

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

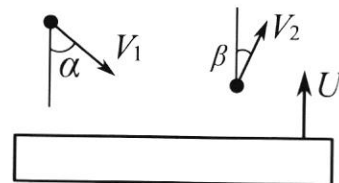
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{1}{2}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

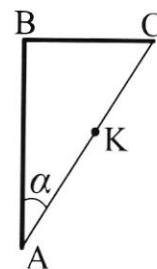


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ К, а азота $T_2 = 550$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме $C_V = 5R/2$. $R = 8,31$ Дж/(моль К).

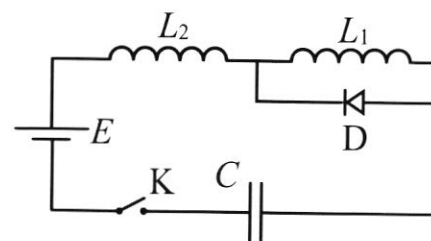
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



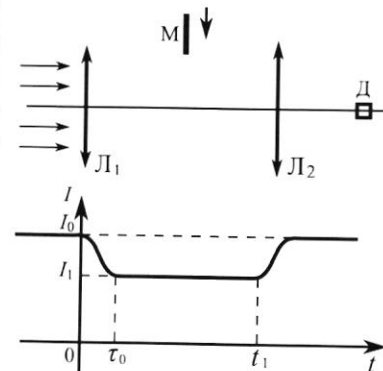
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. 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 $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, 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_1 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{M1} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{M2} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ 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 Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, 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). $I_1 = 5I_0/9$.



- 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

Дано:

$$v_1 = 12 \frac{m}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{3}$$

1) $v_2 = ?$
2) $u = ?$

$v_{12}, v_{1b}, v_{22}, v_{2b}$ - горизонтальные и вертикальные составляющие v_1 и v_2

1) По горизонтальной и вертикальной составляющим
действующим также силы $\Rightarrow v_{12} = v_{22}$

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

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad v_2 = 12 \frac{m}{c} \cdot \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 1} = 18 \frac{m}{c}$$

2) Если бы удар был абсолютно упругим:

$$(v_{1b} + u) = (v_{2b} - u)$$

$$u = \frac{v_{2b} - v_{1b}}{2}$$

если бы мячик не отрывался от нитки: $v_{2b} = u$
т.к. удар неупругий, то мячик отталкивается от нитки, $u \geq \frac{v_{2b} - v_{1b}}{2}$; $u \leq v_{2b}$

$$\frac{v_{2b} - v_{1b}}{2} = \frac{v_2 \cdot \cos \beta - v_1 \cdot \cos \alpha}{2} = \frac{v_2 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - v_1 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{2}$$

$$\frac{v_{2b} - v_{1b}}{2} = \left(\frac{18 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} \right) \frac{m}{c} = (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}) \frac{m}{c}$$

$$v_{2b} = v_2 \cdot \cos \beta = 18 \frac{\sqrt{8}}{3} \frac{m}{c} = 12\sqrt{2} \frac{m}{c}$$

$$(6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}) \frac{m}{c} \leq u \leq 12\sqrt{2} \frac{m}{c}$$

Ответ: 1) $v_2 = 18 \frac{m}{c}$ 2) $(6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}) \frac{m}{c} < u < 12\sqrt{2} \frac{m}{c}$

√2

Дано:
 $V = \frac{6}{7} \text{ моль}$
 $T_1 = 350 \text{ K}$
 $T_2 = 550 \text{ K}$
 $C_v = \frac{5}{2} R$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$

P_1, P_2 - давления водорода и азота в начале; V_{B1}, V_{A1} - объемы водорода и азота в начале; A_B, A_A - работы водорода и азота; $\Delta U_B, \Delta U_A$ - изменения внутренней энергии водорода и азота; Q_A, Q_B - количества теплоты, отданные, полученное азотом и водородом

- 1) $\frac{V_{B1}}{V_{A1}} = ?$
- 2) $T_K = ?$
- 3) $Q_A = ?$

1) $P_1 = P_2$; $P_1 = \frac{\nu R T_1}{V_{B1}}$; $P_2 = \frac{\nu R T_2}{V_{A1}}$

$$\frac{\nu R T_1}{V_{B1}} = \frac{\nu R T_2}{V_{A1}} ; V_{B1} \cdot T_2 = V_{A1} \cdot T_1$$

$$\frac{V_{B1}}{V_{A1}} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{V_{B1}}{V_{A1}} = \frac{350 \text{ K}}{550 \text{ K}} = \frac{7}{11} \approx 0,64$$

2) Давления газов в конце одинаковы, можем изменить объема тоже $\Rightarrow |A_B| = |A_A|$; $A_B = -A_A$

Цилиндр теплоизолирован $\Rightarrow Q_B = -Q_A$

$A_B + \Delta U_B = -A_A - \Delta U_A$; $\Delta U_B = -\Delta U_A$

Матрицы теплоемкости газов тоже одинаковы

$\Rightarrow \nu \Delta T_B = -\nu \Delta T_A$; $T_K - T_1 = T_2 - T_K$; $T_K = \frac{T_2 + T_1}{2}$

$T_K = \frac{550 \text{ K} + 350 \text{ K}}{2} = 450 \text{ K}$

3) Температура и давление газов в конце одинаковы $\Rightarrow V_{Bk} = V_{Ak} = V_k$

$V = V_{B1} + \frac{11}{7} V_{B1} = \frac{18}{7} V_{B1}$; $V = 2V_k$; $V_k = \frac{18}{7 \cdot 2} V_{B1} = \frac{9}{7} V_{B1}$

$P_2 = \frac{\nu R T_2}{V_{A1}} = \frac{\nu R T_2}{\frac{11}{7} V_{B1}}$; $P_{Ak} = \frac{\nu R T_K}{\frac{9}{7} V_{B1}}$; $\frac{T_K}{T_2} = \frac{9}{11} \Rightarrow P_{Ak} = P_2$

$\Rightarrow A_A = P_{Ak} (V_k - V_{A1}) = -\frac{\nu R T_K}{\frac{9}{7} V_{B1}} \cdot \frac{2}{7} V_{B1} = -\frac{2}{9} \nu R T_K$

$\Delta U_A = C_v \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_K - T_2)$

$Q = -\left(\frac{2}{9} \cdot \frac{6}{7} \text{ моль} \cdot 350 \text{ K} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}} + \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{7} \text{ моль} \cdot 100 \text{ K} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}\right)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$a = -2493 \text{ Дж}$, т.е. столько 2493 Дж

Ответ: 1) $0,64$; 2) 450 К ; 3) столько 2493 Дж .

N5

Дано:

$$F_1 = 3F_0$$

$$F_2 = F_0$$

$$I_1 = \frac{5I_0}{9}$$

$$D = 9r_0$$

1) $f_2 = ?$

2) $v = ?$

3) $t_1 = ?$

$$1) \frac{1}{\infty} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1} \quad f_1 - \text{расстояние до изображения, полученного в первой линзе}$$

$$f_1 = F_1 = 3F_0 \text{ из первой линзы}$$

Изображение находится за второй линзой \Rightarrow для второй линзы источник мнимый

$$-\frac{1}{f_1 - 2F_0} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2} \quad ; \quad -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_0} \cdot \frac{1}{f_2} = \frac{2}{F_0}$$

$$f_2 = \frac{F_0}{2}$$

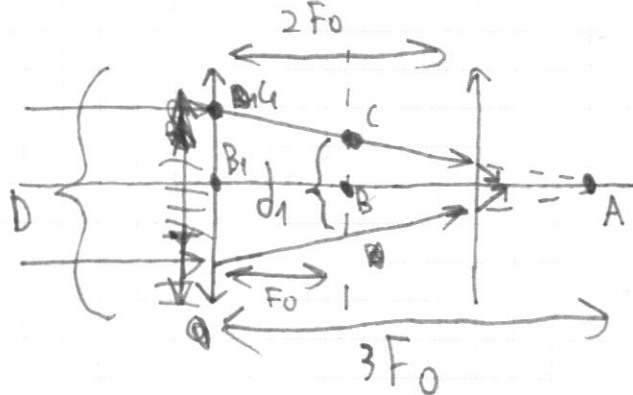
2)

Из подобия ΔABC и $\Delta A'B'C'$:

$$\frac{d_1}{\frac{D}{2}} = \frac{2F_0}{3F_0} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{D}{2}$$

$$d_1 = \frac{2}{3}D$$



Если $I_1 = \frac{5I_0}{9}$, то M закрывает максимум

$1 - \frac{5}{9} = \frac{4}{9}$ от всего света; на ширине m которой находится M , ~~свет~~ широк свет превращается в один круг диаметра d_1 .

Тогда $S_M = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{4}{9} \frac{\pi d_1^2}{4}$ S_M - площадь M , d_2 - диаметр M

$d_2 = \frac{2}{3}d_1 = \frac{4}{9}D$. С помощью, когда M на ширине закрывает свет, до момента, когда она закрывает максимум

плоскость, M проходим параллельно, второе своему
~~плоскости~~ гравитации.

~~v \cdot \tau_0 = \frac{4}{9} D~~ $v \cdot \tau_0 = \frac{4}{9} D$; $v = \frac{4D}{9\tau_0} \approx 0,44 \frac{D}{\tau_0}$

3) ~~max~~ C наименьшим τ_0 до тех пор,
 пока ота не полностью закрывается перпендикулярно
 плоскости, M пройдем ~~туда~~ $d_1 - d_2$ за время
 наименьшее

$t_1 - \tau_0$ -
 $v(t_1 - \tau_0) = d_1 - d_2$; $t_1 = \frac{\frac{2}{3}D - \frac{4}{9}D \cdot 9 \cdot \tau_0}{4D} + \tau_0$

$t_1 = \frac{\frac{2}{9}D \cdot 9 \cdot \tau_0}{2 \cdot 4D} + \tau_0 = 1,5 \tau_0$

Ответ: 1) $0,5 \tau_0$ 2) $0,44 \frac{D}{\tau_0}$ 3) $1,5 \tau_0$
 $\sqrt{3}$

Дано:

1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

2) $\sigma_1 = 3\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

$\alpha = \frac{\pi}{5}$

1) $\frac{E_k}{E_H} = ?$

2) $E = ?$

1) $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow AB = BC \Rightarrow$ равнобедренный
 равнобедренный равнобедренный \Rightarrow равнобедренный,
 создаваемые равнобедренный равнобедренный
~~равнобедренный~~ равнобедренный по модулю,
 равнобедренный перпендикулярно друг
 другу; $E_k = \sqrt{E_H^2 + E_H^2} = \sqrt{2} E_H$; $\frac{E_k}{E_H} = \sqrt{2} \approx 1,4$

2) В такой ситуации ~~каждый~~ равнобедренный
 эквивалентны заряду ~~и~~ $\sigma_1 \cdot BC^2$ и
 $\sigma_2 \cdot AB^2$, расположенных на поверхности
 равнобедренный на перпендикулярах от K

$E = \sqrt{\left(k \cdot \frac{3\sigma \cdot AB^2 - 4\sigma^2 \left(\frac{\pi}{5}\right)}{\frac{AB^2}{4}} \right)^2 + \left(k \cdot \frac{\sigma \cdot AB^2}{\frac{AB^2 - 4\sigma^2 \left(\frac{\pi}{5}\right)}{4}} \right)^2} = \sqrt{(1,4 + 4^2 \left(\frac{\pi}{5}\right) + \frac{16}{4^2 \left(\frac{\pi}{5}\right)}} \cdot k \cdot \sigma$
 Ответ: 1) 1,4 2) $k\sigma \sqrt{1,4 + 4^2 \left(\frac{\pi}{5}\right) + \frac{16}{4^2 \left(\frac{\pi}{5}\right)}}$

$$2) \quad S_M = \frac{16}{89} S_A$$

$$d_M = \frac{24}{9} D$$

$$v \cdot \tau_0 = d_M$$

$$v = \frac{24D}{9\tau_0} \approx 0, \cancel{144} \frac{D}{\tau_0}$$

$$3) \quad v \cdot (t_1 - \tau_0) = \frac{D}{9}$$

$$t_1 = \frac{\cancel{7D \cdot 3\tau_0}}{\cancel{2D \cdot 8}} + \tau_0 = \frac{3}{2} \tau_0 = 1,5\tau_0$$

$$\frac{\cancel{7D \cdot 9\tau_0}}{\cancel{9 \cdot 2D}} + \tau_0 = 4,5\tau_0$$

$$k \frac{3\sigma \cdot d^2 \cdot \tan^2(\frac{\pi}{5})}{\frac{d^2}{4}} = 1,5\tau_0 \tan^2(\frac{\pi}{5})$$

$$t_1 = \frac{D \cdot 9\tau_0}{9 \cdot 2D} + \tau_0 = 1,5\tau_0$$

$$k \frac{\sigma \cdot d^2}{\frac{d^2 \cdot \tan^2(\frac{\pi}{5})}{4}} = 4\sigma \frac{1}{\tan^2(\frac{\pi}{5})}$$

$$\frac{2D \cdot 9\tau_0}{9 \cdot 4D} + \tau_0 = 1,5\tau_0$$

$$F = k \cdot \sigma \sqrt{(144 \tan^2(\frac{\pi}{5}) + \frac{16}{\tan^2(\frac{\pi}{5})})}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{2}$$

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

$$\cos^2 \delta = \frac{1}{1 + \frac{d^2}{l^2}}$$

$$\sin^2 \delta = 1 - \frac{1}{1 + \frac{d^2}{l^2}}$$

$$r^2 = \frac{d^2 \cdot 1}{1 - \frac{1}{1 + \frac{d^2}{l^2}}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_{1x} = V_{2x}$$

$$V_{1x} = V_1 \cdot \sin \alpha$$

$$V_{2x} = V_2 \cdot \sin \beta$$

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

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_2 \cdot 3}{2} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$p = \frac{\rho R T}{V}$$

$$p \frac{\rho R T_1}{V_1} = \frac{\rho R T_2}{V_2}$$

$$V_1 \cdot \rho R T_2 = V_2 \cdot \rho R T_1$$

$$V \rightarrow \frac{9V}{7}$$

$$\frac{11V}{7} \rightarrow \frac{9V}{7}$$

$$T_x = 450K$$

$$\Delta T = 100K$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11} \approx 0,64$$

$$100 \cdot \frac{6}{7} \cdot 8,31 \left(\frac{7}{2}\right) = 3 \cdot 8,31 \cdot 110 = 3 \cdot 831$$

$$Q = p \Delta V + C_V \Delta T \quad Q = 2493 \text{ Дж}$$

$$1) \sqrt{2} \mu \approx 1,4$$

$$1) 0 + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$f_1 = F_1 = 3F_0$$

$$-\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_0} \quad \frac{1}{f_2} = \frac{2}{F_0}$$

$$p = \frac{\rho R T}{V}$$

$$Q = \frac{6 \cdot 8,31 \cdot 350 \cdot 2}{7} + \frac{50 \cdot 6 \cdot 100}{2 \cdot 7}$$

$$2f_2 = F_0 \quad f_2 = \frac{F_0}{2}$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Grid area for writing the answer.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Blank grid area for writing the answer.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

