

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

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

Методические указания

**к лабораторной работе № 2
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2008

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ПУЛИ
С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО
МАЯТНИКА

Методические указания

к лабораторной работе № 2
по дисциплине «Физика»

Уфа 2008

Составитель Л.В. Рабчук

УДК 531 (07)

ББК 22.2 (я7)

Определение скорости полета пули с помощью крутильного баллистического маятника: Методические указания к лабораторной работе № 2 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Л.В. Рабчук. – Уфа, 2008. – 11 с.

Рассматриваются законы сохранения момента импульса и энергии на примере определения скорости полета пули с помощью крутильного баллистического маятника.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: В.С. Осипов,

Р.К. Газизов

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2008

Составитель РАБЧУК Людмила Васильевна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ПУЛИ
С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО
МАЯТНИКА

Методические указания

к лабораторной работе № 2
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Момент импульса. Законы сохранения момента импульса и энергии.....	4
2.3. Крутильный баллистический маятник.....	6
3. Приборы и принадлежности	9
4. Требования по технике безопасности	9
5. Порядок выполнения работы.....	10
6. Требования к отчету	11
7. Контрольные вопросы	11
Список литературы.....	11

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ КРУТИЛЬНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

1. Цель работы

- 1.1. Изучение законов сохранения момента импульса и энергии.
- 1.2. Определение скорости полета пули по измерению периода колебаний и угла поворота крутильного баллистического маятника.

2. Теоретическая часть

2.1. Момент импульса. Законы сохранения момента импульса и энергии

Метод определения скорости полета пули с помощью крутильного баллистического маятника основан на использовании законов сохранения момента импульса и энергии. Прежде чем остановиться на теории метода, дадим определения момента импульса, консервативной, диссипативной, внутренней и внешней силы, замкнутой системы, кинетической, потенциальной и механической энергии, сформулируем законы сохранения момента импульса и механической энергии.

Моментом импульса материальной точки A относительно неподвижной оси OO' называют вектор, равный

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{v}],$$

где \vec{r} – радиус - вектор, проведенный от оси OO' до точки A .

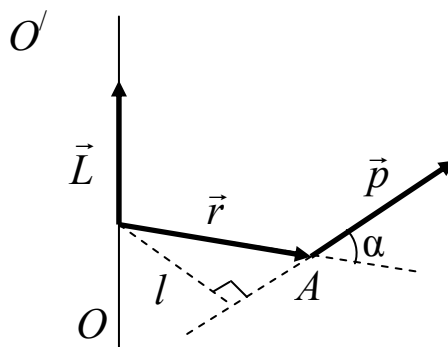


Рис. 2.1

Модуль вектора момента импульса

$$L = r p \sin \alpha = pl,$$

где α – угол между векторами \vec{r} и \vec{p} , l – плечо вектора \vec{p} относительно оси OO' . Направление \vec{L} совпадает с направлением поступательного движения правого винта при его вращении от \vec{r} к \vec{p} (рис. 2.1).

Силой называют векторную физическую величину, являющуюся мерой воздействия на тело со стороны других тел и полей.

Силы, работа которых определяется только начальным и конечным положением тела и не зависит от формы траектории, называют консервативными или потенциальными (например, силу тяжести, силу упругости). Силы, работа которых зависит от траектории перемещающегося тела из одной точки в другую, называют диссипативными (неконсервативными) (например, силу трения, силу сопротивления среды).

Количественной мерой различных форм движения и взаимодействия материи является энергия. В соответствии с различными формами движения и взаимодействия материи энергию подразделяют на механическую, тепловую, электромагнитную, ядерную и другие.

Совокупность материальных точек или тел, выделенных для рассмотрения, называют механической системой. Силы взаимодействия между телами системы называют внутренними. Силы, с которыми на тела системы действуют внешние тела, называют внешними. Если на механическую систему тел внешние силы не действуют, то такую систему называют замкнутой или изолированной.

Механическая энергия является мерой механического движения рассматриваемой системы и механического взаимодействия тел системы друг с другом и с внешними телами.

Сумму потенциальной и кинетической энергии называют полной механической энергией.

Кинетической энергией механической системы называют энергию механического движения системы. Изменение кинетической энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно работе всех сил, действующих на систему,

$$\Delta E = A_{12}.$$

Потенциальная энергия определяется расположением тел системы и характером сил взаимодействия между ними.

Согласно закону сохранения механической энергии, полная механическая энергия замкнутой системы частиц, между которыми действуют только консервативные силы, остается постоянной.

Если в замкнутой системе, кроме консервативных сил, действуют диссипативные силы, то полная механическая энергия не сохраняется. Работа диссипативных сил равна изменению полной механической энергии.

Утверждение о том, что момент импульса замкнутой системы остается постоянным, выражает закон сохранения момента импульса.

2.3. Крутильный баллистический маятник

Баллистическим маятником называют тяжелое тело, подвешенное на длинной нити. Крутильный баллистический маятник – это маятник, совершающий повороты вокруг неподвижной оси то в одну, то в другую сторону.

Крутильный баллистический маятник совершает гармонические колебания при малых углах поворота φ , если действующий на него вращающий момент M пропорционален углу поворота

$$M = -D \varphi.$$

Согласно основному уравнению динамики вращательного движения

$$M = J\varepsilon.$$

Следовательно,

$$J\varepsilon = -D\varphi$$

или

$$\ddot{\varphi} + \frac{D}{J}\varphi = 0. \quad (2.11)$$

Сравнения (2.11) с дифференциальным уравнением свободных незатухающих гармонических колебаний

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

получаем

$$\omega_0^2 = \frac{D}{J}$$

или

$$D = \frac{4\pi^2}{T^2} J, \quad (2.12)$$

где T – период колебаний.

Представим маятник в виде стержня, подвешенного на нити длиной l (рис. 2.2).

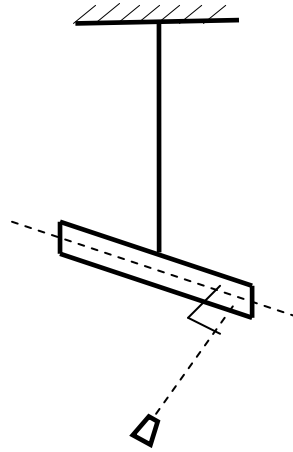


Рис. 2.2

Пуля массы $m_{\text{п}}$, летящая горизонтально со скоростью v , обладает импульсом $p = m_{\text{п}}v$. Согласно закону сохранения момента импульса

$$m_{\text{п}}vr = J\omega, \quad (2.13)$$

где J – момент инерции маятника с пулей относительно оси вращения маятника, ω – угловая скорость маятника, $J\omega$ – момент импульса маятника с пулей, r – расстояние от линии, вдоль которой движется пуля, до оси вращения маятника.

Момент инерции маятника ($J_{\text{м}}$), используемого в данной работе, складывается из момента инерции стационарной части маятника J_0 (провода, стержней, мисочки с пластилином) и момента инерции двух перемещаемых грузов массой $m_{\text{гр}}$

$$J_{\text{м}} = J_0 + 2m_{\text{гр}}R^2,$$

где R – расстояние от грузов до оси вращения.

Момент инерции пули

$$J_{\text{п}} = m_{\text{п}}r^2.$$

Момент инерции маятника с пулей равен

$$J = J_{\text{м}} + J_{\text{п}} = J_0 + 2m_{\text{гр}}R^2 + m_{\text{п}}r^2. \quad (2.14)$$

Упругая сила, возникающая в проволоке при ее закручивании (повороте), будет противодействовать вращению маятника. Согласно закону сохранения энергии, кинетическая энергия маятника (энергия вращательного движения) после взаимодействия с пулей равна потенциальной энергии проволоки при ее закручивании

$$\frac{J\omega^2}{2} = \frac{D\varphi^2}{2}, \quad (2.15)$$

где D – модуль кручения нити (коэффициент момента упругих сил или коэффициент упругости при крутильных колебаниях), φ – угол поворота маятника.

Решая совместно уравнения (2.13) и (2.15) получим

$$v = \frac{\varphi}{mr} \sqrt{JD}. \quad (2.16)$$

С учетом (2.12) уравнение (2.16) запишем в виде

$$v = \frac{2\pi\varphi}{mrT} J. \quad (2.17)$$

Из уравнения (2.12) следует

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{J}{D} = 4\pi^2 \frac{J_0 + 2m_{\text{гр}} R^2 + m_{\text{п}} r^2}{D}. \quad (2.18)$$

Для двух разных положений грузов можно записать

$$\begin{aligned} T_1^2 &= 4\pi^2 \frac{J_0 + 2m_{\text{гр}} R_1^2 + m_{\text{п}} r^2}{D}, \\ T_2^2 &= 4\pi^2 \frac{J_0 + 2m_{\text{гр}} R_2^2 + m_{\text{п}} r^2}{D}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Из уравнений (2.19) следует, что

$$J_0 = \frac{2m_{\text{гр}}(T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2)}{T_2^2 - T_1^2} - m_{\text{п}} r^2. \quad (2.20)$$

С учетом (2.14), (2.17) и (2.20) скорость полета пули оказывается равной

$$v = \frac{4\pi m_{\text{гр}} \varphi T_1 (R_2^2 - R_1^2)}{m_{\text{п}} r (T_2^2 - T_1^2)}. \quad (2.21)$$

3. Приборы и принадлежности

- Специальная лабораторная установка;
- пуля;
- секундомер;
- линейка.

Общий вид установки для определения скорости полета пули приведен на рис. 3.1. Крутильный баллистический маятник состоит из стержня (1), укрепленного на проволоке (2), на котором располагаются два неподвижных груза (3,4) и мисочка с пластилином (5), в которую будет попадать пуля. Проволока (2) укреплена на кронштейнах (6,7), насаженных на стойку (8). Стойка жестко соединена с основанием (9), горизонтальное положение которой регулируется ножками (10). На стойке также размещаются кронштейн (11) со стреляющим устройством (12), прозрачная шкала углов (13).

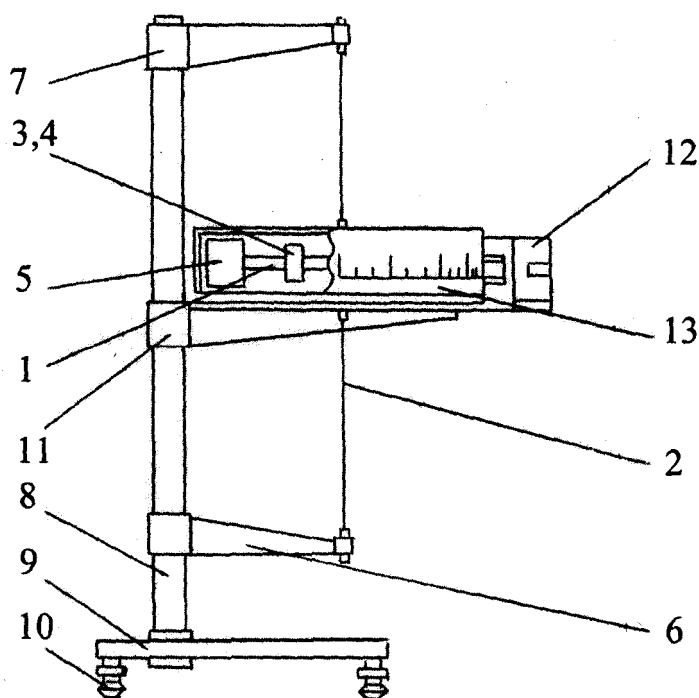


Рис. 3.1.

4. Требования по технике безопасности

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.
2. На стреляющем устройстве пулю располагайте строго в

направляющем стержне, чтобы она не попала в прозрачную шкалу или в аудиторию.

3. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место. Отключите секундомер.

5. Порядок выполнения работы

1. С помощью ножек 10 выровнять прибор, чтобы крутильный баллистический маятник мог совершать свободные колебания.

2. Максимально приблизить грузы друг к другу ($R_1 = R_{\min}$).

3. Установить маятник таким образом, чтобы черта на мисочке совпадала с нулем на угловой шкале 13, и чтобы стержень 1 располагался перпендикулярно стреляющему устройству.

4. Зарядить пулю в стреляющее устройство и сделать выстрел.

5. Измерить угол поворота φ маятника и расстояние r от места попадания пули в мисочку с пластилином до оси вращения маятника.

6. Измерения по пунктам 3-5 провести 3 раза. Вычислить среднее значение $\varphi_{\text{ср}}$ и $r_{\text{ср}}$.

7. Отклонить маятник на угол $\varphi = \varphi_{\text{ср}}$ и измерить с помощью секундомера время 10 колебаний. Измерения повторить еще 2 раза. По среднему времени вычислить период T_1 .

8. Максимально отдалить грузы друг от друга ($R_2 = R_{\max}$). Отклонить маятник на угол $\varphi = \varphi_{\text{ср}}$ и измерить с помощью секундомера время 10 колебаний. Измерения повторить еще 2 раза. По среднему значению времени вычислить период T_2 .

9. По формуле (2.21) вычислить скорость пули, приняв $m = (3,22 \pm 0,01)$ г, $m_{\text{гр}} = (200 \pm 1)$ г, $R_1 = 2$ см, $R_2 = 9$ см. При расчетах угол $\varphi_{\text{ср}}$ выразить в радианах.

10. Все результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

11. Рассчитать погрешность определения скорости полета пули.

Таблица

№ измер	$\varphi_{\text{ср}}$, град	$r_{\text{ср}}$, М	n_1	t_1 , с	$t_{1 \text{ ср}}$, с	T_1 , с	n_2	t_2 , с	$t_{2 \text{ ср}}$, с	T_2 , с
1										
2										

3										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- а) номер и название лабораторной работы;
- б) основные положения теории метода;
- в) основные формулы для выполнения расчетов;
- г) таблицу с результатами измерений;
- д) формулу для расчета погрешности скорости полета пули;
- е) запись конечного результата;
- ж) вывод по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Какой маятник называется крутильным баллистическим маятником?
2. Что называется моментом импульса материальной точки относительно неподвижной точки?
3. Что называется моментом импульса материальной точки (твердого тела) относительно неподвижной оси?
4. Как определяется направление вектора момента импульса?
5. Сформулируйте закон сохранения момента импульса.
6. Запишите закон сохранения момента импульса для системы пуля – маятник. Дайте определения величин, входящих в уравнение.
7. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
8. Какие силы называют консервативными? Какие силы называют диссипативными?
9. Запишите закон сохранения энергии для системы маятник – упругая проволока. Дайте определения величин, входящих в это уравнение.

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Кн. 1 Механика. Молекулярная физики. – СПб.: Лань, 2006.
2. *Детлаф А.Н., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Academia, 2005.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Academia, 2006.

