

Демонстрация правила сложения сил

Цель работы

Целью работы является демонстрация правила нахождения равнодействующей двух сил, приложенных к одной точке.

Метод экспериментального исследования явления

В работе используется установка, которая позволяет изменять угол между двумя постоянными силами (силами натяжения нити, к концам которой подвешены грузы с одинаковой массой) и измерять их равнодействующую с помощью датчика силы.

Теория

Силой называется векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на материальную точку или тело со стороны других тел или полей. Сила полностью определена, если заданы ее модуль, направление и точка приложения.

Две силы независимо от их природы считаются равными по модулю и противоположно направленными, если их одновременное действие на тело не меняет его состояния покоя или равномерного прямолинейного движения.

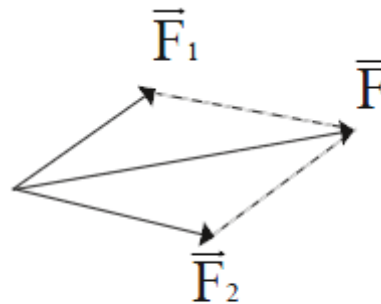


Рис. 1. Сложение сил

Величина силы может быть измерена по деформации специального тела, например пружины. Прибор, предназначенный для измерения силы, называется *датчиком силы*.

Если к материальной точке приложено несколько сил, направленных под различными углами друг к другу, то их действие можно заменить действием одной силы, называемой *равнодействующей*, величина и направление которой определяются по правилу сложения векторов. Сила F (рис. 1) — равнодействующая двух сил F_1 и F_2 , приложенных к одной материальной точке: $F = F_1 + F_2$. Если к этой точке приложить еще одну силу, по модулю равную силе F и противоположно ей направленную, то точка будет находиться в состоянии *равновесия*.

Рассмотрим следующую модель (рис. 2, а): два одинаковых груза массой m каждый прикреплены к концам нерастяжимой легкой нити, перекинутой через два неподвижных блока, расположенные на одной высоте на расстоянии L друг от друга. Будем полагать, что массой нити и блоков, а также трением в осях блоков можно пренебречь.

К середине нити, соединяющей грузы (точка O на рисунке 2, а), прикладывается направленная вертикально вниз сила F . Так как точка O находится в равновесии, равнодействующая сил натяжения T_1 и T_2 левого и правого отрезков нити равна силе F по модулю, но направлена противоположно ей.

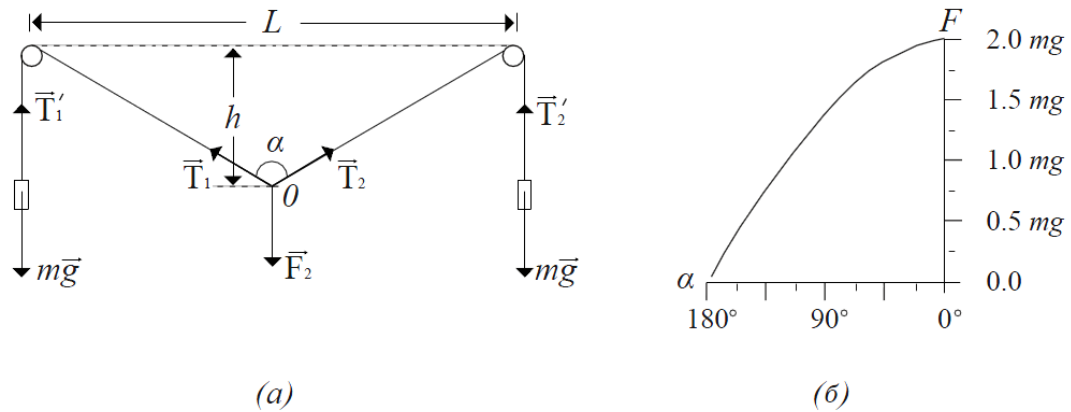


Рис. 2. Схема экспериментальной установки (а)
 и зависимости модуля силы F от угла α между силами натяжения (б)

В зависимости от вертикального перемещения h точки приложения силы F изменяется угол α между силами натяжения отрезков нити, но модуль каждой из этих сил остается постоянным и равным модулю силы тяжести mg , действующей на каждый из грузов.

$$F = 2mg \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Несложный расчет дает следующую зависимость модуля силы F от угла α :
 График этой зависимости изображен на рисунке 2, б. При диаметре блоков 4–6 см и расстоянии между ними 60 см изменением положений точек схода отрезков нити с блоков при перемещении точки приложения силы (середины нити) можно пренебречь. Тогда для вычисления угла можно

$$\alpha = 2 \arctg \frac{L}{2h}.$$

воспользоваться формулой:

Погрешность определения угла по этой формуле не превышает 2–4%, что вполне приемлемо для демонстрационных целей. Для случая, когда такая точность оказывается недостаточной, можно измерить угол между отрезками нити с помощью транспортира.

Контрольные вопросы

1. Что такое сила? Как ее измерить?
2. Какая сила называется равнодействующей?
3. Чему равна равнодействующая нескольких сил, направленных по одной прямой?
4. Как найти равнодействующую сил, направленных под углом друг к другу?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик силы:

Штатив высотой 70–100 см с крепежом.

Рычаг-линейка демонстрационная длиной 100 см.

Два одинаковых груза массой 100–150 г.

Два блока диаметром 10–60 мм.

Нить нерастяжимая легкая длиной 140–160 мм.

Линейка измерительная длиной 40 см.



Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Для получения зависимости равнодействующей сил натяжения отрезков нити от угла между ними рекомендуется провести измерения при шести–двадцати положениях датчика силы. Цикл измерений для получения одной зависимости может быть проведен за 2–6 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» различие между теоретическим и измеренным значениями равнодействующей не превышает 4%.

Точность измерений повышается при уменьшении размера блоков и расстояния от точки подвеса блока до его оси, а также при измерении угла вручную с помощью транспортира.

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 силы) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

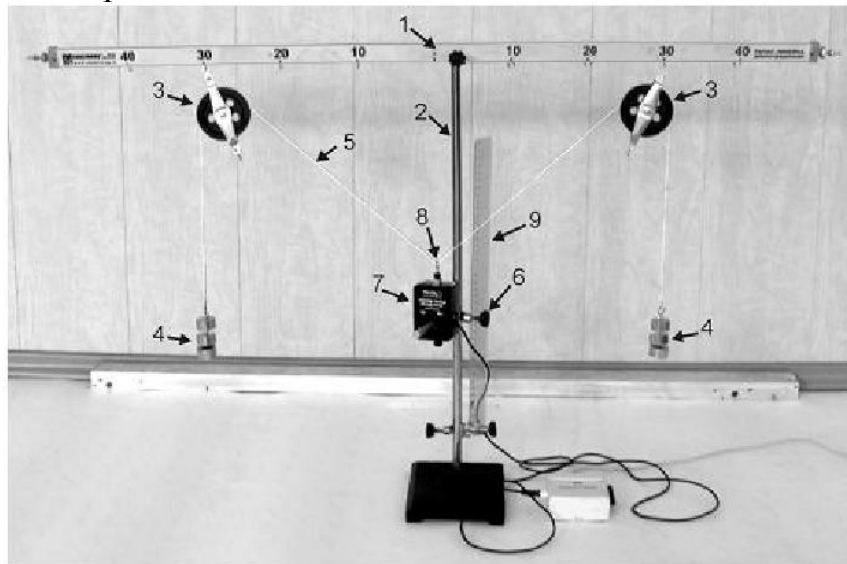
Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Штатив 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



Установка для измерения равнодействующей двух сил

Рычаг-линейка 1 закрепляется на штативе 2 в горизонтальном положении на расстоянии 60–70 см от поверхности стола так, чтобы середина рычага находилась слева от места крепления на расстоянии примерно 3 см. К крючкам, расположенным на рычаге на равном расстоянии (20–40 см), слева и справа от его середины подвешиваются два блока 3.



Подобранные для эксперимента грузы 4 одинаковой массы соединяются нитью 5. Нить перекидывается через блоки, грузы располагаются так, чтобы они находились на одном уровне. На вертикальной штанге штатива с помощью зажима 6 закрепляется датчик силы 7 с крючком 8 вверх. Крючок датчика силы зацепляется за середину горизонтального отрезка нити. Рядом с вертикальной штангой штатива располагается измерительная линейка 9, предназначенная для измерения смещения датчика силы. В нулевом положении датчика силы его крючок должен касаться нити, но не действовать на нее.

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**.

Выберите эксперимент «**Сложение и разложение сил**».

Подключите датчик силы к аналоговому входу системы сбора данных.

Взвесьте грузы и запишите их вес для последующего ввода в программу.

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Выберите режим измерения угла между силами натяжения отрезков нити. В режиме **Ввод угла** угол измеряется с помощью транспортира. В режиме **Ввод смещения** угол рассчитывается автоматически по вертикальному смещению датчика и расстоянию между точками подвеса блоков.

При работе в режиме **Ввод смещения** измерьте расстояние между точками подвеса блоков. Введите значение предварительно измеренного веса одного из грузов в поле **Вес одного груза**. Обратите внимание учащихся на то, что сила натяжения нити равна весу груза.

Закрепите датчик силы на штанге штатива в верхнем положении посередине между блоками. Зацепите крючок датчика силы за середину отрезка нити между блоками.

Нить должна быть расположена горизонтально и крючок датчика силы не должен на нее действовать. При этом в поле **Показания датчика силы** области **Текущие данные** отображается вес крючка (примерно 15 г).

Нажмите кнопку **Ноль** в разделе **Калибровка**. При этом программой записывается реперное (исходное) значение силы (вес крючка датчика силы), которое будет вычитаться из всех последующих результатов измерений силы.

Переместите датчик силы вертикально вниз на 1–5 см. В зависимости от выбранного в пункте 1 режима измерения угла между силами натяжения введите либо измеренное значение угла в поле **Угол между силами**, либо измеренное по шкале линейки значение вертикального смещения датчика силы в поле **Смещение динамометра**.

Во втором случае угол рассчитывается и отображается в поле **Угол между силами** автоматически. Теоретическое значение равнодействующей рассчитывается автоматически по углу между силами и весу грузов и выводится в поле **Сила** области **Текущие данные**. Одновременно на экране дисплея отображается параллелограмм сил, отображающий условие равновесия точки приложения сил.

Нажмите кнопку **Пуск**.

Проведите измерения по пунктам 6, 7 для нескольких положений датчика силы (не менее шести). Работу выполняйте до тех пор, пока угол между отрезками нити не уменьшится по крайней мере до 90°. При каждом последующем измерении на график зависимости равнодействующей от угла между силами натяжения добавляются измеренное и теоретическое значения.

Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на то, что с изменением (уменьшением) угла между отрезками нити, к которым подвешены грузы, сила, действующая на датчик силы, возрастает. Сделайте вывод о том, что величина равнодействующей двух сил зависит от угла между ними. Обратите внимание учащихся на хорошее совпадение экспериментально полученной зависимости равнодействующей силы от угла между силами натяжения с теоретической зависимостью.



Справка

Принцип работы датчика силы.

Датчик силы предназначен для прямого измерения прилагаемой к его крючку силы.

Датчик имеет пьезорезистивный полупроводниковый чувствительный элемент, изменение сопротивления которого прямо пропорционально прилагаемой силе. Измерение проводится по хорошо известной балансной мостовой схеме, в одной из плеч которой стоит пьезорезистивный чувствительный элемент, в остальных – обычные сопротивления равных номиналов. При нагрузке датчика происходит деформация (изгиб) чувствительного элемента, которая приводит к изменению его сопротивления и, как следствие, к появлению напряжения на выходе датчика, которое пропорционально приложенной силе. Питание датчика осуществляется через плату сбора данных напряжением +5 В.