

# Лабораторная работа 1.2.1

## Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Калинин Даниил, Б01-110

12 декабря 2021 г.

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

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

### Теоритическая справка:

В первой части работы используется баллистический маятник, совершающий поступательное движение. Чертеж установки изображен на рисунке 1.

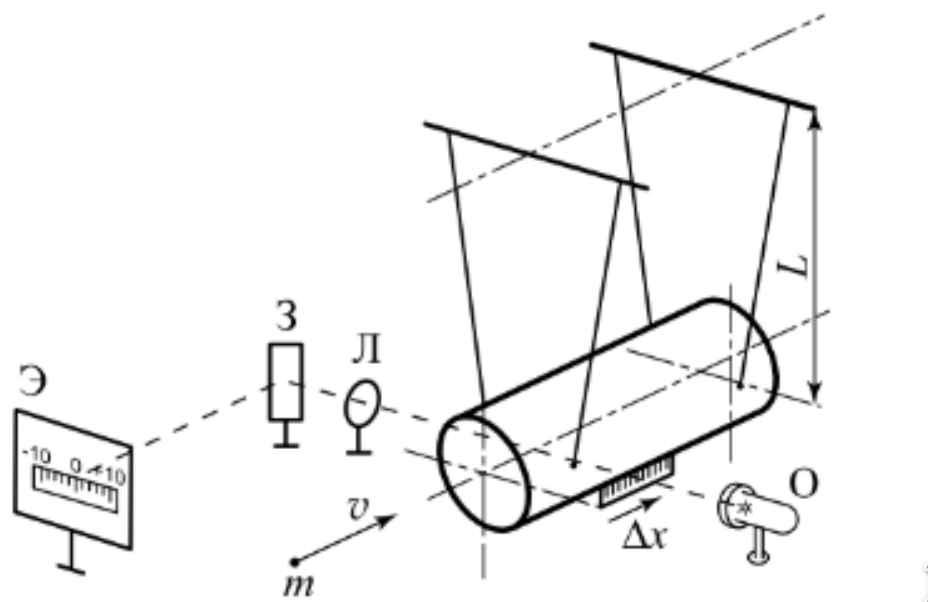


Рис. 1. Схема установки первой части работы.

Пусть масса маятника равна  $M$ , масса пули –  $m$ , скорость пули перед ударом –  $u$ , а скорость цилиндра установки после неупругого соударения:  $V$ . тогда по закону сохранения импульса имеем:

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

Учитывая, что масса маятника много больше массы пули, получаем:

$$u = \frac{M}{m}V \quad (2)$$

По закону сохранения энергии, после попадания в него пули, маятник поднимется на высоту  $h$ , которая связана со скоростью цилиндра следующим образом:

$$V^2 = 2gh \quad (3)$$

Обозначим угол отклонения маятника за  $\varphi$ , длину нитей маятника за  $L$ , тогда:

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

Используя вышеперечисленные формулы, получаем

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

Во второй части лабораторной работы используется крутильный баллистический маятник. Чертеж установки второй части работы приведен на рисунке 2

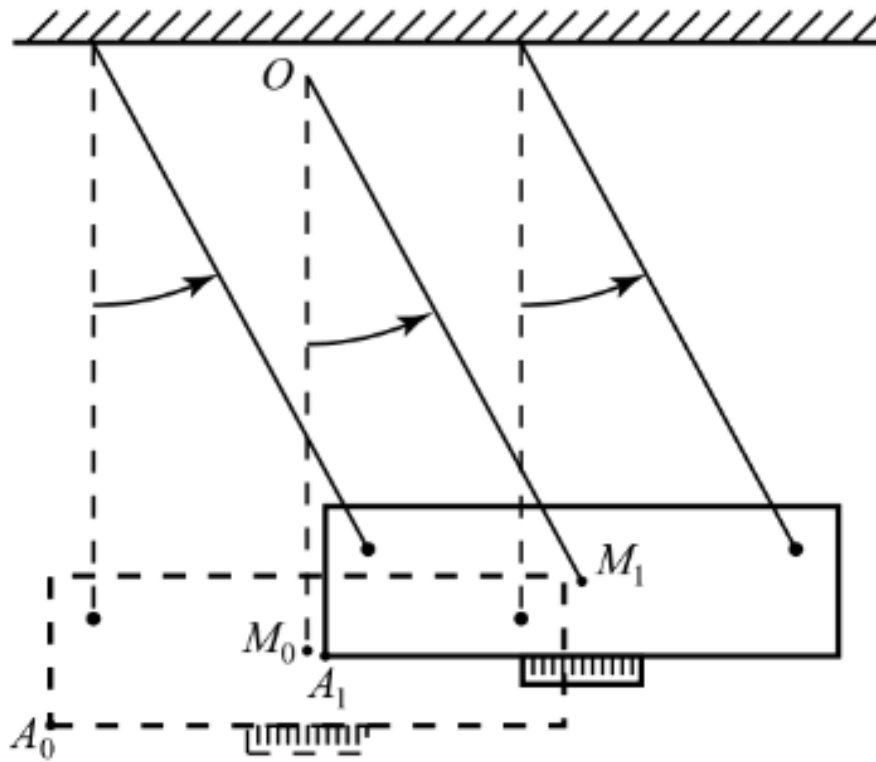


Рис. 2. Схема установки первой части работы.

Для определения скорости пули в этом случае, воспользуемся законом сохранения момента импульса в виде

$$mur = I\Omega \quad (6)$$

Здесь  $r$  – расстояние от линии пролета до оси вращения маятника,  $I$  – момент инерции маятника,  $\Omega$  – угловая скорость вращения маятника.

Запишем закон сохранения энергии:

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2} \quad (7)$$

Где  $k$  – модуль кручения проволоки, а  $\varphi$  – максимальный угол поворота маятника. Из вышеперечисленных формул получаем

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \quad (8)$$

Из рисунка 2 следует, что

$$\varphi \approx \frac{x}{2d} \quad (9)$$

Где  $d$  – расстояние от шкалы, до оси вращения маятника.

Произведение  $kI$  можно определить, измерив периоды колебаний маятника с грузами  $M$  и без них. Тогда периоды таких колебаний равны, соответственно:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}} \quad (10)$$

Из этого получаем:

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2} \quad (11)$$

Где  $R$  – расстояние от центров масс грузов  $M$  до проволоки.

### Ход работы:

1. Запишем погрешности измерительных приборов в таблицу 1.

Прибор	Погрешность
Линейка	$\sigma = 0.5$ мм.
Весы	$\sigma = 5 \cdot 10^{-4}$ гр.
Шкала на первой установке	$\sigma = 0.125$ мм.
Шкала на второй установке	$\sigma = 0.5$ мм.

Таблица 1. Погрешности

2. Измерим массы пулек, результаты занесем в таблицу 2

Номер пули	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса пули, гр.	0.509	0.512	0.511	0.5	0.51	0.5	0.5	0.501

Таблица 2. Результаты измерения масс пулек

3. Измерим длину нитей, на которых подвешен маятник. Получим  $L = 220 \pm 0.05$  см.
4. Измерим массу маятника. Получим  $M = 2925 \pm 5$  гр.
5. Произведем серию экспериментов по выстрелу из духового ружья. Запишем отклонение маятника, а также рассчитанную по формуле 5 скорость для каждой пули в таблицу 3
6. Усредняя полученные значения скорости:  $\bar{u} = 138.3 \pm 4$  м/с.

Номер пули	Отклонение маятника, мм.	Расчитанная скорость пули, м/с.
1	11.25	$136.5 \pm 4$
2	11.5	$138.7 \pm 4$
3	11.5	$139.0 \pm 4$
4	11.0	$135.9 \pm 4$
5	11.25	$136.2 \pm 4$
6	11.0	$135.8 \pm 4$
7	11.0	$135.8 \pm 4$
8	11.0	$135.6 \pm 4$

Таблица 3. Результаты измерения отклонений маятника и значения скоростей пуль

С грузами, $10 \cdot T_1$ , с	240	240	238	239	239
Без грузов, $10 \cdot T_2$ , с	180	179	178	180	182

Таблица 4. Результаты измерения периода колебаний маятника

7. Перейдем ко второй установке. Измерим ее параметры, пользуясь обозначениями из теоретической части работы. Получим  $r = 21$  см.,  $d = 57$  см.,  $R = 33$  см.

8. Теперь измерим периоды колебаний маятника без грузов и с ними. Результаты занесем в таблицу 4.

9. Пользуясь формулой 11, расчитаем величину  $\sqrt{kI}$

$$\sqrt{kI} = (97 \pm 2) \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

10. Измерим и запишем в таблицу 5 массы второго набора пуль.

Номер пули	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса пули, гр.	0.502	0.51	0.51	0.511	0.504	0.513	0.503	0.508

Таблица 5. Результаты измерения масс пулек

11. Проведем серию экспериментов со второй установкой. Измерим отклонения маятника, а также по формулам 9 и 8 расчитаем величины  $\varphi$  и  $u$ . Результаты занесем в таблицу 6

Номер пули	Отклонение маятника, см.	Угол поворота маятника, рад.	Расчитанная скорость п
1	17.5	0.15	$141.25 \pm 2$
2	18.0	0.16	$143.00 \pm 2$
3	18.0	0.16	$143.00 \pm 2$
4	18.0	0.16	$142.72 \pm 2$
5	17.5	0.15	$140.69 \pm 2$
6	18.0	0.16	$142.17 \pm 2$
7	17.4	0.15	$140.16 \pm 2$
8	17.5	0.15	$139.58 \pm 2$

Таблица 6. Результаты измерения отклонений маятника и значения скоростей пуль

12. Усредняя значения скоростей, получим:  $\bar{u} = 141.5 \pm 2$  м/с.

**Заключение:**

В работе были получены значения скорости пуль, выпущенных из духового ружья двумя способами: при помощи поступательного и крутильного баллистических маятников. Результаты:  $\bar{u} = 138.3 \pm 4$  м/с. и  $\bar{u}_2 = 141.5 \pm 2$  м/с. совпали с точностью до погрешности.