

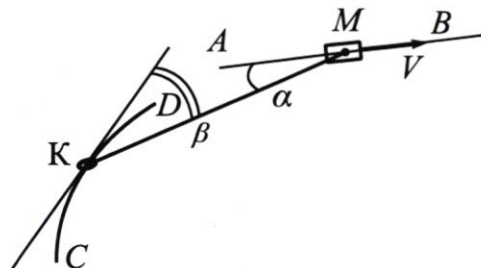
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без влс

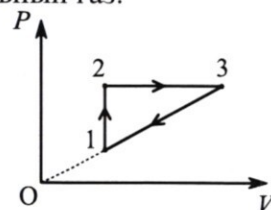
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

- 1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило повышение температуры газа.
- 2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

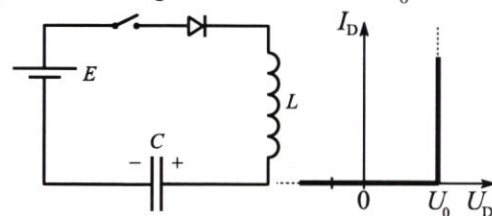


3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

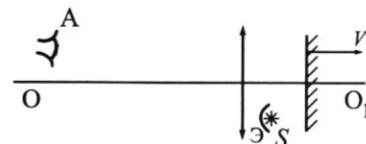
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

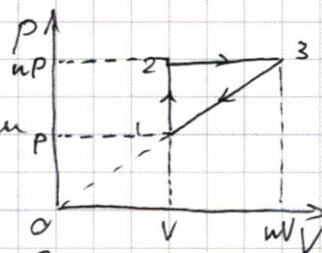
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- ②. 1) Заметим, повышение температуры происходило в изохорическом и изобарическом процессах.



Для одноатомного идеального газа теплоёмкость в изохорическом процессе равна:

$$C_V = \frac{3}{2} R \quad (R - \text{универсальная газовая постоянная})$$

В изобарическом по формуле Майера:

$$C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3} \approx 1,67 - \text{искомое отношение}$$

- 2) Запишем I начало термодинамики для данного процесса:

$\Delta Q = A + \Delta U$ (ΔQ - теплота, полученная газом, A - его работа, ΔU - изменение внутр. энергии).

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2), \text{ где } \nu - \text{число молей газа.}$$

$$\Delta Q = \nu C_P (T_3 - T_2) \text{ по определению теплоёмкости}$$

$$\Delta Q = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2).$$

Получим:

$$\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = A + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow A = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\frac{\Delta Q}{A} = \frac{\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)}{\nu R (T_3 - T_2)} = \frac{5}{2} = 2,5.$$

- 3) Пусть давление и объём в ~~состоянии~~ состоянии 1 равны соответственно P и V , а в состоянии 3 - nP и nV ($n > 1$). Тогда $T_3 = n^2 T_1$, $T_2 = n T_1$ - температуры в соответствующих состояниях.

Тепло, получаемое газом в процессе 1-2:

$$\Delta Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1), \text{ в процессе 2-3: } \Delta Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2).$$

Процесс 3-1 является политропным: $PV^{-1} = \text{const}$
с показателем политропы -1. Найдём его теплоёмкость:

$$-1 = \frac{C - C_p}{C - C_v} = \frac{C - \frac{5}{2}R}{C - \frac{3}{2}R} \Rightarrow -C + \frac{3}{2}R = C - \frac{5}{2}R \Rightarrow C = 2R$$

Тепло, отдаваемое газом в процессе 3-1:

$$\Delta Q_{31} = \nu C (T_3 - T_1) = 2R\nu (T_3 - T_1)$$

КПД цикла:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta Q_{31}}{\Delta Q_{12} + \Delta Q_{23}} = 1 - \frac{2\nu R (T_3 - T_1)}{-\frac{3}{2}\nu R T_1 - \nu R T_2 + \frac{5}{2}\nu R T_3} =$$

$$= 1 - \frac{2(T_3 - T_1)}{-\frac{3}{2}T_1 - T_2 + \frac{5}{2}T_3} = 1 - \frac{4(T_3 - T_1)}{5T_3 - T_2 - 3T_1} = 1 - \frac{4(n^2 - 1)T_1}{(5n^2 - n - 3)T_1} =$$

$$= 1 - \frac{4(n^2 - 1)}{5n^2 - n - 3}. \quad \text{При } n > 1 \text{ это выражение положи-}$$

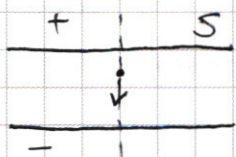
тельно, при $n=1$ выражение равно единице.

Таким образом, максимальное значение

$$\eta_{\max} = 1.$$

Ответ: 1) 1,67; 2) 2,5; 3) 1.

③.



Обозначим $\frac{Q}{S} = \sigma$.

Положительно заряженная пластина создаёт поле

$$E_+ = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \text{ (от себя)}, \quad E_- = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \text{ (к себе)} - \text{вторая.}$$

Суммарное поле в конденсаторе:

$$E = E_+ - E_- = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (\varepsilon_0 - \text{диэл. проницаемость вакуума})$$

Сила, действующая на частицу:

$$F = qE = q \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

Ускорение частицы:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q}{m} \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \gamma \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

За время T частица проходит расстояние $0,75d$:

$$\frac{aT^2}{2} = 0,75d \Rightarrow aT^2 = 1,5d \Rightarrow a = \frac{1,5d}{T^2} \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow \gamma \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{1,5d}{T^2} \Rightarrow Q = \frac{1,5d S \epsilon_0}{\gamma T^2}.$$

~~Скорость~~ Скорость пластины при вылете из конденсатора равна

$$v_1 = aT = \frac{1,5d}{T^2} \cdot T = \frac{1,5d}{T}$$

По теореме Гаусса поле вне конденсатора нет (суммарный заряд обкладок равен нулю), значит, на пластину не действуют внешние силы, и она продолжает двигаться с той же скоростью, с которой вылетела:

$$v_2 = v_1 = \frac{1,5d}{T}$$

Ответ: 1) $\frac{1,5d}{T}$; 2) $\frac{1,5d S \epsilon_0}{\gamma T^2}$; 3) $\frac{1,5d}{T}$.

⑤. Источник находится на расстоянии

$F - \frac{F}{2} = \frac{F}{2}$ от зеркала. Отражение

источника в зеркале — на расстоянии

$F + \frac{F}{2} = \frac{3}{2}F$ от линзы и на расстоянии

$\frac{3}{4}F$ от её главной оптической оси.

Перерисуем схему:



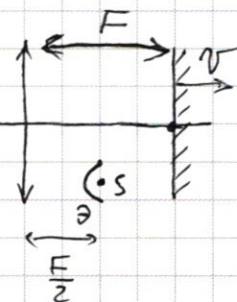
Источником для линзы является отражение S' источника S .

Примем линзу и её 200 за оси системы координат

и запишем ур-я лучей:

через начало отсчёта: $y = -\frac{\frac{3}{4}F}{\frac{3}{2}F} x = -\frac{1}{2}x$

через фокус: $y = -\frac{\frac{3}{4}F}{F} x - \frac{3}{4}F = -\frac{3}{4}x - \frac{3}{4}F.$



Там, где лучи пересекаются, можно увидеть изображение:

$$\begin{cases} y = -\frac{x}{2} \\ y = -\frac{3}{4}x - \frac{3}{4}F \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{x}{2} = -\frac{3}{4}x - \frac{3}{4}F \\ y = -\frac{x}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x}{4} = -\frac{3}{4}F \\ y = -\frac{x}{2} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = -3F \\ y = \frac{3}{2}F \end{cases} \quad \text{Таким образом, наблюдатель увидит изображение на расстоянии } 3F \text{ от плоскости линзы.}$$

Можно определить увеличение линзы в точке S' :

$$\Gamma = \frac{3F}{\frac{3}{2}F} = 2.$$

Если зеркало движется со скоростью v от неподвижного источника S , то изображение S' движется со скоростью $2v$ от неподвижной линзы.

Горизонтальная компонента скорости изображения в линзе увеличивается в Γ^2 раз и становится равной $v_x = \Gamma^2 \cdot 2v = 8v$

Вертикальная компонента скорости изображения равна $v_y = \Gamma \cdot 2v = 4v$.

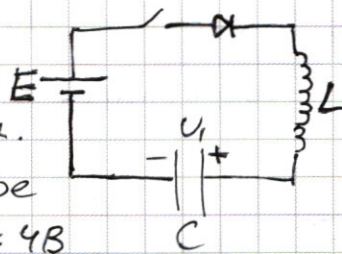
Скорость изображения равна $4v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(8v)^2 + (4v)^2} = 4\sqrt{5}v$ и направлена под таким углом α к оси OO_1 , что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{4v}{8v} = \frac{1}{2}$.

Ответ: 1) $3F$; 2) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2}$; 3) $4\sqrt{5}v$.

4. 1) Сразу после замыкания ключа

ток в цепи не течёт, а конденсатор представляет собой источник напряжения.

Суммарное напряжение, приложенное к катушке и диодом равно $\mathcal{E} = E - U_1 = 4\text{В}$



$\mathcal{E} > U_0$, поэтому ток начнёт течь через диод, напряжение на катушке будет равно также $\mathcal{E}$.

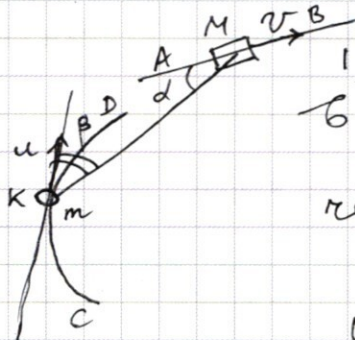
По определению индуктивности:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \left| \frac{dI}{dt} \right| = \frac{\mathcal{E}}{L} = \frac{4\text{В}}{0,1\text{Гн}} = 40 \frac{\text{А}}{\text{с}^2}.$$

Ответ: 1) $40 \frac{\text{А}}{\text{с}^2} = \frac{E - U_1}{L}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①.



1) Обозначим скорость кольца в этот момент за u .

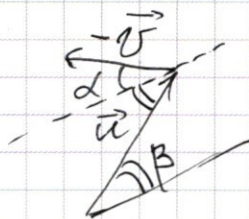
Запишем уравнение кинематической связи для нити:

$$v \cos \alpha = u \cos \beta$$

$$u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \text{ см/с} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 15}{4/5} \text{ см/с} = 15 \cdot 5 \text{ см/с} = 75 \text{ см/с}$$

2) Перейдём в систему отсчёта, связанную с муфтой. В этой системе найдём скорость кольца:



Для этого нужно к вектору скорости кольца $\vec{u}$ прибавить обратный вектор скорости муфты $(-\vec{v})$.

Угол между векторами составит

$\alpha + \beta$ (см. рис.).

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} =$$

$$= \frac{60 - 24}{17 \cdot 5} = \frac{36}{85} \quad (\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \sqrt{\frac{64}{289}} = \frac{8}{17};$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5}).$$

Скорость кольца относительно муфты найдём по теореме косинусов:

$$u' = \sqrt{u^2 + v^2 - 2uv \cos(\alpha + \beta)} = \sqrt{75^2 + 68^2 - 2 \cdot 75 \cdot 68 \cdot \frac{36}{85}} =$$

$$= \sqrt{75^2 + 68^2 - 30 \cdot 36 \cdot 4} = \sqrt{5625 + 4624 - 4320} =$$

$$= \sqrt{5929} = \sqrt{77^2} = 77 \text{ см/с}.$$

В системе муфты (инерциальной)

3) ~~Муфта~~ Кольцо движется по дуге окружности. На него действует ускорение

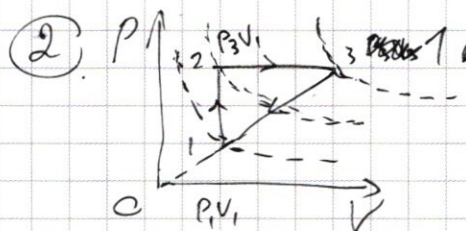
$a = \frac{u^2}{R}$ и сила $F = ma = m \frac{u^2}{R}$ ~~Поток~~ со стороны нити. Такая же сила действует на нить со стороны кольца. Муфта, движущаяся с постоянной скоростью, не действует на нить.

Сила натяжения нити:

$$T = F = m \frac{u^2}{R} = 0,1 \cdot \frac{75^2}{1,9} = \frac{5625}{19} \approx 300 \text{ Н}$$

Ответ: 1) $\frac{u \cos \alpha}{\cos \beta} = 75 \text{ см/с}$; 2) 77 см/с ; 3) $m \frac{u^2}{R} \approx 300 \text{ Н}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$C_V = \frac{3}{2} R$$

$$C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3}$$

2) $\Delta Q = A + \Delta U$

$$\Delta Q = \int C_P \Delta T_{23} = \frac{5}{2} \int R \Delta T_{23}$$

$$\int C_P \Delta T = A + \int C_V \Delta T_{23} \quad \Delta U = \int C_V \Delta T_{23}$$

$$A = \int (C_P - C_V) \Delta T_{23} = \frac{2}{2} \int R \Delta T_{23} = \int R \Delta T_{23}$$

$$\frac{\Delta Q}{A} = \frac{\frac{5}{2} \int R \Delta T}{\int R \Delta T} = \frac{5}{2} = 2,5$$

3) ③ 1-2: $Q_+ = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \Delta T_{12}$

2-3: $Q_+ = P_2 \Delta V_{23} + \frac{3}{2} R \Delta T$

$$Q_+ = \frac{3}{2} R \Delta T_{12} + \frac{5}{2} R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} R (T_3 - T_2)$$

$$Q_- = C \Delta T_{13} = 2R (T_3 - T_1)$$

1-3: $PV^{-1} = \text{const}$ $\frac{2-2,5}{2-1,5} = -1$

$$-1 = n = \frac{C - C_P}{C - C_V} = \frac{C - \frac{5}{2} R}{C - \frac{3}{2} R}$$

$$-C + \frac{3}{2} R = C - \frac{5}{2} R$$

$$2C = \frac{8}{2} R = 4R$$

$$C = 2R$$

$$5n^2 - n - 3$$

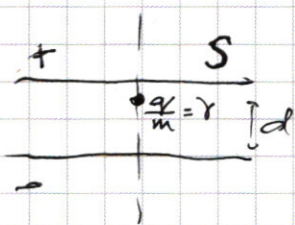
$$D = 1 + 4 \cdot 3 \cdot 5 = 61$$

$$\frac{-1 \pm \sqrt{61}}{10}$$

$$\eta = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{2RT_3 - 2RT_1}{-\frac{3}{2}RT_1 - RT_2 + \frac{5}{2}RT_3}$$

$$= 1 - \frac{2T_3 - 2T_1}{-\frac{3}{2}T_1 - T_2 + \frac{5}{2}T_3} = 1 - \frac{4T_3 - 4T_1}{-3T_1 - 2T_2 + 5T_3} = 1 - \frac{4(n^2 - 1)}{-3 - n + 5n^2}$$

3.

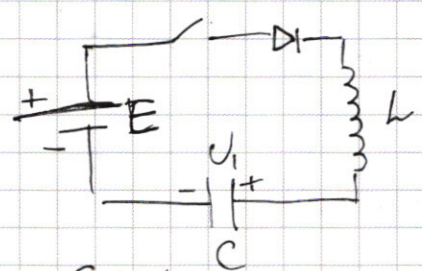


$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q d}{\epsilon_0 S}$$

$$W = qU = \frac{q^2 d}{\epsilon_0 S} = \frac{m v_2^2}{2} = E_k$$

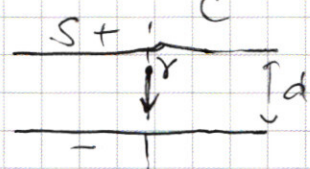
4.



$$E - U_L = -L \frac{dI}{dt}$$

2)

3



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad a = \frac{q}{m} E = \gamma E = \gamma \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$W_0 = E \cdot 0,25 d q = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot 0,25 d q$$

$$W_0 = \frac{q\sigma}{2\epsilon_0} \cdot 0,25 d + \frac{q\sigma}{2\epsilon_0} \cdot 0,75 d =$$

$$= \frac{q\sigma}{2\epsilon_0} d = W_1$$

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 0$$

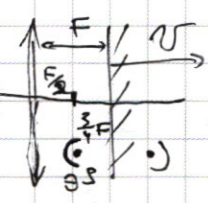
$$v(t) = at = \frac{\gamma Q}{\epsilon_0 S} t$$

$$\frac{\gamma \cdot 1,5 \epsilon_0 S d}{\gamma + \epsilon_0 S} = v_1$$

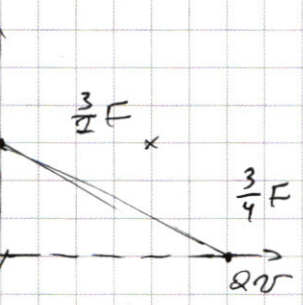
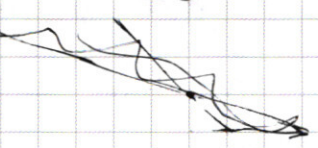
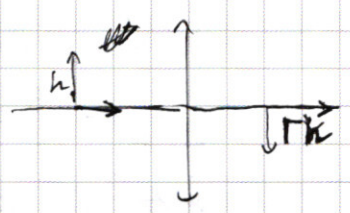
$$= \frac{1,5 d}{T}$$

$$v_2 = v_1$$

5.



$$\Gamma = 2$$

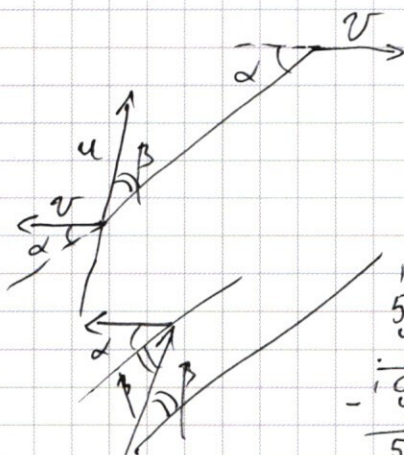


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

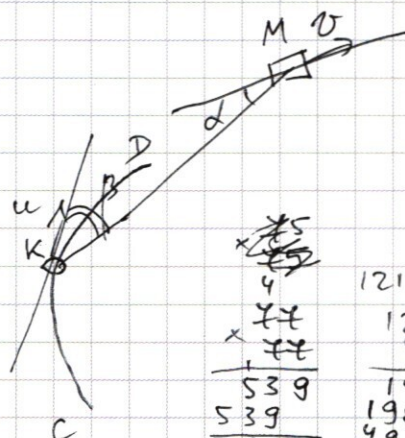
$$\begin{array}{r} 225 \\ 64 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 68 \\ 17 \\ \hline 85 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ 17 \\ \times 4 \\ \hline 68 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 5625 \\ 4624 \\ \hline 10249 \\ - 4320 \\ \hline 5929 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 121 \cdot 49 \\ 121 \\ 49 \\ \hline 149 \\ 198 \\ 49 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$v \cos \alpha = u \cos \beta$$

$$u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \cdot \frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} = \frac{60}{\frac{4}{5}} = 75 \text{ km/c.}$$

$$75^2 + 68^2 - 2 \cdot 75 \cdot 68 \cdot \frac{36}{85} =$$

$$= 75^2 + 68^2 - 150 \cdot 36 \cdot \frac{4}{5} = 30 \cdot 36$$

$$75^2 + 68^2 - 30 \cdot 36 \cdot 4 =$$

$$120 \cdot 36$$

$$\begin{array}{r} - 4624 \\ 4320 \\ \hline 304 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5625 \\ 304 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$120 \cdot 36$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ 75 \\ 75 \\ \hline 375 \\ 525 \\ \hline 5525 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ 68 \\ 68 \\ \hline 544 \\ 408 \\ \hline 4624 \end{array}$$

$$\frac{22500}{4} = \frac{11250}{2} = 5625$$

$$17^2 \cdot 4^2 = \begin{array}{r} 55 \\ 289 \\ \hline 1734 \\ 289 \\ \hline 4624 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 30 \\ \times 30 \\ \hline 900 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 70 \\ \times 70 \\ \hline 4900 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 80 \\ \times 80 \\ \hline 6400 \end{array}$$

$$120 \cdot 36$$

$$120 \cdot 36 = 12 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 3 = 144 \cdot 30$$

$$\begin{array}{r} 144 \\ \times 3 \\ \hline 4320 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4900 \\ 560 \\ 16 \\ \hline 5329 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ 12 \\ \hline 144 \\ 36 \\ \hline 4320 \end{array}$$

$$(70+3)^2 =$$

$$4900 + 140 \cdot 3$$

$$420 \quad 420$$

$$9$$

$$5329$$

$$(70+4)^2 = 4900 + 560 + 16$$

$$\begin{array}{r} 5625 \\ \times 38 \\ \hline 45000 \\ 171000 \\ \hline 213750 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 19 \\ \times 16 \\ \hline 114 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 83 \\ \times 19 \\ \hline 1497 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 44^2 \\ \hline 5.19 \end{array}$$