

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа аэрокосмических технологий

Отчёт о выполнении лабораторной работы

1.2.1

Определение скорости полёта пули при помощи
баллистического маятника

Соболевский Фёдор Александрович
Б03-109

Октябрь 2021

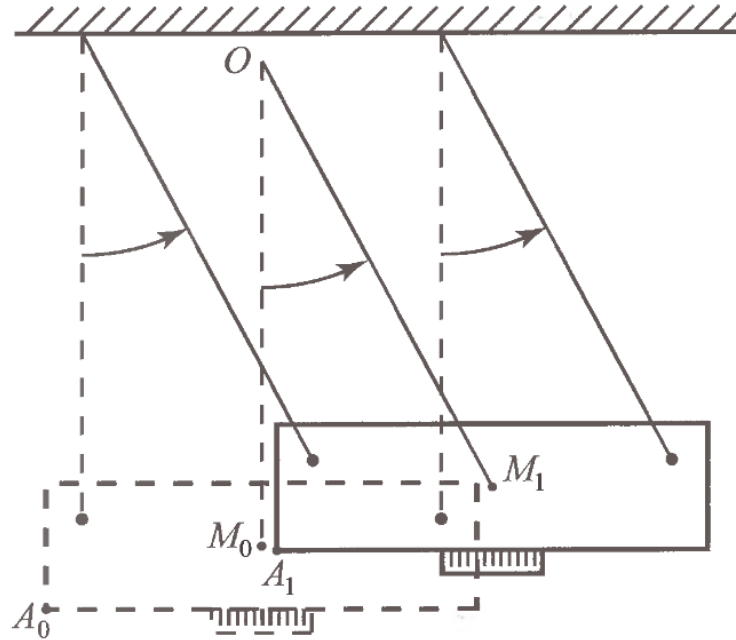


Рис. 2: Поступательное движение баллистического маятника при попадании в него пули

2.2 Метод крутильного баллистического маятника

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

$$mur = I\Omega \quad (3)$$

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

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}, \quad (4)$$

где φ – максимальный угол поворота маятника.

Из уравнений (3) и (4) можно выразить скорость u

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

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 (5) можно определить из периодов колебаний маятника с грузами M и без них. В первом случае период колебаний маятника равен

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}}, \quad (6)$$

во втором случае

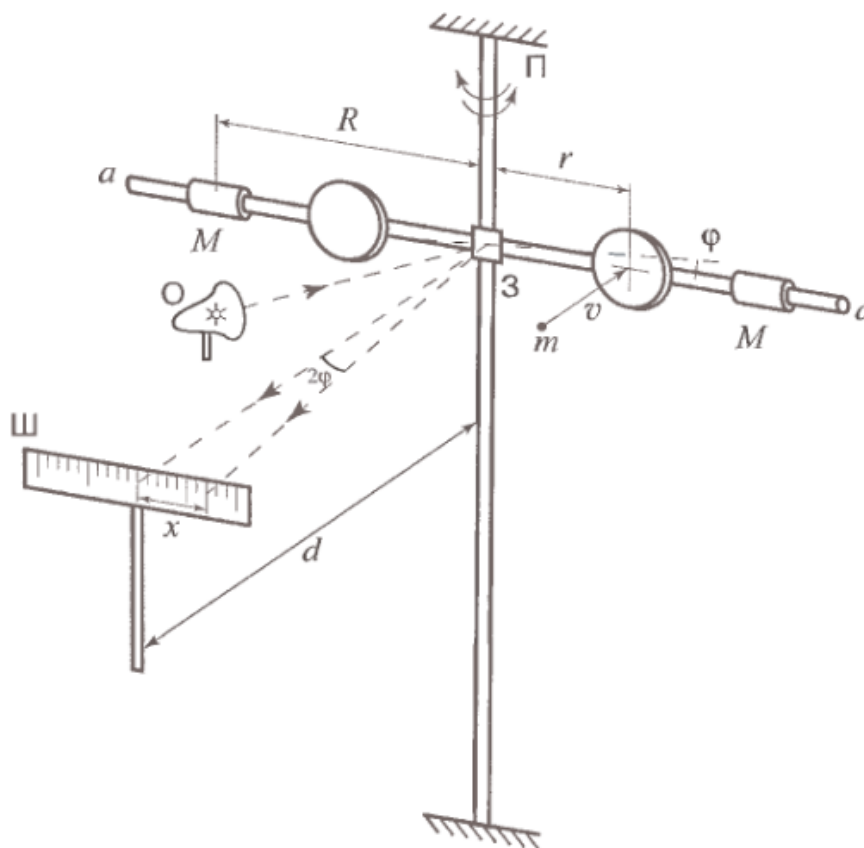


Рис. 3: Схема установки для измерения скорости полёта пули с крутильным баллистическим маятником

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}} \quad (7)$$

где R - расстояние от центров масс грузов до проволоки.

Из (6) и (7) следует

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

3 Оборудование и инструментальные погрешности

Оборудование: духовое ружьё на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, баллистические маятники, пули.

Измерительные приборы:

- **Весы:** $\Delta_{\text{вес}} = 0,005$ г;
- **Линейка:** $\Delta_{\text{лин}} = 1$ мм;
- **Измерительная шкала установки 1:** $\Delta_{\text{шк1}} = 0,5$ мм;
- **Измерительная шкала установки 2:** $\Delta_{\text{шк2}} = 1$ мм;
- **Секундомер:** $\Delta_{\text{сек}} = 0.1$ с.

4 Результаты измерений и обработка экспериментальных данных

4.1 Измерение масс и длин

Массы пуль представлены в таблице 4.1:

№ пули	1	2	3	4	5	6	7	8
m , г	0.500	0.514	0.500	0.518	0.500	0.505	0.503	0.499

Таблица 1: Массы пуль

Измерены величины $L = (2200 \pm 1)$ мм, $M = (2925 \pm 5)$ г для первого опыта и величины $R = 335 \pm 1$ мм, $r = 220 \pm 1$ мм, $d = 500 \pm 1$ мм, $M = 729,5 \pm 5$ г.

Предварительное изучение установок показало, что затухание колебаний

4.2 Результаты опыта с установкой 1

Величины смещения Δx , соответствующие скорости пуль и их отклонения от среднего значения представлены в таблице 4.2:

Δx , мм	u , м/с	$u - \bar{u}$, м/с
9,0	112,25	1,37
9,5	115,26	1,67
9,5	118,49	4,90
9,0	108,35	5,24

Таблица 2: Результаты измерения скорости пуль в первом опыте

Среднее значение $\bar{u} = 113,6$ м/с. Систематическая погрешность определения скорости

$$\sigma_{u1} = u \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{вес}}}{M}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{вес}}}{m}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta_{\text{лин}}}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{шк1}}}{\Delta x}\right)^2} \approx 6,4 \text{ м/с}$$

Итоговый результат:

- $\bar{u}_1 = 113,6 \pm 6,4$ м/с

4.3 Результаты опыта с установкой 2

Периоды колебаний без грузов и с грузами составили $T_1 = 15,3$ с и $T_2 = 17,4$ с. Отсюда найдено значение

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2} = 64,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$$

Отсюда найдены значения скоростей, представленные в таблице 4.3, по формуле

$$v = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} = \frac{x}{2d} \frac{\sqrt{kI}}{mr}$$

Систематическая погрешность вычисления скорости найдена по формуле

x , мм	u , м/с	$u - \bar{u}$, м/с
18,5	108,97	2,53
20,5	119,56	8,05
19,0	111,25	0,25
18,0	106,24	5,27

Таблица 3: Результаты измерения скорости пуль во втором опыте

$$\sigma_{u1} = u \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{вес}}}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{лин}}}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{лин}}}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\sqrt{kI}}}{\sqrt{kl}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{шк2}}}{x}\right)^2} \approx 8,9 \text{ м/с}$$

Итоговый результат:

- $\bar{u}_2 = 111,5 \pm 8,9 \text{ м/с}$

5 Обсуждение результатов и вывод

В ходе данной работы получены значения скорости пуль с точностью до 5-8 %, причём погрешность измерений при использовании второй установки оказалась заметно больше из-за большего объёма вычислений. Полученной точности достаточно, чтобы убедиться в применимости использованных методов измерения скоростей. Однако наблюдается существенный разброс скоростей (около 10 м/с), причём между скоростями пуль и их массами невозможно установить однозначное соответствие. Это говорит о том, что на скорость пуль влияют внешние факторы, как то: сопротивление воздуха, начальное положение в духовом ружье и т.п.