

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Лабораторная работа № 3

«Измерение скорости полета пули с помощью баллистического маятника»

Методические указания с заданиями
для лабораторных работ

Новосибирский государственный
аграрный университет, 2024

УДК: 53(075)

Кафедра математики и физики

Составители: д-р физ.-мат. наук, проф. *И.В. Ершов*;

ст. преп. *И.М. Дзю*;

ст. преп. М.Г. Алешкевич;

к. с-х. наук, доц. *Л.А. Митина*

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н.П. Кисленко НГАСУ(Сибстрин)

Компьютерный практикум по физике. Лабораторная работа № 3 «Измерение скорости полета пули с помощью баллистического маятника»: метод. указания / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: И.В. Ершов, И.М. Дзю, М.Г. Алешкевич. - Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. – 8 с.

Методическое указание для выполнения лабораторной работы №3 компьютерного практикума по физике составлены в соответствии с действующей программой курса общей физики.

Новосиб. Гос. Аграр. Ун-т. Новосибирск 2024. – 8 с.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЁТА ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

В.В.Монахов, Л.А.Евстигнеев, О.В.Огинец

Цель работы - изучить основные закономерности поведения баллистического крутильного маятника при неупругом соударении.

На рис. 1 показан экран программы, предназначенной для проведения лабораторной работы на основе компьютерной модели. Исследуются свободные колебания крутильного маятника, а также его колебания после попадания в мишень «пули». Проверяется предположение о малости углов отклонения. Находится модуль кручения нити. Проверяются следствия теоремы Гюйгенса – Штейнера. Рассчитывается скорость полёта пули.

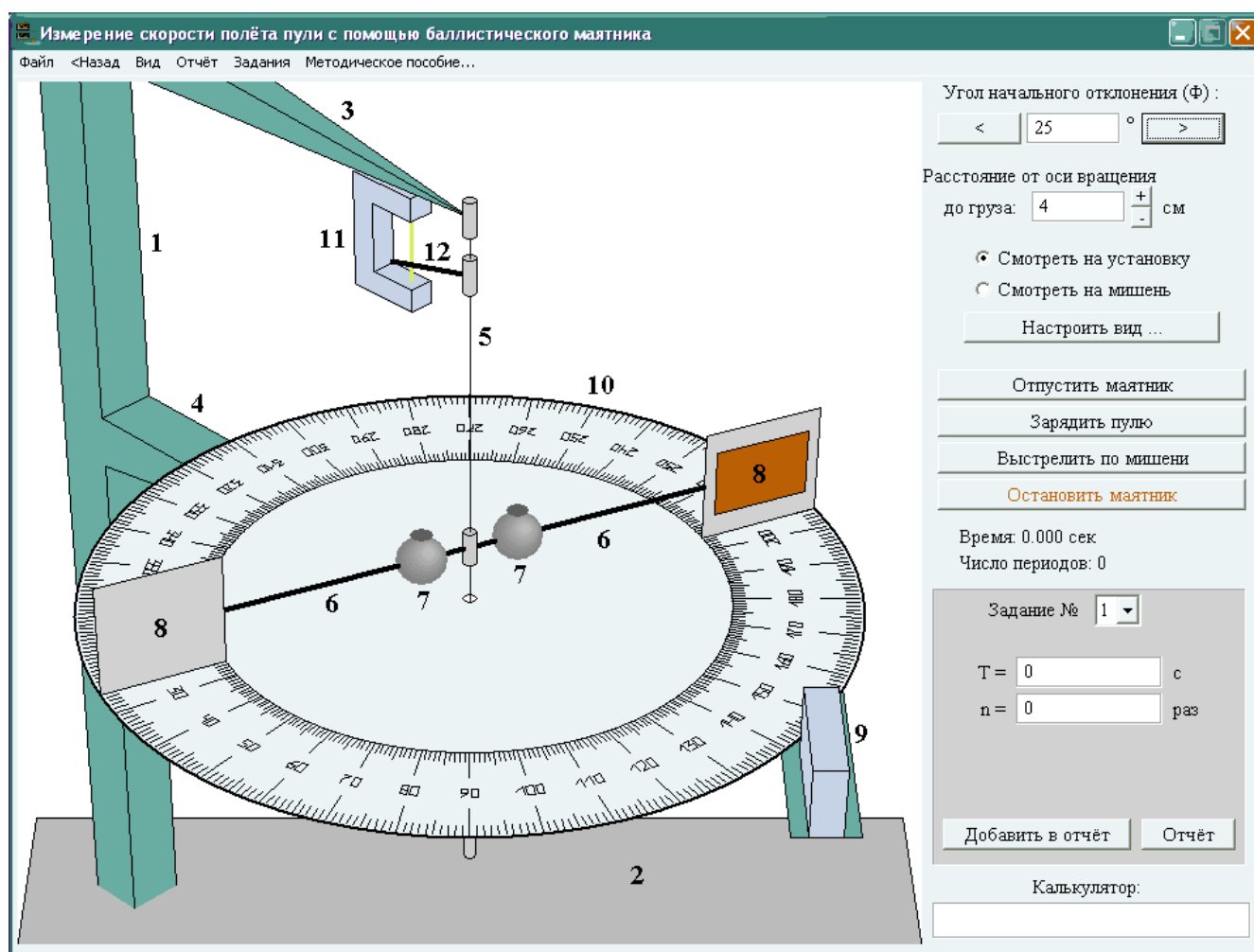


Рис.1. Основное окно программы и схема экспериментальной установки

1. Теоретические основы работы

Абсолютно неупругим ударом называется такой удар, когда столкнувшиеся тела после удара либо движутся с одинаковой скоростью, либо покоятся. При этом кинетическая энергия тел частично или полностью превращается во внутреннюю энергию.

Пусть имеется горизонтальный стержень с двумя одинаковыми грузами с массами m , которые могут перемещаться вдоль стержня (рис.2).

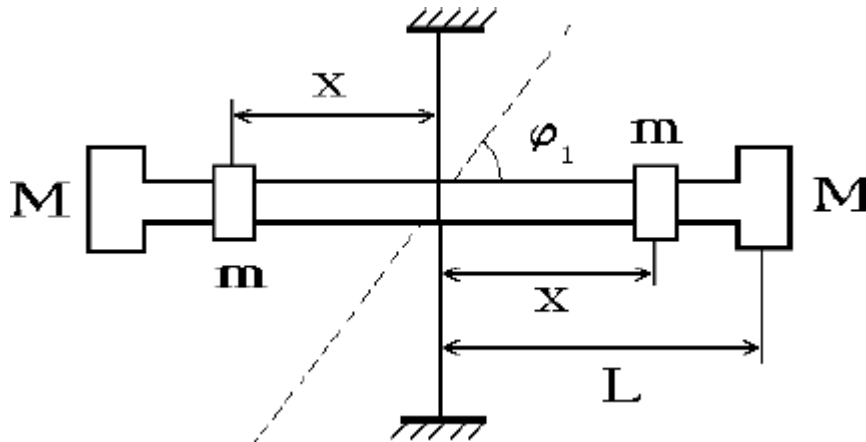


Рис. 2. Схема баллистического крутильного маятника

Стержень подвешен на стальной проволоке, проходящей через его центр и являющейся осью вращения системы. На концах стержня закреплены мишени М. Пуля, летящая с некоторой скоростью v , попадает в мишень М в точке, находящейся от оси вращения на расстоянии L , и прилипает к мишени. Удар можно считать абсолютно неупругим. Тогда, согласно закону сохранения момента импульса для системы пуля–стержень, можно написать:

$$\mu v L = (J_1 + \mu L^2) \omega_\mu, \quad (1)$$

где μ - масса пули, ω_μ - угловая скорость системы после окончания взаимодействия пули с мишенью, v - скорость пули перед ударом, L - расстояние от оси вращения до точки удара пули, J_1 - момент инерции маятника с грузами, закрепленными в определенном положении (момент инерции стержня).

При этом момент инерции пули по отношению к ее вращению вокруг собственной оси пренебрегаем (считаем пулю точечной).

После удара система стержень–пуля совершает крутильные колебания с начальной угловой скоростью ω_μ . Обозначим как J полный момент инерции маятника. Если пули нет, то $J = J_1$, иначе, как в данном случае, $J = J_1 + \mu L^2$.

Через некоторое время кинетическая энергия системы, равная $J \omega_\mu^2 / 2$, согласно закону сохранения энергии (в пренебрежении неупругими эффектами), полностью перейдет в энергию упругих деформаций нити $k \phi_\mu^2 / 2$:

$$\frac{J \omega_\mu^2}{2} = \frac{k \phi_\mu^2}{2}, \quad (2)$$

где ϕ_μ - наибольший угол поворота стержня, k - постоянная упругих сил (модуль кручения). Из уравнения (2) получаем $J = k \phi_\mu^2 / \omega_\mu^2$, и, подставляя в (1), имеем:

$$v = \frac{k \phi_\mu^2}{\omega_\mu \mu L}. \quad (3)$$

Расстояние от оси вращения до точки удара пули L можно легко измерить, наибольший угол поворота стержня ϕ_{μ} может быть определен визуально по шкале маятника, а как можно вычислить значения k_n и μ , описано ниже.

В нашем случае система совершает крутильные колебания, которые в отсутствии трения описываются уравнением движения

$$J\ddot{\phi} = -k\phi, \quad (4)$$

где $\ddot{\phi}$ – угловое ускорение маятника. Период таких колебаний, как следует из (4), равен

$$T = 2\pi\sqrt{J/k} \quad (5)$$

Меняя положение грузов m на стержне (а значит и момент инерции системы J), мы изменяем период колебаний маятника. При этом грузы надо сдвигать одновременно, чтобы ось симметрии продолжала проходить по нити подвеса.

На основании теоремы Гюйгенса - Штейнера момент инерции системы J_1 при первом положении грузов можно представить в виде:

$$J_1 = J_0 + 2(J_{\omega} + mX_1^2), \quad (6)$$

а при втором положении:

$$J_2 = J_0 + 2(J_{\omega} + mX_2^2), \quad (7)$$

где m - масса одного груза, J_0 - момент инерции маятника без грузов относительно оси, проходящей через нить подвеса, J_{ω} - момент инерции одного груза относительно оси, проходящей через его центр масс параллельно оси вращения, X_1 и X_2 - расстояния от центра массы груза до оси вращения при первом и втором положении грузов, соответственно.

Из (5) получаем для квадратов периодов колебаний при первом и втором положениях грузов:

$$T_1^2 = \frac{(2\pi)^2 J_1}{k}, \quad T_2^2 = \frac{(2\pi)^2 J_2}{k},$$

откуда:

$$T_1^2 - T_2^2 = \frac{4\pi^2(J_1 - J_2)}{k}. \quad (8)$$

С другой стороны, из (6) и (7) имеем:

$$J_1 - J_2 = 2m(X_1^2 - X_2^2), \quad (9)$$

поэтому

$$T_1^2 - T_2^2 = \frac{(2\pi)^2 2m(X_1^2 - X_2^2)}{k},$$

т. е.

$$k = \frac{(2\pi)^2 2m(X_1^2 - X_2^2)}{T_1^2 - T_2^2}. \quad (10)$$

Таким образом, зная массу грузов m и измерив значения периодов T_1 и T_2 при положении грузов X_1 и X_2 , можно найти модуль кручения нити k . Зная k , легко найти массу и скорость пули. Действительно, из (5) имеем:

$$T_{\mu} = 2\pi\sqrt{\frac{J_1 + \mu L^2}{k}} = \frac{2\pi}{\omega_{\mu}}, \quad (11)$$

где T_1 - период колебания маятника с прилипшей пулей.

Тогда, выражая в (11) μ через остальные величины, получаем:

$$\mu = \frac{k}{4\pi^2 L^2} (T_\mu^2 - T_1^2), \quad (12)$$

где T_1 - период колебаний маятника с тем же положением грузов, но без пули. При этом измерение периода колебания маятника T_μ можно провести, прилепив ручную пулю к мишени, и производить выстрел не обязательно.

Теперь, подставляя выражения для μ в (3), мы можем вычислить скорость пули:

$$v = \frac{2\pi\phi_\mu^2 T_\mu L}{T_\mu^2 - T_1^2}. \quad (13)$$

Таким образом, для вычисления скорости полета пули нам нужно измерить L (расстояние от нити до точки прилипания пули), максимальный угол отклонения после выстрела, периоды колебаний маятника T_μ и T_1 (с прилипшей пулей и без нее).

2. Описание экспериментальной установки

Баллистический маятник изображен на рис.1. На вертикальной стойке 1 основания 2 крепятся кронштейны 3 и 4. Между ними на стальной проволоке 5 закреплен подвес 6, представляющий собой стальной стержень, по которому в горизонтальном направлении перемещаются два груза 7 равной массы. На концах стержня находятся мишени 8. На кронштейне 4 крепится пружинное пусковое устройство 9, предназначенное для запуска "пули". Поверх кронштейна 4 располагается стол, на котором нанесена шкала 10 для определения угла отклонения маятника (в градусах). Снизу верхнего кронштейна 3 располагается фотоэлектрический датчик 11, служащий для измерения периодов колебаний маятника. Во время колебаний из-за вращения проволоки штыврь 12 пересекает луч фотоэлектрического датчика, и происходит выдача сигнала на компьютер. Время между двумя такими пересечениями считается периодом колебаний маятника.

3. Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение периодов колебаний маятника

1. Отклоните маятник на заданный угол (пункт ввода "Угол начального отклонения") и нажмите кнопку "Отпустить маятник. После совершения маятником выбранного вами числа колебаний n нажмите кнопку "Отпустить маятник" и занесите результаты в отчёт (кнопка "Добавить в отчёт").

2. Проведите серию измерений для различных значений n . В отчёте автоматически будет построен график зависимости периода T от n .

3. Сделайте вывод о том, с какой точностью измеряется период колебаний, и о зависимости или независимости периода колебаний от числа колебаний маятника.

Задание 2. Измерение зависимости периодов колебаний от начальных углов отклонения

1. Переключите программу с помощью выпадающего списка на задание 2.

2. Измерьте зависимость периода колебаний T от начального угла отклонения маятника ϕ_0 , добавляя в отчёт результаты измерений аналогично тому, как это делалось в задании 1. Целесообразно проводить измерения для большого числа периодов для того, чтобы добиться лучшей точности.

3. На основании результатов измерений сделайте вывод о справедливости или не справедливости уравнения (4) для таких углов отклонения ϕ , у которых нельзя считать

$\sin \phi \approx \phi$. Сделайте вывод о том, можно ли для рассматриваемой системы считать угол $\phi = \frac{\pi}{2}$ малым.

Задание 3. Измерение зависимости периодов колебаний от положения грузов

1. Переключите программу с помощью выпадающего списка на задание 3.
2. Измерьте зависимость $T(x)$ для различных расстояний грузов x от оси маятника.
3. Рассчитайте значение модуля кручения k по формуле (10) для нескольких выбранных значений T_1 и T_2 .
4. Оцените погрешность определения k .

Задание 4. Определение массы пули

1. Переключите программу с помощью выпадающего списка на задание 4.
2. Постройте график $J(x)$ величины момента инерции маятника для различных положений x груза. Он рассчитывается по полученной зависимости $T(x)$. Проверьте качественное соответствие результатов теореме Гюйгенса – Штейнера.
3. Определите массу пули по формуле (12).
4. Оцените погрешность определения массы.

Задание 5. Измерение скорости полёта пули

1. Переключите программу с помощью выпадающего списка на задание 5.
2. Установите груз в фиксированное положение x , отклоните маятник и измерьте период T_1 его колебаний.
3. Пружинное ружьё зарядите пулей, маятник приведите в состояние покоя и произведите выстрел.
4. По шкале определите максимальный угол отклонения после прилипания пули.
5. Измерьте период T_{μ} колебаний маятника с прилипшей пулей.
6. Измерьте расстояние от центра оси вращения до точки прилипания пули.
7. Используя эти результаты, рассчитайте скорость пули.
8. Проведите серию таких измерений для различных положений грузов и усредните полученные результаты.

4. Контрольные вопросы

1. Какой удар называется абсолютно неупругим? Сохраняется ли механическая энергия при таком столкновении?
2. Напишите закон сохранения момента импульса для системы маятник-пуля.
3. Какие колебания возбуждаются в баллистическом маятнике в результате столкновения с пулей? Опишите их начальные условия. Зависит ли период колебаний баллистического маятника от амплитуды колебаний? Для чего нужно определить угол максимального отклонения маятника?
4. Изобразите график зависимости $T(x)$, где T - период колебаний маятника, x – расстояние грузов на стержне от оси вращения до их центра. Как выглядит этот график для достаточно больших значений x .
5. Что нужно знать для определения массы пули? ее скорости в момент столкновения?
6. Вычислите объем пули и определите материал, из которого она изготовлена.
7. Что представляет собой баллистический маятник, используемый в данной работе. Как реализовано измерение периода колебаний баллистического маятника?

Составители:
Игорь Валерьевич Ершов
Искра Михайловна Дзю
Марина Георгиевна Алешкевич
Лилия Анатольевна

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ
Лабораторная работа № 3
«Измерение скорости полета пули с помощью баллистического маятника»

Методические указания с заданиями
для контрольных работ

Редактор *Т.К. Коробкова*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подписано к печати ... 2024 г. Формат 60х84¹/₁₆.
Объем 0,48 уч.-изд.л., 0,5 усл.печ.л. Тираж экз.
Изд. №... Заказ №...

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб.106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail.ru