

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 14а

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

Описание составила доц. Скипетрова Л.А.

Москва - 2011

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА.

Цель работы: определение скорости пули с помощью баллистического крутильного маятника. Расчет скорости пули проводится с использованием уравнения движения твердого тела, законов сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Дополнительная теория эксперимента.

Крутильный баллистический маятник представляет собой тело, способное совершать упругие крутильные колебания вокруг вертикальной оси, и используется для определения скорости пули.

Выведем формулу для определения скорости пули. После попадания пули в маятник он начинает вращаться вокруг вертикальной оси. Если пренебречь при его движении моментом сил трения, то можно воспользоваться двумя законами сохранения: законом сохранения момента импульса и законом сохранения механической энергии.

На основании закона сохранения момента импульса, считая удар полностью неупругим, а пулю материальной точкой, можно написать, что момент импульса системы пуля-маятник до удара равен суммарному моменту импульса системы после удара:

$$m V r = (J_1 + m r^2) \Omega , \quad (1)$$

где m - масса пули, v - величина ее скорости, r - величина радиус-вектора пули перед ударом, J_1 - момент инерции маятника, Ω - угловая скорость вращения маятника с пулей сразу после удара.

После удара маятник поворачивается на некоторый угол α . На основании закона сохранения механической энергии получаем, что вся кинетическая энергия переходит в потенциальную, т.е.

$$1/2 (J_1 + m r^2) \Omega^2 = 1/2 D \alpha_0^2 , \quad (2)$$

где α_0 - наибольший угол поворота маятника, D - постоянная момента упругих сил. Из уравнений (1) и (2) получаем

$$V^2 = \frac{D \alpha_0^2}{m^2 r^2} (J_1 + m r^2) . \quad (3)$$

Так как момент инерции пули $m r^2$ во много раз меньше момента инерции маятника J_1 , т.е. $m r^2 \ll J_1$, то из формулы (3) получаем

$$V^2 = \frac{D\alpha_0^2 J_1}{m^2 r^2} . \quad (4)$$

Уравнение движения баллистического маятника может быть записано в виде

$$J_1 \ddot{\alpha} = -D\alpha , \quad (5)$$

где α - угол поворота маятника, $\ddot{\alpha}$ - угловое ускорение. Решением дифференциального уравнения (5) является функция

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_1 t + \phi),$$

где $\omega_1 = \sqrt{D/J_1}$ - собственная частота колебаний маятника, α_0 - максимальный угол отклонения маятника, ϕ - начальная фаза. Тогда период собственных колебаний будет

$$T_1 = 2\pi\sqrt{J_1/D} . \quad (6)$$

Для исключения из формул постоянной упругих сил D можно поступить следующим образом. Изменим момент инерции маятника, изменив расстояние между грузами. Тогда

$$T_1 = 2\pi\sqrt{J_1/D} ,$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{J_2/D},$$

$$J_1 - J_2 = \Delta J,$$

где T_2 - период колебаний при новом значении момента инерции J_2 , ΔJ - разность моментов инерции.

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

Подставляем значение J_1 , найденное в (7), и, используя (6), получим

$$V = \frac{2\pi\alpha_0 T_1}{mr(T_1^2 - T_2^2)} \Delta J . \quad (8)$$

Величину ΔJ можно определить, используя теорему Штейнера. Согласно этой теореме

$$\begin{aligned} J_1 &= J_0 + 2MR_1^2 \\ J_2 &= J_0 + 2MR_2^2, \end{aligned}$$

где J_0 - момент инерции маятника, когда центры тяжести грузов совпадают с осью вращения маятника, J_1 - момент инерции, когда оба груза находятся на

расстояниях R_1 от оси вращения, J_2 - момент инерции, когда оба груза находятся на расстояниях R_2 , M - масса одного груза. Пусть $R_1 > R_2$, тогда

$$\Delta J = J_1 - J_2 = 2M(R_1^2 - R_2^2)$$

С учетом (9) окончательно для скорости пули получаем:

$$V = \frac{4\pi\alpha_0 M T_1 (R_1^2 - R_2^2)}{mr(T_1^2 - T_2^2)} \quad (10)$$

Описание установки. Установка состоит из крутильного маятника, стреляющего устройства (пистолета) и электронного блока, включающего в себя универсальный миллисекундомер и фотоэлектрический датчик для регистрации числа полных периодов колебаний маятника.

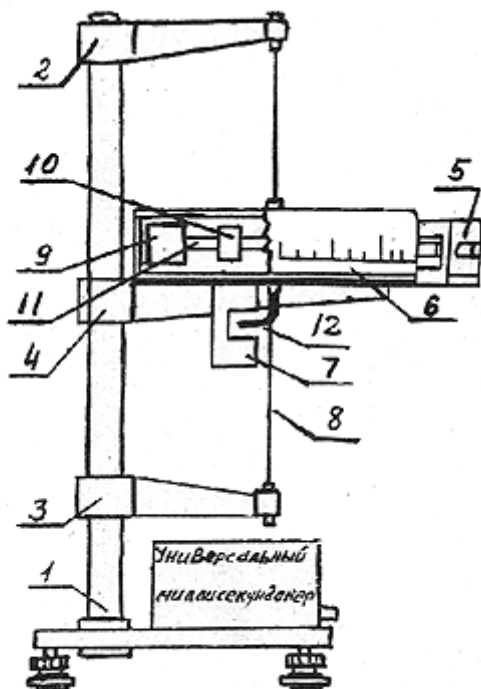


Рис.1

Общий вид баллистического маятника показан на рис.1. Маятник собран из массивного вертикального стержня (1), на котором находятся три кронштейна: верхний (2), нижний (3) и средний (4). К среднему кронштейну прикреплено стреляющее устройство (5), прозрачный экран с нанесенной на него угловой шкалой (6), по которой определяется угол поворота маятника, и фотоэлектрический датчик (7). Пистолет представляет собой закрепленную на установке трубку-ствол, внутри которой находится упругая пружина с направляющим стержнем. Пружина сжимается, пуля, представляющая собой короткий полый металлический цилиндр, надевается на направляющий стержень и опускается в ствол. После освобождения пружины пуля выбрасывается. Кронштейны (2) и (3) имеют зажимы, служащие для крепления стальной проволоки (8), деформация которой создает момент упругих сил. На проволоке подвешен маятник, состоящий из двух полых чашечек, наполненных пластилином (9), двух перемещаемых грузов (10), двух стержней (11) и водилки (12).

Включение электронного блока осуществляется нажатием на клавишу СЕТЬ. При нажатии на , клавишу СБРОС происходит обнуление обоих табло электронного блока. При первом же пересечении маятником светового пучка фотоэлектрической системы происходит запуск электронного секундомера и системы счета периодов колебаний маятника. При нажатии на клавишу СТОП происходит выключение секундомера и системы счета

периодов после завершения очередного колебания. При этом на табло электронного блока высвечивается число полных колебаний N и соответствующее им значение времени t .

Порядок выполнения задачи.

Скорость полета снаряда определяется по формуле (10), в которой r - расстояние от оси маятника до середины одной из чашечек с пластилином, R_1 - расстояние между осью маятника и серединой одного из грузов в первом положении, R_2 - расстояние между осью маятника и серединой одного из грузов во втором положении, причем $R_1 > R_2$.

Измерение скорости снаряда проводится следующим образом.

- а) Максимально приблизить грузы друг к другу ($R_2 - \min$).
- б) Установить маятник в таком положении, чтобы черта на шкале показывала угол $\alpha = 0$.
- в) Выстрелить снаряд из стреляющего устройства.
- г) Измерить максимальный угол отклонения маятника α_0 .
- д) Включить и обнулить счетчик времени.
- е) Отклонить маятник на угол α_0 и пустить его.
- ж) Измерить время для десяти колебаний и вычислить T_2 .
- з) Максимально отдалить друг от друга грузы ($R_1 - \max$) и повторить действия согласно пунктам б, в, г, д, е..
- и) Измерить время для десяти колебаний и вычислить T_1 .
- к) Скорость снаряда V_i вычислить по формуле (10).

После определения скорости пули, следует вычислить погрешность измерений и записать результат с учетом погрешности.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

- 1) Сформулируйте три закона Ньютона.
- 2) Сформулируйте закон сохранения импульса.
- 3) Какие силы называются потенциальными (консервативными) и непотенциальными (неконсервативными).
- 4) Сформулируйте закон сохранения полной механической энергии.
- 5) Дайте определение момента инерции материальной точки.
- 6) Вычислите момент инерции цилиндра относительно оси, проходящей через цент масс. В каком случае при вычислении момента инерции используется теорема Штейнера?
- 7) Выведите формулу для вычисления кинетической энергии тела, вращающегося с постоянной скоростью вокруг неподвижной оси.

- 8) Дайте определение момента силы относительно неподвижной точки и относительно неподвижной оси. Каким образом определяется направление вектора момента силы?
- 9) Дайте определение момента импульса материальной точки относительно неподвижной точки и относительно неподвижной оси. Каким образом определяется направление вектора момента импульса?
- 10) Напишите уравнение моментов.
- 11) Напишите основные уравнения динамики поступательного и вращательного движения твердого тела.
- 12) Расскажите о назначении основных узлов экспериментальной установки.
- 13) Выведите расчетную формулу для вычисления скорости пули.
- 14) Укажите, какие законы сохранения используются при выводе расчетной формулы.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Белов Д.В. «Механика», изд. Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова 1998,
глава III — Механика системы материальных точек,
§§ 11 – 16.
2. Савельев И.В. Курс физики, т.1 М.: Наука, 1989. §§ 16, 24, 27.
3. Савельев И. В. «Курс общей физики» в 5-и книгах.
Книга I «Механика», 1998 г.,
гл. 3. Законы сохранения,
§ 3.2 Кинетическая энергия и работа,
§ 3.5 Потенциальная энергия во внешнем поле сил,
§ 3.7 Закон сохранения энергии,
§ 3.10 Закон сохранения импульса,
§ 3.11 Соударение двух тел.
4. Иванова Т.И. , Пустовалов Г.Е. Настоящий сборник. Механика. Текст лаб. работ. Работа 00- Введение к лабораторным работам на законы сохранения.