Теоретический материал

При движении тела в атмосфере Земли на него помимо силы тяжести также действует сила сопротивления воздуха

$$F(\nu) = iS\frac{\rho\nu^2}{2}C_x\left(\frac{\nu}{a}\right) \tag{1}$$

где i - коэффициент формы, S - площадь лобового сечения, ρ - плотность среды, C_x - закон сопротивления, a - скорость звука.

Для тела с круглым сечением, очевидно,

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \tag{2}$$

Плотность атмосферы ρ является функцией виртуальной температуры T_ν, давления P_0 в точке бросания, высоты полета y

$$\rho = \rho(y) = 1.225\left(\frac{T(y)}{T_\nu}\right)^{4.256}\frac{P_0}{T_\nu}\frac{288.15}{760}, \tag{3}$$

где $T(y)$ - зависимость температуры от высоты

$$T(y) = T_\nu - 0.0065y. \tag{4}$$

Скорость звука a зависит от температуры в точке полета следующим образом:

$$a = 340.294\left(\frac{T(y)}{288.15}\right)^{1/2}. \tag{5}$$

Для учета влажности необходимо во всех формулах вместо реальной температуры T_0 использовать так называемую виртуальную температуру

$$T_\nu = \frac{T_0 + 273.15}{1 - \frac{3}{8}\frac{12.7}{P_0}w}, \tag{6}$$

где w - влажность, выраженная в долях 1. В этой формуле T_0 - температура в градусах Цельсия в точке бросания, то есть в числителе дроби стоит абсолютная температура.

Для расчета закона сопротивления C_x можно использовать следующий код:

```
def cx(x):
  pa = [0.0525, -0.9476, 8.9342, -9.4610, 0.3207, 4.2980, -1.9382]
  pb = [1.0000, -15.4071, 178.6690, -580.8643, 985.5873, -853.9492, 296.9213]
  pc = [0.0531, 0.9449, 90.5063, 0.1639]
  r = polyval(pa,x2) / polyval(pb,x2) + pc[0] / (1 + exp(-(x-pc[1])*pc[2])) + pc[3]
return r
```

Для учета деривации надо систему дифференциальных уравнений внешней баллистики для движения центра масс тела дополнить еще двумя уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= q\nu_x\pi\nu_0 c_d, \\ \frac{dq}{dt} &= \frac{e^{-m_3 t}}{\nu^2}, \end{aligned} \tag{7}$$

где ν_x - горизонтальная компонента скорости, ν_0 - начальная скорость, ν - модуль скорости, c_d - коэффициент деривации, m_3 - коэффициент убывания угловой скорости вращения.

Если метание тела осуществляется с помощью порохового заряда, то начальная скорость тела будет зависеть от температуры заряда T_z

$$\nu_0 = \nu_{15}\left(1 + z_t\left(T_z - 15\right)\right), \tag{8}$$

где ν_{15} - начальная скорость при $15°C$, z_t - коэффициент температуры заряда.

Для учета влияния ветра необходимо сперва перейти в систему отсчета, связанную с ветром, где атмосфера неподвижна, затем решить задачу и при необходимости вернуться в исходную систему отсчета.

Заметим, что в баллистике принято углы выражать в так называемых делениях угломера (д.у.). По определению, окружность делится на 6000 таких делений, т.е.

$$1\partial.y. = \frac{\pi}{3000} = 0.06°. \tag{9}$$

Задание

1. Определить угол бросания для пули Б-32 пулемета НСВ-12.7 на дальность 2000м с точностью не хуже 0.01 д.у., если

$$\begin{aligned} g &= 9.80665 м/c^2, \\ d &= 12.7 мм, \\ m &= 48.3 г, \\ i &= 1.0629, \\ \nu_{15} &= 820 м/c, \\ P_0 &= 750 мм.рт.с., \\ T_0 &= 15°C, \\ w &= 0.5, \\ z_t &= 1.35\cdot 10^{-3}, \\ c_d &= 0.0423, \\ m_3 &= 0.1744. \end{aligned}$$

Здесь m - масса пули. Повторить расчет для $T = 5°C$.

Указание: перейти от независимой переменной t к переменной x (координата пули вдоль траектории).

2. Определить угол бросания и горизонтальную угловую поправку с учетом ветра и деривации в условиях предыдущей задачи ($T_0 = 15°C$), если скорость ветра 10м/с, он дует справа налево перпендикулярно траектории, а деривация приводит к смещению пули вправо.

3. Определить максимальную дальность полета в условиях 1 задания ($T_0 = 15°C$).