

# Отчет о выполнении лабораторной работы 1.2.1

## Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Шубин Владислав, Байбулатов Амир

4 октября 2023 г.

### 1 Аннотация

В работе определяется скорость полета пули, путём применения законов сохранения и использования баллистического маятника. Используется следующий метод измерений скорости: 1) определение отклонения маятника с помощью оптической системы, изображенной на рис. 1а. Длины нитей измеряются с помощью сантиметровой линейки, отклонения маятника с помощью миллиметровой линейки. Детально исследуется систематические и случайные погрешности проводимых измерений.

### 2 Теоретические сведения

#### 2.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

В этой части работы (вторая часть не выполнялась) используется установка, изображенная на рис. 1а. Внешними силами для системы пуля-цилиндр являются сила тяжести, не имеющая горизонтальной компоненты, и силы натяжения нитей, горизонтальные компоненты которых появляются при отклонении маятника. Но так как отклонения маятника малы, то и эти компоненты малы и тем более мал и их импульс. Поэтому закон сохранения импульса при соударении пули с цилиндром имеет вид

$$mu = (M + m)V. \quad (1)$$

Здесь  $m$  - масса пули,  $M$  - масса цилиндра,  $V$  - скорость цилиндра и пули после неупругого соударения.

Откуда (учитывая, что  $M \gg m$ ) можно написать

$$u = \frac{M}{m}V. \quad (2)$$

По закону сохранения энергии

$$V^2 = 2gh. \quad (3)$$

Здесь  $g$  - ускорение свободного падения,  $h$  - высота подъёма маятника над его начальным положением.

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

$$h = L(1 - \cos \varphi) = 2L \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad (4)$$

где  $\varphi \approx \frac{\Delta x}{L}$

Из (2), (3) и (4) получаем формулу для определения скорости пули:

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x. \quad (5)$$

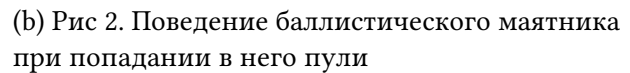
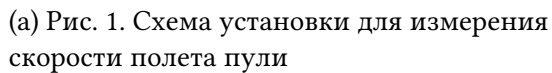


Таблица 2: Результаты измерений отклонений маятника.

$\Delta x_{\text{ср}}, \text{ мм}$	12.5	11.5	11.8	11.4	11.9	12.2	11.7	11.1	11.0	12.0
$u, \text{ м/с}$	148.0	136.4	143.3	138.2	143.4	145.5	140.7	133.7	132.0	146.3

Таблица 3: Результаты вычислений скорости пули.

Рассчитаем систематическую и случайную погрешности:

$$\sigma_u^{\text{сист}} = u \sqrt{\varepsilon_M^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\varepsilon_L}{2}\right)^2} \quad \sigma_u^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_i - u_{\text{ср}})^2} \quad \sigma_u = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{случ}}^2} \quad (6)$$

$$\sigma_u^{\text{сист}} \approx 3,8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \sigma_u^{\text{случ}} \approx 1,7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \sigma_u \approx 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (7)$$

Тогда средняя скорость  $u_{\text{ср}} = 141,0 \pm 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

## 5 Заключение

В работе получено значение скорости пули  $u \approx 141,0 \pm 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Реальная скорость вылета пули из духового ружья находится в диапазоне 140-200 м/с. Измеренные значения  $u$  попали в этот диапазон. Использованный в работе метод баллистического маятника позволил получить значения  $u$  образцов с хорошей точностью (3%, состоящей из системных погрешностей величин  $M, m, \Delta x, L$ , а также случайной погрешности измерений  $u$  и  $\Delta x$ ), которая ограничивалась погрешностями оптической системы, весов и линейки, пренебрежением массой пули в формуле (5), горизонтальными компонентами сил натяжения нитей, а также использованием значения угла в качестве результата функции  $\sin$  в связи с его малым значением.