



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

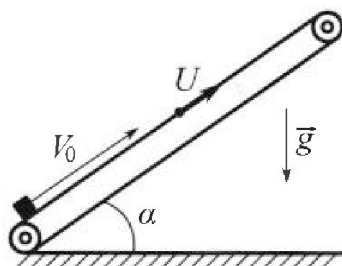
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

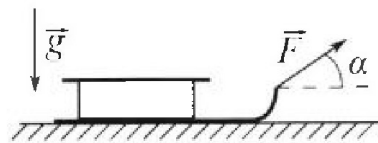
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

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

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

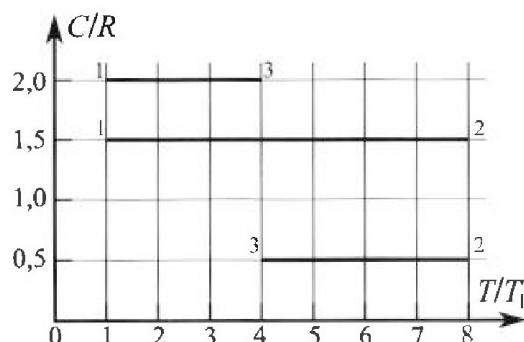
2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

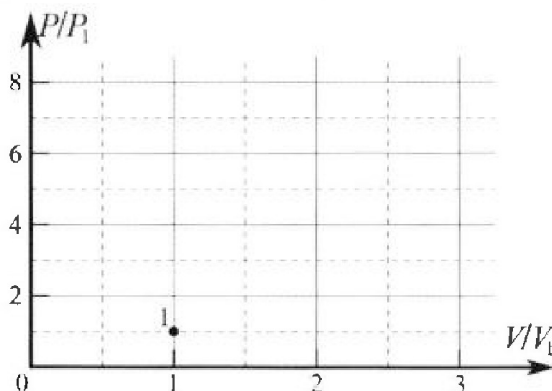
Вариант 10-02

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) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

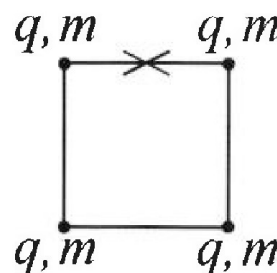


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объем в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

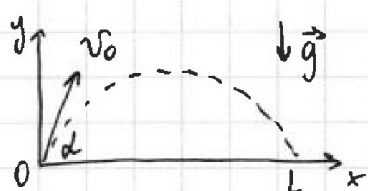
- 1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
 - 2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
 - 3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?
- Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





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!



№1
 τ - время полета
 Уравнение движения шарика:
 $Ox: L = v_0 \cos \alpha \tau$ (1)
 $Oy: 0 = v_0 \sin \alpha \tau - \frac{g \tau^2}{2} \Rightarrow \tau = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$

Подставим τ в (1): $L = v_0 \cos \alpha \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

Выразим v_0 : $v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}}$; при $L = 20 \text{ м}$; $\alpha = 45^\circ$

$$v_0 = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{\sin 90^\circ}} = \sqrt{200} \approx 14,2 \text{ м/с}$$



γ - произвольный угол, t - время до удара

Уравнение движения шарика:
 $Ox: S = v_0 \cos \gamma t$ (2)
 $Oy: H = v_0 \sin \gamma t - \frac{g t^2}{2}$ (3)

Выразим t из (2) и подставим в (3):

$$t = \frac{S}{v_0 \cos \gamma}; \quad H = v_0 \sin \gamma \frac{S}{v_0 \cos \gamma} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \gamma}$$

$$(\cos^2 \gamma)^{-1} = 1 + \tan^2 \gamma \Rightarrow \boxed{H = S \tan \gamma - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \gamma}$$

- получим уравнение траектории мяча в зависимости от $\tan \gamma$; найдем максимум H , меняя $\tan \gamma$, как

$$\tan \gamma = \frac{-b}{2a} = \frac{-S}{-\frac{g S^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2}{g S}$$

вершину параболы, т.е. будем у параболы вниз, но максимум в ее вершине.

$$H = S \frac{v_0^2}{g S} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \frac{v_0^4}{g^2 S^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

Выразим S : $S = \sqrt{\frac{2 v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2g} - H \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200}{10} \left(\frac{200}{2 \cdot 10} - 3,6 \right)} = 16 \text{ м}$



Ответ: 1) $v_0 = \sqrt{200} \text{ м/с} \approx 14,2 \text{ м/с}$ 2) $S = 16 \text{ м}$

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!



Дано:

$$\sin \alpha = 0,6$$

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$\mu = 0,5$$

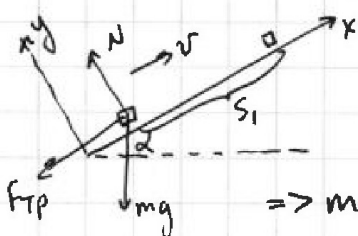
$$T = 1 \text{ с}$$

$$U = 1 \text{ м/с}$$

Найти: 1) S

2) T_1 , 3) L

1. Найдем за какое время обнуится
скорость коробки на покоящийся ленте:



$$O_y: N - mg \cos \alpha = 0$$

$$O_x: ma_x = -F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N \text{ - если скольжение}$$

$$\Rightarrow ma_x = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$a_x = -g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$\sin \alpha = 0,6 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,8 \Rightarrow a_x = -10 \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \right) = -10 \text{ м/с}^2$$

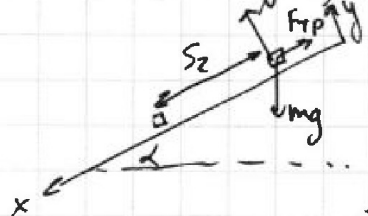
Тогда скорость по O_x обнуится за: $0 - v = a_x t$

$$\Rightarrow t = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ с}$$

т.е. 1/3 $t = 0,6 \text{ с}$ коробки пройдет: $S_1 = \frac{0 - v^2}{2a_x} = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ м}$

Еще у коробки остается $\tau = T - t = 0,4 \text{ с}$

Найдем путь за это время:



$$O_y: N - mg \cos \alpha = 0$$

$$O_x: ma_x = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N \text{ - путь скольжение есть}$$

$$\Rightarrow a_x = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

Подставим числа: $a_x = 10 \left(\frac{3}{5} - \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{2} \right) = 2 \text{ м/с}^2 > 0$
 $\Rightarrow$ скольжение есть

Рассчитаем 2 этап движения из состояния покоя: $S_2 = \frac{0 - \tau^2}{2} = \frac{2 \cdot 0,4^2}{2} = 0,16 \text{ м}$

Тогда путь, пройденный коробкой за 1 с:

$$S = S_1 + S_2 = 1,8 + 0,16 = 1,96 \text{ м}$$

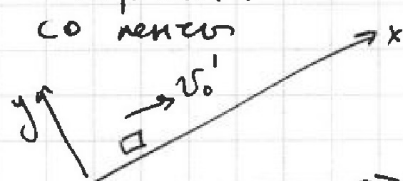


1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

№2

2. Нужно найти $\tau/3$ какое время скорость коробки будет равна U , но скорость ленты тоже U . Значит при разрыве замедлении коробки их векторы направлены в одну сторону, значит нужно найти время, когда прекратится проскальзывание коробки отн. ленты, для этого перейдем в СО ленты $\Rightarrow v'_0 = v_0 - U = 5 \text{ м/с}$ - новая скорость коробки:

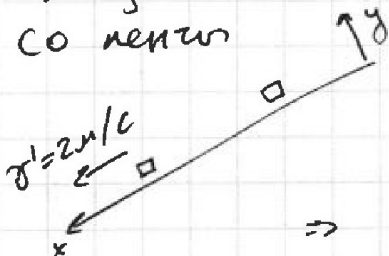


Ускорение коробки для этого случая мы уже считали, т.е.:

$$a_x = -10 \text{ м/с}^2$$

$$\Rightarrow T_1 = \frac{-v'_0}{a_x} = \frac{-5}{-10} = 0,5 \text{ с}$$

НО!!! Возможен второй случай, когда скорость коробки будет U , когда при съезде с ленты она будет иметь скорость 2 м/с отн. ленты, тогда отн. Земли скорость будет: $2 - 1 = 1 = U$

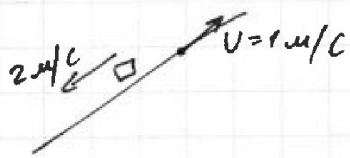
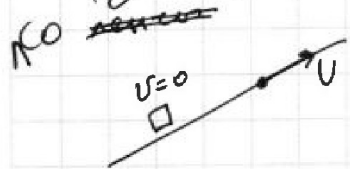


Ускорение коробки для этого случая мы уже считали:

$$a_x = 2 \text{ м/с}^2$$

$$\Rightarrow v' - 0 = a_x t_2 \Rightarrow t_2 = \frac{2}{2} = 1 \text{ с}$$

Получаемая скорость коробки в ЛСО равна U $\tau/3$ $0,5 \text{ с}$ после начала или $\tau/3$ $1 + 0,5 = 1,5 \text{ с}$ ЛСО ленты



$$T_1 = 0,5 \text{ с} \quad \text{или} \quad T_1 = 1,5 \text{ с}$$

P.S. т.к. $U = \text{const}$, то СО ленты инерциальная $\Rightarrow$ все ускорения коробки сохраняются, т.е. те, которые были при неподвижной ленте.

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!

~2

3. Скорость коробки обнулится тогда, когда ее скорость в СО ленты будет равна 0 и направлена вниз: Если ленту моментально выключить, то в ЛСО коробка должна разогнаться до U . Рассмотрим движение, когда лента остановилась и разогналась до U отн. ленты.

Ускорение в этом случае: $a_x = 2 \text{ м/с}^2$

$U - 0 = a_x t' \Rightarrow t' = \frac{1 \text{ м/с}}{2 \text{ м/с}^2} = 0,5 \text{ с}$



Пройденное коробкой расстояние в СО ленты:

$$l = \frac{U^2}{2a_x} = \frac{1}{2 \cdot 2} = 0,25 \text{ м}$$

Теперь найдем на каком расстоянии коробка оказалась от места запуска до обнуления скорости:

из пункта 1: коробка останавливается за $t = 0,6 \text{ с}$, проходе $S_1 = 1,8 \text{ м}$

из пункта 3: коробка набирает скорость U за $t' = 0,5 \text{ с}$, проходе $l = 0,25 \text{ м}$

За все это время: $t + t' = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ с}$
лента сползла коробку на $1,1 \text{ с} \cdot 1 \text{ м/с} = 1,1 \text{ м}$ вверх

Тогда: $L = S_1 - l + 1,1 \text{ м} = 1,8 \text{ м} - 0,25 \text{ м} + 1,1 \text{ м} = 1,55 + 1,1 = 2,65 \text{ м}$

Ответ: 1) $S = 1,96 \text{ м}$

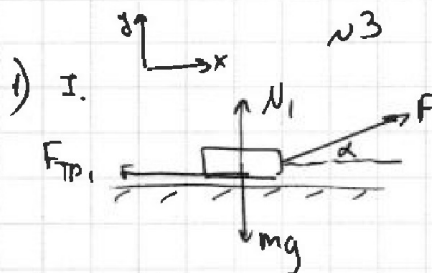
2) $T_1 = 0,5 \text{ с}$ $T_1 = 1,5 \text{ с}$

3) $L = 2,65 \text{ м}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

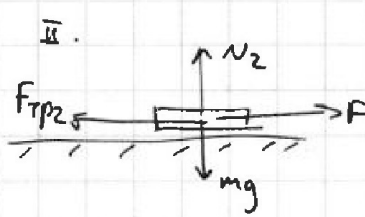
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Дано:
 k ; d ; m
 Найти:
 1) μ 2) S



$$O_y: N_1 + F \sin \alpha = mg$$

$$O_x: F_{\text{тр}1} = \mu N_1 = \mu mg - F \sin \alpha \mu$$



$$O_y: N_2 = mg$$

$$F_{\text{тр}2} = N_2 \mu = mg \mu$$

Разгон происходит на одинаковых участках пути
 пусть его длина L .

ЗСЭ где I:

$$-F_{\text{тр}1} L + F \cos \alpha L = k$$

ЗСЭ где II:

$$-F_{\text{тр}2} L + FL = k$$

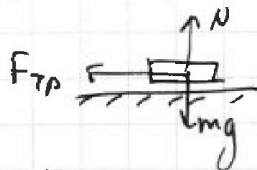
Подставим силу трения:

$$F \sin \alpha \mu L - \mu mg L + F \cos \alpha L = k \quad (1) \quad - \mu mg L + FL = k \quad (2)$$

Вычитая (1) - (2): $F \sin \alpha \mu L + F \cos \alpha L - FL = 0 \Rightarrow FL$

$$\sin \alpha \mu + \cos \alpha - 1 = 0 \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

2) Найти S ; известное F преобразуется:



$$N = mg; \quad F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$$

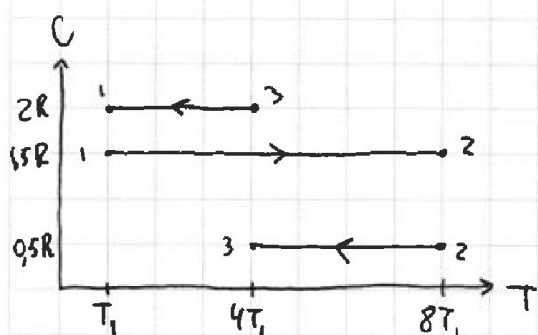
Тогда изменение кин. энергии: $F_{\text{тр}} S = k$

$$\Rightarrow \mu mg S = k \Rightarrow S = \frac{k}{\mu mg} = \frac{k \sin \alpha}{mg (1 - \cos \alpha)}$$

Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ 2) $S = \frac{k \sin \alpha}{mg (1 - \cos \alpha)}$

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!



Заметим, что: $Q = \int C_p dT$,
где $C_p dT$ - площадь под гра-
фиком

1) Найдем Q_{31} : $Q_{31} = \int 2R(T_1 - 4T_1) = -6\sqrt{RT_1}$
 $\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \int R(T_1 - 4T_1) = -\frac{9}{2} \sqrt{RT_1}$

По I. з. термодинамики: $A_{31} + \Delta U_{31} = Q_{31}$

$A_{31} = -6\sqrt{RT_1} - (-\frac{9}{2}\sqrt{RT_1}) = -\frac{3}{2}\sqrt{RT_1}$ - работа газа

$A_{\text{над газом}} = -A_{31} = \frac{3}{2}\sqrt{RT_1} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = 2493 \text{ Дж}$

2) Найдем КПД цикла; посчитаем Q на каждом участке:

$Q_{31} = \int 2R(T_1 - 4T_1) = -6\sqrt{RT_1}$
 $Q_{23} = \int 0,5R(4T_1 - 8T_1) = -2\sqrt{RT_1}$ } Q_x

$Q_{12} = \int 1,5R(8T_1 - T_1) = \frac{21}{2}\sqrt{RT_1}$ } Q_H

$\eta = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_H} = 1 - \frac{8\sqrt{RT_1}}{\frac{21}{2}\sqrt{RT_1}} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21} \approx 24\%$

3) Процесс $1 \rightarrow 2$ - изохорный, т.к. $C = 1,5R$

Определим процесс $3 \rightarrow 1$, рассчитав показатель
политропы:

$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{0,5R}{0,5R} = 1 \Rightarrow pV^{-1} = \text{const}$

$\Rightarrow p = \alpha V$ (давление зависит пропорционально от объема) $\alpha = \text{const}$

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!

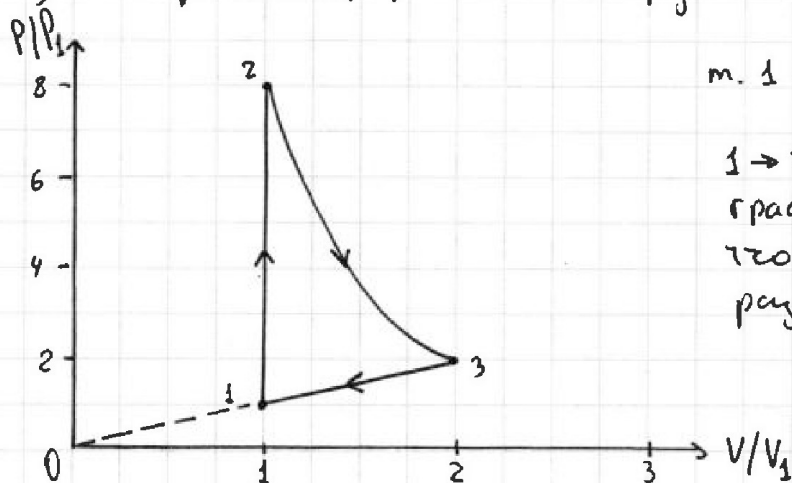
н/ч

Определим процесс $2 \rightarrow 3$:

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} = \frac{0,5R - 3,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$$

$$\Rightarrow pV^2 = \text{const} \quad \Rightarrow \quad p = \frac{a}{V^2}$$

4) Построим график в координатах $(P/P_1, V/V_1)$



$$\text{т. 1: } p_1 V_1 = 2RT_1 \quad (n/4)$$

$1 \rightarrow 2$ - изохорный по
графику $(C/R, T/T_1)$ видно,
что T_2 увеличилась в 8
раз, значит и давление
увеличилось в
8 раз.

В т. 3 температура в 4 раза больше, чем в т. 1,
но так как $3 \rightarrow 1$ процесс, где давление прямо
пропорционально объему и координаты т. 1
(1;1), то координаты т. 3 (2;2)

далее соединим т. 2 и т. 3 квадратичной
гиперболой.

Ответ: 1) $A_{31}^{\text{max газом}} = 2493 \text{ Дж}$

2) $\eta = \frac{5}{21} \approx 24\%$

3) см. выше

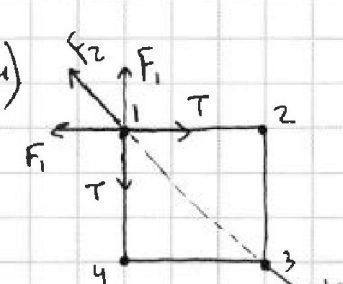
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Рассмотрим силы, действующие на верхний левый шарик:

силы $F_1 = \frac{kq^2}{a^2}$ со стороны 2 и 4

и сила $F_2 = \frac{kq^2}{(a\sqrt{2})^2}$ со стороны 3 шарика

, которые тоже отталкивают.

Условие равновесия шарика 1 на ось Ox :

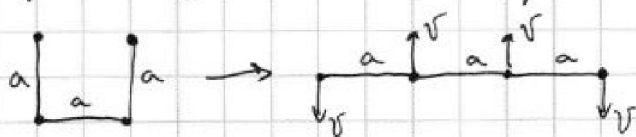
$$-F_1\sqrt{2} - F_2 + T\sqrt{2} = 0; \quad -\frac{kq^2}{a^2}\sqrt{2} - \frac{kq^2}{2a^2} + T\sqrt{2} = 0 \quad | : \sqrt{2}$$

$$\text{Выразим } |q|: \quad T = \frac{kq^2}{a^2} + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}a^2} \Rightarrow |q| = a \sqrt{\frac{T\sqrt{2}}{k(2\sqrt{2}+1)}}$$

или можно выразить $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

$$\text{Тогда: } |q| = a \sqrt{\frac{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0 T}{2\sqrt{2}+1}}$$

2) Когда перекинут верхнюю нить, $2/3$ какое-то время шарик будут висеть на одной нити, нити во время движения провисать не будут, т.к. шарик заряжены одинаково и отталкиваются



Нижние шарик пойдут вверх, верхние вниз. Скорости всех шариков будут равны

по модулю, т.к. равен их массы. Начальная импульс системы был 0, значит конечный тоже должен быть 0. Внешних сил нет.

Найдем начальную энергию взаимодействия шариков:

$$W_1 = \frac{kq^2}{a^2} + 2 \cdot \frac{kq^2}{(a\sqrt{2})^2} + 5 \cdot \frac{kq^2}{a^2}$$

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!



~5

Найдем начальную энергию $E_{\text{электростатическая шариков}}$:

$$W_1 = 4 \frac{kq^2}{a} + 2 \cdot \frac{kq^2}{a\sqrt{2}} = \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2})$$

Конечная:

$$W_2 = 3 \frac{kq^2}{a} + 2 \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} = \frac{kq^2}{a} (4 + \frac{1}{3})$$

Кинетическая энергия любого шарика K

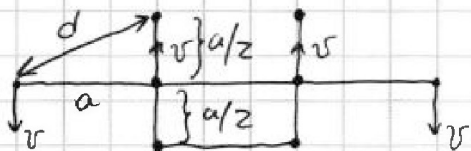
Запишем 3(7): $W_1 - W_2 = 4K$

$$\frac{kq^2}{a} (\sqrt{2} - \frac{1}{3}) = 4K$$

Из п. 1: $T = \frac{kq^2}{a^2} (1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})$ подставим в 3(7):

$$\frac{T a 2\sqrt{2}(\sqrt{2} - \frac{1}{3})}{2\sqrt{2} + 1} = 4K \Rightarrow K = \frac{T a (2 - \frac{\sqrt{2}}{3})}{2(2\sqrt{2} + 1)}$$

3) В любой момент скорости всех шариков по модулю и по вертикали равны, т.е. начальный импульс 0 $\Rightarrow$ расстояние, которое прошел каждый шарик по вертикали одинаково и равно $a/2$.



Найдем d по т. Пифагора:

$$d^2 = a^2 + \frac{a^2}{4} \Rightarrow d = \frac{\sqrt{5}}{2} a$$

Ответ: 1) $|q| = a \sqrt{\frac{8\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2} + 1} \epsilon_0 T}$

2) $K = \frac{T a (2 - \frac{\sqrt{2}}{3})}{2(2\sqrt{2} + 1)}$

3) $d = \frac{\sqrt{5}}{2} a$

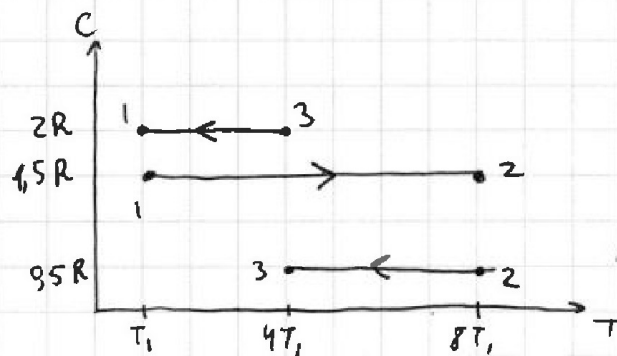
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} = \frac{C - 2.5R}{C - 1.5R}$$

$$pV^n = \text{const}$$

$$(3-1) \quad n = \frac{2R - 2.5R}{2R - 1.5R} = \frac{-0.5R}{0.5R} = -1$$

$$pV^{-1} = \text{const} \Rightarrow p = \frac{1}{V}$$

$$(1-2) : n = \frac{1.5R - 2.5R}{1.5R - 1.5R} = \infty$$

(1-2) - изохорный

$$(2-3) : n = \frac{0.5R - 2.5R}{0.5R - 1.5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$$

$$pV^2 = \text{const}$$

$$p = \frac{1}{V^2}$$

$$8p_1 V_1^2 = 2p_1 \cdot 4V_1^2$$

$$3-1 : Q = -2 \cdot 2R \cdot 3T_1 = -6\sqrt{2}RT_1$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}2R \cdot (T_1 - 4T_1) = -\frac{9}{2}\sqrt{2}RT_1$$

$$A_{23} = -2\sqrt{2}RT_1 + \frac{3}{2}2R(4T_1 - 8T_1) =$$

$$= \sqrt{2}RT_1(-2 + 6) = 4\sqrt{2}RT_1$$

$$A = Q - \Delta U = -6\sqrt{2}RT_1 + 4\sqrt{2}RT_1 = -\frac{3}{2}\sqrt{2}RT_1$$

~~$\eta = \frac{A}{Q_{12}}$~~

$$Q_{12} = 1.5R \cdot 7T_1 \cdot 2 = \frac{3}{2} \cdot 7\sqrt{2}RT_1 = \frac{21}{2}\sqrt{2}RT_1$$

$$Q_{23} = 0.5R \cdot 7 \cdot 4T_1 = 2\sqrt{2}RT_1$$

$$Q_{31} = -6\sqrt{2}RT_1$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{31}}{Q_{12}} = 1 - \frac{8\sqrt{2}RT_1}{\frac{21}{2}\sqrt{2}RT_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21}$$

$$\eta = \frac{4\sqrt{2}RT_1 - \frac{3}{2}\sqrt{2}RT_1}{\frac{21}{2}\sqrt{2}RT_1} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{21}{2}} = \frac{5}{21}$$

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!



н5

Найдем полную энергию взаимодействия:

$$W_2 = 3 \frac{kq^2}{a^2} + 2 \cdot \frac{kq^2}{(2a)^2} + \frac{kq^2}{(3a)^2} = \frac{kq^2}{a^2} \left(3 + \frac{1}{2} + \frac{1}{9} \right)$$

Запишем ЗСЭ для всей системы:

$$W_1 = W_2 + E_{\text{к}} \quad ; \quad E_{\text{к}} = 4 \cdot \frac{mv^2}{2} = 2mv^2$$

~~5~~
$$5 \frac{kq^2}{a^2} = \frac{kq^2}{a^2} \cdot 3 \frac{11}{18} + 2mv^2$$

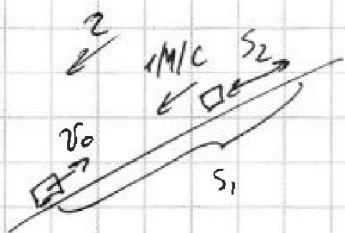
$$\frac{kq^2}{a^2} \cdot 1 \frac{7}{18} = 2mv^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{25}{7} \frac{kq^2}{a^2} = 2mv^2$$

$K = \frac{mv^2}{2}$ - кинетическая энергия любого шарика.

$$\Rightarrow \frac{25}{7} \frac{kq^2}{a^2} = 4K \Rightarrow K = \frac{25}{28} \frac{kq^2}{a^2}$$

из п.1: $T = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)$

Подставляем



$$s_1 = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ м}$$

$$s_2 = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ м}$$

$$t_1 = 0,6 \text{ с} \quad t_2 = 0,5 \text{ с}$$

$$1,8 + 0,25 + 1,1 = 1,55 + 1,1 = 2,65$$



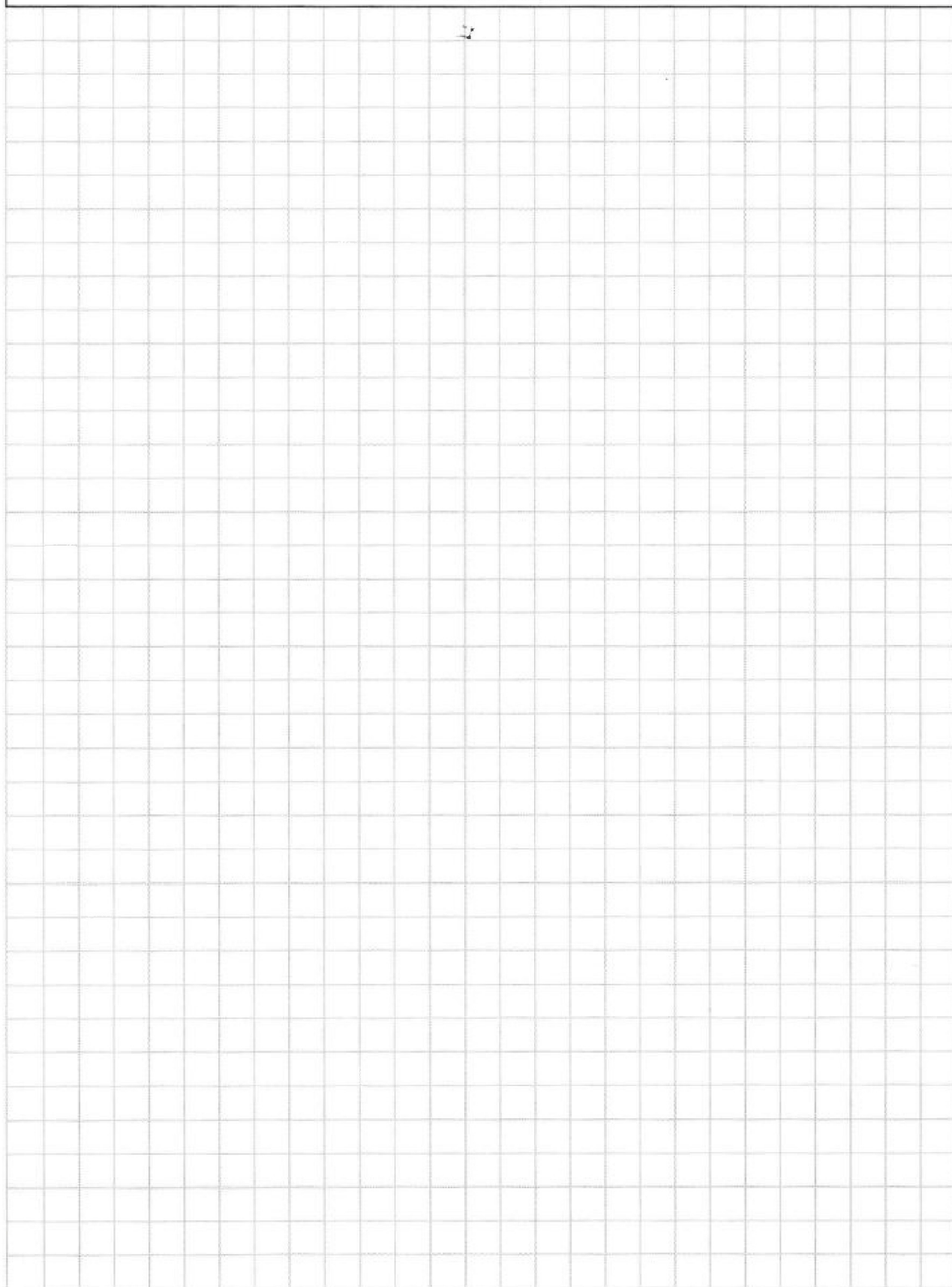
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



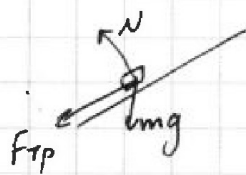
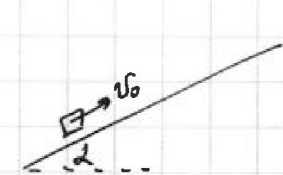
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$N = mg \cos \alpha$$

$$ma = mg \cos \alpha \mu + mg \sin \alpha$$

$$a = g(\sin \alpha + \cos \alpha \mu)$$

$$\sin \alpha = 0,6 \Rightarrow \cos \alpha = 0,8$$

$$a = 10 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 6 + 4 = 10 \text{ м/с}^2$$

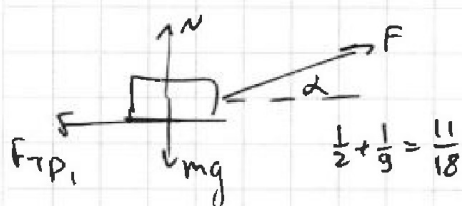
$$t = \frac{v_0}{a} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ с}$$

$$\frac{3}{5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{5} = \frac{6}{10} + \frac{4}{10} = 1$$

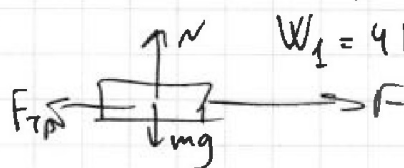
$$\frac{3}{5} - \frac{4}{10} = \frac{6}{10} - \frac{4}{10} = \frac{2}{10}$$

$$W_1 = 4k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{2a^2} = 5k \frac{q^2}{a^2}$$

$$W_2 = 3k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{4a^2} + k \frac{q^2}{9a^2}$$



$$\frac{1}{2} + \frac{1}{9} = \frac{11}{18}$$

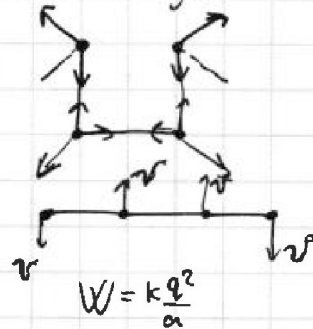


$$F_{тр} = \mu mg$$

$$-\mu mgx + Fx = k$$

$$\frac{F \cos \alpha - mg \mu + F \sin \alpha \mu}{m} = \frac{F - mg \mu}{m}$$

$$\cos \alpha + \sin \alpha \mu = 1$$



$$W = k \frac{q^2}{a}$$

$$N + F \sin \alpha = mg$$

$$F_{тр} = (mg - F \sin \alpha) \mu$$

$$-F_{тр} x + F \cos \alpha x = k$$

$$-(mg - F \sin \alpha) \mu x + F \cos \alpha x = k$$

$$-mg \mu x + F \sin \alpha \mu x + F \cos \alpha x = k$$

$$-\mu mgx + Fx = k$$

$$\sin \alpha \mu + \cos \alpha = 1 \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

m - масса шарика

$$\frac{mv^2}{2} = k \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2k}{m}}$$

$$S = \frac{2k}{m 2\mu g} = \frac{k}{m \mu g}$$

$$q^2 = \frac{a^2}{k} \frac{T 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}$$

$$mg \mu S = k \Rightarrow S = \frac{k}{mg \mu}$$

$$3 \cdot 8,31 \cdot 100 = 3 \cdot 831 = \frac{2\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}}$$

$$= 2400 + 90 + 3 = 2493 //$$

$$\begin{array}{r} 5,000 \\ -42 \\ \hline 80 \\ -63 \\ \hline 170 \\ -168 \\ \hline 168 \end{array}$$

$$T = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$$

$$\frac{kq^2}{a^2} = \frac{T 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}$$

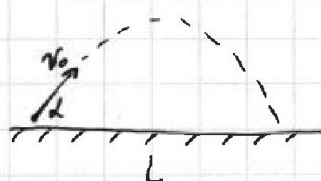
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$L = v_0 \cos \alpha t$$

$$0 = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow \frac{gt}{2} = v_0 \sin \alpha$$

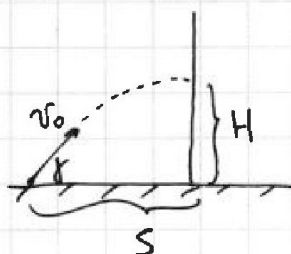
$$\Rightarrow t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow L = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{200}$$

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$H = \frac{200 \cdot 0,5}{2 \cdot 10} = \frac{100}{20} = 5 \text{ m}$$

$$v_0^2 = 2gH + v_0^2 \cos^2 \alpha$$



$$S = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$H = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

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

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad | : \cos^2 \alpha$$

$$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

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

$$H = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \tan^2 \alpha + S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$H - \max \Rightarrow \tan \alpha = \frac{-S}{-\frac{gS^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2}{Sg} = \frac{200}{16 \cdot 10} = \frac{20}{16} = \frac{5}{4}$$

$$H = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \frac{v_0^4}{S^2 g^2} + S \cdot \frac{v_0^2}{Sg} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} =$$

$$= \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} \Rightarrow \frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - H$$

$$S^2 = \frac{2v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2g} - H \right) = \frac{2 \cdot 200}{10} \left(\frac{200}{20} - 3,6 \right) =$$

$$= 40 (10 - 3,6) = 40 \cdot 6,4 = 4 \cdot 64$$

$$\Rightarrow S = 2 \cdot 8 = 16 \text{ m}$$



$$F_1 = \frac{kq^2}{a^2} \quad F_2 = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$T\sqrt{2} = F_1\sqrt{2} + F_2$$

$$\begin{array}{r} \times 14,1 \\ \times 14,2 \\ \hline + 141 \\ + 564 \\ \hline 141 \\ 198,81 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 14,2 \\ \times 14,2 \\ \hline + 284 \\ + 568 \\ \hline 142 \\ 201,64 \\ \hline \end{array}$$