

*Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования*

**«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**Лабораторная работа №1.2.1**

по курсу общей физики

на тему:

***«Определение скорости полёта пули при помощи баллистического  
маятника»***

*Работу выполнил:  
Третьяков Александр  
(группа Б02-206)*

Долгопрудный  
30 октября 2022 г.

# 1 Аннотация

**Цель работы:** Проверить законы сохранения импульса и энергии. Определить скорость полёта пули, применяя законы сохранения и используя баллистические маятники.

Заявленная скорость вылета пули из духового ружья - 150-200 м/с.

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

## 2 Ход работы

### I Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

#### 2.1 Методика измерений

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.

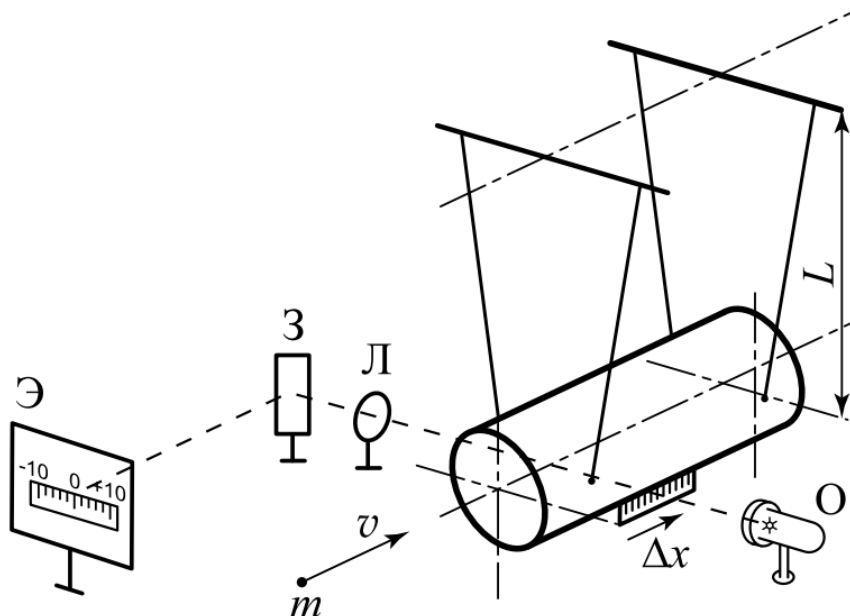


Рис. 1: схема установки для измерения скорости полета пули

Для начала проверим работоспособность установки, а именно проведем несколько холостых выстрелов по маятнику и убедимся в том, что он практически не реагирует на удар воздушной струи. Вычислять скорость пули будем по формуле (1),

для чего нужно проверить, что за 10 колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем на половину. Произведем 4 выстрела, запишем амплитуды, полученные при выстрелах, и по их значениям найдем скорости пули.

## 2.2 Теоретические сведения

При контакте пули с цилиндром можно записать ЗСИ:

$$mu = (M + m)V \Leftrightarrow u = \frac{M + m}{m}V \approx \frac{M}{m}V$$

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

Из ЗСЭ выразим скорость цилиндра после соударения с пулей:

$$V^2 = 2gh \quad h = L(1 - \cos\varphi) = 2L\sin^2\frac{\varphi}{2}, \quad \text{где } \varphi \approx \frac{\Delta x}{L}, \quad \text{таким образом } V^2 = \frac{g\Delta x^2}{L}$$

Тогда скорость пули можно выразить как

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x \quad (1)$$

## 2.3 Используемое оборудование

Массу пули ( $m$ ) измеряем при помощи весов - погрешность:  $\sigma_m = 0,005\text{г}$ .

При помощи оптической системы измеряем линейную амплитуду колебаний маятника ( $\Delta x$ ); – погрешность измерений - цена деления линейки:  $\sigma_{\Delta x} = c = 0,1\text{мм}$ .

При помощи большой линейки измеряем длину нитей маятника ( $L$ ); – погрешность измерения нельзя считать равной цене деления линейки ввиду человеческого фактора (измерения происходят на глаз, так как маятник подвешен к потолку):  $\sigma_L = 1\text{см}$ .

Масса цилиндра баллистического маятника была измерена лаборантом:  $\sigma_M = 5\text{г}$ .

## 2.4 Результаты измерений

$m$ , г	0,499	0,504	0,503	0,502
$\Delta x$ , мм	9,5	9,8	9,2	10,4
$u$ , м/с	118,1	120,6	113,4	128,5

Таблица 1:

Наша установка имела параметры:  $M = (2925 \pm 5)$  г, и  $L = (218 \pm 1)$  см. Средняя скорость пули  $u_{\text{ср}} = 120,2$  м/с, а погрешность будет равна:

$$\sigma_u^{\text{сист}} = u \sqrt{\varepsilon_M^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\varepsilon_L}{2}\right)^2} \quad \sigma_u^{\text{сист}} \approx 1,8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\sigma_u^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_i - u_{\text{ср}})^2} \quad \sigma_u^{\text{случ}} \approx 3,2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{случ}}^2} \quad \sigma_u \approx 3,7 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Окончательно получаем скорость пули равную  $u = (120,2 \pm 3,7), \frac{\text{М}}{\text{с}}$

## II Метод крутильного баллистического маятника

### 2.5 Методика измерений

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

### 2.6 Теоретическая справка

Считая удар неупругим, можно записать уравнение:

$$mvr = I\Omega$$

,где  $r$ —расстояние от линии полёта пули до оси вращения,  $I$  – момент инерции относительно этой оси,  $\Omega$  – угловая скорость маятника сразу после удара.

Можно пренебречь затуханием колебаний и потерями энергии и записать ЗСЭ:

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

,где  $k$  – модуль кручения проволоки,  $\varphi$  – максимальный угол поворота маятника, тогда:

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{mr} \quad (2)$$

Измерим расстояние от оси вращения до штатива с линейкой  $d = 50,6 \pm 0,1$  см, тогда в силу малости колебаний можно найти  $\varphi$  как

$$\varphi \approx \frac{x}{2d} \quad (3)$$

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

Периоды колебаний маятника с грузами и без можно выразить как:

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

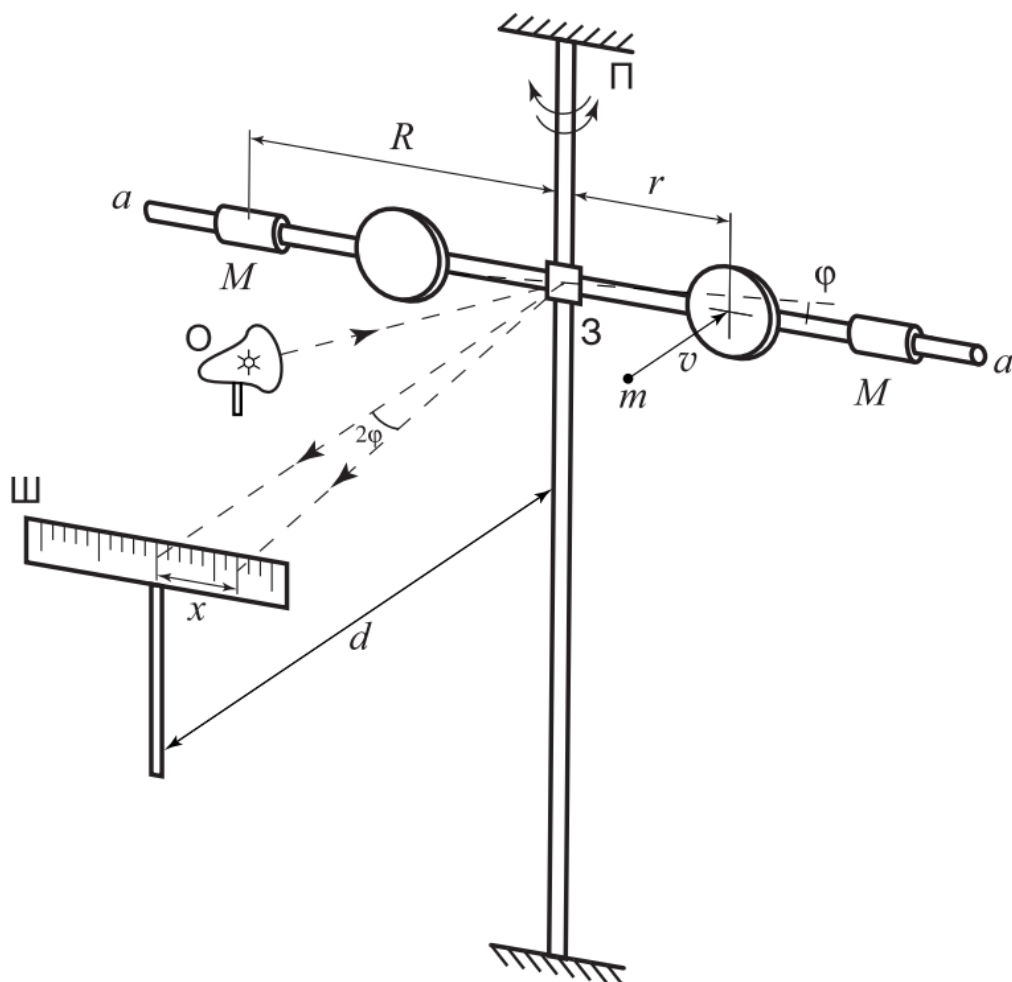


Рис. 2: схема установки для измерения скорости полета пули с баллистическим маятником

Тогда  $\sqrt{kI}$  можно найти как:

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

$R$  – расстояние от оси вращения до центров грузиков,  $M$  – масса грузиков.

### 3 Результаты измерений

Для начала запишем данные установки:

$$r = 21,5 \text{ см}, R = 33,9 \text{ см}, M_1 = 729,9 \text{ г}, \text{ а } M_2 = 729,6 \text{ г}$$

. Снимем периоды колебаний после выстрела с грузиками и без, чтобы найти  $\sqrt{kI}$ :

№	$t$ , с	$T$ , с	N
1. С грузами	158	19,75	8
2. Без грузиков	118	14,75	8

Таблица 2: Периоды колебаний баллистического маятника после выстрела

Из таблицы получаем, что  $T_1^{\text{ср}} = (19,75 \pm 0,125)$  см, а  $T_2^{\text{ср}} = (14,75 \pm 0,125)$  см. С помощью полученных периодов колебаний найдем  $\sqrt{kI}$  по формуле (4):

$$\sqrt{kI} \approx 120,65 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\sigma_{\sqrt{kI}} = \sqrt{kI} \cdot \sqrt{\varepsilon_{T_2^2 - T_1^2}^2 + (2\varepsilon_{R^2})^2 + \varepsilon_M^2 + \varepsilon_{T^2}^2} \approx 0,12 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$$

Теперь по формулам (2) и (3) определим  $\varphi$  и скорость пули. Получаем таблицу:

	$m$ , г	$x$ , см	$\varphi$ , рад	$u$ , м/с
1	0,503	12,25	0,12	133,86
2	0,516	13,70	0,136	147,90
3	0,499	13,50	0,133	149,57
4	0,507	13,80	0,136	150,53

Таблица 3: Таблица полученных скоростей

$$\sigma_u^{\text{сист}} = u \cdot \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_d^2 + \varepsilon_{\sqrt{kI}}^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_r^2} \quad \sigma_u^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}$$

Тогда средняя скорость  $\underline{u_{\text{ср}} = (145,47 \pm 1,44) \frac{\text{м}}{\text{с}}}$

## 4 Вывод

Были получены скорости пули двумя методами: методом баллистического маятника, совершающего поступательное движение, и методом крутильного баллистического маятника. Различие полученных значений с табличными может быть связано со истраченным баллоном в ружье. Так же имеет значение то, что стрельба в каждом методе производилась своим ружьем.