

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчет по лабораторной работе 1.2.1

Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника.

Выполнил студент:

Сериков Василий Романович

группа: Б03-102

Москва, 2021 г.

Цель работы: Определить скорость полета пули, применяя законы сохранения и используя баллистические маятники.

В работе используется: Духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, баллистические маятники.

Теория: Баллистическим называется маятник, колебания которого вызываются кратковременным начальным импульсом. Необходимо позаботиться, чтобы после удара пули колебания маятника происходили в одной плоскости и отсутствовали поперечные движения. I метод определения скорости пули - это метод с помощью баллистического маятника, совершающего поступательное движение (рис.1). Маятник состоит из цилиндра, подвешенного на 4 нитях одинаковой длины. Расчет скорости пули выполняется по следующей формуле:

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x$$

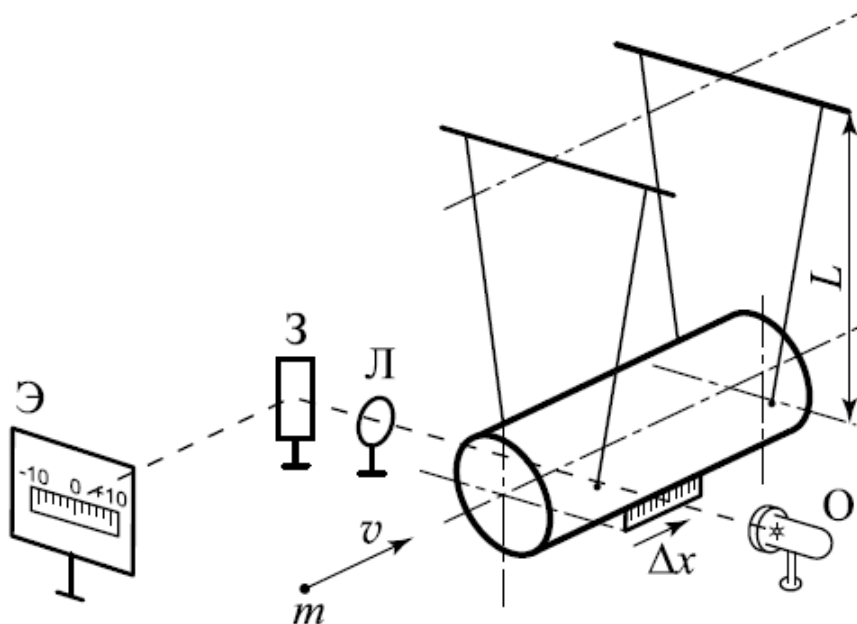


Рис. 1. Схема установки для измерения скорости полета пули

II метод измерения скорости пули - это с помощью баллистического маятника, совершающего крутильные колебания (рис.2). Пуля попадает в мишень, которая вместе с грузами и со стержнем составляет крутильный баллистический маятник. Сразу после попадания пули в мишень, система пуля-мишень будет двигаться с угловой скоростью Ω такой, что

$$mvr = I\Omega, \quad (1)$$

где I – момент инерции систему пуля-мишень.

Если k – модуль кручения проволоки, то из закона сохранения энергии следует, что

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

где φ – амплитуда колебаний маятника после выстрела. Из уравнений (4) и (5) можно найти скорость v по амплитуде φ .

$$v = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr}. \quad (3)$$

где $\varphi = \frac{x}{2d}$, а d – расстояние от шкалы до оси, x – смещение изображения нити осветителя на шкале.

Периоды колебаний маятника с грузами и без можно выразить как

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \quad T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}}$$

Тогда \sqrt{kI} можно найти как

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

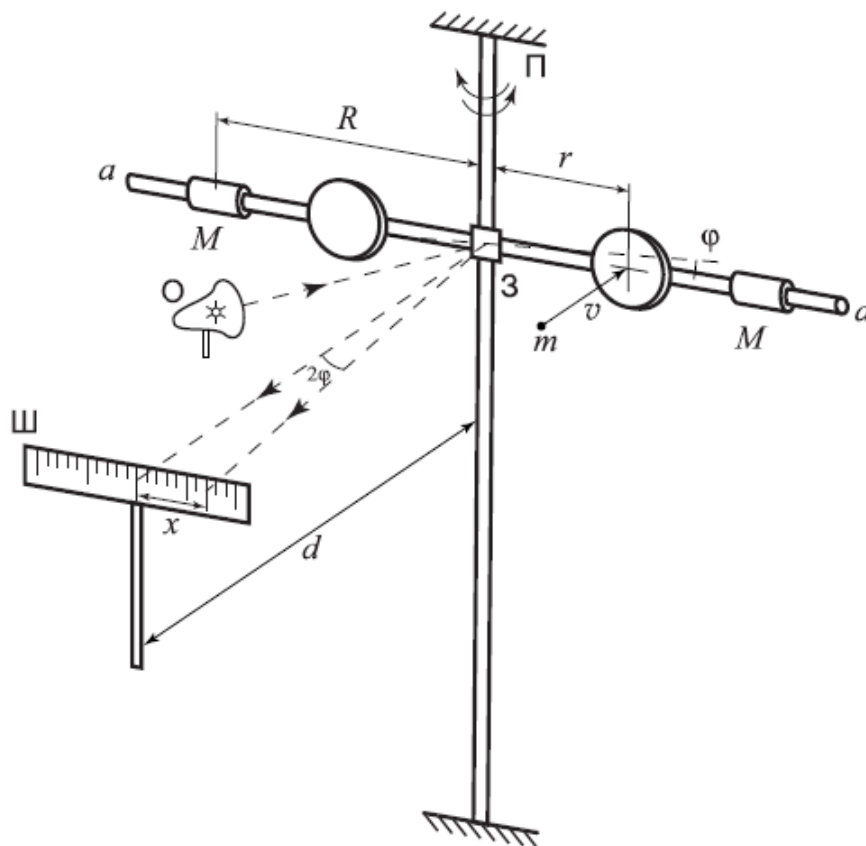


Рис.2 Схема установки для измерения скорости пули с крутильным баллистическим маятником

Ход работы:

Работа с маятником, совершающим поступательное движение.

1. Измеряем массы пулек на весах, результаты занесем в таблицу 1. Погрешность измерения массы: $\sigma_m = \pm 0,001$ г

№	1	2	3	4	5	6	7	8
m, г	0,512	0,509	0,510	0,516	0,502	0,514	0,504	0,515

Таблица 1: Массы 8 пулек.

- Измерим расстояние L. $L=(220,0 \pm 0,1)$ см. Масса маятника $M=2900 \pm 5$ г
- Произведя холостой выстрел, мы убедились, что маятник не реагирует на воздушную струю из ружья.
- Мы убедились, что амплитуда при 10 колебаний маятника не уменьшается более, чем в 2 раза.
- Произведем 4 выстрела и определим скорость пули в каждом случае по формуле $u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x$. Полученные данные (x-смещение маятника, u-скорость пули, σ_u -погрешность измерения скорости) занесем в таблицу 2.

$$\sigma_u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial M} \sigma_M\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial m} \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L} \sigma_L\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x} \sigma_x\right)^2}$$

$$\sigma_x = \pm 0,5 \text{ мм}$$

№	1	2	3	4
x, мм	13,5	13,2	13,2	13,4
u, м/с	161	158	158	158
σ_u , м/с	5	5	5	5

Таблица 2: Значения x, u, σ_u для 4 пулек.

- Посчитаем среднее значение скорости. Таким образом: $\bar{u} = 159 \pm 5$ м/с

Работа с крутильным баллистическим маятником.

- Измерим значения r, R, d. $r=(23,0 \pm 0,1)$ см, $R=(33,5 \pm 0,1)$ см, $d=(45,0 \pm 0,1)$ см. Значения массы пулек указаны в таблице 1. Масса груза $M = 714,1$ г.
- Измерим время 10 колебаний маятника с грузами и без них, и определим периоды T_1 и T_2 . Полученные данные занесем в таблицу 3.

T_1	T_2	σ_{T_1}	σ_{T_2}
17,99 с	13,77 с	0,03 с	0,03 с

Таблица 3: Значения T_1 , T_2 , σ_{T_1} , σ_{T_2}

- Найдем величину \sqrt{kI} по формуле $\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_2}{T_2^2 - T_1^2}$ и оценим погрешность по формуле:

$$\sigma_{\sqrt{kI}} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial R} \sigma_R\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial T_1} \sigma_{T_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial T_2} \sigma_{T_2}\right)^2}. \text{ Тогда получим: } \sqrt{kI} = (0,135 \pm 0,009) \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

- Определим скорость четырех пулек при каждом выстреле по формуле $v = \frac{x}{2d} \frac{\sqrt{kI}}{mr}$.

$$\text{Оценим погрешность по формуле: } \sigma_u = u \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\sqrt{kI}}}{\sqrt{kI}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2}.$$

Данные занесем в таблицу 4.

№	1	2	3	4
х, см	12,5	12,8	12,5	12,4
u, м/с	162	162	161	157
σ_u , м/с	2	2	2	2

Таблица 4: Значения х, u, σ_u для 4 пулек.

5. Таким образом среднее значение скорости равно: $\bar{u} = 161 \pm 2$ м/с
6. **Вывод:** Применив два способа измерения скорости полета пули, мы получили одинаковые значения скоростей в пределах погрешности.