

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

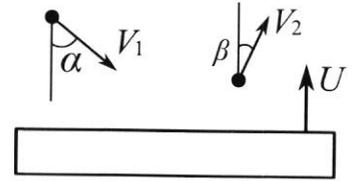
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 18$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.

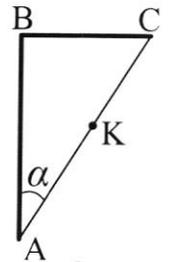


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ К, а криптона $T_2 = 400$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль К).

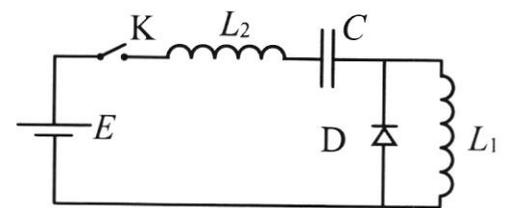
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.

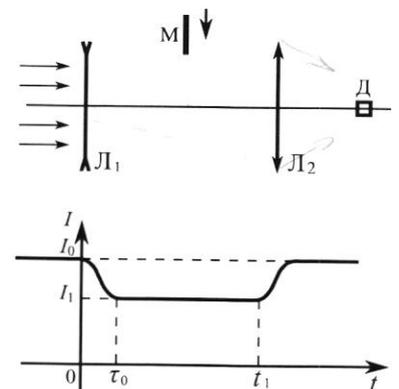


- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



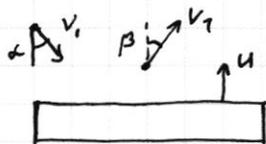
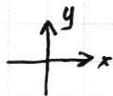
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии F_0 от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 7I_0/16$



- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
 - 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .
- Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1



Решение:

пусть m - масса шарика
пусть M - масса плиты
пусть u' - скорость плиты после соударения

Закон

$$(1) \text{ } O_y: -m v_{1y} + M u = m v_{2y} + M u'$$

$$(2) \text{ } O_x: m v_{1x} = m v_{2x}$$

где v_{1y} ; v_{2y} ; v_{1x} ; v_{2x} - проекции скорости на ось.

из (2): $v_{1x} = v_{2x}$

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$v_2 = \frac{18 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{18 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20 \text{ м/с}$$

из (1): $m (v_{2y} - v_{1y}) = M (u - u')$

$$u - u' = \frac{m}{M} (v_{2y} - v_{1y})$$

(3) по 1 закону термодинамики для Ариона

$$\Delta U = Q + A$$

$$\frac{i}{2} \nu R \Delta T = Q - \nu R \Delta T$$

$$Q = \left(\frac{i}{2} + \nu\right) \nu R \Delta T$$

$$Q = 2,5 \cdot \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 40 = 498,6 \text{ Дж}$$

Ответ: а) 0,9

б) 360 к

в) 498,6 Дж

давления газов постоянны на
стенке сосуда. т.к. тепло системы
не передается/отдается и
отсюда результат правильный.

объем Ариона увеличивается \rightarrow
работают газы отрицательно

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

(3) по 1 закону термодинамики для процесса:

$$\Delta U = Q - A$$

$$\frac{i}{2} \nu R \Delta T = Q - p R \Delta T$$

$$Q = p R \Delta T + \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$

$$Q = \left(\frac{i}{2} + 1\right) p R \Delta T$$

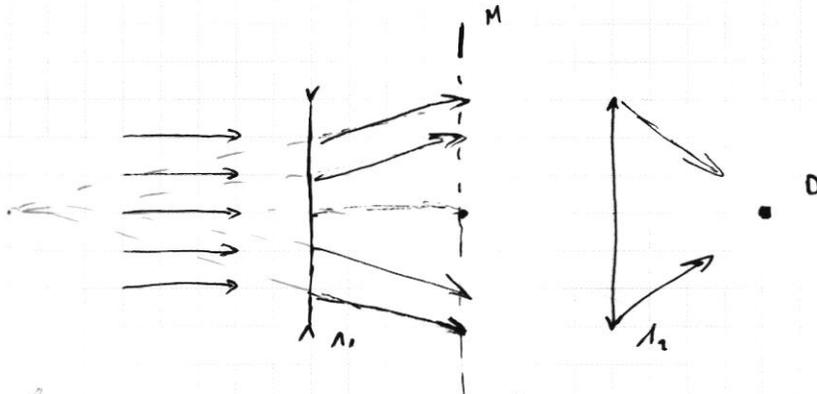
$$Q = 2,5 \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot 40 = 100 \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 = 6 \cdot 83,1 = 498,6 \text{ Дж}$$

Ответ: а) 0,8
б) 360K
в) 498,6 Дж

Давление изов. процесса газов постоянно т.к. тепло и система не производится и объем газовой смеси возрастает

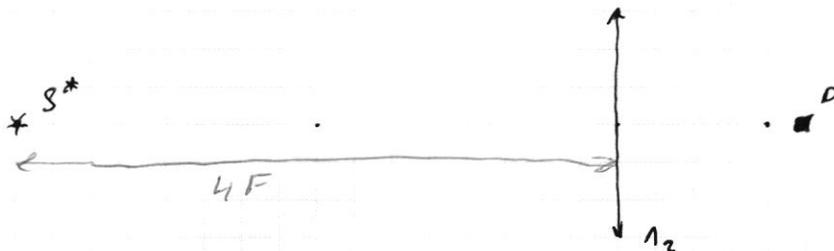
Объем газа увеличивается → работа над газом отрицательна

15



(1) Лучи падающие на L_1 ~~не~~ не параллельны.

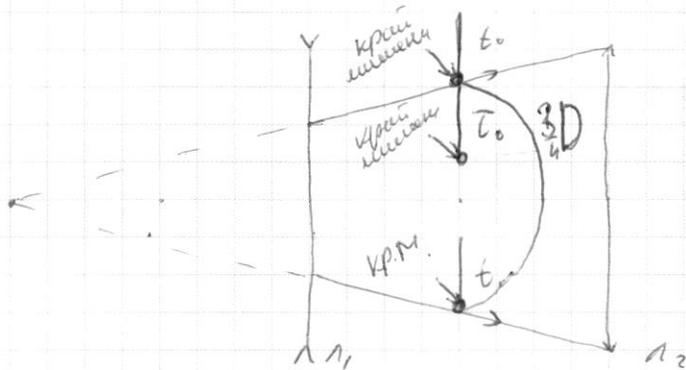
Поэтому данную систему можно представить



где S^* - мнимый источник света и все лучи будут собираться в изображении этого источника. по формуле тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{4F} = \frac{1}{d}$

отсюда расстояние до изображения: $d = \frac{4}{3} F$

(2)



диаметр
сеющей пучка на
уровне мишени $\frac{3}{4} D$

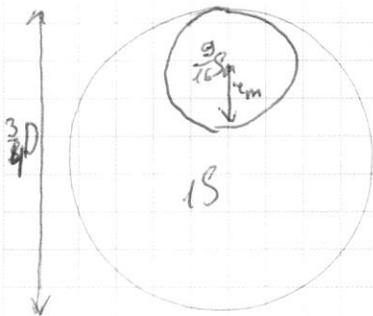
в момент t_0 мишень только начнет закрываться пучок света, направляющийся на L_2 . в момент t_1 мишень полностью "вылетит" в пучок света

т.к. I светодетектора пропорциональна мощности падающего света то:

$$I_1 = \frac{7}{16} I_0 \quad ; \quad N_1 = \frac{7}{16} N_0 \quad \text{где } N_1 - \text{мощность падающего света в } t_0$$

тогда мишень закрывает $\frac{9}{16}$ мощности падающего света

N_0 мощность падающего света в t_0



$$\pi \left(\frac{3D}{8}\right)^2 = 1S$$

$$\pi (r_m)^2 = \frac{9}{16} S$$

$$r_m^2 = \frac{9}{16} \left(\frac{3D}{8}\right)^2$$

$$r_m = \frac{3}{4} \cdot \frac{3D}{8} = \frac{9D}{32}$$

$$D_m = \frac{9D}{16}$$

пусть:

r_m - радиус мишени

D_m - диаметр мишени.

то есть за время t_0 край мишени прошел расстояние $\frac{9}{16} D$

$$V = \frac{\frac{9}{16} D}{t_0} = \frac{9D}{16 t_0} = \frac{9D}{16 t_0}$$

(3) в момент t_1 мишень начнет "выходить" из пучка света край мишени пройдет весь пучок света "наизовсе"

тогда расстояние $\frac{3}{4} D$

$$t_1 = \frac{\frac{3}{4} D}{V} = \frac{\frac{3}{4} D}{\frac{9D}{16 t_0}} = \frac{3 \cdot 16 t_0}{4 \cdot 9} = \frac{4}{3} t_0$$

Ответ:

- 1) $\frac{4}{3} F$
- 2) $\frac{9}{16} \frac{D}{t_0}$
- 3) $\frac{4}{3} t_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3

1)

пусть поверхность имеет плотность σ

\vec{E}_1 - напряжённость создаваемая в точке K пластинкой BC

$$|\vec{E}_1| = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$$

\vec{E}_2 - напряжённость создаваемая в точке K

$$|\vec{E}_2| = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$$

\vec{E}_k - искомая напряжённость

по принципу суперпозиции

$$|\vec{E}_k| = \sqrt{2} \cdot |\vec{E}_1| = \frac{\sqrt{2} \cdot 2\sigma}{\epsilon_0} = 2\sqrt{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\frac{|\vec{E}_k|}{|\vec{E}_1|} = \sqrt{2}$$

2)

$|\vec{E}_1| = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$

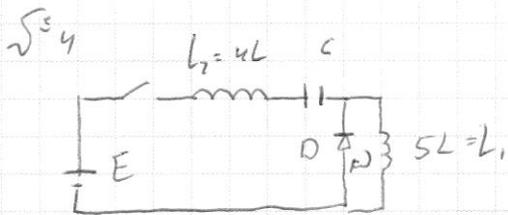
$|\vec{E}_2| = \frac{4\sigma}{7\epsilon_0}$

по принципу суперпозиции: $\vec{E}_{\text{общее}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$$|\vec{E}_{\text{общее}}| = \sqrt{|\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2} = \sqrt{\frac{4\sigma^2}{\epsilon_0^2} + \frac{16\sigma^2}{49\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{212\sigma^2}{49\epsilon_0^2}} = \frac{2\sqrt{53}\sigma}{7\epsilon_0}$$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$

2) $\frac{2\sqrt{53}\sigma}{7\epsilon_0}$



Ток на катушке равен ее емкости
 индукция тока на катушке
 равна ее емкости.

$$1) T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$T = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C} = 2\pi \sqrt{9LC} = 6\pi \sqrt{LC}$$

$$2) E_{\Delta q} = \frac{L_2 I^2}{2} + \frac{CE^2}{2} + \frac{L_1 I^2}{2}$$

в момент заряда конденсатора до напряжения E

$$U = \frac{q}{C}$$

Ток на катушке L будет максимальным

Заряд на конденсаторе $q = CU$ т.е. $q = CE$ ~~в момент заряда~~
 макс. емк. требуемый момент

$$\text{т.е. } \Delta q = q_k - q_0 = CE$$

$$CE^2 = \frac{L_2 I_{01}^2}{2} + \frac{CE^2}{2} + \frac{L_1 I_{01}^2}{2}$$

$$CE^2 = L_2 I_{01}^2 + L_1 I_{01}^2$$

$$I_{01}^2 = \frac{CE^2}{9L}$$

$$I_{01} = \frac{1}{3} \frac{E\sqrt{C}}{\sqrt{L}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{2}$

Аргон	P_1 V_1 T_1 ΔA	критон	P_2 V_2 T_2 ΔA
-------	---------------------------------------	--------	---------------------------------------

$\Delta A = \Delta V_k = \frac{3}{5}$ моль - кол-во Аргона и кол-во Критона

$$T_1 = 320 \text{ K}$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

(1) В нач. момент, когда газы не обменялись теплом ~~с окружающей средой~~
давление обоих газов на стенки сосуда одинаковое. $P_1 = P_2$
Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$P_1 V_A = \nu R T_1$$

$$P_2 V_K = \nu R T_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_A}{V_K} = \frac{T_1}{T_2}, \frac{\nu_A}{\nu_K} = \frac{320}{400} = 0,8$$

$$V_K = \frac{20V}{18}$$

$$V_A = \frac{8V}{18}$$

(2) В конечном момент температуры Аргона и Критона

$$\text{выравниваются т.е. } T_{1k} = T_{2k}; T_1 + \Delta T_1 = T_2 - \Delta T_2$$

по закону термодинамики: $\Delta U = Q + A$ ΔT_1 - изменение темпер. аргона

$$\text{Аргон: } \frac{i}{2} \nu R \Delta T_1 = +Q - A_A$$

$$\text{Критон: } -\frac{i}{2} \nu R \Delta T_2 = -Q + A_K$$

$$-\frac{i}{2} \nu R \Delta T_2 = -Q + A_K$$

ΔT_2 - изменение темпер. критона

но объем критона будет уменьшаться
~~по мере течения времени~~
~~а в конечном~~

Аргон и критон совершили
одинаковую по модулю работу
т.к. в каждый момент времени
их давление на поршень было одинаковое.

т.к. отводится тепло от газа
и уменьшается внутр. эн. газа

$$\text{отсюда } \frac{i}{2} \nu R \Delta T_1 = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_2 = 0$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_2$$

$$T_1 + \Delta T_1 = T_2 - \Delta T_2$$

$$2\Delta T_1 = T_2 - T_1 = 80 \text{ K}$$

$$\Delta T_1 = 40 \text{ K}$$

$$T_{1k} = 320 + 40 = 360 \text{ K}; T_{2k} = 400 - 40 = 360 \text{ K}.$$

(3) по 1 Заколу Термодинамики для Арона:

$$\Delta U = Q + A'$$

$$\frac{1}{2} \nu R \Delta T = Q + A'$$

Давление газов на стенки всегда постоянно т.к. Тепло и система не подвигаются и отсеки разделены поршнем.

$$A = P \cdot \Delta V = P (V_{\text{конечное}} - V_{\text{начальное}})$$

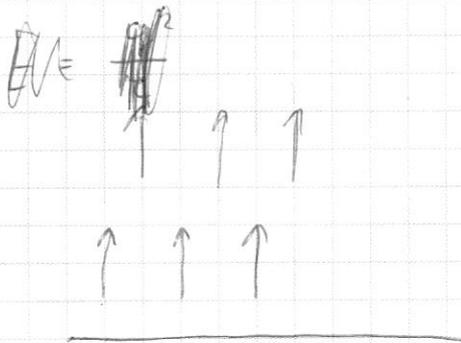
в конце объемы отсеков равны
в начале объемы Арона $\frac{8V}{18}$

$$A = P \cdot \left(\frac{V}{2} - \frac{8V}{18} \right)$$

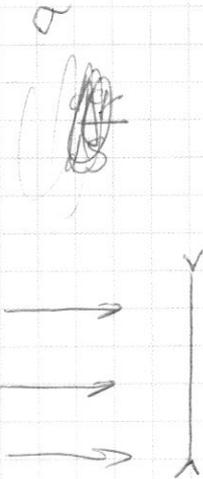
$$2,5 \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 8$$

$$10 \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 2$$

$$= 60 \cdot 8,31 = 6 \cdot 8$$



$$\begin{array}{r} 6 \\ 831 \\ \hline 6 \\ 18 \\ 48 \\ \hline 4986 \end{array}$$





$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$P_{1k} V_{1k} = \nu R (T_1 + \Delta T)$$

$$P_{2k} V_{2k} = \nu R (T_2 - \Delta T)$$

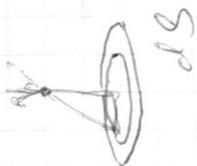
$$\frac{V_{1k}}{V_{2k}} = \frac{T_1 + \Delta T}{T_2 - \Delta T} = \frac{T_k}{T_k} = 1$$

$$V_{1k} = V_{2k}$$

$$T_1 + \Delta T = T_2 - \Delta T$$

$$T_1 + 2\Delta T = T_2$$

$$ds = \frac{\nu R (T_1 + T_2)}{2 T_1 T_2} dT$$



$$\Delta Q = \nu R T \ln 2$$



$$E = 200k$$

$$P_2 V_k = \nu R T_2$$

$$P_{2k} V_{kk} = \nu R T_k$$

$$P_2 = \frac{\nu R T_2}{V_k} = \frac{\nu R \cdot 400}{\frac{10V}{18}}$$

$$P_{2k} = \frac{\nu R T_k}{V_{kk}} = \frac{\nu R \cdot 360}{\frac{1}{2}V}$$

$$\frac{400}{\frac{10V}{18}} = 400 \cdot \frac{18}{10} = 360.2$$

$$\frac{360}{\frac{1}{2}} = 360.2$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{G} + \frac{1}{W} + \frac{1}{F}$$

$$\Delta U = Q + A$$

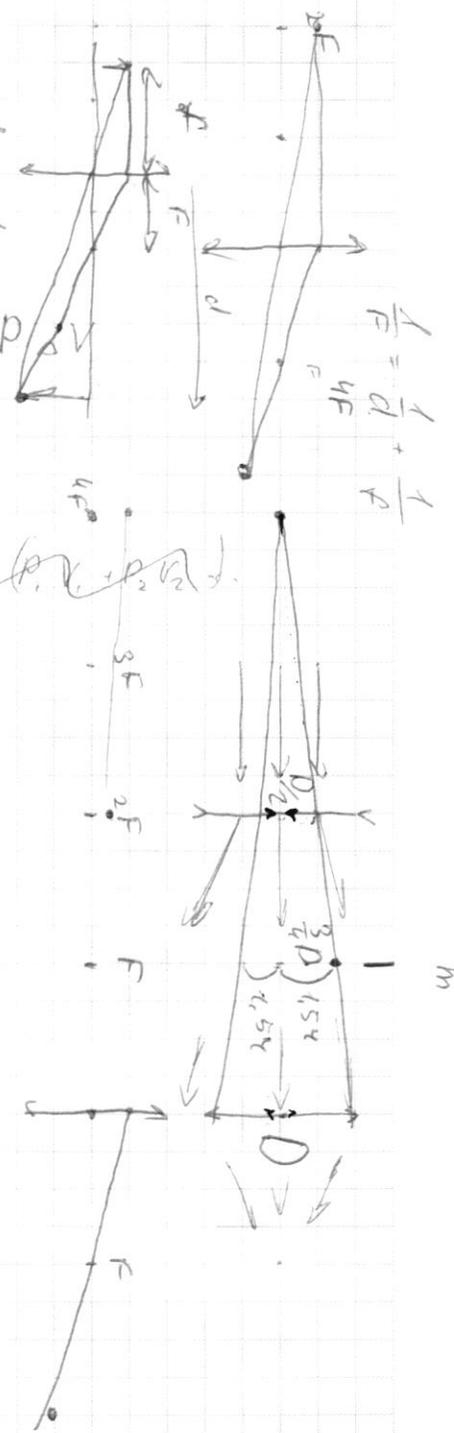
$$\frac{1}{2} \nu R \Delta T = Q + \Delta P \Delta V$$

$$\Delta U = \nu R \Delta T$$

$$\frac{1}{2} \nu R \Delta T = Q + (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$Eg = \Delta W_k + \Delta W_c + \Delta W_{el}$$

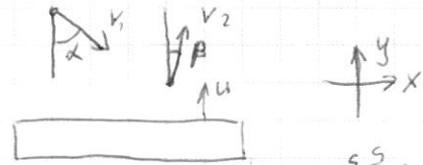
$$\frac{1}{2} \nu R \Delta T + \frac{1}{2} \nu R \Delta T + \frac{1}{2} \nu R \Delta T$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Зсу:

m - масса шарика
 M - масса плиты



$$-V_{1x}m + Mu = mV_{2x} + Mu'$$

$$mV_{1y} = mV_{2y}$$

$$V_{1y} = V_{2y}$$

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$$

$$V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$V_2 = \frac{18 \cdot \frac{3}{5}}{\frac{3}{5}} = \frac{18 \cdot 2.5}{3} = 20 \text{ м/с}$$

$$m(V_{2x} + V_{1x}) = M(u - u')$$

$$\frac{m}{M} = \frac{(u - u')}{(V_{2x} + V_{1x})} \quad (1)$$

$$-mV_1 + Mu = mV_2 + Mu'$$

$$m(V_2 + V_1) = M(u - u')$$

$$\frac{m}{M} = \frac{u - u'}{V_2 + V_1}$$

Зсэ:

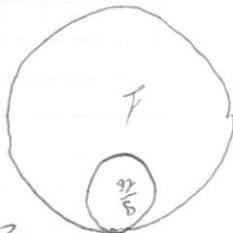
$$\frac{mV_1^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \frac{mV_2^2}{2} + \frac{Mu'^2}{2} + Q$$

$$m(V_1^2 - V_2^2) = M(u'^2 - u^2) + Q$$

$$\frac{m}{M} = \frac{(u'^2 - u^2)}{(V_1^2 - V_2^2)} \quad (2)$$

$$\frac{d \frac{Q}{d} = u_2}{\frac{d}{d} = u_2}$$

$$F = \frac{d \frac{Q}{d} = u_2}{\frac{d}{d} = u_2}$$



$$\frac{u - u'}{V_{2x} + V_{1x}} = \frac{u - u'}{V_2 + V_1}$$

$$\frac{1}{V_2 \sin \beta + V_1 \sin \alpha} = \frac{1}{V_2 + V_1}$$

$$\frac{1}{20 \cdot \frac{3}{5} + 18 \cdot \frac{3}{5}} = \frac{1}{20 + 18}$$

