

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Цель работы: ознакомиться с методом измерения ускорения свободного падения при помощи обратного маятника.

Задача: пользуясь обратным маятником, определить ускорение свободного падения.

Приборы и принадлежности: универсальный маятник, оснащенный фотоэлектрическим датчиком и универсальным миллисекундомером.

ВВЕДЕНИЕ

Физическим маятником называется твердое тело, способное совершать колебания около неподвижной оси, не совпадающей с центром масс маятника.

Если сообщить маятнику толчок или, отведя его в сторону, отпустить его, то он начнет совершать колебания около положения равновесия. Время, за которое маятник совершает движение из одного крайнего положения в другое и возвращается обратно в первоначальное положение, называется *периодом колебаний* маятника.

Положение маятника в каждый момент времени можно характеризовать углом отклонения φ из положения равновесия. Величина наибольшего угла отклонения маятника из положения равновесия называется *угловой амплитудой колебаний*.

При малых колебаниях (угловая амплитуда колебаний не превышает нескольких градусов) период колебаний физического маятника определяется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{I/(mga)}, \quad (1)$$

где I - момент инерции маятника относительно оси подвеса (см. Приложение к работе 1), m - масса маятника, g - ускорение свободного падения, a - расстояние между осью подвеса и центром масс маятника.

Частным случаем физического маятника является математический маятник. Так называется идеализированная система, состоящая из невесомой и нерастяжимой нити, на одном конце которой подвешено тело – материальная точка массы m . В случае математического маятника $a = l$, $I = ml^2$, где l - длина маятника. Формула (1) при этом переходит в выражение

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}. \quad (2)$$

Сравнивая (1) и (2), заключаем, что физический маятник массы m колеблется так же, как математический той же массы и длины

$$l_{np} = \frac{I}{ma}. \quad (3)$$

Величина l_{np} называется приведенной длиной физического маятника.

С использованием определения приведенной длины формулу для периода малых колебаний физического маятника можно представить в виде

$$T = 2\pi\sqrt{l_{np}/g}. \quad (4)$$

Точка K на прямой, соединяющей точку подвеса с центром масс C , лежащая на расстоянии приведенной длины от оси вращения, называется центром качания физического маятника (см. рис. 1). Можно показать, что приведенная длина l_{np} всегда больше a . Следовательно, точка подвеса и центр качания лежат по разные стороны от центра масс.

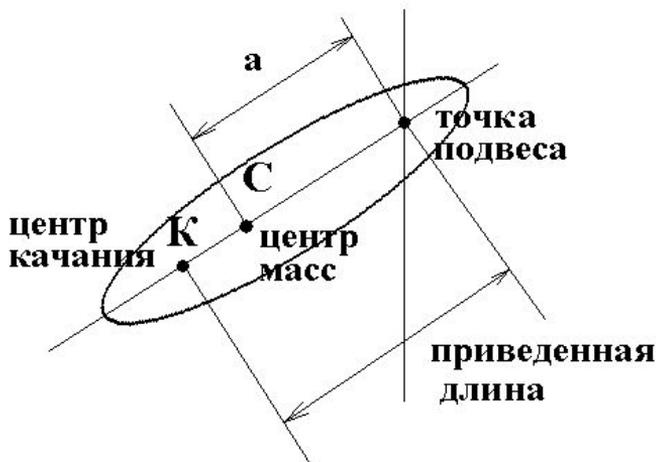


Рис. 1

Точка подвеса и центр качания обладают свойством взаимности: при переносе точки подвеса в центр качания прежняя точка подвеса становится новым центром качания. Следовательно, при переносе точки подвеса в центр качания период колебаний маятника остается прежним. Это положение называется теоремой Гюйгенса.

Таким образом, если подобрать у физического маятника такие несимметричные относительно центра масс положения двух параллельных осей подвеса, чтобы период колебаний относительно них

был одинаков, то расстояние между этими осями будет равно приведенной длине физического маятника. Измерив это расстояние и период колебаний, можно по формуле (4) найти ускорение свободного падения g .

Маятник, имеющий две параллельные друг другу трехгранные призмы, на которые он может поочередно подвешиваться, называется обратным маятником.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Общий вид установки представлен на рис. 2. Основание 1 оснащено регулируемыми ножками 2, с помощью которых выравнивается прибор. В основании закреплена колонка 3, на которой зафиксирован верхний кронштейн 4 и нижний кронштейн 5 с фотоэлектрическим датчиком 6. Ослабив винт 7, верхний кронштейн можно повернуть вокруг колонки и закрепить тем же винтом в любом положении. На вмонтированных вкладышах верхнего кронштейна находится обратный маятник 8.

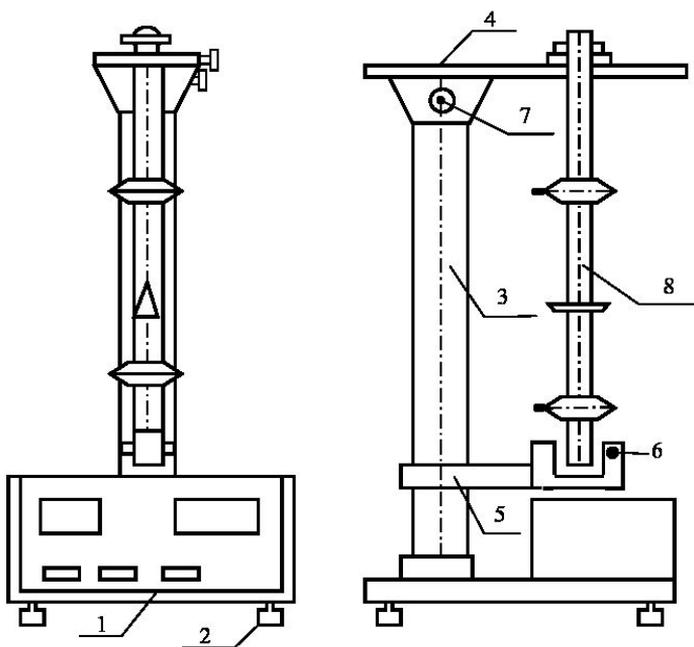


Рис. 2

Обратный маятник состоит из стального стержня, снабженного двумя опорными призмами A_1 и A_2 и двумя тяжелыми грузами, которые будем называть чечевицами (рис. 3). Призмы могут закрепляться в любом месте маятника. Риски, нанесенные на стержне маятника через 10 мм,

служат для точного определения расстояния между призмами. При расположении одной из чечевиц между призмами достаточно знать, что толщина чечевицы 20 мм.

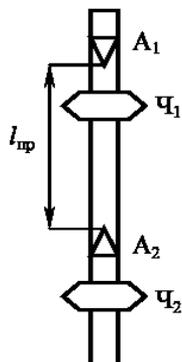


Рис. 3

Нижний кронштейн вместе с фотоэлектрическим датчиком также можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в нужном положении. Фотоэлектрический датчик соединен с привинченным к основанию универсальным миллисекундомером.

Закрепив жестко опорные призмы по разные стороны от центра тяжести на некотором расстоянии, будем считать это расстояние приведенной длиной. Т.к. одна из чечевиц – неподвижна и находится между призмами, то выбранное расстояние между призмами действительно будет приведенной длиной лишь тогда, когда перемещением подвижной чечевицы мы добьемся равенства периодов колебаний при подвешивании маятника за любую из опорных призм.

Этот одинаковый период колебаний проще найти графически. Строятся графики зависимости периода колебаний от положения подвижной чечевицы, которое отсчитывается от конца стержня. Один график относится к маятнику, опирающемуся на призму A_1 , другой – на призму A_2 . Точка пересечения графиков дает искомый период, который используется для вычисления ускорения свободного падения из формулы (4)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Расположить опорные призмы A_1 и A_2 на одинаковом расстоянии от концов стержня (не менее 11 см). Измерить расстояние между A_1 и A_2 , которое является приведенной длиной l_{np} обратного маятника.
2. Одна из чечевиц закрепляется между опорными призмами на расстоянии 10 – 15 см от опорной призмы A_1 (см. рис. 3).
3. Вторая подвижная чечевица располагается ниже призмы A_2 на расстоянии 8 см (по ее середине) от свободного конца стержня.
4. Установить маятник на вкладыше верхнего кронштейна, выровнять стержень маятника по оси стойки
5. Нижний кронштейн с фотоэлектрическим датчиком переместить так, чтобы стержень маятника пересекал оптическую ось.
6. Включить универсальный маятник в сеть.
7. Отклонить маятник от положения равновесия на $4 - 5^0$ и пустить.
8. Нажать кнопку «сброс».
9. Определить время $t=20$ полных колебаний маятника и записать в таблицу (чтобы посчитать 20 полных колебаний маятника, необходимо нажать кнопку «стоп», когда табло периодов будет показывать число 19).
10. Вычислить период колебаний $T = t/N$.
11. Опустив подвижную чечевицу на 1 см, определить период колебаний тем же способом. Подобные измерения произвести при каждом перемещении чечевицы на 1 см вплоть до ее расположения на расстоянии 3 см от свободного конца. Все эти измерения назовем первыми (условно).
12. Установить маятник на призме A_2 и повторить измерения периодов колебаний при тех же положениях подвижной чечевицы, передвигая ее в обратном направлении. Назовем эти измерения вторыми. Результаты измерений занести в табл. 2.
13. Построить на миллиметровке график зависимости периода колебаний от положения подвижной чечевицы и найти период T , соответствующий точке их пересечения.
14. Вычислить ускорение свободного падения по формуле

$$g = 4\pi^2 l_{np} / T^2$$
, где
 l_{np} - приведенная длина обратного маятника; T - период колебания (точка пересечения графиков).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение физического и математического маятников. Указать связь между ними.
2. Вывести формулу периода колебаний физического маятника, а из нее -математического.
3. Что называется приведенной длиной и центром качания физического маятника?
4. Какой физический маятник называется оборотным? Как выражается его период колебаний?
5. Объясните, какую роль играет перемещение подвижной гирьки в поисках периода колебаний оборотного маятника.
6. Найдите приведенную длину и период колебаний физического маятника, представляющего собой однородный стержень длиной l и массой m , подвешенный за один из своих концов.