

## Лабораторная работа № 22

### Проверка законов динамики поступательного движения

**Цель работы:** определение ускорения тела при поступательном движении и нахождение зависимости ускорения тела от угла наклона плоскости.

**Оборудование:** модульный учебный комплекс МУК-М2 (блок механический БМ2-04, секундомер электронный СЭ1-07).

#### *Краткое теоретическое введение*

Основной закон динамики (или второй закон Ньютона) выражает соотношение между силой  $\vec{F}$  и изменением скорости (ускорением  $\vec{a}$ ) взаимодействующих тел:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса тела.

С помощью основного закона динамики можно определить силы, действующие на тело, либо характер движения (ускорение) по заданным силам. При составлении уравнения движения необходимо пользоваться следующим алгоритмом:

- вначале нужно найти все силы, действующие на данную материальную точку (включая силы реакции);
- затем следует найти равнодействующую этих сил;
- применить основной закон динамики и решить уравнение относительно неизвестной величины.

В данной лабораторной работе предлагается рассмотреть основной закон динамики на примере движения бруска массой  $m_1$  по наклонной плоскости (рис.1). Для создания силы тяги  $\vec{F}_1$  на невесомую, нерастяжимую нить, перекинутую через невесомый, вращающийся с малым трением блок подвешен груз массой  $m_2$ . Груз под действием силы тяжести  $\vec{F}_{T2}$  опускается, натягивает нить и заставляет брусок скользить равноускоренно по поверхности наклонной плоскости вверх. На брусок будут действовать: сила тяжести  $\vec{F}_{T1} = m_1\vec{g}$ , сила тяги  $\vec{F}_1$ , сила трения  $\vec{F}_{TP}$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$ . На груз будут действовать сила натяжения нити  $\vec{F}_2$  и сила тяжести  $\vec{F}_{T2} = m_2\vec{g}$ .

Для описания движения бруска введем инерциальную систему отсчета, ось  $X_1$ , которой сонаправим с ускорением  $a_1$ , а ось  $Y_1$  – перпендикулярно к наклонной плоскости. Движение груза будем рассматривать относительно системы отсчета, ось  $X_2$  которой направим по направлению ускорения  $a_2$ .

Запишем уравнения движения бруска и груза в векторной форме:

$$\begin{aligned} m_1 \vec{a}_1 &= m_1 \vec{g} + \vec{F}_1 + \vec{F}_{TP} + \vec{N}; \\ m_2 \vec{a}_2 &= m_2 \vec{g} + \vec{F}_2. \end{aligned} \quad (2)$$

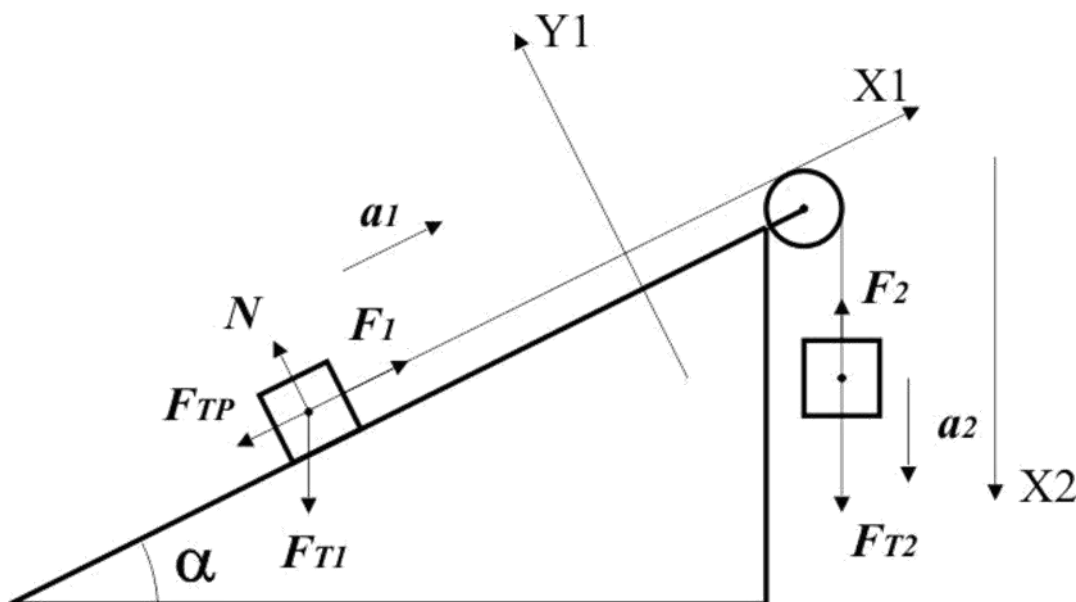


Рис.1

Для решения полученной системы уравнений необходимо знать коэффициент трения  $\mu$ , входящий в формулу для определения модуля силы трения  $F_{TP} = \mu N$ . Для нахождения этого коэффициента удобнее расположить наклонную плоскость под углом  $0^\circ$  к горизонту. В этом случае:

$$\begin{cases} F_1 = m_1(a_1 + \mu g); \\ F_2 = m_2(g - a_2). \end{cases} \quad (3)$$

Если считать, что блок невесомый и трение на оси блока отсутствует, то эти силы должны быть равны между собой по модулю. Поскольку нить нерастяжима, то ускорения  $a_1 = a_2 = a$ . Модуль ускорения  $a$  можно найти, зная длину пути  $L$ , пройденную бруском и время его движения:

$$a = \frac{2L}{t^2} \quad (4)$$

Таким образом, решая уравнения (3), можно получить выражения для нахождения коэффициента трения скольжения:

$$\mu = \frac{m_2 g - a(m_1 + m_2)}{m_1 g} \quad (5)$$

Рассмотрим общий случай, при котором  $\alpha \neq 0$ . Систему уравнений (2) в скалярном виде можно представить:

$$m_1 a_1 = F_1 - m_1 g \sin \alpha - \mu m_1 \cos \alpha ; \quad (6)$$

$$m_2 a_2 = m_2 g - F_2 .$$

Если выполняются условия  $F_1 = F_2 = F$  и  $a_1 = a_2 = a$ , то

$$a = \frac{g(m_2 - m_1(\sin \alpha + \mu \cos \alpha))}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

### *Методика эксперимента*

Исследовать движение бруска по наклонной плоскости можно с помощью узла «плоскость» и секундомера СЭ1, входящих в состав модульно учебного комплекса МУК-М2.

Установка представляет собой наклонную плоскость 1, которую с помощью винта 2 можно устанавливать под разными углами  $\alpha$  к горизонту (рис.2). Угол  $\alpha$  измеряется с помощью шкалы 3. На плоскость может быть помещен брусок 4. Для удержания бруска используется электромагнит 5. Пройденное бруском расстояние можно измерить с помощью линейки 6. На нить 10, перекинутую через блок 8 подвешивается груз подставки 9.

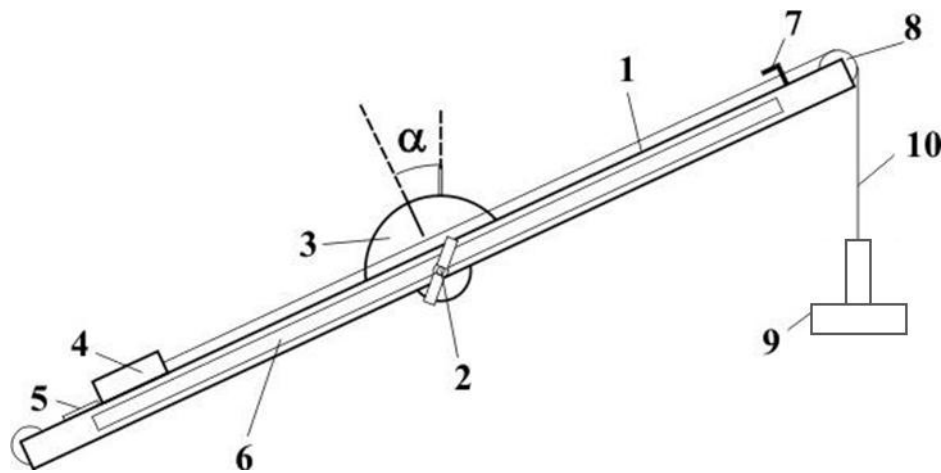


Рис.2

В комплект узла «плоскость» входят брусок и груз. Брусок состоит из двух частей, изготовленных из различных материалов: дерево-дюраль.

Масса бруска  $m_1 = 23$  г.

Масса груза  $m_2 = 29$  г.

### Порядок выполнения работы

1. Ослабив винт 2 (рис.2), установите плоскость под углом  $0^\circ$  к горизонту. Поместите брусок 4 (дюраль-дерево) на наклонную плоскость в положении деревом вниз.
2. Включите тумблер управления электромагнитами механического блока, расположенный на левой стороне лабораторного стенда.
3. Переведите секундомер СЭ1 в режим 1.
4. Нажмите кнопку «Пуск» секундомера. Измерьте время опускания груза. Полученные данные занесите в таблицу 1.
5. Повторите опыт пятикратно.

Таблица 1

№	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$L$ , м	$t$ , с	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$\mu$
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

6. Найдите ускорение бруска по формуле (4) и коэффициент трения по формуле (5). Проведите статистическую обработку измерений коэффициента трения скольжения и данные занесите в таблицу 2.

Таблица 2

№	$\mu$	$\Delta\mu$	$\varepsilon$ , %
1			
2			
3			
4			
5			
Сред.			

7. Полученный в опыте  $\mu_{\text{ср}}$  сравните с табличным значением коэффициента трения скольжения и используйте в дальнейших расчетах.
8. Меняя угол наклона плоскости  $\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$  (таблицы 3-7) найдите ускорение бруска по формуле (4). Сравните полученный результат с теоретическим значением, найденным по формуле (7).

Таблица 3  
Угол наклона 10°

№	m <sub>1</sub> , кг	m <sub>2</sub> , кг	L, м	t, с	a <sub>эксп</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (4))	a <sub>теор</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (7))
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

Таблица 4  
Угол наклона 15°

№	m <sub>1</sub> , кг	m <sub>2</sub> , кг	L, м	t, с	a <sub>эксп</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (4))	a <sub>теор</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (7))
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

Таблица 5  
Угол наклона 20°

№	m <sub>1</sub> , кг	m <sub>2</sub> , кг	L, м	t, с	a <sub>эксп</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (4))	a <sub>теор</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (7))
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

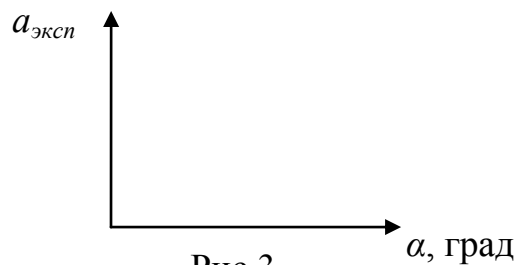
Таблица 6  
Угол наклона 25°

№	m <sub>1</sub> , кг	m <sub>2</sub> , кг	L, м	t, с	a <sub>эксп</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (4))	a <sub>теор</sub> , м/с <sup>2</sup> (по формуле (7))
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

Таблица 7  
Угол наклона  $30^{\circ}$

№	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$L$ , м	$t$ , с	$a_{\text{эксп}}$ , $\text{м/с}^2$ (по формуле (4))	$a_{\text{теор}}$ , $\text{м/с}^2$ (по формуле (7))
1	0,023	0,029	0,52			
2						
3						
4						
5						
Сред.						

9. Постройте график зависимости среднего экспериментального значения ускорения  $a_{\text{эксп}}$  от угла наклона плоскости  $\alpha$  (рис.3).



### Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте основной закон динамики поступательного движения.
2. Запишите уравнения движения двух грузов при горизонтальном и наклонном положениях плоскости.
3. Запишите формулу пути при равноускоренном движении. Выведите формулу (4).
4. Выведите рабочую формулу (7).
5. Дайте определение силы трения скольжения. Единица измерения коэффициента трения скольжения.

### Список используемых источников

1. Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики: Учебное пособие. В двух томах: Т.1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 480 с.