

Лабораторная работа 1.2.1

Определение скорости полета пули при помощи баллистического маятника

Дербенев Никита Максимович

23 ноября 2023

Цель работы: Определить скорость полета пули, применяя законы сохранения и используя баллистические маятники

В работе используются:

1. Духовое ружье на штативе
2. Осветитель
3. Оптическая система для измерения отклонений маятника
4. Измерительная линейка
5. 10 пуль
6. Весы
7. Баллистические маятники

Ход работы

1. Измерим на весах массу каждой пули (табл. 1). Погрешность весов: $\sigma_m = 10$ мг

Таблица 1: Массы пуль

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_i , мг	504	518	504	498	500	510	508	508	510	500

2. Измерим расстояние $L = (2197.5 \pm 1)$ мм.
3. Соберем оптическую систему, включим и отстроим шкалу на ноль. Убедимся, что холостые выстрелы не влияют на маятник (движение не заметно глазом). Убедимся, что затухание колебаний незначительно (за 10 колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину).
4. Произведем 5 выстрелов пулями № 1-5, запишем амплитуду маятника в табл. 2:

Таблица 2: Результаты выстрелов в баллистический маятник №1

№	1	2	3	4	5
Δx , мм	9.5	8.75	9.0	9.75	9.5
L , мм	2197.5 ± 5				
m , мг	504	518	504	498	500
M , г	2925 ± 5				
u , $\frac{м}{с}$	116.5	104.4	110.4	121.0	117.4
$u_{ср}$, $\frac{м}{с}$	$114 \pm 11(9.5\%)$				

5. Расчитаем начальную скорость пули по формуле:

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x$$

Расчитаем погрешность скорости:

$$\varepsilon_{u_{\text{сист}}} = \varepsilon_M + \varepsilon_m + \frac{1}{2}\varepsilon_g + \frac{1}{2}\varepsilon_L + \varepsilon_{\Delta x} \approx 7.5\%$$

$$\sigma_{u_{\text{сист}}} = u \varepsilon_{u_{\text{сист}}} \approx 8.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sigma_{u_{\text{случ}}} \approx 6.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{u_{\text{сист}}}^2 + \sigma_{u_{\text{случ}}}^2} \approx 10.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\varepsilon_u = \frac{\sigma_u}{u} \approx 9.5\%$$

По итогу получаем:

$$u = (114 \pm 11) \frac{\text{м}}{\text{с}} (9.5\%)$$

6. Измерим для баллистического маятника №2 параметры r , R и d (табл. 3):

Таблица 3: Параметры баллистического маятника №2

Параметр	r	R	d
Значение, мм	213 ± 2	336.5 ± 0.5	1422 ± 1

7. Измерим массы грузов: $M_1 = (725.5 \pm 0.1) \text{ г}$, $M_2 = (738.7 \pm 0.1) \text{ г}$

8. Настроим осветительную систему. Включим осветитель и отстроим шкалу на ноль. Убедимся, что холостые выстрелы не влияют на маятник (движение не заметно глазом). Убедимся, что затухание колебаний незначительно (за 10 колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину).

9. Измерим период колебаний маятника T_1 с грузом и T_2 без (табл. 4):

Таблица 4: Период колебаний баллистического маятника №2

Опыт	С грузами					Без грузов				
№	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
t , с	66.39	66.02	66.58	66.40	66.35	59.26	49.38	49.33	49.07	49.17
N	10	10	10	10	10	12	10	10	10	10
T , с	6.64	6.60	6.66	6.64	6.64	4.94	4.94	4.93	4.91	4.92
$T_{\text{ср}}$, с	6.64 ± 0.02					4.93 ± 0.01				

10. Произведем 5 выстрелов пулями №6-10, запишем амплитуду маятника в табл. 5:

Таблица 5: Результаты выстрелов в баллистический маятник №2

№	1	2	3	4	5
Δx , мм	44	40	45	37.5	42.5
m , мг	510	508	508	510	500
u , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	99.6	90.9	102.2	78.1	98.1
$u_{\text{ср}}$, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$94 \pm 11 (11.7\%)$				

11. Расчитаем начальную скорость пули по формуле:

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \approx x \frac{\sqrt{kI}}{2dmr}$$

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2} \approx (0.699 \pm 0.006) \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\varepsilon_u = \varepsilon_{\sqrt{kI}} + \varepsilon_x + \varepsilon_m + \varepsilon_r \approx 5.8\%$$

Расчитаем погрешность:

$$\begin{aligned}\sigma_{u_{\text{случ}}} &\approx 10 \frac{\text{М}}{\text{с}} \\ \sigma_{u_{\text{сист}}} = u \varepsilon_u &\approx 5 \frac{\text{М}}{\text{с}} \\ \sigma_u = \sqrt{\sigma_{u_{\text{сист}}}^2 + \sigma_{u_{\text{случ}}}^2} &\approx 10.9 \frac{\text{М}}{\text{с}}\end{aligned}$$

По итогу:

$$u = (94 \pm 11) \frac{\text{М}}{\text{с}} (11.7\%)$$

Выводы: С помощью баллистического маятника можно оценить начальную скорость пули из духового ружья. Этот метод при модификации также подойдет и для огнестрельного оружия, если расположить баллистический маятник достаточно далеко от оружия, чтобы пороховые газы на него не влияли. Основной причиной погрешностей стало определение амплитуды маятника. Также разброс значений связан с тем, что начальная скорость пули при каждом выстреле действительно разная, для увеличения точности необходимо больше выстрелов.