

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа аэрокосмических технологий

# **Отчёт о выполнении лабораторной работы**

## **1.2.1**

Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Автор:

Волков Илья Александрович

Б03-503

Долгопрудный 2025

## 1. Аннотация

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

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

## 2. Теоретические сведения

### 2.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

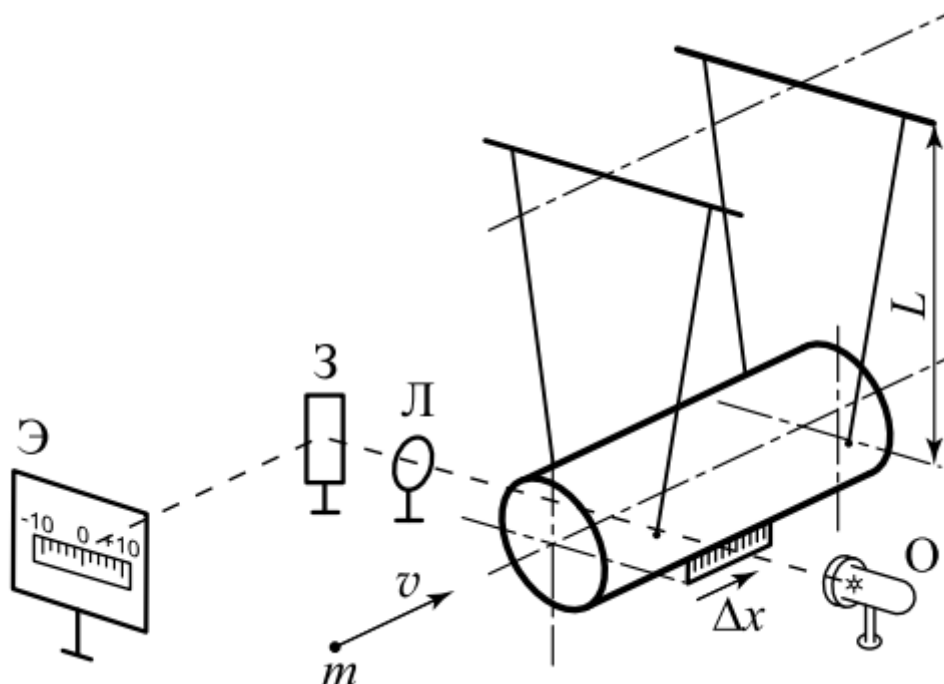


Рисунок 1: схема установки для измерения скорости полета пули

В первом опыте используется установка, изображенная на рисунке 1. Пусть масса маятника равна  $M$ , пули –  $m$ , причем  $m \ll M$ . Тогда из закона сохранения импульса и скорости системы  $V$  сразу после столкновения можно найти скорость пули  $u$

$$\mu = (M + m)V, \quad u = \frac{M + m}{m}V \approx \frac{M}{m}V, \quad (1)$$

При попадании пули маятник приобретает некоторую кинетическую энергию, которая при отклонении переходит в потенциальную. Пренебрегая потерями энергии, запишем закон сохранения механической энергии для маятника, где  $h$  – максимальная высота подъема маятника,  $L$  – длина нитей подвеса:

$$\frac{MV^2}{2} = Mgh, \quad V^2 = 2gh, \quad (2)$$

Высота подъема маятника определяется через угол  $\varphi$  его отклонения от вертикали и величину  $\Delta x$  сдвига по горизонтальной оси как

$$h = L(1 - \cos \varphi) = 2L \sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi^2}{2} L, \quad (3)$$

Из (2) и (1) скорость выражается, как

$$v = \sqrt{\frac{g}{L} \frac{M}{m}} \Delta x, \quad (4)$$

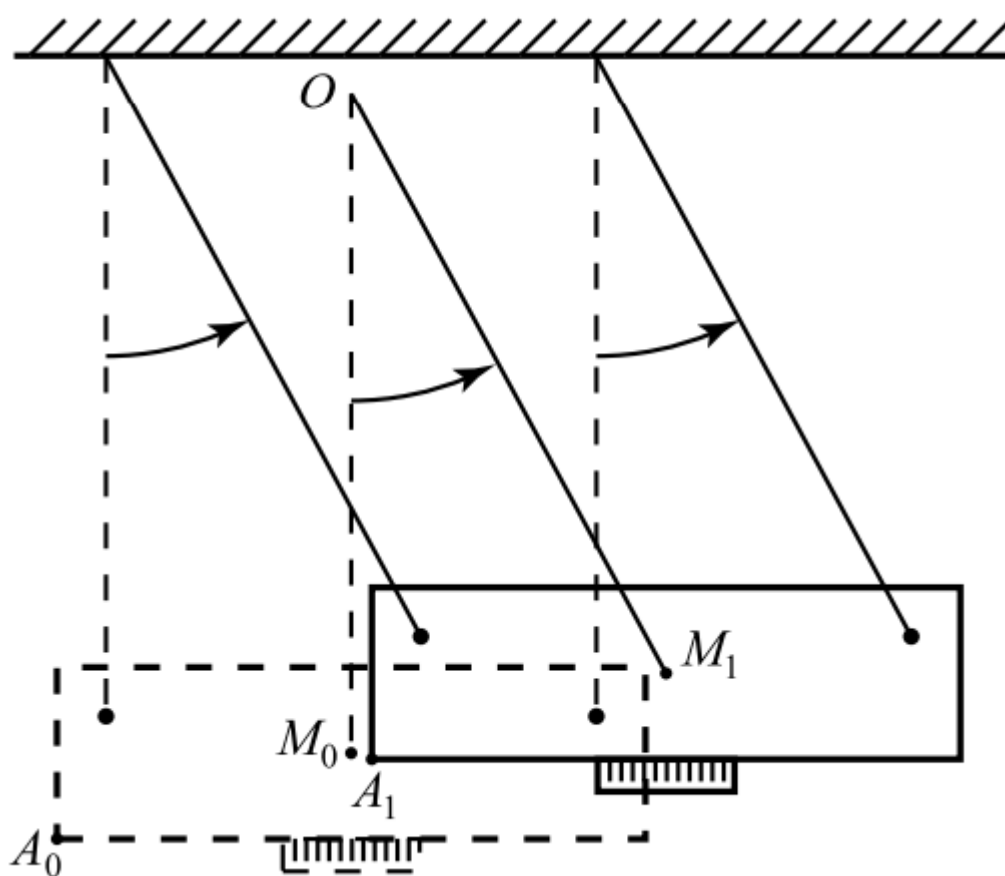


Рисунок 2: поступательное движение баллистического маятника при попадании в него пули

## 2.2 Метод крутильного баллистического маятника

Во втором опыте использовалась установка, изображенная на рисунке 3. Пуля массой  $m$  попадает в мишень, закрепленную на стержне, которая вместе с дополнительным грузом массой  $M$ , и проволокой П образует крутильный маятник. Считая удар пули абсолютно неупругим, для определения скорости  $u$  пули можно воспользоваться законом сохранения момента импульса

$$m\omega r = I\Omega, \quad (5)$$

Где  $I$  – момент инерции системы маятника,  $\Omega$  – его угловая скорость сразу после удара.

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

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}, \quad (6)$$

где  $\varphi$  – максимальный угол поворота маятника.

Из уравнений (5) и (6) можно выразить скорость  $u$

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr}, \quad (7)$$

Угол  $\varphi$  в данном опыте вычислялся из величины  $x$  смещения изображения нити осветителя на измерительной шкале и расстояния  $d$  от шкалы до оси вращения маятника

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

Величину  $\sqrt{kI}$  из формулы (7) можно определить из периодов колебаний маятника с грузами  $M$  и без них. В первом случае период колебаний маятника равен

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}}, \quad (8)$$

во втором случае

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}}, \quad (9)$$

где  $R$  – расстояние от центров масс грузов до проволоки.

Из (8) и (9) следует

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2}, \quad (10)$$

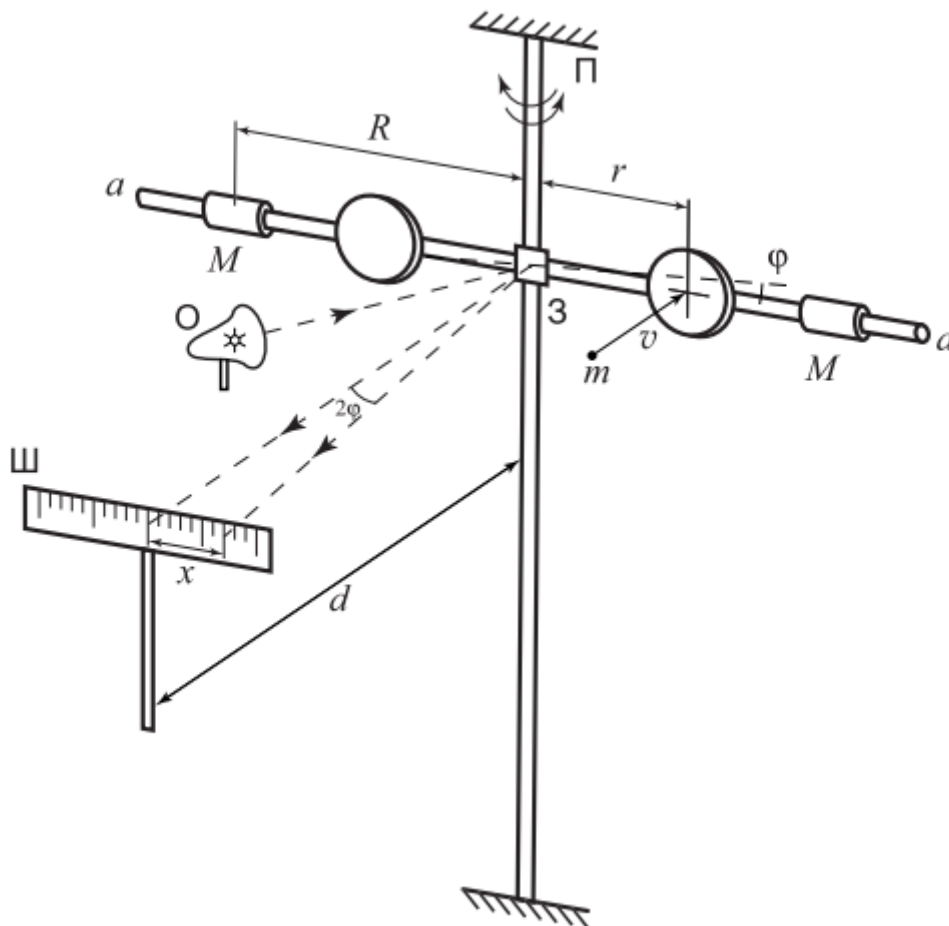


Рисунок 3: схема установки для измерения скорости полёта пули с крутильным баллистическим маятником

### 3. Оборудование

В данной работе использовалось духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули, весы для их взвешивания, баллистические маятники.

#### 3.1 Инструментальные погрешности

- Линейка:  $\Delta_{\text{лин}} = \pm 0.5 \text{ мм}$
- Весы:  $\Delta_{\text{в}} = \pm 5 \text{ мг}$
- Оптическая система:  $\Delta_{\text{о}} = \pm 0.5 \text{ мм}$ .

#### 4. Результаты измерений и обработка данных

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

Масса цилиндра поступательного маятника  $M = 2905 \pm 5$  г. Длина нити подвеса  $= 217 \pm 0.5$  см. Значения масс пуль представлены в таблице:

№ пули	0	1	2	3	4
масса пули, мг	506	512	504	511	513
$\Delta x$ , мм	8.75	8.76	8.73	8.75	8.74
u, м/с	106,75	105,62	106,93	105,71	105,17

Скорость получена по формуле

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

$$\varepsilon_{u \text{ сист}} = \varepsilon_M + \varepsilon_m + \frac{1}{2} \varepsilon_g + \frac{1}{2} \varepsilon_L + \varepsilon_{\Delta x} \approx 7.5\%$$

$$\sigma_{u \text{ сист}} = u \varepsilon_{u \text{ сист}} \approx 7.95 \text{ м/с}$$

$$\sigma_{u \text{ случ}} \approx 0,95 \text{ м/с}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{u \text{ сист}}^2 + \sigma_{u \text{ случ}}^2} \approx 8,00 \text{ м/с}$$

Итоговый результат:

$$u = 106,04 \pm 8,00 \text{ м/с}$$

##### 4.2 Метод крутильного баллистического маятника

Параметры маятника (рисунок 3):

d, мм	R, мм	r, мм	M <sub>1</sub> , г	M <sub>2</sub> , г
1652	335.5	200	730,60	730,10

Измерение периода колебаний маятника (по 10 колебаниям):

без грузов, T <sub>1</sub> , с	5.07
с грузами, T <sub>2</sub> , с	6.90

По формуле (10):

$$\sqrt{kl} = 0,83$$

№ пули	5	6	7	8	9
масса пули, мг	500	510	509	510	500
$\Delta x$ , мм	44	45	43	43	45

u, м/с	110,53	110,83	106,11	105,90	113.04
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Скорость найдем по формуле (7):

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \approx x \frac{\sqrt{kI}}{2dmr}$$

$$\varepsilon_{u \text{ сист}} = \varepsilon_{\sqrt{kI}} + \varepsilon_x + \varepsilon_m + \varepsilon_r \approx 5.8\%$$

$$\sigma_{u \text{ сист}} = u \varepsilon_{u \text{ сист}} \approx 6.34 \text{ м/с}$$

$$\sigma_{u \text{ случ}} \approx 3,91 \text{ м/с}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{u \text{ сист}}^2 + \sigma_{u \text{ случ}}^2} \approx 7.44 \text{ м/с}$$

Среднее значение и погрешность:

- Для поступательного маятника средняя скорость пули  
 $v_{avg} = 106,04 \pm 8,00 \text{ м/с}$
- Для вращательного маятника средняя скорость пули  
 $v_{avg} = 109.28 \pm 7,44 \text{ м/с}$

## 5. Выводы

В ходе работы получены значения скорости пули с точностью X. Бла бла. Полученная точность позволяет убедиться в применимости методов измерения скоростей. Полученная скорость вылета пули с хорошей точностью совпадает с заявленными производителем ружья характеристиками.