



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-01



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

1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за  $T = 2$  с.

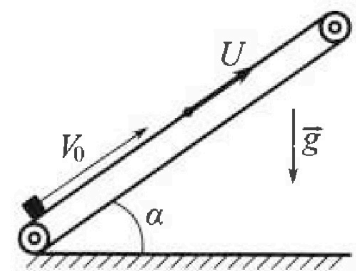
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью  $V_0$  под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии  $S = 20$  м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,8$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 4$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = \frac{1}{3}$ . Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время  $T$  после старта коробка пройдет в первом опыте путь  $S = 1$  м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 2$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 4$  м/с.

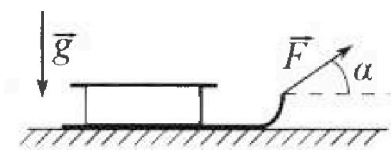
2) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

3) На какой высоте  $H$ , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же скорости  $V_0$  за одинаковое время.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости  $V_0$  действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Через какое время  $T$  после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения  $g$ .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

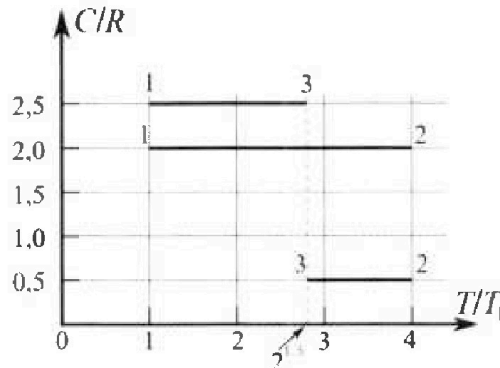
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



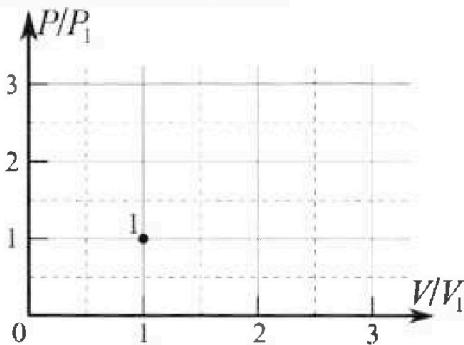
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1  $T_1 = 400$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



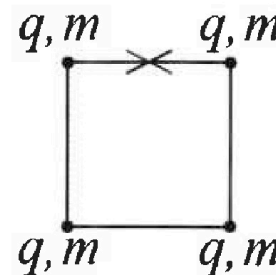
1) Найдите работу  $A_{12}$  газа в процессе 1-2.

2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .



1) Найдите силу  $T$  натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость  $V$  любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии  $d$  от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

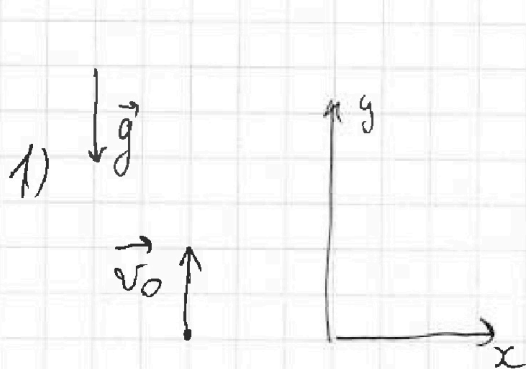
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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!



✓1

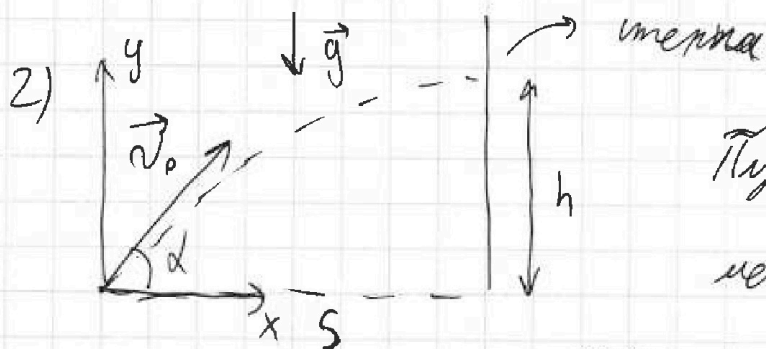
Пусть  $t$  - время,  
прошедшее с начала  
полёта, тогда:

$v_y = v_0 - gt$  - Вертикальная скорость мяча

В момент времени  $t$ , тогда в момент,  
когда высота мяча максимальна,  $v_y = 0$ :

$$0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2\text{с} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;



Пусть  $d$  - угол  
между начальной  
скоростью мяча и  
вертикалью

горизонтали, тогда координаты мяча  $x$  и  $y$ ,  
через время  $t$  после начала полёта:

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!

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}, \quad x = v_0 \cos \alpha t;$$

Пусть в момент времени  $t_0$ , мяч ударится

о стену, тогда:  $S = v_0 \cos \alpha t_0 \Rightarrow$

$$\text{Высота удара: } h = v_0 \sin \alpha t_0 - \frac{gt_0^2}{2} =$$

$$= v_0 \sin \alpha \frac{S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} (\tan^2 \alpha + 1) =$$

$$= -\frac{gS^2}{2v_0^2} \tan^2 \alpha + S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2}, \quad \text{заметим, что}$$

График

$\downarrow h(\tan \alpha)$  — парабола ветвями вниз, но есть

максимум  $h$ , достигается в вершине, т.е.

$$\text{при } \tan \alpha = -\frac{S}{2 \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2}} = \frac{v_0^2}{gS}, \quad \text{откуда}$$

максимальная высота:  $h$

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!

$$h_{\max} = -\frac{gs^2}{2v_0^2} \operatorname{tg}^2 \alpha_0 + s \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{gs^2}{2v_0^2} =$$

$$= -\frac{gs^2}{2v_0^2} \frac{v_0^4}{g^2 s^2} + s \frac{v_0^2}{gs} - \frac{gs^2}{2v_0^2} =$$

$$= -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gs^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{gs^2}{2v_0^2} =$$

$$= \frac{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} - \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 400 \text{ м}^2}{2 \cdot 400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 20 \text{ м} - 5 \text{ м} = 15 \text{ м};$$

Ответ:  $h_{\max} = 15 \text{ м};$

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"/>



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

3) П.к. после того, как скорость коробки сравняется со скоростью ленты, на него перестанет <sup>действовать</sup> ~~составляющая~~

~~трения, запишем закон сохранения энергии~~

~~с учетом этого~~ сила трения начнет <sup>действовать</sup> ~~действовать~~ против движения коробки; Всегда из этого

запишем закон сохранения энергии: <sup>остановки в ИСО</sup> ~~лента~~

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgH + \mu mg \cos \alpha L - \mu mg \cos \alpha \left( \frac{H}{\sin \alpha} - L \right)$$

$$= mgH + 2\mu mg \cos \alpha L - \mu mg \frac{H}{\sin \alpha} \Rightarrow$$

$$\text{Ответ: } H = \frac{\frac{v_0^2}{2} - 2\mu g \cos \alpha L}{g \left( 1 - \frac{\mu}{\sin \alpha} \right)} = \frac{v_0^2 - 4\mu g \cos \alpha L}{2g \left( 1 - \frac{1/3}{4/5} \right)} =$$

$$= \frac{16 \frac{m^2}{c^2} - 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 0,6 m}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \left( 1 - \frac{1}{4} \right)}$$

$$= \frac{16 \frac{m^2}{c^2} - \frac{24}{5} \frac{m^2}{c^2}}{\frac{3}{4} \cdot 20 \frac{m}{c^2}} = \frac{16}{15} m - \frac{8}{25} m = \frac{16 \cdot 25 - 8 \cdot 15}{15 \cdot 25} m = \frac{56}{75} m ;$$

80  
24  
56  
16.5 = 80 ; 8.3 = 24 ; 3.25 = 7.5

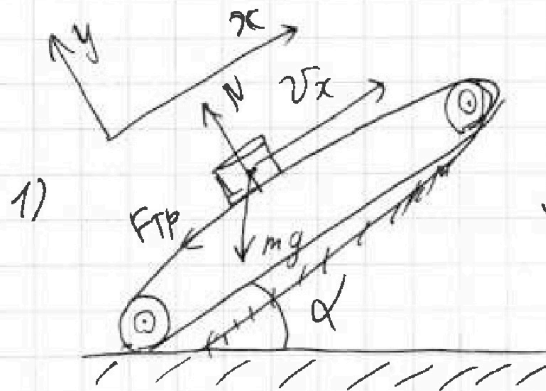
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



N2

Пусть ~~масса~~ <sup>коробка</sup> имеет  
массу  $m$ ;

На него действуют

3 силы - сила тяжести  $mg$ , сила нормальной  
реакции опоры  $N$  и сила трения  $F_{тр}$ ;

Пусть ускорение и скорость коробки в

проекции на ось  $Ox$  равны  $a_x$  и  $v_x$  соответственно;

Тогда запишем Второй закон Ньютона для коробки

в проекции на оси  $Ox$  и  $Oy$ :

$$Ox: ma_x = -F_{тр} - mg \sin \alpha;$$

$$Oy: 0 = N - mg \cos \alpha \Rightarrow N = mg \cos \alpha,$$

т.к. коробка движется  $F_{тр} = \mu N$ , откуда:

$$ma_x = -\mu N - mg \sin \alpha = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = \text{const}$$

Тогда: Закон движения ~~масса~~ <sup>коробки</sup> по оси  $Ox$  через

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

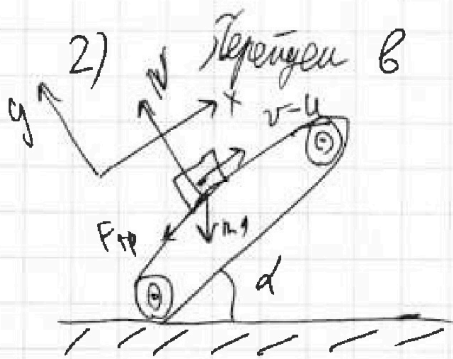
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

$$\text{Ответ: } T = t_0 + \sqrt{\frac{10(S-x_0)}{3g}} = \frac{4\frac{4}{5}}{2\frac{2}{5}} + \sqrt{\frac{10(14 - \frac{16\frac{4}{5}}{c^2})}{3 \cdot 10\frac{4}{5}c^2}}$$

$$= 0,4 \text{ с} + \sqrt{\frac{1-0,8}{3}} \text{ с} = 0,4 \text{ с} + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с};$$



2) Перейдем в ИСО кинети траектории:

Возьмем, когда скорость  
коробки ИСО составит  $U$ ,

в касной ИСО, коробка

~~не будет перемещаться относительно~~

остановится, т.е. применим закон сохранения

энергии с учетом работы сил трения:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgL \sin \alpha + \frac{mu^2}{2} + \mu mg \cos \alpha L$$

$$\Rightarrow \text{Ответ: } L = \frac{\frac{v_0^2}{2} - \frac{u^2}{2}}{g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha} = \frac{16\frac{u^2}{c^2} - 4\frac{u^2}{c^2}}{2 \cdot 10\frac{u^*}{c^2} \left(0,8 + \frac{1}{3} \frac{3}{5}\right)} =$$

$$= \frac{12\frac{u^2}{c^2}}{20\frac{u}{c}} = 0,6 \text{ м};$$



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!

$x = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ , коробка остановится когда  $v_x = 0$ ,  
в момент времени:  
т.е. ~~при~~  $v_0 - gt_0 = 0 \Rightarrow t_0 = \frac{v_0}{g}$ , далее она

начнет двигаться обратно после прекращения:

$$x_0 = v_0 t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g};$$

Далее она будет двигаться с новым ускорением  $a'_x$

т.к. сила трения изменит направление, т.е.:

$$m a'_x = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \Rightarrow a'_x = g \left( \frac{1}{5} - \frac{4}{5} \right) = -\frac{3}{5}g$$

Закон движения:  $x = x_0 + \frac{a'_x t'^2}{2}$ ,  $t'$  - момент  
времени, отсчитываемый после остановки, тогда

~~Всех в момент времени в момент времени~~

$t'_0 = T - t_0$  - коробка пройдет путь  $S$ :

$$S = x_0 - x(t'_0) + x_0 = 2x_0 - x_0 - \frac{a'_x t_0'^2}{2} =$$

$$= x_0 + \frac{3}{10}g(T - t_0)^2, \text{ откуда:}$$

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!

Время  $t$  после старта:  $x = v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$ ,  $v_x = v_0 + a_x t$

$$a_x = -\mu g \cos \alpha - g \sin \alpha = -g \left( \frac{1}{3} \sqrt{1 - 0,8^2} + 0,8 \right)$$

$$= -g \left( \frac{1}{3} \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \right) = -g, \text{ ошибка в условии:}$$

~~$$S = v_0 T - \frac{g T^2}{2} \Rightarrow \frac{g T^2}{2} = v_0 T + S = 0$$~~

~~$$T = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 - 2gS}}{g} \text{ — как встретится первый}$$~~

корень, т.к. больший соответствует моменту,  
когда тело пройдя больший путь вернется в эту же  
координату, тогда:

~~$$T = \frac{4 \frac{m}{c} - \sqrt{16 \frac{m^2}{c^2}}}{g} \text{ Дискриминант:}$$~~

~~$$D = v_0^2 - 4 \frac{g}{2} S = 16 \frac{m^2}{c^2} - 2 \cdot 10 \frac{m^2}{c^2} < 0$$~~

корней нет, значит коробка не пройдет этот  
путь; Ответ: Нет за какое время;

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!

2) После прекращения действующая сила:

$$m a_2 = -\mu m g \Rightarrow a_2 = -\mu g, \text{ скорость вверх}$$

В проекции на Oxc:  $v = v_0 - a_2 t$ , где

$t$  — момент времени, начиная с времени, действующая сила

Откуда в момент времени  $T$ :  $0 = v_0 - a_2 T$

$$\Rightarrow \text{ответ: } T = \frac{v_0}{a_2} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g(1 - \cos \alpha)}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

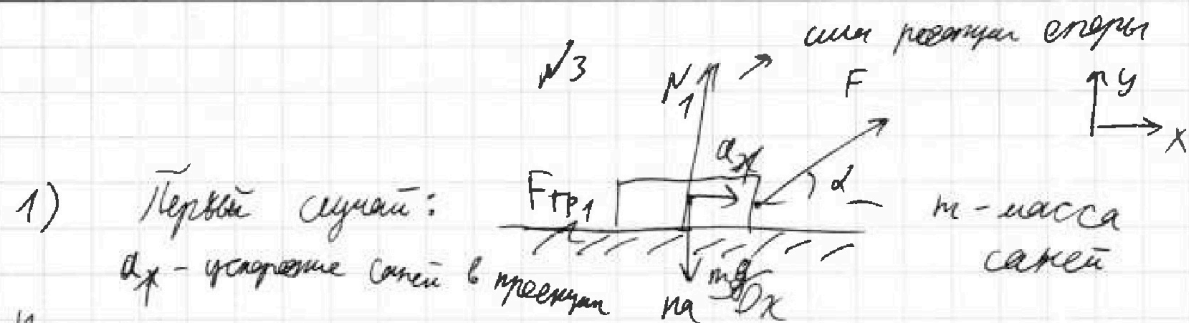
Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

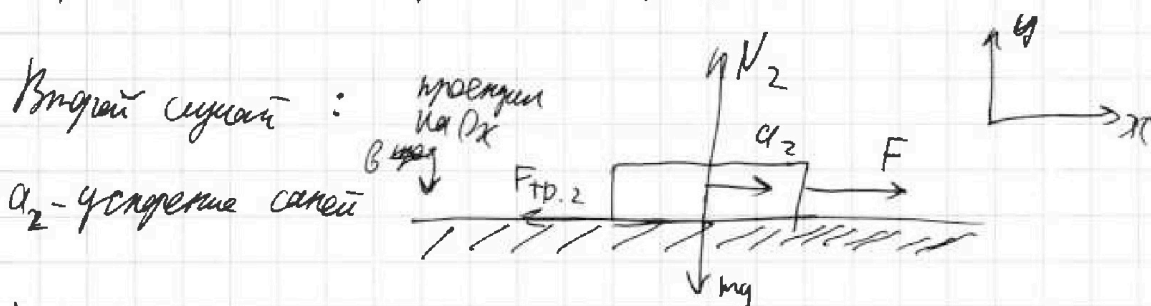
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Второй закон Ньютона в проекции на  $Ox$  и  $Oy$ :

$$Oy: N_1 + F \sin \alpha - mg = 0 ; Ox: m \alpha_x = F \cos \alpha - F_{тр1}, F_{тр1} = \mu N_1$$

$$N_1 = mg - F \sin \alpha \Rightarrow m \alpha_x = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = \text{const}$$



Второй закон Ньютона:

$$Oy: N_2 - mg = 0 ; Ox: m \alpha_2 = F - F_{тр.2} \Rightarrow F_{тр.2} = \mu N_2$$

$$\Rightarrow m \alpha_2 = F - \mu mg = \text{const}$$

По условию время разгона одинаково

$$\Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2 \text{ (т.к. движение равноускоренно)}, \text{ откуда:}$$

$$F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg \Rightarrow \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

$$\text{Ответ: } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} ;$$

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 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) Первое начало термодинамики для процесса с  $C = \text{const}$ :

$$\int Q = \int U + A, \text{ где } \int Q - \text{выделившаяся теплота};$$

$\int U$  - изменение внутренней энергии газа,  $A$  - работа

Отсюда:  ~~$\int p dV$~~   $C \int dT = \frac{3}{2} R dT + p dV$ ,  $dT$  - малое изменение температуры;

Для процесса  $1 \rightarrow 2$ : (при этом  $p = \text{const}$ )

$$2R(4T_1 - T_1) = \frac{3}{2} R(4T_1 - T_1) + A_{1 \rightarrow 2}$$

$$\Rightarrow \text{Ответ: } A_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2} 3T_1 = \frac{3 \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 400 \text{К}}{2} =$$

$$= 6 \cdot 831 \text{ Дж} = 4986 \text{ Дж};$$

2) Найдем работу в каждом из процессов:

$$\frac{3}{2} RT_1 = A_{1 \rightarrow 2} = 4986 \text{ Дж}; \quad A_{2 \rightarrow 3} = 0,5R(3T_1 - 4T_1) - \frac{3}{2}R(3T_1 - 4T_1)$$

$$= -\frac{1}{2}RT_1 + \frac{3}{2}RT_1 = RT_1; \quad A_{2 \rightarrow 3} = 0,5R(2^{\frac{3}{2}}T_1 - 4T_1)$$

$$= -\frac{3}{2}R(2^{\frac{3}{2}}T_1 - 4T_1) = (4 - 2^{\frac{3}{2}})RT_1;$$

$\frac{9854}{126}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

$$A_{3 \rightarrow 1} = 2,5R(T_1 - 2^{3/2}T_1) - 1,5R(T_1 - 2^{3/2}T_1) =$$

$$= (T_1 - 2^{3/2}T_1)R, \text{ работа газа за цикл:}$$

$$A_{\text{цикл}} = A_{1 \rightarrow 2} + A_{2 \rightarrow 3} + A_{3 \rightarrow 1} = \frac{3}{2}RT_1 + RT_1(4 - 2^{3/2}) + RT_1(1 - 2^{3/2})$$

$$\text{Выделяющаяся теплота при нагреве: } Q_{1 \rightarrow 2} =$$

$$= 2R(4T_1 - T_1) = 6RT_1, \text{ отдача КПД:}$$

$$\eta_g = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{1 \rightarrow 2}} = \frac{\frac{3}{2} + 4 - 2^{3/2} + 1 - 2^{3/2}}{6} =$$

$$= \frac{3 + 8 - 4 \cdot 2^{3/2} + 2}{12} = \frac{13 - 4 \cdot 2\sqrt{2}}{12} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

3) Используя выражение (1):  $(C - \frac{3}{2}R) dT = p dV$

Ур-ва состояния газа:  $pV = RT \Rightarrow p dV + V dp = R dT$

Отсюда:  $(\frac{C}{R} - \frac{3}{2}) p dV + (\frac{C}{R} - \frac{3}{2}) V dp = p dV$  ↓  
нам не  
учитываем

$(\frac{C}{R} - \frac{3}{2}) V dp = (\frac{5}{2} \frac{C}{R}) p dV$  (2)

Для процесса  $\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \frac{5R - 2C}{C - 3R} \int_{V_0}^V \frac{dV}{V}$ , графике процесса:

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!

~~$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = \frac{(5R-2C)}{C-3R} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) \Rightarrow p_0 = \text{const}, V_0 = \text{const}$~~

*границе и точке вращающейся*

$\Rightarrow p V^{\frac{2C-5R}{C-3R}} = \text{const}$  ; Для процесса 1→2:

~~$p_i V_i^{\frac{4R-5R}{2R-3R}} = \text{const}$~~  Для процесса 1→2:

*$p_i, V_i$  - границе и точке в  $i$ -ой состоянии*

~~$-\frac{RdT}{2} = p dV \Rightarrow p dV + V dp = -2p dV \Rightarrow V dp = -3p dV$~~

$\Rightarrow \frac{RdT}{2} = p dV \Rightarrow p dV + V dp = 2p dV$

$\Rightarrow p dV = V dp \Rightarrow \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \Rightarrow \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \Rightarrow$

$\frac{p_2}{V_2} = \frac{p_1}{V_1}, p_2 V_2 = 4RT_1 \Rightarrow \frac{4RT_1}{V_2^2} = \frac{p_1}{V_1} = \frac{4p_1 V_1}{V_2^2}$

$\Rightarrow V_2^2 = 4V_1^2 \Rightarrow V_2 = 2V_1, p_2 = 2p_1$  (процесс 1→2

на графике  $p(V)$  - прямая) ; Процессе 2→3:

$-RdT = p dV \Rightarrow -p dV - V dp \Rightarrow 2p dV = -V dp \Rightarrow$

$\int_{p_2}^{p_3} \frac{dp}{p} = - \int_{V_2}^{V_3} \frac{2dV}{V} \Rightarrow \frac{p_3}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^2 \Rightarrow p_3 = \frac{2^{3/2} RT_1}{V_3}$

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**

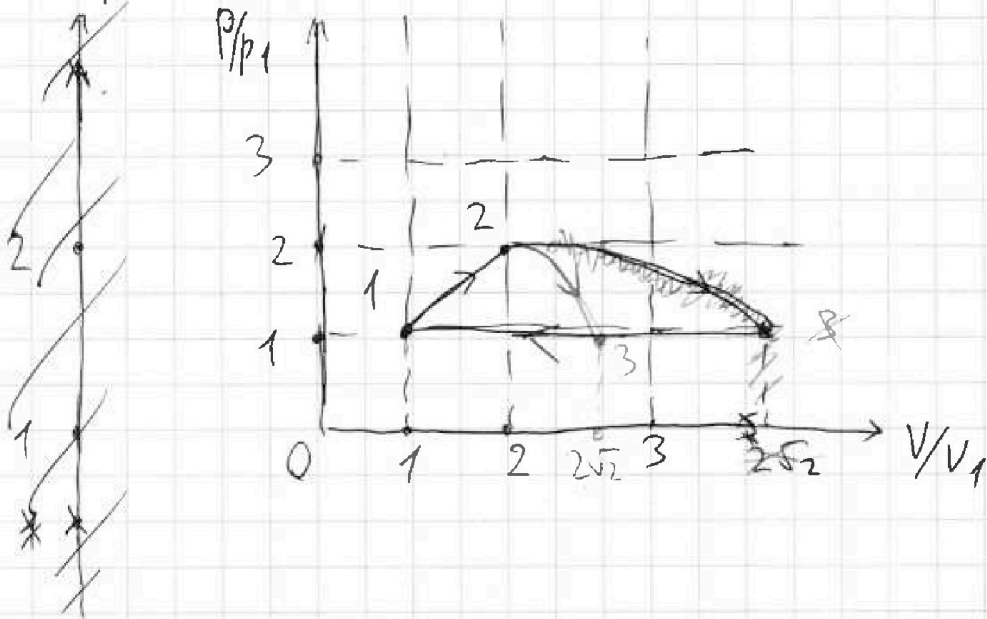
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\Rightarrow \frac{2^{3/2} RT_1 V_3^2}{V_3 p_2} = V_2^2 \Rightarrow V_3 = \frac{p_2 V_2^2}{2^{3/2} RT_1} = \frac{2p_1 4V_1^2}{2^{3/2} RT_1} =$$

$$= \frac{p_1 4V_1^2}{\sqrt{2} p_1 V_1} = 2\sqrt{2} V_1 \quad ; \quad p_3 = \frac{2^{3/2} RT_1}{2^{3/2} V_1} = p_1$$

Процесс 3 → 1:  $RdT = pdV = pdV + Vdp \Rightarrow p = \text{const}$

$\Rightarrow p_3 = p_1$ ,  $p \sim V^{-2}$  Отсюда выносим график цикла:





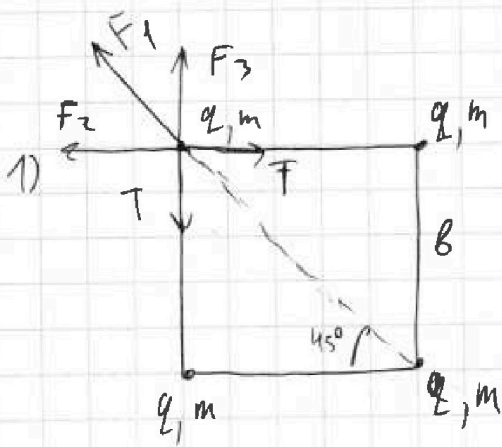
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



№5

Пусть  $F_1, F_2, F_3$  - силы

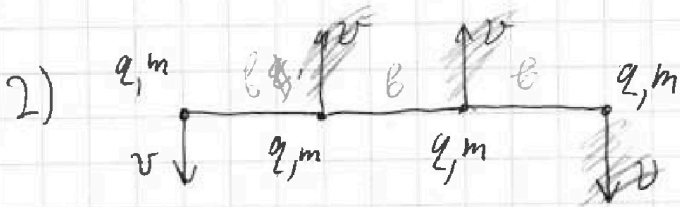
кулоновского взаимодействия:

$$F_1 = \frac{kq^2}{(b\sqrt{2})^2} = \frac{kq^2}{2b^2}$$

$$F_2 = F_3 = \frac{kq^2}{b^2}, \text{ тогда из условия равенства}$$

$$\text{имеем: } F_3 + F_1 \cos 45^\circ = T, \text{ откуда:}$$

$$\text{Ответ: } T = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2b^2} \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{kq^2}{b^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right);$$



Из кинематических  
связей, следует,

что в момент нахождения на одной прямой, скорости

всех шариков равны  $v$ , тогда из закона сохранения

энергии  $\frac{mv^2}{2}$  ~~всех шариков~~, найдем скорость  $v$ .

$$\text{шарика: } \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b}$$

Потенциальная энергия взаимодействия с остальными зарядами

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!



Откуда: 
$$v^2 = \frac{2kq^2}{mb} \left( 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} - 1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) =$$

$$= \frac{2kq^2}{mb} \left( 1 - \frac{1}{6} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{kq^2}{mb} \left( \frac{5}{3} + \sqrt{2} \right),$$

Ответ: 
$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{mb} \left( \frac{5}{3} + \sqrt{2} \right)};$$

3) Из кинематической связи (т.к. Кости перемещаются), пары зарядов ~~1, 2~~ и ~~3, 4~~ будут убегать

~~и~~ ~~перемещаться~~ по равные по модулю расстояния, но в разные противоположные стороны, это

значит, что в момент, когда заряды будут

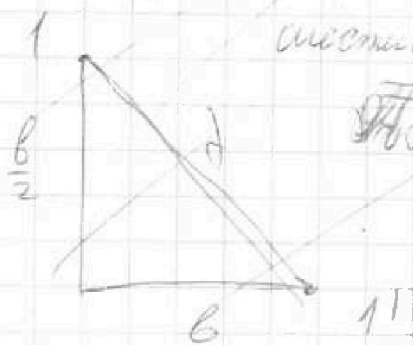
составлять квадрат, линия, соединяющая их,

будет совпадать с средней линией прямоугольного

квадрата, ~~опираясь~~ <sup>повернувшись</sup> по вершинам вершины квадрата

мещается на  $b$ , но ~~вершинами~~ <sup>по</sup>  $\left(\frac{b}{2}\right)$

По теореме Пифагора:  $d^2 = b^2 + \frac{b^2}{4}$   
 $= \frac{5b^2}{4}$ ; Ответ:  $d = \frac{\sqrt{5}}{2} b$ ;



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

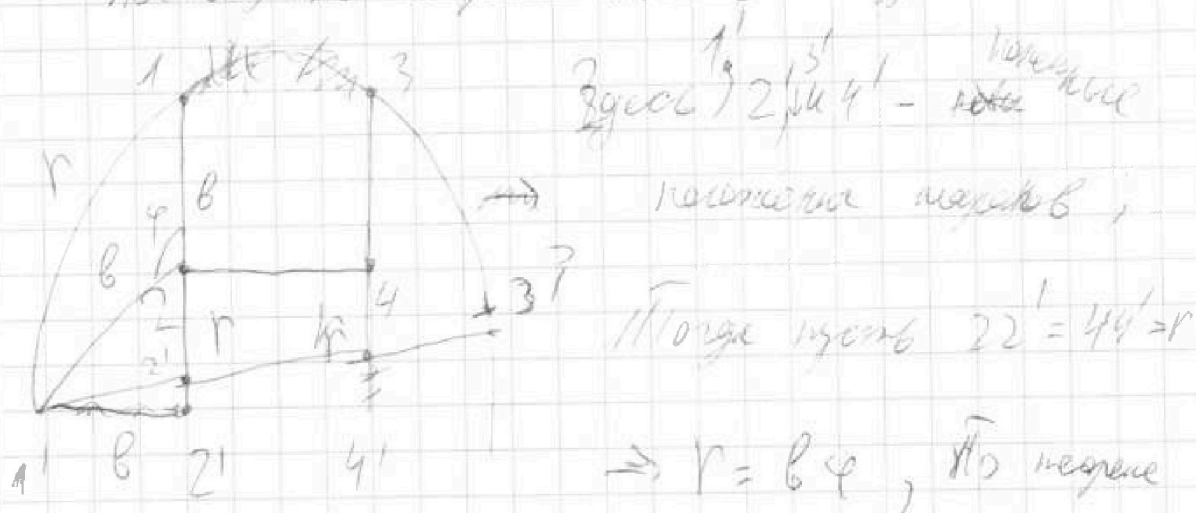
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

3) После разрыва цепи, скорости всех шариков равны, при этом шарик 2, 4 движется вертикально вниз (из-за энергетического отталкивания),

а шарик 1, 3 движется по окружности радиуса  $R$  отк. шарикам 2, 4 соответственно.  
Поэтому они встретятся в центре.



$$\text{касание: } r^2 = 2b^2 (1 - \cos(2\varphi - 180^\circ)) = 2b^2 (1 + \cos 2\varphi)$$

$$= 4b^2 \cos^2 \varphi \Rightarrow r = 2b \cos \varphi \Rightarrow \varphi = \cos \varphi ;$$



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

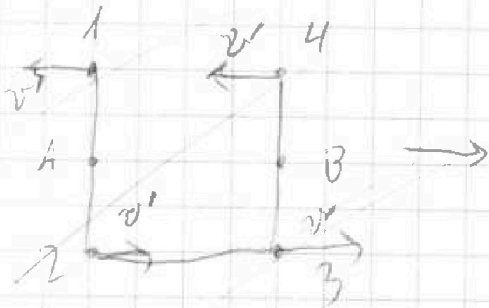
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



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

3) После разрыва цепи, шарик будет  
по инерции  $\frac{b}{2}$   
движется с одинаковой скоростью (т.к. цепь  
перестанет), тогда шарик 1, 2 будет это  
делает вокруг A, а шарик 3, 4 <sup>вокруг</sup> B;



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

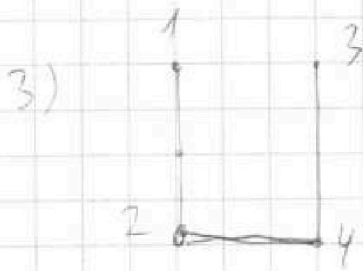
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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!



Поше разрезов клетки 1-3,

ширина 1, 2 и 3, 4 будут

указана при 2, 4 будут указана при 2

с одинаковой скоростью ~~была~~, т.к. клетки 2-4

неизменяются, при этом ширина 1 и 3

указаны по формулам радиуса в относительности ширины 2 и 4 соответственно;

Примем скорости 1 и 2, равны скорости 3, 4,

в силу неизменяемости клеток

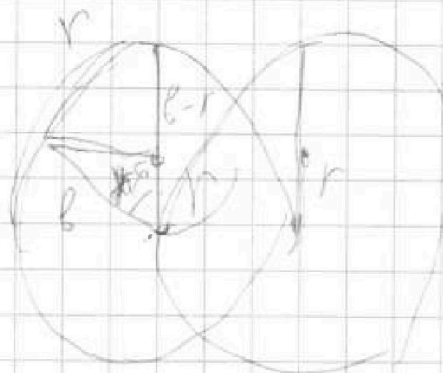
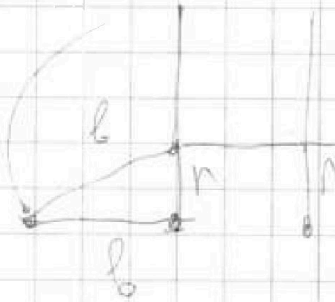
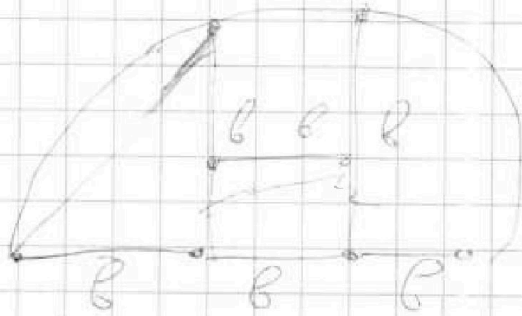
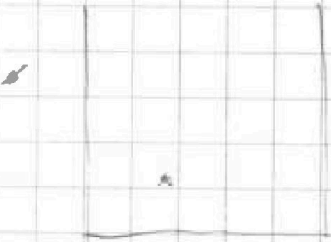
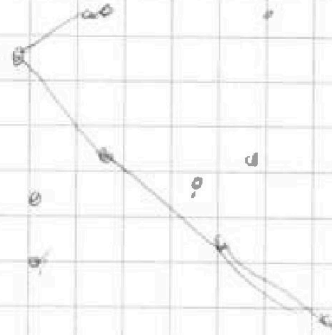
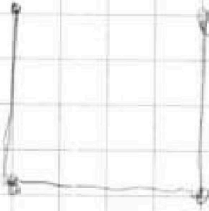
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$\cos \alpha = \frac{r}{b} \Rightarrow$$