

Лабораторный журнал к работе 1.2.1 по
курсу
"Общая физика"

**Определение скорости полета пули
при помощи баллистического
маятника**

Баринов Леонид

12.10.2018

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

В работе используется: духовое ружье на штативе, осветитель, оптическая система для измерения отклонений маятника, измирительная линейка, пули и весы для взвешивания, а также баллистические маятники.

Теоритические данные: Для измерения переданного пулей импульса и, следовательно, ее скорости используют баллистический маятник. Баллитическим называется маятник, колебания которого вызываются кратковременным начальным импульсом (толчком). Кратковременным можно считать импульс, если время действия сил (время соударения) значительно меньше периода колебаний маятника. При этом отклонение маятника за время соударения значительно меньше амплитуды колебаний - максимальное время соударения τ , отнесенное к периоду колебаний T , и отклонение $\Delta\varphi$ за время соударения, отнесенное к максимальному отклонению Δ_m (амплитуде), связаны простым соотношением

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

Влияние струи газов на маятник можно оценить с помощью холостого выстрела. Ружье закреплено на специальном штативе. Чтобы зарядить ружье, надо освободить стопорный винт штатива и наклонить ружье в держателе набок. Затем отогнуть ствол в сторону курка до упора. Зарядив ружье, все вернуть в первоначальное состояние.

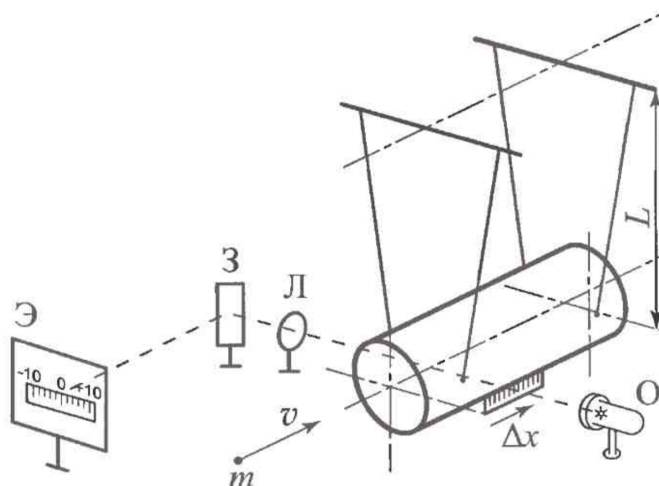


Рис. 1: Схема установки для измерения скорости полета пули

Ход работы:

1 Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

Используемый в этой части работы баллистической маятник представляет собой тяжелый цилиндр, подвешенный на четырех нитях одинаковой длины. Он изображен на Рис. 1 вместе в измерительной системой.

Закон сохранения импульса при соударении пули с цилиндром имеет вид

$$mu = (M + m)V \quad (1)$$

Здесь m – масса пули, M – масса цилиндра, u – скорость пули перед ударом, V – скорость цилиндра и пули после неупругого соударения.

Учитывая, что масса маятника значительно больше массы пули, можно написать

$$u = \frac{M}{m}V \quad (2)$$

Получив начальную кинетическую энергию, маятник при отклонении будет подниматься до тех пор, пока всю ее не израсходует. Если пренебречь потерями, то вся кинетическая энергия переходит в потенциальную в поле тяжести. Тогда по закону сохранения механической энергии высота h подъема маятника над его начальным положением связана с начальной скоростью маятника V следующим образом:

$$V^2 = 2gh \quad (3)$$

Здесь g – ускорение свободного падения.

Высота подъема маятника выражается через угол φ отклонения маятника от вертикали:

$$h = L(1 - \cos\varphi) = 2L\sin^2\frac{\varphi}{2}, \quad \varphi \approx \frac{\Delta x}{L} \quad (4)$$

Из (2), (3) и (4) получаем окончательную формулу для определения скорости пули:

$$u = \frac{M}{m} \sqrt{\frac{g}{L}} \Delta x \quad (5)$$

- Измеряем массу каждой пули на аналитических весах
- Измеряем расстояние L

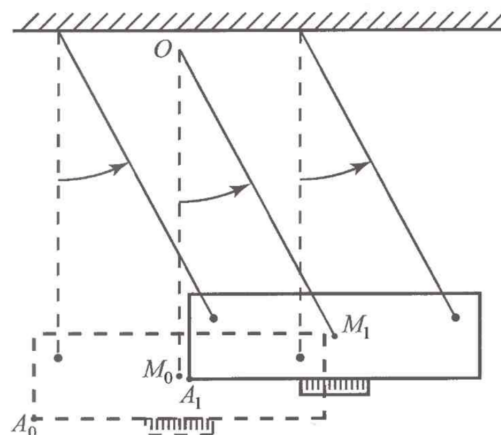


Рис. 2: Схема установки для измерения скорости полета пули

- Собираем оптическую систему, предназначенную для измерения перемещения маятника. Включем осветитель и добиваемся четкого изображения шкалы на экране
- Произведем несколько холостых выстрелов по маятнику и убеждаемся в том, что она практически не реагирует на удрa воздушной струи из ружья.
- Убедимся в малом затухании колебаний: за десять колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину.
- Произведем несколько выстрелов и определим по формуле (5) скорость пули при каждом выстреле.
- Оценим погрешность определения скорости пули в каждом выстреле
- Найдем среднее значение скорости пули в каждом выстреле.
- Найдем среднее значение скорости пули и разброс отдельных результатов около среднего значения.

2 Метод крутильного баллистического маятника

Схема эксперимента изображена на Рис. 3. Пуля массой m попадает в мишень, укрепленную на стержне aa , который вместе с грузами M и

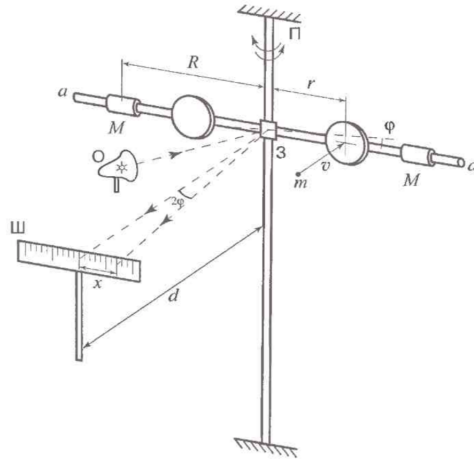


Рис. 3: Схема установки для измерения скорости полета пули

проволкой Π образует крутильный маятник. Считая удар пули о мишень неупругим, для определения скорости u полета пули непосредственно перед ударом воспользуемся законом сохранения момента импульса в виде

$$m u r = I \Omega \quad (6)$$

Здесь r – расстояние от линии полета пули до оси вращения маятника (до проволки Π), I – момент инерции маятника, Ω – его угловая скорость непосредственно после удара.

Пренебрегая потерями, закон сохранения энергии при колебаниях записываем следующим образом:

$$k \frac{\varphi^2}{2} = I \frac{\Omega^2}{2} \quad (7)$$

Здесь k – модуль кручения проволки Π , а φ – максимальный угол поворота маятника.

Из (6) и (7) получаем

$$u = \varphi \frac{\sqrt{kI}}{m r} \quad (8)$$

Угол максимального закручивания маятника в данных опытах всегда мал и легко находится по смещения x изображения нити осветителя на измерительной шкале. Из Рис. 3 следует

$$\varphi \approx \frac{x}{2d} \quad (9)$$

Здесь d – расстояние от шкалы Π до оси вращения маятника.

В формулу (8) входит произведение kI , которое можно найти по измерениям периодов колебаний маятника с грузами M и без них. В первом случае период колебаний равен:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \quad (10)$$

Во втором случае

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I - 2MR^2}{k}} \quad (11)$$

Из (10) и (11) следует

$$\sqrt{kI} = \frac{4\pi MR^2 T_1}{T_1^2 - T_2^2} \quad (12)$$

Здесь R – расстояние от центров масс грузов M до проволоки.

- Измеряем на аналитических весах массу каждой из пулек
- Измеряем с помощью линейки расстояние r , R и d
- Настроим оптическую систему, предназначенную для измерения проворота маятника. Включаем осветитель O , направим свет на зеркальце Z и получаем четкое изображение нити осветителя на шкале.
- Произведем несколько холостых выстрелов и убедимся, что маятник практически не реагирует на воздушную струю из ружья.
- Убеждаемся в малом затухании колебаний: за десять колебаний амплитуда уменьшается меньше, чем наполовину.
- Измеряя время 10-15 полных крутильных колебаний маятника, определяем T_1 и T_2 . По формуле (12) найдем величину \sqrt{kI} и оценим ее погрешность
- Произведем несколько выстрелов и по формулам (9) и (8) определим скорость пули при каждом выстреле.
- Оценим погрешность определения скорости пули в каждом выстреле.
- Найдем среднее значение скорости пули и разброс отдельных результатов около среднего значения.

Экспериментальные данные:

Метод баллистического маятника, совершающего поступательное движение

Таблица 1: Масса пуль

№	m , кг
1	
2	
3	
4	

Расстояние $L =$

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

Таблица 2: Измерение скорости пули в каждом выстреле и погрешность измерения

№	u , м/с	σ
1		
2		
3		
4		

$u_{\text{ср}} =$

Таблица 3: Разброс отдельных результатов

№	$ u - u_{\text{ср}} $, м/с
1	
2	
3	
4	

Метод крутильного баллистического маятника

$$r =$$

$$R =$$

$$d =$$

Таблица 4: Измерение времени полных крутильных колебаний маятника

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_1 , с									
T_2 , с									
№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T_1 , с									
T_2 , с									

$$\sqrt{kI} =$$

$$\sigma_{\sqrt{kI}} =$$

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

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

Таблица 5: Измерение скорости пули в каждом выстреле и погрешность измерения

№	u , м/с	σ
1		
2		
3		
4		

$$u_{\text{ср}} =$$

Таблица 6: Разброс отдельных результатов

№	$ u - u_{\text{ср}} $, м/с
1	
2	
3	
4	