

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

МЕХАНИКА

Часть 2.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА
И ЭНЕРГИИ

Практикум для вузов

Составители:
В.И. Кукуев,
Е.С. Рембеза

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2015

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М-2.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы – практическое применение законов сохранения импульса и энергии для измерения скорости полета пули.

ВВЕДЕНИЕ

Баллистическим маятником называется тело массы M , подвешенное на длинных тонких нитях, которое может колебаться вокруг горизонтальной оси O (рис. 1).

Для определения скорости пули, летящей в горизонтальном направлении со скоростью \vec{v} , используется неупругий удар, в результате которого выстреленная пуля, имеющая массу m , застревает в центре маятника и отклоняется вместе с ним, поднимаясь на высоту h . Вследствие большой длины нитей маятника при ударе угол отклонения от вертикали очень невелик, и приближенно можно считать, что сила тяжести уравновешена силой натяжения нити. Поэтому для неупругого удара можно записать закон сохранения импульса:

$$m\vec{v} = (m + M)\vec{V}, \quad (1)$$

где \vec{v} – первоначальная скорость пули, \vec{V} – скорость после удара.

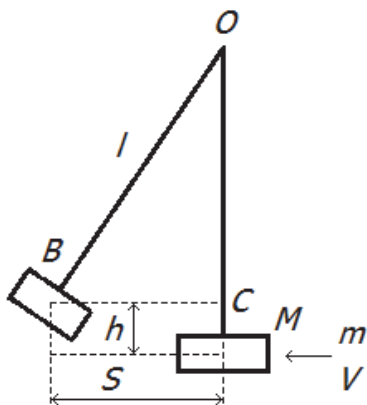


Рис. 1. Схема баллистического маятника

Проецируя на горизонтальную ось векторное уравнение (1), получим:

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

откуда определяется скорость пули по формуле

$$v = \frac{m + M}{m} V. \quad (2)$$

3. Физический практикум. Механика и молекулярная физика / под ред. В.И. Ивероной. – М. : Наука, 1967. – 353 с., ил.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы называются консервативными и неконсервативными? Примеры таких сил.

2. Когда выполняется закон сохранения механической энергии? Обосновать возможность применения его в данной работе.

3. Закон сохранения импульса для вектора импульса и отдельных его проекций. Получить законы сохранения импульса и механической энергии как первые интегралы уравнения движения.

4. Особенности упругого и неупругого ударов.

5. Вывести рабочую формулу для определения скорости пули.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

М-2.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ МЕТОДОМ КРУТИЛЬНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы – практическое применение законов сохранения момента импульса и энергии для измерения скорости пули.

ВВЕДЕНИЕ

После каждого попадания пули в маятник (см. его описание) он начинает колебаться вокруг своей вертикальной оси. Так как время соударения τ много меньше периода колебаний T , то маятник не успевает заметно отклониться от положения равновесия, и во время неупругого удара систему можно считать замкнутой, так как внешняя сила тяжести уравновешена силой натяжения проволоки. Поэтому момент внешних сил можно считать равным нулю и для неупругого удара записать закон сохранения момента импульса:

$$mvl = (I_1 + ml^2)\omega, \quad (1)$$

где m – масса пули, v – ее скорость, l – расстояние от оси вращения маятника до точки удара пули, ω – угловая скорость маятника, I_1 – момент инерции маятника. Если пренебречь силой трения, то можно применить закон сохранения механической энергии для вращательного движения маятника с пулей после удара:

$$\frac{1}{2}(I_1 + ml^2)\omega^2 = \frac{1}{2}D\varphi^2, \quad (2)$$

где D – постоянная момента упругих сил (модуль кручения), φ – наибольший угол поворота маятника.

Из уравнений (1) и (2) получаем:

$$v = \sqrt{D(I_1 + ml^2)} \cdot \frac{\varphi}{ml} \quad (3)$$

Так как момент инерции пули ml^2 во много раз меньше момента инерции маятника I_1 , то им можно пренебречь, и уравнение (3) примет вид:

$$v = \frac{\varphi}{ml} \sqrt{DI_1}. \quad (4)$$

Необходимо определить I_1 и D . Будем рассматривать малые колебания маятника (угол отклонения маятника не более $5-6^\circ$), тогда уравнение движения баллистического маятника будет линейным:

$$I_1 \ddot{\alpha} = -D\alpha,$$

где α – угол поворота маятника, $\ddot{\alpha}$ – угловое ускорение. Решение этого уравнения приводит к выражению для периода колебаний

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{D}}, \quad (5)$$

откуда

$$D = 4\pi^2 \frac{I_1}{T_1^2}. \quad (6)$$

Если изменить момент инерции маятника путем изменения положения 2 грузов массы M относительно оси вращения, то

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{D}}. \quad (7)$$

Из уравнений (5) и (7) получаем:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{T_1^2}{T_2^2}, \quad (8)$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = \frac{I_1}{T_1^2} \cdot (T_1^2 - T_2^2),$$

откуда

$$I_1 = \frac{T_1 \Delta I}{T_1^2 - T_2^2}. \quad (9)$$

Подставим (6) и (9) в уравнение (4) и получим:

$$v = \frac{2\pi\varphi}{ml} \cdot \frac{T_1}{T_1^2 - T_2^2} \cdot \Delta I. \quad (10)$$

Величину ΔI можно определить, используя свойство аддитивности момента инерции и считая грузы материальными точками:

$$I_1 = I_0 + 2MR_1^2, \quad (11)$$

$$I_2 = I_0 + 2MR_2^2, \quad (12)$$

где I_0 – момент инерции маятника без подвижных грузов, I_1 – момент инерции маятника, когда оба груза находятся на расстоянии R_1 от оси вращения, I_2 – момент инерции, когда оба груза находятся на расстоянии R_2 , M – масса одного груза.

Пусть $R_1 > R_2$, тогда из уравнений (11) и (12) получаем:

$$I_1 - I_2 = \Delta I = 2M(R_1^2 - R_2^2). \quad (13)$$

Уравнения (10) и (13) окончательно дают рабочую формулу для вычисления скорости пули:

$$v = \frac{4\pi\phi MT_1(R_1^2 - R_2^2)}{ml(T_1^2 - T_2^2)}. \quad (14)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И ЗАДАНИЙ

Приборы и принадлежности: крутильный баллистический маятник FPM-09, отсчетная угловая шкала, стреляющее устройство, универсальный миллисекундомер FPM-14, набор пуль, весы, разновесы.

Общий вид баллистического маятника показан на рис. 1. Основание 1 с расположенным на нем миллисекундомером 15 оснащено регулирующими ножками 2, которые позволяют выравнивать прибор. В основании закреплена колонна 3, на которой закреплены верхний 4, нижний 5 и средний 6 кронштейны. К среднему кронштейну прикреплено стреляющее устройство 7, а также прозрачный экран с нанесенной на него угловой шкалой 8 и фотоэлектрический датчик 9. Кронштейны 4 и 5 имеют зажимы, служащие для крепления стальной проволоки 13, на которой подвешен маятник, состоящий из двух мисочек, наполненных пластилином 10, двух перемещающихся грузов 11, двух стержней 12, водилки 14.

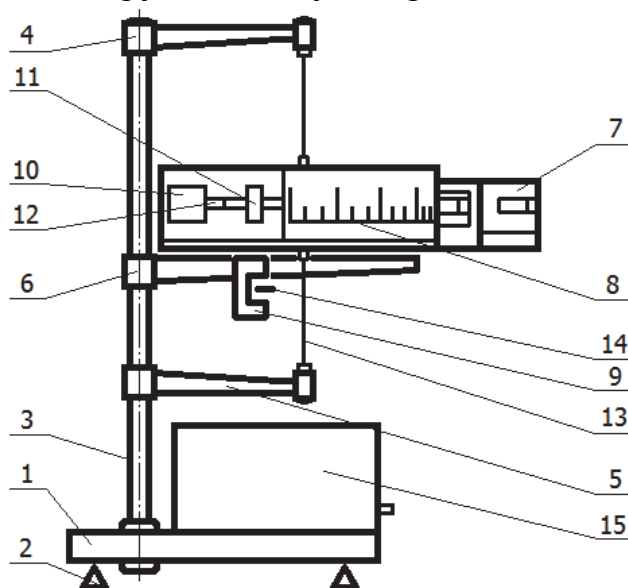


Рис. 1. Крутильный баллистический маятник