

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.2.1

Определение скорости полёта пули при помощи баллистического маятника

Пилюгин Л. С.
Б02-212
24 ноября 2022 г.

1 Аннотация

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.

2 Теоритические сведения

Большие скорости тела (пули) удобно определять по передаваемому ими импульсу. При столкновении пули с другим телом в момент их удара можно пренебречь внешними силами и применять закон сохранения импульса.

Если пуля застревает в тяжёлом теле, то их дальнейшая скорость мала и её легко измерить другими методами. Время соударения можно оценить по глубине проникновения. Если оно мало, то можно использовать закон сохранения импульса.

Для измерения импульса пули можно использовать баллистический маятник (маятник, колебания которого вызываются коротким начальным импульсом). При этом время соударения должно быть много меньше периода. При этом отклонение $\Delta\varphi$ за время соударения τ тоже мало и связано с периодом T и амплитудой φ_m :

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi_m} \approx \frac{2\pi\tau}{T}$$

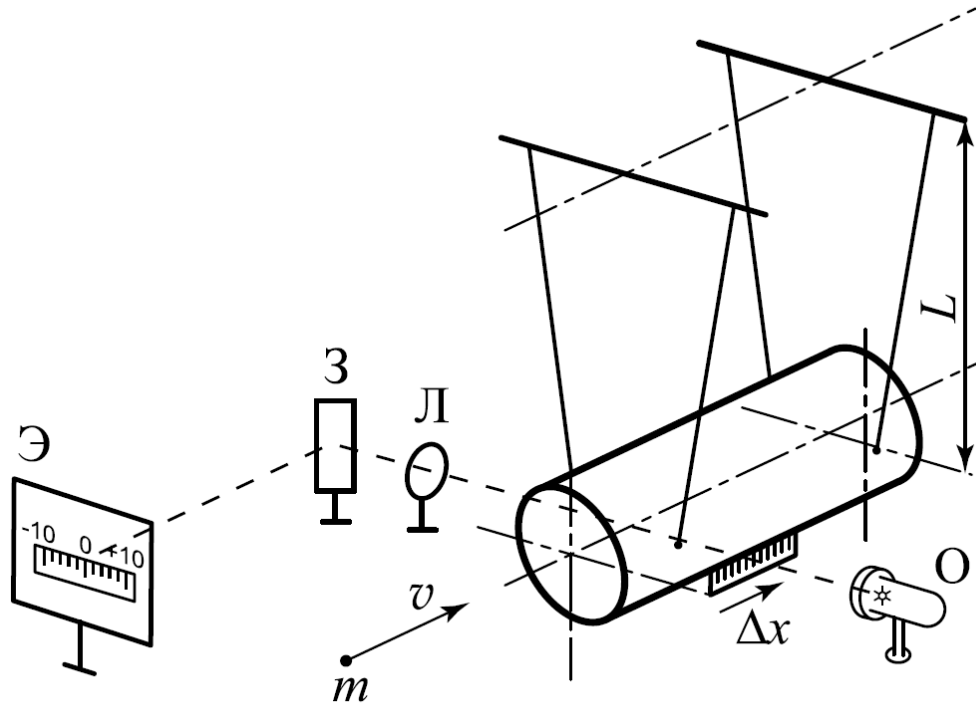
Связь между максимальным отклонением и начальной скоростью описывается законом сохранения энергии. Импульс пули определяется по максимальному начальному отклонению.

Колебания должны происходить в одной плоскости, а воздушная струя, выходящая вслед за пулей, не должна действовать на маятник.

3 Оборудование и инструментальные погрешности

3.1 Балистический маятник, совершающий поступательное движение

Балистический маятник представляет собой тяжёлый цилиндр, подвешенный на четырёх нитях одинаковой длины. При колебаниях такой маятник совершает поступательное движение.



Скорость пули при ударе должна быть направлена вдоль оси цилиндра.

Закон сохранения импульса

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

m — масса пули, M — масса цилиндра, u — скорость пули до удара, V — скорость пули после удара.

Т.к. масса маятника значительно превышает массу пули

$$u = \frac{m}{M} V$$

Из закона сохранения энергии получим связь с максимальной высотой подъёма h :

$$V^2 = 2gh$$

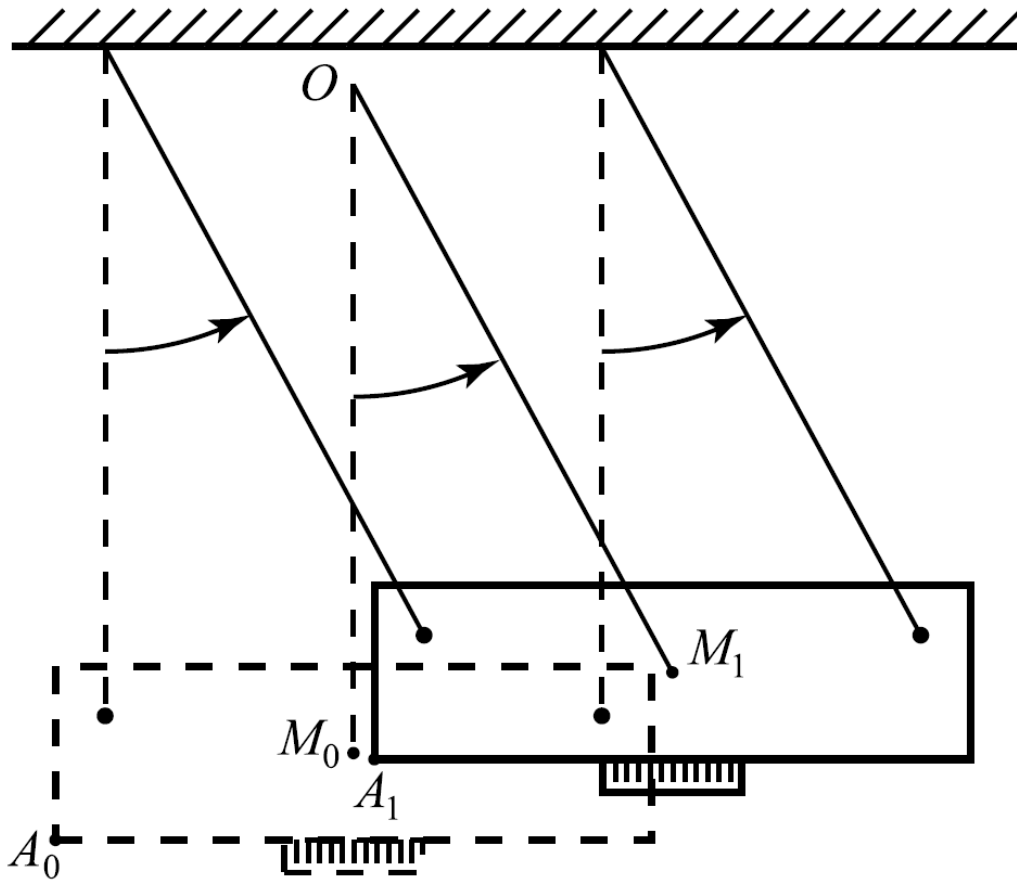
Связь максимальной высоты со смещением по горизонтали Δx :

$$h = 2L \sin^2 \frac{\Delta x}{2L}$$

Итого:

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

Δx определяется при помощи оптической системы. Затухание можно назвать слабым, если за 10 периодов амплитуда уменьшается не более, чем вдвое.



3.2 Крутильный балистический маятник

Пуля массой m попадает в мишень, укрепленную на стержне aa , который образует крутильный маятник с грузами M и проволокой Π .

Из закона сохранения момента импульса

$$mur = I\Omega$$

r — расстояние от линии пролёта пули до оси вращения маятника, I — момент инерции маятника, Ω — его угловая скорость сразу после удара.

Время соударения должно быть много меньше периода. Произведение момента кручения в момент соударения на время соударения мало по сравнению с моментом импульса пули. Закон сохранения энергии:

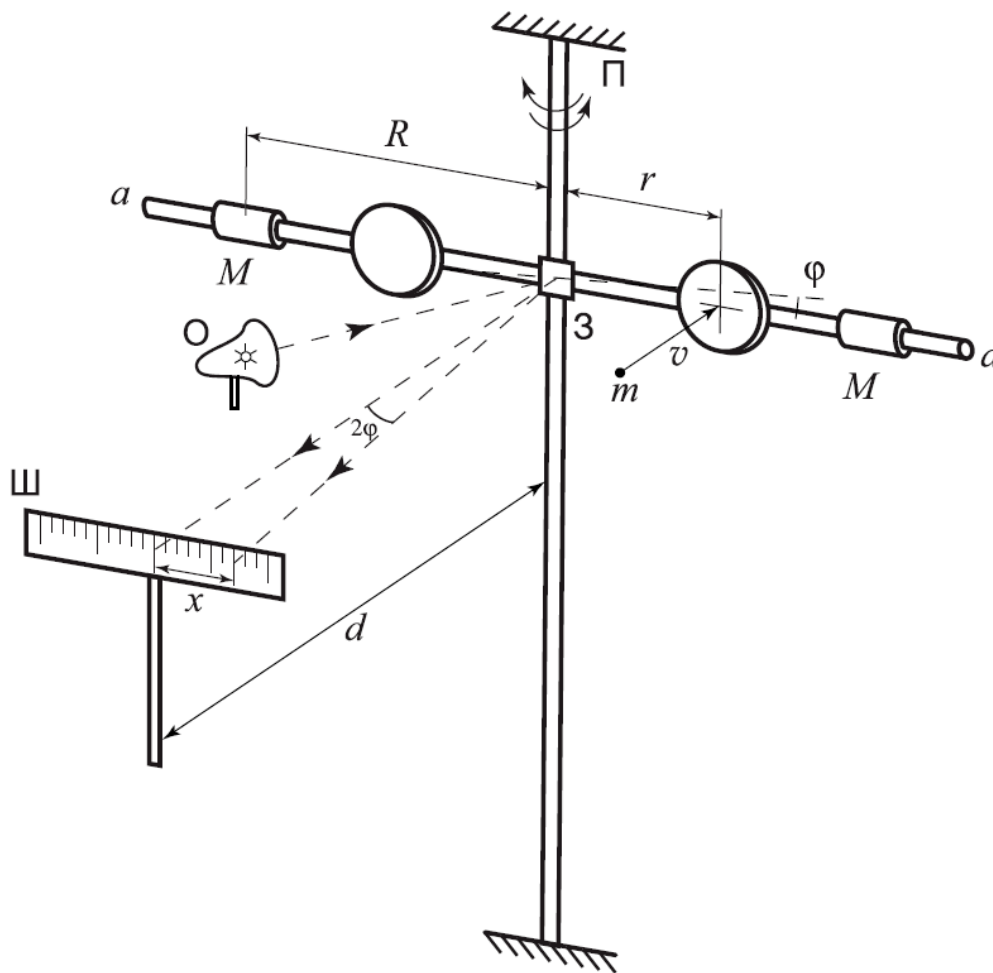
$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2}$$

k — модуль кручения проволоки, φ — максимальный угол поворота.

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

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

x — смещение изображения нити, d — расстояние от шкалы до оси вращения маятника.



kI можно найти из соотношения периодов колебания маятника с грузами и без них:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{l}}$$

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

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

R — расстояние от центров масс грузов M до проволоки.

4 Результаты измерений

4.1 Поступательный маятник

Масса маятника $M = 2900 \pm 5$ г, длины нитей $L = 220 \pm 0,5$ см,

$$v = 141 \pm 3 \text{ м/с}$$

Разброс результатов связан с различием скоростей, т.к. он превышает погрешность измерений.

Таблица 1. Скорость пули в первом опыте

$m \pm 0,001 \text{ г}$	$x \pm 0,05 \text{ мм}$	$v \text{ м/с}$
0,502	11,8	144 ± 1
0,509	12	144 ± 1
0,511	11,6	139 ± 1
0,51	11,4	137 ± 1

4.2 Крутильный маятник

$$r = 223 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$R = 358 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$d = 500 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$T_1 = 12,35 \pm 0,1 \text{ с}$$

$$T_2 = 9,24 \pm 0,1 \text{ с}$$

$$M_1 = 730,3 \pm 0,05 \text{ г}$$

$$M_2 = 730,5 \pm 0,05 \text{ г}$$

$$M = \frac{M_1 + M_2}{2} = 730,4 \pm 0,05 \text{ г}$$

$$\sqrt{kI} = 0,216 \pm 0,008 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$$

Таблица 2. Скорость пули во втором опыте

$m \pm 0,001 \text{ г}$	$x \pm 0,5 \text{ мм}$	$v \text{ м/с}$
0,51	100	190 ± 8
0,503	104	200 ± 8
0,514	98	185 ± 8
0,508	100	191 ± 8

$$v = 192 \pm 5 \text{ м/с}$$

Разброс результатов связан с погрешностью измерений, т.к. среднее значение лежит в пределах погрешности всех измерений.

5 Вывод

Были определены скорости пуль при помощи баллистических маятников.