

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Определение скорости пули с помощью баллистического маятника

Цель работы – с помощью баллистического маятника определить скорости пуль с различными массами.

Приборы и принадлежности: баллистический маятник, набор пуль (m_1 – оргстекло, m_2 – дюраль и m_3 – сталь), пружинный пистолет P и отсчётное устройство с фиксируемым механизмом N .

Теоретические сведения

Данный способ определения скорости пули основан на законе сохранения импульса. Пуля массой m , летящая со скоростью v , попадает в баллистический маятник массы M (рис. 1) и застревает в нём.

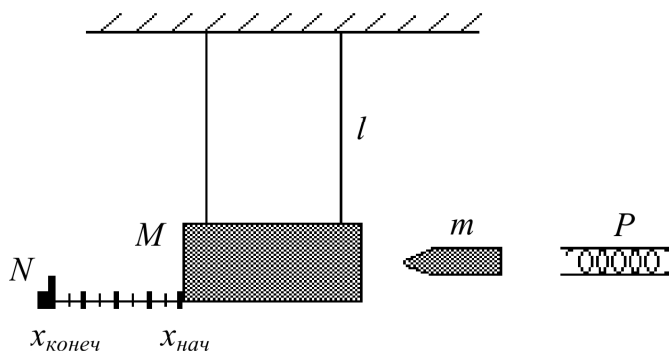


Рис. 1. Баллистический маятник

В результате абсолютно неупругого удара, согласно закону сохранения импульса, имеем

$$mv = (m + M)u,$$

где m – масса пули; v – скорость пули; M – масса баллистического маятника; u – скорость баллистического маятника и пули после удара.

Откуда

$$v = \frac{(m + M)}{m} u. \quad (1)$$

Скорость баллистического маятника с пулей после удара u можно определить, используя закон сохранения энергии. Маятник,

получив в момент удара кинетическую энергию $\frac{(M+m)u^2}{2}$, отклоняется от положения равновесия и поднимается на некоторую высоту h .

В крайнем положении, когда маятник на мгновение останавливается, его потенциальная энергия становится равной кинетической энергии маятника в момент удара:

$$(M+m)gh = \frac{(M+m)u^2}{2},$$

откуда

$$u = \sqrt{2gh}. \quad (2)$$

Высоту h можно выразить через длину нити l подвеса маятника и его отклонение x по горизонтали. Из рис. 2 имеем

$$l^2 = x^2 + (l-h)^2,$$

откуда $x^2 = 2lh - h^2$.

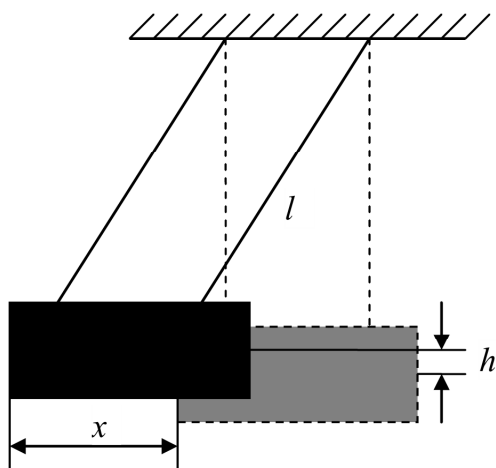


Рис. 2. Крайнее положение маятника

В нашем случае $h \ll l$, поэтому величиной h^2 можно пренебречь. Тогда

$$h \cong \frac{x^2}{2l}. \quad (3)$$

После подстановки выражения (3) в формулу (2) получаем скорость баллистического маятника и пули после удара

$$u = x\sqrt{\frac{g}{l}}$$

и после подстановки её в формулу (1) находим скорость пули

$$v = \frac{(m+M)}{m} x \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (4)$$

Описание установки

Баллистический маятник представляет собой массивный цилиндр массы M , заполненный пластилином. В цилиндр в горизонтальном направлении производят выстрел пуль массы m из

пружинного пистолета P , неподвижно закреплённого вблизи маятника (рис. 1). Пуля проникает в пластилин, застревает в нём и дальше продолжает двигаться вместе с маятником (абсолютно неупругий удар). Маятник закреплён на нитях длиной l так, чтобы в процессе отклонения он совершал поступательное движение. Максимальное отклонение маятника от его положения равновесия фиксируется механизмом N .

Смещение маятника x от положения равновесия вычисляется по формуле

$$x = x_{\text{конеч}} - x_{\text{нач}}, \quad (5)$$

где $x_{\text{нач}}$ и $x_{\text{конеч}}$ – начальная и конечная координаты маятника.

Ожидаемая зависимость

$$v_i = b \sqrt{\frac{k}{m_i}},$$

где v_i – скорость i – й пули; b и k постоянные величины для всех пуль при условии, что их геометрические размеры одинаковы и выстрелы производятся из одного и того же пружинного пистолета.

Справочные данные

Масса пули 1 (оргстекло)	$m_1 = (3,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ кг
Масса пули 2 (дюраль)	$m_2 = (7,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ кг
Масса пули 3 (сталь)	$m_3 = (19,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$ кг
Масса маятника	$M = (130,4 \pm 2,4) \cdot 10^{-3}$ кг
Длина нити маятника	$l = (0,41 \pm 0,01)$ м
Ускорение свободного падения	$g = (9,80 \pm 0,05)$ м/с ²

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Сделайте заготовку к лабораторной работе.
2. Получите допуск к выполнению лабораторной работы у преподавателя.
3. Подготовьте отсчётное устройство с фиксируемым механизмом N к измерению горизонтального смещения маятника. Запишите численное значение начальной координаты $x_{\text{нач}}$ маятника по линейке отсчётного устройства N .
4. Соблюдая правила техники безопасности, зарядите пружинный пистолет пулей с наибольшей массой m_3 .

5. Осуществите первый выстрел, нажав пусковую кнопку пистолета. Запишите численное значение конечной координаты $x_{\text{конеч}}$, определив его по линейке отсчётного устройства N . Вычислите смещение маятника для первого опыта по формуле (5).

6. Запишите величину x в табл. 1.

Таблица 1

m_3 , г	$x_{\text{нач}}$, мм	$x_{\text{конеч}}$, мм	x , мм	$\langle x \rangle$, мм	S_x , мм	Δx , мм	ε_x , %	$\langle v_3 \rangle$, м/с	Δv_3 , м/с	ε_{v_3} , %

7. Проведите опыт с той же пулей несколько раз, чтобы в дальнейшем провести статистическую обработку этих прямых измерений.

8. Проведите измерения смещения маятника для пуль с другими массами m_1 и m_2 (см. п. 3, 4, 5). Результаты измерений внесите в табл. 2 и 3.

Таблица 2

m_1 , г	$x_{\text{нач}}$, мм	$x_{\text{конеч}}$, мм	x , мм	$\langle x \rangle$, мм	$\langle v_1 \rangle$, м/с

Таблица 3

m_2 , г	$x_{\text{нач}}$, мм	$x_{\text{конеч}}$, мм	x , мм	$\langle x \rangle$, мм	$\langle v_2 \rangle$, м/с

9. Проведите статистическую обработку прямых многократных измерений смещения маятника для первой пули. Результаты внесите в табл. 1.

10. Получите оценку истинного значения скорости пули $\langle v_3 \rangle$, для которой были проведены многократные измерения. Результат внесите в табл. 1.

11. Получите оценку относительной и абсолютной погрешностей косвенных измерений скорости этой пули по формулам

$$\varepsilon_{v_3} = \sqrt{\left(\frac{\Delta M}{\langle M \rangle + \langle m_3 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\langle M \rangle \Delta m_3}{\langle m_3 \rangle (\langle M \rangle + \langle m_3 \rangle)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{\langle x \rangle}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta g}{\langle g \rangle}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta l}{\langle l \rangle}\right)^2} ;$$

$$\Delta v_3 = \varepsilon_{v_3} \cdot \langle v_3 \rangle .$$

Результат внесите в табл. 1.

12. Вычислите скорости пуль $\langle v_1 \rangle$ и $\langle v_2 \rangle$ с другими массами. Погрешность для этих проведённых опытов оценивать не надо. Результаты внесите в табл. 2 и 3.

13. Постройте ожидаемый график зависимости скорости пули $\langle v \rangle$ от величины $\sqrt{\frac{1}{m}}$ для диапазона численных значений, соответствующего используемым в опытах массам пуль и полученным для них скоростям.

14. Нанесите на этот же график точки, соответствующие полученным в опытах значениям скорости для каждой пули.

15. Укажите на графике для каждой экспериментальной точки диапазон, внутри которого лежит истинное значение скорости, то есть графически укажите найденную погрешность. При этом считайте, что оценка погрешности, найденная для скорости только одной пули, является такой же для скоростей остальных пуль.

16. Запишите результаты измерений в стандартной форме:

$$x = (\langle x \rangle \pm \Delta x) \text{ мм}$$

$$v_3 = (\langle v_3 \rangle \pm \Delta v_3) \text{ м/с}$$

$$\varepsilon_x = \dots \%$$

$$\varepsilon_{v_3} = \dots \%$$

$$\alpha = \dots$$

$$\alpha = \dots$$

17. Сравнив полученные экспериментальные результаты с ожидаемой теоретической зависимостью, сделайте выводы.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под упругим и неупругим центральным ударом тел?
2. Что такое импульс тела и импульс силы?
3. Запишите законы сохранения импульса и энергии для абсолютно упругого удара.
4. Запишите закон сохранения импульса и закон изменения энергии для абсолютно неупругого удара.
5. Выведите расчётную формулу (4) для определения скорости пули исходя из законов сохранения энергии и импульса.
6. Как с помощью баллистического маятника определяется скорость пули в данной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Упражнение №1. Проверка основного закона динамики вращательного движения

Цель работы – экспериментально проверить основной закон динамики вращательного движения твёрдого тела вокруг неподвижной оси с помощью маятника Обербека (установить зависимость углового ускорения тела от момента действующих сил и проверить зависимость момента инерции тела от размеров вращающегося тела).

Приборы и принадлежности: маятник Обербека, набор грузов, линейка, электронный секундомер.

Теоретические сведения

Рассмотрим некоторые основные кинематические и динамические величины, характеризующие вращательное движение твёрдого тела.

Вращательным движением вокруг неподвижной оси называется такое движение тела, при котором все его точки описывают в параллельных плоскостях концентрические окружности, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.