

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

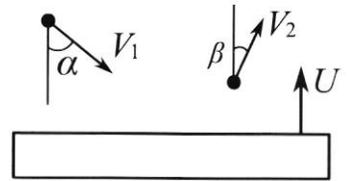
Класс 11

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.

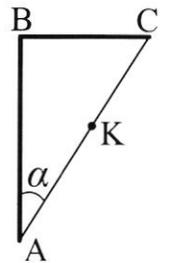


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

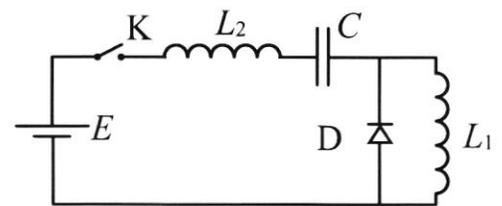
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



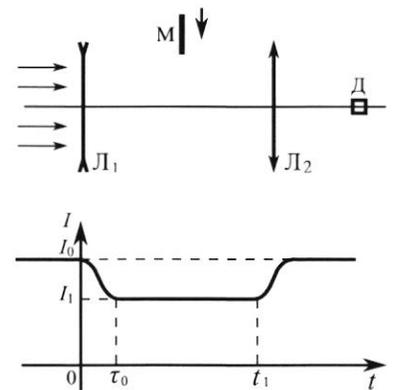
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку 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 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). $I_1 = 7I_0/16$



- 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.

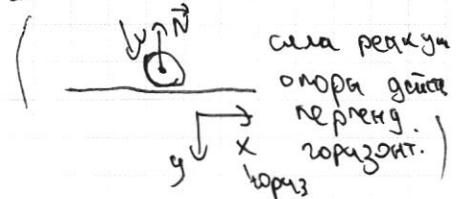
ЗСИ

1) Проекция скорости шарика на горизонталь сохраняется
(считаем трения нет)

и проекция скорости на Ox .

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

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \cdot \frac{2/3}{3/5} = 18 \cdot \frac{10}{9} = 20 \text{ м/с}$$



2) В соплета скорость шарика в проекции на Oy :

$$v_{1n} = v_1 \cos \alpha + u$$

После соударения она может принимать значения от 0

до v_{1n} (т.к. удар неупругий) $\Rightarrow v_{2n} \in [0; v_{1n}]$

Необходимо, чтобы $v_{2n} + u = v_2 \cos \beta$ - переход из соплета со земли

$$\text{Итого: } \begin{cases} v_{1n} > v_{2n} \Leftrightarrow v_1 \cos \alpha + u > v_2 \cos \beta - u & (1) \\ v_{2n} \geq 0 \Leftrightarrow v_2 \cos \beta - u \geq 0 & (2) \end{cases}$$

$$(2): u \leq v_2 \cos \beta \Leftrightarrow u \leq 20 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = 20 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{3}{5}\right)^2} = 20 \cdot \frac{4}{5} = 16$$

$\begin{cases} \cos \alpha > 0 \\ \sin \alpha \end{cases}$ $u \leq 16 \text{ м/с}$

$$(1) v_1 \cos \alpha = 18 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 18 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2} = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} = 6\sqrt{5}$$

$$(1) \Leftrightarrow 24 > 16 - 6\sqrt{5}$$

$$u > 8 - 3\sqrt{5} \quad (8 - 3\sqrt{5} < 8 - 3\sqrt{4} = 2 < 16)$$

$$u \in (8 - 3\sqrt{5}; 16] \text{ м/с}$$

Ответ: 1) $v_2 = 20 \text{ м/с}$; 2) $u \in (8 - 3\sqrt{5}; 16] \text{ м/с}$

1) По уравнению состояния (Клапейрон-Менделеева)

$$pV = \nu RT \quad p = p_{\text{кр}} = p_{\text{ат}} \quad (\text{давление подвижный})$$

Криптон $\left\{ \begin{array}{l} pV_{\text{кр}} = \nu_{\text{кр}} RT_{\text{кр}} \quad (1) \end{array} \right.$

Аргон $\left\{ \begin{array}{l} pV_{\text{ар}} = \nu_{\text{ар}} RT_{\text{ар}} \quad (2) \end{array} \right.$

т.к. $\nu_{\text{кр}} = \nu_{\text{ар}} = \nu$

$$\frac{V_{\text{ар}}}{V_{\text{кр}}} = \frac{T_{\text{ар}}}{T_{\text{кр}}} = \frac{320}{400} = 0,8$$

2) ~~Изменилась~~ т.к. сосуд изолирован от окружающей среды, то работу сил можно не учитывать. При рассмотрении системы в целом внутренняя энергия:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} \nu RT_1 + \frac{3}{2} \nu RT_2 = \frac{3}{2} \nu R(T_1 + T_2)$$

Внутр. энергия в конце процесса: $U = \frac{3}{2} \cdot (2\nu) RT_0$

$$\frac{3}{2} \cdot 2\nu \cdot RT_0 = \frac{3}{2} \nu R(T_1 + T_2)$$

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 360 \text{ K}$$

3) Как известно, для системы в целом давление равно давлению газов по отдельности: (1) + (2): $p \cdot V_0 = \nu R(T_{\text{кр}} + T_{\text{ар}})$

Из записанной ЗСЭ величина $T_{\text{кр}} + T_{\text{ар}}$ постоянна, а значит p постоянно.

По I началу термодинамики:

$$Q = A + \Delta U$$

кр: $\Delta U = \frac{3}{2} \nu RT_2 - \frac{3}{2} \nu RT_0 = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_0)$

Криптон сжимается, а значит совершает отрицательную работу

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$A = p \Delta V = \frac{\Delta R (T_{кг} + T_{кг})}{V_0} \cdot \left(-\frac{1}{18} V_0\right) = -\frac{\Delta R (T_{кг} + T_{кг})}{18}$$

$$\frac{V_0}{2} - \frac{V_{кг}}{V_{кг} + V_{кг}} \cdot V_0 = \frac{V_0}{2} - \frac{10}{8+10} V_0 = -\frac{1}{18} V_0$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ \times 12 \\ \hline 1662 \\ 831 \\ \hline 10172 \end{array}$$

когда равновесие
установится, объемы газов
будут равны ($\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_0}{T_0}$)

$$Q = \frac{3}{2} \Delta R (T_2 - T_0) - \frac{\Delta R (T_1 + T_2)}{18} = \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot 40 - \frac{720}{18}\right) = \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 = 12 \cdot 8,31 \approx 100 \text{ Дж}$$

$$Q = 101,72 \text{ Дж} \approx 100 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $V_{кг} : V_{кг} = 0,8$; 2) $T_0 = 360 \text{ К}$; 3) ~~100 Дж~~

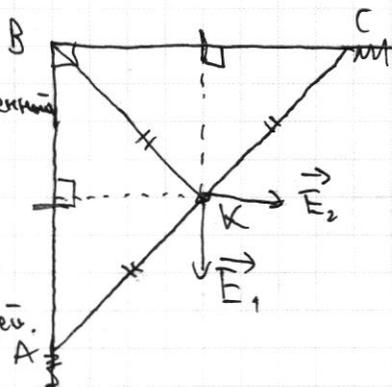
МВ. №3.

1) $\frac{\pi}{4} = 45^\circ \Rightarrow \triangle ABC - \triangle$ и равнобедренный

$BK = KC = KA$ (медиана \triangle)

в точке K поле от ~~пластин~~

пластины BC направлено перпенд. ей.
(из сообр. симметрии)



В свою очередь, и от пластины AB поле \perp ей

Суперпозиция: $\vec{E}_K = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \sqrt{2} \vec{E}_1$

т.к. $|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2|$ из равва $\triangle ABK$ и $\triangle BKC$
(а значит и совпадают позуши)

По формуле для \triangle
векторного а:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2E_1^2} = \sqrt{2} E_1$$

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

$\frac{|\vec{E}|}{|\vec{E}_1|} = \sqrt{2}$ - увеличение напряженности.

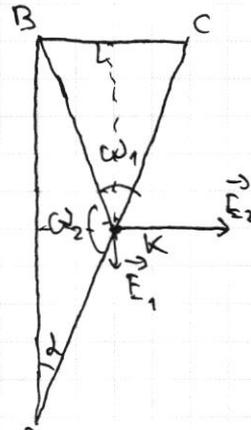
№3 (прод)

2) $\alpha = 20^\circ$

Поле от однородно заряженной
(сфер. элемент) пластины, видной под телесным
углом Ω :

$$E_{\perp} = \frac{G}{\epsilon_0} \cdot \frac{\Omega}{4\pi}$$

$\triangle ABC$ и BKC до сих пор
равнобедренные



$E_2 \perp AB$; $E_1 \perp BC$,

~~...~~ $E_{\perp 1} = |E_1|$; $E_{\perp 2} = |E_2|$

$\omega_1 = 2 \cdot \alpha = \frac{4\pi}{9}$; $\omega_2 = 2(\pi - 2\alpha) = \frac{7\pi}{9}$

поскольку
мгновенно $\omega = 2\pi$
соотв. телесный
угол 4π

$E_1 = \frac{G}{\epsilon_0} \cdot \frac{4\pi}{9 \cdot 4\pi} = \frac{G}{9\epsilon_0}$

$E_2 = \frac{2G}{7\epsilon_0} \cdot \frac{7\pi}{9 \cdot 4\pi} = \frac{G}{9\epsilon_0}$

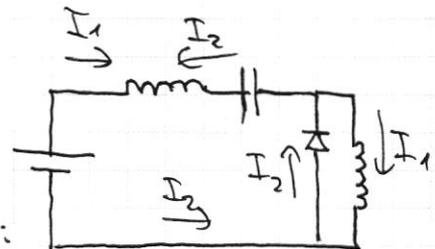
Как видим, $E_1 = E_2 \Rightarrow E_K = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\sqrt{2} G}{9\epsilon_0}$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз; 2) $E_K = \frac{\sqrt{2} G}{9\epsilon_0}$

№4.

1) Будем считать диод идеальным.
(по ус)

Т.к. диод пропускает ток только
в одном направлении, то колебания
будут состоять из 2-х промежутков:



а) То есть течет ток I_1 он проходит через 2 индукт. и конд-р,
(по час. стрелке) но не идет через диод.

а) После уменьшения I_1 до нуля, по усм начинает течь ток I_2
против часовой стрелки, при этом он не течет через L_1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (прод)

, потому что ток i и напряжённость E протекает через точку D ,
на которой напряжение строго 0, а значит нет и на L_1
напряж. тоже 0, и нет причин измерять ток в ней.

Схема становится эквивалентна ЭДС с последов. катушкой
и конденсатором.

$$T = T_{a1} + T_{a2}$$

$$T_{a1} = \frac{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C}}{2}$$

- половина периода колебаний, по формуле
Томсона; смещение положения равновесия не
влияет

$$T_{a2} = \frac{2\pi \sqrt{L_2 C}}{2}$$

$$T = \pi \sqrt{C} \left(\sqrt{L_2} + \sqrt{L_1 + L_2} \right) = 5\pi \sqrt{LC}$$

2) Максимальный ток наблюдается в I промежутке колебаний i .

Затем $3CЭ$;

$$\mathcal{E} \cdot q = \frac{Cq^2}{2} + \frac{L_2 I_{01}^2}{2} + \frac{L_1 I_{01}^2}{2}$$

работы источника ка
когда ток максимален
его значение 0 а значит на
катушках нет напряжения т.е.
следств. для конденсатора
тогда на напряжение на конденса-
торе составит \mathcal{E}

$$\mathcal{E}^2 C = \frac{\mathcal{E}^2 C}{2} + \frac{L_1 + L_2}{2} I_{01}^2$$

$$I_{01} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}^2 C}{L_1 + L_2}} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}} = \frac{\mathcal{E}}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

НЧ (прод)

3) найду максимальный ток для II промежутка и сравню его с I_{01} : (амплитудным образом)

По ЗСЭ:

$$E \cdot q = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} + \frac{c \epsilon^2}{2}$$

$$q = \epsilon c$$

$$I_{02} = \epsilon \sqrt{c/L_2} = \frac{\epsilon}{2} \sqrt{\frac{c}{L}}$$

Как видим, $I_{02} > I_{01}$, значит именно $\frac{\epsilon}{2} \sqrt{\frac{c}{L}}$ пойдет в ответ.

Ответ: 1) $T = 5\pi \sqrt{LC}$; 2) $\frac{\epsilon}{3} \sqrt{\frac{c}{L}}$; 3) $\frac{\epsilon}{2} \sqrt{\frac{c}{L}}$

НБ.

Параллельный пучок излучения фокусируется системой в точку. Когда мишень перекрывает часть излучения, падающего в дальнейшем в детектор, и ток через последний падает.

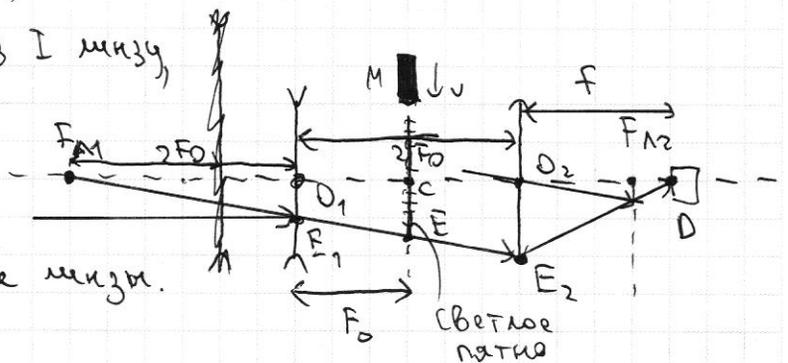
1) Когда лучи проходят через I линзу,

они расходятся так, что

начинают исходить от

мнимого источника в фокусе линзы.

Искомое расстояние $S = f$



По формуле тонкой собирающей линзы:

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3}{4} \frac{1}{F_0}$$

$$F = \frac{4}{3} F_0 = S$$

2) Ток через ~~линзу~~ детектор пропорционален мощности (по усл) света

Мощность падающего на него света определяется не перекрытой площадью светлой области в плоскости движения мишени. Гамма границы улавливаемой области определяются

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5 (прод)

лучам, попадающим на края II линзы и, следовательно, улавливаемым детектором (см. рис)

Найду площадь описанного светлого пятна.

Из подобия $\Delta F_1 D_2 E_2$ и $F_1 C E$:

$$\frac{D_2 E_2}{C E} = \frac{F_1 D_2}{F_1 C} = \frac{4F}{3F} = \frac{4}{3}$$

$$D_2 E_2 = \frac{D}{2}$$

$$C E = \frac{3}{8} D = \frac{3}{4} R$$

Площадь пятнышка:

$$S_0 = \pi \cdot (C E)^2 = \frac{9\pi}{64} D^2 = \frac{9\pi}{16} R^2; \quad R = \frac{D}{2}$$

Тогда $\frac{I_1}{I_0} = \frac{S_0 - S_M}{S_0}$ - по у. менши

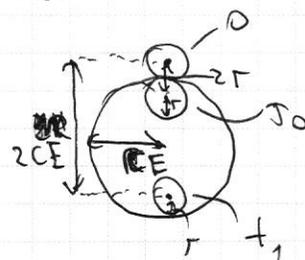
(ток I_1 соответствует потоку, когда мишень полностью в пятне)

$$\frac{7}{16} = \frac{\frac{9\pi}{16} R^2 - S_M}{\frac{9\pi}{16} R^2}$$

$$S_M = \frac{9\pi}{16} R^2 \left(1 - \frac{7}{16}\right) = \left(\frac{9}{16}\right)^2 \pi R^2$$

Тогда его радиус

$$r = \sqrt{\frac{S_M}{\pi}} = \frac{9}{16} R$$



В таком случае:

$$J_0 - 0 = \frac{2r}{v}$$

$$v = \frac{2r}{J_0} = \frac{9R}{8J_0} = \frac{9D}{16J_0}$$

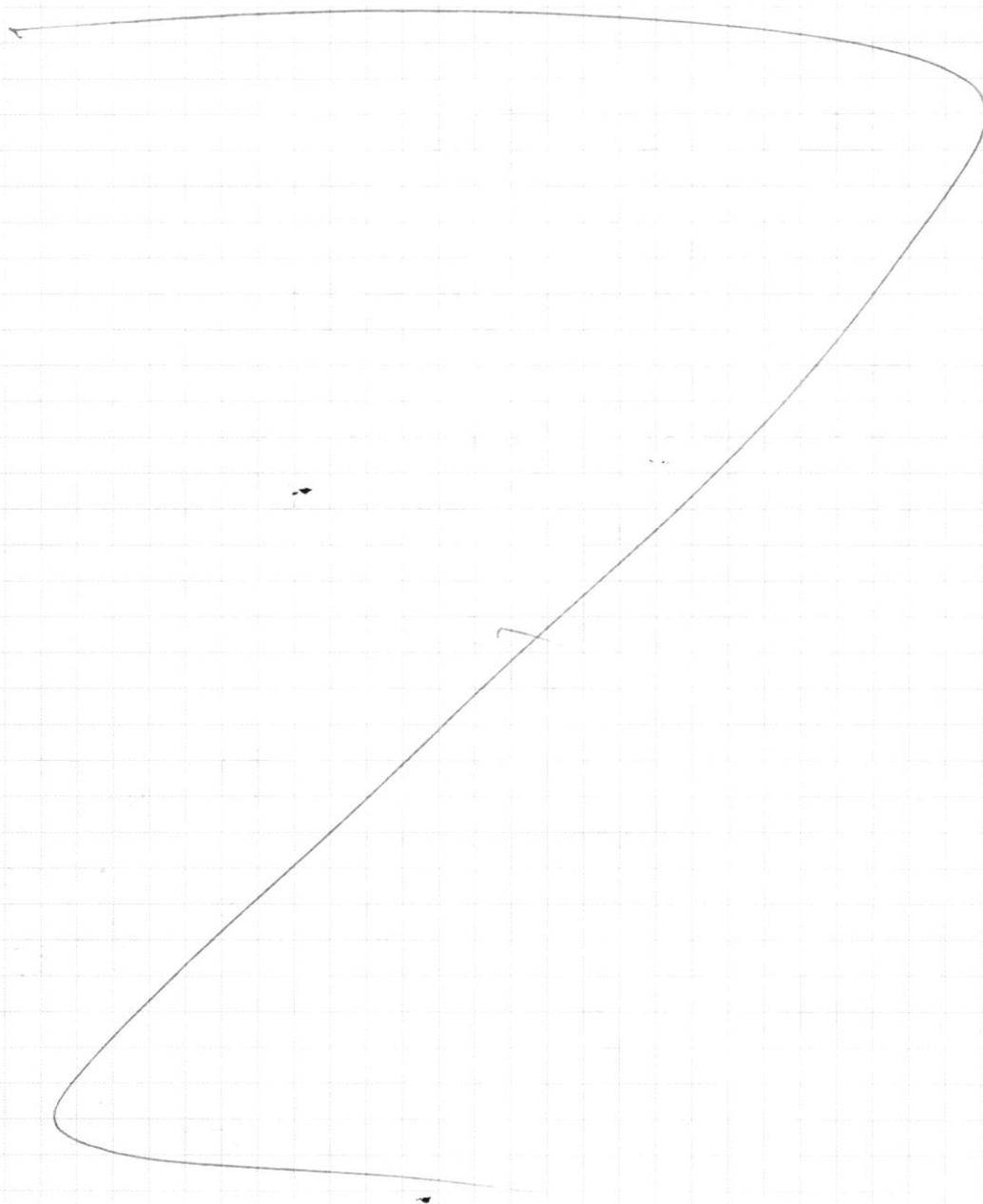
№5 (прод)

3) ~~Аналогичным образом~~ Аналогичным образом из чертежа:

$$t_1 - 0 = \frac{2 \cdot AC \cdot E}{v} \Rightarrow$$

$$t_1 = \frac{2 \cdot \frac{3}{8} D}{\frac{gD}{16J_0}} = \frac{1}{16} \cdot \frac{4}{3} J_0$$

Ответ: 1) $S = \frac{4}{3} F_0$; 2) $v = \frac{gD}{16J_0}$; 3) $t_1 = \frac{4}{3} J_0$

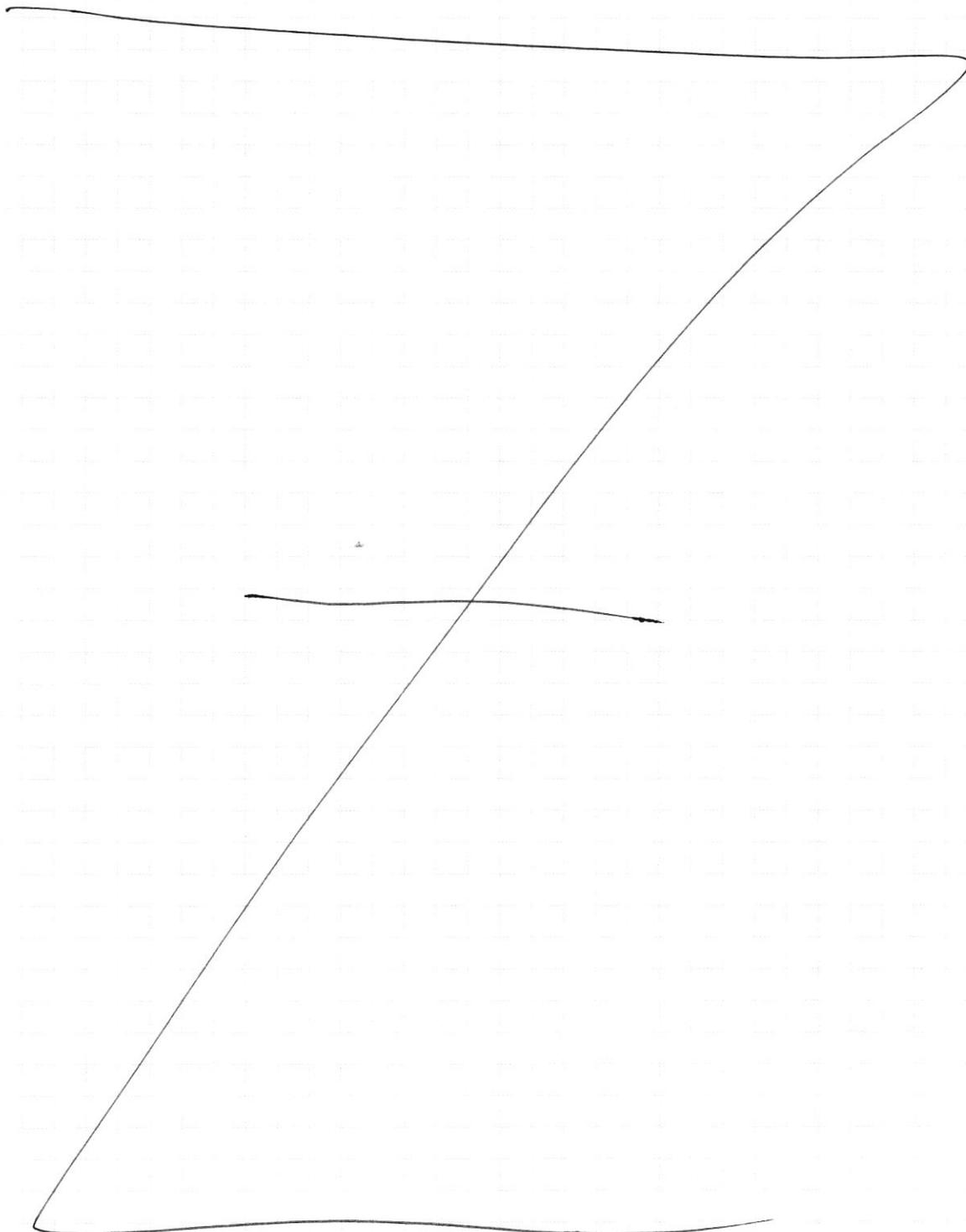


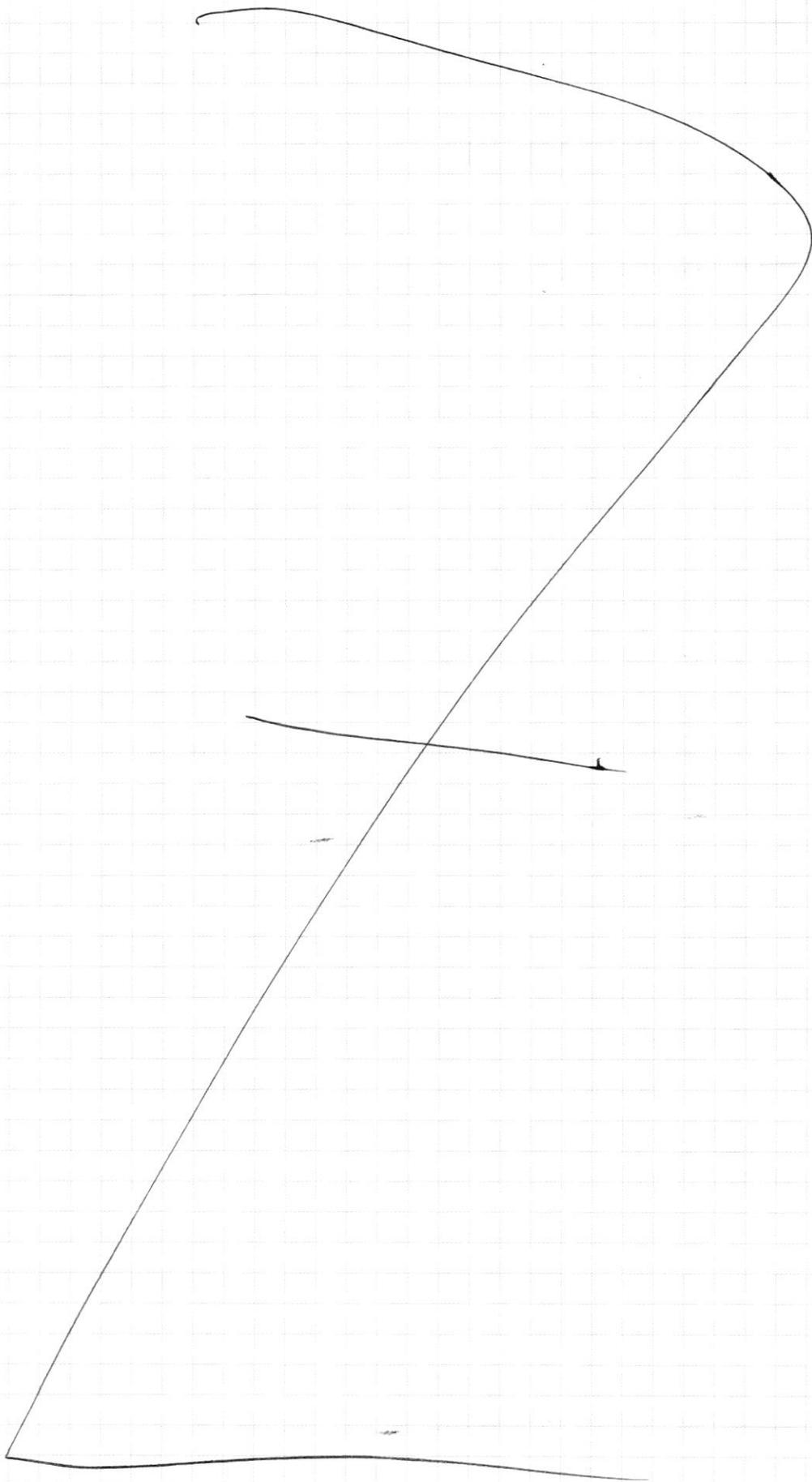


| |
|------|
| ШИФР |
|------|

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)