

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет»

Методические указания
к лабораторной работе
№ 1.10

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЁТА ПУЛИ
С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО
БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА**

г. Днепропетровск
2011

Методические указания к лабораторной работе № 1.10 “Определение скорости полёта пули с помощью крутильного баллистического маятника” по разделу “*Физические основы механики*” курса физики для студентов всех специальностей.

Сост.: И.П.Гаркуша.

Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ», 2011 г.

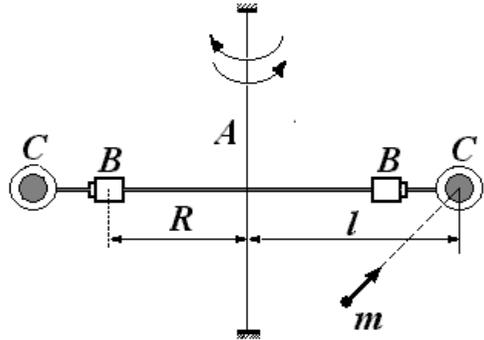
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЁТА ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучить законы вращательного движения и определить скорость полета пули с помощью крутильного баллистического маятника.

Описание установки и теория метода

Схема эксперимента изображена на рисунке. Пуля массой m , выпущенная из пружинного пистолета, попадает в мишень, укрепленную на горизонтальном стержне, которая вместе с проволокой A образует крутильный маятник.

По стержню могут перемещаться два металлических цилиндра B . На концах стержня закрепляются металлические чашечки C , заполненные пластилином. Маятник укреплен на кронштейне при помощи проволоки, деформация которой создает момент упругих сил. После попадания пули в маятник он начинает вращаться вокруг своей вертикальной оси.



Если пренебречь моментом сил трения, то для описания движения можно воспользоваться двумя законами сохранения.

1. Применим закон сохранения момента импульса.

Моментом импульса L материальной точки A относительно неподвижной точки O называется векторное произведение радиус-вектора \mathbf{r} , проведенного из точки O в точку A , и вектора импульса $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$:

$$L = [\mathbf{r} \cdot \mathbf{p}].$$

Проекция момента импульса на ось вращения Z равна

$$L_z = J_z \cdot \omega,$$

где ω – угловая скорость вращения тела вокруг оси, J_z – момент инерции тела.

До удара моментом импульса относительно оси вращения обладает только пуля, которая движется вдоль прямолинейной траектории. Этот момент импульса равен

$$L_1 = mvl,$$

где m – масса пули, v – ее скорость, l – расстояние от оси вращения маятника до точки удара пули.

После застревания пули момент импульса системы можно записать как сумму момента импульса маятника $I_1\omega$, где I_1 – момент инерции стержня, ω – угловая скорость, и момента импульса застрявшей в нем пули $ml^2\omega$, где ml^2 – момент инерции пули.

Следовательно, по закону сохранения момента импульса

$$mvl = (J_1 + ml^2)\omega. \quad (1)$$

2. Применим теперь **закон сохранения механической энергии** (после удара). Приравняем стартовую кинетическую энергию маятника с пулей потенциальной энергии закрученной проволоки. Закон сохранения энергии дает

$$\frac{1}{2}(J_1 + ml^2)\omega^2 = \frac{1}{2}D\varphi^2, \quad (2)$$

где φ – максимальный угол поворота маятника, D – модуль кручения проволоки.

Из этих уравнений получаем

$$v^2 = \frac{D\varphi^2}{m^2l^2}(J_1 + ml^2). \quad (3)$$

Так как момент инерции пули ml^2 во много раз меньше, чем I_1 , то уравнение (3) может быть записано в виде

$$v^2 = \frac{D\varphi^2 J_1}{m^2l^2}. \quad (4)$$

Известно, что период крутильных колебаний

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{J_1}{D}}. \quad (5)$$

Для исключения величины D поступают следующим образом. Изменяют расстояние между грузами, тогда изменяется и момент инерции маятника. Его новое значение равно I_2 , а период колебаний, соответственно, T_2 .

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{J_2}{D}}. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) дают

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{T_1^2}{T_2^2}. \quad (7)$$

Если обозначить

$$J_1 - J_2 = \Delta J, \quad (8)$$

то с учетом (7) можно записать

$$J_1 = \frac{T_1^2}{T_1^2 - T_2^2} \Delta J. \quad (9)$$

Уравнения (4)(5) и (9) дают

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

Величину ΔJ можно определить, пользуясь теоремой Штейнера. Из этой теоремы следует что

$$J_1 = J_0 + 2m_{zp} R_1^2, \quad (11)$$

$$J_2 = J_0 + 2m_{zp} R_2^2, \quad (12)$$

где J_0 – момент инерции маятника без грузов (пустого стержня); J_1 – момент инерции, когда оба груза находятся на расстоянии R_1 от оси вращения; J_2 – момент инерции, когда оба груза находятся на расстоянии R_2 от оси вращения, m_{zp} – масса одного груза.

Пусть $R_1 > R_2$, тогда из уравнений (10) и (11) получаем

$$J_1 - J_2 = \Delta J = 2m_{zp}(R_1^2 - R_2^2). \quad (13)$$

Уравнения (10) и (13) окончательно дают

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

Измерения

1. Оба цилиндра максимально раздвигают вдоль стержня. Измеряют величину R_1 , т.е. расстояние между осью маятника и серединой одного из цилиндров. (На стержне нанесены сантиметровые деления).

2. Готовят пружинный пистолет к выстрелу, ось ствола пистолета должна быть перпендикулярна к оси горизонтального стержня маятника. Включают прибор в сеть, затем нажимают клавиши "СЕТЬ" и "СБРОС".

3. Выстреливают из пистолета и измеряют по шкале максимальный угол φ отклонения маятника.

4. Для измерения периода колебаний T_1 , не останавливая маятника, отсчитывают по секундомеру десять полных колебаний и определяют среднее значение величины периода.

5. Измеряют расстояние l от оси вращения маятника до места попадания пули в мишень.

6. Уменьшив момент инерции маятника (максимально сблизив цилиндры), измеряют R_2 – расстояние между осью маятника и серединой одного из цилиндров.

7. Для измерения периода колебаний T_2 маятник отклоняют вручную примерно на такой же угол и отпускают. При этом угол по шкале измерять не следует. Определение величины периода T_2 производится так же, как и величины T_1 .

8. По формуле (14) определяют скорость пули. Масса цилиндрического груза $m_{гр} = 0,2$ кг, масса пули указана на приборе.

9. Опыт повторяют еще два раза.

Ответ записывают в виде:

$$v = \langle v \rangle \pm \Delta v \text{ м/с при } \alpha = \dots$$

Контрольные вопросы

1. Что называется моментом инерции частицы и тела?
2. Что называется моментом импульса частицы относительно оси?
3. Что называется моментом импульса тела, вращающегося вокруг оси симметрии?
4. Чему равна кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси?
5. Сформулируйте закон сохранения момента импульса. При каких условиях он выполняется?
6. Почему закон сохранения механической энергии применяется к крутильному маятнику после удара?

Таблица

№ п/п	R_1 , м	R_2 , м	φ , рад	T_1 , с	T_2 , с	l , м	v_i , м/с	$\langle v \rangle$, м/с	Δv_i , м/с	Δv_i^2 , (м/с) ²	$S_{\langle v \rangle}$	Δv , м/с	E , %
1													
2													
3													