

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

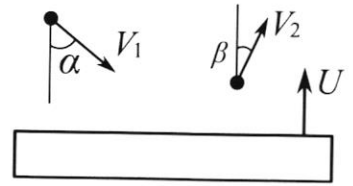
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

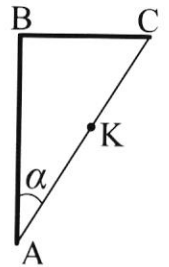


- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

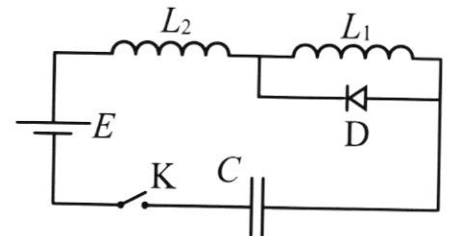
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



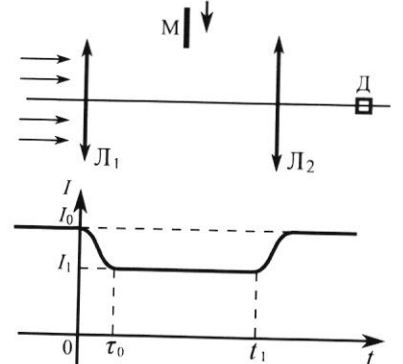
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

№1

Поскольку планка гладкая, горизонтальная составляющая скорости шарика ~~до~~ ^{после} удара не изменяется: $V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$ ①

Теперь перейдём в систему отсчёта, движущуюся со скоростью планки в одном направлении с ней. В этой системе планка неподвижна, а ^{горизонтальная} составляющая скорости равна до удара: $V_1 \cos \alpha + U$ после: $V_2 \cos \beta - U$. Поскольку удар не был упругим, ^{горизонтальная} составляющая скорости мяча должна быть уменьшилась: ② $V_1 \cos \alpha + U > V_2 \cos \beta - U$. Шарик не мог отлететь ^{горизонтально} с ^{горизонтальной} скоростью ~~больше~~ скорости пластины, и с равной может, т.е. удар не абсолютно неупругий: $V_2 \cos \beta > U$ ③

Затем выберем систему отсчёта

$$\left\{ \begin{array}{l} ① \\ ② \\ ③ \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} ① \rightarrow V_1 = V_2 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \cdot \frac{1/2}{1/3} = 18 \text{ м/с} \\ ② \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} U < V_2 \cos \beta \\ 2U > V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

11 (продолж.)

$$\begin{cases} u < 12\sqrt{2} \\ u > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \end{cases}$$

Ответ: 1) $v_2 = 18 \text{ м/с}$; 2) $u \in (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}; 12\sqrt{2})$

12

V_0 - начальный объем водорода

V_0' - начальный объем азота

П.к. давление и ∇ со обеих сторон

равны, $\frac{V_0}{V_0'} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{11}{7}$

П.к. сосуд изохоричен, а работа

по перемещению поршня стремится к 0 (т.к. процесс медленный, значит ^{равнов.} сила, действующая на поршень крайне мала), значит

суммарная внутренняя энергия

газов не меняется: $\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 =$

$$= \frac{5}{2} \nu R T_{\text{уст}} + \frac{5}{2} \nu R T_{\text{уст}}$$

$T_{\text{уст}}$ - температура, установившаяся

после взаимод. $2T_{\text{уст}} = T_1 + T_2$

$$T_{\text{уст}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 450}{2} = 400 \text{ К}$$

П.к. процесс медленный на его протяжении $p = \text{const}$; ∇ объемы в обеих

частях сосуда после взаимодействия

равны (т.к. равны p, ∇, T) $\frac{V}{2}$ - объем каждого из

газов после взаимод. $\frac{V}{2} = \frac{V_0 + \frac{11}{7} V_0}{2} = \frac{9}{7} V_0$

$$\Delta V = \frac{V}{2} - V_0 = \frac{2}{7} V_0$$

$\sqrt{2}$ (процентам.)

$$Q = A + \delta U = \rho_0 V + \frac{5}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta T = \overset{450-350}{350-250} = 100$$

$$Q = \frac{2}{7} \rho_0 V_0 + \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

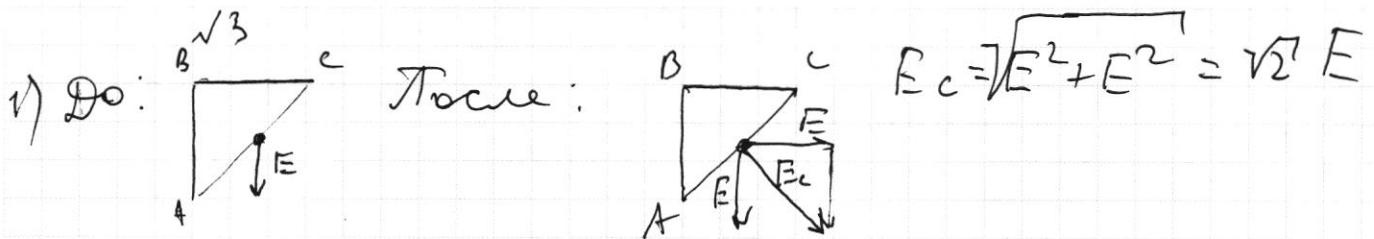
$$Q = \frac{2}{7} \nu R T_0 + \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$Q = \nu R \left(\frac{2}{7} T_0 + \frac{5}{2} \Delta T \right)$$

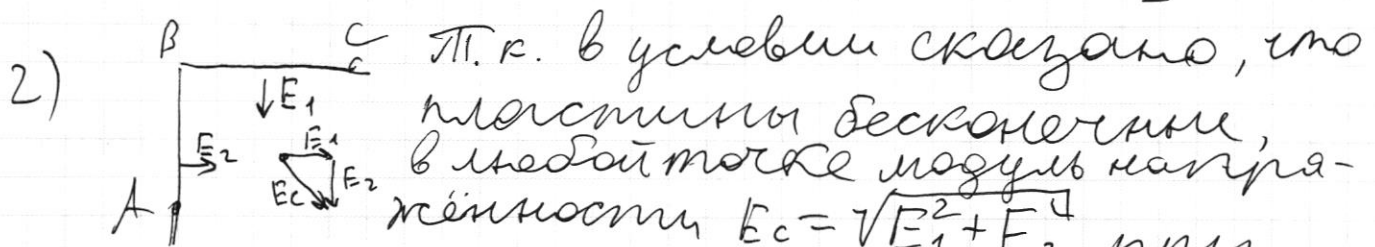
$$Q = \nu \frac{6}{7} \cdot 8,31 \left(\frac{350 \cdot 2}{4} + \frac{5 \cdot 100}{2} \right) =$$

$$= \frac{6}{7} \cdot 8,31 (50 \cdot 7) = 300 \cdot 8,31 = 831 \cdot 3 = 2493 \text{ Дж}$$

Ответ: 2493 Дж 1) $\frac{11 \cdot \text{объем азота}}{7 \cdot \text{объем водорода}}$ 2) 450K



Отношение. Искомое отношение: $\frac{E_c}{E} = \sqrt{2}$



Значит $E_1 = \frac{3\sigma}{2\epsilon_0}$ $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{1}{4}} = \sqrt{\frac{10}{4}} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sqrt{10}}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \sqrt{2,5} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Ответ: 1) $\sigma \sqrt{2}$ 2) $\frac{\sqrt{2,5} \sigma}{\epsilon_0}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

составляющая

Так как плита гладкая, горизонтальная
скорости шарика не изменяется:

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta \quad v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \text{ м/с}$$

Теперь перейдём в систему отсчёта,
плиты, в ней скорость движущейся
се скоростью плиты в одном направ-
лении с ней. В ней плита неподвижна,
~~и её~~ ^{вертикальная составляющая} скорости мяча равна $v_1 \cos \alpha + u$;
до удара

~~Вертикальная составляющая~~ скорости
мяча после удара равна: $v_2 \cos \beta - u$

П.к. удар был неупругим, вертикальная
составляющая скорости дежда была
уменьшилась, а так: $v_1 \cos \alpha + u > v_2 \cos \beta - u$
а так как шарик ~~не~~ отлетел от плиты
 $v_2 \cos \beta > u$ (т.к. он не мог отлететь

от плиты с ^{верт} скоростью меньше
скорости плиты

$$\begin{cases} u < v_2 \cos \beta \\ 2u > v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} u < v_2 \cos \beta \\ 2u > v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha \end{cases}$$

^{мощности}
 Интенсивность света прямопро-
 цедная мощность пучка Φ света
 и I , значит $S \propto I$

$$\triangle BAC \sim \triangle DEC \Rightarrow \frac{BA}{DE} = \frac{AC}{EC} = \frac{3F}{2F} = \frac{3}{2}$$

$$BA = R \quad DE = \frac{2}{3}R = R'$$

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{S_1}{S_0} = \frac{\pi R'^2 - \pi r^2}{\pi R^2} = 1 - \left(\frac{r}{R'}\right)^2 = \frac{5}{9}$$

r - радиус мишени
 S_0 - площадь после ~~застывания~~
 $t=0$ пучка света

$$\left(\frac{r}{R'}\right)^2 = \frac{4}{9} \quad \frac{r}{R'} = \frac{2}{3} \quad r = \frac{2}{3}R' = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3}R = \frac{4}{9}R, \quad R' = \frac{2}{3}R$$

τ_0 - время от того момента, когда мишень
 начала закрывать пучок, до того
 момента, когда она полностью в него, ^{вошла}
 за это время мишень
 сместилась на $2r$

τ_0 - время от того момента, когда мишень
 начала закрывать пучок, до того

момента, когда она полностью в него, ^{вошла}
 $\tau_0 = \frac{2R'}{v} \quad v = \frac{2r}{\tau_0} = \frac{4D}{9\tau_0}$

t_1 - время от того момента, когда мишень
 начала закрывать пучок до того
 момента, когда она начала из него
 выходить; за это время она смести-
 лась на $2R'$

$$t_1 = \frac{\frac{2}{3}D}{v} = \frac{3}{2} \tau_0$$

Ответ: 1) $\frac{F_0}{2}$ 2) $\frac{4D}{9\tau_0}$ 3) $\frac{3}{2} \tau_0$

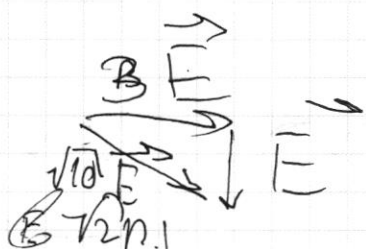
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

1)



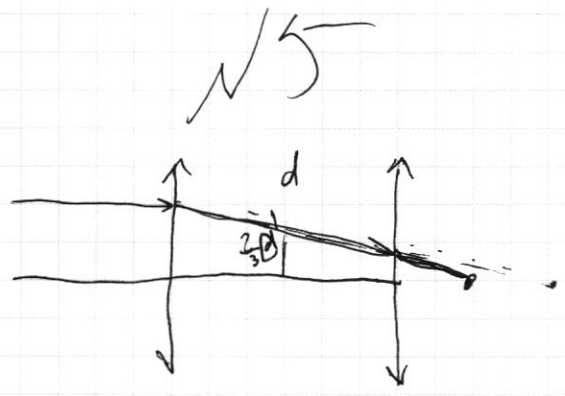
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



2)

Ответ:

$$\frac{\sqrt{2,5} \cdot \sigma}{2\epsilon_0}$$

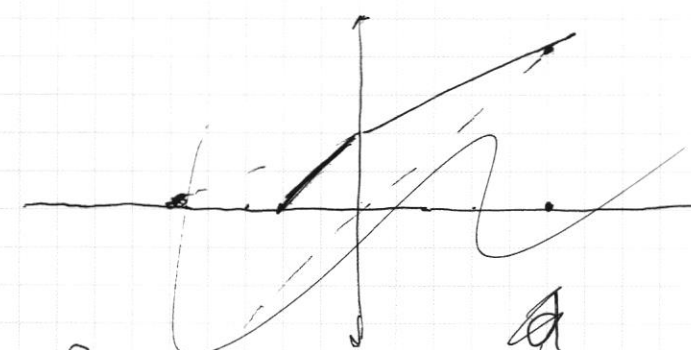


$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$d = \frac{F}{2}$$

$$d = \frac{2}{3} D' = \frac{4}{9} D$$



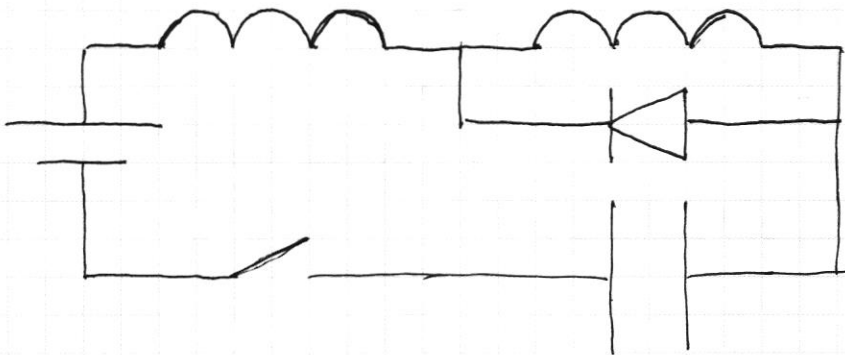
$$\frac{\frac{\pi R^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi R^2}{4}} = \frac{5}{9}$$

$$\frac{d^2}{R'^2} = \frac{4}{9}$$

$$\frac{d}{R'} = \frac{2}{3}$$

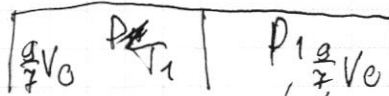
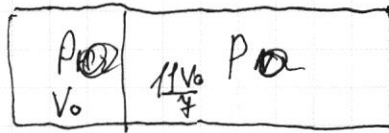
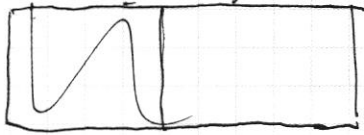
$$v = \frac{d}{\tau_0} = \frac{4D}{9\tau_0}$$

$$t_1 = \frac{\frac{2}{3}D}{v} = \frac{3}{2} \tau_0$$



$$H_2 \quad N_2 \quad \frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T}$$

$$1) \frac{V_{N_2}}{V_{H_2}} = \frac{T_{N_2}}{T_{H_2}} = \frac{550}{350} = \frac{11}{7} = \frac{11}{7}$$



$$\frac{9}{7} \cdot 550 = 350$$

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

~~$$|Q| = -\delta U_{N_2} - A_{N_2} \quad | \delta U_{N_2} = Q - A_{N_2}$$

$$\delta U = -Q \quad Q = \delta U + A$$~~

~~$$Q = A + \delta U$$~~

~~$$P_H \frac{P_1}{P_H} = \frac{\sqrt{R T_{H_2}} \cdot \frac{9}{7} V_0}{\frac{9}{7} V_0 \sqrt{R T_{H_2}}} = \frac{9}{7} = 1$$~~

$$Q = A + \delta U$$

~~$$Q = p \Delta V + \frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T}$$~~

$$Q \text{ и } p = \text{const}$$

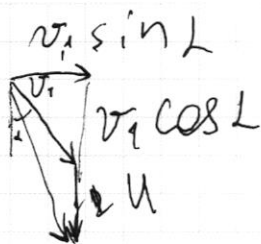
$$Q = p \Delta V + \frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T}$$

$$Q = p \cdot \frac{9}{7} V_0 + \frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T}$$

$$Q = \sqrt{R \Delta T} \left(\frac{2}{7} + \frac{5}{2} \right) = \frac{6}{7} \cdot 8.31 \cdot \dots =$$

$$= \frac{6}{7} \cdot 8.31 \cdot 100 \left(\frac{9}{7} + \frac{35}{7} \right) = \frac{3 \cdot 8.31 \cdot 39}{49} \text{ Дж}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} v_1 = 18 \text{ м/с}$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\downarrow v_1 \cos \alpha + U$$

$$\uparrow v_2 \cos \beta - U$$

$$\cancel{v_1 \cos \alpha + U}$$

$$\downarrow 6\sqrt{3} + U$$

$$\uparrow 12\sqrt{2} - U$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U < 12\sqrt{2} \\ 6\sqrt{3} + U > 12\sqrt{2} - U \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U < 12\sqrt{2} \\ U > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U < 12\sqrt{2} \\ U > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U < 12\sqrt{2} \\ U > 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} \end{array} \right.$$

Ответ: $v_2 = 18 \text{ м/с}$; $U \in (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}; 12\sqrt{2})$

$$U \in (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}; 12\sqrt{2})$$