



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 09-02

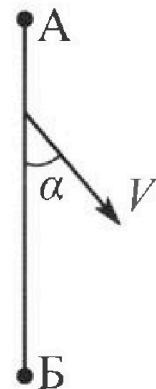


В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Беспилотные летательные аппараты применяют для доставки полезных грузов. Аппарат всегда летит по прямой. Продолжительность полета аппарата по маршруту А → Б → А в безветренную погоду составляет  $T_0=200$  с. Расстояние АБ равно  $S=2$  км.

1. Найдите скорость  $U$  аппарата в спокойном воздухе.

Допуским, что в течение всего времени полета ветер дует с постоянной скоростью  $V = 15$  м/с под углом  $\alpha$  к прямой АБ (см. рис.),  $\sin \alpha = 0,8$ .



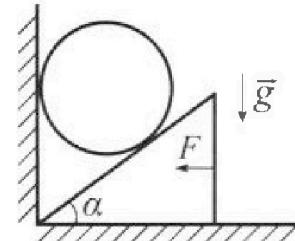
2. Найдите продолжительность  $T_1$  полета по маршруту А → Б в этом случае. Скорость аппарата относительно воздуха постоянна и равна  $U$ .  
3. При каком значении угла  $\alpha$  продолжительность полета по маршруту А → Б → А минимальна?  
4. Найдите минимальную продолжительность  $T_{MIN}$  полета по маршруту А → Б → А.

2. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Модуль скорости мяча через  $t_1 = 0,5$  с и  $t_2 = 1,5$  с после старта одинаков. За этот промежуток времени вектор скорости мяча повернулся на угол  $2\beta = 90^\circ$ . Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

1. Найдите продолжительность  $T$  полета от старта до подъема на максимальную высоту.  
2. Найдите дальность  $L$  полета от старта до падения на площадку.  
3. Найдите радиус  $R$  кривизны траектории в малой окрестности высшей точки.

3. Клин с углом  $\alpha$  при вершине находится на горизонтальной поверхности (см. рис.). На наклонной плоскости клина покоятся однородный шар, касающийся вертикальной стенки. Массы шара и клина одинаковы и равны  $m=0,4$  кг. Трения нет. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

Систему удерживают в покое горизонтальной силой  $F = \sqrt{3}mg$ .



1. Найдите угол  $\alpha$ , который наклонная плоскость клина образует с горизонтальной поверхностью.

Силу  $F$  снимают, шар и клин приходят в поступательное прямолинейное движение с нулевой начальной скоростью. После перемещения по вертикали на  $H$  шар абсолютно упруго сталкивается с горизонтальной поверхностью. Перемещение шара после соударения до первой остановки равно  $h=0,15$  м.

2. Найдите перемещение  $H$  шара до соударения.  
3. Найдите силу  $N_1$ , с которой вертикальная стенка действует на шар в процессе разгона клина.  
4. При каком значении угла  $\alpha$  сила  $N_1$  максимальна по величине?  
5. Найдите максимальную величину  $N_{MAX}$  этой силы.



# Олимпиада «Физтех» по физике,

февраль 2024

## Вариант 09-02

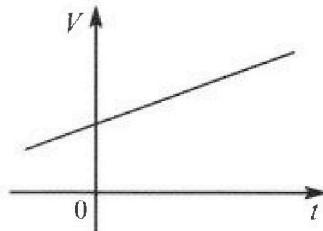


*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.*

4. Для контроля температуры воды в лечебной ванне используют спиртовой термометр. На шкале такого термометра расстояние между отметками  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  и  $t_{100} = 100^\circ\text{C}$  равно  $L=100$  мм. В термометре находится  $m=0,04$  г спирта.

Экспериментально установлено, что с ростом температуры объем спирта увеличивается по линейному закону. График зависимости объема  $V$  спирта от температуры  $t$ , измеренной в градусах Цельсия, представлен на рисунке к задаче. При температуре  $t_{100} = 100^\circ\text{C}$  объем спирта в  $\beta = 1,12$  раза больше объема спирта при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Плотность спирта при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  считайте равной  $\rho = 0,8 \text{ г}/\text{см}^3$ . Тепловое расширение стекла пренебрежимо мало.

1. Следуя предоставленным опытным данным, запишите формулу зависимости объема  $V(t)$  спирта от температуры  $t$ , измеренной в градусах Цельсия. Формула должна содержать величины:  $m$ ,  $\rho$ ,  $\beta$ ,  $t_0$ ,  $t_{100}, t$ .



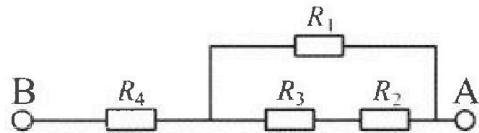
Температура воды, поступающей в ванну от природного геотермального источника, равна  $t_1 = 50^\circ\text{C}$ .

2. Найдите убыль  $|\Delta V|$  объема спирта при уменьшении температуры воды от  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ . В ответе приведите формулу и число в  $\text{мм}^3$ .
3. Найдите площадь  $S$  поперечного сечения капилляра термометра. Ответ представьте в  $\text{мм}^2$ .

5. В цепи, схема которой представлена на рисунке к задаче, сопротивления резисторов  $R_1 = 1,2r$ ,  $R_2 = 2r$ ,  $R_3 = 4r$ ,  $R_4 = r$ , где  $r = 5 \text{ Ом}$ .

1. Найдите эквивалентное сопротивление  $R_{\text{экв}}$  цепи.

Контакты А и В подключают к источнику постоянного тока  $I = 4 \text{ А}$ .



2. Найдите мощность  $P$ , которая рассеивается на всей цепи.

3. На каком резисторе рассеивается наименьшая мощность? Найдите эту наименьшую мощность  $P_{\text{MIN}}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

- |                                       |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 7 |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

СТРАНИЦА  
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$1) U = \frac{2S}{T_0} = \frac{2 \cdot 200}{200} = \frac{100}{50} = 72(\text{м/с}) = 20(\text{м/с})$$

2) Суперпозиция векторов скорости аппарата должна совпадать с приложенной:

$$\bar{V}_1 = \bar{V} + \bar{U}$$

По т. синусов векторного треугольника:

$$\frac{U}{\sin \alpha} = \frac{V}{\sin \beta} = \frac{V_1}{\sin \delta} \Rightarrow \sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{V}{U} = 0,8 \cdot \frac{15}{20} = 0,6$$

Значит, что  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - (0,8)^2} = 0,6 = \sin \beta \Rightarrow \alpha = 90^\circ$  по теореме о прямоугл. треугр.

$$\text{Скорость } V_1 = \sqrt{V^2 + U^2} = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25(\text{м/с}) =$$

$$T_1 = \frac{\delta}{V_1} = \frac{2000}{25 \text{м/с}} = \frac{2000 \text{м}}{25 \text{м/с}} = 80(\text{с})$$

3) Рассмотрим скорость при возвращении из БВА. Должна в промежуточной точке совпадать с приложенной  $\bar{V}_1$ . Полное время полета равно  $\frac{\delta}{V} + \frac{nS}{V} = \frac{(n+1)S}{V}$ .  
Т.к. требуется минимальное время, то  $n=1$  (наименее сильное заграждение).  
Скорость из АВБ и из БВА различны. Такое достигается при  $\alpha=90^\circ$ .

$$V_0 = \sqrt{U^2 + V^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = \sqrt{175} = 5\sqrt{7}(\text{м/с})$$

†

$$1) T_{min} = \frac{2S}{V_0} = \frac{2 \cdot 2000}{5\sqrt{7} \text{м/с}} < \frac{800\sqrt{7}}{7} \text{с}$$

Отв: 20(м/с); 80(с);  $90^\circ$ ;  $\frac{800\sqrt{7}}{7}$ (с)

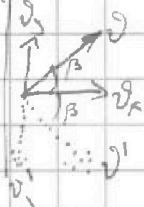
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

- |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

Модуль скорости на протяжении всего полета складывается из горизонтальнойной составляющей  $v_x = \text{const}$  и  $v_y$ , которая зависит от времени  $t$  по закону  $v_y(t) = v_{0y} - gt$ ;  $v_{0y}$  — нач. вертикальная скорость



т.е. модуль скорости  $v(t) = \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2}$ , то время

$$t_1, t_2 \Rightarrow v_y(t_1) = -v_y(t_2)$$

$$v_y - gt_1 = -v_y + gt_2$$

$$v_{0y} = \frac{g(t_1 + t_2)}{2} = \frac{10\pi c^2(0,5 + 1,5)}{2} = 10(\pi/c)$$

$$v_y(t_1) = 10 - 10 \cdot 0,5\pi = 5(\pi/c)$$

т.к. скорость повернула за время от  $t_1$  до  $t_2$  на  $2\beta = 90^\circ$ , то  $\beta = 45^\circ$

$$v_y(t_1) = v(t_1) \cdot \sin 45^\circ \Rightarrow v(t_1) = \frac{v_y(t_1)}{\sin 45^\circ} = \frac{5}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = 5\sqrt{2}(\pi/c)$$

$$v_x = v(t_1) \cdot \cos 45^\circ \Rightarrow v_x = v_y(t_1) = 5(\pi/c)$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot 5}{5\sqrt{2}\pi} = \frac{2\pi}{5\sqrt{2}} = 1(s)$$

$$2) L = v_x \cdot 2T = 5\pi c \cdot 2c = 10\pi m$$

3) Вначале тело мгновенно летит со скоростью  $v_x$  горизонтально, на него приложено ускорение  $v_x$  генерирует ускорение  $a$ , поэтому:

$$\frac{v_x^2}{R} = g \Rightarrow R = \frac{v_x^2}{g} = \frac{(5\pi c)^2}{10\pi c^2} = 2,5m. \text{ Задача } 3 \text{ была представлена}$$

задачей о движении тела с ускорением  $a$ , которое является со скоростью  $v_x$  на окружности радиусом  $R$ .

Ответ: 1(s);  $10\pi m$ ;  $2,5m$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.







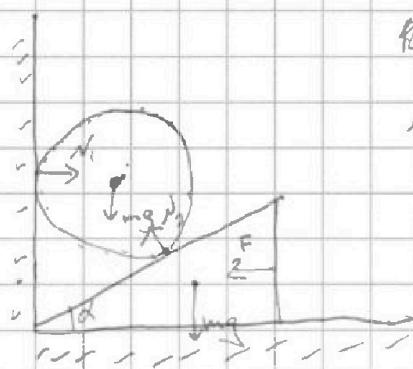



СТРАНИЦА

1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Проведем расстановку сил:



По Т.Л. систему в равновесии, то  $N_1 + mg + N_2 = 0$

$$\cancel{N_1} + \cancel{mg} - N_2 = 0$$



$$\begin{cases} N_2 \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = N_1 \\ N_2 \cdot \sin(90^\circ - \alpha) = mg \\ N_2 \cdot \sin \alpha = F \\ N_2 \cdot \cos \alpha = mg \end{cases}$$

решение

Далее:

$$\begin{cases} F = N_2 \cdot \sin \alpha \\ mg = N_2 \cdot \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{mg} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = \sqrt{3} \Rightarrow \alpha = 60^\circ$$

$$2) Далее, мяч едет вправо с ускорением  $a = \frac{N_2 \cdot \sin \alpha}{m} = \frac{F}{m} = \sqrt{3}g$$$

~~alpha = 60~~

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



- |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Объем спирта есть зависимость от массы к изотермии. Исходя из этого, при нагревании увеличивается и плотность.

Плотность спирта при  $100^{\circ}\text{C}$  равна  $\rho_{100} = 709 \text{ г/л}$ :

$$\beta \frac{m}{P} = \frac{m}{\rho_1}; \quad m = \text{const}$$

$\beta = \frac{P}{P_1}$ ;  $\beta$  - коэффициент для изменения температуры от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$

Поэтому  $\frac{\beta}{t_{100}-t_0} \rightarrow$  изменение объема при изменении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$

$$V(t) = \frac{m}{P} \cdot \frac{\beta}{t_{100}-t_0} \cdot t = \frac{m\beta}{P(t_{100}-t_0)} \cdot t$$

$$2) |\Delta V| = V(t_1) - V(t_2)$$

$$|\Delta V| = \frac{m\beta}{P(t_{100}-t_0)} (t_1 - t_2) = \frac{0,04 \cdot 1,12}{0,85 \cdot 1000} \cdot (50^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}) = 0,04 \cdot 0,0112 \cdot 1000 \text{ (мл)} = 5,6 \text{ (мл)}$$

1) Запишем, что  $\beta > 1$ , поэтому при изменении (увеличении) температуры

на  $1^{\circ}\text{C}$  объем будет меняться  $\frac{\beta-1}{(t_{100}-t_0)} + 1$  (расширение)

$$V(t) = \frac{m}{P} \cdot \frac{(1+\beta)t}{t_{100}-t_0} = \frac{m}{P} \cdot \frac{t_{100}-t_0 + (\beta-1)t}{t_{100}-t_0}$$

$$2) |\Delta V| = V(t_1) - V(t_2)$$

$$|\Delta V| = \frac{m}{P} \left( \frac{(\beta-1)t_1}{t_{100}-t_0} + 1 - \frac{(\beta-1)t_2}{t_{100}-t_0} - 1 \right) = \frac{m}{P} \cdot \frac{(\beta-1)(t_1-t_2)}{t_{100}-t_0} = \frac{0,04}{0,85 \cdot 1000} \cdot \frac{1,12 \cdot 10}{10^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}} =$$

$$= \frac{0,04}{0,85} \cdot 0,12 \cdot 10 = 0,04 = \frac{0,04 \cdot 1,12 \cdot 0,1}{0,85} = \frac{0,04 \cdot 1,12 \cdot 0,1 \cdot 1000}{0,85 \cdot 10^3} \text{ м}^3 =$$

$$= \frac{0,04 \cdot 0,12 \cdot 0,1}{0,85} \cdot 1000 \text{ м}^3 = 0,04 \cdot 0,12 \cdot 0,1 \cdot 1000 \text{ м}^3 = 0,048 \text{ м}^3$$

$$3) \frac{\Delta L}{L} = \frac{m\beta}{P} \Leftrightarrow \frac{\Delta L}{L} = \frac{0,04 \cdot 1,12}{0,85 \cdot 10^3} = \frac{0,04 \cdot 1,12 \cdot 10}{0,85 \cdot 10^3} \text{ м}^2 = 0,56 \text{ м}^2$$

$$\text{Ответ: } \frac{m}{P} \left( \frac{(\beta-1)t}{t_{100}-t_0} + 1 \right) \cdot \frac{m(\beta-1)(t_1-t_2)}{P(t_{100}-t_0)} = 0,6 \text{ м}^3 \mid 0,56 \text{ м}^2$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

- |                            |                            |                            |                            |                                       |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input checked="" type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 7 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|

СТРАНИЦА  
1 из 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Зная, что  $R_3$  и  $R_2$  соединены последовательно, а  $R_1$  параллельно  
представлен  $R_1$ , а в данный момент часток полезовательно подключен  $R_1$ , то:

$$R_{\text{экв}} = R_4 + \frac{R_1(R_3+R_2)}{R_1+R_3+R_2} = r + \frac{1,2r(4r+2r)}{1,2r+4r+2r} = r + \frac{7,2r^2}{7,2r} = 2r = 10(\Omega_m)$$

$$2) P = I^2 R_{\text{экв}}$$

$$-P = (4A)^2 \cdot 10 \Omega \quad P = 4^2 \cdot 10 = 160 (\text{Вт})$$

3) Определить сумму тока на каждом из резисторов:

Индекс суммы тока совпадает с индексом сопротивления и  
соответствует ~~сумме~~ резистора.  $I_1$ -ток на  $R_1$ ;  $I_2$ -ток на  $R_2$  ч.т.п.

$$I_4 = I$$

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_3+R_2}{R_1} \quad / \text{т.к. } R_1 \text{ параллельно } (R_3+R_2), \text{ напряжение на } R_1 \text{ равно сумме напряжений на } R_3 \text{ и } R_2$$

$$\Rightarrow I_2 = I_3 = I_1 \frac{R_1}{R_3+R_2} = I_1 \frac{1,2r}{2r+4r} = 0,2I_1$$

$$\text{Тогда } 0,2I_1 + I_1 = I_4 = I_1$$

$$I = \frac{I_1}{1,2} = \frac{1}{3}(A) \Rightarrow I_2 = I_3 = \frac{2}{3}(A)$$

Значит мощность каждого элемента есть ~~сумма~~ ~~квадрат суммы~~ токов на сопротивление:

$$P_4 = I_4^2 \cdot R_4 = 80(\text{Вт})$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 66 \frac{2}{3}(\text{Вт})$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = 4 \frac{4}{3}(\text{Вт}) \Rightarrow \text{Найденная мощность } P_{\min} = P_2 = 4 \frac{4}{3}(\text{Вт})$$

$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 8 \frac{8}{3}(\text{Вт})$$

$$\text{Ответ: } 10(\Omega_m); 160(\text{Вт}); 4 \frac{4}{3}(\text{Вт})$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решениях каждой задачи отдельно.

1

2

3

4

5

6

7

СТРАНИЦА  
\_ ИЗ \_

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА  
— ИЗ —

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

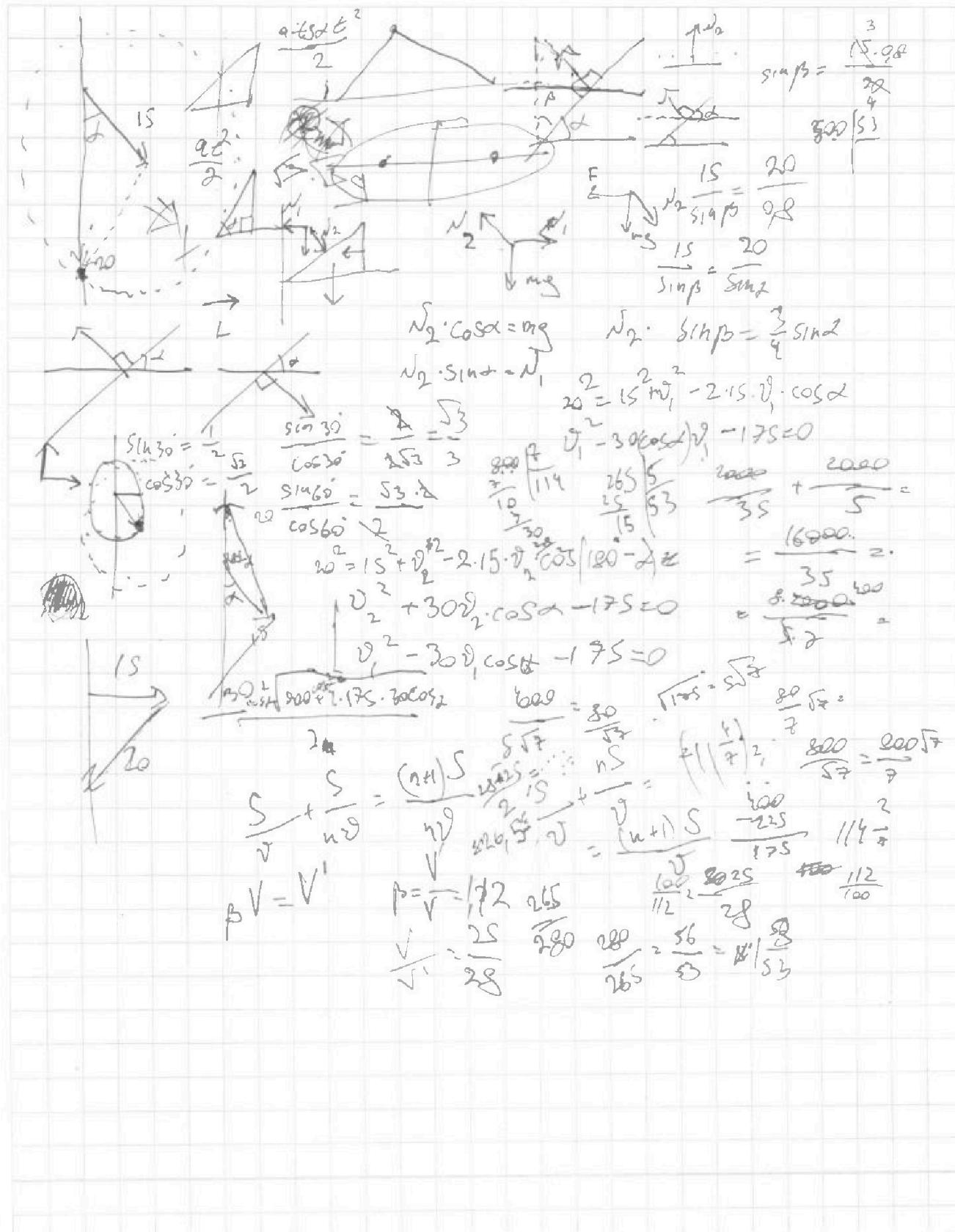


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



СТРАНИЦА  
ИЗ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются **отдельно**. Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

СТРАНИЦА  
— ИЗ —

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1

2

3

4

5

6

7

СТРАНИЦА  
ИЗ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!