

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ

МИХАЙЛОВ ПЕТР ГРИГОРЬЕВИЧ

Каф. ИВС ПГУАС г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, тел. 49-72-77, e mail pit_mix@mail.ru

АНАЛИЕВА АЖАР УРАЗБАЕВНА

НОК НИИТУ, г. Уральск, ул. Самаркандская 2/1, кв. 3, тел. 87016506243; azhara_1980@mail.ru

ФАДЕЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ

Кафедра вычислительной техники Пензенского государственного университета, г. Пенза, ул. Красная, тел. 89004683222

Аннотация.

В статье рассмотрены методы и средства измерения прямолинейного движения физических тел. При этом, используемое в процессе проведения экспериментов простое лабораторное оборудование и измерительные средства, позволяют студентам быстро овладеть методикой проведения лабораторных работ и корректно ответить на основные вопросы. Существующие компьютерные варианты рассматриваемых лабораторных работ, основанные на применении специальных программ, требуют значительных затрат на их покупку, поэтому на практике для проведения экспериментов широко применяют стенды и универсальные измерительные приборы. В статье рассмотрены два метода изучения прямолинейного движения физических тел: 1) с помощью экспериментальной установки «Машины Атвуда»; 2) с помощью физического маятника.

Определены цели работ, описаны методики проведения экспериментов и устройство используемых лабораторных стендов. Оборудование и приборы, используемые для проведения физического эксперимента, включают в себя «Машину Атвуда» (рис. 1) состоящую из блока, грузов, стопоров, направляющих ловителей и проч. узлов и деталей и лабораторный стенд – «Физический маятник». В качестве измерительных приборов используются набор эталонных грузов, маятник, измерительная линейка и секундомер.

Приведены и проанализированы математические модели, описывающие прямолинейное ускоренное движение физических тел. Предложены формы и последовательность измерения и обработка результатов физического эксперимента путем измерения основных параметров процесса, заполнения таблиц и последующей обработкой экспериментальных данных с использованием программы *MS Excel*. По каждой лабораторной работе приведены контрольные вопросы и задания.

Ключевые слова: движение, ускорение, свободное падение, время, расстояние, маятник, установка.

Введение. Одними из самых основных законов физики (раздел «Механика»), изучаемых в ВУЗах при подготовке бакалавров по разным направлениям, являются законы движения материальных тел с ускорением под действием силы тяжести. Основные трудности понимания и усвоения студентами данного материала связаны с тем, что характеристики движения физических тел измеряются не напрямую, а через косвенные параметры, при этом сами физические величины, характеризующие ускоренное движение, получают в результате последующих вычислений. И, хотя, существуют компьютерные варианты рассматриваемых лабораторных работ, основанных на применении специальных

программ [1], на практике для проведения экспериментов широко применяют стенды и универсальные измерительные приборы, а также методики [2, 3].

Основная часть

Лабораторная работа № 1. «ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ «МАШИНА АТВУДА»

Целью работы является практическое определение параметров движения с помощью экспериментальной установки «Машина Атвуда».

Оборудование и приборы, используемые для проведения физического опыта: экспериментальная установка «Машина Атвуда», измерительная линейка, секундомер, набор эталонных грузов.

Введение. В работе определяют кинематические характеристики (скорость, ускорение) движения пробных тел (грузов) и проверяют динамические соотношения, вытекающие из второго закона Ньютона: зависимость между силой и ускорением при постоянной массе системы. Экспериментальная установка, так называемая «Машина Атвуда», позволяет получить равномерное и равноускоренное движение грузов [4].

Чтобы определить кинематические характеристики движения, нужно измерить пути, проходимые грузами, и промежутки времени, в течение которых эти пути пройдены [5, 6].

Описание экспериментальной установки. Движение грузов происходит вдоль вертикальной колонки, на которой крепятся все элементы установки (рис. 1). Колонка снабжена сантиметровыми делениями. На верхнем конце колонки установлен легкий алюминиевый блок, способный вращаться вокруг горизонтальной оси. Через блок перекинута нить, к концам которой подвешены грузы 7 одинаковой массы.

По всей длине колонки могут передвигаться и фиксироваться на произвольной высоте (с помощью стопорных винтов СВ) две платформы Π_1 и Π_2 . Платформы имеют отверстия, через которые проходит груз во время движения. Внутри платформы вмонтированы электрические лампочки и фоторезисторы. Проходя через платформу Π_1 , груз пересекает световой луч, падающий на фоторезистор. В этот момент отключается электрический секундомер, измеряющий время t_1 от начала движения, и включается второй (не показаны на рис. 1), который отключается в момент прохождения груза через отверстие платформы Π_2 .

У основания колонки смонтирован электромагнит Э, фиксирующий начальное положение грузов. Успокоитель У, расположенный в верхней части колонки, служит для успокоения колебаний груза перед началом движения (приводится в действие с помощью шнура).

В верхней и нижней частях колонки расположены демпфер Д и ловушка Л. Демпфер амортизирует удар при остановке грузов, предотвращая разрыв нитей; ловушка захватывает грузы в конце движения. Освобождение груза из ловушки осуществляется нажатием на кольцо, расположенное в верхней части ловушки.

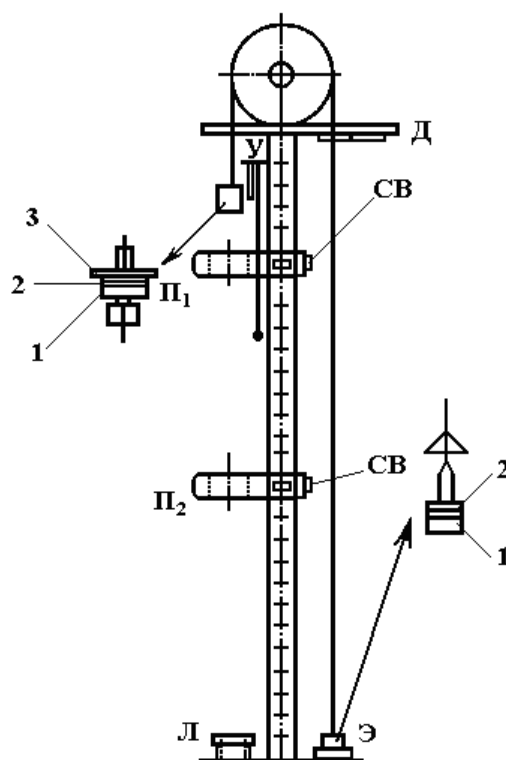


Рис. 1. Устройство экспериментальной установки «Машина Атвуда»

Общее (предварительное) включение установки производится тумблером, расположенным на щитке. При этом включается электромагнит Э, после чего загораются лампочки, вмонтированные в платформы П₁ и П₂, и зеленая сигнальная лампочка на щитке. Нижний груз (правый на рис. 1) устанавливают на электромагнит; платформы располагают на нужной высоте; на верхний груз надевают шайбу с дополнительными грузами и с помощью успокоителя прекращают колебания груза.

Пуск установки осуществляется кратковременным нажатием на расположенную на щитке красную кнопку. При этом отключается электромагнит Э и включается первый секундомер, измеряющий время ускоренного движения грузов t_1 .

Таким образом, конструкция установки позволяет измерить длину первого участка движения x_1 - расстояние между основанием верхнего груза и серединой платформы П₁ и длину второго участка x_2 - расстояние между серединами платформ П₁ и П₂, а также время t_1 и t_2 прохождения этих участков, которые являются информативными параметрами движения.

Измерения и обработка результатов физического эксперимента

Задание 1. Определение ускорения и мгновенной скорости равноускоренного движения.

Измерьте время ускоренного и равномерного движения грузов, используя дополнительные грузы массой 20 и 30 г (масса съемной шайбы 5 г). Измерения с каждым дополнительным грузом производите для двух различных расстояний. Рекомендуется выбрать следующие расстояния: $x_1 = 0,5$ и 1 м (участок ускоренного движения), x_2 во всех случаях можно взять равным 1 м (участок равномерного движения). После каждого измерения не забывайте стрелки секундомеров устанавливать на нуль.

Вычислите из данных эксперимента мгновенную скорость в конце ускоренного движения V_{m1} , а также скорость равномерного движения V_2 . Для каждой группы измерений (с данным дополнительным грузом) вычислите среднее ускорение a . Рассчитайте приборную относительную ошибку в определении скорости V и ускорения a для одного выбранного вами измерения (например, для перегрузка массой 0,025 кг и $x_1 = 0,5$ м).

Значения x_1 , x_2 , t_1 , t_2 , V_{m1} , a , V_2 занесите в таблицу №1 (левая половина).

Задание 2. Определение зависимости ускорения движения системы грузов от действующей силы при неизменной массе грузов.

Величину действующей силы при неизменной массе системы можно изменить следующим образом. Дополнительные грузы кладут, как на съемную шайбу на левом грузе, так и на шейку правого груза без шайбы. Перекладывая дополнительные грузы с шейки правого груза на съемную шайбу, можно менять разность масс дополнительных грузов, т.е. действующую силу, оставляя неизменной массу системы.

Измерьте время ускоренного движения системы для нескольких различных распределений дополнительных грузов по грузам (5 - 6 измерений). Расстояние x рекомендуется выбрать равным 1 м (платформу Π_2 в этом эксперименте следует расположить на 2 - 3 см ниже платформы Π_1).

Вычислите из данных эксперимента ускорение a . Постройте график зависимости a от величины $\Delta m/M$, где Δm - разность масс перегрузков, расположенных на левом и правом грузах, а M - масса системы. На тот же график необходимо нанести теоретическую зависимость

$$a = \frac{\Delta m}{M} g. \quad (1)$$

Значения x_1 , t_1 , Δm , a , M занести в таблицу 1 (правая половина) и рассчитать приборную и случайную относительную ошибку в определении какого-либо параметра.

При выполнении математических расчетов рекомендуется использовать компьютерную программу *Excel* [7].

Контрольные вопросы и задания

1. Запишите уравнение движения для движущихся тел системы.
2. Определите силу натяжения нити, связывающей грузы, и силу давления на ось блока при равномерном и ускоренном движениях системы. Получите расчетные формулы (без учета массы блока).
3. Получите расчетную формулу для определения силы давления перегрузка на груз.
4. Постройте графики зависимости координаты, скорости и ускорения центра масс системы грузов от времени на участках равноускоренного и равномерного движений.

Заключение

Проведенные опыты по определению параметров прямолинейного движения, вычислению мгновенной скорости и ускорения движущегося физического тела с помощью машины Атвуда» показали корректность полученных математических моделей, методик и использованного измерительного оборудования.

Таблица № 1

Параметры	Значение 1	Значение 2	Параметры	Значение
Задаваемые			Задаваемые	
x_1	0,5 м	1,0 м	x_1	1,0 м
x_2	1,0 м	1,0 м	Δm	
m_1	20 г		m_1	20 г
m_2	30 г		m_2	30 г
Измеряемые			Измеряемые	
t_1			t_1	
t_2			-	-
Вычисляемые			Вычисляемые	
V_{m1}			δ	
a			a	
V_2			-	-

Лабораторная работа № 2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА»

Цель работы: исследование свойств физического маятника и экспериментальное определение ускорения свободного падения.

Приборы и принадлежности: оборотный маятник, секундомер, металлическая метровая линейка.

Введение. При малых углах отклонения от положения равновесия физический маятник совершает гармонические колебания с периодом []

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{I_0 + ma^2}{mga}}, \quad (1)$$

где I_0 — момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс маятника; m — масса маятника; a — расстояние от точки подвеса до центра масс маятника.

Величину $l = a + I_0/(ma)$ называют приведенной длиной физического маятника. Ее можно определить различными способами.

В работе используют два метода [2, 3].

Метод оборотного маятника. Он основан на следующем свойстве маятника: для любой точки подвеса можно найти сопряженную точку с тем же периодом колебания.

Из уравнения (1) для сопряженных точек получаем следующее соотношение:

$$\frac{(I_0 + ma_1^2)}{a_1} = \frac{(I_0 + ma_2^2)}{a_2}, \quad (2)$$

в итоге получим для периода:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a_1 + a_2}{g}} \quad \text{и} \quad l = a_1 + a_2. \quad (3)$$

Таким образом, приведенная длина физического маятника равна расстоянию между сопряженными точками.

Графический метод. На рис. 2 приведен типичный график зависимости периода колебаний маятника в виде однородного стержня длиной L от расстояния x точки подвеса до центра масс маятника. Видно, что если периоды T равны при $x = a_1$ и $x = a_2$, то $l = a_1 + a_2$.

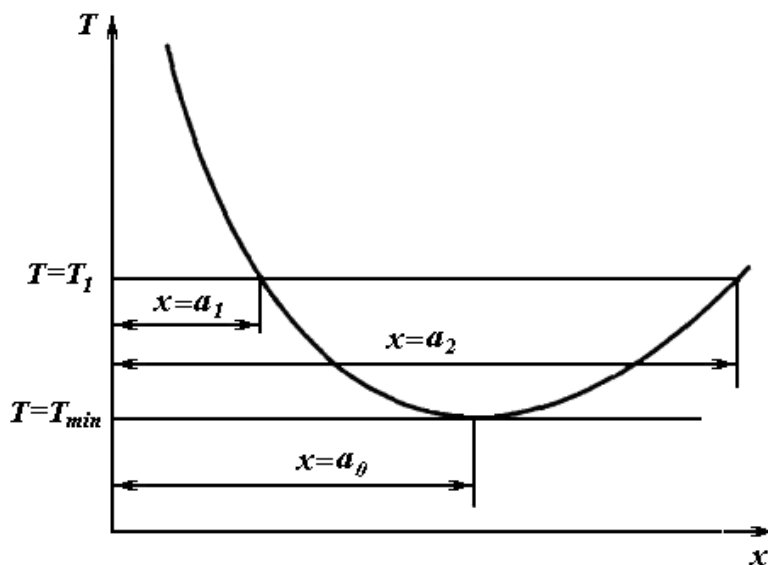


Рис. 2. Графическая модель периода колебаний маятника от расстояния точки подвеса до центра масс маятника

Описание экспериментальной установки

Оборотный маятник, используемый в эксперименте (рис. 3), представляет собой металлический стержень, на котором нанесены сантиметровые деления. По стержню могут

передвигаться и закрепляться в произвольном положении грузы в виде чечевиц и опорные призмы, задающие положение точки подвеса. Грузы имеют нарезные втулки для более тонкой регулировки их положения на стержне [4, 5].

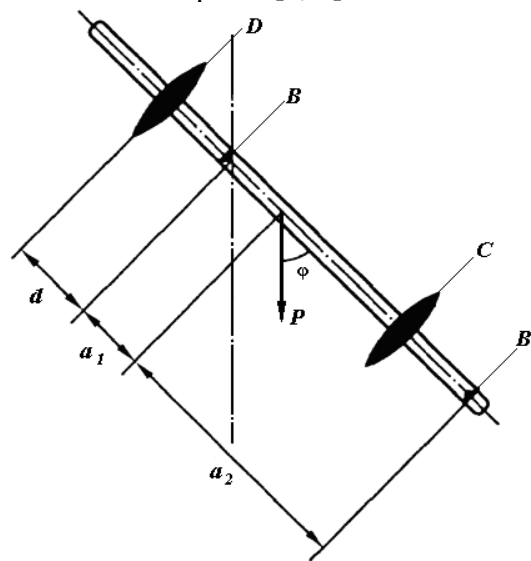


Рис. 3. Математическая модель оборотного маятника.

Измерения и обработка результатов

Задание 1. Определение ускорения свободного падения g методом оборотного маятника.

В эксперименте выбирают две точки подвеса маятника B и B' , расстояние между которыми равно 1 м. Последовательно подвешивая маятник в этих точках, измеряют периоды колебаний T для 10...15 различных положений груза D . По полученным данным строят график $T = T(d)$, где d - расстояние между грузом D и призмой B .

Пересечение кривых, полученных для точек подвеса B и B' , позволяет определить период колебаний для случая, когда точки B и B' являются сопряженными. В этом случае расстояние между ними равно приведенной длине физического маятника.

Проведите измерения T при различных положениях груза D , подвешивая маятник в точках B и B' . Период необходимо вычислять по времени не менее чем 40 - 50 колебаний маятника. Постройте на одном графике зависимости $T(d)$ для точек подвеса B и B' и определите из графика значение T_{cp} , при котором точки B и B' - сопряженные. Вычислите ускорение свободного падения.

Данные измерений и вычислений t , d , T , T_{cp} внесите в таблицу 2. Оцените точность определения ускорения свободного падения таким методом.

Задание 2. Определение ускорения свободного падения g по графику зависимости периода колебаний оборотного маятника от положения точки подвеса.

В качестве маятника используют однородный стержень длиной L . Оба груза и одна призма снимаются. В эксперименте измеряются периоды колебаний маятника при перемещении точки подвеса от середины, т.е. от центра масс, к концу стержня (необходимо взять не менее 15 точек). Особенно тщательно измерения проводят около точки, соответствующей минимальному периоду колебаний. По данным эксперимента строят график зависимости периода колебаний от расстояния между точкой подвеса и центра масс стержня (изменением положения центра масс маятника при движении опорной призмы по стержню пренебрегают ввиду малой массы опорной призмы по сравнению с массой стержня). По графику определяют приведенные длины ($l = a_1 + a_2$) для трех различных значений периода. Для каждого случая вычисляют ускорение свободного падения и в качестве результата берут среднее арифметическое этих значений.

Произведите необходимые измерения, постройте график зависимости $T = f(a)$ и определите ускорение свободного падения, используя маятник в виде стержня [6]. Данные

измерений и вычислений t , T , a , l , g внесите в таблицу 2. Оцените погрешность определения g . При выполнении математических расчетов рекомендуется использовать компьютерную программу *Excel* [7].

Вопросы и упражнения

1. Дайте определение физического маятника и получите выражение (1)
2. Как определить положение центра масс физического маятника, если известно положение сопряженных точек подвеса при наименьшем периоде колебаний маятника?
3. Почему амплитуда колебаний маятника при измерениях его периода должна быть небольшой?
4. Что является основным источником ошибок при определении g использованными вами методами?
5. Как влияет трение в системе на точность определения g ?

Таблица № 2

Параметры	Значение
Задаваемые	
d	
L	1м
Измеряемые	
T	
T_{cp}	
t	
Вычисляемые	
g	
a	
l	
δ	
$T=f(a)$	Строится график

Заключение

Проведенные опыты по определению параметров прямолинейного движения, вычислению мгновенной скорости и ускорения движущегося физического тела с помощью поворотного маятника показали корректность полученных математических моделей, методик и использованного измерительного оборудования.

Литература

1. Данилов О.Е. Использование компьютерной модели математического маятника при изучении механических колебаний в курсе физики // Молодой ученый. — 2014. — №18. — С. 17-24. — URL <https://moluch.ru/archive/77/13201/> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Ремизов А. Н. Курс физики. Учебник для вузов / А. Н. Ремизов, А. Я. Потапенко - М.: Дрофа, 2003.
3. Трофимова. Т.И. Курс физики, М.: Академия, 2005.
4. Иродов И. Е. Механика. Основные законы / М.: Издательство: Бином. Лаборатория знаний, 2009.
5. Трофимова Т. И. Основы физики в 5 книгах. Книга 1. Механика / М.: Высшая школа, 2007.
6. Физика. Под. ред. Пинского А.А. М., Просвещение, 2002.
7. Волков В.Б. Понятный самоучитель Excel 2010 / СПб: Питер, 2010 - 256 с

CURRENT ISSUES OF TEACHING PHYSICS.: METHODICAL APPROACHES TO CARRYING OUT LABORATORY WORKS ON THE STUDY OF RECTILINEAR MOTION OF PHYSICAL BODIES

MIKHAILOV PETR

Kaf. IVS PGUAS Penza, st. German Titov, 28, tel. 49-72-77, e-mail pit_mix@mail.ru.

ANALIEVA AZHAR

College of Economics and Information Technologies NOC NIITU, Uralsk, ul. M. Mamedova, 81, tel. 8 (7112) 50-66-66, azhara_1980@mail.ru

FADEEV EVGENY

Penza state university, Penza

Abstract.

The article describes the methods and means of measuring the rectilinear motion of physical bodies. At the same time, simple laboratory equipment and measuring tools used in the experiments allow students to quickly master the methodology of laboratory work and correctly answer the basic questions. The existing computer variants of the considered laboratory works, based on the use of special programs, require significant costs for their purchase, therefore, in practice, stands and universal measuring devices are widely used for experiments. The article describes two methods of studying the rectilinear motion of physical bodies: 1) using an experimental setup "Atwood Machine"; 2) using a physical pendulum.

The objectives of the work are defined, the methods of experiments and the device used laboratory stands are described. The equipment and instruments used for the physical experiment include the "Atwood Machine" (Fig. 1) consisting of a block of goods, stoppers, guides, catches and so on. units and parts and laboratory stand – "Physical pendulum". A set of reference weights, a pendulum, a measuring ruler and a stopwatch are used as measuring instruments.

Mathematical models describing the rectilinear accelerated motion of physical bodies are presented and analyzed. the forms and sequence of measurement and processing of the results of the physical experiment by measuring the main parameters of the process, filling tables and subsequent processing of experimental data using the MS Excel program are Proposed. Control questions and tasks are given for each laboratory work.

Keywords: motion, acceleration, free fall, time, distance, pendulum, setting.