



## Изучение равномерного прямолинейного движения

### Цель работы

Изучить свойства равномерного прямолинейного движения при помощи цифрового датчика расстояния.

### Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью ультразвукового датчика расстояния измеряется координата тележки на магнитной подвеске, приведенной в движение демонстратором. Синхронно с движением тележки отображается график зависимости ее координаты от времени. По этой зависимости вычисляется скорость тележки и демонстрируется постоянство скорости тележки при движении.

### Теория

**Равномерное движение** – это движение с постоянной скоростью, то есть когда скорость не изменяется ( $v = \text{const}$ ) и ускорения или замедления не происходит ( $a = 0$ ).

**Прямолинейное движение** – это движение по прямой линии, то есть траектория прямолинейного движения – это прямая линия.

**Равномерное прямолинейное движение** – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Например, если мы разобьем какой-то временной интервал на отрезки по одной секунде, то при равномерном движении тело будет перемещаться на одинаковое расстояние за каждый из этих отрезков времени.

Скорость равномерного прямолинейного движения не зависит от времени и в каждой точке траектории направлена также, как и перемещение тела. То есть вектор перемещения совпадает по направлению с вектором скорости. При этом средняя скорость за любой промежуток времени равна мгновенной скорости:

$$v_{\text{ср}} = v$$

Скорость равномерного прямолинейного движения – это физическая векторная величина, равная отношению перемещения тела  $\vec{s}$  за любой промежуток времени к значению этого промежутка  $t$ :

$$\vec{v} = \vec{s} / t$$

Таким образом, скорость равномерного прямолинейного движения показывает, какое перемещение совершает материальная точка за единицу времени.

**Перемещение** при равномерном прямолинейном движении определяется формулой:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t$$

**Пройденный путь** при прямолинейном движении равен модулю перемещения. Если положительное направление оси  $Ox$  совпадает с направлением движения, то проекция скорости на ось  $Ox$  равна величине скорости и положительна:

$$v_x = v, \quad \text{то есть } v > 0$$

Проекция перемещения на ось  $Ox$  равна:

$$s = vt = x - x_0$$

где  $x_0$  – начальная координата тела,  $x$  – конечная координата тела (или координата тела в любой момент времени)

**Уравнение движения**, то есть зависимость координаты тела от времени  $x = x(t)$ , принимает вид:

$$x = x_0 + vt$$

Если положительное направление оси ОХ противоположно направлению движения тела, то проекция скорости тела на ось ОХ отрицательна, скорость меньше нуля ( $v < 0$ ), и тогда уравнение движения принимает вид:

$$x = x_0 - vt$$

### Зависимость скорости, координат и пути от времени

Зависимость проекции скорости тела от времени показана на рис. 1. Так как скорость постоянна ( $v = \text{const}$ ), то графиком скорости является прямая линия, параллельная оси времени Оt.

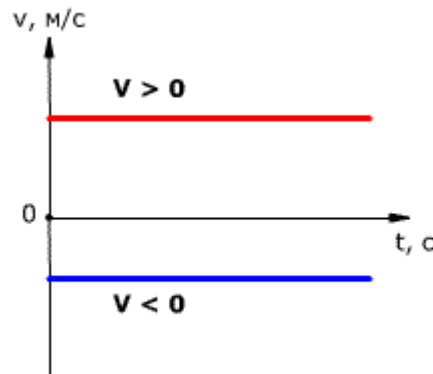


Рис. 1. Зависимость проекции скорости тела от времени при равномерном прямолинейном движении.

Проекция перемещения на координатную ось численно равна площади прямоугольника OABC (рис.2), так как величина вектора перемещения равна произведению вектора скорости на время, за которое было совершено перемещение.

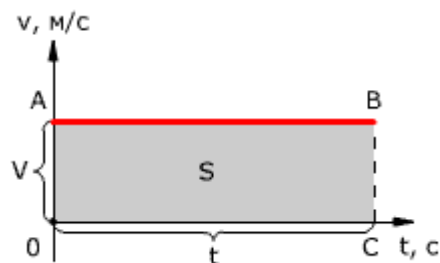


Рис. 2. Зависимость проекции перемещения тела от времени при равномерном прямолинейном движении.

График зависимости перемещения от времени показан на рис. 3. Из графика видно, что проекция скорости равна

$$v = s_1 / t_1 = \text{tg } \alpha$$

где  $\alpha$  – угол наклона графика к оси времени.

Чем больше угол  $\alpha$ , тем быстрее движется тело, то есть тем больше его скорость (большой путь тело проходит за меньшее время). Тангенс угла наклона касательной к графику зависимости координаты от времени равен скорости:

$$\text{tg } \alpha = v$$

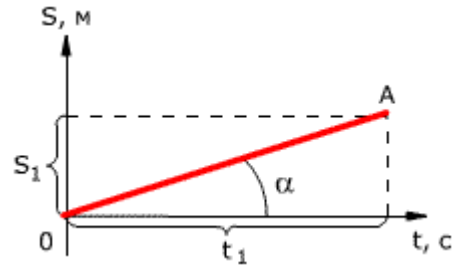


Рис. 3. Зависимость проекции перемещения тела от времени при равномерном прямолинейном движении.

Зависимость координаты от времени показана на рис.4. Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha_1 > \operatorname{tg} \alpha_2$$

следовательно, скорость тела 1 выше скорости тела 2 ( $v_1 > v_2$ ).

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = v_3 < 0$$

Если тело покоится, то графиком координаты является прямая, параллельная оси времени, то есть  $x = x_0$

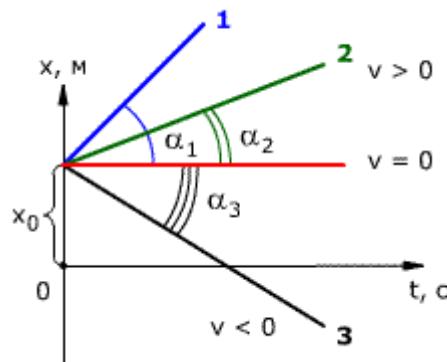


Рис. 4. Зависимость координаты тела от времени при равномерном прямолинейном движении.

### Контрольные вопросы

1. Какое движение называется равномерным прямолинейным?
2. Как зависит скорость равномерного прямолинейного движения от времени?
3. Зависимость скорости, координат и пути от времени?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик расстояния:

наклонная плоскость 110 см.

Ограничитель.

Тележка с пружинным бампером.

Уровень (приспособление для проверки горизонтальности плоскостей).



## Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Весь цикл измерений может быть проведен за 5–10 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 15–30 мин.

Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить величину электростатического заряда 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. Мощность и частота ультразвука, испускаемого датчиком расстояния, также не представляют опасности для человека.

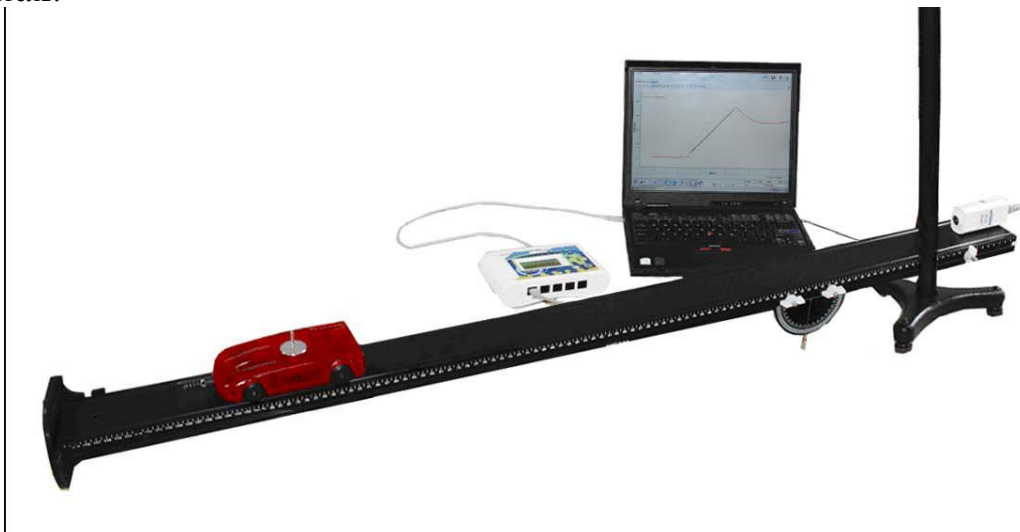
Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Наклонную плоскость 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

Наклонную плоскость с помощью уровня устанавливается на демонстрационном столе горизонтально. Датчик расстояния располагается вплотную к одному из краев наклонной плоскости так, чтобы зона его действия была направлена вдоль оси наклонной плоскости или немного вниз.

Высота установки датчика над поверхностью стола должна быть немного больше высоты тележки помещенной на наклонную плоскость. На другом краю наклонной плоскости закрепляется ограничитель.



## 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 систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля..

Подключите датчик расстояния к аналоговому входу системы сбора данных.

Для установки и настройки датчика расстояния выполните следующее:

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

Установите верхнюю часть платформы на таком уровне, при котором тележка будет двигаться равномерно и прямолинейно. Стартовая точка тележки должна располагаться не ближе 18 см от датчика движения. 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.

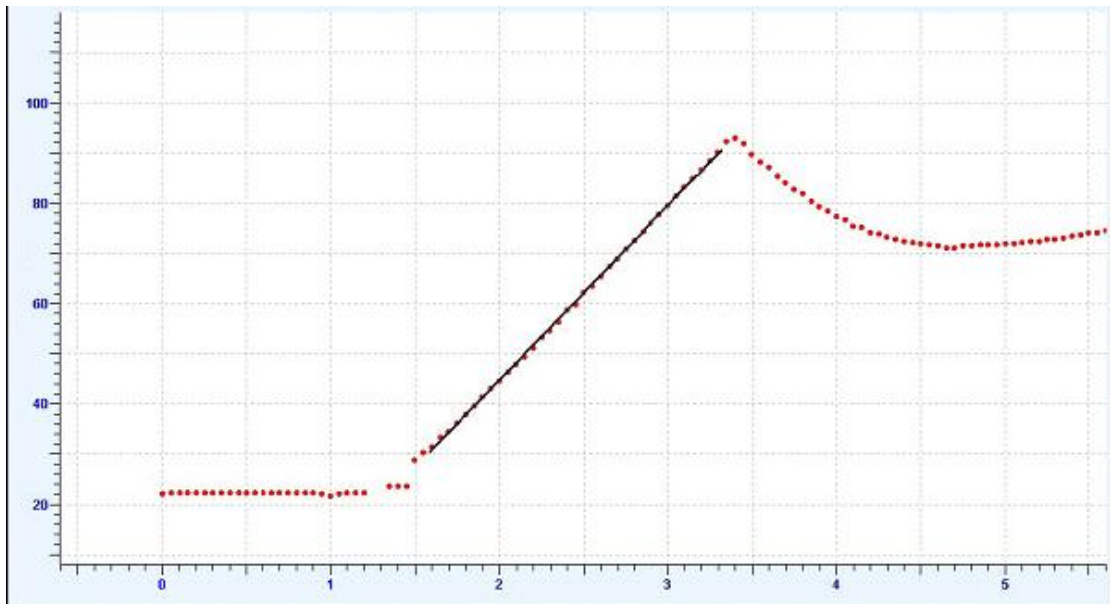
Выберите время эксперимента 1 минуту, шаг измерения 50мс.

Нажмите кнопку **Пуск**. На графике Координата и путь–Время появляется прямая горизонтальная линия, параллельная оси абсцисс (оси времени) и соответствующая координате 18 см (минимальное расстояние, регистрируемое датчиком).

Подтолкните тележку рукой в направлении от датчика, для придания ей равномерного прямолинейного движения, сразу после этого уберите руку из зоны действия датчика. Программа начинает корректное измерение расстояния до тележки с того момента, когда тележка окажется на расстоянии 18 см от датчика. Измеренное расстояние равно координате тележки, отображаемой на графике Координата и путь–Время.

Когда тележка достигнет нижней точки установки остановите сбор данных. Регистрация данных прекращается, на экран дисплея выводится график **Скорость–Время**, на котором отображается зависимость скорости тележки от времени, рассчитанная программой по измеренной зависимости координаты тележки от времени. Масштабы графиков.

Координата–Время и Скорость–Время 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, соответствующий скорости  $v=0$ ; 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 координаты 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 об ограничитель тележка совершает равномерное прямолинейное движение: ее скорость практически постоянна. После удара об ограничитель скорость тележки меняет направление на противоположное и тележка продолжает



равномерное прямолинейное движение по инерции. Объясните, что изменение вида зависимости координаты тележки от времени связано с изменением знака проекции скорости тележки после удара.

## Справка

### 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  $15\text{--}20^\circ$  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.