

Демонстрация равномерного прямолинейного движения

Цель работы

Целью работы являются:

- 1) демонстрация метода экспериментального определения координаты тела в выбранной системе отсчета;
- 2) демонстрация временных зависимостей координаты, скорости и пройденного пути при равномерном прямолинейном движении.

Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью датчика расстояния измеряется координата тележки на магнитной подвеске, приведенной в движение демонстратором. Синхронно с движением тележки демонстрируются временные зависимости ее координаты, скорости и пройденного пути при равномерном прямолинейном движении.

Теория

Движение называется *прямолинейным*, если траекторией тела в данной системе отсчета является прямая линия. Для описания прямолинейного движения удобно совместить одну из осей координат (например, ось абсцисс Ox) с направлением, вдоль которого происходит движение.

Равномерным называется движение, при котором перемещения (изменения координаты) тела за любые равные промежутки времени одинаковы. При равномерном прямолинейном движении скорость тела постоянна по величине и направлению. Зависимость координаты x тела от времени t имеет вид $x = x_0 + v_0 t$, где x_0 — начальная координата тела; v_0 — проекция скорости тела на координатную ось Ox .

Путь s , пройденный телом за промежуток времени $t_2 - t_1$ при прямолинейном движении в одном направлении вдоль оси Ox , равен модулю разности координат: $s = |x_2 - x_1|$. Зависимость пути от времени можно найти, зная модуль проекции скорости v_0 : $s = |v_0| t$.

Ожидаемые зависимости координаты тела, пройденного телом пути и скорости тела от времени при равномерном прямолинейном движении в одном направлении приведены на рисунке 1.

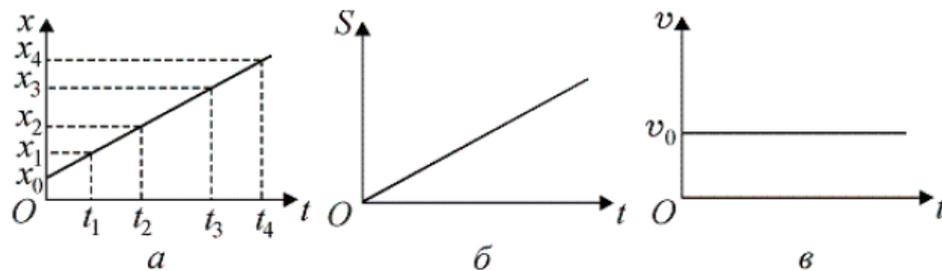


Рис. 1. Зависимости координаты тела (а), пройденного телом пути (б) и скорости тела (в) от времени при движении в одном направлении

Из рисунка 1, а видно, что за равные промежутки времени $t_4 - t_3 = t_2 - t_1$ тело проходит одинаковые пути: $x_4 - x_3 = x_2 - x_1$.

Представляет интерес случай, когда при ударе тела (тележки) об ограничитель оно меняет направление движения на противоположное. Пусть удар произошел в момент времени $t = \tau$, а расстояние от ограничителя до начала координат равно l . Начиная с этого момента координата тела будет изменяться по закону: $x = l - |v_1| (t - \tau)$, где v_1 — проекция скорости тела на координатную ось Ox после удара. Поскольку удар является не вполне упругим, то $|v_1| < |v_0|$. Путь, пройденный телом после удара, в любой произвольный момент времени t равен: $s = l + |v_1| (t - \tau)$.

Ожидаемые зависимости координаты тела, пройденного телом пути и скорости тела от времени за все время движения будут иметь вид, изображенный на рисунке 2.

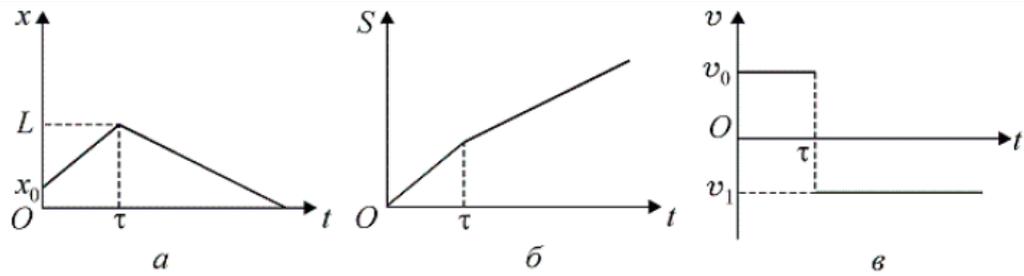


Рис. 2. Зависимости координаты тела (а),
пройденного телом пути (б) и скорости тела (в) от времени за все время движения

Контрольные вопросы

1. Какое тело в данном опыте принято за тело отсчета? Как направлена координатная ось абсцисс ОХ?
2. Какое движение называется равномерным?
3. Как определяется скорость тела при равномерном движении?
4. Как определяется пройденный телом путь, если известны скорость и время движения?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик расстояния:

Желоб длиной 110 см с магнитной подвеской.

Ограничитель.

Тележка на магнитной подвеске с пружинным бампером.

Уровень (приспособление для проверки горизонтальности плоскостей).



Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по одному опыту для трех–пяти значений начальной скорости тележки. Весь цикл измерений может быть проведен за 2–3 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить скорость движения тела с точностью до 0,1 м/с.

Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик расстояния) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего

опасности для человека.

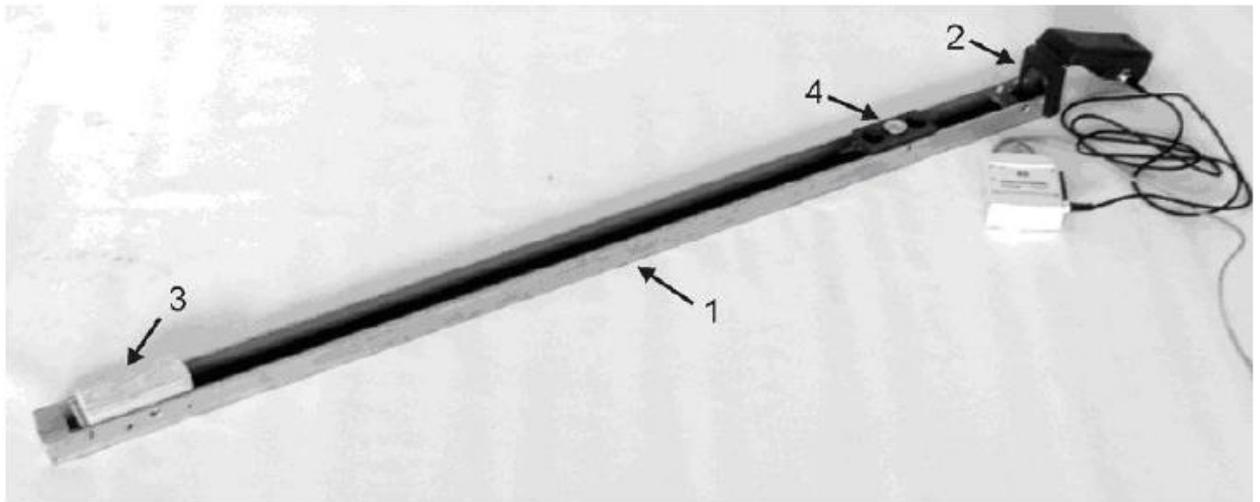
Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Направляющие следует устанавливать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

Монтаж и настройка



Желоб с магнитной подвеской 1 с помощью уровня устанавливается на столе горизонтально. Датчик расстояния 2 располагается вплотную к одному из краев желоба так, чтобы зона его действия была направлена вдоль оси желоба. Высота установки датчика должна быть немного больше высоты тележки 4, помещенной на желоб. На другом краю желоба закрепляется ограничитель 3.

Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите датчик расстояния к аналоговому входу системы сбора данных.

Нажмите кнопку **Пуск**. На графике **Координата** и **Путь–Время** отображается зависимость расстояния до ближайшего объекта, которое регистрирует датчик, от времени;

поворачивая датчик расстояния относительно оси желоба и изменяя наклон датчика, добейтесь надежной регистрации тележки на всем протяжении желоба. При расстоянии от датчика до тележки менее 18 см датчик должен отображать расстояние 18 см и не реагировать на посторонние объекты. Для очистки графика можно использовать кнопку **Удалить данные**.

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Поместите тележку на направляющие на расстоянии примерно 10 см от датчика расстояния.

Нажмите кнопку **Пуск**. На графике **Координата** и **Путь–Время** появляется прямая горизонтальная линия, параллельная оси абсцисс (оси времени) и соответствующая координате 20 см (минимальное расстояние, регистрируемое датчиком).

Подтолкните тележку рукой в направлении от датчика (сообщая ей начальную скорость 0,7–1,0 м/с), сразу после этого уберите руку из зоны действия датчика. Программа начинает корректное измерение расстояния до тележки с того момента, когда тележка окажется на расстоянии 20 см от датчика. Измеренное расстояние равно координате тележки, отображаемой на графике **Координата** и **Путь–Время**.



После остановки тележки нажмите кнопку **Стоп**. Регистрация данных прекращается, на экран дисплея выводятся графики измеренных зависимостей пути, пройденного тележкой, и ее скорости от времени. Масштабы обоих графиков автоматически изменяются: начало отсчета совмещается с моментом начала движения.

На график зависимости скорости от времени накладывается аппроксимирующая ее линия, состоящая из следующих отрезков: до начала движения — отрезок, параллельный оси времени и соответствующий скорости от начала движения до точки разворота — отрезок, соответствующий положительной скорости; от точки разворота до остановки тела — отрезок, соответствующий отрицательной скорости.

Анализ результатов

Графики измеренных зависимостей пути, пройденного тележкой, и скорости тележки от времени, а также аппроксимирующий график зависимости скорости от времени появляются автоматически после остановки тележки. Никаких дополнительных действий для проведения анализа не требуется.

Обратите внимание учащихся на то, что до удара тележки об ограничитель ее координата изменяется по линейному закону, а скорость практически постоянна; после удара об ограничитель скорость тележки меняет направление на противоположное и тележка продолжает равномерное прямолинейное движение. Объясните, что изменение вида зависимости координаты тележки от времени связано с изменением знака проекции скорости тележки после удара. Обратите внимание учащихся на то, что пройденный тележкой путь монотонно возрастает.

Повторные измерения

В начале проведения последующих измерений графики на экране дисплея очищаются автоматически (при нажатии кнопки **Пуск**).

Проведите несколько опытов, сообщая тележке разные по величине начальные скорости. На одной-двух зависимостях координаты тележки от времени, отображенных на экране дисплея, покажите учащимся, что на участках равномерного движения за равные промежутки времени тележка проходит одинаковые пути.

Дополнительное задание

По изменению скорости на участках до и после удара об ограничитель оцените ускорение тележки.

Справка

Принцип действия используемых датчиков

Датчик расстояния

Принцип действия датчика основан на излучении последовательности ультразвуковых импульсов и измерении временной задержки между моментом начала излучения импульсов и моментом начала регистрации импульсов, отраженных от объекта измерения.

Основой датчика служит пьезорезистивный преобразователь. Напомним, что пьезоэлектрический эффект — это эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэлектрический эффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

Датчик работает в несколько этапов. Сначала пьезорезистивный преобразователь излучает короткий ультразвуковой импульс, одновременно в датчике включается внутренний таймер. Затем отраженный от объекта импульс возвращается обратно в датчик, при этом таймер останавливается. Время t , прошедшее между моментом излучения импульса и моментом, когда отраженный импульс возвратился в датчик, служит основой для вычисления расстояния до объекта $l=ct$, где c — скорость распространения ультразвука в воздухе (343 м/с).

Контроль процесса измерения производится с помощью микропроцессора.

Датчик позволяет измерять расстояния до таких сложных объектов, как, например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные тела или тела, имеющие отражающие поверхности.

Однако у датчика есть ряд ограничений: это пена и другие объекты, поглощающие ультразвуковые волны, что значительно искажает результаты измерений. Сильноизогнутые поверхности объектов также снижают точность измерений, поскольку рассеивают ультразвуковые волны в различных направлениях. Кроме того, датчик излучает ультразвуковые волны в виде широкого конуса (под углом 15–20° к оси центрального луча). При этом источниками отраженного сигнала для датчика могут стать различные объекты, оказавшиеся в конусе ультразвука, что ограничивает возможность использования датчика для измерения расстояний до небольших объектов.

