = d \end{cases}$$

$$\frac{L^2 (t_2 - t_1)}{t_1 t_2} =$$

$$V_1 = \sqrt{(v_{1x} + V)^2 + v_{1y}^2} = \frac{\sqrt{L^2 + d^2}}{t_1} = \frac{250\text{m}}{1.92\text{s}} = 2(v_{1x} + V_1 d)$$

$$(V_x + U_{1x}) t_1 = L$$

$$(V_x + U_{2x}) t_2 = L$$

$$V_{1x} - V_{2x} = \frac{L(t_1 - t_2)}{t_1 t_2}$$

$$V_{1x}^2 + U_{1y}^2 = U_{1x}^2 + U_{2x}^2$$

$$V_{2x} = (V_x - V_x) + U_{2x}$$

$$V_{2y} = (V_y - V_y) + U_{2y}$$

$$U_{1x}^2 + U_{1y}^2 = \left(\frac{L}{t_2} - \frac{L}{t_1} + U_{2x}\right)^2 + \left(\frac{d}{t_2} - \frac{d}{t_1} + U_{2y}\right)^2$$

$$V_x = \frac{L}{t_1} - U_{1x} = \frac{L}{t_2} - U_{2x}$$

$$\frac{d}{t_1} - U_{1y} = \frac{d}{t_2} - U_{2y} \quad 0 = \frac{L^2 (t_1 - t_2)^2}{t_1^2 t_2^2} + \frac{2U_{1x} L (t_1 - t_2)}{t_1 t_2} + \frac{d^2 (t_1 - t_2)^2}{t_1^2 t_2^2} - \frac{2U_{2y} d (t_1 - t_2)}{t_1 t_2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

МФТИ

- 1  
  2  
  3  
  4  
  5  
  6  
  7

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

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(V_{1x} - U_{x1})^2 + (V_{1y} - U_{y1})^2} = \sqrt{(V_{2x} - U_{x2})^2 + (V_{2y} - U_{y2})^2}$$

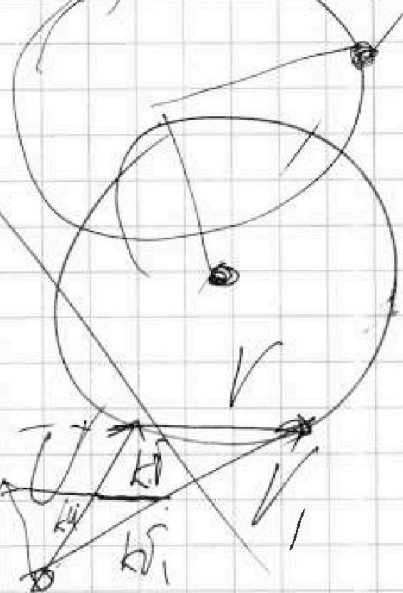
Поскольку  $\vec{V}$  не меняем направления, поэтому:

$$\frac{V_x}{V_y} = \text{const} : \frac{V_{1x} - U_{x1}}{V_{1y} - U_{y1}} = \frac{V_{2x} - U_{x2}}{V_{2y} - U_{y2}}$$

$$V_1^2 + U^2 - 2(V_{1x}U_{x1} + V_{1y}U_{y1}) = V_2^2 + U^2 - 2(V_{2x}U_{x2} + V_{2y}U_{y2})$$

$$U_{2x} = (V_{2x} - V_{1x}) + U_{1x}$$

$$U_{2y} = (V_{2y} - V_{1y}) + U_{1y}$$



$$U_{11} = \sqrt{d^2 + (L + V_{11})^2}$$

$$U_{12} = \sqrt{d^2 + (L + V_{12})^2}$$

$$U_{x1} = V_{x1} - V$$

$$U_{x2} = V_{x2} - V$$

$$V_1^2 + V^2 - 2V_{x1}V = V_2^2 + V^2 - 2V_{x2}V$$

$$V = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2(V_{x1} - V_{x2})}$$

$$V_{1x} = U_{1x} + V$$

$$V_{2x} = U_{2x} + V$$

$$= \frac{V_1 + V_2}{2}$$