

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

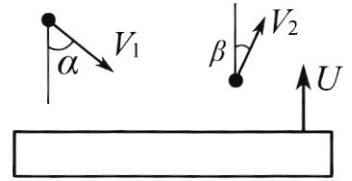
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ 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 ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) 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.

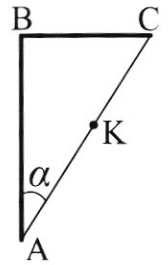
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ 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 гелия и неона.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

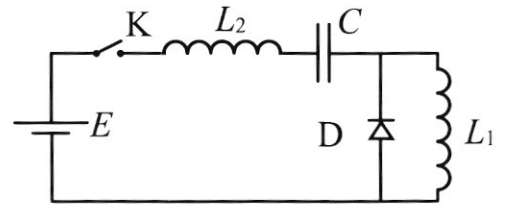
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L, L_2 = 2L$, 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 .

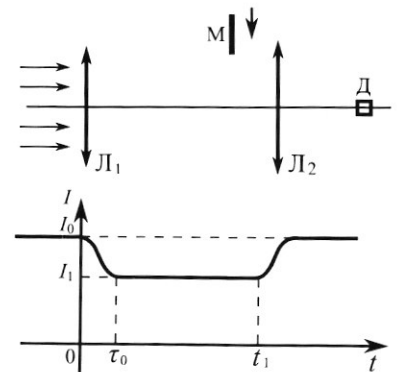


1) Найти период T этих колебаний.

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 F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

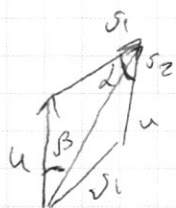
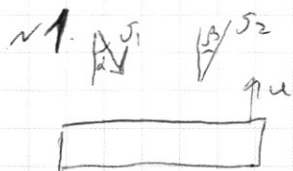


1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0, D, τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



так как $\sin \alpha > \sin \beta \Rightarrow \alpha > \beta, \alpha, \beta \in [0; \frac{\pi}{2}]$
~~Составим~~ Поле между ударом:

$$\bar{u} + \bar{v}_1 = \bar{v}_2$$

получим по т. синусов: $\frac{v_1}{\sin \beta} = \frac{v_2}{\sin(180^\circ - \alpha)} = \frac{v_2}{\sin \alpha}$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{60 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12 \text{ м/с}$$

по т. косинусов, так как $\alpha < \beta, \beta \leq \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}; \cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3}$

по т. синусов: $\frac{u}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{v_1}{\sin \beta} \Rightarrow \frac{u}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{60}{\frac{1}{3}}$

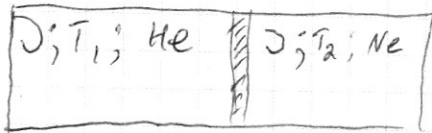
$$= \frac{v_1 (\sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha)}{\sin \beta} = \frac{60 \left(\frac{4\sqrt{2}}{9} - \frac{\sqrt{5}}{9} \right)}{\frac{1}{3}}$$

$$= 2(4\sqrt{2} - \sqrt{5}) = 8\sqrt{2} - 2\sqrt{5} \text{ м/с}$$

~~ответ а) $v_2 = 12 \text{ м/с}$ б) $u = 8\sqrt{2} - 2\sqrt{5} \text{ м/с}$~~

ответ: а) 12 м/с б) $(8\sqrt{2} - 2\sqrt{5}) \text{ м/с}$

№2



В начальном состоянии медленного сжатия поршня не генерация $\Rightarrow p_1 = p_2 = p$, по закону Менделеева-Клапейрона

$$\text{тогда: } \begin{cases} pV_{He1} = \nu RT_1 \\ pV_{He2} = \nu RT_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{He1}}{V_{He2}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$$

т.к. внешних сил нет $\Rightarrow p = \text{const}$.

и тогда: изомолярно $V_{He1} = 3V$, $V_{He2} = 4V$, $V_{O_2} = 7V$

тогда: когда температура установится:

$$\begin{cases} pV_{He2} = \nu RT \\ pV_{O_2} = \nu RT \end{cases} \Rightarrow V_{He2} = V_{O_2} = 3,5V$$

по закону Менд. Клапейрона:

$$\begin{cases} pV_{He1} = \nu RT_1 \\ pV_{He2} = \nu RT \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{He1}}{V_{He2}} = \frac{T_1}{T} \Rightarrow T = \frac{V_{He2} T_1}{V_{He1}} =$$

$$= \frac{3,5V \cdot 330K}{3V} = 385K \text{ - установ. температура}$$

т.к. внешние силы отсутствуют \Rightarrow кол-во теплоты переданное или же полученное = кол-во теплоты выдел. в шне:

по 1 закону термод: $Q = A + \Delta U$

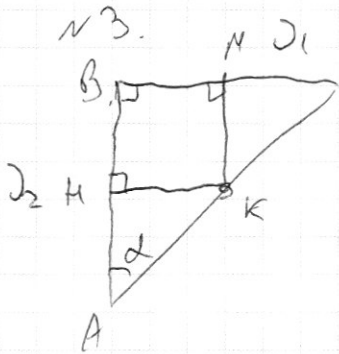
$$Q = p\Delta V + \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \nu R\Delta T + \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T =$$

$$= \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot (385 - 330) = \frac{5}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 55 \cdot 8,31$$

$$= 33 \cdot 8,31 = 274,23 \text{ Дж}$$

ответ: 1) 0,75 2) 385K 3) 274,23 Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



нз. α d_1 d_2 K M N A B C 1) так $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \triangle ABC - \text{P/V}$

и $AB = BC$. Расстояние от K до AB и BC равны MK и KN соответственно и равны $\frac{1}{2} BC$ и $\frac{1}{2} AB$ соответственно.

площади тогда: т.к. напр. перпенд. расстояния

заряда \Rightarrow ~~ф~~ ф заряда пластины AB напр. в т.к. была E . после заряда AB по принципу суперпозиции ~~ф~~ напряженность стала $\sqrt{E^2 + E^2} = E\sqrt{2}$ (т.к. $AB = BC \Rightarrow KN = KM$) \Rightarrow увеличилась в $\sqrt{2}$ раз $\approx 1,4$

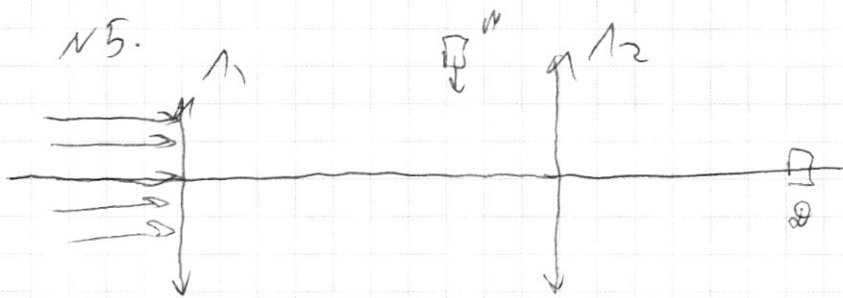
$$2) \text{ при } \alpha = \frac{\pi}{8}; \quad \text{tg} \alpha = \sqrt{\frac{1 - \cos 2\alpha}{1 + \cos 2\alpha}} = \sqrt{\frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}}} = \sqrt{2} - 1$$

т.е. расстояние до AB больше расстояния до BC в $(\sqrt{2} - 1)$ раз.

$$\text{тогда: } \frac{BC}{AB} = \sqrt{2} - 1; \quad \frac{AB}{BC} = \frac{1}{\sqrt{2} - 1} = \sqrt{2} + 1$$

$$\begin{aligned} \text{тогда: } E &= \sqrt{\left(d_2 \cdot \frac{AB}{2} BC\right)^2 + \left(d_1 \cdot \frac{BC}{2} AB\right)^2} = \sqrt{4 \cdot d_2^2 \cdot (3 + 2\sqrt{2}) + 4 \cdot d_1^2 \cdot (3 - 2\sqrt{2})} \\ &= \sqrt{4d^2(3 + 2\sqrt{2}) + 64d^2(3 - 2\sqrt{2})} = 2d \sqrt{3 + 2\sqrt{2} + 16(3 - 2\sqrt{2})} = \\ &= 2d \sqrt{51 - 30\sqrt{2}} \end{aligned}$$

ответ: 1) $\sqrt{2}$ 2) $2d \sqrt{51 - 30\sqrt{2}}$



1) Для L_1 : $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{F_0}$. т.к. $a_1 \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{1}{b_1} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow b_1 = F_0$

тогда расстояние до L_2 будет $1,5F_0 - F_0 = \frac{1}{2}F_0$

Для L_2 : $\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_2} \Leftrightarrow \frac{2}{F_0} + \frac{1}{b_2} = \frac{3}{F_0}$

(т.к. $b < \frac{5F_0}{4} \Rightarrow$ (линзы находятся между фокус. ветв. и L_2) $b = F_0 < \frac{5F_0}{4} < \frac{3F_0}{2}$

\Rightarrow между L_2 и предмет. F_0 .

2) т.к. ток уменьшился на $\frac{1}{3} I_0$, а ток $I_0 \Rightarrow$ диаметр мшера $\frac{1}{3} D$ (т.к. сила тока \propto мощности)

тогда он пройдет $\frac{1}{3} D$ за $t_0 \Rightarrow v_m = \frac{D}{3t_0}$

3) Линза мшера прошла за время ~~...~~

~~т.е. $\frac{D}{t_1 - t_0} = \frac{D}{3t_0} \Rightarrow t_1 - t_0 = 3t_0 \Rightarrow t_1 = 4t_0$~~

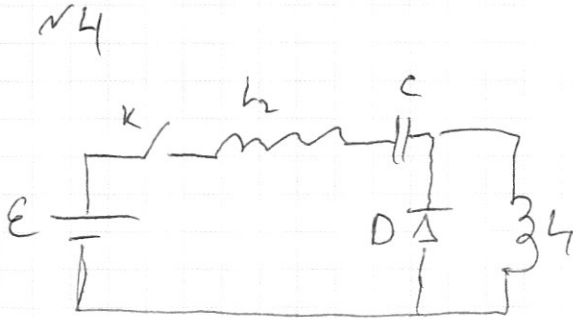
~~ответ: 1) F_0 2) $\frac{D}{3t_0}$ 3) $3t_0$~~

3) Линза мшера закрылась мшера в $t=0$ и мшера продолжил ее вид. в $t=t_1$.

т.е. $\frac{D}{t_1} = \frac{D}{3t_0} \Rightarrow t_1 = 3t_0$

ответ: 1) F_0 2) $\frac{D}{3t_0}$ 3) $3t_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) T = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 2\pi\sqrt{2LC}$$

так как на диоде $U_{\text{напр}} = 0$

\rightarrow через L_1 течёт постоянный ток $I_{01 \text{ макс.}}$

тогда: в момент времени когда через L_2 течёт макс. ток напряжение на конденсаторе = ε

$$\rightarrow \frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{L_1 I_{01}^2}{2} \rightarrow I_{01} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

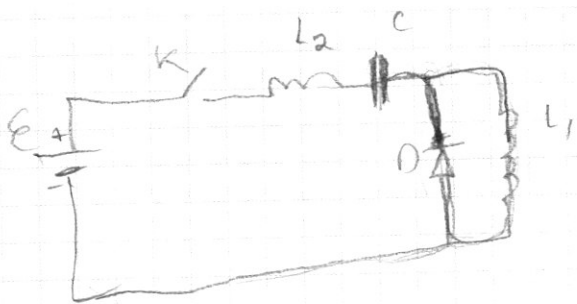
для L_2 : $\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} \rightarrow I_{02} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{2L}}$

Ответ: 1) $2\pi\sqrt{LC}$ 2) $\varepsilon \sqrt{\frac{C}{3L}}$ 3) $\varepsilon \sqrt{\frac{C}{2L}}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

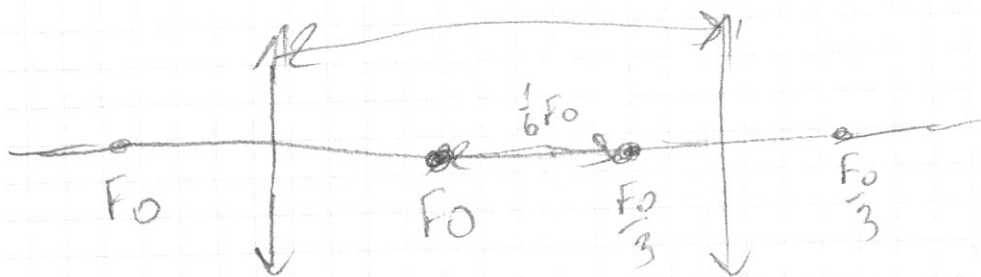
Страница №
(Нумеровать только чистовики)



$$T = 2\pi\sqrt{L_2 C}$$

$$\frac{C\epsilon^2}{2} = \frac{L_1 I_{max}^2}{2} \Rightarrow I_{max} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{L_1}}$$

$\frac{3}{2} R$ $\frac{3^2}{2} = \frac{4^2}{3}$



$$b \approx F_0$$

$$\frac{2}{F_0} + \frac{1}{b} = \frac{3}{F_0}$$

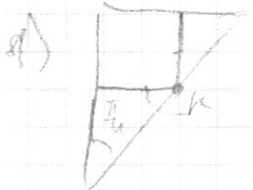
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow b = F_0$$

$$D_2 = \frac{1}{3} D$$

$$\frac{D}{t_1 - t_0} = \nu$$

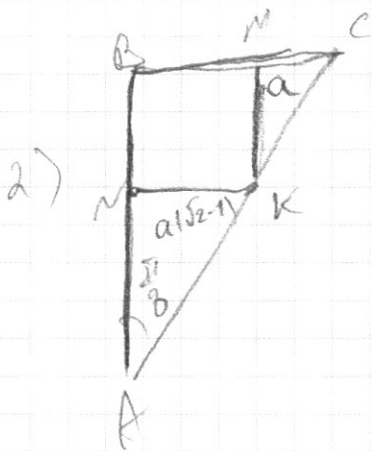
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3



$\Rightarrow \Delta = \sqrt{2}$

$\sin \alpha = \sqrt{\frac{1 - \cos 2\alpha}{2}}$



$\cos \frac{\pi}{8} = \sqrt{\frac{1 + \cos \frac{\pi}{4}}{2}} = \sqrt{\frac{2 + \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}}}$

$= \sqrt{1 - \frac{2\sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}}}$
 $4 - 2\sqrt{2}$

$BC = AB(\sqrt{2} - 1)$

$\sqrt{\frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{2}} = \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{4}}$

$8 - 4\sqrt{2}$

$a \sqrt{1 + 3 - 2\sqrt{2}} = a \sqrt{4 - 2\sqrt{2}} = a \sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{2}}$

$Ed = U;$

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

$\sqrt{\frac{(2 - \sqrt{2})^2}{2}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{2}}$

$25 \cdot 18 = 5 \cdot 90$

$= \epsilon \epsilon_0 S E^2$

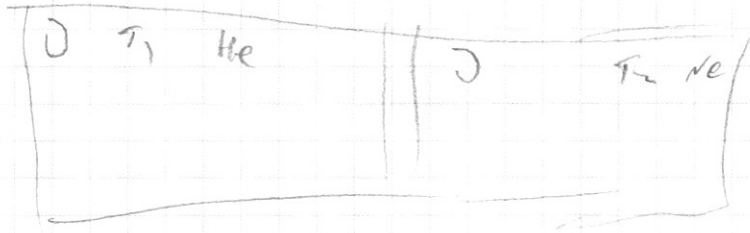
$= \sqrt{2} \cdot a$

$(2 + \sqrt{2})^2 = 4 + 2\sqrt{2} + 2 = 6 + 2\sqrt{2}$
 $(2 - \sqrt{2})^2 = 4 - 2\sqrt{2} + 2 = 6 - 2\sqrt{2}$

$= \epsilon_0 d \epsilon E$

$2\sqrt{450}$

12.



$$pV_1 = \nu RT_1$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$p_1 V_1 = \nu R T$$

$$p_2 V_2 = \nu R T$$

$$p_1 V_1 = \nu R T$$

$$3pV_1 = \nu R T$$

$$3,5pV_1 = \nu R T$$

$$\frac{3V_1}{3,5V_1} = \frac{T_1}{T} \Rightarrow T = \frac{3,5T_1}{3} = 3,5 \cdot 440 = 35 \cdot 11 = 385 \text{ K}$$

$$\frac{3,5 \cdot 440}{1} = 385 \text{ K}$$

~~Q = A + \Delta U~~
A =

$$\begin{aligned} Q_{re} = A + \Delta U &= 0,5pV_1 + \frac{3}{2}\nu R \Delta T = \\ &= \frac{1}{6}\nu R T_1 + \frac{3}{2}\nu R (T_2 - T_1) = \\ &= \nu R T \left(\frac{3,30}{6} + \frac{3 \cdot 55}{2} \right) = 8,310 \end{aligned}$$

$$\frac{5}{2} \nu R \cdot 55 =$$

$$= \frac{5 \cdot 6 \cdot 55}{2} = 33 \text{ Дж}$$

$$= \frac{831}{33}$$

$$2493$$

$$2493$$

$$27423$$

$$3,5V \quad 3,5V$$

$$Q = 274,23$$

$$8,31 \cdot \frac{6}{25} \cdot \left(\frac{330 + 9 \cdot 55}{6} \right) = 330 \cdot \frac{6}{55}$$

$$8,31 \cdot \frac{825}{25} = 8,31 \cdot 33 =$$

$$\frac{831}{33} = 2493$$

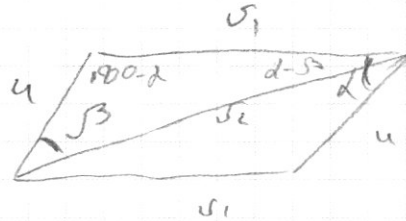
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\sin 2 = 2 \sin \beta$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

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



$$u = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos(\alpha - \beta)} =$$

$$= \sqrt{36 + 144 - 2 \cdot 6 \cdot 12 \cdot \left(\frac{2\sqrt{10}}{9} + \frac{2}{9}\right)}$$

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

$$= 2v_1 = 12 \text{ V/c}$$

$$= \sqrt{180 - \frac{16}{9} \cdot 2(\sqrt{10} + 1)} \approx$$

$$= \frac{16}{\frac{8}{128}}$$

$$= \sqrt{180 - 120} = \sqrt{60} \approx 7.1$$

$$\frac{\sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha}{\sin \beta} =$$

$$\frac{v_1}{\sin \beta} = \frac{u}{\sin(\alpha - \beta)} \Rightarrow u = \frac{v_1 \left(\frac{4\sqrt{2}}{3} - \frac{\sqrt{5}}{3}\right)}{\frac{1}{3}} =$$

$$= 2 \cos \beta - \cos \alpha = \frac{4\sqrt{2}}{3} - \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$= 2(4\sqrt{2} - \sqrt{5}) \approx 2 \cdot 3.4 \approx 6.8$$

$$\frac{23}{23} = \frac{69}{69} = \frac{46}{46} = \frac{529}{529}$$

$$6\sqrt{2} - 2\sqrt{5}$$