МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДАРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ-ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ

Кафедра технической механики и физики

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 2. Механические колебания

Зерноград - 2024

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В.,
Гуриненко Л.А., Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

Об издании – 1,2
Содержание

Издается по решению методической комиссии
по специальностям среднего профессионального образования
социально-экономического и технического профиля
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде.

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент Г.В. Степанчук
кандидат технических наук, доцент А.Б. Портаков

Леонтьев Н.Г. Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам СПО. [Электронный ресурс]: Часть 2. Механические колебания / Н.Г. Леонтьев, А.В. Белоусов, Л.А. Гуриненко, А.Б. Портаков. - Электронное издание. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. – 19 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Учебное пособие «Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам среднего профессионального образования Часть 2. Механические колебания» предназначено для студентов 1 курса СПО, обучающихся по специальностям 08.02.09, 21.02.19, 23.02.07, 35.02.05, 35.02.08, 35.02.16, 38.02.01, 38.02.08

Рекомендовано к изданию Методическим советом факультета среднего профессионального образования Протокол № 8 от 26.04.2024 г.

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В.,
Гуриненко Л.А., Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ....4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21 - СПО....5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22 - СПО....8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23 - СПО....10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24 - СПО....13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25 - СПО....16

ВВЕДЕНИЕ

Критерием успешного освоения физики является умение использовать полученные знания на практике. Поэтому важно не только знать теоретический материал, но и уметь объяснить явления природы, проводить опыты и решать физические задачи.

Цель данного учебного пособия – приобщить студентов к самостоятельной творческой работе, в процессе которой они научатся анализировать физические явления, выделять главные факторы, определяющие, тот или иной физический процесс, выбирать метод решения задачи.

Учебное пособие предназначено для обучения по следующим специальностям: 08.02.09 - Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий, 21.02.05 - Земельно-имущественные отношения, 21.02.19 - Землеустройство, 23.02.07 - Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей, 35.02.08 - Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК), 38.02.01 - Экономика и бухгалтерский учет (по отраслям), 38.02.04 - Коммерция (по отраслям).

Часть вторая «Механические колебания» содержит шесть лабораторных работ.

Учебное пособие полностью соответствует программе по физике для учреждений среднего профессионального образования. Оно может быть полезно также учащимся средних школ, лицеев и колледжей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21 - СПО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИНЫ МЕТОДОМ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: экспериментальная проверка зависимости периода упругих колебаний пружины от массы подвешенного груза и определение коэффициента жесткости пружины.

Приборы и принадлежности: стойка с измерительной линейкой, пружина, набор грузов, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Периодическое движение - это процесс, при котором система проходит определенны набор состояний в определенной последовательности возвращаясь в каждое из состояний через определенное время. Колебательное движение – это движение при котором тело попеременно отклоняется в одну и другую сторону от положения устойчивого равновесия. Простейшими и одними из важнейших видов колебаний являются гармонические. Это определяется не только тем, что они часто встречаются в технике, но и тем, что периодические процессы могут быть представлены в виде сумм нескольких гармонических колебаний (методом разложения в ряд Фурье).

При гармонических колебаниях величины, описывающие колебательное движение (смещение из положения равновесия, скорость и ускорение) изменяются по гармоническому закону (закону синуса или косинуса). При этом уравнение кинематики имеет вид:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_O), \qquad /21.1/$$

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_O), \qquad /21.1а/$$

где A - амплитуда колебаний, т.е. максимальное значение, которое может принимать величина смещения x (размерность амплитуды такая же, как и размерность смещения), ω -круговая или циклическая частота, т.е. количество колебаний за 2π секунд. Она связана с периодом T и частотой ν следующими соотношениями:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \qquad /21.2/$$

$(\omega t + \varphi_o)$ - фаза колебаний с размерностью [рад] - величина которая определяет координату x в момент времени t; φ_O -начальная фаза с размерностью [рад], т.е. фаза в момент времени t = 0; T - период колебаний - время одного полного колебания с размерностью [с]; ν - частота, т.е. число колебаний, совершаемых за 1 с. Размерность частоты ν в системе СИ – [Гц] =[$с^{-1}$]. Уравнение динамики, описывающее гармонические колебания имеет вид

$$m\vec{a} = \vec{F} \qquad /21.3/$$

т.е. условием возникновения гармонических колебаний является наличие в системе возвращающей силы, противоположной по знаку смещению и пропорциональной ему.

Условию /21.3/ удовлетворяют, например, упругие силы, которые согласно закону Гука, прямо пропорциональны величине абсолютной деформации, т.е. смещению из положения равновесия:

$$F = kx, \qquad /21.4/$$

где k – коэффициент жесткости пружины, зависящий от материала формы и размеров пружины. Поэтому колебания, совершаемые под действием упругих сил, будут гармоническими. Возвращающие силы, удовлетворяющие уравнению /21.3/, но не являющиеся упругими называют квазиупругими. Из /21.3/ и /21.4/ следует, что в случае гармонических колебаний, совершаемых под действием упругих сил, например колебание груза, подвешенного на пружине, уравнение динамики имеет вид

$$ma = -kx, \qquad /21.5/$$

При колебательном движении тело приобретает ускорение, которое определяется по формуле:

$$a = \omega^2 x \qquad /21.6/$$

Подставляя формулу /21.6/ в /21.5/ получаем:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad /21.7/$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \qquad /21.8/$$

где k - коэффициент жесткости пружины, а m - масса подвешенного груза, а T период колебаний.

Из /21.8/ вытекает, что квадрат периода упругих колебаний пружинного маятника прямо пропорционален массе подвешенного груза $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$. /21.9/

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подвесьте к пружине груз. Оттянув груз на 0.01...0.02 м, отпустите его, предоставив возможность совершать колебания. Измерьте время n =30 колебаний. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения для одного и того же груза повторите три раза и по среднему значению времени определите период колебаний по формуле:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /21.10/$$

2. Увеличивая массу груза определите период колебаний согласно предыдущему пункту.

3. Постройте график зависимости $T^2 = f(m)$, проведя прямую через экспериментальные точки наилучшим образом. Используя координаты двух любых, возможно более далеко стоящих друг от друга, точек на графике, определите коэффициент жесткости пружины по формуле:

$$k = 4\pi^2 \frac{m_2 - m_1}{T_2^2 - T_1^2}. \qquad /21.11/$$

4. Определите начальную координату x_o по указателю ненагруженной пружины. Подвесьте один груз и определите новую координату x_1 по указателю

нагруженной пружины. Проделайте такие измерения увеличивая массу груза. Абсолютные удлинения вычислите по формуле $\Delta x_i = x_i - x_o$, а значения силы тяжести вычислите по формуле $F = mg$. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

5. По полученным данным постройте график зависимости $\Delta x = f(F)$. Определите коэффициент жесткости пружины, используя координаты двух $(F_1, \Delta x_1)$ $(F_2, \Delta x_2)$ точек на графике по формуле:

$$k = \frac{F_2 - F_1}{\Delta x_2 - \Delta x_1}. \qquad /21.12/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m, кг	n	t, c				T^2, c^2	F, Н	Δ x, 10^{-3} м
		1	2	3	Ср			

ВНИМАНИЕ! В данной лабораторной работе, и далее считать ускорение свободного падения g = 9,81 м/с^2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называются периодическим?
2. Какое движение называется колебательным?
3. Что такое гармоническое колебательное движение? Запишите уравнения кинематики и динамики гармонически колеблющегося тела?
4. Что называется периодом, частотой, фазой, амплитудой колебаний? В каких единицах измеряются эти величины?
5. Какому условию должна удовлетворять возвращающая сила, чтобы колебания, совершаемые под действием этой силы, были гармоническими. Приведите примеры таких сил.
6. Что такое коэффициент жесткости пружины? В каких единицах измеряется коэффициент жесткости пружины?
7. От каких параметров зависит коэффициент жесткости пружины?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §18-23.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразоват. учебн. заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §3, 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22 - СПО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА.

Цель работы: исследовать основные закономерности упругих колебаний на примере пружинного маятника.

Приборы и принадлежности: универсальный штатив для крепления пружины с отсчетной линейкой, пружина, набор грузов, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Примером свободных незатухающих колебаний могут служить колебания груза массой m, подвешенного на абсолютно-упругой пружине и совершающего колебания под действием упругой силы.

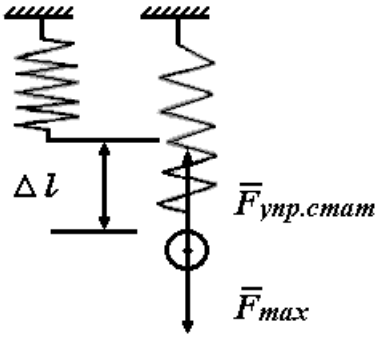


Рис. 22.1

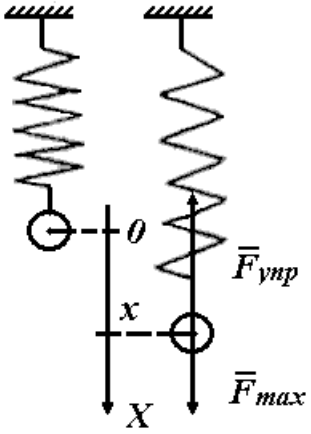


Рис. 22.2

Рассмотрим груз, висящий неподвижно на пружине (рис. 22.1). Пусть Δl - величина растяжения пружины под действием этого груза. Смещение Δl конца пружины относительно его положения в ненагруженном состоянии называется в этом случае статическим.

При равновесии в нагруженном состоянии $F_{тяж}$ – сила тяжести уравновешивается $F_{упр.стат.}$ – силой упругости в условиях статического равновесия, в результате равнодействующая сила оказывается равной нулю:

$$F_{равн.стат.} = F_{тяж} - F_{упр.стат.} = mg - k\,\Delta l = 0, \qquad /22.1/$$

где k – коэффициент упругости или жесткость пружины.

При смещении груза из положения равновесия на величину x (рис. 22.2) баланс сил тяжести и упругости нарушается, kx – приращение силы упругости - определит величину равнодействующей силы в направлении оси OX:

$$F_{равн} = F_{тяж} - F_{упр} = mg - k(\Delta l + x) = -kx \qquad /22.2/$$

Согласно второму закону Ньютона, уравнение динамики движения груза будет иметь вид:

$$ma = -kx \quad \text{или} \quad a + \omega^2 x = 0, \qquad /22.3/$$

где

$$\omega^2 = \frac{k}{m}. \qquad /22.4/$$

Уравнение кинематики, x(t), т.е. решение уравнения /22.3/ для свободных незатухающих колебаний имеет вид:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_O)\,, \qquad /22.5/$$

где А – амплитуда гармонического колебания (максимальное смещение груза от положения равновесия); φ_0 – начальная фаза колебаний, характеризующая смещение колеблющегося груза от положения равновесия в начальный момент времени x(t=0) (в нашем случае $\varphi_0 = 0$); ω – собственная циклическая частота колебаний, связанная с периодом T и частотой ν соотношениями:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu\ ; \qquad /22.5/$$

Необходимо учитывать, что колебания маятника будут гармоническими при достаточно малых отклонениях x.

Из соотношения /22.4/ очевидно, что период упругих колебаний равен:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,, \qquad /22.6/$$

Этому выражению можно придать другой, более удобный для расчетов вид, если величину k найти из соотношения /22.1/. Тогда выражение для периода T примет вид:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta l}{g}}\,, \qquad /22.7/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подвесьте к пружине груз. Оттянув груз на 0.01...0.02 м, отпустите его, предоставив возможность совершать колебания. Измерьте время n =30 колебаний. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения для одного и того же груза повторить три раза и по среднему значению времени определить экспериментальный период колебаний по формуле:

$$T = \frac{t_{CP}}{n} \qquad /22.8/$$

Данные занесите в таблицу.

2. Увеличивая массу груза определять период колебаний согласно предыдущему пункту.

3. Измерьте при каждой нагрузке удлинение пружины Δl , взяв за начало отсчета положение визира пружины без нагрузки. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

4. Рассчитайте теоретическое значения периода колебаний по формуле /22.7/. Результаты занесите в таблицу.

5. Для каждого опыта рассчитайте относительное отклонение экспериментального результата от теоретического, используя выражение:

$$\varepsilon_n = \frac{\left|T_{\text{эксп}} - T_{\text{теор}}\right|}{\mathrm{T}_{\text{эксп}}} * 100\%\,. \qquad /22.9/$$

6. Найдите среднее относительное отклонение $\delta T_{ср}$ используя выражение:

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + ... + \varepsilon_n}{n}\,. \qquad /22.10/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

m, кг	$\Delta l \cdot 10^{-3}$ м	n	t, с				$T_{эксп}$, с	$T_{теор}$, с	ε_n
			1	2	3	Ср			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называются периодическим?
2. Какое движение называется колебательным (колебанием)?
3. Что такое - гармоническое колебательное движение? Запишите уравнения кинематики и динамики гармонически колеблющегося тела?
4. Что называется периодом, частотой, фазой, амплитудой колебаний? В каких единицах измеряются эти величины?
5. Какому условию должна удовлетворять возвращающая сила, чтобы колебания, совершаемые под действием этой силы, были гармоническими. Приведите примеры таких сил.
6. Что такое коэффициент жесткости пружины? В каких единицах измеряется коэффициент жесткости пружины?
7. От каких параметров зависит коэффициент жесткости пружины?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §18-23.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразоват. учебн. заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §3, 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23 - СПО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: определение ускорения силы тяжести.

Приборы и принадлежности: шарик, подвешенный на нити, прямоугольный треугольник, вертикальная масштабная линейка, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Галилей экспериментально показал, что в данной точке вблизи поверхности Земли в вакууме все тела, независимо от их формы, размеров и массы, в отсут-

ствие опоры или подвеса двигаются с постоянным ускорением g = 9,81 м·с$^{-2}$. Такое движение называется свободным падением.

Справедливость этого вывода вытекает из двух законов: 1. Установленного Ньютоном второго закона динамики поступательного движения:

$$a = \frac{F}{m}, \qquad /23.1/$$

где a – ускорение тела; m - его масса; F – равнодействующая всех сил, действующих на тело, 2. Закона всемирного тяготения вблизи поверхности Земли:

$$F_T = G\frac{M_3 m}{R_3^2}, \qquad /23.2/$$

где F_T - сила тяготения; G - гравитационная постоянная; M_3 - масса Земного шара; R_3 - средний радиус Земного шара.

В этом случае ускорение свободного падения равно:

$$a = g = G\frac{M_3}{R_3^2}. \qquad /23.3/$$

Используя табличные данные:

G = 6,672·10^{-11} м^3/(кг с^2), M_3 = 5, 975·10^{24} кг и R_3 = 6,371·10^6 м

можно рассчитать среднее значение g теоретически.

В предложенном выводе не учитывается влияние вращения Земли вокруг собственной оси, широты места, высоты над уровнем Земли, несферической формы Земли, неоднородного распределения вещества по плотности в ней, что на практике приводит к разным значениям g в различных точках поверхности Земли. Реальное среднее значение ускорения для 47^o широты g = 9,807 м с$^{-2}$.

Если тело находится на небольшой высоте h над поверхностью Земли то формула /23.3/ принимает вид:

$$g = G\frac{M_3}{(R_3 + h)^2}, \qquad /23.4/$$

Ускорение свободного падения зависит от массы планеты, радиуса планеты, угловой скорости вращения планеты, широты места, высоты на которой находится тело над поверхностью планеты, плотности пород залегающих в коре планеты и магнитных свойств этих пород (примером зависимости от магнитных свойств породы может служить Курская магнитная аномалия).

Благодаря наличию гравитационного поля, Земля взаимодействует с данным телом с силой, которую мы называем – сила тяжести. Вес тела – это сила, с которой тело, вследствие своего притяжения к Земле, давит на опору или растягивает подвес. Вес тела зависит от того, с каким ускорением и в каком направлении движется тело.

Для экспериментального определения g может быть использован математический маятник - материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити. Его практической реализацией является шар небольших (по сравнению с длиной нити) размеров, $r << l$, где r – радиус шара, масса которого значительно больше массы нити, на которой он подвешен.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad /23.5/$$

Измеряя период T и длину нити l можно определить ускорение свободного падения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите треугольник одним из катетов напротив одной из меток на вертикальной масштабной линейке и, совместив нижний край шара маятника с торцом линейки, определите длину маятника.
2. Измерьте время n = 30 колебаний. Величину времени занесите в таблицу результатов наблюдений. По формуле /23.6/ определите период колебаний:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /23.6/$$

3. Измените длину маятника l, и определите период колебаний в этом положении согласно пунктам 1 - 2. Опыт по п. 1 - 2 проделать для 5-6 положений. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
4. Постройте график зависимости $T^2 = f(x)$.
5. Используя координаты двух (ℓ_1, T_1^2) и (ℓ_2, T_2^2) точек на графике $T^2 = f(x)$ определите g по формуле /23.7/:

$$g = 4\pi^2 \frac{l_2 - l_1}{T_2^2 - T_1^2}, \qquad /23.7/$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

l, м	n	t, с	T, с	T^2, $с^2$	g, $м/с^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид движения называется свободным падением?
2. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?
3. Что такое сила тяготения, сила тяжести и вес тела?
4. Как и почему изменяется ускорение свободного падения с изменением высоты над поверхностью Земли?
5. Как и почему изменяется ускорение силы тяжести с изменением географической широты?
6. Что такое математический маятник?
7. Почему угол отклонения маятника должен быть малым?
8. Запишите формулу для определения периода колебаний математического маятника.
9. .Как теоретически вычислить значение g?
10. Может ли существовать планета, у которой ускорение свободного падения на поверхности равно нулю? Ответ обоснуйте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н.Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 32.
3. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - §20.
4. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразоват. учебн. заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §11,13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24 - СПО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ МЕТОДОМ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: определение ускорения силы тяжести и расчет погрешности измерений.

Приборы и принадлежности: шар, подвешенный на нити, прямоугольный треугольник, вертикальная масштабная линейка, секундомер, установка «математический маятник».

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Галилей экспериментально показал, что вблизи поверхности Земли в вакууме все тела, независимо от их формы, размеров и массы, в отсутствие опоры или подвеса двигаются с постоянным ускорением $g = 9{,}81$ м·с$^{-2}$. Такое движение называется свободным падением.

Справедливость этого вывода вытекает из двух законов: 1. Установленного Ньютоном второго закона динамики поступательного движения: $a = \frac{F}{m}$, /24.1/

где a – ускорение тела; m - его масса; F – равнодействующая всех сил, действующих на тело, и 2. Закона всемирного тяготения для тела вблизи поверхности Земли:

$$F_T = G\frac{M_3 m}{R_3^2}, \qquad /24.2/$$

где F_T - сила тяготения; G - гравитационная постоянная; M_3 - масса Земного шара; R_3 - средний радиус Земного шара.

В этом случае ускорение свободного падения

$$a = g = G\frac{M_3}{R_3^2}. \qquad /24.3/$$

Используя табличные данные:

$G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг с^2), $M_З = 5{,}975 \cdot 10^{24}$ кг и $R_З = 6{,}371 \cdot 10^6$ м можно рассчитать среднее значение g теоретически.

В предложенном выводе не учитывается влияние вращения Земли вокруг собственной оси, высоты над уровнем Земли, несферической формы Земли, неоднородного распределения вещества по плотности в ней, что на практике приводит к разным значениям g в различных точках поверхности Земли. В результате среднее значение ускорения свободного падения на широте 47^o равно g=9,807 м с$^{-2}$.

Если тело находится над поверхностью Земли на высотах порядка радиуса Земли то формула /24.3/ принимает вид:

$$g = G\frac{M_З}{(R_З + h)^2}, \qquad /24.4/$$

где h – высота, на которой находится тело над поверхностью Земли.

Ускорение свободного падения зависит от массы планеты, широты места, угловой скорости вращения планеты, радиуса планеты, высоты на которой находится тело над поверхностью планеты, плотности пород залегающих в коре планеты и магнитных свойств этих пород (примером зависимости от магнитных свойств породы может служить Курская магнитная аномалия).

Благодаря наличию гравитационного поля, Земля притягивает к себе различные тела с силой, которую мы называем – сила тяжести. Вес тела – это сила, с которой тело, вследствие своего притяжения к Земле, давит на опору или растягивает подвес. Вес тела зависит от того, с каким ускорением и в каком направлении движется тело.

Для экспериментального определения g может быть использован математический маятник - материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити. Его практической реализацией является шар небольших (по сравнению с длиной нити) размеров, $r << l$, где r – радиус шара, масса которого значительно больше массы нити, на которой он подвешен.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad /24.5/$$

Измеряя период T и длину нити l можно определить ускорение свободного падения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите треугольник одним из катетов напротив одной из меток на вертикальной масштабной линейке и, совместив нижний край шара маятника с этим катетом, определите длину маятника.

2. Измерьте время нескольких колебаний ($n \approx 50$). Величину времени занесите в таблицу результатов наблюдений. По формуле /24.5/ вычислите период колебаний:

$$T = \frac{t}{n}. \qquad /24.6/$$

3. Измените длину маятника и определите период колебаний в этом положении согласно предыдущему пункту. Опыт по п. 1 - 2 проделайте для 5-6 положений, и результаты занесите в таблицу результатов наблюдений.
4. Рассчитайте величину ускорения свободного падения по формуле

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \qquad /24.7/$$

5. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения ускорения свободного падения по формулам /24.8/ и /24.9/

$$\Delta g_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta g_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad /24.8/ \quad \text{и} \quad \varepsilon_з = \frac{\Delta g_з}{g_{зср}} \qquad /24.9/$$

Значение надежности выберите α=0.95 или по заданию преподавателя.
α= , $t_{\alpha,n}$= . Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений.
6. Запишите результат в виде: $g = g_{ср} \pm \Delta g_{ср}$, ε_g = %

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

l, м	n	t,c	T, c	T^2, c^2	g, м/c^2	Δg , м/c^2	Δg^2, $м^2/с^4$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид движения называется свободным падением?
2. От каких факторов зависит ускорение свободного падения?
3. Что такое сила тяготения, сила тяжести и вес тела?
4. Как и почему изменяется ускорение свободного падения с изменением высоты над поверхностью Земли?
5. Как и почему изменяется ускорение силы тяжести с изменением географической широты?
6. Что такое математический маятник?
7. Почему угол отклонения маятника должен быть малым?
8. Запишите формулу для определения периода колебаний математического маятника.
9. .Как теоретически можно вычислить значение g?
10. Может ли существовать планета, у которой ускорение свободного падения на поверхности равно нулю? Ответ обоснуйте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н.Сотский. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. - § 20.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразоват. учебн. заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §11,13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25 - СПО

ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.

Цель работы: исследование потерь энергии при затухающих колебаний вследствие сопротивления среды.

Приборы и принадлежности: маятник со сменными дисками различного радиуса, шкала с подвижным рейтером для измерения амплитуды колебаний, секундомер.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Свободные колебания груза, прикрепленного к пружине, или маятника являются гармоническими лишь в том случае, когда нет трения. Но силы трения или, точнее, силы сопротивления, хотя может и малые, всегда действуют на колеблющееся тело.

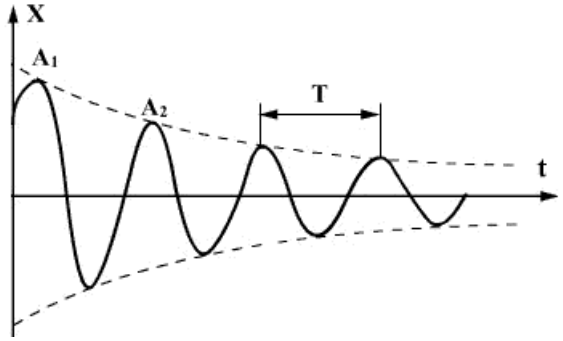


Рис. 25.1

Силы сопротивления совершают отрицательную работу и тем самым уменьшают механическую энергию колеблющейся системы. Поэтому с течением времени максимальные отклонения тела от положения равновесия (амплитуды) становятся все меньше. В конце концов, после того как запас механической энергии окажется исчерпанным, колебания прекратятся совсем.

Колебания при наличии сил сопротивления являются затухающими. График зависимости координаты тела от времени при затухающих колебаниях представлен на рисунке (25.1).

Уравнение динамики для свободных гармонических колебаний, совершаемых под действием упругих или квазиупругих внутренних сил системы, имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{F}_{упр}, \qquad /25.1/$$

$$m\omega^2 = -kx. \qquad /25.2/$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ - частота свободных колебаний системы; k - коэффициент жесткости пружины; m - масса системы.

Уравнения кинематики для гармонических колебаний:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0); \qquad /25.3/$$

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0^i)\,. \qquad /25.3а/$$

В реальной колебательной системе, помимо упругих сил, действуют силы сопротивления, на преодоление которых расходуется энергия колебательной системы:

$$W = \frac{m}{2}\omega^2 A^2. \qquad /25.4/$$

Поэтому энергия колебаний уменьшается, а с ней уменьшается и амплитуда колебаний, т.к. энергия колебательной системы пропорциональна квадрату амплитуды. Такие колебания называются затухающими.

Во многих случаях силы сопротивления, возникающие при движении колеблющейся точки в среде, при небольших скоростях движения υ, прямо пропорциональны величине скорости

$$F_{conp} = -r\upsilon\,, \qquad /25.5/$$

где r - коэффициент сопротивления. При наличии сопротивления уравнение динамики для колебательного движения имеет вид:

$$m\bar{a} = \bar{F}_{conp} + \bar{F}_{упр}, \qquad /25.6/$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Отклоните маятник из положения равновесия до 50-60 деления по шкале. Это отклонение соответствует начальной амплитуде A_0. Предоставьте маятнику возможность совершать колебания, измеряя 5...8 амплитуд колебаний. Для этого необходимо мелом отмечать на шкале деления, против которых останавливается маятник. Данные занесите в таблицу результатов измерений.
2. Проделайте измерения по пункту (1), установив на маятник сменные диски различного радиуса.
3. Измерьте с помощью секундомера время 5….8 колебаний и рассчитайте период колебаний по формуле $T = \frac{t}{N}$. Убедитесь в том, что с увеличением диаметра диска (т.е. коэффициента затухания *r)* период колебаний маятника возрастает.
4. Постройте графики зависимости амплитуды от периода: A = f (T).

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

n	R_1, м		R_2, м		R_3, м	
	A, дел	ΔW_1	A, дел	ΔW_2	A, дел	ΔW_3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

t , c			
T, c			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебательное движение?
2. Запишите уравнение динамики гармонических колебаний.
3. Что такое период, частота, фаза, амплитуда колебаний?
4. Запишите уравнение динамики затухающих колебаний.
5. Нарисуйте график изменения координаты колеблющегося тела от времени, при затухающих колебаниях.
6. Запишите формулу полной энергии гармонически колеблющегося тела.
7. Почему свободные колебания затухают?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 20014. – 446 с.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,– 9-е изд. – М.: Просвещение, 2002. - § 24.
3. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 кл.: Учебник базового уровня для общеобразоват. учебн. заведений. – 2-е изд.- М.: Илекса, 2006. - §22.

Учебное издание

Леонтьев Николай Георгиевич
канд. физ. мат. наук, доцент
Белоусов Александр Васильевич
канд. физ. мат. наук, доцент
Гуриненко Людмила Александровна
канд. техн. наук, доцент
Портаков Александр Борисович
канд. техн. наук, доцент

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 2. Механические колебания

Редакция авторская

Объём ЭИ: 0,681 Мб.
Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF).

© Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. ЗЕРНОГРАД Ростовской области, ул. Ленина,21.