



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда»  
«Авиационная и ракетно-космическая техника»

10-11 классы

Заключительный этап

2021-2022

Задания, ответы и критерии оценивания

**Задача 1 (20 баллов)**

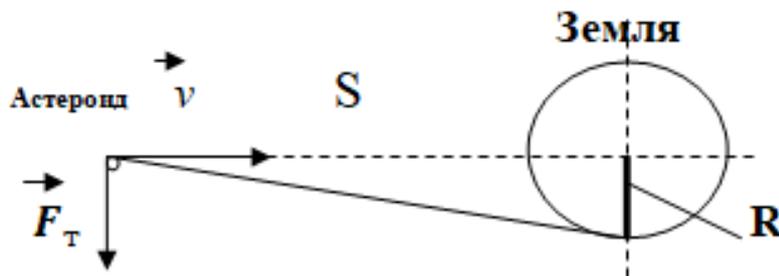
Астероид массой  $m = 1$  млн. тонн движется по направлению к Земле со скоростью  $20$  км/с, радиус планеты  $R = 6371$  км. В данный момент астероид находится на расстоянии  $1$  млн. км. Чтобы избежать столкновения с Землей на астероид установили ракетный двигатель, вектор тяги которого перпендикулярен вектору скорости астероида.

Определить величину силы тяги двигателя.

Считать планету неподвижной.

**Ответ:**  $2,6 \cdot 10^{11}$  н.

**Решение.**



1. Считаем, что траектория астероида – прямая линия.

2.  $\vec{v}$  – скорость движения астероида;

$\vec{F}_T$  – сила тяги двигателя;  $S$  – начальное расстояние между астероидом и планетой.

3.  $t$  – время движения астероида.

4.  $a$  – ускорение астероида, создаваемое силой тяги двигателя.

$$a = \frac{F_T}{m}$$

5. Величина отклонения астероида.

$$R = \frac{at^2}{2} = \frac{as^2}{2v^2}$$

6. Ускорение астероида

$$a = \frac{2Rv^2}{s^2}$$

7. Сила тяги двигателя

$$F_T = m \cdot \frac{2Rv^2}{s^2} = \frac{2 \cdot 10^{12} \cdot 6371 \cdot (20 \cdot 10^3)^2}{(10^6)^2} = 2,6 \cdot 10^{11} \text{ н.}$$

### Задача 2 (20 баллов)

Снаряд массой 8 кг вылетает из ствола орудия со скоростью 700 м/с. Определить давление пороховых газов во время выстрела, принимая движение снаряда внутри ствола равноускоренным. Сила сопротивления движению снаряда  $16,2 \cdot 10^3$  Н, длина ствола 3 м, диаметр 77 мм.

**Ответ:**  $\approx 140,4$  МПа.

#### Решение.

1. Равнодействующая сил, действующих на снаряд  $F - F_c = ma$

2. Давление  $P = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d^2}$

3. Ускорение снаряда

$$a = \frac{v^2}{2l}$$

4. Давление газов в стволе  $P = \frac{4\left(m\frac{v^2}{2l} + F_c\right)}{\pi d^2}$

$$\text{Или } P = \frac{4\left(8\frac{700^2}{2 \cdot 3} + 16,2 \cdot 10^3\right)}{3,14 \cdot (77 \cdot 10^{-3})^2} = 140\,437\,841 \approx 140,4 \text{ МПа}$$

### Задача 3 (20 баллов)

1. Ракета стартует под углом к горизонту  $\alpha_0 = 70^\circ$  со скоростью  $v_0 = 250$  м/с.

Определить:

- 1) Скорость и координаты ракеты  $x$  и  $y$  через  $t = 4$  сек после старта;
- 2) Время полета;
- 3) Максимальную высоту подъема;
- 4) Дальность полета по направлению;
- 5) Скорость тела в момент падения ракеты;
- 6) Уравнение траектории.

Сопротивлением воздуха пренебречь.

#### Ответы:

1)  $v_x = 85,5$  м/с;  $v_y = 195,7$  м/с;  $v = 213,6$  м/с;  $x = 342$  м;  $y = 868,8$  м.

2)  $t_1 = 47,9$  сек.

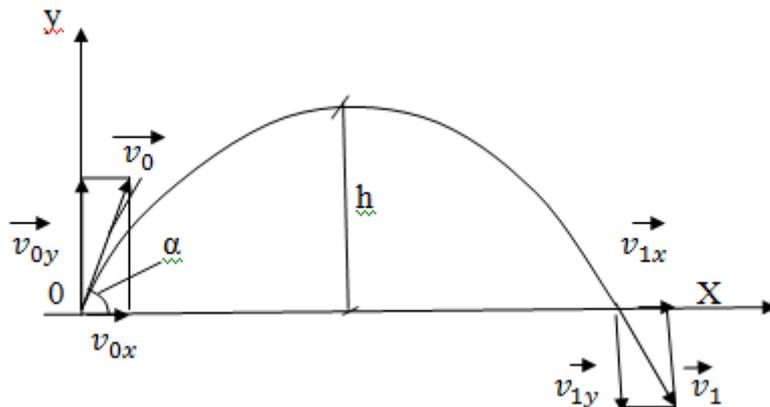
3)  $h = 2815,8$  м.

4)  $S = 4095,7$  м.

5)  $v_1 = 250 \text{ м/с}$ .

6)  $y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 (\cos \alpha)^2} \cdot x^2$ .

Выбираем систему координат в точке старта



Начальное условие:

$X_0 = 0, Y_0 = 0, v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha, \alpha = 70^\circ$ .

Зависимости проекций скорости от времени:

$v_x = v_0 \cos \alpha, v_y = v_0 \sin \alpha - gt$ .

Время полета  $t_1$  и максимальная высота подъема

$$t_1 = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g};$$

$$h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 (\sin \alpha)^2}{2g};$$

Дальность и высота полета в момент времени  $t$

$$\begin{cases} X = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \\ Y = v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

Для получения уравнения траектории тела исключаем  $t$

$$Y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 (\cos \alpha)^2} x^2$$

Полученное уравнение является уравнением параболы.

Проекции скоростей и координаты через 4 с.

$$v_x = 250 \cdot \cos 70 = 85,5 \text{ м/с.}$$

$$x = 250 \cdot 4 \cdot \cos 70^\circ = 342 \text{ м.}$$

$$v_y = 250 \cdot \sin 70 - (9,8 \cdot 4) = 195,7 \text{ м/с.}$$

$$y = 250 \cdot 4 \cdot \sin 70^\circ - \frac{9,8 \cdot 16}{2} = 868,8 \text{ м.}$$

$$\text{Т.е. } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 213,6 \text{ м/с.}$$

Время полета и максимальная высота

$$t_1 = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = 47,9 \text{ с.}$$

$$h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 (\sin \alpha)^2}{2g} = 2815,8 \text{ м.}$$

Дальность полета

$$S = v_{0x} \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot t = 250 \cdot \cos 70^\circ \cdot 47,9 = 4095,7 \text{ м.}$$

Скорость ракеты в момент падения

$$v_1 = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2}$$

$$v_1 = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha - gt)^2} =$$

$$= \sqrt{(250 \cdot \cos 70^\circ)^2 + (250 \cdot \sin 70^\circ - 9,8 \cdot 47,9)^2} = 250 \text{ м/с.}$$

#### Задача 4 (20 баллов)

Сосуд, содержащий  $m_1 = 2$  г гелия разорвался при температуре  $400^\circ \text{ С}$ . Какое количество азота может храниться в таком сосуде при  $30^\circ \text{ С}$  и при пятикратном запасе прочности?

**Ответ:**  $6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$

**Решение.**

1. Для гелия в момент разрыва уравнение состояния

$$P_1 \cdot v = \frac{m_1}{\mu_1} R T_1$$

$$T_1 = 673 \text{ К}, \quad \mu_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

2. Для азота в условиях хранения

$$P_2 \cdot \nu = \frac{m_2}{\mu_2} R T_2,$$

где  $T_2 = 303 \text{ К}$ ,  $\mu_2 = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$

$$3. \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 T_1 \mu_2}{m_2 T_2 \mu_1}$$

откуда

$$m_2 = \frac{m_1 T_1 \mu_2 P_2}{P_1 T_2 \mu_1};$$

$$m_2 = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 673 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{303 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

с учетом коэффициента запаса 5.

### Задача 5 (20 баллов)

Вычислите КПД двигателей атомной подводной лодки, если их мощность  $N_1 = 3,2 \cdot 10^4 \text{ кВт}$ , а атомный реактор расходует  $m = 200 \text{ г}$  урана-235 в сутки. При делении одного ядра атома урана-235 выделяется энергия  $E_0 = 200 \text{ МэВ}$ . ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ ВТ}$ ).

**Ответ:** 17 %.

**Решение.**

1. Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{N_1}{N}, \quad \text{где } N \text{ – полная мощность.}$$

2.  $N = \frac{E}{t}$ ,  $E$  – энергия, выделяющаяся при делении  $m$  урана за время  $t$ .

3. Число атомов, содержащихся в этом количестве урана

$$n = \frac{m}{\mu} N_A, \quad \text{где } \mu \text{ – молярная масса урана, } N_A \text{ – число Авогадро,}$$

$$\text{тогда } E = E_0 \frac{m}{\mu} N_A.$$

$$4. \text{ КПД двигателей } \eta = \frac{N_1 \mu t}{E_0 m N_A},$$

$$\eta = \frac{3,2 \cdot 10^4 \cdot 235 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 3600}{200 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 0,17;$$

$$\eta = 17 \text{ \%}.$$