***Форма оформления отчёта о выполнении работы*.**

Фамилия Имя:
№ группы:
№ и название работы:
Приборы и материалы:

Запись исходных данных в виде отдельных величин или в виде таблиц.

Запись расчётов.

Вывод по результатам работы в виде: «В данной работе мы получили значение искомой величины равное тому то, которое мы определили с такой то погрешностью»

Если в работе необходимо строить графики, то они выполняются на миллиметровой бумаге, размером не менее А5, с соблюдением требований к построению графиков. Графики вклеиваются в конце отчёта.

Ответы на контрольные вопросы.

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

Работа №1:

«ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА МАКСВЕЛЛА»

Принадлежности: маятник Максвелла, секундомер, линейка, штангенциркуль, электронные весы.
Цель работы: определение момента инерции маятника.

ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Маятник Максвелла схематически изображен на рисунке 1. Принцип его работы основан на том, что поднятый на высоту h маятник, обладающий массой m, будет иметь потенциальную энергию mgh (g -ускорение свободного падения). Если маятник освободить, то он начнет раскручиваться и опускаться вниз. При этом его потенциальная энергия будет переходить в кинетическую энергию. Та, в свою очередь, складывается из энергии поступательного движения $mv^2/2$ и вращательного движения $I\omega^2/2$. На основании закона сохранения механической энергии запишем:

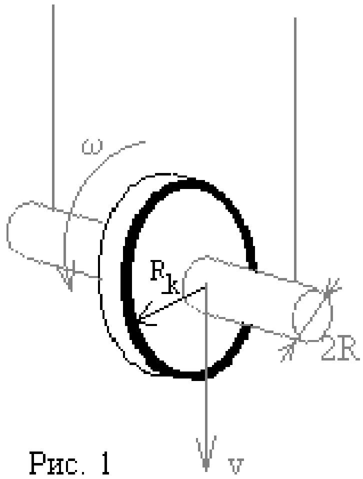


Рис. 1

$$mgh = mv^2/2 + I\omega^2/2 \quad (1),$$

где h - ход маятника (высота, на которую он опустился), v-скорость движения оси маятника, ω- угловая скорость маятника в тот же момент времени.
Из уравнения (1), с учетом того, что v = Rω, где R - радиус оси маятника, получаем:

$$I = mR^2\left(\frac{2gh}{v^2} - 1\right) \quad (2).$$

Учитывая, что при равноускоренном движении оси маятника:

$$v^2 = 2ah, \quad (3),$$

$$h = at^2/2 \quad (4),$$

(здесь a - ускорение, с которым опускается маятник, t – время движения маятника) получаем значение момента инерции маятника:

$$I_{экс} = mR^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right) \quad (5).$$

Все величины, входящие в формулу (5) могут быть непосредственно измерены.
Значение момента инерции маятника можно представить в виде суммы:

$$I_{теор} = I_д + I_{ст} \quad (6),$$

где $I_д = \frac{1}{2} m_д R_д^2$ - момент инерции сменного кольца ($m_д$ - масса диска, $R_д$ - радиус диска), $I_{ст} = \frac{1}{2} m_{ст} R_{ст}^2$- момент инерции стержня относительно его оси ($m_{ст}$ – масса стержня, $R_{ст}$- длина стержня).

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Теоретически вычислите момент инерции маятника. Для этого при помощи штангенциркуля и линейки определите его линейные размеры, а при помощи весов его массу. Подумайте, как общая масса маятника распределена между диском и стержнем, если маятник однородный и весь изготовлен из одного вещества.
2. Соберите установку по схеме, которая изображена на рисунке 2.
3. Определите высоту h_0 на которой находится ось маятника относительно стола при расправленных нитях.
4. Осторожно, без рывков, раскрутите ось маятника так, чтобы он начал подниматься, наматывая нить на стержень. Измерьте начальную высоту H , отпустите маятник и одновременно включите секундомер. Замерьте время опускания маятника до того момента, когда нити полностью размотаются.
5. Повторите 4 пункт 3 раза, при этом высота H каждый раз должна быть одна и та же. Вычислите среднее время опускания маятника.
6. Вычислите экспериментальное значение момента инерции маятника.
7. Повторите пункты 3, 4, 5 для ещё двух высот H.
8. Сравните экспериментальное и теоретическое значение момента инерции маятника и объясните результаты этого сравнения в выводе.

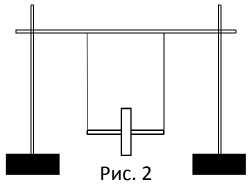


Рис. 2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется моментом инерции твердого тела?
2. Чему равна кинетическая энергия твердого тела?
3. Является ли движение маятника равноускоренным? Ответ обоснуйте.
4. Являются ли колебания маятника Максвелла гармоническими? Ответ обоснуйте.

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

Работа №2*:*
« ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ОБОРОТНЫМ МАЯТНИКОМ (МЕТОД БЕССЕЛЯ)»
Принадлежности: оборотный маятник, секундомер, рулетка.
Цель работы: определение ускорения свободного падения.

ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Применение оборотного маятника основано на свойстве сопряженности центра качания и точки подвеса. Это свойство заключается в том, что во всяком физическом маятнике можно найти такие две точки, что при последовательном подвешивании маятника за ту или другую из них период колебаний его остается одним и тем же. Расстояние между этими точками определяет собой приведенную длину данного маятника.
Если амплитуда колебаний маятника мала, то время одного простого колебания его, т. е. период колебания, определяется формулой

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{gma}} \quad (1)$$

По теореме о моментах инерции

$$J = J_0 + ma^2 \quad (2)$$

где J_0 — момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести и параллельной оси качаний, J – момент инерции относительно оси качания, m – масса тела, a – расстояние между центром тяжести и осью качания. Из уравнений

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{J_0+ma_1^2}{gma_1}} \text{ и } T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{J_0+ma_2^2}{gma_2}} \text{ получаем } T_1^2 g a_1 - T_2^2 g a_2 = 4\pi^2(a_1^2 - a_2^2)$$

Для величины ускорения из последней формулы после преобразований получаем уравнение, данное Бесселем:

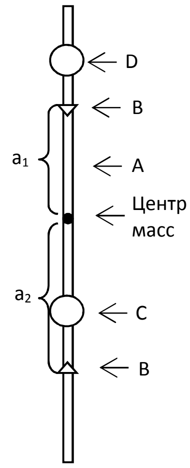
$$g = \frac{4\pi^2(a_1^2-a_2^2)}{T_1^2 a_1 - T_2^2 a_2} \quad (3)$$

Если периоды равны между собой (T_1=T_2=T), уравнение примет вид (4)

$$g = 4\pi^2\frac{L}{T^2} \text{ (4) Где } L = a_1 + a_2 \text{ - приведённая длина.}$$

Добиться полного равенства периодов нелегко. Формула Бесселя позволяет достаточно просто и с не меньшей степенью точности определить величину ускорения при приближенном равенстве периодов колебаний.
Пусть T_1 и T_2 близки друг к другу, а величины a_1 и a_2 сильно отличаются одна от другой (одна чечевица лёгкая, другая тяжёлая). В этом случае, как видно из формулы, нет необходимости определять величины a_1 и a_2 с большой степенью точности (не точнее чем до 1 мм).

Описание прибора.



Оборотные маятники в зависимости от предъявляемых к ним требованиям имеют самую различную форму. Они обычно состоят из металлического стержня длиной свыше 1 м. По стержню могут передвигаться и закрепляться в том или ином положении тяжелые и легкие чечевицы (грузы) и опорные призмы. Различные комбинации чечевиц и их положений на стержне с опорными призмами дают различные типы оборотных маятников.
В настоящей задаче применяется оборотный маятник, изображенный на рис.
На металлическом стержне Л опорные призмы B жестко закреплены и не перемещаются. Жестко закреплена и чечевица C, находящаяся между ними. Вторая чечевица D находится на конце стержня (не между призмами) и может перемещаться по стержню и закрепляться в нужном положении.
Расстояние между призмами постоянно.

Измерения.

Пользуясь секундомером, определяют периоды колебаний маятника для различных положений чечевицы D на стержне. Это следует проделать, перемещая чечевицу через каждые 2 сантиметра, т. е. получить семь, десять значений периодов. Каждый период определяется из 30 колебаний.

Необходимо построить график зависимости периода колебаний от положения чечевицы на стержне маятника, откладывая по оси абсцисс положение чечевицы, а по оси ординат величину периода колебаний.

После этого ось вращения маятника изменяют, т. е. заставляют маятник колебаться на другой опорной призме. Вновь, в тех же пределах, с тем же числом измерений, совершенно так же измеряют периоды колебаний. На той же системе координат полученный материал также представляют в виде графика. Точка пересечения кривых определяет местонахождение подвижной чечевицы, которое дает наиболее близкие друг к другу значения периодов.

Для ускорения эксперимента и повышение его точности необходимо получать значение периодов для двух опорных призм сразу для одного положения чечевицы, а уже потом перемещать её в новое положение. Результаты лучше заносить в таблицу.

Определите значение ускорения свободного падения по формуле (3)

№	a_1	Число колебаний	t, c время колебаний	T_1, c период	A_2	Число колебаний	t, c время колебаний	T_2, c период	g, м/с^2

Посчитайте среднее значение ускорения свободного падения в таблице.

Постройте на одной системе координат два графика зависимости периода колебания от положения чечевицы (a_1 и a_2) и по нему определите положение чечевицы при котором период колебания маятника будет одинаков в обоих вариантах подвеса. Посчитайте ускорение свободного падения по формуле (4). Сравните полученный результат с результатом, полученным по формуле (3) и сделайте вывод.

Выполнение работы требует внимания и тщательности. Недопустимы колебания маятника с углом отклонения больше чем 4°.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое приведённая длина?
2. От чего зависит величина ускорения свободного падения для Земли?
3. Каков теоретический вид зависимости периода колебаний от положения чечевицы? Объясните.

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

Работа №3:

«ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ НА МАШИНЕ АТВУДА»

(Автор – С. Г. Лисицын)

Приборы и принадлежности: машина Атвуда, электронный секундомер, набор основных и добавочных грузов, линейка.

Цель работы: определение ускорения свободного падения на машине Атвуда.

ВВЕДЕНИЕ

Ускорение свободного падения g можно определить с помощью формулы

$$h=\frac{1}{2}g\,t^2 \qquad (1)$$

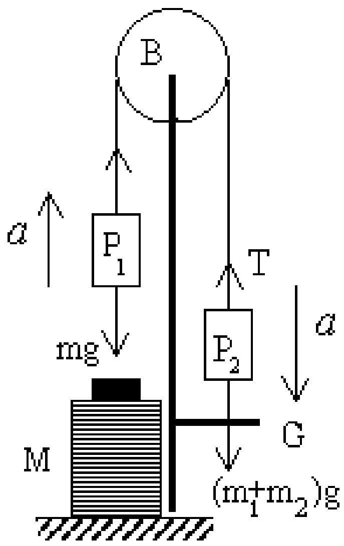


Рис. 1

связывающей высоту падения тела h и время падения t, измерив их экспериментально. Но для того, чтобы погрешность Δt при таком измерении была наименьшей, нужно использовать либо большие высоты h, либо измерять малые времена падения с высокой точностью. С помощью машины Атвуда можно обойти эти сложности. Машина Атвуда состоит из металлического стержня, на верхнем конце которого имеется легкий алюминиевый блок B, вращающийся с малым трением. Через блок перекинута тонкая нить с грузами P_1 и P_2 одинаковой массы. Груз блок может удерживаться электромагнитом. Масса грузов P_1 и P_2 может быть увеличена добавочными грузами (перегрузками) D и E. Если на один из грузов P_1 или P_2 положить перегрузок, то система придет в движение с ускорением $a<g$. Измерив, это ускорение, можно определить и ускорение свободного падения g. В самом деле, пусть масса перегрузка равна m_1. Так как нить нерастяжима, то величины ускорений обоих грузов будут одинаковы. Если, кроме того, пренебречь трением в оси блока B и его инерционностью, то силы натяжения нити будут одинаковы слева и справа от блока. Тогда уравнения движения грузов P_1 и P_2 будут следующие:

$$ma = T - mg$$
$$(m+m_1)a = (m+m_1)g - T,$$

где a – ускорение грузов, T – сила натяжения нити, m – масса каждого груза, m_1 – масса перегрузка. Складывая уравнения, найдем a :

$$a = g\frac{m_1}{2m+m_1} \qquad (2).$$

Итак, если известно ускорение a, то из (2) можно найти ускорение свободного падения g. Ускорение a можно определить, измерив время t, за которое один из грузов, скажем P_1, опускается на высоту h:

$$h=\frac{1}{2}at^2 \qquad (3).$$

Из (2) и (3) получаем выражение для g

$$g=\frac{2(2m+m_1)h}{m_1 t^2} \qquad (4).$$

Соотношение (4) позволяет определить g по измеренным t и h.

Здесь, однако, нужно учесть следующее. Измерения времени проводятся секундомером, причем при пуске и остановке секундомера обязательно допускается систематическая ошибка. Если в (4) вы подставляете измеренное время t, то и g будет тоже определено с систематической погрешностью. Повысить точность результата можно следующим способом. Перепишем формулу (4) в ином виде:

$$t^2 = \frac{2(2m + m_1)h}{m_1 g} \qquad (5).$$

Вводя обозначение

$$A^2 = \frac{2(2m + m_1)}{m_1 g} \qquad (6),$$

извлечем из обеих частей (5) квадратный корень

$$t = A\sqrt{h} \qquad (7).$$

Такое соотношение справедливо, как и исходная формула (4), если время t измеряется точно, у нас же время $t_{изм}$ не совпадает с t из-за систематической погрешности:

$$t_{изм} = t + \Delta t_{сист} \qquad (8).$$

Подставив в (8) t из (7), получим:

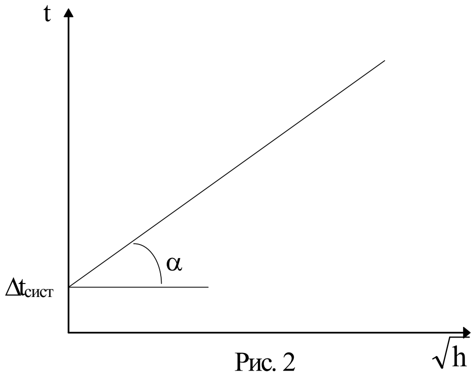


Рис. 2

$$t_{изм} = A\sqrt{h} + \Delta t_{сист}$$

Если изобразить зависимость $t_{изм}$ от $\sqrt{h}$ графически, то получится прямая линия, тангенс угла наклона которой равен А (рис. 2). Итак, изображая зависимость $t_{изм}$ от $\sqrt{h}$, мы из этого графика найдем А, и по формуле (6) определим g:

$$g = \frac{2(2m + m_1)}{m_1 A^2} \qquad (9)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Убедитесь в исправности установки (все провода включены в гнёзда, электронный секундомер включён в сеть, грузы прикреплены к нити, нить переброшена через блок, один из грузов свободно опускается на резиновую платформу, проходя через световые ворота, не задевая их). При обнаружении неполадок обратитесь к преподавателю.
2. Выставьте флажок на необходимую высоту – высоту, на которую будет опускаться груз в эксперименте. Высота должна отсчитываться от положения светового датчика в световых воротах (его положение показано чёрной чертой на торце световых ворот) и до нижнего края груза в точке старта. Рекомендуется начинать с высоты 10 см с последующим увеличением на 5 см.
3. Положите минимальный довесок (10) на груз, который проходит через световые ворота. Включите секундомер. Поднимите груз на заданную высоту. Установка готова к работе.
4. Нажмите кнопку «Пуск» на секундомере. Электромагнит разблокирует блок и запустит секундомер. В момент, когда груз достигнет датчика на световых воротах, секундомер остановится. Полученное время – время опускания груза.
5. Повторите данный эксперимент ещё два раза. Для этого груз нужно возвращать в исходное положение и нажимать кнопку «Пуск». После этого необходимо вычислить среднее время для данной высоты.
6. Теперь увеличьте высоту и повторите пункты 4 и 5 для этой высоты. Увеличивайте высоту до тех пор, пока хватает длины штока.
7. Занесите все полученные данные в таблицу:

Эксперимент №1								
m, кг		m_1, кг						
№	h, м	$\sqrt{h}, \sqrt{м}$	t_1, с	t_2, с	t_3, с	$t_{ср}$, с	А, с/$\sqrt{м}$	g, м/с^2
1								
2								
3								
4								
5								

8. Постройте график зависимости t от $\sqrt{h}$. Вычислите А (смотри приложение 1). Вычислите g.

9. Замените довесок (10) на более массивный (20). Повторите пункты с 4 по 8.
10. Теперь на добавьте два довеска 10 и 20. Повторите пункты с 4 по 8.
11. Вычислите среднее значение g по результатам трёх экспериментов и сделайте вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияют на результаты определения g сила трения и инерция блока?
2. Что нужно делать для уменьшения влияния сил трения и инерционности блока – уменьшать или увеличивать массу перегрузка m_1? Ответ обоснуйте.
3. Измерение каких величин в данной работе производится с наибольшей погрешностью? Оцениите максимальную величину этой погрешности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Изобразите на графике, вдоль оси абсцисс, которого отложены значения $\sqrt{h}$, а вдоль оси ординат $-t$, полученные вами значения $\bar{t}$ для различных значений h. Изобразите здесь же в виде вертикальных отрезков ошибки измерений Δt, отложив эти отрезки вверх и вниз от соответствующих значений $\bar{t}$. Вы получите картину, типа изображенной на рис. 3.

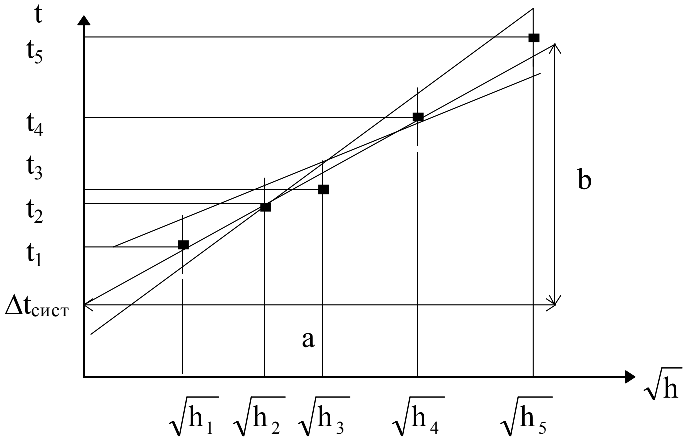


Рис. 3

Проведите прямую по полученным точкам так, чтобы она проходила как можно ближе к этим точкам и чтобы точки располагались по возможности равномерно по обе стороны от прямой. Величину $\bar{A}$, по которой определяется $\bar{g}$, найдите как отношение $\frac{b}{a}$ (смысл обозначения ясен из рис.3). С помощью (9) найдите $\bar{g}$. Это будет среднее значение ускорения свободного падения. Для того, чтобы оценить погрешность измерения ускорения свободного падения Δg, можно поступить следующим образом.

Проведите на графике еще одну прямую через точки ($t_1 - \Delta t_1$) и ($t_n + \Delta t_n$) и определите ее тангенс наклона A_1 таким же образом, как и $\bar{A}$. Разность $\Delta A = \left| \bar{A} - A_1 \right|$ можно принять в качестве погрешности определения величины А. Можно оценить, разумеется, ΔA, если провести прямую через точки $t_1 + \Delta t$ и $t_n - \Delta t$ и в качестве ΔA взять разность $\left| \bar{A} - A_2 \right|$, где A_2 – тангенс угла наклона этой прямой. Если вы верно нашли $\bar{A}$, то определение ΔA и первым и вторым способом даст величины одного порядка. Зная $\bar{A}$ и погрешность ΔA, легко определить с помощью (9) и относительную погрешность $\frac{\Delta g}{\bar{g}}$:

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{\bar{g}} = 2\frac{\Delta A}{\bar{A}} \tag{10}$$

А по ε легко найти и Δg:

$$\Delta g = \bar{g} \cdot \varepsilon \tag{11}$$

В (11) не учтена погрешность в определении масс грузов Δm и перегрузка Δm_1. Дело здесь в том, что массы определяются взвешиванием на весах с точностью до $\pm 1\,мг$, т.е. относительная погрешность не более 10^{-3}, в то время как $\frac{\Delta A}{\bar{A}}$ значительно выше. Иными словами, погрешностями Δm и Δm_1 можно пренебречь. Запишите результаты эксперимента в виде

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

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

Работа №4:

« ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЁСТКОСТИ ПРУЖИНЫ ПРИ ПОМОЩИ КРУТИЛЬНОГО МАЯТНИКА»

Принадлежности: крутильный маятник, секундомер, рулетка, электронные весы.

Цель работы: определение коэффициента жёсткости пружины на скручивание.

ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Крутильные колебания – это весьма распространенный тип колебаний. Крутильные колебательные системы присутствуют в часовых механизмах, стрелочных приборах, различных поворотных устройствах.

Крутильные колебания возникают, если при повороте груза появляется возвращающий момент сил M.

Пусть возвращающий момент сил M прямо пропорционален углу поворота φ:

$M = - k\varphi$. Здесь k - это «угловая жесткость» пружины на скручивание. Тогда для тела с моментом инерции I относительно центра масс уравнение динамики вращательного движения примет вид:

$I\beta = - k\varphi$, где β – угловое ускорение тела.

Последнее уравнение представляет собой уравнение гармонических колебаний с периодом

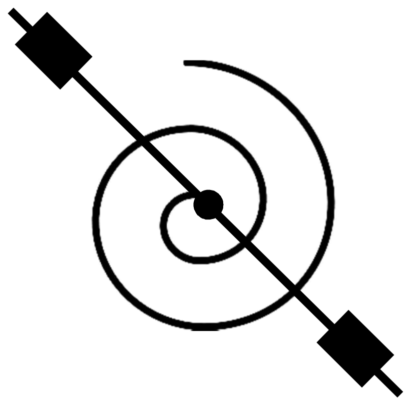
$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$.

Таким образом, зная период крутильных колебаний и момент инерции тела можно определить «угловую жесткость» пружины.

В данном эксперименте телами будут являться два массивных груза массой m, закреплённых на лёгком стержне, на расстоянии r от оси вращения. Момент инерции в этом случае вычисляется по формуле $I = 2mr^2$. Стержень при этом тоже будет обладать заметным моментом инерции, который вычисляется по формуле $I = 1/12\, mr^2$. Моменты инерции при этом складываются.

Описание прибора.

Крутильный маятник представляет собой лёгкий стержень, закреплённый на горизонтальной оси, по которому могут перемещаться грузы. К оси прикреплена упругая лента, которая при повороте стержня создаёт возвращающий момент. Перемещая грузы по стержню можно изменять момент инерции системы.



ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. При помощи весов определите массу грузов и стержня.
2. Определите период колебания маятника. Для этого необходимо засечь время 10 колебаний и вычислить средний период одного колебания. Проделайте измерение времени трижды и вычислите среднее значение периода. Данные занесите в таблицу.
3. Вычислите момент инерции.
4. Определите «угловую жесткость» пружины.
5. Закрепите грузы на делениях, ближайших к оси вращения и повторите пункты 2-4.
6. Переместите грузы на следующее деление и повторите пункты 2, 3, 4, 5, 6. Повторяйте их до тех пор, пока на стержне не закончатся деления.
7. Вычислите среднюю «угловую жесткость» пружины.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова была бы ошибка, вызванная тем, что мы не учли бы момент инерции стержня?
2. Почему в уравнении динамики вращательного движения для крутильного маятника не учитывается сила тяжести?

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

Работа №5*:*
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ И ПРОВЕРКА ТЕОРЕМЫ ШТЕЙНЕРА МЕТОДОМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ» (Автор – С. Г. Лисицын)

Принадлежности: трифилярный подвес, образцы для измерения (цилиндры), секундомер, штангенциркуль, весы.

Цель работы:

- Определить момент инерции цилиндра относительно оси, проходящей через центр тяжести тела
- Проверить теорему Штейнера

ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТАНОВКИ

В данной работе определяется момент инерции тела и проверяется на опыте справедливость теоремы Штейнера. Для этой цели используется метод крутильных колебаний, применяемый на приборе с трифилярным подвесом, представляющим собой круглую платформу, подвешенную на трех симметрично расположенных нитях, укрепленных у краев платформы. Наверху эти нити так же симметрично прикреплены к диску несколько меньшего диаметра, чем диаметр платформы. Платформа может совершать крутильные колебания вокруг вертикальной оси, перпендикулярной плоскости платформы и проходящей через ее середину.

Центр тяжести платформы перемещается при этом вверх и вниз вдоль оси вращения. Период колебания T платформы зависит от ее момента инерции I. Эта зависимость выражается следующей формулой[1]:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 LI}{mgRr}} \quad (1)$$

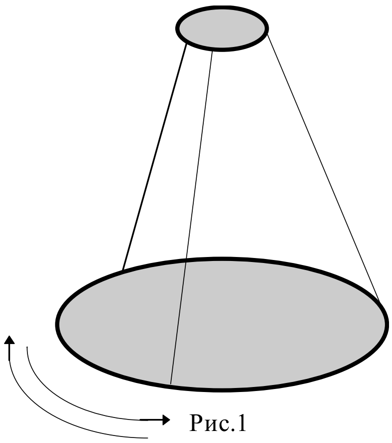


Рис.1

где L длина нити, m - масса системы (платформы или платформы с грузом), R - радиус нижней платформы, r - радиус верхнего диска, I - момент инерции системы. На использовании этой зависимости и основана методика нашей работы.

Из формулы (1) получаем выражение для момента инерции платформы:

$$I = \frac{mgRrT^2}{4\pi^2 L} \quad (2)$$

и его относительной погрешности

$$\frac{\Delta I}{\overline{I}} = 2\frac{\Delta T}{\overline{T}} \quad (3)$$

Это соотношение справедливо, если погрешности измерения остальных величин L, m, R, r – малы. Для того, чтобы определить момент инерции I_c цилиндра относительно оси, проходящей через его центр тяжести следует определить момент инерции пустой платформы I_0 и момент инерции платформы, нагруженной цилиндром I_1, расположенным посередине платформы. В этом случае ось вращения проходит через центры тяжести платформы и цилиндра. Очевидно, что $\mathbf{I_1 = I_0 + I_c}$, откуда:

$$\mathbf{I_c = I_1 - I_0} \quad (4)$$

В лабораторной работе проверяется также справедливость теоремы Штейнера, согласно которой момент инерции тела I относительно любой оси OO’ равен сумме момента инерции этого тела I_c относительно оси CC’ параллельной данной и проходящей через центр тяжести тела и произведения массы тела m на квадрат расстояния d от центра тяжести тела до оси вращения (см. рис. 2):

$$\mathbf{I = I_c + md^2}$$

Для проверки этой теоремы необходимо измерить величины I_c и I, а также измерить расстояние d и массу тела m. После этого сравнить величину $I-I_c$ с величиной md^2.

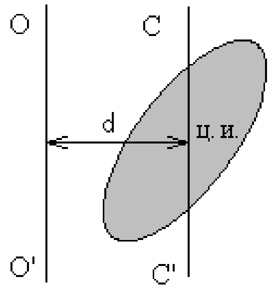


Рис. 2

Величина I_c определяется в первой части работы. Для нахождения величины I следует поместить симметрично относительно оси вращения по краям платформы два одинаковых цилиндра (рис 3) и определить момент инерции платформы, нагруженной этими цилиндрами I_2. Если I_0 – момент инерции ненагруженной платформы, то, очевидно, что величина

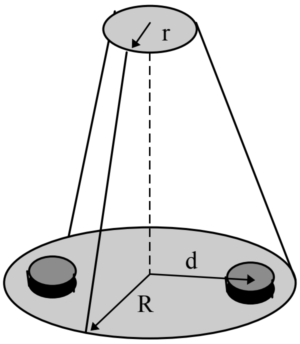


Рис. 3

$$I = \frac{I_2 - I_0}{2} \qquad (5)$$

будет моментом инерции цилиндра относительно оси, отстоящей от его центра тяжести на расстоянии d. Затем, измерив расстояние d, следует проверить, будет ли величина $I-I_c$ равна величине md^2.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Запишите значения величин m_0, R, r, L:

m_0= R= r = L=

2. Составьте таблицу 1 результатов измерений и вычислений.

Масса ненагруженной платформы: m_0 =

Таблица 1

¹	t_{0i}	T_{0i}	T_0	I_0
1				
2				
3				

2. Измерьте период колебаний T_0 ненагруженной платформы. Для этого сообщите нижней платформе вращательный импульс резким поворотом верхнего диска так, чтобы нижняя платформа повернулась на 6-8 градусов, Измерьте t_0 – время 30 полных колебаний, и вычислите $T_0=t_0/30$.
3. Повторите измерения периода T_{0i} колебаний 3 раза, занося результаты в соответствующие строки таблицы 1.
4. Определите среднее значение периода колебаний T_0 и запишите его в таблицу 1.
5. По формуле (2) вычислите среднее значение момента инерции I_0 ненагруженной платформы и запишите эти результаты в таблицу 1.

Все дальнейшие измерения и вычисления проводятся в той же последовательности, что и только что описанные. Отличие состоит лишь в том, что все последующие измерения проводятся с платформой, нагруженной **двумя цилиндрами**.

Разместите грузы **в центре платформы**, поставив их друг на друга.

9. Составьте таблицу 2 результатов вычислений и измерений.
10. Измерьте m – массу цилиндра, найдите массу платформы с грузами, запишите результат перед таблицей 2.

11. Повторите все измерения и вычисления описанные в п.п. (2) – (5), занося результаты по мере их получения в таблицу 2.

Масса платформы с грузами: m_0+2m =

Таблица 2

№	t_{1i}	T_{1i}	T_1	I_1
1				
2				
3				

Разместите грузы **симметрично по краям платформы**, поставив их на отмеченные для этого места.

13. Составьте таблицу 3.
14. Проделайте все измерения и вычисления в соответствии с п.п. (2)–(5), занося результаты в таблицу 3.

Масса платформы с грузами: m_0+2m =

Расстояние от оси платформы до груза: d=

Таблица 3

№	t_{2i}	T_{2i}	T_2	I_2
1				
2				
3				

15. Найдите момент инерции цилиндра относительно его оси $\bar{I}_c = (\bar{I}_1 - \bar{I}_0)/2$.
16. **Вычислите** момент инерции цилиндра относительно его оси, измерив его диаметр (масса m уже измерена).
17. **Сравните** полученный результат с найденной величиной I_c.
18. Зная величину момента инерции пустой платформы I_0, по формуле (5) найдите I – момент инерции цилиндра относительно оси, отстоящей от его центра тяжести на расстояние d.
19. **Сравните** найденную величину $\bar{I} - \bar{I}_c$ с величиной md^2, для чего измерьте штангенциркулем расстояние d и вычислите произведение md^2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется моментом инерции твердого тела?
2. Сформулируйте теорему Штейнера.

Лабораторный практикум
по физике для 10 класса.
Раздел «Механика»

<u>Работа №6</u>*:*

«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УДАР ШАРОВ»

<u>Приборы и принадлежности</u>: установка «Соударение шаров», набор шаров (2 пары), метровая линейка, весы.

<u>Цель работы</u>: познакомиться с применением законов сохранения энергии и импульса к изучению удара двух шаров, определить коэффициент восстановления материала шаров.

ВВЕДЕНИЕ

Под *столкновением* в физике понимается не только взаимодействие тел при их непосредственном соприкосновении (удар двух или нескольких шаров, удар молотка о поверхность и т. п.), но и взаимодействие в более широком смысле, когда первоначально тела находились далеко друг от друга и не взаимодействовали, в процессе сближения они взаимодействуют, в результате чего происходят различные процессы – тела могут соединиться вместе, могут появиться новые тела или тела могут вновь разойтись без изменения своего внутреннего состояния, т.е. может произойти *упругое столкновение*. Соударения, сопровождающиеся изменением внутреннего состояния сталкивающихся тел называются, *неупругими*.

В технике удар характеризуют величиной коэффициента восстановления. *Коэффициентом восстановления К* называется отношение скорости тела после удара о стенку v' к скорости v тела до удара. Более строго, если v' и v – компоненты скорости тела нормальные к стенке после и до удара, то К:

$$K = \frac{v'}{v} \qquad (1)$$

Значение коэффициента восстановления К заключено между 0 и 1 ($0 \le K \le 1$) и зависит от материала тел.

В нашей работе рассматривается центральный удар двух шаров. Удар называется *центральным*, если скорости шаров перед ударом и после него направлены вдоль одной прямой. В этом случае коэффициент восстановления *К* определяется как отношение *модуля относительной скорости шаров после удара* к *модулю их относительной скорости до удара*:

$$K = \frac{\left|\vec{v}_1' - \vec{v}_2'\right|}{\left|\vec{v}_1 - \vec{v}_2\right|} \qquad (2)$$

В нашей работе мы будем отклонять лишь один из шаров, оставляя второй неподвижным. Массы шаров в экспериментах одинаковы, тогда закон сохранения импульса дает:

$\overrightarrow{V_1} = \overrightarrow{V_1'} + \overrightarrow{V_2'}$

Имея в виду, что $\overrightarrow{V_1'} - \overrightarrow{V_2'} = K\overrightarrow{V_1}$, получаем:

$$K = 1 - 2\frac{\overrightarrow{V_2'}}{\overrightarrow{V_1}} \qquad (3)$$

Так как скорость первого шара до столкновения и второго шара после столкновения будут со направлены, то проекции векторов можно считать положительными и в формуле (3) вектора заменить на модули.

Определение скоростей шаров в данной работе производится на установке, изображенной на рисунке. Если один из шаров отклонить на угол φ_0, а затем отпустить, то после удара они отскакивают друг от друга и отклоняются на углы φ_1, φ_2. Потенциальная энергия каждого шара в крайнем положении равна: U=mgh, где m – масса шара, h – максимальная высота подъема в крайнем положении.

Из рисунка видно, что

$$h = \ell - \ell \cdot \cos\varphi = 2 \cdot \ell \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2} \,,$$

где ℓ – расстояние от точки подвеса до центра шара.

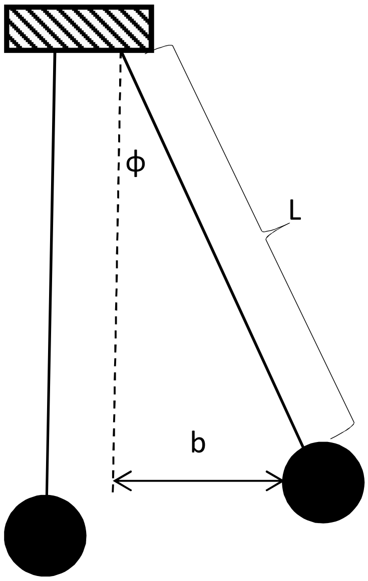
Тогда

$$U = 2 \cdot mg\ell \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2} \qquad (4)$$

Угол φ определяется из соотношения

$$\sin\varphi = \frac{b}{L} \qquad (5)$$

Где b – отклонение шара в горизонтальном направлении (определяется по горизонтальной шкале установки), L – расстояние от точки подвеса до центра шара.



Непосредственно перед ударом энергия шара совпадает с его кинетической энергией, которую можно записать как кинетическую энергию материальной точки:

$$E_{кин} = \frac{mV^2}{2} \qquad (6),$$

поскольку размеры шара малы по сравнению с длиной нити ℓ.

Тогда из (4) и (6) получим формулу для скорости шара перед ударом:

$$V = 2\sqrt{g\ell}\,\sin\frac{\varphi}{2} \qquad (7).$$

Здесь g – ускорение силы тяжести, ℓ- расстояние от точки подвеса до центра шара, φ- угол отклонения нити.

Аналогичным способом можно определить какую скорость приобретёт второй шар после столкновения. Тогда, согласно (3), получим:

$$K = 1 - 2\frac{\sin\frac{\varphi_2}{2}}{\sin\frac{\varphi_0}{2}} \qquad (8)$$

Таким образом, для вычисления коэффициента восстановления нужно знать соответствующие углы отклонения.

Электронный секундомер установки фиксирует время первого соударения. Используя это время можно определить силу взаимодействия шаров во время соударения по второму закону Ньютона в импульсной форме. Лучше всего записать этот закон для второго шара, т.к. его начальный импульс был равен нулю.

$$F = \frac{mV_2}{t} \qquad (9)$$

Если коэффициент восстановления меньше единицы, то это означает, что удар не является абсолютно упругим. Другими словами часть механической энергии переходит во внутреннюю. Вычислить эту энергию можно по следующей формуле:

$Q = E_{k1} - E_{k2}$

Где E_{k1} – кинетическая энергия первого шара перед столкновением, а E_{k2} – кинетическая энергия второго шара после столкновения (здесь считаем, что кинетическая энергия первого шара после столкновения равна нулю). Учитывая равенство масс и формулы (6) и (7) получаем

$$Q = 2mgL\left(\left(\sin\frac{\varphi_0}{2}\right)^2 - \left(\sin\frac{\varphi_2}{2}\right)^2\right) \qquad (10)$$

Полученная величина сама по себе не является информативной, гораздо важнее узнать какую часть энергия, перешедшая в тепло, составляет от начальной энергии системы, которая равна потенциальной энергии первого шарика в начале эксперимента.

$$\frac{Q}{U} = \frac{\left(\sin\frac{\varphi_0}{2}\right)^2 - \left(\sin\frac{\varphi_2}{2}\right)^2}{\left(\sin\frac{\varphi_0}{2}\right)^2} * 100\% \qquad (11)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверьте готовность установки к работе: основание горизонтально (проверяется по уровню на основании установки), шары висят в одной плоскости, нити в вертикальном положении совпадают с начальными отметками горизонтальных шкал.
2. Определите длину нити при помощи линейки
3. Определите массы шаров при помощи весов
4. Убедиться в том, что лабораторная установка подключена к микро секундомеру.
5. Подключить секундомер к однофазной сети переменного тока 220В.
6. Включить питание секундомера тумблером на задней панели.
7. Отвести один из шаров на заданный угол φ_0 и удерживать его держателем с магнитом. (Соответствует отклонению на шкале b. $b = L * \sin \varphi_0$. где L длина нити.)
8. Нажать кнопку SB1 “Сброс” на панели электронного микро секундомера.
9. Отпустить удерживаемый шар (перевести нижний тумблер в положение «Пуск»). По шкале произвести отсчет отклонения шара b и перевести в угол отклонения шаров φ_1 и φ_2 после соударения $\varphi=\arcsin(b/L)$, где L – длина нити. Электронный микро секундомер зафиксирует время первого соударения Δt.
10. Повторить пункты 6-8 не менее 5 раз. Результаты измерений занести в таблицу 1. <u>**Обратите внимание**</u>: в начале каждого эксперимента второй шар должен висеть не подвижно, и полученные вами результаты не должны отличаться более чем на 10%, в противном случае данные результаты учёту не подлежат и эксперимент нужно повторить.

Таблица 1

m_1, кг	L, м	№	φ_0	φ_2	$\varphi_{2ср}$	Δt, мкс	$\Delta t_{ср}$, мкс
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					

11. Заменить шары массы m_1 на шары массы m_2 повторить пункты 6-9 и занести в таблицу 1 для второго эксперимента.
12. Теперь для каждого эксперимента вычислите: коэффициент восстановления, силу взаимодействия во время соударения, количество теплоты, выделившееся при соударении, и какую часть эта энергия составляет от начальной энергии шаров. Результаты вычислений занесите в таблицу 2. Для вычисления этих величин используйте средние значения полученных результатов.

Таблица 2

№	m, кг	K	F, Н	Q, Дж	Q/U, %
1					
2					

13. Сделайте вывод, как каждая из величин из второй таблицы зависит от массы шаров.