

Андрей Чумаков

Работа 1.2.1: Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

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.

1 Методология проведения эксперимента

1.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

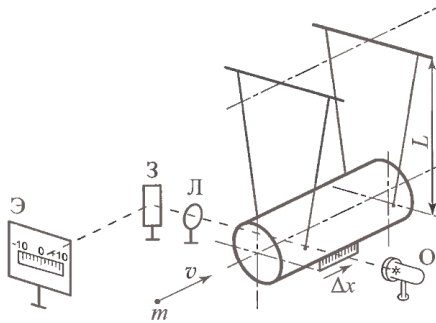


рис. 1, схема установки

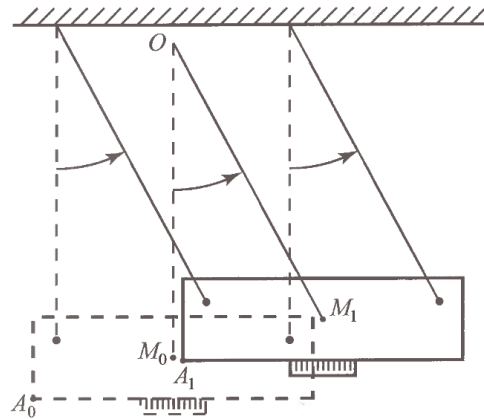


рис. 2, поведение баллистического маятника при попадании в него пули.

В этой части используется установка, изображенная на рис. 1. Если масса маятника равна M , то скорость системы маятник-пуля сразу после попадания маятника равна

$$v_0 = \frac{m}{M + m} v. \quad (1)$$

У маятника угловая скорость $\omega = \sqrt{g/L}$. Если у него амплитуда $A = x_1 - x_2$, то верно, что

$$A\omega = v_0. \quad (2)$$

Из этого скорость выражается, как

$$v = \sqrt{\frac{g}{L}} \frac{M + m}{m} A. \quad (3)$$

1.2 Метод крутильного баллистического маятника

В этом методе используется установка, изображенная на рис. 3.

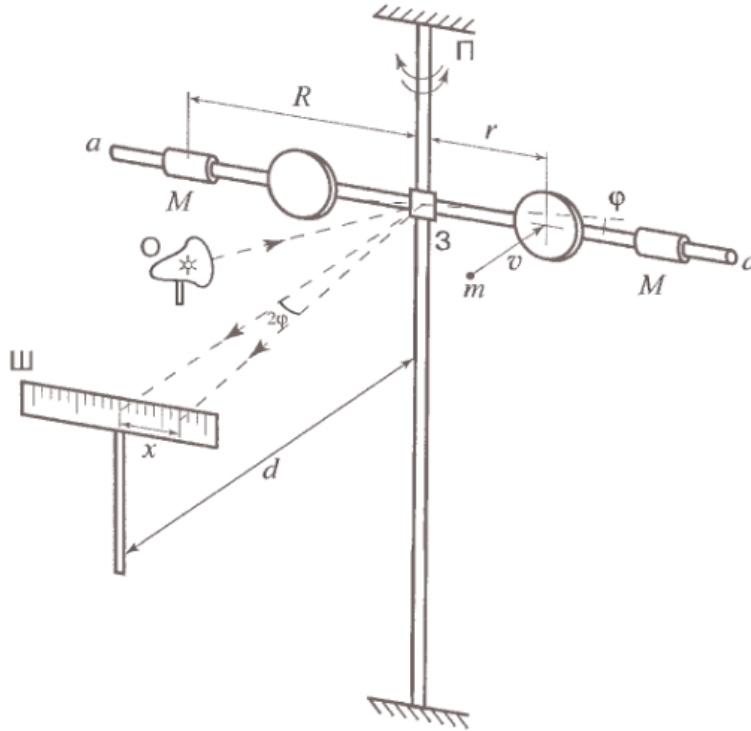


рис. 3, крутильный баллистический маятник.

Сразу после попадания пули в мишень, система пуля-мишень будет двигаться с угловой скоростью Ω такой, что

$$mvr = I\Omega, \quad (4)$$

где I – момент инерции систему пуля-мишень.

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

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}, \quad (5)$$

где φ – амплитуда колебаний маятника после выстрела. Из уравнений (4) и (5) можно найти скорость v по амплитуде φ .

$$v = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr}. \quad (6)$$

$$\varphi_s = \frac{x_3 + x_4}{2d}. \quad (7)$$

Если система колебается с периодом T_1 , с грузиками и с периодом T_2 без дополнительных грузиков, то верно, что:

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

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

Тогда мы можем найти \sqrt{kI} и соответственно найти итоговую скорость:

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

2 Результаты и обработка

2.1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

Полученные данные по результатам экспериментов: $\Delta m = 0.005$ g, $\Delta x_1/x_2 = 0.25$ mm

N	1	2	3	4	5
m , g	0.509	0.511	0.505	0.507	0.511
x_1 , mm	-2.25	-2.5	-3.0	-3.25	-4.0
x_2 , mm	10.0	9.75	10.0	9.5	9.0
A , mm	12.25	12.25	13.00	12.75	13

$L = (220 \pm 1)$ cm, $M = (2925 \pm 5)$ g.

Соответствующие скорости:

N	1	2	3	4	5
v , m/s	149	148	159	155	157

Усредняя данные, получаем $\langle v \rangle = 153$ m/s. $\delta_{\text{случ}} = 4.5$ m/s

Посчитаем относительную систематическую погрешность нашего результата:

	L	m	M	A
ε	0.004	0.01	0.0017	0.04

$$\varepsilon_{\text{сист}} = \sqrt{(0.5\varepsilon_L)^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_M^2 + \varepsilon_A^2}$$

$$\varepsilon_{\text{сист}} = 0.04; \delta_{\text{сист}} = 6 \text{ m/s}$$

$$\delta_{\text{полн}} = \sqrt{\delta_{\text{сист}}^2 + \delta_{\text{случ}}^2} = 7 \text{ m/s}$$

Итого $v = 153 \pm 7$ m/s

2.2 Метод крутильного баллистического маятника

Найдем \sqrt{kI} :

$$R = 33.6 \pm 0.1 \text{ cm}, r = 22.1 \pm 0.1 \text{ cm}, d = 115.7 \pm 0.1 \text{ cm}, T_1 = 5.2 \pm 0.1 \text{ s}, T_2 = 6.9 \pm 0.1 \text{ s}, M = 727 \pm 0.5 \text{ g}$$

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2} = 0.346$$

Запишем полученные экспериментальные данные:

N	1	2	3	4	5
m , g	0.506	0.511	0.500	0.508	0.509
x_3 , cm	3.8	3.9	3.9	3.7	3.8
x_4 , cm	3.9	4.0	3.9	3.8	3.9

Рис. 1: $\Delta_m = 0.005 \text{ g}$; $\Delta_{x_3/x_4} = 0.1 \text{ cm}$

Подставив все данные в формулу (6) найдем значение скорости пули

N	1	2	3	4	5
v , m/s	103	105	106	100	102

Усредняя данные, получаем $\langle v \rangle = 103 \text{ m/s}$. $\delta_{\text{случ}} = 2 \text{ m/s}$

Посчитаем относительную систематическую погрешность нашего результата:

	φ	\sqrt{kI}	m	r
ε	0.013	0.017	0.01	0.005

$$\varepsilon_{\text{сист}} = \sqrt{\varepsilon_{\varphi}^2 + \varepsilon_{\sqrt{kI}}^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_r^2} = 0.024$$

$$\delta_{\text{сист}} = 2.5 \text{ m/s}$$

$$\delta_{\text{полн}} = \sqrt{\delta_{\text{сист}}^2 + \delta_{\text{случ}}^2} = 3 \text{ m/s}$$

Итого $v = 103 \pm 3 \text{ m/s}$

3 Вывод

Я получил значение скорости пули двумя методами – методом баллистического маятника и методом крутильного маятника. В первом случае получился результат $v = 153 \pm 7 \text{ m/s}$, а во втором $v = 103 \pm 3 \text{ m/s}$. Оба значения являются физическими скоростями пуль, согласно техническим документам пневматического оружия, но отличаются почти в полтора раза, что не объясняется погрешностями, которые в 5 раз меньше, чем наблюдаемая разница. Самое очевидное и как по мне исчерпывающее объяснение данного феномена в том, что просто модели оружия, скорости пуль которых мы считали, отличаются, соответственно и скорости пуль тоже