

## Лабораторная работа № 6

### **Определение скорости полёта пули при помощи баллистического маятника**

*Цель работы: Определение скорости полёта пули при помощи баллистического маятника.*

#### Краткая теория

Скорость полёта пули обычно достигает значительной величины: у духового ружья она составляет 150-200 м/с, а у боевой винтовки 1000 м/с. Поэтому прямое измерение скорости, т. е. определение времени, за которое пуля проходит известное расстояние, требует специальной аппаратуры. Много проще измерить скорость пули косвенными методами, среди которых широко распространены методы, основанные на неупругом соударении.

*Удар* – столкновение двух или более тел, при котором взаимодействие длится очень короткое время.

*Абсолютно упругий удар* – столкновение двух тел, в результате которого в обоих взаимодействующих телах не остается никаких деформаций и вся кинетическая энергия, которой обладали тела до удара, после удара снова превращается в кинетическую энергию (выполняются законы сохранения импульса и сохранения механической энергии).

*Абсолютно неупругий удар* – столкновение тел, в результате которого тела объединяются, двигаясь дальше как единое целое (не выполняется закон сохранения механической энергии т. к. вследствие деформации часть кинетической энергии переходит во внутреннюю энергию тел).

Пусть летящая пуля испытывает неупругий удар со свободным неподвижным телом значительно большей массы. После удара тело и пуля начинают двигаться вместе, причём их скорость во столько раз меньше скорости пули, во сколько раз масса пули меньше массы тела (этот результат легко получить с помощью закона сохранения количества движения). Если теперь определить сравнительно небольшую скорость тела с пулей, то легко можно вычислить и скорость полёта пули.

Используемый в настоящей работе баллистический маятник представляет собой небольшую цилиндрическую коробку, заполненную вязким веществом (глиной с глицерином или пластилином) и укрепленную на стержне жестко соединенном с осью вокруг которой маятник может совершать свободные колебания.

Со стороны пушки коробка маятника открыта и пуля проникания внутрь застревает в вязкой среде, теряя свою начальную скорость, сообщает маятнику импульс, под действием которого он отклоняется от исходного вертикального положения на угол  $\alpha$ .

Выстрел пуль производится из небольшой пружинной пушки: нажимая на рычаг, освобождают сжатую пружину, которая выбрасывает пулю в направлении коробки маятника.

В данной работе для определения скорости полёта пули используются два физических закона: закон сохранения импульса для замкнутых систем (в замкнутой системе тел полный импульс системы не изменяется со временем) и закон сохранения энергии (полная энергия консервативной системы тел не изменяется со временем).

Для рассмотрения прямого центрального неупругого соударения двух тел запишем закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{V} + m_2\vec{V}, \quad (1)$$

где  $m_1$  - масса пули;

$m_2$  - масса маятника;

$V_1$  - скорость пули в момент соударения;

$V_2$  - скорость маятника в момент соударения;

$V$  - скорость пули и маятника в первый момент после удара.

Так как до соударения маятник находился в покое ( $V_2=0$ ), то слагаемое  $m_2V=0$  и уравнение (1) можно записать в виде:

$$m_1\vec{V}_1 = (m_1 + m_2)\vec{V}. \quad (2)$$

С другой стороны, к пуле, застрявшей в маятнике, и маятнику может быть применён закон сохранения и превращения энергии:

$$\frac{(m_1 + m_2) \cdot V^2}{2} = (m_1 + m_2)gh. \quad (3)$$

Левая часть этого уравнения даёт выражение для кинетической энергии системы в первый момент после удара, а правая для потенциальной энергии системы в момент достижения наибольшего отклонения маятника, где  $g$  означает ускорение свободного падения, а  $h$  высоту подъёма центра тяжести маятника с пулей (рис. 1)

Решая совместно уравнения (2) и (3) выразим скорость полета пули до соударения:

$$V_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

Между высотой  $h$  и углом отклонения, как видно из рис.1, существует простая связь:

$$h = a - a \cdot \cos \alpha = 2a \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (5)$$

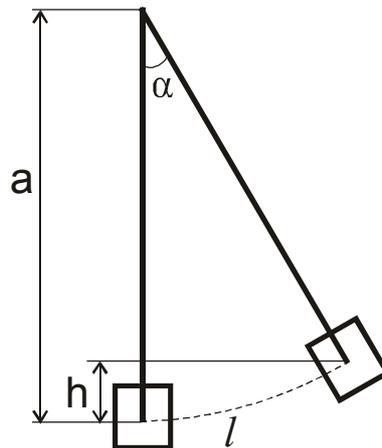


Рис. 1. Схема отклонения маятника

Если принять во внимание малость величины угла отклонения  $\alpha$ , то можно с некоторым приближением считать имеющим место равенство:

$$\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{l}{2a}. \quad (6)$$

Высоту  $h$  можно представить, подставив (6) в (5), как

$$h = \frac{l^2}{2a}. \quad (7)$$

Выражение для скорости пули (подставив (7) в (4)) примет вид:

$$V_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} l_0 \sqrt{\frac{g}{a}}, \quad (8)$$

где  $a$  – расстояние от оси вращения до центра тяжести маятника с пулей;  $l_0$  – длина дуги, стягивающей угол  $\alpha$ .

В этой формуле не учитываются силы, которые делают колебания маятника затухающими, а именно сила трения в опорах маятника и сопротивление воздуха.

Для их учёта, сделав отсчёт максимальной амплитуды первого отклонения ( $l$ ) при выстреле не останавливая маятник, дают ему сделать 10 полных колебаний ( $n=10$ ) и отсчитывают амплитуду последнего (десятого) колебания ( $l_1$ ).

Счёт полных колебаний производят с момента наибольшего отклонения, которое наблюдается вслед за выстрелом. Уменьшение амплитуды за  $n$  полных колебаний будет  $(l-l_1)$ , а поправка за четверть периода на трение будет:

$$k = \frac{l-l_1}{4n}. \quad (9)$$

Отклонение маятника при выстреле с учётом поправки на трение будет равно:

$$l_0 = l + k. \quad (10)$$

Подставляя (6.10) в (6.8) получим окончательную формулу для определения скорости полёта пули:

$$V_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} (l + k) \sqrt{\frac{g}{a}}. \quad (11)$$

### Выполнение работы

Приборы и материалы: баллистический маятник, пружинная пушка, металлическая пуля, технические весы с разновесами.

На весах определяют массу пули. К массе коробки прибавляют массу стержня (указаны на приборе). Выравнивают поверхность наполнителя, прикрепляют коробку к стержню. Устанавливают маятник указателем против нулевого деления шкалы.

Готовят пушку к выстрелу: снимают пружину, вставляют пулю, прицеливаются и совершают выстрел.

Отсчёт отклонения маятника по шкале производят только в случае застревания в нём пули (если пуля отскочила или не попала в коробку, опыт следует повторить).

Когда пуля застряла в коробке, то один из наблюдателей должен записать значение максимального отклонения маятника. Далее, представив возможность маятнику сделать 10 полных колебаний, записать величину отклонения десятого колебания. После этого извлечь пулю из коробки, выровнять поверхность наполнителя, повторить опыт, вытерев пулю.

Всего нужно произвести пять опытов (выстрелов) и результаты измерений каждого занести в таблицу.

Далее вычислить средние значения  $l$ ,  $\Delta l$ ,  $k$ ,  $\Delta k$  и заполнить табл. 1.

Подставив средние значения величин  $l$  и  $k$  в формулу (11) один раз по средним значениям рассчитать среднее значение скорости полёта пули до встречи с препятствием.

Таблица 1

### Результаты измерений

№	Первоначальное отклонение маятника		Определение затуханий			
	$l$ (см)	$\Delta l$ (см)	$l_1$ (см)	$n$	$k$	$\Delta k$ (см)
1						
2						
3						
4						
5						
	$\bar{l} =$	$\bar{\Delta l} =$	$\bar{l}_1 =$		$\bar{k} =$	$\bar{\Delta k} =$

$$m_1 = \quad ; \Delta m_1 = \quad ; m_2 = m_{\text{коробки}} + m_{\text{стержня}} = \quad ;$$

$$a = \quad ; \Delta a = \quad ; \Delta m_2 = \Delta m_{\text{коробки}} + \Delta m_{\text{стержня}} = \quad .$$

### Вычисление погрешностей

Относительная погрешность рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{\overline{\Delta V_1}}{\overline{V_1}} = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 + m_2} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\overline{\Delta l} + \overline{\Delta k}}{\bar{l} + \bar{k}} + \frac{\Delta a}{2a}. \quad (12)$$

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\overline{\Delta V_1} = E \cdot \overline{V_1}. \quad (13)$$

Окончательный результат:

$$V_{\text{пули}} = \overline{V_1} \pm \overline{\Delta V_1}. \quad (14)$$

Записывают выводы.

## Контрольные вопросы

1. Какая система тел называется замкнутой?
2. Формулировка закона сохранения импульса.
3. Какой удар называется упругим? неупругим? как выглядит запись закона сохранения импульса для каждого из них?
4. Формулировка закона сохранения и превращения энергии и где он проявляется в данной работе.
5. Через какие параметры определяется скорость пули в данной работе и вид расчётной формулы.
6. Как вычисляются погрешности измерений в данной работе.