

*МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Общая физика»

ПРОВЕРКА ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 1
для студентов направлений 09.03.04; 15.03.05; 15.03.04; 27.03.04;
20.03.01; 27.03.01; 15.03.01; 13.03.02; 23.03.03; 23.03.01; 10.05.03;
23.05.01; 23.05.02

Курган 2018

Кафедра: «Общая физика».

Дисциплина: «Физика» (направления 09.03.04; 15.03.05; 15.03.04; 27.03.04; 20.03.01; 27.03.01; 15.03.01; 13.03.02; 23.03.03; 23.03.01; 10.05.03; 23.05.01; 23.05.02).

Составили: канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Н. Новгородова,
канд. физ.-мат. наук, доцент В.М. Овсянов.

Утверждены на заседании кафедры «04» апреля 2018 г.

Рекомендованы методическим советом университета «20» декабря 2017 г.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 1 Лабораторная установка.
- 2 Набор грузов: $m_A =$, 2 шт,
 $m_D =$, 2 шт,
 $m_B =$, 1 шт.
- 3 Секундомер $t_{\max} =$, $C_0 =$.
- 4 Масштабная линейка $L_{\max} =$, $C_0 =$.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Ознакомиться с основными кинематическими и динамическими характеристиками, описывающими поступательное движение.
- 2 Экспериментально проверить основной закон динамики поступательного движения (второй закон Ньютона).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Изучение законов движения является одной из главных задач механики. Опыт показывает, что любое сложное движение тела можно разделить на поступательное и вращательное. Движение тела называется **поступательным**, если любая прямая, жестко связанная с телом, остается параллельной своему первоначальному положению. При поступательном движении все точки тела движутся одинаковым образом, поэтому движение всего тела может быть описано движением одной любой его точки. В качестве такой точки обычно выбирают центр масс тела.

Часто для описания движения реальных тел используют физические модели. Одной из таких моделей является **материальная точка** – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Основными кинематическими характеристиками движения материальной точки и поступательного движения твердого тела являются радиус-вектор, траектория, путь, перемещение, скорость и ускорение.

Радиус-вектор материальной точки – вектор, проведенный из начала координат в данную точку: $\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$, где x, y, z – координаты, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные орты координатных осей.

Траектория – линия, которую описывает материальная точка при своем движении в пространстве.

Путь (длина пути) – расстояние между начальной и конечной точками движения, измеренное вдоль траектории (длина траектории).

Перемещение – вектор, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки.

Для характеристики направления и быстроты движения вводится векторная физическая величина, называемая скоростью.

Мгновенная скорость материальной точки (**скорость**) – векторная физическая величина, равная первой производной радиус-вектора материальной точки по времени:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \quad (1)$$

Вектор скорости направлен по касательной к траектории движения точки.

Модуль мгновенной скорости материальной точки равен первой производной пути по времени:

$$v = \frac{dS}{dt}.$$

В случае неравномерного движения важно знать, как быстро изменяется скорость с течением времени. Физической величиной, характеризующей быстроту изменения скорости по модулю и направлению, является ускорение.

Мгновенное ускорение \vec{a} (**ускорение**) материальной точки в момент времени t есть векторная величина, равная первой производной скорости по времени:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (2)$$

Наблюдение и опыт указывают, что изменение движения тела происходит в результате взаимодействия тел. Чтобы описать взаимодействие, вводят понятие силы.

Сила (\vec{F}) – это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело получает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

В любой момент времени сила характеризуется:

- а) числовым значением;
- б) направлением в пространстве;
- в) точкой приложения.

Чаще всего на тело действует не одна, а несколько сил. На основании обобщения опытных фактов был сформулирован **принцип независимости действия сил**.

Если на материальную точку (тело) одновременно действуют несколько сил, то каждая из них сообщает телу ускорение так, будто другие силы отсутствуют.

Следовательно, при одновременном действии нескольких сил, тело получит такое же ускорение, какое приобретает под действием одной силы, равной векторной сумме всех приложенных к телу сил. В этом заключается **принцип суперпозиции сил**.

Силу, равную геометрической сумме всех сил, приложенных к данной материальной точке (телу), называют **результатирующей** (или равнодействующей):

$$\vec{F}_p = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i.$$

Опыт показывает, что при одинаковых воздействиях различные тела неодинаково изменяют скорость своего движения, т.е. иными словами, приобретают различные ускорения. Ускорение зависит не только от величины воздействия, но и от свойств самого тела, от его массы.

Из опыта известно, что ни одно тело нельзя мгновенно заставить двигаться, и ни одно движущееся тело невозможно мгновенно остановить. Тела «сопротивляются» подобным действиям. В этом проявляется свойство тел, называемое инертностью. **Инертность** – свойство тел оказывать сопротивление попыткам изменения их скорости. Следствием наличия у тел такого свойства является их стремление к сохранению состояния покоя или равномерного прямолинейного движения. Отсюда еще одно определение инертности. **Инертность** – свойство тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Опыт показывает, что инертность разных тел может быть различной. Поэтому возникает задача ее количественной оценки. Масса – физическая величина для количественной оценки инертности тела. Кроме инертной массы существует также гравитационная масса, определяющая силу гравитационного взаимодействия между телами. В настоящее время установлено, что инертная и гравитационная массы равны друг другу (с точностью, не меньшей 10^{-12} их значения).

Таким образом, можно сказать, что **масса** – физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая ее инерционные (**инертная масса**) и гравитационные (**гравитационная масса**) свойства.

В классической механике масса тел остается постоянной при любых движениях и взаимодействиях. Масса – величина аддитивная, т.е. масса тела (или системы тел) равна сумме масс всех составляющих его частей.

Векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость называется **импульсом (количеством движения)** этого тела (материальной точки):

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (3)$$

Так как масса – величина всегда положительная, то очевидно, что вектор импульса всегда совпадает по направлению с вектором скорости.

Опыт показывает, что если на тело действовать различными по величине силами, то ускорение, приобретаемое телом, будет прямо пропорционально действующей силе. Если на тело действует несколько сил, то ускорение будет прямо пропорционально результирующей силе, т.е.

$$\text{при } m=\text{const}, \quad a \sim F_p.$$

Если на разные тела воздействовать с одной и той же силой, то ускорения тел будут обратно пропорциональны их массам, т.е.

при $\vec{F} = \text{const}$, $a \sim \frac{1}{m}$.

Таким образом, обобщая опытные факты, можно записать:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_p}{m}. \quad (4)$$

Соотношение (4) является математической записью **второго закона Ньютона**.

Ускорение, приобретаемое телом (материальной точкой), прямо пропорционально результирующей силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе тела (материальной точки).

Из уравнения (4), используя выражение (2), можно записать:

$$\vec{F}_p = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Таким образом, мы получили более общую формулировку второго закона Ньютона.

Скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на нее результирующей силе:

$$\vec{F}_p = \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (5)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 1, состоит из набора грузов и блока С, который может вращаться вокруг горизонтальной оси. Через блок перекинута тонкая нить, на концах которой закреплены грузы А одинаковой массы m_A . К грузам А можно с помощью резьбы прикреплять дополнительные грузы (перегрузки) В и Д массами m_B m_D соответственно. С помощью перегрузков В и Д можно изменять величину результирующей силы и массу движущейся системы.

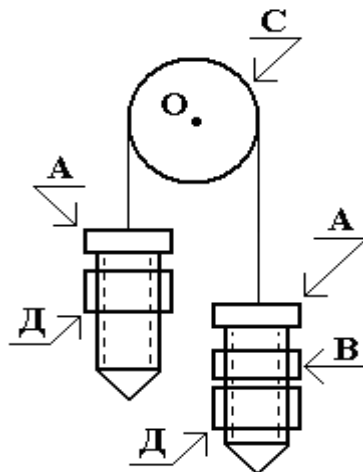


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Рассмотрим движение такой системы под действием приложенных к ней сил (рисунок 2). Будем считать, что нить нерастяжима, масса блока равна нулю, а трение на его оси отсутствует. Расчеты показывают, что такое предположение приводит к небольшим относительным погрешностям в определении кинематических и динамических характеристик системы.

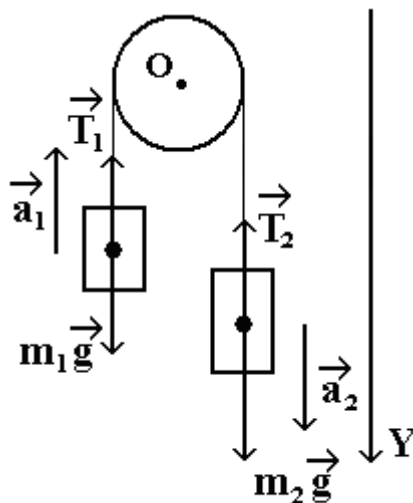


Рисунок 2 – К расчету ускорения и результирующей силы, действующей на систему грузов

Согласно второму закону Ньютона можно записать:

$$m_1 \vec{a}_1 = m_1 \vec{g} + \vec{T}_1,$$

$$m_2 \vec{a}_2 = m_2 \vec{g} + \vec{T}_2,$$

где m_1 – суммарная масса левого подвеса,

a_1 – его ускорение,

T_1 – сила натяжения нити, действующая на левый подвес.

Аналогичные величины с индексом 2 относятся к правому подвесу.

В проекциях на ось Y (рисунок 2) эти уравнения будут иметь вид:

$$-m_1 a_1 = m_1 g - T_1,$$

$$m_2 a_2 = m_2 g - T_2.$$

Так как нить нерастяжима, то ускорения \vec{a}_1 и \vec{a}_2 равны по модулю $a_1 = a_2 = a$. В свою очередь предположение о том, что масса блока близка к нулю и ею можно пренебречь, приводит к равенству модулей сил натяжения нити $T_1 = T_2 = T$.

С учетом приведенных обозначений, получим следующие уравнения:

$$-m_1 a = m_1 g - T,$$

$$m_2 a = m_2 g - T.$$

Вычитая из одного уравнения другое, найдем ускорение системы:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g = \frac{m_2 - m_1}{M} g. \quad (6)$$

Очевидно, что движение системы в нашем случае будет осуществляться под действием результирующей силы:

$$F_p = M \cdot a = (m_2 - m_1)g. \quad (7)$$

Формула (6) определяет теоретическое значение ускорения. Экспериментально его можно найти, используя кинематические закономерности. Так как каждый груз движется прямолинейно с постоянным ускорением, проходя расстояние h за время t , то ускорение:

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (8)$$

Проверка второго закона Ньютона сводится к проверке двух утверждений.

1 При постоянной массе системы ускорение прямо пропорционально результирующей силе.

2 При постоянной силе ускорение обратно пропорционально массе всей системы.

Изменение результирующей силы и массы системы производится с помощью перегрузков. Если положение перегрузков соответствует рисунку 1, то масса всей системы равна:

$$M_1 = 2m_A + 2m_D + m_B,$$

а результирующая сила согласно формуле (7) определяется соотношением:

$$F_1 = m_B g.$$

Если все перегрузки установить на один подвес, масса системы не изменится ($M_2 = M_1$), а результирующая сила станет равной:

$$F_2 = (m_B + 2m_D)g.$$

Чтобы изменить массу системы, необходимо снять оба перегрузка Д. При этом результирующая сила не изменится ($F_3 = F_1$), а масса станет равной:

$$M_3 = 2m_A + m_B.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Определение ускорений движения системы.

1 Соберите установку в соответствии с рисунком 1 (на левом подвесе перегрузок Д, на правом – перегрузки В и Д).

2 Установите нижнюю точку правого подвеса (с перегрузками В и Д) на высоте $h = 1\text{ м}$.

3 С помощью секундомера измерьте время движения правого подвеса с заданной высоты до пола. Результат измерения запишите в таблицу 1.

4 Повторите измерения времени движения (п.п. 2, 3) не менее 5 раз.

5 Рассчитайте среднее время движения $\langle t \rangle$.

6 По формуле (8) рассчитайте ускорение системы a_1 .

Таблица 1 – Результаты измерения ускорения a_1

h, м	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$\langle t \rangle$, с	a_1 , м/с ²

7 Установите на правый подвес все перегрузки (перегрузок В и два перегрузка Д).

8 Пять раз измерьте время движения системы (п.п. 2, 3). Результаты измерений занесите в таблицу 2.

9 Рассчитайте среднее время движения $\langle t \rangle$ и ускорение a_2 .

Таблица 2 – Результаты измерения ускорения a_2

h, м	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$\langle t \rangle$, с	a_2 , м/с ²

10 Установите на правый подвес только перегрузок В.

11 Пять раз измерьте время движения системы (п.п. 2, 3). Результаты измерений занесите в таблицу 3.

12 Рассчитайте среднее время движения $\langle t \rangle$ и ускорение a_3 .

Таблица 3 – Результаты измерения ускорения a_3

h, м	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	$\langle t \rangle$, с	a_3 , м/с ²

Примечание. Таблицы 1, 2 и 3 можно объединить в одну.

Задание 2. Проверка второго закона Ньютона.

1 Рассчитайте силы, действующие на систему, по формулам:

$$F_1 = F_3 = m_B g,$$

$$F_2 = (m_B + 2m_D)g.$$

2 Найдите отношение $\frac{F_1}{F_2}$.

3 Используя результаты таблиц 1 и 2, найдите отношение $\frac{a_1}{a_2}$.

4 Сравните полученные значения.

5 Рассчитайте массы движущейся системы

$$M_1 = M_2 = 2m_A + 2m_D + m_B,$$

$$M_3 = 2m_A + m_B.$$

6 Найдите отношения $\frac{a_1}{a_3}$ и $\frac{M_3}{M_1}$. Сравните полученные значения.

7 Сделайте вывод по работе.

Второй закон Ньютона можно считать экспериментально подтвержденным, если в результате опыта установлено, что в пределах погрешности измерений:

$$\frac{a_1}{a_2} \approx \frac{F_1}{F_2} ; \quad \frac{a_1}{a_3} \approx \frac{M_3}{M_1} .$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Дайте определения скорости и ускорения материальной точки.
- 2 Что такое инертность? Что называют инертной массой, гравитационной массой? Что принимают за единицу массы 1 кг?
- 3 Что такое сила? Что представляет собой сила в 1 Ньютон?
- 4 Сформулируйте принцип независимости действия сил.
- 5 Сформулируйте принцип суперпозиции. Дайте определение результирующей силы.
- 6 Дайте определение импульса.
- 7 Сформулируйте и запишите основной закон динамики в двух возможных формах.
- 8 Как в данной работе проверяется второй закон Ньютона?
- 9 Выведите формулу (6) для теоретического расчета ускорения движущейся системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трофимова Т. И. Курс физики. – Москва : Высшая школа, 2003.
- 2 Федосеев В. Б. Физика. – Ростов на Дону : Феникс, 2009.
- 3 Шкиль Т. В. Конспект лекций по физике. – Ростов на Дону : Феникс, 2014.
- 4 Савельев И. В. Курс физики. – Т. 1-5. – Москва : АКТ, 2005.

Новгородова Татьяна Назаровна
Овсянов Виктор Михайлович

ПРОВЕРКА ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 1
для студентов направлений 09.03.04; 15.03.05; 15.03.04; 27.03.04;
20.03.01; 27.03.01; 15.03.01; 13.03.02; 23.03.03; 23.03.01; 10.05.03;
23.05.01; 23.05.02

Редактор Н.Н. Погребняк

Подписано в печать 10.12.18	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л.	Уч.-изд. л.
Заказ №238	Тираж 100	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.