



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С.К. Камзолов, С.М. Новиков

ФИЗИКА

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

**«М-4(0) изучение кинематических характеристик
движения на установке «Маятник Обербека» и
«М-4(М) изучение кинематических характеристик
движения на установке «Маятник Максвелла»**

*для студентов I курса
всех направлений и специальностей
всех форм обучения*

**Москва
2017**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра физики
С.К. Камзолов, С.М. Новиков

ФИЗИКА

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

**«М-4(0) изучение кинематических характеристик движения
на установке «Маятник Обербека» и
«М-4(М) изучение кинематических характеристик движения
на установке «Маятник Максвелла»**

*для студентов I курса
всех направлений и специальностей
всех форм обучения*

Москва-2017

ББК 53

К18

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доц. А.А. Куколева

Камзолов С.К., Новиков С.М.

К18 Физика: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы «М-4(О) Изучение кинематических характеристик движения на установке «Маятник Обербека» и «М-4(М) Изучение кинематических характеристик движения на установке «Маятник Максвелла». – М.: МГТУ ГА, 2017. – 16 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Физика» по Учебному плану для студентов I курса всех направлений и специальностей всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 24.02.2016 г. и методического совета 22.03.2016 г.

Подписано в печать 01.02.2017 г.

Печать офсетная
0,93 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1725/129

2,3 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

*Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
ООО «ИПП «ИНСОФТ»
107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр. 1*

© Московский государственный
технический университет ГА, 2017

ВВЕДЕНИЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ М-4(О) И М-4(М)

1. Цель работ

Целью лабораторных работ М-4(О) и М-4(М) является изучение основных кинематических характеристик поступательного движения тела, экспериментальное определение кинематического уравнения движения и зависимостей скорости и ускорения от времени, знакомство с методом графического дифференцирования.

2. Подготовка к работам

Изучите теоретический материал по лекциям или учебнику [1; 2]: материальная точка, система отсчета, кинематические характеристики движения материальной точки (радиус-вектор, скорость и ускорение).

Ознакомьтесь с конструкцией лабораторного стенда и принципом измерений по методическому описанию. Ответьте на вопросы из раздела 7 на стр. 15 данного описания. Оформите проект отчета по лабораторной работе.

3. Краткая теория

Из определения *механического движения* как изменения с течением времени взаимного расположения тел в пространстве (или их частей относительно друг друга) следует, что для его математического описания необходимо задать *систему отсчета* – совокупность системы координат, связанных с некоторым телом отсчета, и часов. При этом, как и при решении любой физической задачи, как правило, пренебрегают некоторыми факторами, которые для данной задачи не существенны, т.е. используют разные *физические модели*. В механике такими моделями являются *материальная точка* (МТ), *абсолютно твердое тело* (АТТ) и т.д.

Положение МТ в пространственной системе отсчета задается *радиус-вектором* $\vec{r}_A = \{x_A, y_A, z_A\}$ – вектором, проведенным из начала координат в данную точку A . При движении МТ ее радиус-вектор меняется. Функция $\vec{r}(t)$, выражающая изменение радиус-вектора во времени, называется *кинематическим уравнением или законом движения*. Например, в декартовой системе координат:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}, \quad (1)$$

где \vec{i} , \vec{j} и \vec{k} – единичные векторы (орты) координатных осей.

Знание закона движения МТ позволяет получить дополнительную информацию о движении. В частности, скорость \vec{v} и ускорение \vec{a} :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v} \quad \text{и} \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}. \quad (2)$$

Кроме того, можно определить **вектор перемещения** $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, пройденный путь, радиус кривизны траектории и другие дополнительные характеристики движения МТ [1; 2].

При прямолинейном движении уравнение (1) можно упростить, направив ось координат $0x$ (или другую) вдоль линии движения. В этом случае $y \equiv 0$ и $z \equiv 0$. Примерами таких законов движения являются:

$$x = \frac{v_0}{\tau} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad x = A \sin \omega t, \quad x = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^3 + \dots, \quad (3)$$

где v_0 , τ , ω и A_i – постоянные параметры движения, которые обычно имеют некоторый физический смысл. В частности, в последнем уравнении (полиноме), которое используется при обработке результатов измерений в данной работе, коэффициенты A_0 , A_1 и A_2 имеют смысл начальной координаты, начальной скорости и половины начального ускорения МТ соответственно. Конкретный вид закона движения МТ зависит от действующих на нее сил, которые не всегда известны. В таком случае получить достаточно правильный закон движения априори (без эксперимента), на основании только законов динамики невозможно.

Тогда для определения характера движения измеряются координаты МТ x_i в моменты времени t_i . Затем полученный массив экспериментальных величин $\{x_i; t_i\}$ обрабатывается математическими методами, в том числе и с применением вычислительной техники, для определения функциональных зависимостей $x = x(t)$, $v = v(t)$ и $a = a(t)$. Иногда вместо массива $\{x_i; t_i\}$ в эксперименте удобнее измерить значения скоростей v_i в моменты времени t_i . Полученный массив $\{v_i; t_i\}$ также подвергается соответствующей обработке. Обычно массив экспериментальных величин удобно представить в виде графика зависимости x от t (или v_x от t). Такая визуализация позволяет сделать предварительные выводы о характере движения точки. Дело в том, что на графике x от t величине скорости в некоторый момент времени соответствует коэффициент наклона касательной линии к графику в этот момент времени (это следует из определения скорости $v_x = dx/dt$). По изменению коэффициента наклона можно сделать вывод о характере изменения скорости в процессе движения тела. Аналогично анализ графика v_x от t (рис. 1) позволяет сделать вывод, что $a(t_1) > 0$, $a(t_2) = 0$, $a(t_3) < 0$.

При наличии масштабов на осях координат можно по коэффициенту наклона касательных линий рассчитать величины ускорений в эти моменты времени. Кроме того, если учесть, что перемещение МТ равно интегралу от скорости, то по площади под линией графика можно судить о величине перемещения тела (например, площадь заштрихованного участка на рис. 1 соответствует перемещению тела на Δx за отрезок времени $\Delta t = t_3 - t_2$).

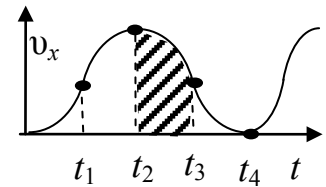


Рис. 1

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М-4(О)
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДВИЖЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ «МАЯТНИК ОБЕРБЕКА»

4. Описание установки и методика проведения эксперимента

Схема лабораторного стенда изображена на рис. 2. Экспериментальная часть работы заключается в измерении времени опускания платформы с грузом 6 (рис. 2) для разных значений проходимого этой платформой расстояния по вертикали. Относительно небольшое ускорение платформы (по сравнению с ускорением свободного падения) обеспечивается инерционными свойствами специальной крестовины, которая состоит из четырех стержней 1, закрепленных под углом 90° друг к другу на шкиве 4. На стержнях с помощью винтов закрепляются одинаковые передвигаемые грузы 2. При опускании платформы 6 крестовина приводится во вращательное движение с помощью нити 3, перекинутой через легкий блок 5, и намотанной на шкив 4.

Расстояние, проходимое платформой 6 между верхней линией флажка 7 и лучом фотодатчика 8 (пунктирная линия на рис. 2), измеряется по вертикальной шкале на стойке 9 установки. Отсчет времени осуществляется по миллисекундомеру 10.

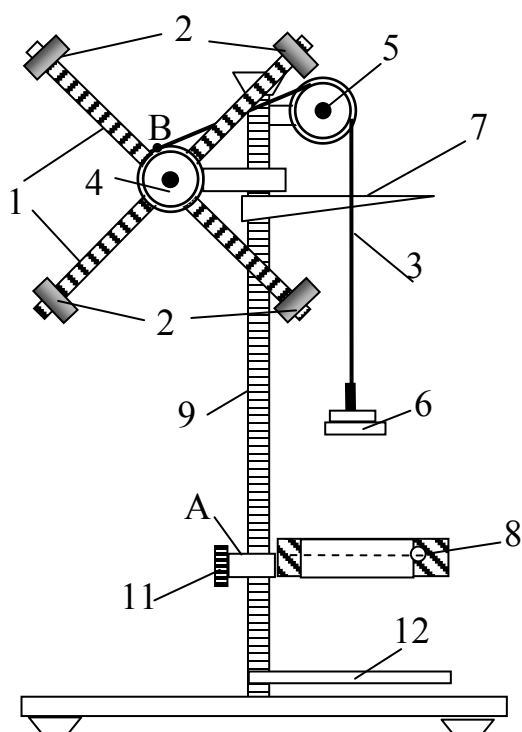
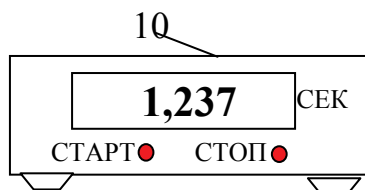


Рис. 2

На оси шкива 4 находится электромагнит, который растормаживает вращение шкива крестовины при нажатии кнопки «Старт» секундомера и затормаживает вращение в момент пересечения нижней плоскостью платформы 6 светового луча фотодатчика. В конструкции лабораторного стенда заложена систематическая ошибка в измерении времени опускания платформы: между моментом запуска секундомера кнопкой «Старт» и временем полного растормаживания шкива проходит 0,1 с. При обработке результатов эксперимента ее необходимо учесть. Измеряя время опускания платформы 6 при различных расстояниях между флажком 7 и лучом фотодатчика 8, можно получить закон движения груза в табличной форме.



При обработке результатов эксперимента ее необходимо учесть. Измеряя время опускания платформы 6 при различных расстояниях между флажком 7 и лучом фотодатчика 8, можно получить закон движения груза в табличной форме.

5. Порядок выполнения работы

1. Освободите от натяжения нить, сняв ее с блока 5 (рис. 2) и поставив платформу 6 на площадку, расположенную за блоком.

2. Выполните балансировку крестовины (при выключенной установке). Для этого закрепите грузы 2 на стержнях 1 на максимальных расстояниях от оси вращения и поверните крестовину так, чтобы два из четырех стержней 1 были в горизонтальном положении. Регулируя положение грузов 2 на этих стержнях, добейтесь равновесия крестовины. Поверните крестовину на угол 90° так, чтобы два других стержня были горизонтальны. Вновь добейтесь равновесия крестовины.

Внимание: от тщательности балансировки крестовины существенно зависят результаты эксперимента.

3. Переместите флажок 7 по стойке вверх так, чтобы его верхний край совпал с отметкой 10 см на шкале стойки 9. Закрепите на платформе 6 гирьку, выданную лаборантом (рекомендуется от 30 до 50 г.). Запишите величину массы гирьки в таблицу 3. Вращая крестовину против часовой стрелки, намотайте нить на большой шкив 4 и перекиньте ее через блок 5.

4. Включите установку в сеть (тумблер включения расположен на задней панели секундомера). При этом сработает тормозное устройство на оси шкива.

5. Освободив винт 11 установите фотодатчик 8 в положение, при котором верхняя плоскость его корпуса (красная площадка А на корпусе фотодатчика) совпала с отметкой 13 см на шкале стойки 9. Отрегулируйте положение фотодатчика 8 таким образом, чтобы платформа 6 с гирькой при опускании свободно проходила через проём в корпусе фотодатчика.

6. Придерживая крестовину рукой, нажмите кнопку «Старт» на секундомере 10 (при этом торможение шкива электромагнитом прекращается) и поверните крестовину так, чтобы уровень нижней плоскости платформы 6 совпал с уровнем верхнего края флажка 7. Нажмите кнопку «Стоп» для фиксации этого положения. Таким образом, Вы установили высоту опускания груза $y = 3$ см.

7. Нажав кнопку "Старт", приведите систему в движение. После автоматического затормаживания шкива электромагнитом секундомер покажет время t' опускания платформы 6. Запишите его в таблицу 1 в ячейку, соответствующую перемещению платформы на $y = 3$ см.

8. Повторите измерение времени опускания платформы на это же расстояние (п.п. 6 – 8) и запишите результат t'' в таблицу 1.

9. Аналогичные измерения проведите еще при девяти значениях y , передвигая каждый раз корпус фотодатчика 8 на 3 см вниз по стойке. Результаты запишите в соответствующие ячейки таблицы 1.

Замечание: в случае большого расхождения показаний миллисекундомера в какой-либо паре измерений проделайте контрольное измерение.

10. **Дополнительное задание для студентов, не выполнявших работу М-1.** Установите максимальное расстояние H между флажком 7 и корпусом фо-

тодатчика 8 и выполните 10 измерений времени опускания платформы с грузом. Результаты запишите в таблицу 4.

6. Обработка результатов измерений и оформление отчёта

1. Рассчитайте средние значения времени опускания t_{cp} платформы 6 по результатам измерений t' и t'' для каждого значения y . Запишите результаты в таблицу 1.

2. Для исключения систематической ошибки в измерении времени (см. выше) скорректируйте значения времени опускания платформы, вычитая 0,1 с из каждого значения t_{cp} . Запишите полученные значения $t_{корр}$ в таблицу 1.

3. По данным таблицы 1 постройте график зависимости $y(t_{корр})$. Правила построения, и оформления графиков приведены на стенде в лаборатории. По размеру график должен занимать полную страницу ученической тетради (А5).

4. Согласуйте полученные результаты с преподавателем и получите разрешение на их компьютерную обработку, используя программу Microsoft Excel.

5. Откройте папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе компьютера, и запустите файл «Расчет ЛР М-4.xls». Введите в таблицу 1 на экране ПК значения $t_{корр}$ и соответствующие перемещения платформы y . Программа аппроксимирует данные таблицы 1 полиномом и сгенерирует его график.

6. Зависимость скорости грузов от времени $v(t)$ определите методом графического дифференцирования кривой $y(t)$ на экране компьютера. Для этого ось времени (абсцисс) разбейте на равные интервалы $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = 2$ с. По графику на экране компьютера определите значения координат y_i , соответствующие каждому моменту времени t_i . Запишите результаты в таблицу 2 отчета.

7. Величине скорости v_i соответствует коэффициент наклона касательной линии к графику в момент времени t_i . При малой кривизне графика (рис. 3) этот коэффициент можно определить как отношение разности координат соседних точек $\Delta y_i = y_{i+1} - y_{i-1}$ к интервалу времени между ними, т.е. $2\Delta t$. Рассчитайте значения

$\Delta y_i = y_{i+1} - y_{i-1}$ и скорости $v_i = \frac{\Delta y_i}{2\Delta t}$. Результаты запишите

в таблицу 2 отчета.

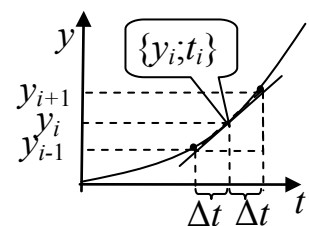


Рис. 3

8. Введите в таблицу 2 на экране ПК значения v_i , полученные в предыдущем пункте. Программа аппроксимирует данные таблицы 2 полиномом $v = f(t)$ и сгенерирует его график. Кроме того, на графике будет указано уравнение полинома (учтите, что ось ординат (y) соответствует скорости v , а ось абсцисс (x) соответствует времени t). Запишите в таблицу 3 полученное уравнение для скорости (в СИ).

9. Взяв производную от уравнения скорости по времени получите зависимость ускорения платформы от времени. Интегрируя уравнение для скоро-

сти, восстановите закон движения платформы (учитывая, что $y_0 = 0$). Запишите результаты в таблицу 3.

10. Используя полученные в п.п. 8 и 9 уравнения, рассчитайте и запишите в таблицу 3 величины y_i , v_i и a_i в моменты времени 0, 1 и 2 с соответственно.

11. Для студентов, **не выполнявших** работу М-1.

По данным таблицы 4, рассчитайте среднюю величину $\langle t \rangle$ времени опускания грузов на максимальное расстояние H и среднеквадратичную погрешность (стандартную ошибку) измерения этого среднего времени σ_t по формуле

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_k - \langle t \rangle)^2},$$

где $n = 10$ – число измерений, а затем определите величины абсолютной Δt и относительной δt погрешностей измерения времени опускания платформы с грузом. Методика и расчетные формулы имеются на стенде в лаборатории. Величину доверительной вероятности задаёт преподаватель. Результаты занесите в таблицу 4.

Примечание: более подробные сведения из теории ошибок приведены на информационном стенде в лаборатории.

12. По полученным результатам запишите в отчет выводы о характере движения.

Таблица 1

$y, \text{ см}$	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$t', \text{ с}$	0										
$t'', \text{ с}$	0										
$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	0										
$t_{\text{корр}}, \text{ с}$	0										

Таблица 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_i, \text{ с}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$y_i, \text{ см}$	0											
$\Delta y_i, \text{ см}$	0											
$v_i, \text{ см/с}$	0											

Таблица 3

Масса платформы $m_0 = 50 \text{ г}$, масса гирьки $m = \dots \text{ г}$.		
$y = \dots$	м	$y_0 = 0 \text{ м}, y_1 = \dots \text{ м}, y_2 = \dots \text{ м}$
$v = \dots$	м/с	$v_0 = 0 \text{ м/с}, v_1 = \dots \text{ м/с}, v_2 = \dots \text{ м/с}$
$a = \dots$	м/с ²	$a_0 = \dots \text{ м/с}^2, a_1 = \dots \text{ м/с}^2, a_2 = \dots \text{ м/с}^2$

Таблица 4

Номер измерения	$H = \dots \text{ см}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_k, \text{ с}$										
$\langle t \rangle, \text{ с}$										
$\rho_k = t_k - \langle t \rangle, \text{ с}$										
$\rho_k^2 = (t_k - \langle t \rangle)^2, \text{ с}$										
$\sigma_t = \dots \text{ с}, \Delta t = \dots \text{ с}, \delta t = \dots = \dots \%$										

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М-4(М)
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ
НА УСТАНОВКЕ «МАЯТНИК МАКСВЕЛЛА»

4. Описание установки и методика проведения эксперимента

Схема лабораторного стенда изображена на рис. 2. Основным элементом стенда является диск 1, через центр которого проходит цилиндрическая ось 2. На эту ось наматываются две симметрично расположенных нити 3. На диске закрепляется сменное кольцо 10. В исходном положении (показано пунктиром на правой части рис. 2), диск удерживается электромагнитом 4. При отключении электромагнита диск начинает двигаться вниз с одновременным раскручиванием нитей.

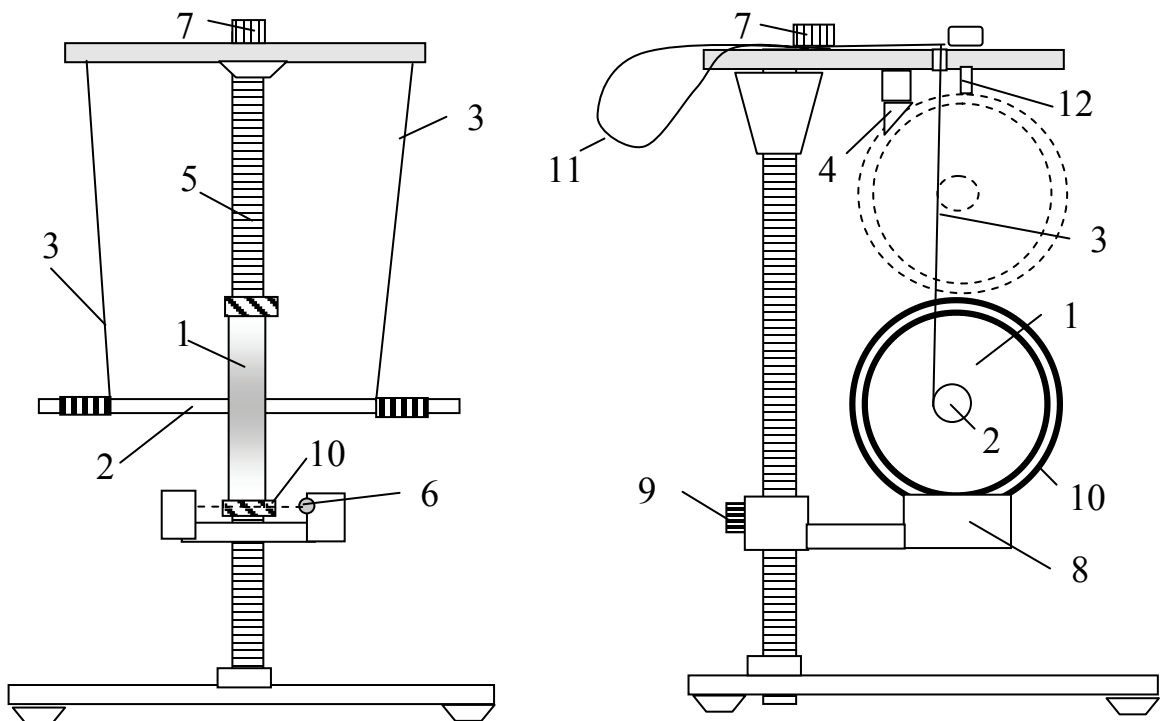


Рис. 2

Сложное движение диска можно представить как наложение двух независимых движений – поступательного и вращательного вокруг оси, проходящей через его центр масс. Расстояние, проходимое центром инерции диска за счёт поступательного движения, отсчитывается по вертикальной шкале 5 на стойке установки. Отсчёт времени поступательного движения производится по миллисекундомеру, на который подаётся сигнал от фотодатчика 6 (блок питания с секундомером на рисунке не показан). В тот момент, когда край сменного кольца 10, закрепленного на опускающемся диске пересекает световой луч фотодатчика 6 (пунктирная линия на левом рис. 2), отсчет времени прекращается.

Для изменения расстояния, проходимого центром масс диска с кольцом, необходимо ослабить винт крепления 9 и передвинуть корпус фотодатчика 8 в требуемое положение, где он вновь фиксируется винтом 9.

Регулировку длины нитей 3 удобно производить вдвоем. Для этого один студент придерживает петлю из нити 11, а другой немного откручивает винт крепления нити 7. Затем первый студент увеличивает или уменьшает размер петли, а второй регулирует положение и горизонтальность оси 2 так, чтобы опускающийся край кольца пересекал световой луч в конце пути, но не касался при этом корпуса фотодатчика. Для этого, второй студент, взявшись за края оси, создает небольшое натяжение нитей и при необходимости увеличивает длину одной из нитей 3. При этом нить все время должна проходить под винтом 7, который закручивается по окончании регулировки. За дополнительными пояснениями по регулировке длины нитей можно обратиться к преподавателю.

Измеряя время опускания диска при различных значениях перемещения его центра масс, можно получить закон поступательного движения $y_{\text{цм}} = y_{\text{цм}}(t)$ в табличной форме. В конструкции лабораторного стенда заложена систематическая ошибка в измерении времени опускания платформы: между моментом запуска секундомера кнопкой «Пуск» и временем полного растормаживания шкива проходит 0,1 с. При обработке результатов эксперимента ее необходимо учесть.

5. Порядок выполнения работы

1. Получите у лаборанта сменное кольцо 10 и закрепите его на диске 1 (рис. 2). По методике, описанной в предыдущем разделе, приведите ось диска в горизонтальное положение.

2. Включите блок питания установки в сеть (тумблер включения расположен на задней панели). Нажмите кнопку «Сброс» секундомера на передней панели блока питания, которая включит электромагнит (или «Стоп», если на используемой модели кнопка «Сброс» отсутствует).

3. Аккуратно накрутите нить 3 на ось 2 диска (избегая перекоса и чрезмерного натяжения нитей) до прикосновения сменного кольца **сначала к стопорному винту 12**, а затем и к электромагниту 4, как показано пунктиром на правой части рис. 2.

4. Прислоните один катет прямоугольного треугольника к стойке 5 и, перемещая треугольник вдоль стойки, коснитесь вторым катетом нижней кромки сменного кольца. Определите по шкале 5 уровень нижней кромки сменного кольца. Это значение примите за начало отсчета пройденного кольцом расстояния ($y_{\text{цм}} = 0$ см).

5. Нажмите кнопку «Пуск» на блоке питания и остановите рукой вращающийся диск в нижнем положении.

6. Установите корпус фотодатчика 8 (рис. 2) на 2 см ниже начала отсчета (т.е. $y_{\text{цм}} = 2$ см).

7. По методике, описанной в предыдущем разделе, отрегулируйте длину

нитей 3 с помощью винта 7 таким образом, чтобы при полном разматывании нижний край сменного кольца пересекал световой луч фотодатчика, не касаясь при этом его корпуса 8.

8. Нажмите кнопку «Сброс» (или «Стоп»). Аккуратно накрутите нити 3 на ось 2 диска (избегая её перекоса) до прикосновения сменного кольца **сначала к стопорному винту 12**, а затем и к электромагниту 4. Направление накручивания нитей должно соответствовать правой части рис. 2.

9. Нажмите кнопку «Пуск», освобождая диск с кольцом от действия электромагнита. После того как диск опустится до нижнего положения и начнет подниматься, остановите его вращение рукой. Запишите показание миллисекундомера t'_1 в соответствующую ячейку таблицы 1.

10. Проведите повторное измерение времени опускания диска на 2 см при том же направлении накручивания нитей на ось. Запишите новое показание миллисекундомера t''_1 в таблицу 1.

11. Проведите аналогичные пары измерений для других девяти значений перемещения диска, приведенных в таблице 1.

Замечание: в случае большого расхождения показаний миллисекундомера в какой-либо паре измерений сделайте контрольное измерение времени опускания диска с кольцом.

12. **Дополнительное задание для студентов, не выполнявших работу М-1.** Установите корпус фотодатчика 8 (рис. 2) на максимальном расстоянии от начала отсчета и выполните 10 измерений времени свободного опускания диска с кольцом. Результаты запишите в таблицу 4.

6. Оформление отчёта

1. Рассчитайте средние значения времени опускания $t_{\text{ср}}$ диска по результатам измерений t' и t'' для каждого значения $y_{\text{цм}}$. Запишите результаты расчетов в таблицу 1.

2. Для исключения систематической ошибки в измерении времени (см. выше) скорректируйте значения времени опускания диска, вычитая 0,1 с из каждого значения $t_{\text{ср}}$. Запишите полученные значения $t_{\text{корр}}$ в таблицу 1.

3. По данным таблицы 1 постройте график зависимости $y_{\text{цм}}(t_{\text{корр}})$, проведя плавную линию с учетом экспериментальных точек. Правила построения и оформления графиков приведены на стенде в лаборатории. По размеру график должен занимать полную страницу ученической тетради (А5).

4. Согласуйте полученные результаты с преподавателем и получите разрешение на их компьютерную обработку с использованием программы Microsoft Excel.

5. Откройте папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе компьютера, и запустите файл «Расчет ЛР М-4.xls». Введите в таблицу 1 на экране ПК значения $t_{\text{корр}}$ и $y_{\text{цм}}$ для соответствующих перемещений диска. Программа аппроксимирует данные таблицы 1 полиномом и сгенерирует

его график.

6. Зависимость скорости центра масс диска от времени $v(t)$ определите методом графического дифференцирования кривой $y_{\text{цм}}(t_{\text{корр}})$ на экране компьютера. Для этого ось времени (абсцисс) разбейте на равные интервалы $\Delta t = 0,25$ с. По графику на экране компьютера определите значения координат y_i , соответствующие каждому моменту времени t_i . Запишите результаты в таблицу 2 отчета.

7. Величине скорости v_i соответствует коэффициент наклона касательной линии к графику в момент времени t_i . При малой кривизне графика (рис. 3) этот коэффициент можно определить как отношение разности координат соседних точек $\Delta y_i = y_{i+1} - y_{i-1}$ к интервалу времени между ними, т.е. $2\Delta t$. Рассчитайте значения $\Delta y_i = y_{i+1} - y_{i-1}$ и скорости $v_i = \frac{\Delta y_i}{2\Delta t}$. Результаты запишите

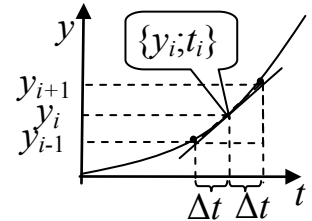


Рис. 3

в таблицу 2 отчета.

8. Введите в таблицу 2 на экране ПК значения v_i , полученные в предыдущем пункте. Программа аппроксимирует данные таблицы 2 полиномом $v = f(t)$ и сгенерирует его график. Кроме того, на графике будет указано уравнение полинома (учтите, что ось ординат (y) соответствует скорости v , а ось абсцисс (x) соответствует времени t). Запишите в таблицу 3 полученное уравнение для скорости (в СИ).

9. Взяв производную от скорости по времени получите зависимость ускорения центра масс диска от времени. Интегрируя уравнение для скорости, восстановите его закон движения (учитывая, что $y_0 = 0$). Запишите результаты в таблицу 3.

10. Используя полученные в п.п. 8 и 9 уравнения, рассчитайте и запишите в таблицу 3 величины y_i , v_i и a_i в моменты времени 0, 1 и 2 с.

11. Для студентов, **не выполнявших** работу М-1.

По данным таблицы 4, рассчитайте среднюю величину $\langle t \rangle$ времени опускания диска на максимальное расстояние H и среднеквадратичную погрешность (стандартную ошибку) измерения этого среднего времени σ_t по формуле

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_k - \langle t \rangle)^2},$$

где $n = 10$ – число измерений, а затем определите величины абсолютной Δt и относительной δt погрешностей измерения времени опускания диска. Методика и расчетные формулы имеются на стенде в лаборатории. Величину доверительной вероятности задаёт преподаватель. Результаты занесите в таблицу 4.

Примечание: более подробные сведения из теории ошибок приведены на информационном стенде в лаборатории.

12. По полученным результатам запишите в отчет выводы.

Таблица 1

$y_{ЦМ}, \text{ см}$	0	2	4	6	9	12	15	18	21	24	27
$t', \text{ с}$	0										
$t'', \text{ с}$	0										
$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	0										
$t_{\text{кopp}}, \text{ с}$	0										

Таблица 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_i, \text{ с}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75
$y_i, \text{ см}$	0											
$\Delta y_i, \text{ см}$	0											
$v_i, \text{ см/с}$	0											

Таблица 3

Масса сменного кольца $m = \dots$ кг, $r = 0,004$ м		
$y = \dots$	м	$y_0 = 0$ м, $y_1 = \dots$ м., $y_2 = \dots$ м
$v = \dots$	м/с	$v_0 = 0$ м/с, $v_1 = \dots$ м/с, $v_2 = \dots$ м/с
$a = \dots$	м/с ²	$a_0 = \dots$ м/с ² , $a_1 = \dots$ м/с ² , $a_2 = \dots$ м/с ²

Таблица 4

Номер измерения	$H = \dots$ см									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_k, \text{ с}$										
$\langle t \rangle, \text{ с}$										
$\rho_k = t_k - \langle t \rangle, \text{ с}$										
$\rho_k^2 = (t_k - \langle t \rangle)^2, \text{ с}$										
$\sigma_t = \dots \text{ с}, \quad \Delta t = \dots \text{ с}, \quad \delta t = \dots = \dots \%$										

7. Вопросы для подготовки к допуску к лабораторным работам

1. Дайте определения радиус-вектору и закону движения МТ.
2. Как, зная закон движения, можно получить уравнения изменения скорости и ускорения?
3. Как, зная уравнение изменения ускорения, можно получить закон движения?
4. Какие выводы можно сделать о скорости и ускорении МТ на различных участках движения, анализируя график, приведенный на рис 3.
5. Как осуществляется регулировка положения оси диска в работе М-4(М)?
6. Как осуществляется балансировка крестовины в работе М-4(О)?
7. Поясните метод графического дифференцирования, применяемый в данных работах.
8. Какой вид имеет полином при равноускоренном движении?
9. Какой физический смысл имеют первые три коэффициента в полиноме?
10. Какой физический смысл имеет коэффициент A в кинематическом уравнении $x = A \sin \omega t$?
11. Закон движения МТ имеет вид $x = 1 + 2t + t^2 + 2t^3$, где все величины приведены в СИ. Каково ее ускорение в момент времени $t = 1$ с?
12. Две материальные точки начинают прямолинейно двигаться из начала координат вдоль оси Ox . Их скорости меняются по законам $v_1 = 4 + 2t$ и $v_2 = 2t + 3t^2$ (в единицах СИ). Каким будет расстояние между точками (м) через 1 с после начала движения?

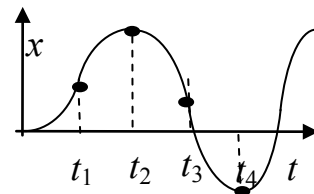


Рис. 3

8. Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2008-2014.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. М.: Наука (или другое), 2008-2014 г.

Содержание

Введение к лабораторным работам М-4(О) и М-4(М)	3
Лабораторная работа М-4(О) изучение кинематических характеристик движения на установке «Маятник Обербека».....	5
Лабораторная работа М-4(М) изучение кинематических характеристик движения на установке «Маятник Максвелла».....	10