

# Отчет о выполнении лабораторной работы 1.2.1

## Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Шубин Владислав, Байбулатов Амир

27 сентября 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 исследуются 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.

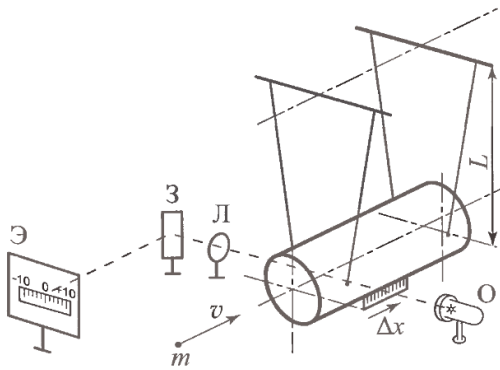
Высота подъёма маятника выражается через угол  $\varphi$  отклонения маятника от вертикали:

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

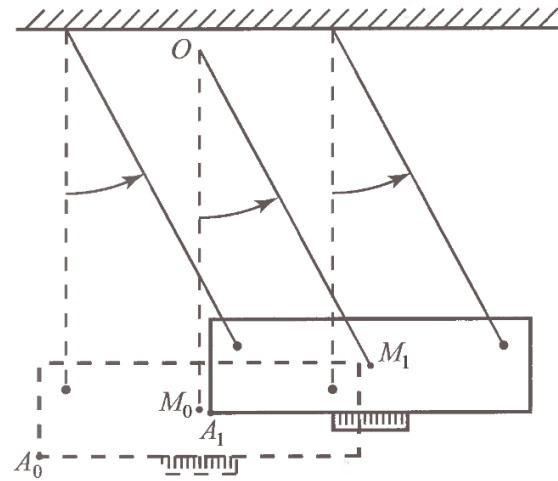
где  $\varphi \approx \frac{\Delta x}{L}$

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

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



(а) Рис. 1. Схема установки для измерения скорости полета пули



(б) Рис 2. Поведение баллистического маятника при попадании в него пули

### 3 Оборудование и инструментальные погрешности

**Оборудование:** духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, а также баллистические маятники.

- **Оптическая система:**  $\Delta_{\text{сис}} = \pm 0.25$  мм (по цене деления)
- **Линейка:**  $\Delta_{\text{лин}} = \pm 1$  см (по цене деления)
- **Весы:**  $\Delta m = \pm 5$  мг (маркировка производителя)

### 4 Результаты измерений и обработка данных

#### 4.1 Характеристики системы:

$$L = 2,22 \pm 0,01 \text{ м,}$$

$$M = 2905 \pm 5 \text{ г.}$$

#### 4.2 Измерения:

N изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m, г	0.516	0.515	0.503	0.504	0.507	0.512	0.508	0.507	0.509	0.501

Таблица 1: Результаты измерений масс пулек.

$x_0$ , мм	-0.8	0.0	0.5	1.0	-1.5	-1.8	-1.5	-1.0	-0.5	-0.3
$x_1$ , мм	12.0	11.6	12.5	12.5	10.5	10.5	10.3	10.2	10.6	11.9
$x_2$ , мм	11.7	11.4	12.3	12.4	10.4	10.4	10.2	10.1	10.5	11.7
$x_3$ , мм	11.5	11.4	12.2	12.3	10.3	10.3	10.0	10.0	10.4	11.6
$x_{\text{ср}}$ , мм	11.7	11.5	12.3	12.4	10.4	10.4	10.2	10.1	10.5	11.7

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.