

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

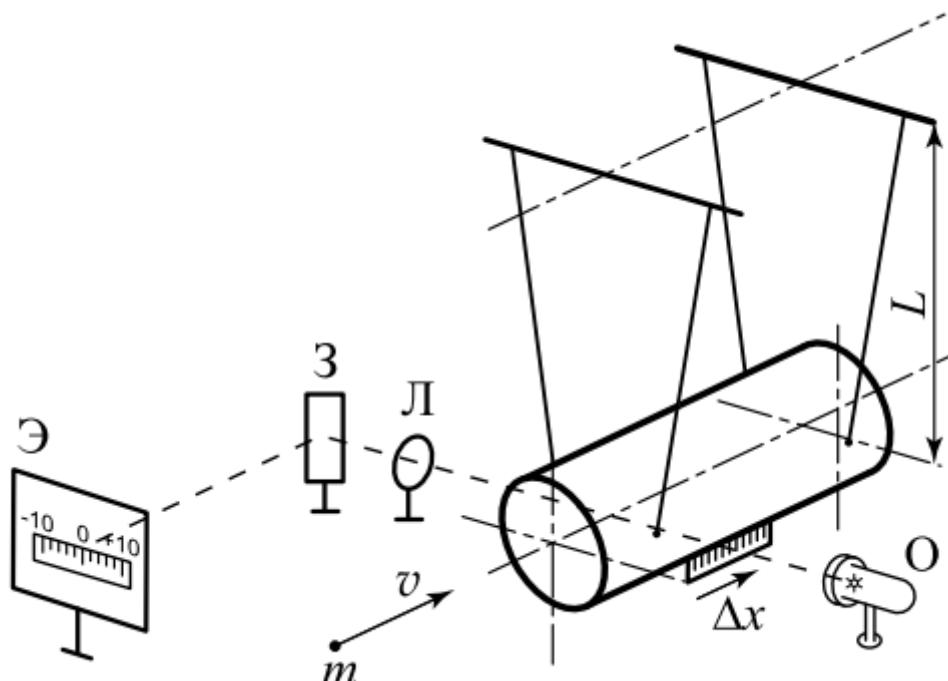


Рисунок 1: схема установки для измерения скорости полета пули

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 φ его отклонения от вертикали и величину Δx 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

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

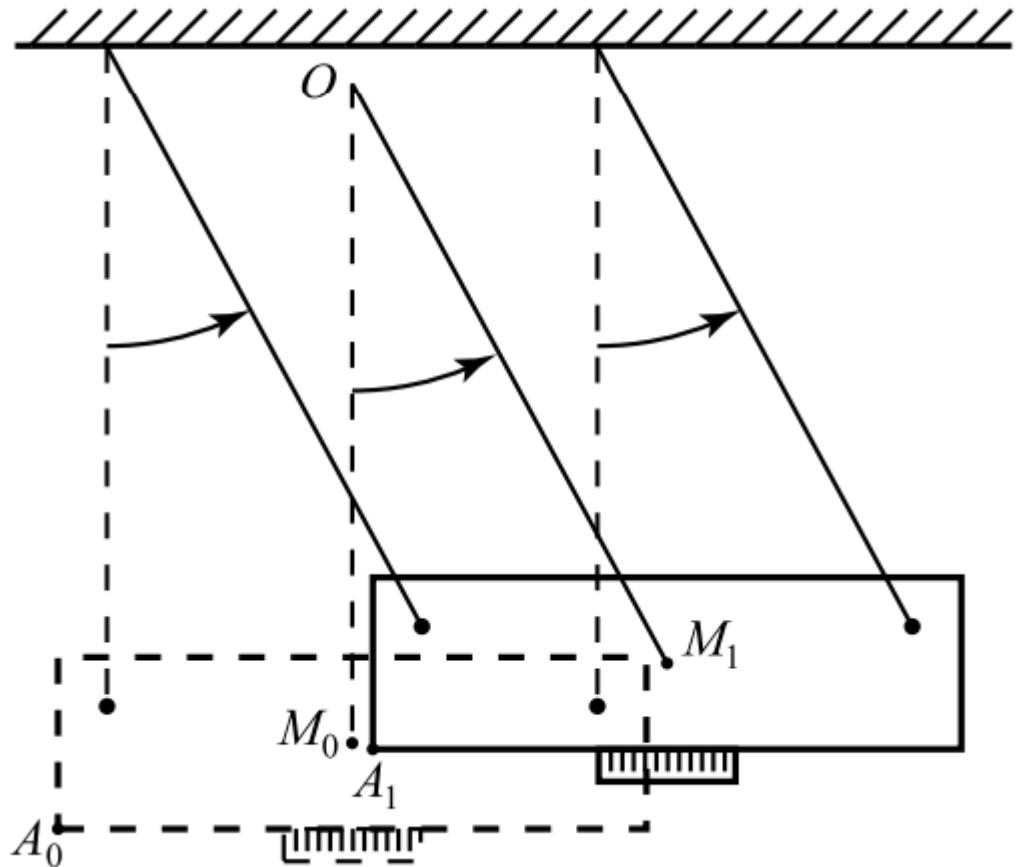


Рисунок 2: поступательное движение баллистического маятника при попадании в него пули

2.2 Метод крутильного баллистического маятника

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

$$mur = I\Omega, \quad (5)$$

Где I – момент инерции системы маятника, Ω – 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 φ – максимальный угол поворота маятника.

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

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

Угол φ 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

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

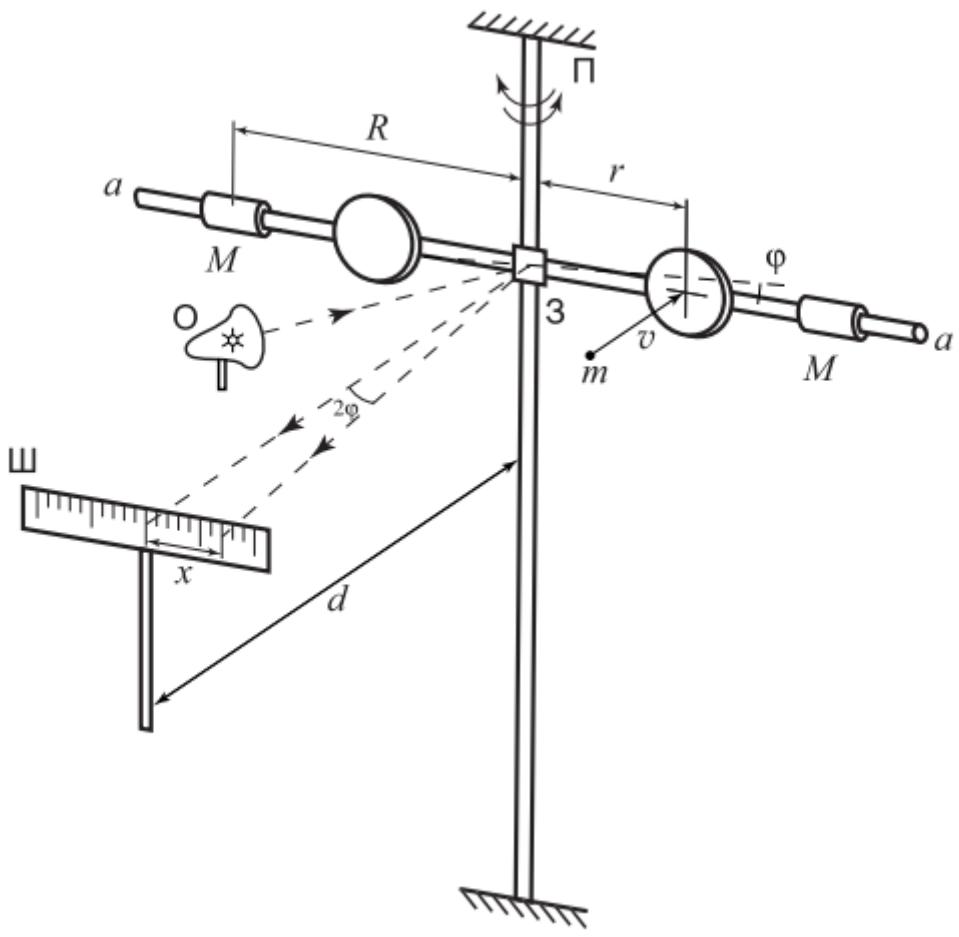


Рисунок 3: схема установки для измерения скорости полёта пули с крутильным баллистическим маятником

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: $\Delta_{\text{o}} = \pm 0.5 \text{ мм.}$

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 |
| Δx , 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 ₁ , г | M ₂ , г |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| 1652 | 335.5 | 200 | 730,60 | 730,10 |

Измерение периода колебаний маятника (по 10 колебаниям):

| | |
|--------------------------------|------|
| без грузов, T ₁ , с | 5.07 |
| с грузами, T ₂ , с | 6.90 |

По формуле (10):

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

| № пули | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| масса пули, мг | 500 | 510 | 509 | 510 | 500 |
| Δx , 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 пуль 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.