

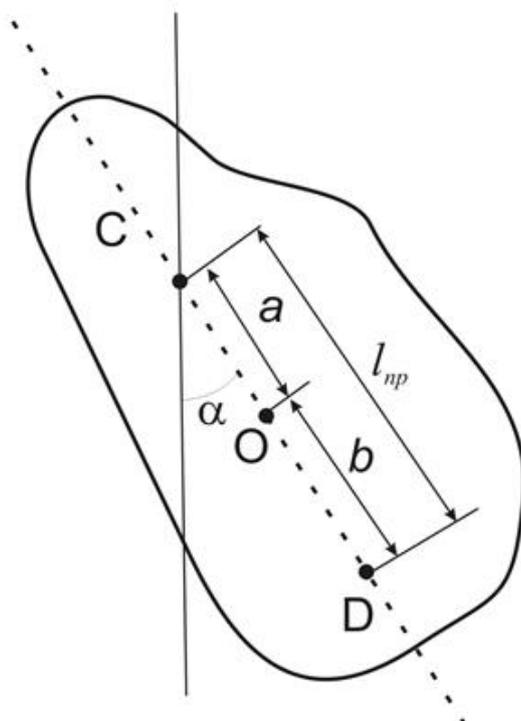


Лабораторный практикум
по ФИЗИКЕ

МЕХАНИКА

Задача № 117

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ
ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА



МОСКВА 2024

Лабораторная работа 117 ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы

Изучение физического маятника и определение ускорения свободного падения

Идея эксперимента

Состоит в измерении периода колебаний физического маятника при изменении расстояния от точки повеса до центра масс маятника. Используются два физических маятника: цилиндрический стержень с передвижной призмой и обратный маятник, в виде цилиндрического стержня с двумя закрепленными призмами и двумя дополнительными массами (чечевицами). Колебания маятников происходят вокруг горизонтальной оси, проходящей через ребро призмы.

Теоретическое введение

Физический маятник

Физическим маятником является любое твердое тело, подвешенное на

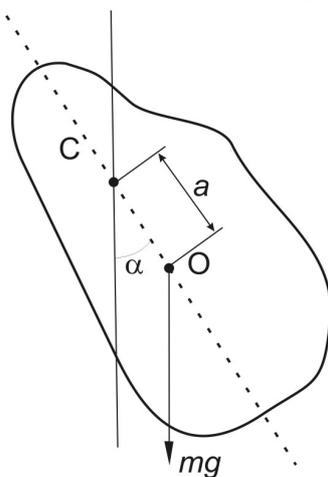


Рис.1. а) Физический маятник: C – точка подвеса, O – центр масс, a – расстояние точки подвеса до центра масс; m – масса.

неподвижной горизонтальной оси в поле тяготения и которое может качаться вокруг этой оси, совершая колебательное движение (рис.1).

Колебания маятника являются частным случаем вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси. Поэтому особенности движения маятника могут быть изучены путем анализа основного уравнения вращательного движения относительно оси, проходящей через точку подвеса C (ось C) и перпендикулярной к плоскости чертежа на рис.1:

$$J_C \cdot \varepsilon = M_C, \quad (1)$$

где J_C – момент инерции маятника относительно оси С, ε – угловое ускорение, M_C – суммарный момент всех сил, действующих на маятник при его движении, относительно оси С. В отсутствие сил трения M_C равен моменту силы тяжести, приложенной к центру масс маятника:

$$M_C = -mga \sin \alpha, \quad (2)$$

где m – масса маятника, a – расстояние между центром масс О и точкой подвеса С, $\alpha = \alpha(t)$ – угол отклонения от положения равновесия в момент времени t . Знак минус означает, что момент M_C противодействует увеличению угла α . Для малых углов отклонения $\sin \alpha \approx \alpha$ и уравнение моментов (1) принимает вид:

$$J_C \left(\frac{d^2 \alpha}{dt^2} \right) + mga \alpha = 0, \quad (3)$$

где через $\frac{d^2 \alpha}{dt^2}$ обозначено угловое ускорение ε . Уравнение (3) является уравнением колебаний:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega^2 \alpha = 0, \quad (4)$$

где

$$\omega = \sqrt{\frac{mga}{J_C}}. \quad (5)$$

- циклическая частота.

Решением (4) является гармоническая функция вида

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (6)$$

Это означает, что маятник совершает колебательное движение, при котором угол отклонения $\alpha(t)$ изменяется со временем по гармоническому закону (6) с амплитудой α_0 , начальной фазой φ и циклической частотой ω , связанной с периодом колебаний T соотношением:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} . \quad (7)$$

Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_C}{mga}} . \quad (8)$$

Математический маятник является частным – предельным случаем физического маятника, масса m которого сосредоточена в одной точке – в центре масс и колеблется на невесомой, нерастяжимой нити длиной l_m . Следовательно, для периода колебания T_m математического маятника можно применить формулу (8), где $J_C = ml_m^2$, а роль расстояния a играет длина нити l_m :

$$T_m = 2\pi \sqrt{\frac{J_C}{mga}} = 2\pi \sqrt{\frac{ml_m^2}{mgl_m}} = 2\pi \sqrt{\frac{l_m}{g}} . \quad (9)$$

Из сравнения формул (8) и (9) видно, что величина J_C/ma для физического маятника играет такую же роль, как длина l_m для математического маятника.

*Длина l_m математического маятника с периодом колебаний, равным периоду колебаний физического маятника, называется **приведенной длиной** этого физического маятника:*

$$l_{np} = \frac{J_C}{ma} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \cdot g . \quad (10)$$

Очевидно период колебаний физического маятника равен периоду колебаний математического маятника, длина которого равна l_{np} :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{np}}{g}} . \quad (11)$$

Центр качаний. Сопряженные точки.

Воспользуемся теоремой Гюйгенса - Штейнера:

$$J_C = J_0 + ma^2 , \quad (12)$$

где J_0 – момент инерции маятника относительно оси, проходящей через его центр масс O и параллельной оси C . Из (8) и (12) получим:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ma^2}{mga}} \quad (13)$$

$$l_{np} = \frac{J_C}{ma} = \frac{J_0 + ma^2}{ma} = \frac{J_0}{ma} + a = b + a, \quad (14)$$

где введено обозначение:

$$b = \frac{J_0}{ma}. \quad (15)$$

Точка D (рис.2), расположенная на расстоянии l_{np} от точки подвеса C на прямой, проходящей через центр масс O , называется **центром качаний**.

Согласно (14), $l_{np} > a$. (В случае математического маятника, для которого $J_0 = 0$, $l_{np} = a$). Это означает, что центр качаний относительно точки подвеса расположен по другую сторону от центра масс на расстоянии

$$b = \frac{J_0}{ma} = l_{np} - a \text{ от него (рис. 2).}$$

Точка подвеса C и соответствующий ей центр качаний D – взаимно обратимые или **сопряженные** точки маятника. Это означает, что если

изменить точку подвеса и поместить ее в центр качаний, то период колебаний не изменится. Несложно убедиться, что новая величина приведенной длины

$$\begin{aligned} l_{npD} &= \frac{J_D}{mb} = \frac{J_0 + mb^2}{mb} = \\ &= \frac{J_0}{mb} + b = \frac{J_0}{m \frac{J_0}{ma}} + \frac{J_0}{ma} = a + \frac{J_0}{ma} = \frac{ma^2 + J_0}{ma} = \frac{J_C}{ma} = l_{np} \end{aligned} \quad (16)$$

будет такой же, как и прежде, $l_{npD} = l_{np}$, а прежняя точка подвеса C станет новым центром качаний. Данное положение носит название **теоремы Гюйгенса** [1].

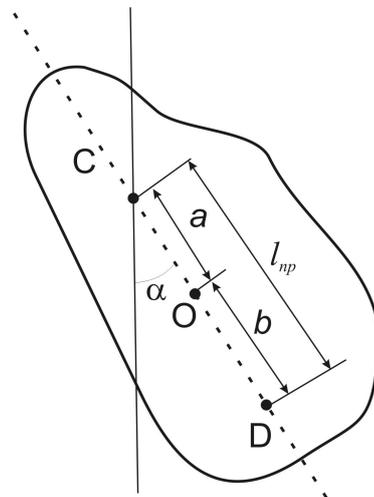


Рис.2 Сопряженные точки маятника

Радиус инерции.

Сопоставим момент инерции маятника J_A относительно произвольной оси A с моментом инерции материальной точки ma_A^2 такой же массы и относительно той же оси A . Расстояние a_A от оси A до этой материальной точки, при котором их моменты инерции будут одинаковы ($J_A = ma_A^2$), называется **радиусом инерции** маятника относительно оси A . Тогда, по аналогии, момент инерции J_O маятника относительно оси O , проходящей через его центр масс и параллельной оси A , равен:

$$J_O = ma_0^2, \quad (17)$$

где $a_0 = \sqrt{J_O/m}$ – **радиус инерции относительно оси O** . С учетом этого определения выражение (12) – переписывается в виде:

$$J_C = J_O + ma^2 = ma_0^2 + ma^2 = m(a_0^2 + a^2). \quad (18)$$

То есть

$$l_{np} = \frac{(a_0^2 + a^2)}{a}; \quad (19)$$

и

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(a_0^2 + a^2)}{ag}}. \quad (20)$$

Зависимость $T(a)$ (20) представлена на рис. 3, где по оси абсцисс – расстояние a от точки подвеса до центра масс.

Минимальное значение приведенная длина и период колебаний принимают при $a=a_0$. Убедиться в этом можно, исследуя зависимость $l_{np}(a)$ на экстремум:

$$\frac{d}{da}(l_{np}) = -\frac{(a_0^2 + a^2)}{a^2} + \frac{2a}{a} = 0 \quad \Rightarrow \quad a = a_0.$$

При этом минимальные значения приведенной длины и периода колебаний равны, соответственно

$$l_{np.мин} = \frac{a_0^2 + (a_0)^2}{a_0} = 2a_0 \quad (21)$$

$$T_{мин} = 2\pi \sqrt{\frac{l_{np.мин}}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{2a_0}{g}} \quad (22)$$

Парные точки подвеса.

Из рис 3 видно, что любая прямая, параллельная оси абсцисс и пересекающая кривую $T(a)$, дает пару точек подвеса (например, C_1, C_2 ; или C_1', C_2') с одинаковыми периодами колебаний $T_1 = T_2$ и в соответствии

с (8) одинаковыми приведенными длинами ($l_{np1} = l_{np2}$ на рис. 3). Такие точки подвеса называются **парными**.

Выясним их свойства. Для этого перепишем формулу (17) в виде квадратного уравнения относительно a :

$$a^2 - l_{np}a + a_0^2 = 0. \quad (23)$$

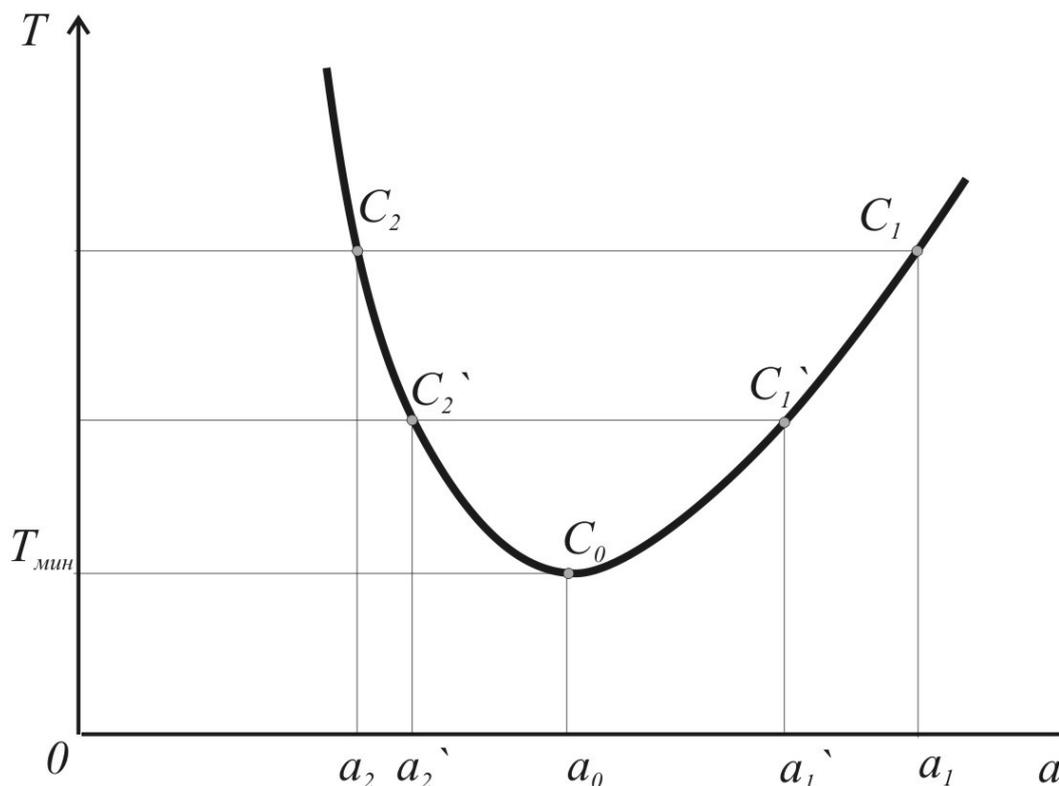


Рис. 3. Зависимость $T(a)$ для физического маятника. Точки $(C_1$ и $C_2)$, $(C_1'$ и $C_2')$ – парные.

Уравнение (23), при условии $l_{np} = const > 2a_0$, имеет два положительных корня $a_1 > a_0$ и $a_2 < a_0$, которые соответствуют двум парным точкам подвеса **по одну сторону** от центра масс, но по разные стороны от точки a_0 (см. рис.3).

Используя свойства корней квадратного уравнения, получаем следующие **свойства парных точек**.

1) Для каждой из двух парных точек приведенная длина равна сумме их расстояний от центра масс:

$$a_1 + a_2 = l_{np}; \quad (24)$$

2) произведение этих расстояний равно квадрату радиуса инерции маятника относительно центра масс

$$a_1 a_2 = a_0^2. \quad (25)$$

Свойство (25) позволяет найти радиус инерции a_0 и, зная массу маятника, определить по формуле (17) его момент инерции J_0 , относительно оси, проходящей через центр масс.

Использование физического маятника для измерения ускорения свободного падения.

Измерение периода колебаний любого физического маятника позволяет в принципе определить ускорение свободного падения g в любой точке земного шара. Эти методы определения g известны и используются в гравиметрии. Маятниковые гравиметрические приборы удобны для определения вариаций g , т.е. нахождения отношений значений g в различных точках поля тяготения, однако их точность уступает другим типам гравиметров. Часто маятниковые приборы используются для решения более сложной задачи — определения абсолютного значения g . В этом случае измерения проводятся таким образом, чтобы исключить из окончательных формул величину момента инерции маятника.

Предположим, что мы определили периоды колебаний маятника T_1 и T_2 , подвешивая его в двух разных точках, находящихся на некоторых расстояниях a и b по разную сторону от центра масс. В соответствии с (13) можно записать

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ma^2}{mga}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + mb^2}{mgb}} \quad (26)$$

Возведя в квадрат эти уравнения и вычитая, получим:

$$T_1^2 ga - T_2^2 gb = 4\pi^2(a^2 - b^2),$$

откуда следует

$$g = 4\pi^2 \frac{a^2 - b^2}{aT_1^2 - bT_2^2}. \quad (27)$$

Можно показать, что погрешность вычислений по формуле (27) будет минимальной, если T_1 и T_2 близки друг к другу, а a и b существенно отличаются друг от друга. Действительно:

$$\begin{aligned}
g &= 4\pi^2 \frac{a^2 - b^2}{aT_1^2 - bT_2^2} = 4\pi^2 \frac{(a+b)(a-b)}{aT_1^2 - bT_1^2 + aT_1^2 - bT_2^2} = \\
&= 4\pi^2 \frac{(a+b)}{\frac{aT_1^2 - bT_1^2 + bT_1^2 - bT_2^2}{(a-b)}} = 4\pi^2 \frac{(a+b)}{T_1^2 + \frac{b}{(a-b)}(T_1^2 - T_2^2)}
\end{aligned}$$

Учитывая, что при вычитания величин их погрешности складываются, можно сделать вывод, что погрешность в значительной степени определяется величиной $\frac{b}{(a-b)}(T_1^2 - T_2^2)$, которая уменьшается, если a и b сильно отличаются, а T_1 и T_2 близки друг к другу.

Если периоды равны между собой ($T_1 = T_2 = T_0$), то $(a+b) = l_{np}$,

$$g = 4\pi^2 \frac{l_{np}}{T_0^2} \quad (28)$$

Экспериментальная часть

Экспериментальная установка

В состав установки входят:

- два физических маятника различной конструкции;
- опоры для установки физических маятников;
- электронная система регистрации периода колебаний.

В данной работе используются две модификации физического маятника.

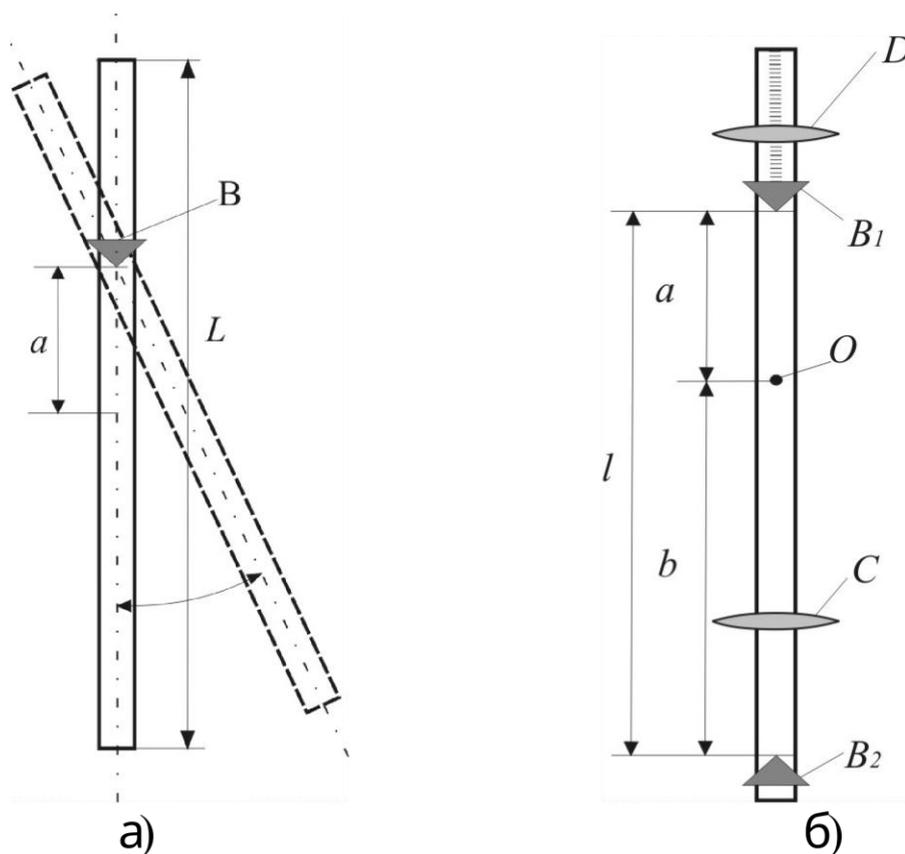


Рис. 4. Устройство физических маятников

Первая – длинный цилиндрический стержень с одной опорной призмой B (рис.4а), положение которой можно изменять, что приведет к изменению периода колебаний маятника. Опорная призма маятника устанавливается на специальную консоль, расположенную в верхней части массивной стойки. Стойка должна быть установлена строго вертикально, для регулировки в треугольном основании стойки имеются три опорных винта.

Вторая – длинный цилиндрический стержень с двумя неподвижными опорными призмами B_1 и B_2 (рис.4б) и двумя дополнительными массами (чечевицами). Чечевица C закреплена, а чечевица D находится на конце стержня (не между призмами) и может перемещаться по нему, ее

положение определяется по шкале на стержне.

Центр масс маятника на схеме обозначен точкой O , его положение изменяется в зависимости от положения чечевицы D . Изменяя положение чечевицы D , можно найти такое положение центра масс, при котором периоды колебаний маятника на призмах B_1 и B_2 будут одинаковы. Такой маятник называется **оборотным**.

Период колебаний определяется с помощью электронного таймера и фотоэлектрической схемы (на рис. 4 не указаны). После включения таймера в сеть необходимо последовательно нажать клавиши “СБРОС” и “ПУСК”. При первом же пересечении маятником светового луча фотоэлектрического датчика происходит запуск системы счета периодов и электронного таймера. После нажатия клавиши “СТОП” очередное пересечение маятником светового луча, соответствующее завершению текущего периода колебаний, вызывает остановку таймера и системы счета периодов колебаний. Результаты высвечиваются на табло блока— это количество периодов и соответствующее ему полное время колебаний. Точность измерений времени таймером считать равной 0,001 сек.

Проведение эксперимента

Упражнение 1. Изучение колебаний физического маятника (используется маятник в виде цилиндрического стержня).

В настоящем упражнении измеряется период колебания маятника в зависимости от положения подвижной опорной призмы (рис. 4а).

Измерения

(результаты прямых измерений заносятся в таблицу 1)

1. Запишите в таблицу указанные на установке длину L и массу M маятника.

2. На стержне маятника для удобства отсчета координаты сделаны небольшие углубления на расстоянии 10 мм друг от друга. Закрепите опорную призму максимально близко к торцу стержня таким образом, чтобы винт крепления попал точно в углубление. Измерьте штангенциркулем расстояние d_0 от торца стержня до ребра опорной призмы.

3. Установите маятник так, чтобы ребро опорной призмы маятника попало в специальное углубление на консоли стойки и опиралось по всей длине. Отклоните маятник на $3-5^\circ$ от вертикали и убедитесь, что в процессе колебаний стержень маятника полностью открывает луч таймера, и таймер

правильно считает количество периодов. Измерьте время t_0 $n=10$ полных колебаний маятника.

4. Сместите ребро опорной призмы на 50 мм и закрепите так, чтобы винт крепления попал точно в углубление. В результате для координаты ребра призмы будет справедливо соотношение

$$d_1 = d_0 + 50 \text{ (мм)}.$$

Проведите измерение времени t_1 $n=10$ колебаний маятника.

5. Повторите измерения 5-7 раз, каждый раз смещая призму на 50 мм. В области минимальных значений времени колебаний уменьшите смещение призмы до 10 мм. Для повышения точности в области минимума для каждого положения проведите измерения времени не менее 3 раз.

6. В результате общее число измерений должно быть не менее 12-15, при этом с обеих сторон от минимума должно быть не менее 5-7 измерений.

Таблица 1. Результаты измерений (упр. 1)

$L = \pm \dots\dots\dots \text{ м}$			$M = \pm \dots\dots\dots \text{ кг}$				$n = 10$	
d (мм)								
t (с)								

Обработка результатов

(результаты обработки заносятся в таблицы 2-4)

1. Так как масса стержня существенно больше массы опорной призмы, будем считать, что центр масс маятника находится в середине стержня независимо от положения призмы.

Для каждого положения d_i опорной призмы рассчитайте по формуле

$$a_i = L/2 - d_i$$

расстояние a от ребра призмы до центра масс стержня и оцените погрешность. Рассчитайте период колебаний T .

Таблица 2. Результаты обработки (упр. 1, п.4)

№	a (мм)	T (с)	$x = T^2 a$ (с ² *мм)	$y = a^2$ (мм ²)	S_y (мм ²)
1					
2					
3					

2. Постройте график зависимости $T(a)$, в соответствии с (20) она описывается формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(a_0^2 + a^2)}{ag}},$$

где a_0 - радиус инерции. Найдите по графику значение a_{\min} , при котором период T минимален. в этом случае, как показано выше, $a_0 = a_{\min}$. Однако вследствие погрешностей измерений точность нахождения по графику координаты минимума, и, как следствие, радиуса инерции a_0 невелика. Поэтому предлагается другой метод определения a_0 .

3. Возведем (20) в квадрат и чуть переставим слагаемые:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(a_0^2 + a^2)}{ag};$$

$$a^2 = \frac{g}{4\pi^2} T^2 \cdot a - a_0^2. \quad (20a)$$

Введем обозначения:

$$y = a^2; \quad x = T^2 \cdot a, \quad A = \frac{g}{4\pi^2}, \quad B = -a_0^2, \quad (20б)$$

в результате получим:

$$y = Ax + B. \quad (20в)$$

Зависимость $y(x)$ – линейная, что позволяет применить метод наименьших квадратов (МНК) для нахождения коэффициентов A и B и оценки их погрешностей.

В (20б) величины x и y – косвенно измеряемые величины. Так как погрешности измерений как координаты a , так и периода T колебаний малы, то можно считать малыми и погрешности измерений величины x . Погрешность величины y определяется погрешностью измерения a , т.е.

$$S_{y_i} = \left| \frac{\partial y}{\partial a} \right| \cdot S_a = 2a_i \cdot S_a.$$

Поэтому для обработки следует применить МНК «с весами» (формулы (44-45) из [4]).

4. Рассчитайте величины $y = a^2$ и $x = T^2 \cdot a$. Постройте график $y(x)$. Оцените погрешности величины y_i . Применяя МНК, получите оценки коэффициентов A и B и оценки погрешностей.

5. В соответствии с формулами (20б) для коэффициентов A и B , получите оценки для ускорения g свободного падения и радиуса инерции a_0 .

$$g = 4\pi^2 A, \quad a_0 = \sqrt{-B}.$$

Оцените погрешности величин.

6. Момент инерции стержня массой m и длиной L относительно оси, проходящей через центр масс, равен $J = \frac{mL^2}{12}$, тогда радиус инерции равен

$a_0 = \sqrt{\frac{J}{m}} = \frac{L}{\sqrt{12}}$. Сравните с величиной, полученной в эксперименте как по графику (п. 2), так и применяя МНК (п.5).

Таблица 3. Результаты обработки МНК (упр. 1, п.4)

$A = \pm ()$	$B = \pm ()$	$g = \pm ()$
$a_{0\text{граф}} = \pm ()$	$a_{0\text{МНК}} = \pm ()$	$a_{0\text{теор}} = \pm ()$
$T_{\text{min_граф}} = \pm ()$		$T_{\text{min_расч}} = \pm ()$

7. По полученным в п.5 оценкам g и a_0 проверьте выполнение

$$T_{\text{min}} = 2\pi \sqrt{\frac{2a_0}{g}},$$

где T_{min} – минимальное значение периода колебаний.

8. По графику $T(a)$ для трех произвольных значений периода колебаний $T_i > T_{\text{min}}$

- найдите парные точки a_1 и a_2 ;

- рассчитайте приведенную длину $l_{\text{пр}} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \cdot g$;

- проверьте справедливость соотношений:

$$a_1 + a_2 = l_{\text{пр}}; \quad a_1 \cdot a_2 = a_0^2.$$

Таблица 4. Результаты обработки парных точек (упр. 1, п.8)

T (с)	a_1 (мм)	a_2 (мм)	$a_1 + a_2$ (мм)	$l_{\text{пр}}$ (мм)	$a_1 \cdot a_2$ (мм ²)	a_0^2 (мм ²)

Упражнение 2. Определение ускорения свободного падения
с помощью оборотного маятника
(используется маятник с двумя неподвижными опорными призмами).

В настоящем упражнении измеряются периоды колебаний оборотного маятника в зависимости от положения подвижной чечевицы (рис. 4б).

Измерения

(результаты прямых измерений заносятся в таблицу 5)

1. Запишите в таблицу указанные на установке расстояние между опорными призмами (приведенную длину) l_{np} и массу M маятника.

2. Закрепите подвижную чечевицу D в ближайшее к призме B_2 положение, соответствующее совмещению риски чечевицы с одной из поперечных рисок на стержне (координата x_1).

3. Установите маятник так, чтобы ребро опорной призмы B_2 маятника попало в специальное углубление на консоли стойки, закрепленной на стене, и опиралось по всей длине (прямое положение маятника). Отклоните маятник на $3-5^\circ$ от вертикали и убедитесь, что в процессе колебаний стержень маятника полностью открывает луч таймера, и таймер правильно считает количество периодов. Измерьте время $t_{0пр}$ $n=10$ полных колебаний маятника.

4. Аккуратно снимите маятник, переверните его и установите на опорную призму B_1 (обратное положение маятника). Проведите измерения времени $t_{0обр}$ $n=10$ полных колебаний маятника.

5. Изменяя положение чечевицы D каждый раз с шагом 10 мм, повторите измерения в соответствии с п.3 и п.4. Измерения проведите не менее, чем для 10 положений чечевицы, при этом число измерений, в которых ($t_{0пр} > t_{0обр}$) и ($t_{0пр} < t_{0обр}$) должны быть примерно одинаковыми.

6. По результатам измерений найдите такие два соседних положения чечевицы, при которых происходит изменение знака разности ($t_{0пр} - t_{0обр}$). Изменяя положение чечевицы между этими положения с шагом 1-2 мм, найдите такое положение, при котором периоды будут практически одинаковыми. Для повышения точности для каждого положения чечевицы проведите измерения времени колебаний для обоих положений маятника не менее трех раз.

Таблица 5. Результаты измерений (упр. 2)

х(мм)												
t (с) прям												
t (с) обр												
T (с) прям												
T (с) обр												

Обработка результатов

(результаты обработки заносятся в таблицы 5, 6)

Как отмечалось выше, в случае совпадения периодов колебаний маятника в прямом и обратном положениях формула для нахождения ускорения свободного падения имеет вид:

$$g = 4\pi^2 \frac{l_{np}}{T_0^2},$$

при этом приведенная длина l_{np} маятника равна расстоянию между опорными призмами.

Так как период колебания T_0 и приведенная длина l_{np} маятника могут быть определены с высокой точностью, то и ускорение свободного падения будет найдено очень точно. При таком подходе к измерениям нет необходимости находить положение центра масс маятника. Поэтому при проведении измерений следует добиться как можно более точного совпадения периодов. При этом точность положения чечевицы на стержне маятника совершенно неважна.

1. По результатам измерений рассчитайте периоды колебаний маятника в прямом и обратном положениях. Постройте на одних осях графики зависимости периодов от положения чечевицы. Убедитесь в пересечении этих графиков.

2. Выберите наиболее близкие значения периодов колебаний T_{01} и T_{02} маятника в прямом и обратном положениях. Рассчитайте T_0 по формуле

$$T_0 = \frac{T_{01} + T_{02}}{2}$$

и оцените погрешность. Убедитесь, что $T_0 \gg |T_{01} - T_{02}|$.

3. Получите по (11) оценку ускорения свободного падения. Оцените относительную погрешность по формуле

$$\frac{S_g}{g} = \sqrt{\left(\frac{S_{l_{np}}}{l_{np}}\right)^2 + \left(\frac{2S_{T_0}}{T_0}\right)^2},$$

где $S_g, S_{l_{np}}, S_{T_0}$ - оценки погрешностей соответствующих величин.

Таблица 6. Результаты обработки (упр. 2)

T_{01} (с)	T_{02} (с)	$T_0 \pm S_{T_0}$ (с)	$l_{np} \pm S_{l_{np}}$ (м)	$g \pm S_g$ (м/с ²)

4. Сравните полученный результат с табличным значением и с полученным в упр. 1.

Основные итоги работы

В результате выполнения работы должны быть изучены основные свойства колебаний физического маятника: должен быть определен радиус инерции $a\theta$, проведено его сравнение с теоретическим значением, определено минимальное значение периода колебаний, проверены соотношения (24), (25) для парных точек. Должно быть получено значение ускорения свободного падения, проведено его сравнение с табличным значением и проанализированы причины, приводящие к увеличению погрешности эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Что называется физическим маятником? Математическим маятником? От чего зависит период их колебаний?
2. При каких условиях физический маятник совершает гармонические колебания? Каким уравнением они описываются? Что называется смещением колеблющейся точки, амплитудой, периодом, фазой?
3. В каких положениях колеблющегося маятника максимальна его скорость? Ускорение?
4. Что называется приведенной длиной физического маятника? Напишите формулу для приведенной длины.
5. Что такое парные точки?
6. Что такое сопряженные точки?
7. Что такое радиус инерции?
8. Дайте вывод формулы (28) для расчета ускорения свободного падения.
9. По каким причинам ускорение свободного падения зависит от высоты над уровнем моря, а также от географической широты?

Литература

1. В. А. Алешкевич, Л. Г. Деденко, В. А. Караваев. Механика. –М.: Изд. Центр «Академия», 2004.
2. С. П. Стрелков. Механика. –СПб.: «Лань», 2005. Гл.9, §76,77, Гл.14, §123,124
3. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. В пяти томах. Т. 1. Механика. –М.: ФИЗМАТЛИТ/ МФТИ, 2005. §35,36,41
4. Митин И. В., Русаков В. С. Анализ и обработка экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие для студентов младших курсов. – М.: МГУ. 2002.
5. А.И. Акимов, А.Н. Баранов, А.М. Салецкий Изучение колебаний физического маятника. М. МГУ, 2007 Введение, 1.1-1.4, 3.1,3.2.