

Изучение свободного падения тел

Цель работы

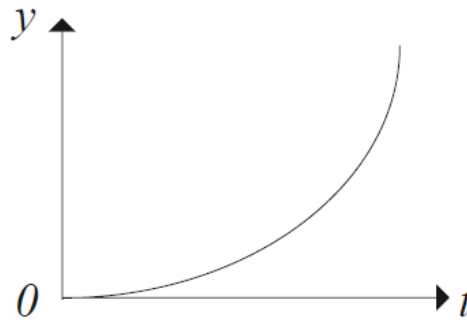
Целью работы являются:

- 1) экспериментальная проверка независимости ускорения свободного падения от массы падающего тела;
- 2) измерение ускорения свободного падения g в месте проведения эксперимента.

Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью датчика расстояния измеряется зависимость координаты свободно падающего тела от времени. Частота следования ультразвуковых импульсов, излучаемых датчиком, такова, что за время падения тела даже с небольшой высоты можно получить достаточное количество точек для построения графика зависимости координаты тела от времени. Это дает возможность с высокой точностью аппроксимировать полученную зависимость квадратичной функцией времени и вычислить по ней ускорение g тела. С помощью датчика расстояния можно смоделировать в школьном кабинете классические опыты Галилея по изучению падения различных тел и определить ускорение свободного падения g в месте проведения эксперимента.

Теория



Зависимость координаты свободно падающего тела от времени

Свободным падением называется движение, которое тело совершает под действием притяжения Земли.

Ускорение g , с которым движется вблизи поверхности Земли материальная точка, на которую действует только сила тяжести, называется *ускорением свободного падения*. Как показывают опыты, ускорение свободного падения не зависит от массы тела.

Если совместить начало координат с точкой, откуда тело начинает падение, а ось ординат OY направить вертикально вниз, то ожидаемая зависимость координаты тела от времени будет иметь вид $y(t) = gt^2 / 2$ (см. рис.).

Контрольные вопросы

1. Какое движение тел называется свободным падением? При каких условиях возможно такое движение?
2. Куда направлено ускорение свободного падения?
Как зависит ускорение свободного п 3. падения тела от его массы?
4. Имеются два тела одинаковых размеров и формы, одно из тел существенно легче другого. Эти тела одновременно начинают падать с нулевой начальной скоростью с одной и той же высоты. Какое из тел упадет раньше? Почему?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик расстояния

Штатив с крепежом:

высота штатива: 70–100 см;

длина горизонтально закрепленного стержня: 10–20 см.

Набор мячиков (кожаных, матерчатых или резиновых, наполненных песком):

масса: 0,05–1 кг;

диаметр: 5–15 см.

Весы с разновесом.



Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по пять измерений ускорения свободного падения для каждого из объектов исследования (мячиков). Время проведения цикла измерений для одного объекта составляет 1–2 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 свободного падения с точностью до 5% (до 0,5 м/с²).

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

Штатив с датчиком расстояния 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

Датчик расстояния закрепляется на штативе на высоте 1,5–1,7 м от пола так, чтобы зона действия датчика была направлена вертикально вниз. Время падения тела с этой высоты, найденное по формуле

$t = \sqrt{2h/g}$, составляет примерно 0,5 с. При частоте следования ультразвуковых импульсов, излучаемых



датчиком, равной 40 Гц, за время падения тела фиксируется около 20 значений его координаты. Под датчиком на расстоянии примерно 15 см от его измерительной головки на штативе рекомендуется закрепить указатель, который позволит надежно зафиксировать начальное положение тела перед его падением. Важно, чтобы указатель располагался вне зоны действия датчика расстояния.

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**.

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

Подключите датчик расстояния к цифровому входу системы сбора данных.

Убедитесь, что датчик правильно регистрирует расстояние до ближайшего объекта (расположенного не ближе 20 см).

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Нажмите кнопку **Пуск**. Убедитесь, что датчик правильно регистрирует расстояние до пола (разброс значений в поле **Расстояние** составляет не более 2 см).

Взвесьте мячики и сообщите результаты измерений учащимся.

Внесите один из мячиков на вытянутой руке в зону действия датчика и, ориентируясь на указатель, расположите мячик так, чтобы его верхний край находился на расстоянии 15 см ниже датчика. Во избежание ошибок измерения не рекомендуется держать мячик в зоне действия датчика более 2 секунд.

Отпустите мячик без начальной скорости, сразу после этого уберите руку из зоны действия датчика. Программа начинает измерение координаты тела с того момента, когда оно окажется на расстоянии 20 см от датчика, и автоматически прекращает измерение, когда расстояние от тела до пола станет меньше 20 см. Таким образом автоматически исключается измерение координаты мячика при его отскокивании от пола.

После проведения измерений на экран дисплея выводятся графики измеренной зависимости координаты тела от времени $y(t) = gt^2 / 2$ и ее аппроксимации квадратичной функцией времени. Рассчитанное по аппроксимирующей параболе значение ускорения g отображается в поле **Ускорение** и записывается в активную (выделенную цветом) ячейку **Таблицы данных**. Переключая значения **Скорость/Расстояние** можно вывести на экран график зависимости скорости падающего тела от времени.

Замечание. Если окажется, что измеренная в каком-либо опыте зависимость координаты тела от времени имеет явно аномальный характер, а определенное по ней значение ускорения свободного падения существенно отличается от ожидаемого, то это означает, что вы после отпускания тела недостаточно быстро убрали руку из зоны действия датчика расстояния. Выделите мышью ячейку таблицы с результатом этого опыта и повторите его еще раз.

После заполнения пяти ячеек в строке таблицы выделение переводится на первую ячейку следующей строки (соответствующее следующему объекту исследования), в столбце **Результат** отображается среднее значение ускорения и среднеквадратичная погрешность измерения по 5 проведенным опытам. Возможно изменение активной ячейки (щелчком мышью) и ввод значений вручную.

Анализ результатов

По качественному соответствию полученного графика и его аппроксимации учащиеся убеждаются в справедливости утверждения о том, что свободно падающее тело движется с постоянным ускорением g . Значение этого ускорения, рассчитанное по аппроксимирующей параболе, отображается в поле **Ускорение**.



Повторные измерения

Перед проведением повторных измерений убедитесь, что выбрана правильная активная ячейка таблицы, и выполните работу по пунктам 1–5 «Проведения измерений».

Проведя несколько опытов с телами различной массы, обратите внимание учащихся на то, что ускорение свободного падения всех тел в пределах точности измерений одинаково и не зависит от массы тела. Усредненные значения результатов этих опытов подтверждают возможность измерения ускорения свободного падения в месте их проведения с удовлетворительной точностью.

Дополнительное задание

Использование набора тел различной массы и плотности (бумажный ком, пластиковая тарелка, воздушный шарик) позволит наглядно продемонстрировать влияние сопротивления воздуха на ускорение падающего тела.

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 $l=vt/2$, где v — 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.