

## Лабораторная работа №4

### ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ

#### Цель работы

- выяснить свойства силы трения скольжения и \*силы трения покоя;
- определить соответствующие коэффициенты трения.

#### Теоретические основы работы

Сила трения имеет электромагнитную природу, в основе ее лежат электрические силы взаимодействия молекул. Силы трения возникают при соприкосновении твёрдых тел и направлены вдоль поверхности соприкосновения противоположно относительному перемещению. (Очевидно, что силы трения действуют на обе соприкасающиеся поверхности, при этом они равны по величине и противоположны по направлению ) Если перемещения не происходит, между соприкасающимися телами действуют силы трения покоя.

**Сила трения покоя** не имеет однозначной величины, она принимает такое значение, при котором выполняется второй закон Ньютона. При изменении внешнего воздействия соответственно меняется сила трения покоя. На рис. 1а к телу приложена параллельно поверхности сила  $F_1$  такая, что тело сохраняет состояние покоя. Очевидно, что сила трения покоя по модулю равна этой силе  $F_1$ . Если увеличивать силу  $F$ , увеличится и сила трения покоя (рис 1б). При некотором определенном значении силы  $F_{\max}$  тело сдвинется и начнёт скользить, сила трения покоя принимает максимальное значение (рис 2а).

*Максимальное значение силы трения покоя* зависит

- 1) от свойств соприкасающихся поверхностей: материалов, качества обработки поверхностей, чистоты, наличия смазки – всё это определяется коэффициентом трения  $\mu$ .
- 2) от «степени проникновения» неровностей одной поверхности между неровностями другой поверхности (сравните рис. 2а и 2б), а это определяется силой давления одной поверхности на другую или равной ей по величине силой реакции опоры  $N$ .

Таким образом, максимальное значение силы трения покоя определяется формулой:

$$F_{\text{тр.пок. max}} = \mu_{\text{нк}} N \quad (1)$$

Если сила, приложенная к телу параллельно поверхности, больше  $F_{\text{тр.пок. max}}$ , тело скользит по поверхности. При этом на него действует сила трения скольжения. **Сила трения скольжения** так же, как и сила трения покоя, направлена вдоль поверхности соприкосновения в сторону противоположную относительной скорости и пропорциональна силе давления тела на поверхность:

$$v_{отн.}=0, a=0$$

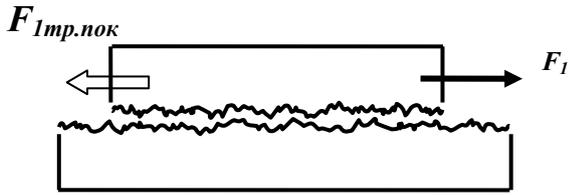


Рис 1а.  $F_{тр. пок.} = F_1$

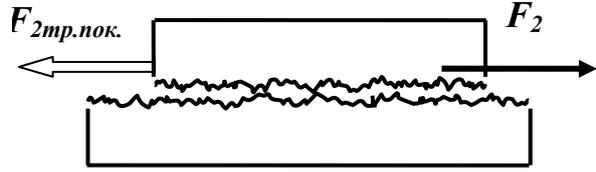


Рис.1б.  $F_{тр. пок.} = F_2$

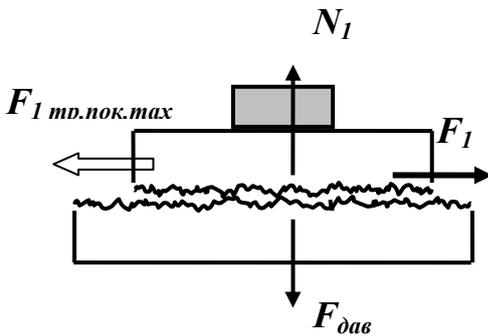


Рис.2а.  $F_{1тр. пок. max.} = \mu N_1$

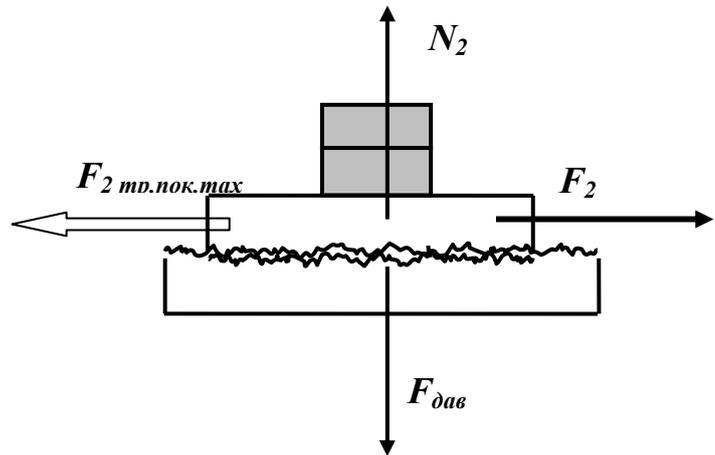


Рис.2б.  $F_{2тр. пок. max.} = \mu N_2$

$$F_{тр.ск} = \mu_{ск} N \quad (2)$$

Коэффициент трения скольжения несколько меньше коэффициента трения покоя. Неподвижно стоящее тело труднее сдвинуть с места, чем затем равномерно перемещать по поверхности.

Непосредственное экспериментальное измерение силы трения затруднительно, но её величину можно найти, используя второй закон Ньютона. При равномерном перемещении бруска горизонтальной силой  $F$  по горизонтальной поверхности ( $a_x=0, \sum F_x=0$ ) в любой момент справедливо равенство  $F=F_{тр.ск}$ . Экспериментальное наблюдение и измерение силы  $F$ , равной силе трения, возможно произвести с применением оборудования цифровой лаборатории «Архимед».

Коэффициент трения можно вычислить, используя формулы (1) и (2):

$$\mu_{ск} = F_{тр.ск} / N \quad \mu_{пк} = F_{тр.пок} / N \quad (3)$$

\*Для определения коэффициента трения покоя можно применить другой способ, не связанный с измерением сил трения и давления. Положим брусок на наклонную плоскость, составляющую угол  $\alpha$  с горизонтом. Пусть угол  $\alpha$  настолько мал, что брусок не соскальзывает, а покоится на наклонной

плоскости. Применяв второй закон Ньютона при условии  $a=0$ , можно найти действующую на брусок силу трения покоя (рис.3а):

$$F_{тр.пок.} = mg \sin \alpha \quad (4)$$

Постепенно увеличиваем угол наклона плоскости. При этом в соответствии с

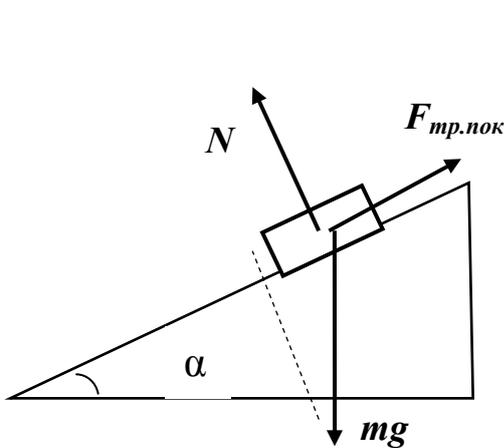


Рис. 3а

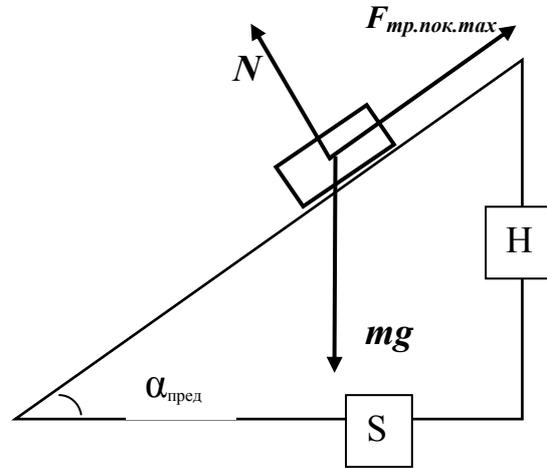


Рис. 3б

формулой (4) растет и сила трения покоя. При некотором значении угла  $\alpha_{пред}$  брусок начнет перемещаться, скользить по наклонной плоскости – сила трения покоя достигла максимального значения, определяемого формулой (1).

$$F_{тр.пок. max.} = mg \sin \alpha_{пред} = \mu N,$$

где сила реакции опоры  $N = mg \cos \alpha_{пред}$ .

Для предельного угла получаем соотношение:

$$mg \sin \alpha_{пред} = \mu mg \cos \alpha_{пред}$$

или после преобразований:

$$\operatorname{tg} \alpha_{пред} = \mu$$

Тангенс предельного угла равен отношению высоты наклонной плоскости  $H$  к длине её основания  $S$  (см. рис.3б). Коэффициент трения покоя можно рассчитать по формуле

$$\mu = H/S \quad (5)$$

### Оборудование и схема установки

- исследуемая поверхность (1)
- деревянный брусок (2)
- набор грузов (3)
- тяга (6)
- датчик силы ЦЛ (4)
- регистратор NOVA (5)
- интерфейсный кабель (7)
- штатив с муфтой и лапкой

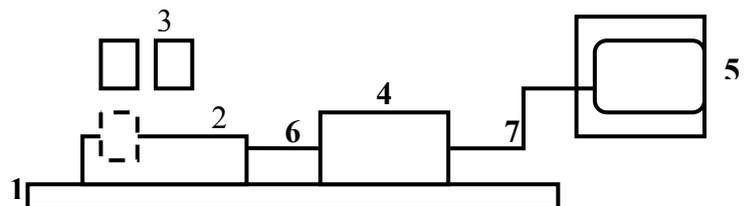


Рис. 4

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с оборудованием и аппаратурой. Запишите в протокол массу груза.

#### **Первая задача. Определение веса бруска.**

2. Настройте NOVA для проведения опыта.
  - **Замер** 10 измерений в секунду;
  - **Длительность** – вручную.
3. Закрепите датчик силы на штативе. Подвесьте брусок на крюк датчика силы.

#### **NOVA : Начните регистрацию данных**

4. Убедитесь в стабильности показаний датчика. Остановите запись.
5. **Сохраните** результат. Запишите среднее значение веса бруска в протокол.

#### **Вторая задача. Изучение силы трения.**

6. Соберите установку в соответствии с рис.4.
  - положите брусок на исследуемую горизонтальную пластину, на брусок установите один груз;
  - соедините датчик силы с бруском;
  - назовите **Опыт** «трение 1», используйте настройки, установленные в предыдущем опыте.

#### **NOVA : Начните регистрацию данных**

7. Медленно тяните датчик силы и наблюдайте увеличение силы трения покоя до момента начала скольжения. Обратите внимание на то, что в момент начала скольжения бруска сила уменьшается!
8. Медленно и равномерно перемещайте датчик силы и скрепленный с ним брусок.
9. Остановите запись. **Сохраните** результат.
10. Проверьте, получен ли на дисплее NOVA, график, подобный приведенному на рис.4. В противном случае повторите опыт.
11. Проведите **Опыт** «трение 2», установив на брусок два груза.
12. Проведите **Опыт** «трение3», установив на брусок три груза.

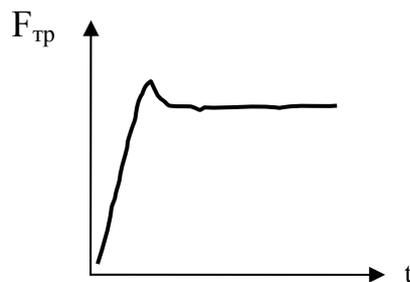


Рис.5

#### **\*Третья задача. Определение коэффициента трения по предельному углу.**

1. Закрепите конец опорной пластины в лапке штатива. Муфту установите на минимально возможной высоте.
2. Положите на пластину брусок с двумя грузами.
3. Медленно поднимайте муфту по штативу, пока брусок не начнет соскальзывать.
4. Закрепите муфту в этом положении.

5. Измерьте высоту  $H$  и длину  $S$  (см. рис 3б). Занесите результаты в таблицу 3.
6. Повторите опыт (п.п.1-5) ещё два раза.

**Таблица 1.** Определение коэффициента трения покоя на наклонной плоскости.

№ опыта	$H, \text{ см}$	$ \Delta H , \text{ см}$	$S, \text{ см}$	$ \Delta S , \text{ см}$
1				
2				
3				
Среднее				

### **Обработка результатов измерений**

Первый этап- внесение экспериментальных результатов в таблицы.

1. Откройте файл опыта «трение1» в виде графика (рис.5).
2. Прикоснитесь стилусом к точке на графике, соответствующей установившемуся значению силы трения скольжения. Запишите всплывающее значение в **таблицу 1**. (В программе MultiLab используйте для этой цели метку-курсор).
3. \*Прикоснитесь стилусом к точке на графике, соответствующей максимальному значению силы трения покоя. Запишите всплывающее значение в **таблицу 2**. (В программе MultiLab используйте для этой цели метку-курсор)
4. Аналогичным образом обработайте результаты остальных опытов.

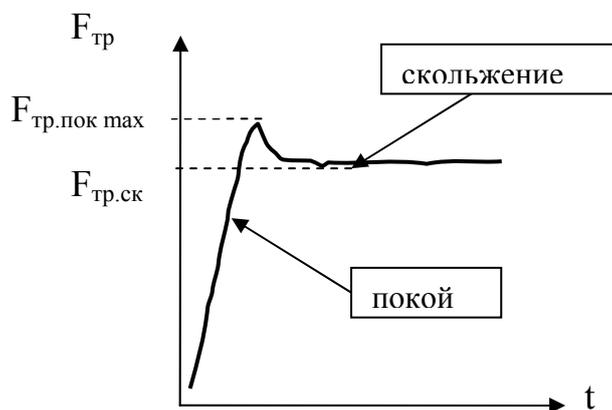


Рис.6

**Таблица 2.** Изучение силы трения скольжения.

Вес бруска без грузов.....Н

Номер (название) опыта	Количество грузов на бруске	Вес бруска с грузами, $N$	Сила трения, $H$	Коэффициент трения скольжения $\mu_{ск}$	$ \Delta\mu_{\bar{\mu}} $
«трение 1»					
«трение 2»					
«трение 3»					
Среднее					

**Таблица 3.** Изучение силы трения покоя.

Номер (название) опыта	Количество грузов на бруске	Вес бруска с грузами, $N$	Максимальная сила трения покоя, $H$	Коэффициент трения покоя $\mu_{пк}$	$ \Delta\mu_{\bar{\mu}} $
«трение 1»					
«трение 2»					
«трение 3»					
Среднее					

Второй этап – расчет коэффициентов трения скольжения и \*покоя и построение графиков.

1. По формуле  $\mu = F_{тр.}/N$ , где  $N$  равно весу бруска с грузами, рассчитайте коэффициент трения  $\mu$  для каждого опыта и занесите в соответствующую таблицу (2 или\*3).
2. Вычислите среднее значение коэффициента трения  $\mu_{ср.}$ , занесите в таблицу.
3. Вычислите модули отклонения значений  $\mu$  от среднего значения коэффициента трения по формуле  $\Delta\mu = |\mu_{ср.} - \mu|$ , занесите в таблицу.
4. Вычислите среднее значение  $\Delta\mu_{ср.}$ , занесите в таблицу.
5. Запишите результаты экспериментов по форме:  $\mu = \mu_{ср.} \pm \Delta\mu_{ср.}$
6. Постройте график зависимости силы трения от веса бруска с грузами (равного силе нормальной реакции опоры). Для этого на миллиметровой бумаге или бумаге в клеточку размером 10 на 14см нанесите оси

координат: по горизонтали – вес ( $N$ ), по вертикали –  $F_{тр.ск.}$ , обозначьте единицы измерения;

- выберите масштабы – так, чтобы
  - 1) можно было нанести все экспериментальные точки;
  - 2) рационально использовать площадь листа;
  - 3) у каждого сантиметрового деления стояли цифры из рекомендуемых наборов: 0,1,2,3... или 0,2,4,6... или 0, 5, 10, 15...
- на подготовленное поле нанесите все полученные экспериментальные точки;
- с помощью линейки проведите линию графика так, чтобы она прошла через экспериментальные точки (включая точку 0,0) или чтобы по обе стороны линии оказалось примерно одинаковое число точек.

\*По результатам третьей задачи

7. Рассчитайте средние значения  $N_{ср}$  и  $S_{ср}$ .
8. Вычислите коэффициент трения покоя по формуле (5), используя  $N_{ср}$  и  $S_{ср}$ .
9. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности определения коэффициента трения:

$$\varepsilon_{\mu} = \varepsilon_n + \varepsilon_s = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta S}{S}, \text{ где } \Delta N \text{ и } \Delta S \text{ – погрешности прямых измерений,}$$

$$\Delta \mu = \mu \varepsilon_{\mu}$$

10. Сравните полученную величину со значением, найденным другим способом для тех же поверхностей.

### ***Задание для любознательных***

Исследуйте, зависит ли значение силы трения скольжения от площади соприкосновения бруска с поверхностью стола. Подумайте, как провести опыт, какие значения и как записать в протокол.

### ***Вопросы для предварительного опроса и защиты***

1. Каково происхождение силы трения?
2. От чего зависит сила трения?
3. Что такое коэффициент трения, от чего он зависит?
4. Что такое сила трения покоя? Каковы её особенности?
5. Как можно определить силу трения покоя?
6. Какие величины измеряются при выполнении лабораторной работы?
7. Какие величины нужно рассчитать при обработке результатов экспериментов?
8. Какой вид должен иметь график зависимости силы трения от веса бруска с грузами (равного силе нормальной реакции опоры)?
9. Как изменится вид графика зависимости силы трения от силы нормального давления, если на поверхность нанести смазку?
10. Как изменится вид графика зависимости силы трения от силы нормального давления, если на поверхность насыпать песку?