ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Лабораторная работа М13

«Изучение законов колебательного движения с помощью математического маятника»

по дисциплине

«Физика»

Авторы
Жданова Т. П.,
Лемешко Г. Ф.,
Лещёва О. А.,
Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Методические указания содержат краткое описание рабочей установки и методики определения ускорения свободного падения с помощью математического маятника.

Предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения при выполнении лабораторных работ по физике (раздел «Механика и молекулярная физика»).

Авторы

к.ф.-м.н, доцент кафедры «Физика»
Жданова Т.П.,
к.ф.-м.н, профессор кафедры «Физика»
Лемешко Г.Ф.,
доцент кафедры «Физика»
Лещёва О.А.,
доцент кафедры «Физика»
Холодова О.М.

Оглавление

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучить колебательный процесс на примере математического маятника. Определить ускорение свободного падения.

Оборудование: экспериментальная установка.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Математический маятник – материальная точка, подвешенная на длинной невесомой нерастяжимой нити, совершающая колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести (рис.1).

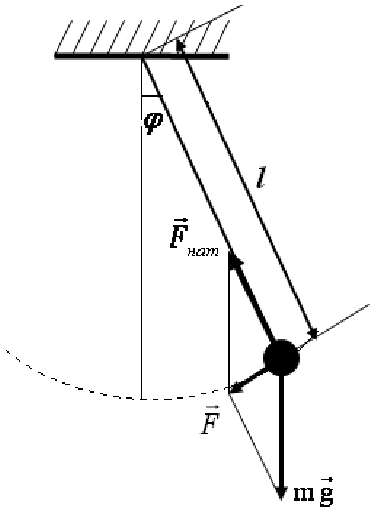

Рис.1 Математический маятник

При отклонении маятника от положения равновесия на угол φ возникает вращательный момент M:

$$M = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin\varphi. \qquad (1),$$

где m – масса маятника, g - ускорение свободного падения, l - длина нити.

Знак "-" означает, что вращательный момент имеет такое направление, что стремится вернуть маятник в положение равновесия.

Напишем для маятника уравнение динамики вращательного движения с учетом (1):

$$m \cdot l^2 \cdot \ddot{\varphi} = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin\varphi. \qquad (2)$$

и приведем уравнение (2) к виду:

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \cdot \sin\varphi = 0 \qquad (3)$$

где $\ddot{\varphi}$ -угловое ускорение маятника.

Будем рассматривать малые колебания при условии $\sin\varphi \approx \varphi$.

Обозначим $\frac{g}{l} = \omega_0^2$. (4)

Тогда уравнение (3) принимает вид: $\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \cdot \varphi = 0.$ (5)

Решение уравнения (5) : $\varphi = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \alpha)$ (6)

где A - амплитуда колебаний, $(\omega_0 \cdot t + \alpha)$ - фаза колебания, ω_0 - циклическая частота колебаний, α - начальная фаза колебаний.

Из уравнения (6) следует, что при малых углах отклонения математический маятник совершает гармонические колебания.

Период колебаний и циклическая частота связаны между собой соотношением: $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_0}$. Учитывая (4), получим:

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (7)$$

Из формулы (7) можно определить ускорение свободного падения g. Для увеличения точности нахождения g следует измерять время достаточно большого числа полных колебаний маятника и на разных длинах нити при малых углах отклонения.

Согласно (7) $T_1 = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{l_1}{g}}$, $T_2 = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{l_2}{g}}$

или $T_1^2 = 4 \cdot \pi^2 \frac{l_1}{g}$ (8), $T_2^2 = 4 \cdot \pi^2 \frac{l_2}{g}$. (9)

Вычтем из выражения (8) выражение (9):

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

$$g = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2} \tag{10}$$

Периоды колебаний находятся по формулам:

$$T_1 = \frac{t_1}{n},\ T_2 = \frac{t_2}{n}, \tag{11}$$

где n – число полных колебаний, t_1 и t_2 - время колебаний первого и второго маятников соответственно.

Подставляя (11) в (10), получаем формулу для определения ускорения свободного падения:

$$\boxed{g = 4 \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot \frac{l_1 - l_2}{t_1^2 - t_2^2}}, \tag{12}$$

где n – число полных колебаний, l_1 и l_2 - длины нитей маятников, t_1 и t_2 - время колебаний маятников.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Основание (1) установки (рис.2) отрегулировать так, чтобы положение стойки (2) было строго вертикально.
2. Установить по шкале, нанесенной на стойке (2), длину l_1 математического маятника (3) и занести результат в таблицу 1.
3. Установить "ноль" в окошке секундомера (4) при помощи кнопки "сброс" (5).

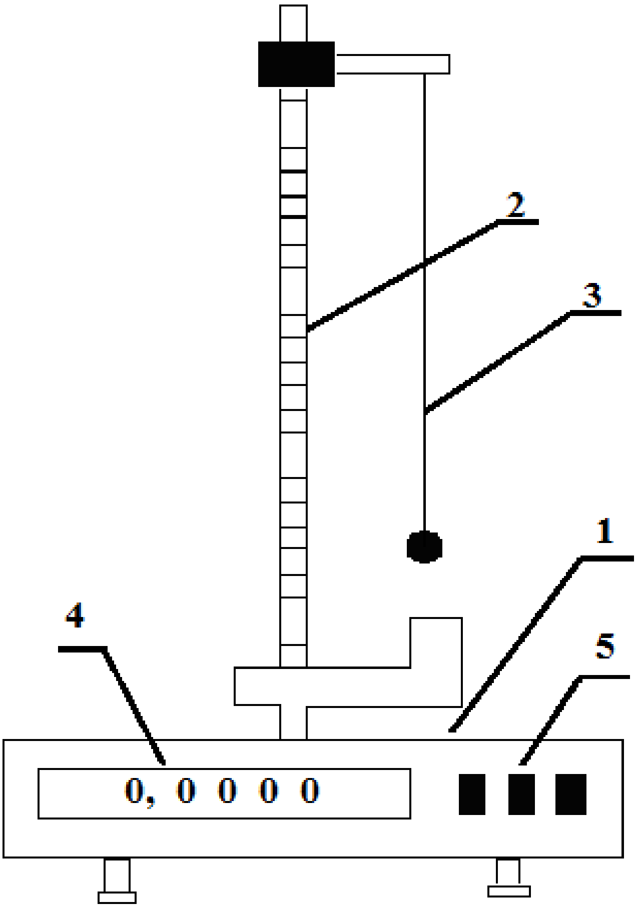

Рис.2 Экспериментальная установка
1-основание установки; 2-линейка на стойке; 3- математический маятник; 4-секундомер; 5-кнопки «сброс времени», «стоп», «сеть».

4. Отвести рукой маятник в крайнее положение на небольшой угол (≈10°). Отпустить маятник и нажать кнопку "пуск" (5).
5. Измерить время t_1 для n =10-20 полных колебаний (по указанию преподавателя). В окошке (4) идет счет полным колебаниям. Кнопку "стоп" (5) следует нажать в тот момент, когда в окошке (4) высветится предпоследнее по счету колебание.

6. Пункт 5 повторить 3-5 раз (по указанию преподавателя). Результаты занести в таблицу 1.
7. Повторить пункты 2-6 для маятника длиной l_2 меньшей, чем l_1. Все измерения занести в таблицу 1.
8. По формуле (12) **по средним значениям** t_1 и t_2 найти g, которое считаем средним $<g>$. Результат занести в таблицу 1.
9. Провести статистическую обработку измерений времени t_2, заполнив таблицы 1 и 2.
10. Относительную δg и абсолютную Δg погрешности найти по формулам:

$$\delta g = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{<l_1> - <l_2>} + \frac{2\cdot(<t_1>\cdot\Delta t_{1ДОВ} + <t_2>\cdot\Delta t_{2ДОВ})}{<t_1>^2 - <t_2>^2}$$

$$\Delta g = <g>\cdot\delta g\ ,$$

где $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l_{пр}$=0,001м, $\Delta l_{пр}$- приборная погрешность, $\Delta t_{2ДОВ}$ = $\Delta t_{1ДОВ}$.

Окончательный результат записать в виде:

$$g = <g> \pm \Delta g$$

Таблица 1

n =	l_1 =		l_2 =		$\Delta l_{пр}$ =0,001м	
	1	2	3	4	5	$<t>$
t_1, с						
t_2, с						
Δt_2, с						
$(\Delta t_2)^2$, с^2						
$<g>$ =			Δg =		δg =	

Таблица 2

$S_{n,t}$	α	$t(n,\alpha)$	$\Delta t_{2СЛ}$	$\Delta t_{ПР}$	$\Delta t_{2ДОВ}$	δt_2
с	–	–	с	с	с	%

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебания? Собственные колебания? Свободные колебания? Гармонические колебания?
2. Дайте определения амплитуды, фазы, периода, частоты, циклической частоты колебания.
3. Что называется математическим маятником? Период колебаний математического маятника.
4. Какие колебания математического маятника считаются малыми?
5. Как можно определить период колебаний маятника экспериментально?
6. Запишите уравнение гармонического колебания, поясните физический смысл всех входящих в него величин.
7. Получите формулу для расчета скорости колеблющейся точки и её максимальное значение.
8. Получите формулу для расчета ускорения колеблющейся точки и его максимальное значение.
9. Получите формулу для определения восстанавливающей силы и её максимальное значение.
10. Получите дифференциальное уравнение гармонических колебаний.
11. Выведите формулу периода колебаний математического маятника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. Шк., 2015.
3. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: Учеб.-метод. пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
4. Федосеев В.Б. Физика. Ростов н/Д: Феникс, 2009.