



## Измерение силы тяжести

### Цель работы

Целью работы являются: изучение взаимосвязи между весом и силой тяжести

### Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью датчика силы измеряется сила тяжести, которая действует предмет при увеличении его массы.

### Теория

СИЛА ТЯЖЕСТИ, сила  $P$ , действующая на любое тело, находящееся вблизи земной поверхности, и определяемая как геометрическая сумма силы притяжения Земли  $F$  и центробежной силы инерции  $Q$ , учитывающей эффект суточного вращения Земли. Направление силы тяжести - вертикаль в данной точке земной поверхности. Аналогично определяется сила тяжести на любом небесном теле. Значение силы тяжести зависит от географической широты положения тела; например, на Земле сила тяжести на полюсе и на экваторе отличаются на 0,5% (на Луне значения силы тяжести примерно в 6 раз меньше, чем на Земле).

Силу, с которой тело притягивается к Земле под действием поля тяготения Земли, называют силой тяжести. По закону всемирного тяготения на поверхности Земли (или вблизи этой поверхности) на тело массой  $m$  действует сила тяжести

$$F_T = GMm/R^2$$

где  $M$  - масса Земли;  $R$  - радиус Земли. Если на тело действует только сила тяжести, а все другие силы взаимно уравновешены, тело совершает свободное падение. Согласно второму закону Ньютона и формуле модуль ускорения свободного падения  $g$  находят по формуле

$$g = F_T/m = GM/R^2$$

Из формулы следует, что ускорение свободного падения не зависит от массы  $m$  падающего тела, т.е. для всех тел в данном месте Земли оно одинаково. Из формулы следует, что  $F_T = mg$ . В векторном виде

$$F_T = mg$$

Было отмечено, что поскольку Земля не шар, а эллипсоид вращения, ее полярный радиус меньше экваториального. Из формулы видно, что по этой причине сила тяжести и вызываемое ею ускорение свободного падения на полюсе больше, чем на экваторе.

Сила тяжести действует на все тела, находящиеся в поле тяготения Земли, однако не все тела падают на Землю. Это объясняется тем, что движению многих тел препятствуют другие тела, например опоры, нити подвеса и т. п. Тела, ограничивающие движение других тел, называют связями. Под действием силы тяжести связи деформируются и сила реакции деформированной связи по третьему закону Ньютона уравновешивает силу тяжести.

Также, на ускорение свободного падения влияет вращение Земли. Это влияние объясняется так. Системы отсчета, связанные с поверхностью Земли (кроме двух, связанных с полюсами Земли), не являются, строго говоря, инерциальными системами отсчета - Земля вращается вокруг своей оси, а вместе с ней движутся по окружностям с центростремительным ускорением и такие системы отсчета. Эта неинерциальность систем отсчета проявляется, в частности, в том, что значение ускорения свободного падения оказывается различным в разных местах Земли и зависит от географической широты того места, где находится связанная с Землей система отсчета, относительно которой определяется ускорение свободного падения.



Измерения, проведенные на разных широтах, показали, что числовые значения ускорения свободного падения мало отличаются друг от друга. Поэтому при не очень точных расчетах можно пренебречь неинерциальностью систем отсчета, связанных с поверхностью Земли, а также отличием формы Земли от сферической, и считать, что ускорение свободного падения в любом месте Земли одинаково и равно  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

Из закона всемирного тяготения следует, что сила тяжести и вызываемое ею ускорение свободного падения уменьшаются при увеличении расстояния от Земли. На высоте  $h$  от поверхности Земли модуль ускорения свободного падения определяют по формуле

$$g = GM / (R+h)^2$$

Установлено, что на высоте 300 км над поверхностью Земли ускорение свободного падения меньше, чем у поверхности Земли, на  $1 \text{ м/с}^2$ . Следовательно, вблизи Земли (до высот нескольких километров) сила тяжести практически не изменяется, а потому свободное падение тел вблизи Земли является движением равноускоренным.

#### Вес тела. Невесомость и перегрузки

Силу, в которой вследствие притяжения к Земле тело действует на свою опору или подвес, называют весом тела. В отличие от силы тяжести, являющейся гравитационной силой, приложенной к телу, вес - это упругая сила, приложенная к опоре или подвесу (т. е. к связи).

Наблюдения показывают, что вес тела  $P$ , определяемый на пружинных весах, равен действующей на тело силе тяжести  $F_t$  только в том случае, если весы с телом относительно Земли покоятся или движутся равномерно и прямолинейно; В этом случае

$$P = F_t = mg.$$

Если же тело движется ускоренно, то его вес зависит от значения этого ускорения и от его направления относительно направления ускорения свободного падения.

Когда тело подвешено на пружинных весах, на него действуют две силы: сила тяжести  $F_t = mg$  и сила упругости  $F_{уп}$  пружины. Если при этом тело движется по вертикали вверх или вниз относительно направления ускорения свободного падения, значит векторная сумма сил  $F_t$  и  $F_{уп}$  дает равнодействующую, вызывающую ускорение тела, т. е.

$$F_t + F_{уп} = ma$$

Согласно приведенному выше определению понятия "вес", можно написать, что  $P = -F_{уп}$ . Из формулы с учетом того, что  $F_t = mg$ , следует, что  $mg - ma = -F_{уп}$ . Следовательно,  $P = m(g - a)$ .

Силы  $F_t$  и  $F_{уп}$  направлены по одной вертикальной прямой. Поэтому если ускорение тела  $a$  направлено вниз (т.е. совпадает по направлению с ускорением свободного падения  $g$ ), то по модулю

$$P = m(g - a)$$

Если же ускорение тела направлено вверх (т. е. противоположно направлению ускорения свободного падения), то

$$P = m[g - (-a)] = m(g + a).$$

Следовательно, вес тела, ускорение которого совпадает по направлению с ускорением свободного падения, меньше веса покоящегося тела, а вес тела, ускорение которого противоположно направлению ускорения свободного падения, больше веса покоящегося тела. Увеличение веса тела, вызванное его ускоренным движением, называют перегрузкой.

При свободном падении  $a=g$ . Из формулы следует, что в таком случае  $P=0$ , т. е. вес отсутствует. Следовательно, если тела движутся только под действием силы тяжести (т. е. свободно падают), они находятся в состоянии невесомости. Характерным признаком этого состояния является отсутствие у свободно падающих тел деформаций и внутренних напряжений, которые вызываются у покоящихся тел силой тяжести. Причина невесомости тел заключается в том, что сила тяжести сообщает свободно падающему телу и его опоре (или подвесу) одинаковые ускорения.

### Контрольные вопросы

1. Что такое сила тяжести? Чем она отличается от силы тяготения?
2. Что называют весом тела?
3. С помощью какого прибора экспериментально определяют вес тела?
4. В каком случае вес тела равен силе тяжести, действующее на это тело?
5. Что такое перегрузка?
6. Когда наступает невесомость? В чем она проявляется?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик силы.  
Система сбора данных.  
Набор грузов.  
Штатив



### Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Весь цикл измерений может быть проведен 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 освещенность с точностью до  $\pm 0.05$  N.

### 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.

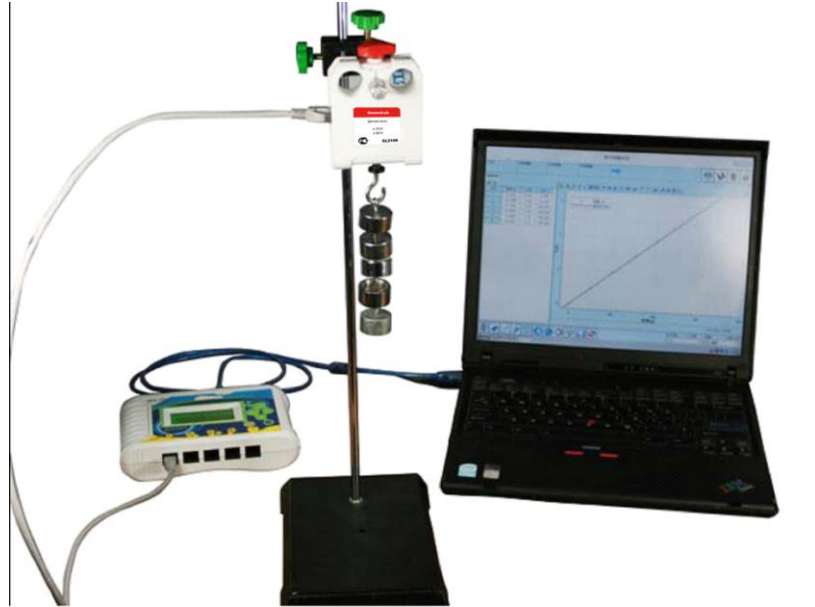
### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Опыт следует проводить 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



Внешний вид установки

## 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 силы к аналоговому входу системы сбора данных.

## Проведение измерений

Перед началом проведения измерений датчик силы необходимо калибровать (обнулить). После присоединения его для испытания и открытия программного обеспечения экспериментальной системы SensorLab, закрепите датчик на штативе (без дополнительных грузов), после этого нажмите кнопку «Калибровать».

Откройте программное обеспечение SensorLab и выберите шаблон.

Подвесьте один груз к датчику силы как показано на рисунке

Нажмите кнопку «Сбор в ручную» и запишите данные. Затем добавляя по одному грузу, произведите последующие измерения и запишите их.

Проанализируйте собранные данные и получите график взаимосвязи веса и силы тяжести

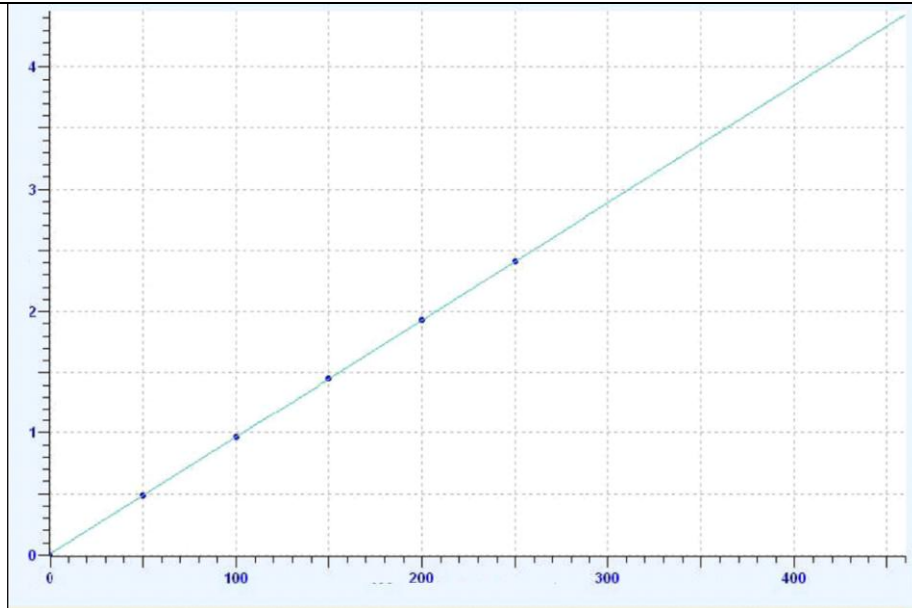


График взаимосвязи веса и силы тяжести.

### Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на то, как изменяется сила тяжести при изменении веса.

## Справка

### Принцип работы датчика силы

Чувствительный компонент датчика силы - это элемент сопротивления напряжению, прикрепляющийся к металлическому штативу, и затем измеряет силу в двух направлениях, когда поперечная рейка штатива деформируется (примените силу натяжения или окажите давление на металлический крюк).

Металлический крюк - это подвижная часть, пожалуйста, затяните винт при использовании, чтобы избежать отрицательного влияния, вызванного крюком, если он ослабляется. На датчике силы есть 3 винтовых отверстия (М6), которые можно использовать для фиксации с другими устройствами, и затем гибко и удобно управлять экспериментом; есть один овал в отверстии на передней стороне датчика силы, он может быть использован вместе с винтовым отверстием, и фиксирует датчик силы на металлическом штативе.

Датчик силы использует напряжение сопротивления для преобразования силы в напряжение. В процессе напряжения используется значение сопротивления металлической пружины, которая меняется в зависимости от изменения своей формы; в датчике установлена металлическая поперечная подпорка, и когда металлический крюк будет находиться под силой, металлическая поперечная подпорка исказится, таким образом сопротивление, прилагающееся на поперечную подпорку, соответственно ее деформирует, и величина сопротивления также изменяется. После усиления цикла можно точно измерить величину силы.