

Лабораторная работа 1.2.1 Определение скорости полёта пули при помощи баллистического маятника

Михаил Колтаков

9 ноября 2020 г.

Цель работы

Определить скорость полёта пули применяя законы сохранения и используя баллистические маятники

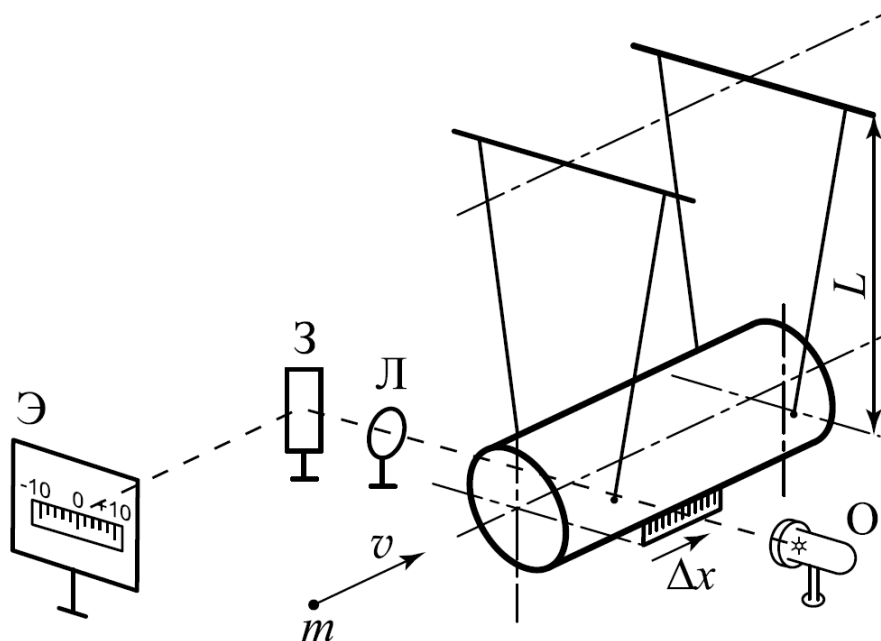
Оборудование

Духовое ружьё на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измерительная линейка, пули и весы для их взвешивания, баллистические маятники.

Ход работы

I Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

В этой части работы будем использовать установку, изображённую на рисунке ниже. При попадании пули в цилиндр любая его точка движется по окружности известного радиуса, поэтому его смещение с помощью собирающей линзы можно перевести в линейное отклонение на линейке.



Проверим правильность установки ружья с помощью холостого выстрела. Длина нитей, за которые подвешен цилиндр равна $L \approx 225,5 \pm 1,0$ см. Его масса $M = 2905 \pm 5$ г. При контакте пули с цилиндром можно записать ЗСИ

$$mu = (M + m)V$$

m – масса пули, u – скорость пули перед ударом, V – скорость цилиндра вместе с пулей после удара.

$$u = \frac{M + m}{m}V \approx \frac{M}{m}V \quad V^2 = 2gh \quad h = L(1 - \cos\varphi) = 2L^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad \varphi \approx \frac{\Delta x}{L}$$

Тогда скорость пули можно выразить как

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

При измерении было замечено, что за 10 периодов амплитуда колебаний почти не уменьшилась, поэтому их затуханием можно пренебречь.

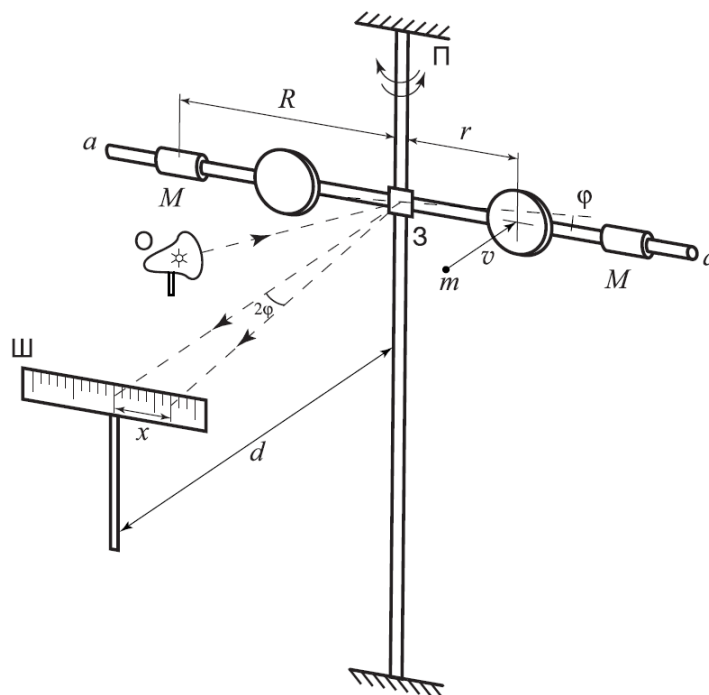
Проведём 4 выстрела и занесём максимальные отклонения, массы пуль и рассчитанную скорость в таблицу

Выстрел	Масса пули, г	Δx , мм	Скорость пули, м/с
1	0,503	12,8	154,2
2	0,500	11,5	139,3
3	0,509	12,0	142,8
4	0,506	12,0	143,6

Погрешность измерения таким методом составляет $\Delta u = 10,0$ м/с. Среднее значение скорости $\bar{u} = 145,0$ м/с, максимальное отклонение от среднего составляет 9,2 м/с

II Метод крутильного баллистического маятника

В этой части работы мы будем использовать крутильный баллистический маятник. Схема установки представлена на картинке ниже.



Считая удар неупругим, можно записать уравнение

$$mvr = I\Omega$$

r – расстояние от линии полёта пули до оси вращения, I – момент инерции относительно этой оси, Ω – угловая скорость маятника сразу после удара.

Найдём период колебаний маятника без грузов $T_1 = 9,8 \pm 0,2$ с и с грузами $T_2 = 13,0 \pm 0,2$ с. Было замечено, что за 10 периодов амплитуда уменьшается меньше, чем в 2 раза. Тогда можно пренебречь затуханием колебаний и потерями энергии и записать ЗСЭ

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}$$

k – модуль кручения проволоки, φ – максимальный угол поворота маятника, тогда

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr}$$

Измерим расстояние от оси вращения до штатива с линейкой $d = 46,0 \pm 0,5$ см, тогда в силу малости колебаний можно найти φ как

$$\varphi \approx \frac{x}{2d}$$

x – смещение изображения нити осветителя на шкале, которое легко можно измерить.

Периоды колебаний маятника с грузами и без можно выразить как

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

Тогда \sqrt{kI} можно найти как

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

$R = 34,0 \pm 0,5$ см – расстояние от оси вращения до центров грузиков, $M = 730,2$ г – масса грузиков.

Измерим максимальные отклонения маятника, рассчитаем по ним скорость пули и занесём результаты в таблицу.

Выстрел	m , г	x , см	φ , рад	u , м/с
1	0,505	7,8	0,085	135,0
2	0,513	8,3	0,090	141,4
3	0,501	7,7	0,084	134,4
4	0,513	8,0	0,087	136,3

Таким образом средняя скорость $\bar{u} = 136,8$ м/с, а максимальное отклонение от неё равно 4,6 м/с. Погрешность измерения скорости таким образом равна $\Delta u \approx 4,7$ м/с

Вывод

Таким образом, сравнив результаты при использовании двух различных методов определения скорости пули при выстреле из двух идентичных ружей мы получили близкие друг к другу результаты, что означает, что скорее всего, мы определили скорость пули верно. Второй метод, однако, является более точным, так как погрешность экспериментатора, играющая значительную роль при изучении быстрых процессов, в нём значительно меньше.