

Экспериментальное задание 3

Изучение баллистического движения

Цель работы: измерить начальную скорость, сообщенную пуле при ее движении под действием силы тяжести; изучить зависимость дальности полета пули и максимальной высоты подъема от угла наклона ствола пистолета.

Оборудование: баллистический пистолет, пуля, лента измерительная, транспорир.

Краткая теория

Эксперимент позволяет исследовать движение тела, получившего начальную скорость не параллельно силе тяжести, а под некоторым углом к ней (или к горизонту). О таком теле говорят, что оно брошено под углом к горизонту.

На пулю, вылетевшую из ствола с определенной скоростью, в полете действуют две основные силы: сила тяжести и сила сопротивления воздуха. Действие силы тяжести направлено вниз, оно заставляет пулю непрерывно снижаться. Действие силы сопротивления воздуха направлено навстречу движению пули, оно заставляет пулю непрерывно снижать скорость полета. Все это приводит к отклонению траектории вниз. Будем считать, что силой сопротивления воздуха можно пренебречь. Рассмотрим в этом случае как движется тело.

Пусть из некоторой точки с начальной скоростью v_0 , направленной под углом α к горизонту, брошено тело. Примем за начало отсчёта точку, из которой тело брошено. Ось x направим горизонтально, а ось y – вертикально (рис. 1).

За начало отсчёта времени примем момент времени, когда тело было брошено. Из рисунка видно, что тело совершает движение одновременно вдоль оси x и оси y .

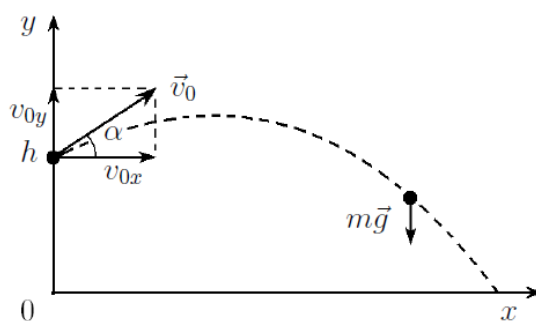


Рис. 1

Рассмотрим движение тела вдоль оси x . Так как на тело действует только сила тяжести, направленная по вертикали вниз, то тело движется с ускорением, которое называется ускорением свободного падения и направлено вертикально вниз. Проекция ускорение свободного падения на ось x равна нулю:

$$g_x = 0. \quad (1)$$

Следовательно, вдоль оси x тело движется равномерно, значит, проекция скорости на ось x в любой момент времени остаётся постоянной:

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha = \text{const}. \quad (2)$$

Расстояние от точки вылета тела до точки приземления называется дальностью полёта L . Для расчета дальности полёта используют формулу зависимости координаты тела от времени при равномерном движении:

$$x = x_0 + v_{0x}t, \text{ следовательно, } L = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t, \quad (3)$$

где $x_0 = 0$ – начальная координата, t – время полёта.

Рассмотрим теперь движение тела вдоль оси y . Проекция начальной скорости на ось y равна

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha. \quad (4)$$

Проекция ускорения свободного падения на ось y не равна нулю:

$$g_y = -g. \quad (5)$$

По этой причине движение тела вдоль оси y будет равноускоренным. Следовательно, проекция скорости на ось y в любой момент времени может быть вычислена по формуле:

$$v_y = v_{0y} + g_y t. \quad (6)$$

Координата y в любой момент времени вычисляется по формуле зависимости координаты тела, движущегося с постоянным ускорением:

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} \quad \text{или} \quad y = h + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}, \quad (7)$$

где y_0 - начальная координата тела.

Для расчета максимальной высоты подъема используют следующие формулы:

$$h_{\max} = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y} = \frac{-v_{0y}^2}{-2g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}, \quad (8)$$

поскольку в верхней точке траектории вертикальная составляющая скорости тела $v_y = 0$.

Если мы будем рассматривать уравнения (3) и (7) в системе, то, исключив из нее время t , получим формулу для расчета начальной скорости по значениям высоты h и дальности полета L :

$$v_0 = \frac{L\sqrt{g}}{\sqrt{2 \cos \alpha (L \sin \alpha + h \cos \alpha)}}. \quad (9)$$

I. Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 2. Главной ее частью является пружинный пистолет 1, представляющий из себя цилиндр с пружиной 2, скрепленный с помощью держателя 3 с подставкой 4.

Цилиндр может поворачиваться вокруг горизонтальной оси на произвольный угол, измеряемый при помощи транспортира 5.

Если пружину сжать вставляемым в ствол пистолета телом 6, а затем освободить стопор 7, то тело приобретет некоторую начальную скорость и далее будет двигаться в поле сил тяжести (то есть с ускорением свободного падения).

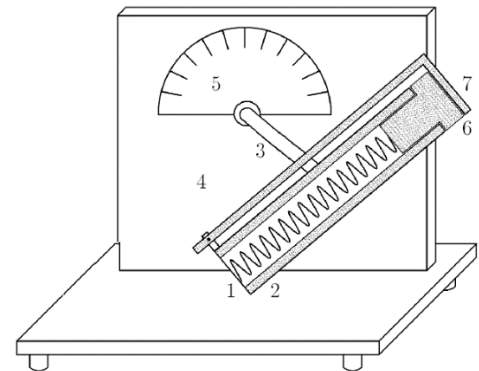


Рис. 2

II. Рекомендации по проведению эксперимента и обработке его результатов

1. Выберите угол $\alpha = 0^\circ$, под которым должна вылететь пуля.
2. Выполните 5 выстрелов, отмечая место падения пули на полу мелом.
3. Измерьте дальность полета L в каждом из 5-ти опытов и найдите среднее значение дальности полета по формуле:

$$L_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_5}{5}.$$

4. Определите значение начальной скорости v_0 по формуле (9). При расчете брать значение ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.
5. Вычислите время движения пули, используя уравнение (7).
6. Определите максимальную высоту подъема пули по формуле (8).
7. Повторите опыты и вычисления для угла $\alpha = 10^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 40^\circ$ и все результаты занесите в таблицу 1.
8. Определите среднее значение начальной скорости v_0 по формуле:

$$v_{0cp} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_5}{5}.$$

9. Определите абсолютную погрешность измерения начальной скорости по формуле:

$$\Delta v_{0cp} = \frac{\Delta v_1 + \Delta v_2 + \dots + \Delta v_5}{5}, \quad \Delta v_1 = |v_{0cp} - v_1|, \dots, \Delta v_5 = |v_{0cp} - v_5|.$$

10. Рассчитайте относительную погрешность измерения начальной скорости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta v_0}{v_0} \cdot 100\%.$$

11. Запишите окончательный результат определения начальной скорости пули в виде:

$$v_0 = v_{0cp} \pm \Delta v_{0cp}.$$

12. Проанализируйте результаты эксперимента, представленные в таблице 1 и сделайте вывод о характере зависимости дальности полета снаряда и максимальной высоты подъема от угла наклона ствола пистолета.

Результаты измерений

№ опыта	$\alpha, ^\circ$	$L, \text{ м}$	$L_{\text{среднее}}, \text{ м}$	$v_0, \text{ м/с}$	$t, \text{ с}$	$h_{\text{max}}, \text{ м}$
1	0					
2	10					
3	20					
4	30					
5	40					

Контрольные вопросы

1. Выведите формулу (9) для расчета начальной скорости пули.
2. Объясните рисунок 3 и докажите, что: А) при $\alpha = 45^\circ$ дальность полета будет максимальна; Б) при $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$ дальность полета будет одинаковой.
3. Объясните рисунок 4.

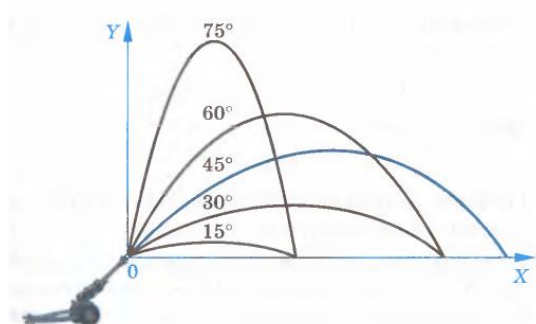


Рис. 3. Траектория снаряда в отсутствии сопротивления воздуха при стрельбе под разным углом к горизонту

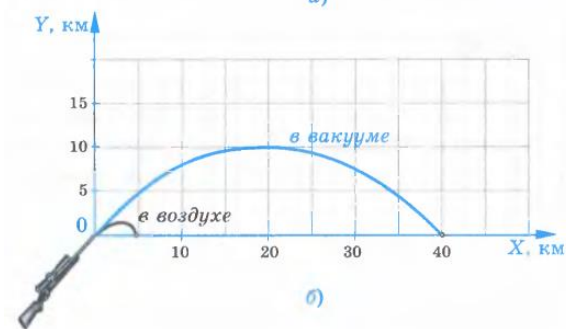
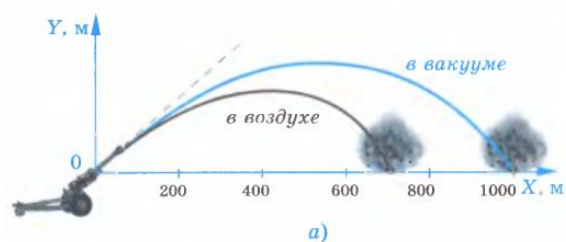


Рис.4. Отличие реальной баллистической кривой от параболы:
а) $v_0 = 100 \text{ м/с}$; б) $v_0 = 630 \text{ м/с}$;