

Отчет о выполненной лабораторной работе 1.2.1

Антон Хмельницкий, Б01-306

December 5, 2023

Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

1 Аннотация

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

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

2 Метод баллистического маятника

2.1 Теоретические сведения

При контакте пули с цилиндром можно записать ЗСИ:

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

где m – масса пули, u – скорость пули перед ударом, V – скорость цилиндра вместе с пулей после удара.

$$u = \frac{M + m}{m}V \approx \frac{M}{m}V \quad V^2 = 2gh \quad h = L(1 - \cos\varphi) = 2L^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad \varphi \approx \frac{\Delta x}{L} \quad (2)$$

где φ – угол отклонения маятника от вертикали, Δx – отклонение маятника

Тогда скорость пули можно выразить как

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x \quad (3)$$

2.2 Экспериментальная установка

При попадании пули в цилиндр любая его точка движется по окружности известного радиуса, поэтому его смещение с помощью собирающей линзы можно перевести в линейное отклонение на линейке.

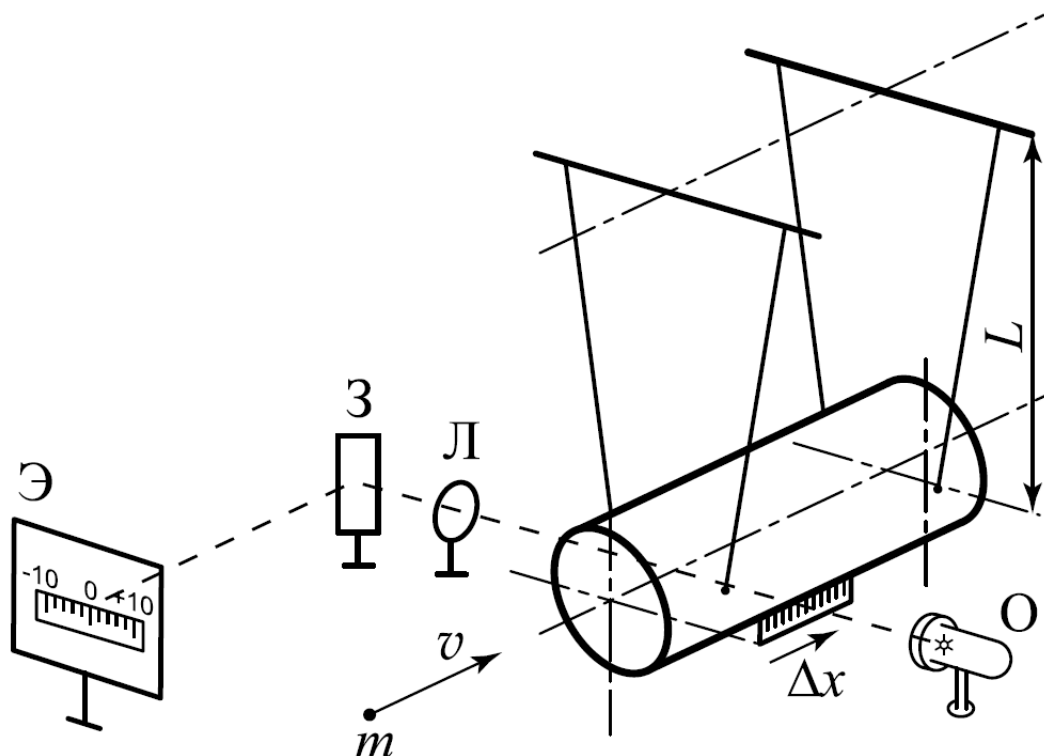


Рисунок 1: схема установки для измерения скорости полета пули

2.3 Расчет всех данных

Номер пули	Масса, гр
1	0,5086
2	0,4955
3	0,5031
4	0,4998
5	0,515
6	0,5089
7	0,5113
8	0,5103
9	0,5142
10	0,5072

Таблица 1: Измерения масс пуль

Расстояние от точки подвеса, L	222 см	$\pm 0,5$
Масса цилиндра, M	2925 гр	± 5

Таблица 2: Измерения параметров установки

Номер пули	x_1 , мм	x_2 , мм
1	10	10
2	9	8,5
3	9	9,5
4	9,4	9,4
5	9,5	9,8

Таблица 3: Измерения отклонений при стрельбе

2.4 Обработка результатов

Используя формулу:

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

, где $\Delta x = \frac{x_1 + x_2}{2}$, получаем такие данные

Номер пули	Скорость пули, м/с
1	120,8948
2	108,5796
3	113,0502
4	115,642
5	115,2137

Таблица 4: Расчетные скорости полета пули

Средняя скорость получилась $\bar{u} = 114,7$ / Погрешность:

$$\varepsilon_u = \sqrt{(\varepsilon_M)^2 + (\varepsilon_m)^2 + \left(\frac{1}{2}\varepsilon_L\right)^2 + (\varepsilon_x)^2}$$

Получаем $\varepsilon_u = 1\%$.

σ_M	0,5 гр	M	2925 гр	ε_M	0,01%
σ_m	0,0001 гр	m	0,5 гр	ε_m	0,02%
σ_L	0,5 см	L	222 см	ε_L	0,22%
σ_x	0,05 мм	x	5 мм	ε_x	1%

Таблица 5: Погрешности

3 Выводы

В данной работе мы экспериментально определили скорость полета пули, как видно с высокой точностью. Отличия скоростей у разных пуль возникает из-за во-первых их отличия по массе, а во вторых из-за параметров выстрела (аэродинамика и начальное положение в винтовке)

4 Метод баллистического маятника

4.1 Теоретические сведения

Считая удар неупругим, можно записать уравнение

$$mur = I\Omega$$

r – расстояние от линии полёта пули до оси вращения, I – момент инерции относительно этой оси, Ω – угловая скорость маятника сразу после удара.

Можно пренебречь затуханием колебаний и потерями энергии и записать ЗСЭ:

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}$$

где k – модуль кручения проволоки, φ – максимальный угол поворота маятника, тогда:

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \quad (5)$$

$$\varphi \approx \frac{x}{d} \quad (6)$$

где x – смещение изображения нити осветителя на шкале, которое легко можно измерить.

Периоды колебаний маятника с грузами и без можно выразить как

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

Тогда \sqrt{kI} можно найти как:

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (7)$$

R – расстояние от оси вращения до центров грузиков, M – масса грузиков.

4.2 Экспериментальная установка

Крутильный баллистический маятник.

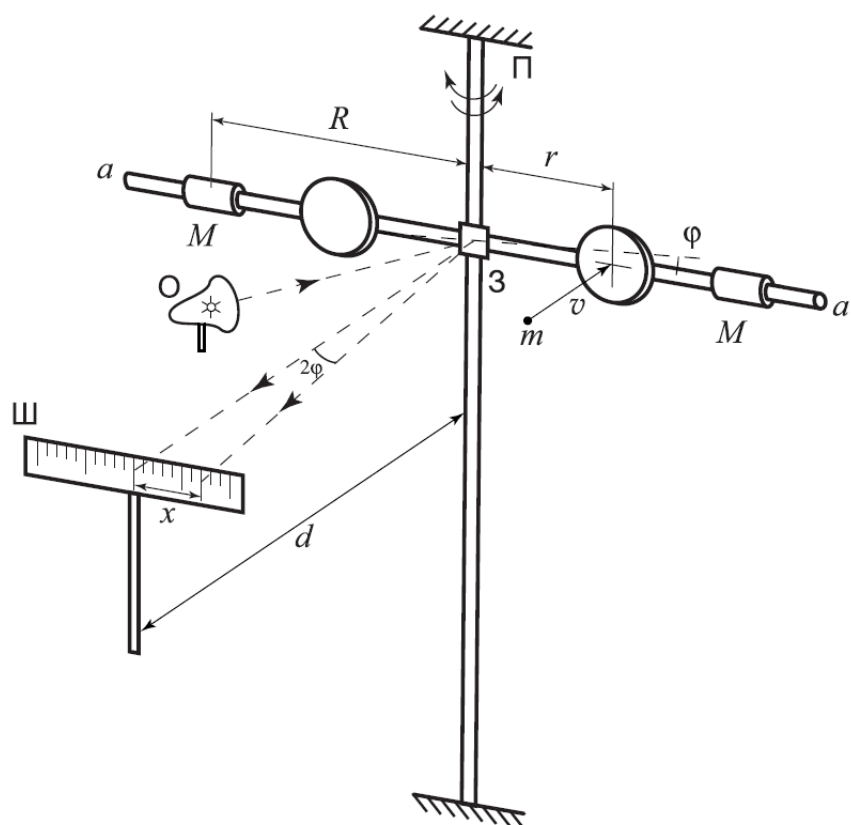


Рисунок 2: схема установки для измерения скорости полета пули

4.3 Расчет всех данных

Номер пули	x_1 , см	x_2 , см	Период, T , с
6	4,7	4,7	7,1
7	4,5	4	6,94
8	4,8	4,8	7
9	4,1	4,1	6,97
0	4,4	4,2	6,72

Таблица 6: Измерения отклонений и периода колебаний при стрельбе с грузами

Расстояние до шкалы, d	125	см
Расстояние от груза до оси, R	34	см
Расстояние от пули до оси, r	22	см
Масса груза 1, M_1	724,5	гр
Масса груза 2, M_2	725,6	гр

Таблица 7: Параметры установки

Номер измерения	Период колебаний, T , с
1	5,22
2	5,25
3	5,22
4	5,19
5	5,19
6	5,22
7	5,22

Таблица 8: Период колебаний без грузов

4.4 Обработка результатов

Для измеренных значений среднее будет $\overline{T_1} = 6,946$ с и $\overline{T_2} = 5,22$ с.
Для T_1 :

- Среднее значение: $\langle T_1 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{1_i} = 6,946$ с.
- Стандартное отклонение: $\sigma_{T_1} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{1_i} - \langle T_1 \rangle)^2} = 0.125$ с.
- Стандартная погрешность опыта: $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{T_1}}{\sqrt{n}} = 0.05597$ с.
- Полная погрешность: $\sigma_{полн} = \sqrt{\sigma_{случ}^2 + \sigma_{T_1}^2} = 0.0569$ с.

Для T_2 :

- Среднее значение: $\langle T_2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{2_i} = 5.2157$ с.
- Стандартное отклонение: $\sigma_{T_2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{2_i} - \langle T_2 \rangle)^2} = 0.0192$ с.
- Стандартная погрешность опыта: $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{T_2}}{\sqrt{n}} = 0.0072$ с.
- Полная погрешность: $\sigma_{полн} = \sqrt{\sigma_{случ}^2 + \sigma_{T_2}^2} = 0.0123$ с.

Итоговые результаты:

$$T_1 = 6,946 \pm 0,0569 (\varepsilon_{T_1} = 0,7\%) \text{ с}$$

$$T_2 = 5,22 \pm 0,0123 (\varepsilon_{T_2} = 0,23\%) \text{ с}$$

Тогда коэффициент $\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_2}{T_2^2 - T_1^2} = 0,348$.

Погрешность:

$$\varepsilon_{\sqrt{kI}} = \sqrt{(\varepsilon_M)^2 + (2\varepsilon_R)^2 + \left(\frac{1}{2}\varepsilon_{T_2}\right)^2 + (\varepsilon_{T_1})^2}$$

Получаем $\varepsilon_{\sqrt{kI}} = 0,76\%$.

σ_M	0,1 гр	M	725 гр	ε_M	0,01%
σ_R	0,5 мм	R	34 см	ε_R	0,14%
σ_{T_1}	0,0569 с	T_1	6,946 с	ε_{T_1}	0,7%
σ_{T_2}	0,0123 с	T_2	5,22 с	ε_{T_2}	0,23%
σ_m	0,0001 гр	m	0,5 гр	ε_m	0,02%
σ_x	0,5 мм	x	5 см	ε_x	1%
σ_d	0,5 мм	d	125 см	ε_d	0,04%
σ_r	0,05 мм	r	22 см	ε_r	0,23%

Таблица 9: Погрешности

Далее используя формулу $u = \frac{x}{d} \frac{\sqrt{kI}}{mr}$ получаем:

Номер пули	Скорость полета пули, u
6	116,872
7	105,186
8	119,032
9	100,902
0	107,284

Таблица 10: Скорости полета пули

Средняя $\bar{u} = 109,86 \text{ м/с}$ Погрешность:

$$\varepsilon_u = \sqrt{(\varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_d)^2 + (\varepsilon_{\sqrt{kI}})^2 + (\varepsilon_m)^2 + (\varepsilon_r)^2}$$

Получаем $\varepsilon_u = 1,28\%$.

5 Выводы

В данной работе мы экспериментально посчитали скорость полета пули. Отличия скоростей возникают из-за разных начальных параметров и аэродинамики.