

Отчет о выполнении лабораторной работы  
Определение скорости полёта пули при  
помощи баллистического маятника

Лепарский Роман

10.11.2020

## 1 Аннотация

Целью работы является определение скорости полёта пули при помощи баллистических маятников, применяя законы сохранения.

## 2 Теоретические сведения

Классический метод определения скорости, путём измерения времени пролёта пули на известное расстояние, в данном случае неуместен. Поскольку лабораторная установка не должна превышать нескольких метров в длину, а время пролёта пули из духовой винтовки не превышает  $10^{-2}$ с, такое малое время можно посчитать только дорогостоящим оборудованием.

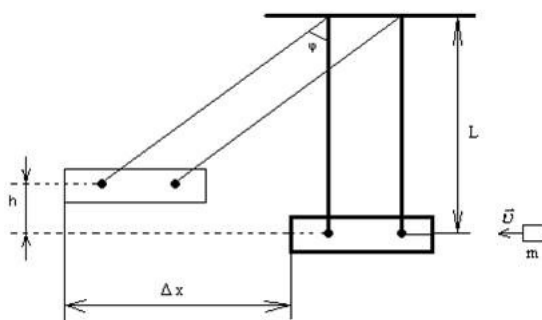
В данном случае лучше использовать законы сохранения. Если масса тела значительно больше массы пули, то скорость тела с застрявшей в нем пулей будет значительно меньше скорости пули, и её будет легче измерить.

Для измерения переданной пулей импульса и следовательно её скорости используют баллистический маятник. В силу малости отклонения такого маятника за время взаимодействия с пулей относительно амплитуды (максимального отклонения), им можно пренебречь.

Работа состоит из двух частей:

### 2.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательные движения

Используемый в данной работе маятник представляет собой тяжёлый цилиндр, подвешенный на четырёх нитях одинаковой длины



Чтобы найти связь скорости пули и амплитуды колебаний цилиндра, воспользуемся законами сохранения:

$$mv = (M + m)u$$

$$\frac{(M + m)u^2}{2} = 2(M + m)gh$$

Высота подъема маятника выражается через угол  $\varphi$  отклонения маятника от вертикали:

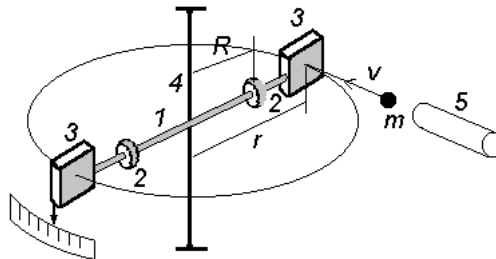
$$h = L(1 - \cos(\varphi)) \approx \frac{\Delta x^2}{2L}$$

Из всех этих уравнений получаем:

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x. \quad (1)$$

## 2.2 Метод крутильного баллистического маятника

Схема эксперимента:



Пуля массой  $m$  попадает в мишень, укрепленную на стержне, которая вместе с грузами массой  $M$  и проволокой образуют крутильный маятник. Считая удар неупругим, для определения скорости  $v$  полета пули непосредственно перед ударом воспользуемся законом сохранения момента импульса в виде

$$mvr = I\Omega \quad (2)$$

Здесь  $r$  - расстояние от линии полета пули до оси вращения маятника,  $I$  - момент инерции маятника,  $\Omega$  - его угловая скорость непосредственно после удара.

Начальная кинетическая энергия вращения маятника переходит в потенциальную - упругую энергию закручивания проволоки. Пренебрегая

потерями энергии, закон сохранения энергии можно записать следующим образом:

$$\frac{k\varphi^2}{2} = \frac{I\Omega^2}{2} \quad (3)$$

Здесь  $k$  - модуль кручения проволоки, а  $\varphi$  - максимальный угол поворота маятника

Из уравнений (2) и (3) получаем

$$v = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \quad (4)$$

Угол максимального закручивания маятника в данных опытах мал и легко находится по смещению  $x$  изображения нити осветителя на измерительной шкале:

$$\varphi \approx \frac{x}{2d}$$

Здесь  $d$  - расстояние от шкалы до оси вращения маятника.

В формулу (4) входит произведение  $kI$ , которое можно найти по измерениям периодов колебаний маятника с грузами и без них. В первом случае период равен

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$$

Во втором

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}}$$

Отсюда

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2}$$

Здесь  $R$  - расстояние от центров масс грузов.

Итого:

$$v = \frac{x4\pi MR^2 T_1}{(T_1^2 - T_2^2)2dmr} \quad (5)$$

### 3 Приборы и материалы

- Духовое ружье на штативе,
- Осветитель,
- Оптическая система для измерения отклонений маятника,
- Измерительная линейка,

- Пули,
- Весы для их взвешивания,
- Баллистические маятники.

## 4 Обработка результатов

### 4.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательные движения

Данные установки:

- $L = 2245$  мм
- $M = 2095 \pm 5$  г

Составим таблицу  $m$ ,  $\Delta x$ . Посчитаем  $v$  по формуле (1), занесём значения в таблицу:

$m$ , г	$\Delta x$ , мм	$v$ , м/с
0,498	11,0	158,44
0,504	11,0	156,55
0,514	10,9	152,33
0,509	11,9	165,75

Посчитаем среднюю скорость и погрешность:

$$\langle v \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i = 158,27 \text{ м/с}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\langle v \rangle - v_i)^2} = 4,9 \text{ м/с}$$

### 4.2 Метод крутильного баллистического маятника

Данные установки:

- $d = 345$  мм
- $M = 714 \pm 0,1$  г
- $R = 340$  мм

- $r = 210$  мм
- $T_1 = 17$  с
- $T_2 = 10,4$  с

Составим таблицу  $m, x$ . Посчитаем  $v$  по формуле (5), занесём значения в таблицу:

$m, \text{ г}$	$x, \text{ см}$	$v, \text{ м/с}$
0,507	9,5	139,36
0,504	8,2	122,83
0,507	9,0	132,72
0,503	8,5	127,09

Посчитаем среднюю скорость и погрешность:

$$\langle v \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i = 130,5 \text{ м/с}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\langle v \rangle - v_i)^2} = 6,2 \text{ м/с}$$

## 5 Вывод

Проведя измерения и обсчитав результаты, мы нашли скорость вылета пули. В 1 эксперименте  $v = 158,3 \pm 4,9$  м/с, во 2 эксперименте  $v = 130,5 \pm 6,2$  м/с. Несовпадение результатов первого и второго опыта может быть обусловлено тем, что в экспериментах использовались разные винтовки.