

Работа № **5** **Определение ускорения свободного падения**
с помощью оборотного и математического маятника

ЦЕЛЬ: ознакомиться с закономерностями колебаний математического и физического маятника и с одним из способов определения ускорения свободного падения.

ОБОРУДОВАНИЕ: оборотный (физический) и математический маятник, секундомер.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

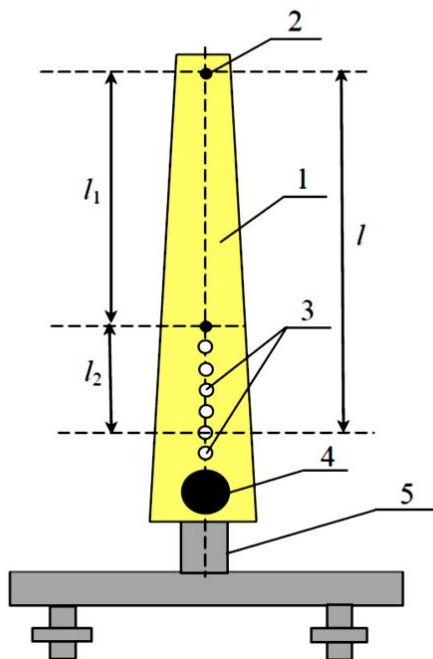


Рис. 1

Математический маятник – материальная точка, подвешенная на нерастяжимой нити. Достаточно хорошее приближение – массивный шарик, подвешенный на длинном стальном подвесе.

Физический маятник – любое тело, имеющее ось вращения не проходящую через центр его масс. В нашем случае это стальная полоса 1 переменного сечения, на протяжении которого имеется несколько отверстий, с помощью которых маятник крепят на ось вращения. На одном конце имеется отверстие 2, а на другом ряд отверстий 3, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Это позволяет получать физический маятник с различными периодами колебаний. Изменить положение центра масс маятника можно с помощью дополнительного груза 4.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

В большинстве методов измерения ускорения свободного падения g используется зависимость периода T колебаний маятника от величины g , так как период колебаний можно измерить с высокой точностью.

Для математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad (1)$$

где l – длина маятника.

Оборотный маятник является физическим, и период его колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{I/mg I_c} = 2\pi\sqrt{(I_c + mI_c^2)/mg I_c}, \quad (2)$$

где I – момент инерции маятника относительно точки подвеса,

I_c – момент инерции относительно центра масс,

m – масса маятника,

l_c – расстояние от центра масс маятника до точки подвеса.

Для физического маятника не удаётся измерить с той же точностью, как период T , необходимые для расчёта g величины I , l_c . Поэтому разработан метод, позволяющий с помощью оборотного маятника исключить эти величины из расчётной формулы (и в том его достоинство). Допустим, что удалось найти такое положение осей вращения, что периоды колебаний маятника относительно этих осей совпадают: $T_1 = T_2 = T_0$. Тогда с учётом формулы (2) получим:

$$T_0^2 = 4\pi^2 (I_c + ml_1^2) / mgl_1; \quad T_0^2 = 4\pi^2 (I_c + ml_2^2) / mgl_2. \quad (3)$$

Здесь l_1 и l_2 – расстояния от первой и второй осей до центра масс маятника, а их сумма $l_1 + l_2 = l_0$ есть расстояние между осями, которое можно измерить достаточно точно.

Исключая из уравнений (3) величину I_c , получаем расчётную формулу для ускорения g :

$$g = \frac{4\pi^2 l_0}{T_0^2}. \quad (4)$$

Этот метод позволяет с высокой точностью определить величину g , если найти такое расположение осей на стержне, при котором периоды колебаний маятника совпадают (T не изменяется при смене оси, поэтому маятник и называется обратным).

З а д а н и е 2. Определение ускорения свободного падения с помощью обратного маятника

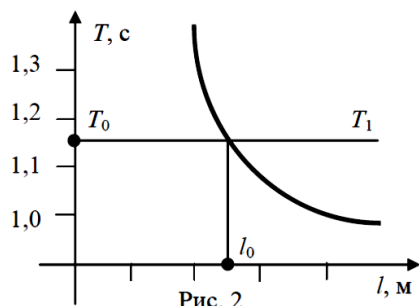
1. Повесьте маятник на отверстие (2), расположенное вблизи конца стержня.
2. Отклоните маятник на $5...10^\circ$ от положения равновесия и отпустите. Измерив время t для N (**пяти**) колебаний, определите период T_1 колебаний. Результаты запишите в табл. 2.

Примечание. Если секундомер включается и выключается вручную, то измеряйте время десяти колебаний.

3. Снимите маятник и измерьте расстояние l между центрами отверстия (2) и крайним из отверстий (3).

4. Повесьте маятник на крайнее из отверстий 3. Измерьте время t_c для 5 (или 10) колебаний и определите период колебаний T_2 .

5. Повторите измерение l и периода T_2 ещё несколько раз, перемещая ось каждый раз на 1 отверстие. Период колебаний T_1 при этом не изменяется. Чтобы убедиться в этом, проведите его измерение в конце опыта.



6. Постройте график (рис. 2) зависимости периодов колебаний T_1 и T_2 от расстояния между осями. Определите координаты T_0 и l_0 точки пересечения графиков. l_0 и есть то самое расстояние между призмами, при котором периоды колебаний обратного маятника вокруг осей, проходящих через первую и вторую призму, одинаковы, т. е. $T_1 = T_2 = T_0$.

7. Рассчитайте среднее значение g по формуле (4).

8. Оцените точность определения этого значения g , полагая, что для него относительная случайная погрешность согласно расчётной формуле (4) $\delta_g \cong \delta_{T_0}$. Точность же определения координаты точки пересечения двух линий определяется, как минимум, их толщиной h , а это означает, что δ_{T_0} равна отношению h к длине оси T .

9. Запишите результат в виде интервала, в котором $\Delta_g = g\delta_g$:

$$g = \bar{g} \pm \Delta_g.$$

10. Оцените отклонение найденной величины g от табличного значения для Челябинска ($g=9,801$ м/с²); если оно заметно выше, чем найденная случайная погрешность Δ_g , укажите причины систематической погрешности.

12. В выводе сделайте анализ возможностей измерения различных физических величин с помощью механических колебаний.

Таблица 2

$t_1, \text{с}$	$T_1, \text{с}$	№	$l, \text{м}$	$t_2, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	N =
		1				
		2				$l_o = \quad \text{см}$ $T_o = \quad \text{с}$
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
		11				
		12				
		13				

Контрольные вопросы

1. Запишите уравнение колебаний физического и математического маятников: $x = f(t)$.
2. От каких величин зависят циклическая частота ω и период колебаний T физического и математического маятников?
3. Как изменяются момент инерции и период колебаний оборотного маятника при изменении оси вращения оборотного маятника?
4. Какие устройства в установке запускаются от фотоэлемента?
5. Из каких соображений рекомендуется отклонять маятники от положения равновесия на достаточно малый угол ($4 \dots 5^\circ$)?
6. С какой целью в работе изменяют оси вращения оборотного маятника?
7. По каким формулам определяют величину g с помощью математического и оборотного маятников?
8. Как в работе находят значение периода T_0 , не изменяющееся при обращении маятника?
9. С какой целью строят графики $T = f(l)$ для оборотного маятника?
10. Какие величины определяют по этому графику?