

НОВОСИБИРСКИЙ ГОССУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Лабораторная работа № 2 «Измерение ускорения свободного падения с помощью обратного маятника»

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Новосибирск 2024

УДК: 53(075)
ББК 22.171

Кафедра математики и физики

Составители: ст. преп. *И.М. Дзю*
д-р физ.-мат. наук, проф. *И.В. Ершов*
ст. преп. *А.П. Минаев*

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

Компьютерный практикум по физике. Лабораторная работа № 2 «Измерение ускорения свободного падения с помощью обратного маятника»: методические указания к выполнению лабораторной работы / Новосибирский государственный аграрный университет. Инженер. ин-т; сост.: И.М. Дзю, И.В. Ершов, А.П. Минаев. - Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. – 8 с.

Методические указание для выполнения лабораторной работы №2 компьютерного практикума по физике составлены в соответствии с действующей программой курса общей физики.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №7 от 28 февраля 2023 г.)

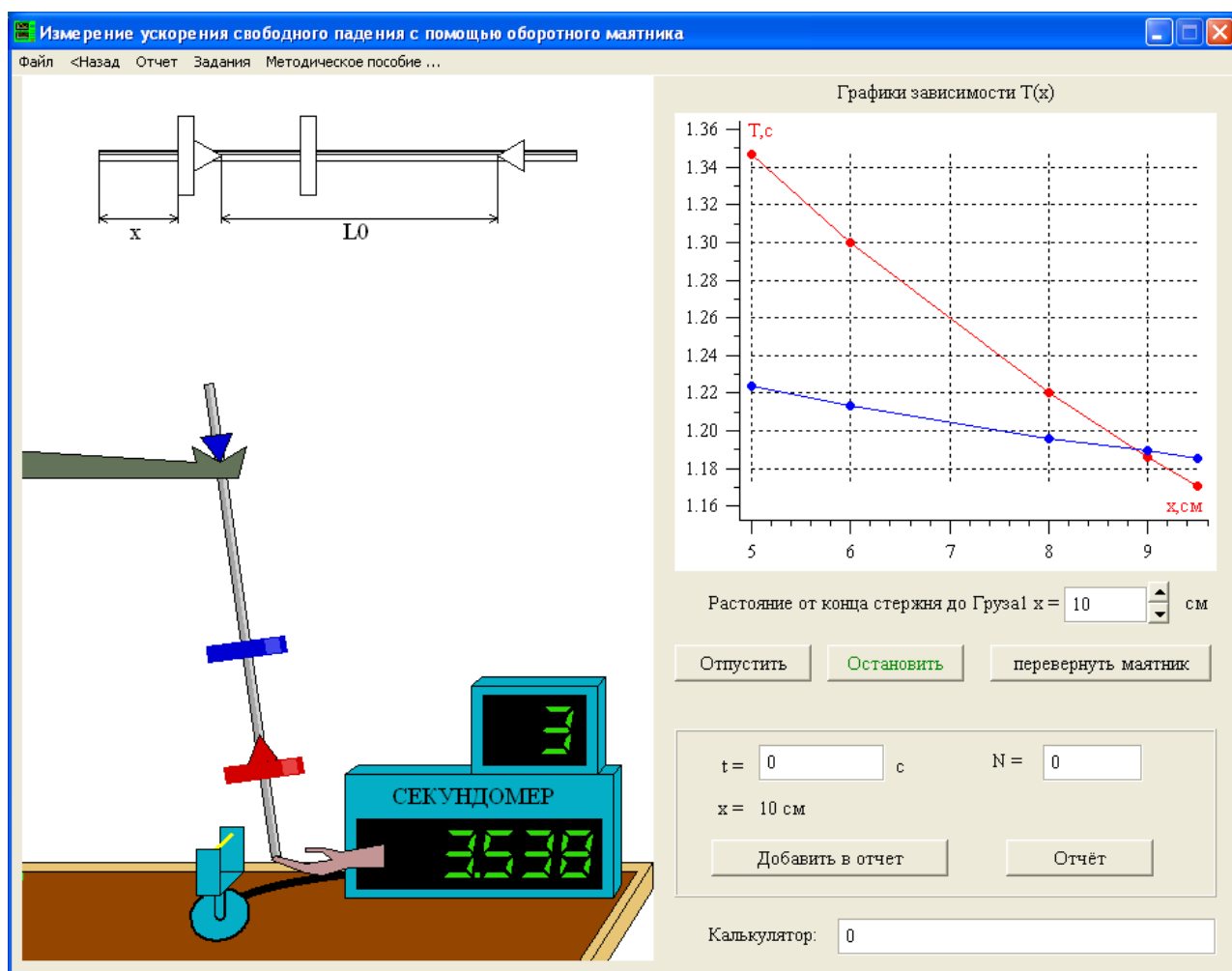
ВВЕДЕНИЕ

Лабораторно - практические занятия по физике позволят студентам, во - первых, познакомиться с основными методами точных физических измерений и овладеть наиболее важными приборами, во-вторых, более подробно изучить некоторые явления и законы природы, для полного понимания которых одного лекционного материала по физике бывает недостаточно. Задачи второго рода тоже носят характер измерительных, хотя на первое место в них выступает не выполнение измерений, а изучение самого явления.

Предварительное изучение работ является непременным условием их последующего выполнения в лабораториях. В целях повышения эффективности этой предварительной работы студентов описания лабораторных работ содержат достаточно полные теоретические введения и подробные указания по проведению опытов. Готовность студентов к выполнению лабораторных работ проверяется преподавателем. Неподготовленные студенты к выполнению работ не допускаются. Отчет по выполненной работе составляется дома.

Цель работы - изучение закономерностей движения физического маятника на примере оборотного маятника.

На рис.1 показан экран программы, предназначенной для проведения лабораторной работы на основе компьютерной модели. В качестве физического маятника используется металлический стержень, на котором закреплены два диска (синий и красный), и две треугольные призмы. Колебания совершаются при опоре на эти призмы. Момент инерции маятника можно изменять передвигением красного диска. Маятник можно переворачивать. Строятся зависимости периодов колебаний от позиции диска



в прямом и обратном положениях маятника. Ускорение свободного падения находится по периоду колебаний в точке пересечения зависимостей.

Рис.1. Основное окно программы

1. Теоретические основы работы: физический маятник

Физическим маятником называется твердое тело, имеющее возможность совершать колебания под действием силы тяжести вокруг неподвижной горизонтальной оси.

Можно показать, что период малых свободных колебаний физического маятника определяется соотношением

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I}{mgl}},$$

где g - ускорение свободного падения; m – масса маятника; I – момент инерции маятника относительно оси подвеса; l – расстояние от оси подвеса до центра инерции маятника.

В частности, для математического маятника, масса которого сосредоточена в центре инерции, имеем $I_m = ml^2$. Тогда из равенства (1) получаем:

$$T_M = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Соотношение (1) удобно преобразовать, используя теорему Штейнера:

$$I = I_0 + ml^2,$$

где I_0 – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через его центр инерции параллельно оси качания. Подставив равенство (3) в (1), находим:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_0 + ml^2}{mgl}}.$$

Представляет интерес анализ зависимости периода T колебаний физического маятника от величины l . В предельном случае больших значений l , когда $ml^2 > I_0$, соотношение (4) переходит в (2), то есть получаем математический маятник:

$$T(l)|_{l \rightarrow \infty} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

При малых l маятник близок к положению безразличного равновесия. В этом случае из соотношения (4) получаем:

$$T(l)|_{l \rightarrow 0} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_0}{mgl}}.$$

Примерный вид графика зависимости $T(l)$ представлен на рис.2. Асимптотическое поведение функции при $l \rightarrow \infty$ и $l \rightarrow 0$ описывается выражениями (5) и (6). Можно показать, что при $l_{min} = (I_0/m)^{1/2}$ функция $T(l)$ имеет минимум:

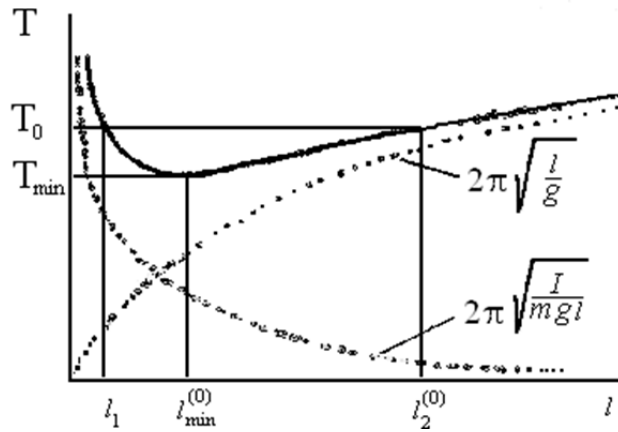


Рис. 2. Примерный вид графика зависимости $T(l)$

Рассмотрим возможность определения с помощью физического маятника ускорения свободного падения g . Входящую в формулу (4) величину I_0 , которую трудно найти из опыта, можно исключить, измеряя период колебаний при двух разных значениях l . Записав равенство (4) для l_1 и l_2 , получим систему уравнений:

$$\begin{cases} mgl_1 T_1^2 = 4\pi^2(I_0 + ml_1^2), \\ mgl_2 T_2^2 = 4\pi^2(I_0 + ml_2^2). \end{cases}$$

Отсюда находим:

$$g = 4\pi^2 \cdot \frac{l_1^2 - l_2^2}{T_1^2 l_1 - T_2^2 l_2}.$$

На практике трудно точно определить положение центра инерции маятника, то есть измерить l_1 и l_2 . Эту трудность можно обойти, если взять такие расстояния $l_1^{(0)}$ и $l_2^{(0)}$, чтобы соответствующие периоды были равны, т. е. выполнялось условие $T_1^{(0)} = T_2^{(0)} = T_0$. И тогда, полагая, что $l_1^{(0)} \neq l_2^{(0)}$, из равенства (8) получаем:

$$g = \frac{4\pi^2}{T_0^2} \cdot [l_1^{(0)} + l_2^{(0)}].$$

При этом, если оси расположены по разные стороны центра инерции, то сумма $[l_1^{(0)} + l_2^{(0)}]$ равна расстоянию L_0 между осями, которое легко измерить с высокой точностью.

Итак, если наблюдается равенство периодов колебаний физического маятника относительно двух осей, находящихся по обе стороны центра инерции и на разном расстоянии от него, то величину g можно найти из соотношения:

$$g = 4\pi^2 \cdot \frac{L_0}{T_0^2},$$

где L_0 – расстояние между осями, T_0 – общий период колебаний.

2. Теоретические основы работы: оборотный маятник

В работе используется физический маятник, называемый оборотным. Схематически он изображен на рис. 3. Основной частью маятника является металлический стержень 1. Осями подвеса служат ребра двух призм 2, закрепленных вблизи концов стержня. В рабочем положении призмы устанавливаются в V-образные опоры 3. Смещение центра инерции, необходимое для изменения расстояния l_1 и l_2 , обеспечивается перемещением массивного груза 4, находящегося у конца стержня. Положение фиксированного груза 5 подобрано так, чтобы с помощью регулировочного груза можно было добиться равенства T_1 и T_2 в прямом и обратном положениях маятника (рис. 3).

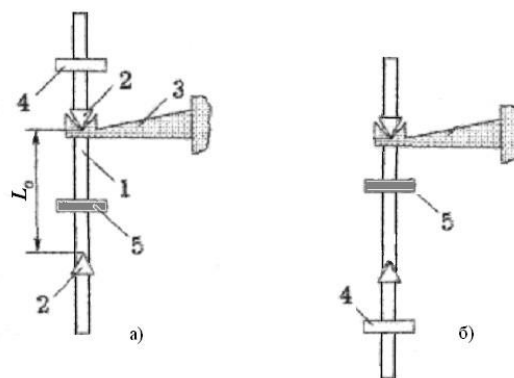


Рис. 3. Оборотный маятник, а - прямое, б -обратное положение

Для более точного измерения величины $T_0 = T_1^{(0)} = T_2^{(0)}$ в работе исследуется зависимость T_1 и T_2 от положения x регулировочного груза, которое определяется по специальной шкале. Поскольку расстояние l_0 между осями фиксировано, то при смещении груза изменение l_1 и l_2 будет одинаково по величине, но противоположно по знаку. Как видно из рис. 2, это приведет к одинаковому по знаку изменению периодов T_1 и T_2 .

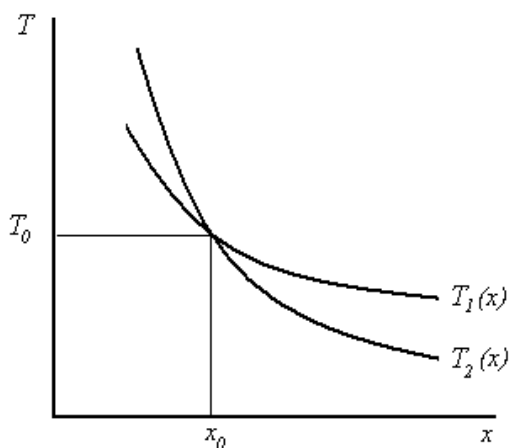


Рис. 4. Зависимости $T_1(x)$ и $T_2(x)$

Однако при достаточной асимметрии в расположении центра инерции зависимость $T_2(x)$ в обратном положении маятника будет более крутой, чем $T_1(x)$ в прямом.

Таким образом, графики зависимостей $T_1(x)$ и $T_2(x)$ для прямого и обратного положений маятника будут иметь вид, изображенный на рис. 4. В результате значение T_0 можно найти как ординату точки пересечения соответствующих кривых $T_0 = T_1^{(0)} = T_2^{(0)}$.

Вследствие погрешностей измерений, экспериментальные точки на графике $T(x)$ могут не находиться на плавной кривой, предсказываемой теорией. Поэтому при обработке результатов измерений кривые $T_1(x)$ и $T_2(x)$ программа проводит приближенно, с минимизацией средних отклонений от полученных из опыта точек.

3. Порядок выполнения работы

1. Параметры маятника задаёт преподаватель.
2. Проведите измерение периода для $N = 10\text{--}30$ полных колебаний маятника.

Внимание! Амплитуда колебаний должна составлять около $10\text{--}20^\circ$. При слишком больших отклонениях колебания становятся нелинейными, и период начинает зависеть от числа проведённых колебаний. При слишком маленькой амплитуде на измерение периода начинает сильно влиять сила сухого трения, даже если трение не очень велико.

Добавьте в отчёт измеренные значения периода T , числа колебаний N и положения x груза (кнопка «Добавить в отчёт»).

3. Переверните маятник и повторите задание 2.
4. Повторите опыт при 5–7 различных значениях x , перемещая груз из одного крайнего положения в другое (от минимально возможного x до максимально возможного). График зависимостей $T_1(x)$ и $T_2(x)$ строится автоматически.
5. Для повышения точности измерения T_0 проведите особенно тщательные измерения в области пересечения кривых.
- 6) Расстояние L_0 между ребрами призмы, служащими осями подвеса маятника, задаётся преподавателем и вносится в отчёт автоматически. Оцените погрешность ΔL_0 измерения L_0 с помощью линейки и занесите её в отчёт.

7. Найдите величину T_0 как ординату точки пересечения кривых $T_1(x)$ и $T_2(x)$ для прямого и обратного положений маятника. По формуле (10) рассчитайте величину g и занесите её в отчёт.

8. Оцените ошибку определения T_0 , рассчитайте погрешность нахождения g и занесите её в отчёт.

4. Расчет погрешностей

Используя правила вычисления погрешности косвенных измерений, из выражения (10) получаем следующую формулу для относительной погрешности величины g :

$$\frac{\Delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L_0}{L_0}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta T_0}{T_0}\right)^2},$$

где ΔL_0 и ΔT_0 – абсолютные погрешности величин L_0 и T_0 .

Поскольку расстояние L_0 в модельном варианте работы не измеряется, то предлагается положить эту погрешность равной оценочной погрешности измерения с помощью обычной линейки.

Величина T_0 определяется косвенным методом по графикам зависимостей $T_1(x)$ и $T_2(x)$. При этом вследствие наличия погрешности Δt измерения времени t , график $T(x)$ фактически должен изображаться не линией, а полосой шириной около $2\Delta t$ (при использовании одинакового числа колебаний N для измерения T).

Погрешность ΔT следует найти по данным многократных измерений периода при одном и том же x .

Составители:

Искра Михайловна Дзю
Игорь Валерьевич Ершов

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ
Лабораторная работа № 1
«Измерение ускорения свободного падения с помощью
оборотного маятника»

Методические указания к выполнению лабораторной работы

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

Подписано к печати ... 2023 г. Формат 60х84/16.
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