



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Виртуальный практикум

Лабораторная работа № 18-В

«Определение коэффициента трения
скольжения и работы сил трения»

по дисциплине

«Физика»

Авторы
Жданова Т. П.,
Кудря А. П.,
Лемешко Г. Ф.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Настоящая лабораторная работа посвящена нахождению коэффициента трения скольжения и работы сил трения при проведении виртуального эксперимента.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов всех форм обучения, изучающих физику, при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента, особенно при дистанционном обучении.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Жданова Т.П.,		
ст. преподаватель	кафедры	«Физика»
Кудря А.П.,		
к.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Лемешко Г.Ф.		



Оглавление

Краткая теория	4
Описание установки и вывод рабочих формул	5
Выполнение работы	7
Задание 1. Определение коэффициента трения скольжения.	7
Задание 2. Расчет энергетических преобразований в системе.	9
Контрольные вопросы	10
Список литературы	10

Цель работы:

- 1) определить коэффициент трения между телом и опорой;
- 2) определить работу сил трения в системе.

Оборудование: ЭВМ с введенной в нее программой.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Трение. Сухое трение возникает между соприкасающимися поверхностями при их относительном перемещении (трение скольжения) или при попытках вызвать такое перемещение (трение покоя). Опытным путем установлено, что сила трения скольжения (покоя) не зависит от площади соприкасающихся поверхностей и пропорциональна модулю силы нормального давления (\vec{N}):

$$F_{mp} = \mu \cdot N.$$

Безразмерный множитель μ называется коэффициентом трения скольжения. Он зависит от природы и состояния трущихся поверхностей, а также незначительно от величины скорости относительного движения (на практике обычно пренебрегают).

Модуль силы трения покоя всегда равен величине, приложенной к телу внешней силы, и находится в интервале:

$$0 \leq F_{0mp} \leq F_{mp},$$

а коэффициент трения покоя $0 \leq \mu_0 \leq \mu$.

Коэффициент трения покоя зависит от тех же факторов, что и коэффициент трения скольжения.

Энергия. *Кинетическая энергия* – энергия тел, движущихся с некоторой скоростью v . $E_k = \frac{mv^2}{2}$, $E_k \geq 0$.

Потенциальная энергия – энергия взаимодействия тел или частей тела, зависит от вида взаимодействия. Потенциальная энергия тела массой m , поднятого на высоту h , равна $E_p = mgh$.

В отсутствие сил сопротивления выполняется закон сохранения механической энергии.

При наличии сил сопротивления часть механической энергии затрачивается на работу.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И ВЫВОД РАБОЧИХ ФОРМУЛ

Установка состоит из наклонной плоскости, на конце которой установлен неподвижный блок. Угол наклона α плоскости относительно горизонтали можно изменять в интервале $0-70^\circ$. Через невесомый блок B перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены два тела A и C (рис. 1).

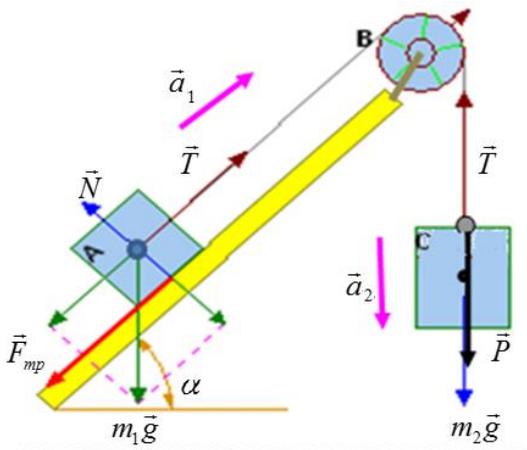


Рис. 1

Получим основные кинематические и динамические характеристики системы связанных тел: тело A массой m_1 движется по наклонной плоскости под углом α к горизонтали, а тело C массой m_2 – по вертикали вниз.

Ускорения обоих тел равны по модулю: $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$.

Второй закон Ньютона для каждого тела системы в проекции на ось, совпадающую по направлению с вектором ускорения, имеет вид:

$$\begin{aligned} m_2 g - T &= m_2 a; \\ T - m_1 g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m_1 g \cdot \cos \alpha &= m_1 a, \end{aligned} \quad (1)$$

где $F_{mp} = \mu \cdot N = \mu \cdot m_1 g \cdot \cos \alpha$.

Совместное решение уравнений (1) позволяет определить коэффициент трения скольжения:

$$\mu = \frac{m_2 g - m_1 g \cdot \sin \alpha - (m_1 + m_2) a}{m_1 g \cdot \cos \alpha}, \quad (2)$$

а также силу натяжения нити T , действующую на каждое тело:

ФИЗИКА

$$T = m_2(g - a), \quad (3)$$

где a – ускорение движения тел системы.

Вес тела (\vec{P}) – это сила, действующая на опору или растягивающая подвес, приложена к опоре или подвесу. Вес зависит от ускорения, с которым движется тело. Вектор веса \vec{P} тела C , в соответствии с третьим законом Ньютона, равен по величине, противоположен по направлению силе натяжения \vec{T} и приложен к нити (см. рис. 1): $\vec{P} = -\vec{T}$. Поэтому заменяя в формуле (3) T на P , получаем:

$$\text{если } \vec{a} = 0, P_0 = m_2 g,$$

$$\text{если } \vec{a} \neq 0 \text{ и направлено вверх, } P = m_2(g + a),$$

$$\text{если } \vec{a} \neq 0 \text{ и направлено вниз, } P = m_2(g - a). \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что если $a = g$, то $P = 0$. Это состояние называется **невесомость**.

На рис. 2 приведен один из характерных вариантов такого движения, где указаны функциональные зависимости ускорения и скорости тел системы от времени $a(t)$ и $v(t)$.

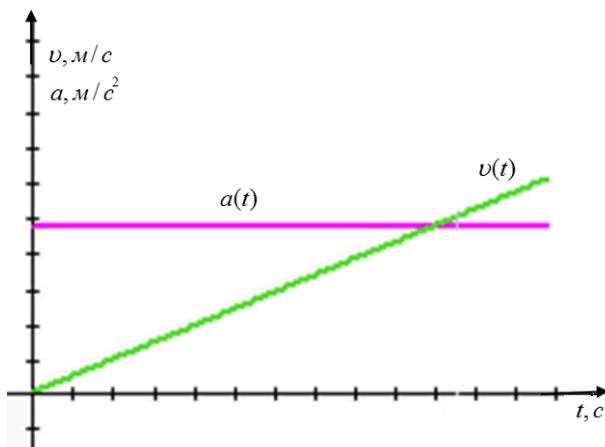


Рис. 2

Рассмотрим энергетические преобразования в системе. В начальный момент времени тела системы обладали относительно нижнего положения тела C массой m_2 (на рис. 1 пунктирная линия) потенциальной энергией

$$E_{p1} = m_2 g \cdot h + m_1 g \cdot h_1,$$

где h_1 – положение тела A массой m_1 относительно выбранного уровня; h – положение тела C массой m_2 относительно выбранного уровня.

Когда тело C массой m_2 опустится до нижнего уровня, потенциальная энергия тел системы будет равна

$$E_{p2} = m_1 g (l \sin \alpha + h_1),$$

где l – путь, пройденный телом m_1 вдоль наклонной плоскости.

Очевидно, что $l = h$. Поэтому

$$E_{p2} = m_1 g (h \sin \alpha + h_1).$$

Изменение потенциальной энергии тел системы

$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = -(m_2 g \cdot h - m_1 g \cdot h \cdot \sin \alpha). \quad (5)$$

Изменение кинетической энергии тел системы

$$\Delta E_k = \frac{(m_2 + m_1) v^2}{2}. \quad (6)$$

Общая работа сил сопротивления и трения в системе

$$A_{\text{сопр}} = \Delta E_p + \Delta E_k, \quad (7)$$

а работа силы трения скольжения на наклонной плоскости равна

$$A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot l \cdot \cos \pi = -\mu \cdot m_1 g \cdot \cos \alpha \cdot h. \quad (8)$$

О программе

Программа иллюстрирует ориентацию векторов сил, действующих на тела системы, участвующих в равноускоренном движении. Разработана студентом факультета «Автоматизация и информатика» Березой Вячеславом.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Задание 1. Определение коэффициента трения скольжения.

- Открыть папку «Трибометр» и файл «Mechmodeling.exe».
- В открывшемся окне установить:
 - в правом верхнем углу - время анимации (желательно минимальное);
 - угол наклона $\alpha = 10 \div 23^0$;
 - длина пути $l = 1 - 2 \text{ м}$;
 - коэффициент трения устанавливается автоматически;
 - масса тела A ($m_1 = 1,5 - 2,0 \text{ кг}$);

ФИЗИКА

- масса и радиус блока B ($m = 0, R = 0$);
- масса тела C (масса сосуда) ($m_2 = 1,5 - 2,0$ кг);
- масса жидкости ($m_{ж} = 0$);
- скорость уменьшения массы жидкости ($\Delta m = 0$).

3. В закладке «Метод» установить опцию «Эксперимент», а в закладке «Графики» - «Настройки». В опции «Настройки» очистить поле графиков и активизировать графики ускорения и скорости.

4. Закрыть панель настроек и нажать клавишу ввода в ЭВМ параметров-. Клавишу ввода параметров нажимать до тех пор, пока получатся зависимости ускорения и скорости от времени, похожие на рис. 2.

5. Запустить программу в работу клавишей «Пуск» . Через равные промежутки времени (примерно $\Delta t = 0,3$ с) останавливать работу программы клавишей «Пауза»  (повторное нажатие клавиши продолжит работу ЭВМ). Во время остановки работы программы записывать значения времени t и пройденный телами путь x . Вернуться в исходное положение можно с помощью клавиши . Необходимо, чтобы последнее измерение соответствовало нижнему уровню, т.е. остановке тел. В этом случае координата x равна высоте h , соответствующей максимальной высоте поднятия тела C , т.е. $h = x_{max}$.

6. Вычислить ускорение и скорость тел для каждого измерения по формулам $a = \frac{2x}{t^2}$ и $v = a \cdot t$, соответственно.

7. По формуле (2) вычислить коэффициент трения скольжения μ для каждого измерения и среднее значение $\langle \mu \rangle$.

8. Вычислить абсолютную погрешность $\Delta \mu$ каждого измерения по формуле $\Delta \mu_i = \left| \langle \mu \rangle - \mu_i \right|$.

9. Найти среднее значение $\langle \Delta \mu \rangle$.

9. Вычислить относительную погрешность по формуле

$$\delta \mu = \frac{\langle \Delta \mu \rangle}{\langle \mu \rangle}.$$

10. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

$m_1 =$		$m_2 =$			$\alpha =$		
№	t, c	x, m	$a, m/c^2$	$v, m/c$	μ	$\Delta\mu$	$\delta\mu, \%$
1							X
2							
3							
4							
5							
ср	X	X		X			
$P =$				$\Delta P =$			

11. Для среднего значения ускорения вычислить вес тела C , по формуле $P = m_2(g - a)$, и его изменение по формуле $\Delta P = m_2g - P$. Занести в таблицу 1.

12. По экспериментальным данным построить графики зависимостей ускорения и скорости тел системы от времени $a(t)$ и $v(t)$.

13. По проделанной работе сделать вывод.

Задание 2. Расчет энергетических преобразований в системе.

1. Используя данные предыдущего задания, учитывая, что $h = x_{max}$, вычислить изменения потенциальной энергии ΔE_p по формуле (5) и кинетической энергии ΔE_k по формуле (6).

2. По формуле (7) вычислить общую работу сил сопротивления $A_{сопр}$ в системе.

3. По формуле (8) вычислить работу силы трения $A_{тр}$ на наклонной плоскости.

4. Все результаты занести в таблицу 2.

4. Сопоставить результаты пунктов 2, 3 и сделать вывод.

Таблица 2

ΔE_p	ΔE_k	$A_{сопр}$	$A_{тр}$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под сухим трением и в чем состоит механизм трения скольжения и трения покоя?
2. От каких факторов зависит коэффициент трения скольжения и покоя?
3. В каком интервале значений находится коэффициент трения покоя?
4. Что называется весом и от чего он зависит?
5. Что понимают под изменением веса тела?
6. Что называется невесомостью?
7. Что называется потенциальной и кинетической энергией?
8. Как определить изменения потенциальной и кинетической энергий в системе?
9. Как определить работу силы трения на наклонной плоскости?
10. Как определить работу всех сил сопротивления?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимов. – М.: Высш. шк., 2015.
2. Справочное руководство по физике. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: учеб.-метод. пособие. Ч. 1. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008.