

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
Отделение естественных наук ШБИП

УТВЕРЖДАЮ
Директор ШБИП
_____ Д.В. Чайковский
«__» _____ 2022 г.

О.Г. Ревинская, Н.С. Кравченко

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Учебно-методическое пособие по изучению моделей физических
процессов и явлений на компьютере
с помощью лабораторной работы № МодМ–02
для студентов всех специальностей

Издательство
Томского политехнического университета
2022

УДК 53. 076

Ревинская О.Г.

Второй закон Ньютона: учебно-методическое пособие по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере с помощью лабораторной работы № МодМ–02 для студентов всех специальностей / О.Г. Ревинская, Н.С. Кравченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 12 с.

УДК 53.076

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим семинаром отделения естественных наук ШБИП

«___» _____ 20__ г.

Зав. ОЕН ШБИП

проф., доктор физ.-мат. наук

В.П. Кривобоков

Председатель учебно-методической комиссии

А.В. Макиенко

Рецензент

доктор тех. наук, профессор Томского политехнического университета

В.А. Москалев

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2002–2022

© Ревинская О.Г., Кравченко Н.С., 2002–2022

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2022

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № МодМ–02 ПО ИЗУЧЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ

Второй закона Ньютона

Цель работы: изучение второго закона Ньютона. Определение массы движущегося тела и коэффициента трения тела о поверхность.

1. Теоретическое содержание

Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета ускорение \vec{a} тела прямо пропорционально векторной сумме сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе m тела

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \sum \vec{F} \text{ или } m\vec{a} = \sum \vec{F}.$$

Инерциальная система отсчета – это система отсчета, в которой тело движется равномерно и прямолинейно или покоится, если на него не действуют внешние силы, или действие этих сил скомпенсировано.

Для экспериментальной проверки второго закона Ньютона рассмотрим тело массой m , лежащее на горизонтальной поверхности (рис. 1).

На тело действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры \vec{N} . Эти силы направлены в противоположные стороны и равны по модулю, поэтому сумма сил, действующих на тело, равна нулю (действие сил скомпенсировано). Тело покоится.

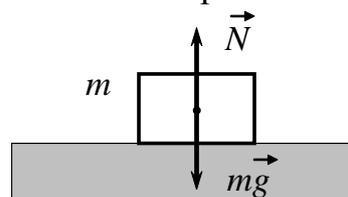


Рис. 1

Чтобы тело на рисунке 1 начало двигаться, к нему необходимо приложить дополнительную силу – силу тяги $\vec{F}_{\text{тяг}}$. Чтобы создать силу тяги, прикрепим к телу груз массой m_2 с помощью невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через блок. Блок закрепим на краю горизонтальной поверхности и расположим так, чтобы нить на отрезке между телом и блоком была направлена горизонтально (рис. 2). Тогда сила тяги $\vec{F}_{\text{тяг}}$ тоже будет направлена горизонтально. Тело под действием силы тяги начнет двигаться с ускорением \vec{a} по направлению к блоку. Груз, прикрепленный к телу, движется вниз с таким же ускорением.

Для описания движения тела и груза выберем систему координат: ось x направим по направлению движения тела; ось y – по направлению движения груза (рис. 2).

Чтобы вычислить силу тяги, воспользуемся третьим законом Ньютона. **Третий закон Ньютона:** два тела действуют друг на друга с силами одинаковыми по модулю и противоположными по направлению.

На груз действует сила реакции нити \vec{T} , равная по модулю силе тяги ($T = F_{\text{тяги}}$) и направленная противоположно направлению движения груза. Кроме того, на груз действует сила тяжести $m_2\vec{g}$, направленная вертикально вниз. Груз движется вертикально вниз с тем же ускорением \vec{a} , что и тело. Тогда второй закон Ньютона для груза принимает вид

$$m_2\vec{a} = m_2\vec{g} + \vec{T}.$$

При движении груза ни ускорение, ни сила тяжести, ни сила реакции нити не имеют горизонтальных составляющих. Поэтому проекции этих физических величин на ось x равны нулю. В проекции на ось y второй закон Ньютона для груза принимает вид:

$$m_2a = m_2g - T.$$

Известно, что $T = F_{\text{тяги}}$, тогда можно найти значение силы тяги, создаваемой грузом

$$F_{\text{тяги}} = m_2(g - a).$$

Значение ускорения a движения тела на прямолинейном участке можно вычислить, если известен путь S , пройденный телом, и время движения t . Если тело начинает движение без начальной скорости, то за время t оно пройдет путь $S = \frac{at^2}{2}$. Тогда ускорение тела $a = \frac{2S}{t^2}$.

Когда известны ускорение и масса груза, легко вычислить силу тяги, создаваемую грузом.

1.1. Движение тела без трения

Если на тело (рис. 2) кроме силы тяги $\vec{F}_{\text{тяги}}$, силы тяжести $m\vec{g}$ и силы реакции опоры \vec{N} не действуют никакие другие силы, то согласно второму закону Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{тяги}} + m\vec{g} + \vec{N}.$$

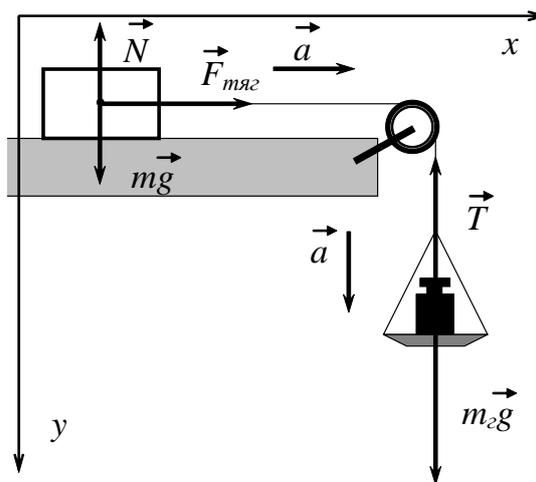


Рис. 2

Сила тяги и ускорение направлены горизонтально, поэтому их проекции на ось x равны значениям этих физических величин. Вертикальных составляющих сила тяги и ускорение не имеют.

Сила тяжести и сила реакции опоры, напротив, имеют только вертикальные составляющие и на ускорение тела не влияют.

Поэтому второй закон Ньютона в проекциях на оси координат принимает вид:

$$\text{проекция на ось } x: \quad ma = F_{\text{тяги}};$$

$$\text{проекция на ось } y: \quad 0 = mg - N.$$

$$\text{А ускорение тела равно } a = \frac{1}{m} F_{\text{тяги}}.$$

Видно, что ускорение тела пропорционально силе тяги. Если увеличивать силу тяги, ускорение тела будет увеличиваться. График зависимости ускорения от силы тяги $a = a(F_{\text{тяги}})$ является прямой, проходящей через начало координат, котангенс угла наклона которой равен массе тела m .

Если известны сила тяги и ускорение движения тела, можно вычислить массу тела

$$m = \frac{F_{\text{тяги}}}{a}.$$

1.2. Движение тела при наличии трения

Если на тело кроме силы тяги $\vec{F}_{\text{тяги}}$, силы тяжести $m\vec{g}$ и силы реакции опоры \vec{N} действует еще сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 3), то согласно второму закону Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{тяги}} + \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N}.$$

Сила трения направлена в сторону противоположную движению, поэтому ее проекция на ось x отрицательна, а проекция на ось y равна нулю.

Тогда второй закон Ньютона в проекциях на оси координат принимает вид:

$$\text{проекция на ось } x: \quad ma = F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр}};$$

$$\text{проекция на ось } y: \quad 0 = mg - N.$$

$$\text{А ускорение тела равно } a = \frac{1}{m} (F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр}}).$$

Из этого уравнения видно, что ускорение тела, как и прежде, пропорционально силе тяги. Однако оно уменьшилось благодаря силе тре-

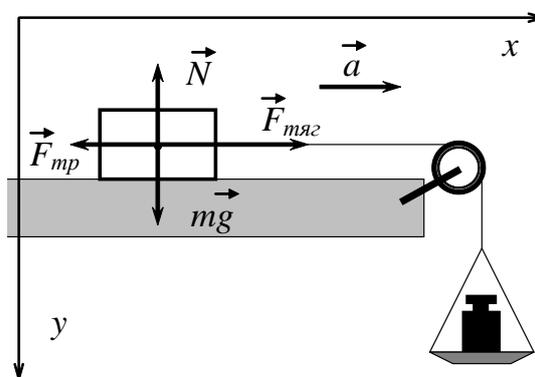


Рис. 3

ния. График зависимости ускорения от силы тяги $a = a(F_{\text{тяги}})$ является прямой с тем же углом наклона, что и в случае, когда отсутствует трение. Но если трение есть, график $a = a(F_{\text{тяги}})$ пересекает ось абсцисс в точке, отличной от нуля, где $F_{\text{тяги}} = F_{\text{тр}}$. Если построить график зависимости $a = a(F_{\text{тяги}})$ и продлить его до пересечения с осью абсцисс, по которой откладываются значения силы тяги $F_{\text{тяги}}$, легко найти силу трения, действующую на тело (рис. 4). Значение силы трения $F_{\text{тр}}$ будет равно длине отрезка, между началом координат и точкой пересечения прямой $a = a(F_{\text{тяги}})$ с осью абсцисс.

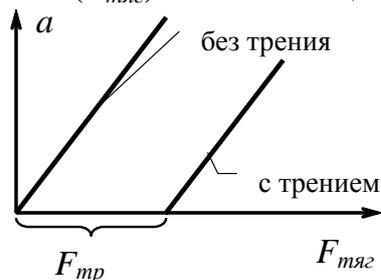


Рис. 4

Если сила трения $F_{\text{тр}}$ не зависит от скорости тела, то она пропорциональна массе тела, на которое она действует

$$F_{\text{тр}} = \mu mg,$$

где μ — коэффициент трения, g — ускорение свободного падения. Коэффициент трения зависит от свойств материалов тела и поверхности, а также от состояния трущихся

поверхностей. Значения коэффициентов трения для различных материалов приводятся в справочниках физических констант.

Когда известны значение силы трения $F_{\text{тр}}$ и масса тела m , можно определить коэффициент трения

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg}.$$

2. Модель экспериментальной установки

В данной работе с помощью средств компьютерной графики моделируется процесс движения тела по горизонтальной поверхности под действием груза перекинутого через блок и связанного с телом невесомой нерастяжимой нитью. Поверхность изготовлена из того же материала, что и тело. Тело проходит по поверхности расстояние 50 м. Ускорение свободного падения равно $9,81 \text{ м/с}^2$. Тело может двигаться как с трением, так и без трения. Для определения времени движения используется секундомер, способный измерить время с точностью до 1 миллисекунды. При этих условиях погрешность определения массы тела в эксперименте не превышает 0,3% от ее значения.

Работа выполняется на IBM-совместимом персональном компьютере в виде самостоятельного Windows-приложения. Для удобства выполнения работы в программе предусмотрены три раздела: краткое описание работы; порядок выполнения работы и эксперимент. Переключе-

ние между разделами осуществляется с помощью кнопок «Ход работы» и «Эксперимент». Нажатие этих кнопок в зависимости от контекста работы программы приводит либо к вызову соответствующих разделов, либо к возвращению в раздел описания. Раздел программы «Эксперимент» содержит раскрывающийся список материалов, из которых может быть изготовлено экспериментальное тело, ползунок для изменения массы груза, переключатель (флажок), включение и выключение которого позволяет выполнить эксперимент с трением или без трения. Раздел «Эксперимент» содержит также кнопки для управления секундометром.

Варианты выполнения работы

Вариант	Материал тела и поверхности	Вариант	Материал тела и поверхности
1	Дерево	6	Чугун
2	Бронза	7	Латунь
3	Лед	8	Стекло
4	Медь	9	Железо
5	Сталь	10	Фторопласт

3. Порядок выполнения работы

3.1. Краткое описание хода работы

1. Выберите материал, из которого изготовлено тело, участвующее в эксперименте (по указанию преподавателя).
2. Установите минимальное значение груза, создающего силу, приложенную к телу.
3. Измерьте время движения тела на заданном участке пути.
4. Опыт повторите 10 раз.
5. Определите среднее время движения тела.
6. Зная, что движение тела равноускоренное, по формуле найдите ускорение тела.
7. Увеличьте массу груза и снова выполните опыт, начиная с пункта 3.
8. Повторите опыт для четырех различных значений массы груза.
9. Постройте график зависимости ускорения тела от величины приложенной силы.
10. Определите массу тела для каждой серии экспериментов. Найдите среднее значение массы тела.
11. Вычислите абсолютную и относительную погрешность массы тела.

12. Вычислите теоретическое значение массы тела.
13. Установите флажок "С учетом трения" и повторите эксперимент, начиная с пункта 2.
14. Постройте график зависимости ускорения тела от величины приложенной силы. По графику определите силу трения, вычислите коэффициент трения.
15. Вычислите абсолютную и относительную погрешность коэффициента трения.
16. Сравните экспериментальное и теоретическое значения массы тела.
17. Сделайте выводы.

3.2. Подробное описание хода работы

При выполнении работы рекомендуется следующая последовательность действий:

1. Раскрывающийся список *«Тело»* содержит различные материалы: дерево, бронза, лед, медь, сталь, чугун, латунь, стекло, железо, фторопласт. Выберите материал, из которого будет изготовлено тело, участвующее в эксперименте, и горизонтальная поверхность, по которой оно движется (по указанию преподавателя). Для выбранного материала под списком автоматически указывается плотность вещества и объем тела, которые необходимы для определения теоретического значения массы тела в дальнейшем.

2. Тело будет двигаться под действием груза, массу которого необходимо задать с помощью ползунка *«Масса груза»*. Если ползунок перемещать вправо, масса груза будет увеличиваться. Значение массы выбранного в данный момент груза указывается на экране в виде *«Масса груза: **** г»*. Вначале ползунок должен быть установлен в крайнее левое положение, которое соответствует минимальному значению массы груза.

3. С помощью секундомера измерьте время движения тела. Для этого на секундомере нажмите кнопку *«Пуск»*. Начнется движение тела и одновременно включится секундомер. Тело должно двигаться без трения (т. е. переключатель *«Движение с учетом трения»* должен быть выключен). Во время движения список материалов, ползунок и переключатель *«Движение с учетом трения»* недоступны. После того, как тело пройдет заданный участок пути, секундомер автоматически остановится.

Если в процессе эксперимента Вы вспомнили, что неправильно установили какую-либо величину (выбрали массу груза или задали материал, из которого изготовлено тело), нажмите на кнопку *«Стоп»*. Тело и секундомер остановятся. Список материалов, ползунок *«Масса груза»* и переключатель *«Движение с учетом трения»* станут доступными. После этого можно изменить параметры и повторить опыт.

4. После нажатия кнопки *«Сброс»* тело возвратится в первоначальное положение, а показания секундомера будут равны нулю. Не изменяя массу груза, нажмите кнопку *«Пуск»* и снова измерьте время движения тела (нажмите кнопку *«Пуск»*). Повторите опыт 10 раз.

Если перед включением секундомера вы не нажали кнопку «Сброс», после нажатия кнопки «Пуск» тело все равно вернется в начальное положение, а отсчет времени начнется заново.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАПИШИТЕ В ТАБЛИЦУ 1.

5. Определите среднее время движения тела. Для этого сложите значения времени движения $t_1, t_2 \dots t_n$, полученные в каждом опыте. Результат разделите на количество опытов n : $t_{cp} = \frac{t_1+t_2+\dots+t_n}{n}$.

6. Движение тела равноускоренное. Тело начинает двигаться без начальной скорости с ускорением a , за время t оно пройдет расстояние S . По значению пути и среднему времени движения вычислите ускорение тела $a = \frac{2S}{t_{cp}^2}$.

7. С помощью ползунка «*Масса груза*» установите новое значение массы груза. Значение массы груза должно быть больше предыдущего на 100 г. Повторите измерения, начиная с пункта 3. ВНИМАНИЕ! Изменение массы груза возможно только в режиме, когда секундомер выключен.

8. Получите четыре серии экспериментов. Для этого выполните по 10 измерений для четырех разных значений массы груза. РЕКОМЕНДУЕТСЯ увеличивать массу груза равномерно, на одинаковую величину.

9. Считайте значение ускорения свободного падения равным $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Вычислите силу тяги $F_{тяг} = m_2(g - a)$, действующую на тело, в каждой серии экспериментов. Постройте график зависимости ускорения тела от величины приложенной силы: по оси абсцисс отложите значения силы тяги; по оси ординат – ускорение тела.

Согласно второму закону Ньютона, ускорение тела пропорционально приложенной к телу силе. Убедитесь, что график изображает линейную зависимость (все точки лежат на одной прямой).

10. С помощью второго закона Ньютона для каждой серии экспериментов определите массу тела. Найдите среднее значение массы тела. Для этого сложите значения масс $m_1, m_2 \dots m_k$, вычисленных по результатам каждой серии экспериментов, и разделите на количество серий: $m_{cp} = \frac{m_1+m_2+\dots+m_k}{k}$.

11. Вычислите абсолютную и относительную погрешность экспериментального значения массы тела.

12. С помощью значений плотности и объема тела вычислите теоретическое значение массы тела. Необходимо, чтобы теоретическое и экспериментальное значения массы имели одинаковое количество значащих цифр.

13. Установите переключатель (флажок) «*Движение с учетом трения*» и повторите эксперимент, начиная с пункта 2. В процессе эксперимента моделируется движение тела, испытывающее трение, не зависящее от скорости. Коэффициент трения считается КОНСТАНТОЙ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАПИШИТЕ В ТАБЛИЦУ 2.

14. Постройте функцию зависимости ускорения тела от величины приложенной силы с учетом трения на том же графике, что и без трения. Обе зависимости имеют линейный характер с одинаковым углом наклона прямых. Прямые должны быть параллельными.

График, описывающий движение с учетом трения, пересекает ось абсцисс в точке, отличной от нуля. Расстояние от нуля до точки пересечения графика с осью

абсцисс равно силе трения, действующей на тело. С помощью среднего значения массы тела, полученной в эксперименте, вычислите коэффициент трения.

Чтобы получить коэффициент трения с точностью не менее 0,7% его значения, необходимо строить графики в следующем масштабе: 1 Н = 4 см; 1 м/с² = 4 см (для льда и фторопласта – 1 м/с² = 5 см).

15. Вычислите абсолютную и относительную погрешность коэффициента трения.

16. Сравните теоретическое и экспериментальное значения массы тела. Совпадают ли теоретическое и экспериментальное значения? Что больше: разность между теоретическим и экспериментальными значениями или абсолютная погрешность массы тела?

17. Сделайте вывод. Как (линейно или нелинейно) зависит ускорение тела от величины приложенной силы при движении с трением и без? Можно ли использовать данный эксперимент для определения массы тела и коэффициента трения? С какой точностью?

4. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте второй закон Ньютона.
2. Сформулируйте третий закон Ньютона.
3. Тело движется горизонтально под действием груза, соединенного с грузом нерастяжимой невесомой нитью, перекинутой через блок. Как вычислить силу тяги, приложенную к телу со стороны груза?
4. Как определить ускорение тела на известном участке пути, если тело начинает движение из состояния покоя?
5. Тело движется горизонтально под действием силы тяги без трения. Запишите второй закон Ньютона для этого тела. Как определить массу тела из второго закона Ньютона?
6. Тело движется горизонтально под действием силы тяги с трением. Запишите второй закон Ньютона для этого тела. Как определить силу трения и коэффициент трения из второго закона Ньютона?
7. Сформулируйте цель работы.
8. Кратко опишите последовательность выполнения работы.

Таблица 1. Движение без трения

Масса груза m_2 , Г	№	Время t , с	Среднее время t_{cp} , с	Ускорение a , м/с ²	Сила тяги $F_{тяг}$, Н	Масса тела, кг
	1					
	2					
	3					
	...					
	10					

Масса груза m_2 , Г	№	Время t , с	Среднее время t_{cp} , с	Ускорение a , м/с ²	Сила тяги $F_{тяг}$, Н	Масса тела, кг
	1					
	2					
	3					
	...					
	10					

Таблица 2. Движение с трением

Масса груза m_2 , Г	№	Время t , с	Среднее время t_{cp} , с	Ускорение a , м/с ²	Сила тяги $F_{тяг}$, Н
	1				
	2				
	3				
	...				
	10				
	1				
	2				
	3				
	...				
	10				

Учебное издание

РЕВИНСКАЯ Ольга Геннадьевна
КРАВЧЕНКО Надежда Степановна

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Учебно-методическое пособие по изучению моделей
физических процессов и явлений на компьютере
с помощью лабораторной работы № МодМ–02
для студентов всех специальностей

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____.2022. Формат 60x84/16. Бумага «Классика».

Печать RISO. Усл.печ.л. _____. Уч.-изд.л. _____.
Заказ _____ . Тираж 50 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru