

Наблюдение равноускоренного прямолинейного движения

Цель работы

Целью работы является демонстрация временных зависимостей координаты, скорости и ускорения тела при его равноускоренном прямолинейном движении.

Метод экспериментального исследования явления

В работе используется модель машины Атвуда, представляющая собой два груза, связанные нитью, перекинутой через блок датчика вращательного движения. С помощью этой модели можно добиться постоянного ускорения в системе в течение достаточного для демонстрации времени, а также в широких пределах изменять величину ускорения. Датчик вращательного движения обеспечивает высокую точность измерения перемещения грузов в реальном времени, что дает возможность продемонстрировать кинематические характеристики тела при его равноускоренном прямолинейном движении.

Теория

Рассмотрим простую модель: два груза массами m_1 и m_2 ($m_1 > m_2$) привязаны к концам нерастяжимой нити, перекинутой через неподвижный блок. Будем полагать, что массой нити и блока, а также трением в оси блока можно пренебречь. Тогда сила натяжения будет одинаковой по модулю во всех точках нити: $T_1 = T_2 = T$. Движение грузов происходит под действием сил, изображенных на рисунке 1, где m_1g и m_2g — силы тяжести, а T — сила натяжения нити.

Из условия нерастяжимости нити следует, что ускорения грузов по модулю совпадают: $a_1 = a_2 = a$.

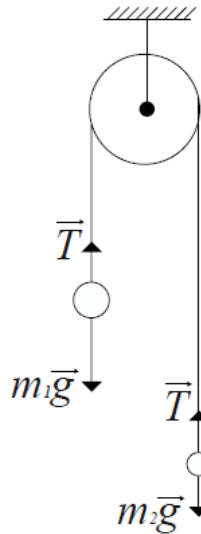


Рис. 1. Схема эксперимента

Запишем уравнения движения для проекций векторов сил и ускорений на ось, совпадающую по направлению с ускорением:

$$m_1 a = m_1 g - T, \quad m_2 a = T - m_2 g.$$

$$\text{Отсюда } a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Очевидно, что движение грузов в данной модели является равноускоренным.

Если совместить начало координат с точкой, откуда груз массой m_1 начинает движение, а координатную ось ординат OY направить вертикально вниз, то графики ожидаемых зависимостей координаты этого груза и проекций его скорости и ускорения от времени (на участке свободного

движения) будут иметь вид $y(t) = \frac{at^2}{2}$, $v(t) = at$, $a(t) = \text{const}$ (рис. 2).

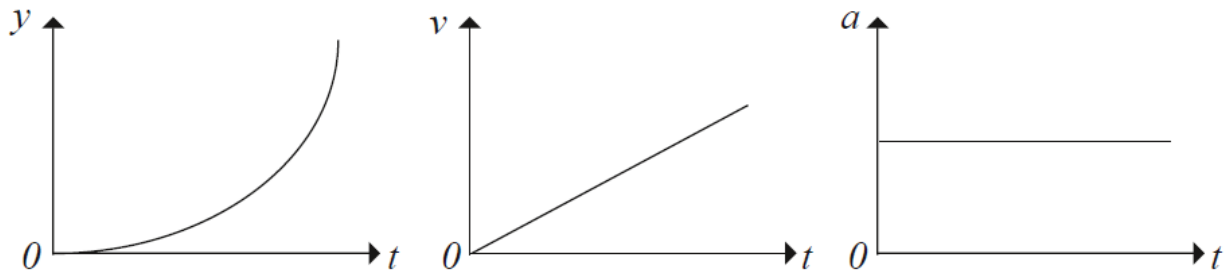


Рис. 2. Зависимости координаты, скорости и ускорения груза большей массы от времени

Контрольные вопросы

1. Как определяется мгновенная скорость при неравномерном прямолинейном движении?
2. Как направлен вектор ускорения тела при прямолинейном движении, если тело в процессе движения: а) увеличивает свою скорость; б) уменьшает свою скорость?
3. По какому закону изменяется скорость тела при равноускоренном и равнозамедленном движении?
4. Как зависит от времени расстояние, пройденное телом при равноускоренном движении?
5. Каков будет результат эксперимента, если провести его на международной космической станции?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик вращательного движения:

разрешение: 1° или $0,25^\circ$ (в эксперименте используется разрешение $0,25^\circ$);

максимальная скорость вращения при разрешении $0,25^\circ$: 7,5 об/с;

блок: тройной с диаметрами 10, 29 и 48 мм (в эксперименте используется блок с диаметром 48 мм).

Штатив с крепежом:

высота штатива: 70–100 см;

длина горизонтально закрепленного стержня: 20–50 см.

Набор грузов:

общая масса: 200–300 г;

минимальная масса: 2 г;

диаметр: не более 30 мм.

Нить нерастяжимая невесомая длиной около 1,5 м.

Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по одному измерению для трех–пяти пар тел (грузов). Все измерения могут быть проведены за 3–5 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 ускорение с точностью до 10% (до $0,05 \text{ м/с}^2$). Эта погрешность является систематической, связанной с наличием трения и момента инерции блока, поэтому теоретическое значение ускорения больше указанную величину.

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) 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

Штатив с датчиком вращательного движения 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.

Для обеспечения наглядности демонстрации время движения грузов должно быть не менее 2 с.

При небольшой суммарной массе грузов или при незначительном различии их масс более заметно действие силы трения. Поэтому время движения грузов должно быть не более 5 с. Из этих ограничений следует, что рекомендуемое различие масс грузов должно составлять 3–15 г при общей массе 200 г и 4–23 г при общей массе 300 г.

Монтаж и настройка

Датчик вращательного движения с блоком закрепляется на штативе на высоте около 1,5 м от пола. Подобранные для эксперимента грузы соединяются нитью, длина которой должна примерно на 5 см превышать высоту датчика над полом. Нить накидывается на блок датчика. Груз большей массы поднимается так, чтобы груз меньшей массы касался пола, но нить при этом оставалась натянутой. Для удержания системы в покое следует затормозить блок, держась двумя пальцами руки за его ось.

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 вращательного движения к цифровому входу системы сбора данных.

Перекиньте нить с грузами через блок диаметром 48 мм так, чтобы при смещении груза большей массы вниз блок вращался по часовой стрелке. Убедитесь, что при вертикальном перемещении груза большей массы изменяется числовое значение, выводимое в поле.

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Поднимите груз большей массы на максимальную высоту (около 1,5 м от пола).

Отпустите блок без начальной скорости, сразу после этого нажмите кнопку **Пуск**.

После остановки системы вследствие удара более тяжелого груза о пол на экран дисплея выводятся графики измеренной зависимости координаты груза большей массы от времени $y(t)$, а также результатов ее дифференцирования — временные зависимости скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$. На график зависимости координаты от времени накладывается аппроксимирующая ее параболическая кривая. Соответствующее параболе значение ускорения (в м/с^2) отображается в поле. На график зависимости скорости от времени накладывается аппроксимирующая ее прямая линия. Теоретическое

значение ускорения, рассчитанное по формуле

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Анализ результатов

Аппроксимирующие и расчетные графики появляются автоматически после остановки грузов. Никаких дополнительных действий для вывода результатов анализа не требуется. По качественному соответствию полученных графиков и их аппроксимаций учащиеся убеждаются, что грузы действительно движутся равноускоренно:

зависимость координаты груза от времени соответствует параболической зависимости, зависимость скорости от времени — линейной, а ускорение является постоянной величиной.



Сравните полученное экспериментальное значения ускорения (поле Эксперимент) с теоретическим значением (поле Теория). При правильном проведении опыта с указанными условиями различие между этими данными не должно превышать $0,1 \text{ м/с}^2$.

Повторные измерения

В начале проведения следующих измерений графики на экране дисплея очищаются автоматически, никаких дополнительных действий не требуется. Проведя несколько опытов с грузами разной массы, обратите внимание учащихся на то, что возникающее в системе ускорение различно, и предложите убедиться в справедливости теоретической формулы.

Дополнительное задание

Использование блоков разной массы, а также замена легкой нити тяжелой цепочкой позволят продемонстрировать влияние момента инерции блока и массы нити на ускорение тел в машине Атвуда. Тем самым будет экспериментально показана ограниченность таких простых моделей, обычно применяемых в школьной физике, как невесомый блок, невесомая нить и т. п.

Справка

Принцип действия используемых датчиков

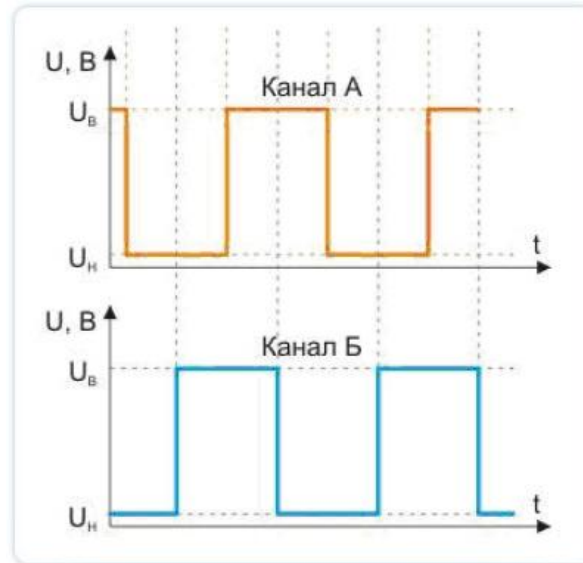
Датчик вращательного движения

Основным элементом датчика вращательного движения является относительный цифровой квадратурный оптический датчик угла. Он преобразует вращение вала датчика в последовательность цифровых импульсов, которые регистрирует система сбора данных. В простейшем случае квадратурный оптический датчик вращательного движения представляет собой прозрачный диск с нанесенными на него радиальными непрозрачными полосками (или непрозрачный диск с радиальными прорезями), надетый на ось вращения датчика, и две пары оптических излучателей-приемников, расположенные по разные стороны диска. В момент вращения, когда очередная прозрачная часть диска находится строго между излучателем и приемником, приемник регистрирует излучение светодиода. На выходе приемника формируются цифровые импульсы, следующие с частотой $F = nf$, где n — количество непрозрачных полосок на диске, а f — частота его вращения.

В квадратурном оптическом датчике используются две пары оптических излучателей-приемников, смещенные относительно друг друга по окружности так, что последовательности формируемых ими цифровых импульсов смещаются относительно друг друга

на четверть периода (половину ширины непрозрачной дорожки). В этом случае, проводя синхронный анализ импульсов обеих пар излучателей-приемников, можно определить направление вращения диска. Например, если сначала приходит импульс с приемника **A**, а через четверть периода — импульс с приемника **B**, то диск вращается по часовой стрелке; если последовательность обратная, то против часовой стрелки.

Объясним еще раз термины в полном названии датчика:



Относительный. При запуске измерений начальное положение (начальный угол) полагается равным нулю. У вала нет выделенного положения. Существуют абсолютные датчики угла, у которых каждому положению вала соответствует уникальный цифровой код.

Цифровой. Датчик угла формирует цифровые импульсы, определяющие его положение. Импульсы подсчитывает система сбора данных.

Оптический. На оси вала закреплен пластмассовый прозрачный кодирующий диск с радиальными непрозрачными дорожками. Цифровые импульсы формируются в тот момент, когда непрозрачная дорожка прерывает луч света.

Квадратурный. Очевидно, что с помощью одного канала нельзя определить направление вращения, поэтому у квадратурного датчика имеются два канала, сдвинутые относительно друг друга на половину ширины непрозрачной дорожки.

Сигналы с двух каналов датчика приведены на рисунке.