

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Отчёт о выполнении лабораторной работы 1.2.1
**Определение скорости полета пули при помощи
баллистического маятника**

Викторова Алиса Александровна
Б01-204

г. Долгопрудный
Ноябрь 2022 г.

Аннотация

В данной работе была экспериментально измерена скорость пули, выпущенной из винтовки. Для этого был собран баллистический маятник, позволяющий зарегистрировать импульс пули. Были получены скорости для 4 выпущенных пуль, близкие по значению. Был сделан вывод о возможности вычисления скорости пули при помощи баллистического маятника.

1 Постановка задачи

Скорость пули, выпущенной из винтовки, на практике может отличаться от теоретически рассчитанной из-за неточностей конструкции или износа винтовки, однако определить действительную скорость вылета пули можно и экспериментально. Например, можно записать вылет пули на видео и по положению пули на каждом кадре вычислить ее скорость. Тогда при съемке в 60 fps и скорости пули около $150 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ в промежуток между кадрами пуля будет проходить примерно 2,5 м, что при частоте срабатывания затвора в 120 fps вызовет размытие пули в кадре на 1,25 м. При длине пули около половины сантиметра относительная погрешность будет равна примерно $\varepsilon = \frac{125}{2 \cdot 0,5} = 125$ (12500%). Возник вопрос, можно ли измерить скорость пули с большей точностью? Поэтому был выбран иной метод измерения скорости пули.

2 Методика

Для проведения эксперимента была собрана установка конструкции, представленной на рисунке 1, состоящая из подвешенного на расстоянии L от подвеса металлического цилиндра массой M с прикрепленной снизу шкалой на прозрачной пластине, и системы из линзы, зеркальца и источника света, позволяющей вывести изображение шкалы на стену.

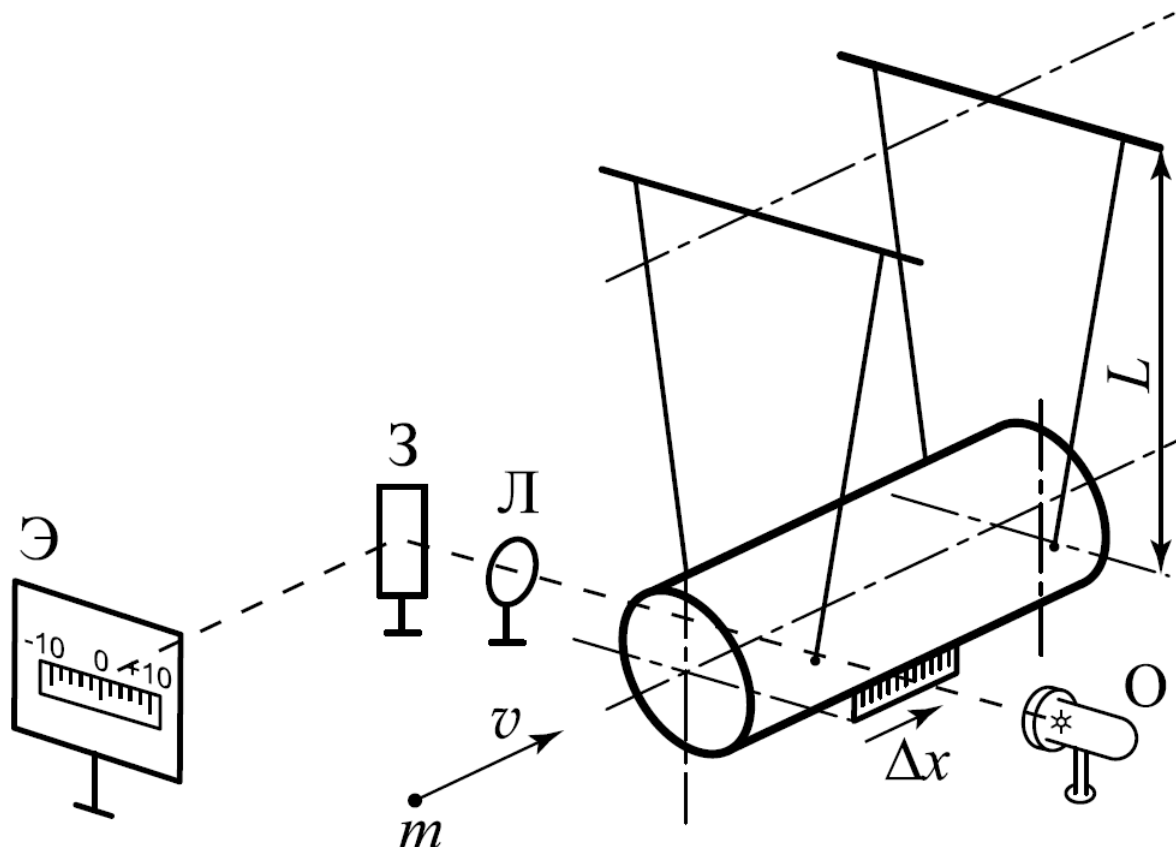


Рис. 1: Баллистический маятник с источником света O , линзой L , зеркальцем Z и стенкой \mathcal{E} и летящая со скоростью v пуля массой m .

При выстреле в цилиндр пуля остается внутри, что позволяет считать удар абсолютно неупругим и, воспользовавшись законом сохранения импульса, вывести зависимость отклонения цилиндра x от скорости v пули массой m :

$$v = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} x, \text{ где } x \text{ — отклонение цилиндра после попадания пули.}$$

Предварительно рассчитанная относительная погрешность измерений составила 5% (формулу для расчета погрешности см. в разделе приложение), что было сочтено удовлетворительным значением.

3 Результаты и их обсуждение

Результаты измерения отклонения цилиндра в зависимости массы пули были занесены в таблицу 1. По ним была вычислена скорость пули u для каждого выстрела и также занесена в таблицу 1.

Усредненное значение скорости выстрела v составило

$$\bar{u} = \sum_{i=0}^n \frac{u_i}{n} = 137 \pm 4 \frac{M}{c}.$$

Относительная погрешность измерений составляет $\varepsilon_{\bar{u}} = 0,029(2,9\%)$. Сравнивая полученное

значение с паспортом винтовки [3], по которому скорость выстрела составляет $150 - 160 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, наблюдаем ухудшение характеристик винтовки в сравнении с исходными.

4 Вывод

Таким образом, при помощи баллистического маятника была с довольно хорошей точностью (2,9%) вычислена средняя скорость пули для данной винтовки, продемонстрировавшая снижение скорости выстрела из-за ухудшения качества механизма. Эксперимент показал возможность использования баллистического маятника для определения состояния винтовки.

5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: Учебное пособие. В трех томах. Т. 1. Механика. 2-е изд., испр. / А.Д. Гладун, Д.А. Александров, Ф.Ф. Игошин и др.; Под ред. А.Д. Гладуна. — М.: МФТИ, 2012. — 316 с.
2. https://alfapascal.ru/library/uskorenie_svobodnogo_padeniya_dlya_122_gorodov
3. <https://pnevmatiki.net/vintovki/obzor-pnevmaticheskikh-vinotovok-izh>

6 Приложение

Параметры установки

$L = 2,215 \pm 0,005$ м — расстояние от цилиндра до подвеса.

$M = 2,905 \pm 0,001$ кг — масса цилиндра.

$g = 9,8155 \pm 0,0001$ для Москвы [3] взято с точностью 1%, так как эксперимент проводился в Подмосковье.

N	1	2	3	4
x , мм	10,75	11,75	11,5	11,5
m , г	0,512	0,506	0,510	0,507
u , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	129	142	138	139
σ_u , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	3	3	3	3

Таблица 1: Результаты измерений значения отклонения цилиндра x при различных исходных массах пуль m и вычисленная для каждого измерения скорость пули u с погрешностью σ_u

Расчет погрешностей

$$\varepsilon_v = \sqrt{\delta^2 m + \delta^2 M + \delta^2 x + \frac{1}{4}\delta^2 g + \frac{1}{4}\delta^2 L} \approx 0,03 \text{ при } m = 0,5 \text{ г, } x = 8 \text{ мм}$$

$$\sigma_u = u \sqrt{\delta^2 m + \delta^2 M + \delta^2 x + \frac{1}{4}\delta^2 g + \frac{1}{4}\delta^2 L}$$